

Poliklinik und Lehrstuhl für  
Präventive und Rehabilitative Sportmedizin  
der Technischen Universität München  
(Direktor: Univ. – Prof. Dr. M. Halle)

## **Maximale Herzfrequenz**

-

### **Definition, Einflussfaktoren und Sinn einer Trainingssteuerung anhand der maximalen Herzfrequenz**

Corinna Kälberer

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät der Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Medizin (Dr. med.)  
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ. – Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Univ. – Prof. Dr. D. Jeschke, i. R.
2. Univ. – Prof. Dr. M. Halle

Die Dissertation wurde am 25.06.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 09.04.2008 angenommen.

**„Mens sana in corpore sano.“**

(Juvenal, Satiren 10, 356)

*Für all diejenigen, die immer an mich geglaubt und mit mir gelitten haben,  
insbesondere für meine Eltern*

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	7
2. Physiologischer Hintergrund der Herzfunktion in Ruhe und unter Belastung.....	9
2.1 Physiologie des Herzens.....	9
2.2 Physiologischer Hintergrund der Herzfrequenz .....	12
2.2.1 Autonome Regulation der Herzfrequenz .....	12
2.2.2 Modulationen der Herzfrequenzregulation.....	14
2.2.2 Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz, insbesondere auf den Maximalwert.....	16
2.2.2.1 Alter .....	16
2.2.2.2 Geschlecht und anthropometrische Daten .....	18
2.2.2.3 Training.....	18
2.2.2.4 Art der Belastung .....	19
2.2.2.5 Körperhaltung .....	20
2.2.2.6 Umgebungsfaktoren.....	20
2.2.2.7 Erkrankungen.....	21
2.2.2.8 Kardial wirksame Medikamente .....	21
2.2.3 Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich.....	21
3. Fragestellungen der Studie .....	24
4. Methode.....	25
4.1 Studiendesign .....	25
4.2 Probanden.....	25
4.2.1 Anamnestiche und klinische Daten.....	26
4.2.2.1 Ablauf der sportmedizinischen Untersuchung.....	26
4.2.2.2 Anthropometrische Daten .....	27
4.2.2.3 Medizinischer Status.....	27
4.2.2.3.1 Erkrankungen .....	28
4.2.2.3.2 Medikamente .....	29
4.2.2.4 Sportanamnese.....	31
4.3 Gemessene Parameter in Körperruhe .....	33
4.3.1 Kardiale Parameter .....	33
4.3.2 Humorale laborchemische Parameter .....	33
4.4 Leistungsdiagnostik.....	34
4.4.1 Modus der ergometrischen Belastung .....	34
4.4.2 Ausgewertete maximale Daten der Ergometrie.....	35
4.4.2.1 Gemessene maximale Herzfrequenz.....	35
4.4.2.2 Maximale und submaximale Herzfrequenzen auf Grund des Verhaltens in Relation zur Belastung .....	35
4.4.2.3 Maximale Leistung .....	37
4.4.2.4 Maximallaktat .....	37
4.4.3 Ausgewertete submaximale Daten der Ergometrie .....	37
4.4.3.1 Laktatleistungskurve.....	37

4.4.3.2	Herzfrequenzen an den Schwellen.....	39
4.4.3.3	Leistungswerte an den Schwellen.....	39
4.4.3.4	Laktatwerte an den Schwellen .....	40
4.4.3.5	Blutdruckwerte während und nach der Belastung .....	40
4.4.3.6	Weitere berechnete bzw. bewertete Größen .....	40
4.4.3.6.1	PWC-Werte und PWC-Werte pro Kilogramm.....	40
4.4.3.6.2	Arbeitsherzfrequenz .....	41
4.5	Verwendete Geräte .....	42
4.6	Statistik.....	43
5.	Ergebnisse .....	44
5.1	Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich .....	44
5.1.1	Qualitative Betrachtung.....	45
5.1.1.1	Gesamtkollektiv .....	45
5.1.1.2	Geschlechts- und Altersabhängigkeit .....	45
5.1.1.3	Rad- und Laufbandergometrie .....	46
5.1.1.4	Untergruppen .....	49
5.1.1.4.1	Gesundes Kollektiv .....	49
5.1.1.4.2	Kaderzugehörigkeit der Probanden.....	51
5.1.1.4.3	Kardiovaskuläre Erkrankungen.....	53
5.1.1.4.4	Kardiovaskulär wirksame Pharmaka.....	55
5.1.1.4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse von 5.1.1 .....	56
5.1.2	Quantitative Betrachtung.....	57
5.1.2.1	Anthropometrische Parameter .....	57
5.1.2.2	Trainingsparameter .....	58
5.1.2.3	Maximale Herzfrequenzen.....	58
5.1.2.4	Submaximale Herzfrequenzen an aeroben und anaeroben Schwellen .....	62
5.1.2.5	Relative maximale Leistung, Schwellenleistungen und relative PWC.....	63
5.1.2.6	Ausbelastungsparameter und Belastungsdauer.....	66
5.1.2.7	Ruheherzfrequenz .....	67
5.1.2.8	Blutdruckwerte vor, während und nach der Belastung.....	68
5.1.2.9	Zusammenfassung der Ergebnisse von 5.1.2.....	69
5.2	Maximale Herzfrequenz .....	71
5.2.1	Maximale gemessene Herzfrequenz .....	72
5.2.1.1	Gesamtkollektiv .....	72
5.2.1.2	Geschlechts- und Altersabhängigkeit, gesundes Kollektiv (n = 627).....	72
5.2.1.3	Abhängigkeit von ergometrischen Bedingungen.....	75
5.2.1.3.1	Belastungsart .....	75
5.2.1.3.2	Ausbelastung und Ergometriedauer .....	77
5.2.1.4	Beziehungen zu anthropometrische Grunddaten .....	80
5.2.1.5	Beziehungen zu körperlichem Training und Leistungsparametern .....	82
5.2.1.5.1	Zusammenhänge mit Trainingsvariablen .....	82
5.2.1.5.2	Leistungssportler versus Breiten-/Nichtsportler.....	84

5.2.1.5.3	Beziehungen zu relativer maximaler Leistung und submaximaler Leistung an aeroben und anaeroben Schwellen .....	85
5.2.1.5.4	Beziehungen der Arbeitsherzfrequenz zu den Leistungsparametern .....	88
5.2.1.5.5	Beziehungen zu relativen PWC 130,150,170.....	90
5.2.1.5.6	Korrelationen zu mit aeroben und anaeroben Schwellenleistungen korrespondierenden Herzfrequenzen .....	94
5.2.1.6	Zusammenhänge mit hämodynamischen Parametern in Ruhe und bei/nach Belastung.....	104
5.2.1.6.1	Ruheherzfrequenz.....	104
5.2.1.6.2	Blutdruckwerte in Ruhe und bei/nach der Belastung.....	106
5.2.1.7	Beziehungen zu ausgewählten laborchemischen Parametern.....	108
5.2.1.8	Zusammenfassung der Ergebnisse zur maximalen gemessenen Herzfrequenz des gesunden Kollektivs .....	111
5.2.1.9	Maximal gemessene Herzfrequenz in abnormen Gruppen.....	113
5.2.1.9.1	Übergewicht versus Normalgewicht .....	113
5.2.1.9.2	Hypertone versus Normotone.....	115
5.2.1.9.2.1	Systolischer Blutdruck über 130 mmHg .....	115
5.2.1.9.2.2	Diastolischer Blutdruck über 90 mmHg.....	117
5.2.1.9.3	Kardiale Erkrankung versus kardial gesund.....	119
5.2.1.9.4	Kardiovaskulär wirksame Medikation .....	121
5.2.2	Maximale lineare Herzfrequenz .....	123
5.2.2.1	Gesamtkollektiv .....	123
5.2.2.2	Geschlechts- und Altersabhängigkeit, gesundes Kollektiv.....	124
5.2.2.3	Abhängigkeit von ergometrischen Bedingungen.....	126
5.2.2.3.1	Belastungsart .....	126
5.2.2.3.2	Ausbelastung und Ergometriedauer .....	128
5.2.2.4	Beziehung zu anthropometrische Grunddaten.....	129
5.2.2.5	Beziehungen zu körperlichem Training und Leistungsparametern .....	130
5.2.2.5.1	Zusammenhänge mit Trainingsvariablen .....	130
5.2.2.5.2	Leistungssportler versus Breiten-/Nichtsportler.....	131
5.2.2.5.3	Beziehungen zur relativen maximalen Leistung und submaximalen Leistung an aeroben und anaeroben Schwellen .....	132
5.2.2.5.4	Beziehungen zu PWC 130,150,170.....	133
5.2.2.5.5	Korrelationen mit zu aeroben und anaeroben Schwellenleistungen korrespondierenden Herzfrequenzen .....	134
5.2.2.6	Zusammenhänge mit hämodynamischen Parametern in Ruhe und bei/nach Belastung.....	135
5.2.2.6.1	Ruheherzfrequenz.....	135
5.2.2.6.2	Blutdruckwerte in Ruhe und bei/nach der Belastung.....	136
5.2.2.7	Beziehung zu ausgewählten laborchemischen Parametern.....	137
5.2.2.8	Zusammenfassung für die maximale lineare Herzfrequenz des gesunden Kollektivs .....	139

5.2.2.9 Maximale lineare Herzfrequenz in abnormen Gruppen. ....	140
5.2.2.9.1 Übergewicht versus Normalgewicht .....	140
5.2.2.9.2 Hypertone versus Normotone.....	141
5.2.2.9.2.1 Systolischer Blutdruck über 130 mmHg .....	141
5.2.2.9.2.2 Diastolischer Blutdruck über 90 mmHg.....	142
5.2.2.9.3 Kardiale Erkrankung versus kardial gesund.....	143
5.2.2.9.4 Kardiovaskulär wirksame Medikation .....	144
5.3 Regressionsfunktionen der maximalen Herzfrequenz.....	145
5.3.1 Vergleich mit nach gängigen Formeln berechneten maximalen Herzfrequenzen....	145
5.3.2 Beschreibung der altersabhängigen maximalen Herzfrequenz unseres Kollektivs..	152
6. Diskussion .....	155
6.1 Diskussion der Methode .....	155
6.1.1 Probanden .....	155
6.1.2 Ausbelastende Ergometrie .....	155
6.1.3 Visuelle Analyse des Herzfrequenzverlaufs und Ermittlung der maximalen linearen Herzfrequenz .....	157
6.2 Diskussion der Ergebnisse.....	158
6.2.1 Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich.....	158
6.2.2 Maximale Herzfrequenz .....	164
6.2.2.1 Einflussfaktoren der maximalen Herzfrequenz .....	164
6.2.2.2 Maximale gemessene Herzfrequenz versus maximale linearen Herzfrequenz ..	171
6.2.3 Mit Formeln berechnete maximale Herzfrequenz .....	173
7. Zusammenfassung .....	176
8. Literaturverzeichnis.....	180
9. Tabellenanhang .....	186
10. Abkürzungsverzeichnis .....	240
11. Lebenslauf .....	244
12. Danksagung.....	245

# 1. Einleitung

Im Leistungssport ist seit Jahrzehnten bekannt, dass nur durch systematisches, zielorientiertes und individuell dosiertes körperliches Training ein Maximum der psychomotorischen Leistungsfähigkeit von Athleten erreicht werden kann.<sup>59</sup> Grundlegende sportmedizinische Studien und epidemiologische Erkenntnisse belegen, dass ein gesundheitsfördernder und Krankheiten primär und sekundär prävenierender Effekt durch körperliche Aktivität und Sport nur dann gegeben ist, wenn gleichartige Trainingsgrundsätze beachtet werden.<sup>9, 59</sup> Art und Umfang systematischer körperlicher Beanspruchung müssen in Intensität, Dauer und Häufigkeit unter Berücksichtigung der individuellen motorischen Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit minimale Reizschwellen übersteigen und gleichzeitig maximale Belastungsgrenzen respektieren.

Dem sogenannten aeroben Ausdauertraining kommt im Leistungssport in allen Sportarten eine grundlegende, im präventiven und rehabilitativen Sport eine dominierende Bedeutung zu. Trainingsratschläge im Hinblick auf die Belastungsintensität, die viele aus dem Internet, aus Fachbüchern, im Fitnessstudio, aber auch von Medizinern ohne individuelle Diagnostik erhalten, empfehlen Dauerbelastungen bei einer „Herzfrequenz von 60 – 80 % der altersentsprechenden maximalen Herzfrequenz“.<sup>1, 31, 33, 55, 69, 83, 112, 114</sup> Die Umsetzung dieser Trainingsvorgaben in die Praxis ist heute mit Hilfe der EKG-gesteuerten „Pulsuhren“ einfach und genau durchführbar. Offenbar handelt es sich bei der „maximalen Herzfrequenz“ um eine physiologische Kenngröße, die nach wissenschaftlichen Erkenntnissen hauptsächlich vom chronologischen Alter eines weitgehend gesunden, zumindest körperlich für Dauerleistungen geeigneten Menschen abhängt.

Analysiert man die zahlreichen ergometrischen Studien (mit ansteigenden Belastungen bis zum Erreichen der Abbruchkriterien), auf denen diese Erkenntnisse basieren, wird selten definiert, was unter „maximaler Herzfrequenz“ verstanden wurde. Entweder wurde unter Einbeziehung der frühen Erholungsphase der unter Sinusrhythmus beobachtete Maximalwert der Herzfrequenz unabhängig vom Abbruchzeitpunkt oder der Maximalwert bei Abbruch als Messergebnis verwertet. Selten wurde das Herzfrequenzverhalten bei ansteigender Belastung berücksichtigt und nur dann von einem Maximalwert gesprochen, wenn sich die Herzfrequenz asymptotisch einem Grenzwert näherte bzw. ein Plateau erreichte. Nur im letzten Fall wäre von einem physiologischen Grenzwert auszugehen, für den die Größenordnung und eine Altersabhängigkeit statistisch abgesichert darzustellen wäre.

Aber nicht nur für die Festlegung von Trainingsintensitäten im Ausdauerbereich ist die maximale Herzfrequenz von großer Bedeutung. Sie wird zunehmend Ziel aktueller Forschungsarbeiten. So zeigten Sandvik et al. (1995), dass eine indirekte Beziehung zwischen der maximalen Herzfrequenz und der Lebensdauererwartung besteht.<sup>99</sup> Laut ihren Ergebnissen ist die Höhe der im Stufentest erreichten maximalen Herzfrequenz ein guter Prädiktor für das kardiovaskuläre Sterberisiko des Probanden. Ellestad (1996) berichtete ebenfalls, dass bei seinen Probanden eine verminderte Herzfrequenzantwort auf Belastung mit einem erhöhten Sterberisiko verbunden war.<sup>29</sup> Lauer et al. (1999) beschrieben, dass die Unfähigkeit, 85 % der

berechneten altersentsprechenden maximalen Herzfrequenz zu erreichen (= chronotrope Inkompetenz), mit einem erhöhten Risiko für eine koronare Herzkrankheit sowie einem erhöhten Risiko vorzeitig zu versterben verbunden ist.<sup>29, 77</sup>

Aufgrund der erläuterten, zunehmenden Bedeutung der maximalen Herzfrequenz im Leistungssport sowie im präventiven und rehabilitativen Bereich sollten in dieser Arbeit Einflussfaktoren der nach verschiedenen Kriterien definierten maximalen Herzfrequenz analysiert und die Sinnhaftigkeit einer auf ihr basierenden Trainingssteuerung überprüft werden.



## **2. Physiologischer Hintergrund der Herzfunktion in Ruhe und unter Belastung**

### **2.1 Physiologie des Herzens**

Das Herz an sich ist eine Druck-Volumen-Pumpe, deren Aufgabe es ist, mit Hilfe des Kreislaufsystems den gesamten Körper unter jeder Bedingung -Ruhe bis Höchstleistung- mit Blut zu versorgen.

Das Herzmuskelgewebe hat sowohl Eigenschaften eines Skelettmuskels als auch einige der glatten Muskulatur. An die Skelettmuskulatur erinnert die gestreifte Ultrastruktur mit Myofibrillen, die eine Gleitfilamentkontraktion ausführen, während man seine Fähigkeit zur Autorhythmie normalerweise bei den glatten Muskelzellen findet. Es gibt somit zwei Arten von Myokardzellen: die einen, die sich kontrahieren, und die anderen, die Impulse bilden und weiterleiten. Auf die Erregungsbildung und -leitung wird im nächsten Kapitel näher eingegangen (vgl. 2.2).

Die Pumpwirkung des Herzens beruht auf der rhythmischen Abfolge von Kontraktion und Entspannung. Diese mechanische Aktivität des Herzens, auch als Herzzyklus bezeichnet, wird in verschiedene Phasen eingeteilt. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen der Systole und der Diastole. Die Systole wird ihrerseits in die Anspannungs- und Auswurfphase und die Diastole in die Entspannungs- und Füllungsphase unterteilt.

Es wird in der Systole ein Schlagvolumen von durchschnittlich 80 ml in die Aorta gepumpt, während ein Restvolumen von ca. 40 ml im Ventrikel verbleibt. Der Quotient aus Schlagvolumen und enddiastolischem Volumen heißt Ejektionsfraktion und beträgt im Mittel 0,6-0,75. Nach dem Auswurf des Blutes kommt es zur Entspannung der Ventrikel. Am Anfang sinkt der Druck im Ventrikel rasch unter den der Aorta, wodurch die Taschenklappen wieder geschlossen werden und die Diastole beginnt. Nachdem sich die Vorhöfe wieder gefüllt haben, folgt die Füllungsphase, wobei das Ventrikelvolumen im ersten Drittel bereits um 80% des Schlagvolumens zunimmt. Dies spielt vor allem dann eine wichtige Rolle, wenn sich z.B. unter Belastung der Herzzyklus verkürzt, weil dadurch eine adäquate Füllung des Ventrikels gewährleistet wird. Die Ventrikelfüllung wird durch die Druckdifferenz zwischen Vorhof und Ventrikel, die Kontraktion des Vorhofes und durch den sogenannten „Ventilebenenmechanismus“ erreicht. Dieser beruht drauf, dass sich das Herz während jeder Systole in seiner Längsachse verkleinert. Da die Herzspitze auf dem Zwerchfell fixiert ist, senkt sich dabei die Ventilebene und dadurch kommt es über eine Dehnung der Vorhöfe zu einer gewissen Sogwirkung, mit der Blut aus den zentralen Körpervenen angesaugt wird .

Die Anspannungszeit, Austreibungszeit und Diastolendauer sind beim trainierten Herzen aufgrund einer absoluten bzw. relativen Bradykardie in Ruhe und bei submaximaler Belastung verlängert. Dadurch kommt es zu einer Arbeitersparnis und damit zu einer Verbesserung des Wirkungsgrades.<sup>56</sup>

Das Herzminutenvolumen ist das Produkt aus Herzfrequenz und Schlagvolumen. Es wird durch vier Faktoren beeinflusst: die Vordehnung (preload), die Nachlast (afterload), die Herzfrequenz und die Inotropie. Auf die Einflussfaktoren der Herzfrequenz wird im folgenden Kapitel (vgl. 2.2) eingegangen.

Bereits 1895 hat Otto Frank die wichtige Beobachtung gemacht, dass die Spannungsentwicklung des Herzmuskels entscheidend von seiner Vordehnung anhängig ist.<sup>102</sup> In der Klinik wird zur Beurteilung dieser Vordehnung -und damit des Preloads- der enddiastolische Druck herangezogen. Je größer also am Ende der Diastole das Blutvolumen im Ventrikel ist, desto stärker sind die Herzmuskelfasern vorgedehnt, und folglich ist die Kontraktionskraft- und damit das Schlagvolumen größer. Dieser Zusammenhang wird als der Frank-Starling-Mechanismus bezeichnet. Er kommt durch eine dehnungsabhängige Empfindlichkeitsänderung der Myofilamente für  $Ca^{2+}$  zustande. Unter physiologischen Verhältnissen wird dabei nie die Grenze überschritten, ab der in Folge einer „Über“dehnung das Schlagvolumen wieder abnimmt. Die physiologische Bedeutung dieses Mechanismus liegt in der genauen Abstimmung zwischen dem Herzminutenvolumen und dem venösen Rückstrom zum Herzen.<sup>72, 102</sup>

In Ruhe beträgt das Herzminutenvolumen beim Untrainierten 5 – 6 l/min und kann bis auf 20 - 25 l/min unter körperlicher Belastung ansteigen. Hierbei spielt v.a. der Anstieg der Herzfrequenz eine Rolle, die im Durchschnitt bis auf 300 % des Ausgangswertes zunehmen kann. Im Gegensatz dazu steigt das Schlagvolumen beim Untrainierten nur gering –von in Ruhe ca. 60 - 80 ml auf 100 – 120 ml bei Belastung.

Unter regelmäßigem Ausdauertraining kommt es zu funktionellen und morphologischen Veränderungen. Es kommt zur Ausbildung eines sog. „Sportherzens“. Es entsteht durch eine gleichmäßige Hypertrophie der Wände aller vier Herzhöhlen, die nicht größer als 20 % vom Ausgangswert ist. Dabei kann das Herzgewicht von 250 – 300 g beim Untrainierten auf 500 g und das Herzvolumen von 740 ccm auf maximal 1400 – 1500 ccm bei Ausdauersportlern ansteigen. Die Höhe der Zunahme ist abhängig von der Trainingsbelastung, der ausgeübten Sportart und der individuellen Konstitution. Typischerweise ist das diastolische Ventrikelvolumen und das Schlagvolumen gegenüber Untrainierten erhöht. Es kommt zu einem Anstieg des Schlagvolumens auf 90 – 110 ml in Ruhe und auf bis zu 200 ml unter Belastung, so dass das Herzminutenvolumen unter Belastung auf bis 40 l/min ansteigen kann.<sup>31, 72, 95</sup>

Das Herz leistet überwiegend eine Druck-Volumenarbeit. Hinzu kommt eine Beschleunigungsarbeit, die aber in Ruhe maximal 1 % der Herzarbeit ausmacht. Diese Beschleunigungsarbeit kommt dadurch zustande, dass bei jeder Systole die Stromstärke in der Aorta von 0 auf 500 ml/sek erhöht werden muss. Unter körperlicher Belastung nimmt die Stromstärke deutlich zu, so dass der Anteil der Beschleunigungsarbeit auf bis zu 5 % steigen kann.<sup>72</sup>

Die myokardiale Durchblutung wird durch die beiden epikardial verlaufenden Koronararterien geleistet. Jede Muskelfaser ist im Mittel von vier Kapillaren umgeben. Diese hohe Kapillardichte von ca. 4000 Kapillaren/mm<sup>2</sup> garantiert kurze Diffusionsstrecken für den Sauerstoff und das CO<sub>2</sub>. Die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz ist am Herzen schon in Ruhe sehr hoch (140 ml O<sub>2</sub>/l Blut). Eine Zunahme des Sauerstoffverbrauches (in Ruhe 10-11 ml

O<sub>2</sub>/min pro 100 g Gewebe) bei Belastung auf das 4 bis 5fache kann nur durch eine Steigerung der Koronardurchblutung erreicht werden. Die Differenz zwischen dem maximal möglichen Koronarfluss und der Koronardurchblutung in Ruhe wird als Koronarreserve bezeichnet. Die Koronardurchblutung erfolgt nur in der Diastole und beträgt in Ruhe 70-80 ml/min pro 100 g Gewebe. Sie kann unter Belastung auf das 4 bis 5fache gesteigert werden. Für diese Anpassung an die aktuellen Erfordernisse spielen physikalische, neurohumorale, endotheliale und metabolische Faktoren eine wichtige Rolle.

Eine Besonderheit des Herzens ist, dass es zur Energiegewinnung neben freien Fettsäuren (50 - 60 %) und Glukose (30 %) auch Laktat (20 %) nutzt. Der relative Anteil der Substrate an der Energiegewinnung hängt von ihrer arteriellen Konzentration ab. Normalerweise nutzt der Herzmuskel vorwiegend die oxidative Phosphorylierung zur ATP-Gewinnung, während die anaerobe Glykolyse nur eine untergeordnete Rolle spielt. Dementsprechend ist der Anteil der Mitochondrien (36 % Volumenanteil der Zelle) sehr hoch. Bei Sauerstoffmangel (z.B. durch KHK oder zu starke Belastung) wird dagegen die oxidative Phosphorylierung inhibiert, das ATP sinkt ab und deswegen kommt es zu einer Stimulation der anaeroben Glykolyse, und das Herz produziert selbst Laktat.

## 2.2 Physiologischer Hintergrund der Herzfrequenz

Die Herzfrequenz ist eine wesentliche autonome Stellgröße der komplex geregelten Herzkreislauffunktion, die außerdem von der inneren und äußeren Atmung, dem Stoffwechsel, der Körpertemperatur und psychomentalen Faktoren beeinflusst wird.

### 2.2.1 Autonome Regulation der Herzfrequenz

Sie beruht auf der Autorhythmie der Herzaktivität, der Eigenschaft der speziellen Erregungsbildungs- und Reizleitungsmuskulatur des Herzens rhythmisch Aktionspotentiale zu bilden. Im Gegensatz zum Arbeitsmyokard haben diese Zellen kein konstantes Ruhepotential. Das liegt daran, dass nach jeder Depolarisation das Potential durch eine Verminderung der  $K^+$ -Leitfähigkeit spontan langsam wieder ansteigt, bis ein sog. Schwellenpotential erreicht und ein neues Aktionspotential ausgelöst wird.

Die Erregung des Herzens geht normalerweise vom Sinusknoten aus, der die höchste Aktionspotentialfrequenz besitzt. Er ist ein ca. 25 mm langes und 2 mm breites Muskelgeflecht. Seine Muskelzellbündel gehen in die Muskelzüge des Vorhofmyokards über, das die Erregung dem Atrioventrikularknoten (AV-Knoten) zuleitet. Über das His-Bündel, die Tawara-Schenkel und letztlich die Purkinje-Fasern werden die Erregungen auf das Ventrikelmyokard übertragen. Dort breitet sich die Erregung von innen nach außen und von der Spitze zur Basis aus.

Ein denerviertes menschliches Herz weist eine Frequenz von 100 – 120 Schläge/Minute auf (intrinsische Herzfrequenz). Unter extrinsischer Steuerung in erster Linie durch das autonome Nervensystem wird seine Förderleistung dem Sauerstoffbedarf des Organismus angepasst.

Wie tierexperimentell und am Menschen nachgewiesen, fällt bei einer Blockade des Sympathikus die Herzfrequenz auf 50 Schläge/Minute in Ruhe. Bei einer Blockade des Parasympathikus steigt sie in Ruhe auf 150 Schläge/Minute. Folglich herrscht unter Ruhebedingungen sowohl ein Sympathikotonus als auch ein Parasympathikotonus, wobei in Ruhe der Parasympathikus dominiert. Dies wird vor allem bei trainierten Sportlern deutlich.<sup>18, 31, 72, 82, 102</sup>

Zur Anpassung der Herzaktivität an die aktuellen Bedürfnisse können vier Qualitäten der Herztätigkeit verändert werden :

1. **Chronotropie:** Häufigkeit (Frequenz) der Impulsbildung der Schrittmacherzellen
2. **Dromotropie:** Geschwindigkeit der Erregungsleistung v.a. im AV-Knoten
3. **Inotropie:** Kraft der Herzmuskelkontraktion bei einer gegebenen Vordehnung
4. **Bathmotropie:** Erregbarkeit im Sinne einer Veränderung der Reizschwelle.<sup>72</sup>

Die sympathische Innervation des Herzens entstammt einem Kerngebiet in der Medulla oblongata. Die Fasern ziehen in der intermediolateralen Säule des Rückenmarks in Richtung Herz. In den zervikalen Ganglien (= Ganglion stellatum) werden sie auf postganglionäre Fasern umgeschaltet und ziehen zur Vorhof- und Ventrikelmuskulatur sowie zum Sinus- und

AV-Knoten, wobei sie zusammen mit Fasern des Parasympathikus den Plexus cardiacus bilden. Der Transmitter ist hierbei vorwiegend Noradrenalin und der Rezeptor ein  $\beta(1)$ -Rezeptor.<sup>35, 36, 45</sup>

Die parasympathische Innervation des Herzens erfolgt durch den Nervus vagus. Er setzt sich aus Fasern seines Kerngebietes im Sulcus posterolateralis der Medulla oblongata und aus Fasern des Nervus solitarius zusammen. Er verlässt die Schädelhöhle durch das Foramen jugulare und verläuft am Hals in der Gefäßnervenscheide zusammen mit der A. carotis interna (bzw. communis) und der V. jugularis interna. Er gibt in diesem Bereich die Rami cardiaca cervicales superiores und inferiores ab, welche zum Plexus cardiacus und zu den Ganglia cardiaca ziehen. Im Gegensatz zum Sympathikus innerviert er neben dem Sinus- und AV-Knoten nur die Vorhofmuskulatur und nicht die Ventrikelmuskulatur. Der Transmitter der vagalen Innervation ist Acetylcholin und die Rezeptoren sind muskarinerge Acetylcholinrezeptoren am Herzen.<sup>35, 36, 45</sup>

Sympathikus und Parasympathikus verändern über ihre beiden Transmitter Noradrenalin und Acetylcholin den ATP-Gehalt der Sinusknotenzellen und variieren damit deren Schrittmacherfrequenz. Noradrenalin vermehrt und Acetylcholin senkt den ATP-Gehalt.

Der Sympathikus wirkt am Herzen positiv chronotrop, was durch ein Steilerwerden der diastolischen Depolarisation am Sinusknoten zustande kommt, und positiv dromotrop dadurch, dass das ausgeschüttete Noradrenalin die Anstiegssteilheit des Aktionspotentials am AV-Knoten beschleunigt, was die Überleitungszeit vom Vorhof auf den Ventrikel verkürzt. Des weiteren wirkt er positiv inotrop durch den Katecholamineinfluss. Unabhängig von der Vordehnung nimmt die Herzkraft zu, die Kraftentwicklung erfolgt schneller und das Maximum der Kraftsteigerung wird schneller erreicht. Insgesamt kommt es unter sympathischem Einfluss zu einer Verkürzung der Systole um bis zu 40 %. Es kann bei vorgegebenem enddiastolischen Volumen ein größeres Schlagvolumen ausgeworfen werden. Dies kommt durch eine cAMP-vermittelte Steigerung des transmembralen  $\text{Ca}^{2+}$ -Einstroms zustande, die durch Stimulation der Enzyme des Citratzyklusses eine Zunahme der oxidativen Phosphorylierung im Myokard bewirkt. Zusätzlich steigt auch die maximale Relaxationsgeschwindigkeit durch eine schnellere Wiederaufnahme des  $\text{Ca}^{2+}$  in das sarkoplasmatische Retikulum. Des weiteren bewirken die Katecholamine eine Zunahme der Tonisierung der Venen, was zu einem verstärkten venösen Rückfluss zum Herzen führt, der über den Bainbridge-Reflex (siehe unten) zu einer Zunahme der Herzfrequenz führt. Insgesamt führt also der sympathische Einfluss am Herzen zu einer Steigerung der Herzfrequenz und der Leistung.<sup>31, 72, 102</sup>

Der Parasympathikus dagegen vermindert die Schrittmacherfrequenz des Sinusknotens durch eine Steigerung der zellulären  $\text{K}^+$ -Permeabilität (negativ chronotrop), was dazu führt, dass die diastolische Depolarisation verlangsamt abläuft. Am AV-Knoten verursacht er ebenfalls eine Verminderung der Anstiegssteilheit des Aktionspotentials (negativ dromotrop). Er bedingt also eine Verminderung der Herzfrequenz.<sup>31, 72, 102</sup>

## 2.2.2 Modulationen der Herzfrequenzregulation

Sowohl Sympathikus als auch Parasympathikus -und damit auch die Herzfrequenz- werden durch verschiedene Afferenzen beeinflusst, um ihre Aktivität an die aktuellen Bedürfnisse -von Ruhe bis Höchstleistung- anzupassen. So verändern verschiedene Reflexe (Bainbridge-, Barorezeptor-Reflex, Frank-Starling-Mechanismus), Hormone (z.B. Katecholamine, Cortisol), Einflüsse vom ZNS (z.B. limbisches System, Hypothalamus) und Rezeptoren (Presso-, Mechano-, Chemorezeptoren) die Aktivitäten der beiden Gegenspieler und führen so zu Adaptation der Herzfrequenz an die aktuelle Situation.<sup>45, 59, 72, 102</sup>

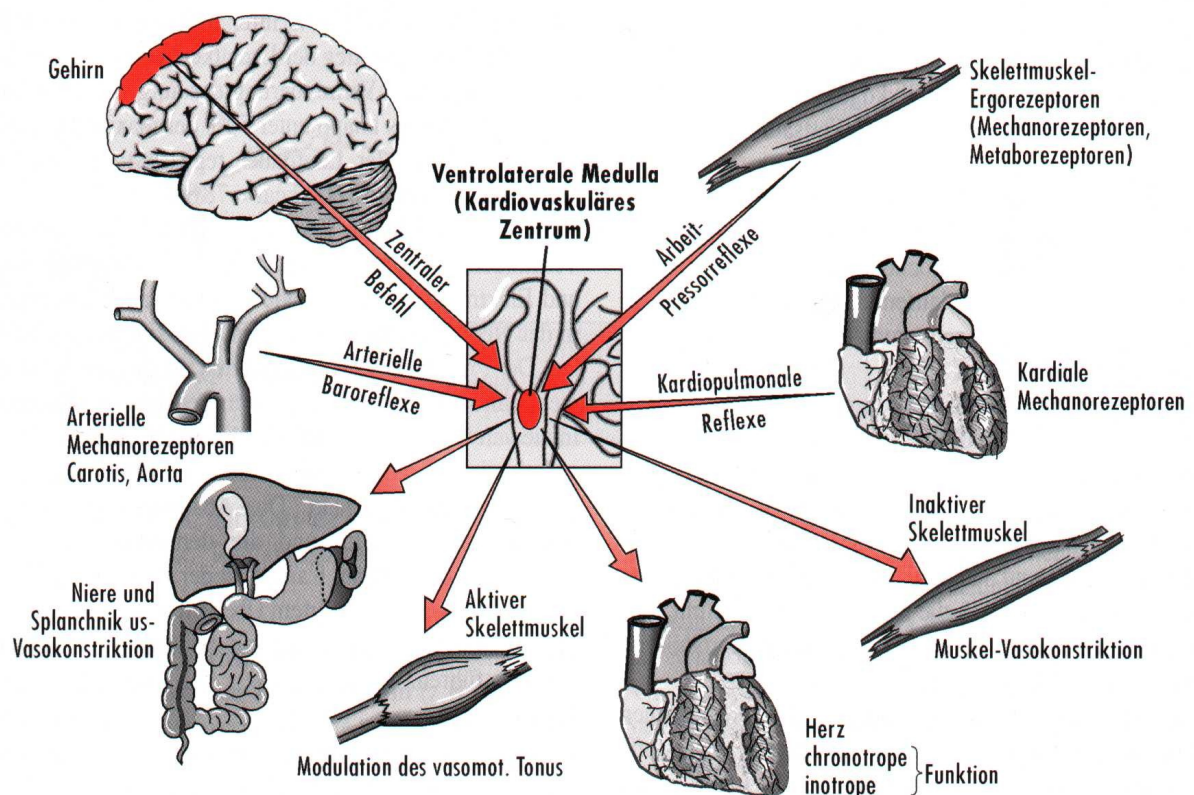


Abbildung 2.1: Darstellung der neuronalen Regulation des kardiovaskulären Systems bei dynamischer Arbeit großer Muskelgruppen (aus Hollmann, 2000<sup>59</sup>)

Gefühle, wie z.B. Furcht, können über das limbische System eine Sympathikusaktivierung auslösen, das Herz schlägt schneller.

Mechano- und Pressorezeptoren im Carotissinus, im Aortenbogen und den anderen großen Gefäßen führen bei einer Dehnung, z.B. durch hohen Blutdruck, zu einer Verminderung der sympathischen Aktivität. In Abhängigkeit von der Dehnung der Gefäßwände senden diese Rezeptoren über markhaltige und marklose Fasern Aktionspotentiale in die vagalen Zentren

des Gehirnstammes. Bei ansteigendem arteriellen Druck nimmt die Entladungsrate zu. Die im Kreislaufzentrum in der Medulla oblongata eintreffenden Impulse haben eine hemmende Wirkung auf die Neurone des efferenten sympathischen Systems und eine exzitatorische Wirkung auf die der parasympathischen Herznerven.

Im Epikard beider Vorhöfe befinden sich freie Nervenendigungen, die als Mechanorezeptoren fungieren. Diese Typ A- (Entladung systolisch) und Typ B-Rezeptoren (Entladung diastolisch) werden durch mechanische Dehnung des Myokards aktiviert. Die A-Rezeptoren reagieren hierbei auf aktive Anspannung und die B-Rezeptoren auf passive Dehnung. Ihre Afferenzen werden in der Medulla oblongata polysynaptisch mit sympathischen und parasympathischen Efferenzen verschaltet, so dass ein vegetativer Reflexbogen gebildet wird. Bei einer Dehnung der Vorhöfe kommt es über diesen Reflex zu einer Tachykardie. Eine Zunahme des venösen Rückstromes zum Herzen führt über den sogenannten Bainbridge-Reflex zu einer Herzfrequenzsteigerung,

Im Myokard beider Ventrikel finden sich, wenn auch in deutlich geringerer Anzahl, ebenfalls derartige Mechanorezeptoren. Diese beeinflussen ebenfalls die efferenten sympathischen und parasympathischen Nerven, wobei sie je nach Lokalisation im Myokard eine positiv oder negativ inotrope bzw. chronotrope Wirkung haben. Mechanorezeptoren der peripheren Muskulatur lösen über ähnliche Verschaltungsmechanismen einen Einfluss auf die chrono- und inotrope Reaktion während einer Belastung aus.

Im Interstitium der Skelettmuskulatur werden außerdem besondere metabolische Rezeptoren postuliert, welche auf Veränderungen der  $K^+$ -,  $H^+$ -, der Laktat- und Phosphatkonzentration sowie der Osmolarität ansprechen sollen. Ihre Impulse werden u.a. an das Kreislaufzentrum in der Medulla oblongata weitergeleitet. Von dort aus übertragen sympathische Nervenfasern stimulierende Impulse auf das Herz.

Im Glomus caroticum bzw. aorticum finden sich periphere Chemorezeptoren, welche bei Hypoxie und Hyperkapnie reflektorisch eine Bradykardie auslösen.

Im Hypothalamus lassen sich Thermorezeptoren nachweisen. Diese haben Verbindungen zu vegetativen Motoneuronen. Eine Zunahme der zentralen Temperatur bewirkt eine Steigerung des Sympathikotonus.

Den gleichen Effekt wie der Transmitter des Sympathikus, das Noradrenalin, hat auch das analoge, aus dem Nebennierenmark freigesetzte Hormon, Adrenalin. Es wird durch eine Sympathikusaktivierung auch bei stärkerer physischer Belastung freigesetzt und bewirkt eine Beschleunigung und Verstärkung der Herzaktion. Über diesen Mechanismus ist auch nach einer Durchtrennung beider Herznerven, z.B. nach einer Herztransplantation, noch eine Zunahme der Herzfrequenz unter Belastung möglich, welche aber verzögert verläuft und weniger ausgeprägt ist.<sup>5, 18, 43, 45, 72, 75, 96, 102</sup>

## 2.2.2 Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz, insbesondere auf den Maximalwert

### 2.2.2.1 Alter

In der Literatur geht man von einem Einfluss des Alters auf die maximale Herzfrequenz aus.<sup>31, 59, 80, 95</sup> Londree und Moeschberger (1984) errechneten, dass das Alter für 73 % der Variabilität der maximalen Herzfrequenz verantwortlich ist (95 % Konfidenzintervall von +/- 45 Schlägen/Minute). Nach Whaley et al. (1992) erklärte es nur 36 % (95 % Konfidenzintervall von +/- 42 Schläge/Minute)<sup>80, 115</sup>, nach Graettinger et al (1995) 33 % der Variabilität.<sup>40</sup> Prinzipiell ist man sich aber einig, dass eine negative Korrelation zwischen dem Alter und der maximalen Herzfrequenz bestehen, was bedeutet, dass mit zunehmendem Alter eine Abnahme der maximalen Herzfrequenz auftritt.<sup>3, 31, 59, 95</sup> Robinson (1938) war der erste, der diesen Zusammenhang beschrieb.<sup>61</sup>

Als Erklärung gibt es viele verschiedene Theorien. Astrand, Hollmann und Venrath sprechen von einem „Bremsvorgang bezüglich der Hfmax im Altersgang“. Er beginne in frühester Jugend und setze sich bis ins Greisenalter fort.<sup>57, 104</sup> Für diese Entwicklung können sie keine gesicherte Ursache angeben, aber sie stellten folgende Hypothese auf: „Mit zunehmendem Alter kommt es zu einer Physiosklerose, eventuell auch Atheromatose der Koronararterien. Sie schränken das koronare Leistungsvermögen und damit die sogenannte „Koronarreserve“ ein. Der Sauerstoffbedarf des Myokards steigt aber -abgesehen vom arteriellen Druckproportional mit einer Vermehrung der Herzschlagzahl an. Es wäre nun ein Schutzmechanismus der Natur vorstellbar, welcher entsprechend der abgenommenen Leistungsfähigkeit der Koronarien eine Bremsung der Pulsfrequenz über den Sinusknoten vornimmt. Das Myokard würde so vor einem Sauerstoffmangel unter Arbeit geschützt.“<sup>57</sup> Andere Autoren vermuten einen Elastizitätsverlust des Myokards, der verhindert, dass es im zeitlich-mechanischen Ablauf zu häufigeren Kontraktions- und Erschlaffungsabfolgen kommt. Wieder andere meinen, dass dieser Elastizitätsverlust auf eine Bindegewebsvermehrung und einer Abnahme der Ca<sup>2+</sup>-Myosin ATPase-Aktivität zurückzuführen ist.<sup>104</sup>

Die intrinsische Herzfrequenz ist -ähnlich wie die maximale Herzfrequenz- vom Alter abhängig.<sup>66, 73</sup> Jose und Collison (1970) konnten eine negative Korrelation zwischen der intrinsischen Herzfrequenz (=IHR) und dem Alter ( $IHR = 118 \times (0,57 \times \text{Alter})$ ) und eine schwache Korrelation zum Körpergewicht nachweisen.<sup>66</sup> Sie vermuten eine Abnahme der Leistungsfähigkeit des Sinusknotens im Alter.

Sicher ist jedoch, dass es zu Veränderungen im Schrittmachergewebe des Herzens, der Reagibilität der autonomen kardialen Reflexe sowie der Sensibilität der adrenergen Rezeptoren kommt.<sup>73</sup>

Nach Israel (1982) ist die Altersabhängigkeit der maximalen Herzfrequenz nur eingeschränkt gültig. Er geht davon aus, dass der Rückgang der maximalen Herzfrequenz mit zunehmendem Alter für ein funktionstüchtiges Herz untypisch sei. Dennoch stimmte er zu, dass die Dynamik der vegetativen Funktionen mit zunehmendem Alter träger wird. Im körperlichen Höchstleistungsalter reichten weniger als 20 s aus, um auf die maximale Herzfrequenz zu beschleunigen.



nigen, während es bei 50-Jährigen doppelt so lange dauere. Die Akzeleration der Herzfrequenz zu Beginn einer intensiven Belastung nehme im Alter ab, da auch die Schnelligkeit und die motorische Impulsgebung absinken würden.<sup>61</sup>

In den letzten Jahrzehnten haben zahlreiche Autoren aufgrund von Untersuchungsbefunden den Altersgang der maximalen Herzfrequenz mittels linearer Regression beschrieben bzw. Formeln zu ihrer Berechnung entwickelt (Tab.2.1).

*Tabelle 2.1: Übersicht über die Formeln zur Berechnung der maximalen Herzfrequenz verschiedener Studien*

<b>Maximale Herzfrequenz =</b>			
212 – 0,775 x Alter	(o.A.)		Robinson et al. (1939) <sup>94</sup>
211 – 0,922 x Alter	(o.A.)		Astrand et al. (1960) <sup>2</sup>
205 – 0,411 x Alter	(+/- 9)		Lester et al. (1968) <sup>78</sup>
197 – 0,556 x Alter	(o.A.)		Ellestad et al. (1970) <sup>30</sup>
210 – 0,662 x Alter	(+/- 14)		Bruce et al. (1974) <sup>16</sup>
207 – 0,64 x Alter	(+/- 10)		Froelicher et al. (1975) <sup>37</sup>
217 – 0,845 x Alter	(o.A.)		Cooper et al. (1977) <sup>25</sup>
216 – 0,88 x Alter	(+/- 11)		Sheffield et al. (1978) <sup>100</sup>
220 – Alter	(+/- 10)		Rost/Hollmann (1982) <sup>98</sup>
209 – 1,0 x Alter	(+/- 19)		Hammond et al. (1983) <sup>46</sup>
220 – 0,5 x Alter	(o.A.)		Lagerstrom/Graf (1986) <sup>76</sup>
210 – 0,8 x Alter	(o.A.)		Neumann et al. (1998) <sup>85</sup>
208 – 0,7 x Alter	(+/- 10)		Tanaka et al. (2001) <sup>106</sup>
223 – 0,9 x Alter	(o.A.)	(für Männer)	Spanaus et al. (2002) <sup>105</sup>
226 – Alter	(o.A.)	(für Frauen)	Spanaus et al. (2002) <sup>105</sup>

(In Klammern gesetzt findet sich die Standardabweichung oder o.A., wenn diese nicht bekannt ist)

Es zeigt sich eine große Varianz der berechneten Regressionsgeraden, was auf Unterschiede in den Probandenpopulationen, Belastungsprotokollen und vielen weiteren Faktoren zurückzuführen ist.<sup>45</sup>

Zur Trainingssteuerung haben sich in den letzten Jahren die Formeln „220 – Alter“ für Laufen (aus der Laufbandergometrie) und „200 – Alter“ für Fahrradfahren (aus der Fahrradergometrie) zur Einschätzung der maximalen Herzfrequenz durchgesetzt.<sup>70</sup> In neueren Studien zeigte sich aber, dass diese Formeln ungenau sind, da interindividuell große Schwankungen in der maximalen Herzfrequenz und in den sie beeinflussenden Faktoren vorhanden sind.<sup>106</sup> Tanaka et al. (2001) wiesen dementsprechend nach, dass die Formel „220 – Alter“ bei ihren

Probanden nur im Altersbereich um 40 Jahre mit der im Belastungstest erreichten maximalen Herzfrequenz weitestgehend übereinstimmt. Bei den jüngeren Probanden wurde die maximale Herzfrequenz mit der Formel überschätzt und mit zunehmendem Alter über 40 Jahren lagen die durch die Formel berechneten Werte unter den tatsächlich erreichten.<sup>106</sup>

Grimbey und Saltin (1966) wiesen in ihrer Studie einen direkten Zusammenhang zwischen der Ruhe- und der maximalen Herzfrequenz nach ( $p = 0,81$ ), der von Borsky et al. (1978) bestätigt wurde.<sup>13</sup> Whaley et al. (1992) zeigten in ihrer Studie, dass die Probanden mit einer höheren Ruheherzfrequenz eine höhere Herzfrequenz erreichten als die nach der dem Alter entsprechend berechneten Formel ( $220 - \text{Alter}$ ), während die mit einer niedrigeren Ruheherzfrequenz unter dem berechneten Wert blieben.<sup>115</sup>

#### **2.2.2.2 Geschlecht und anthropometrische Daten**

Neben der Altersabhängigkeit wurden wiederholt Einflüsse des Geschlechts und der anthropometrischen Daten (z.B. Körperlänge, -masse) überprüft. Ein Zusammenhang zwischen diesen Parametern und der maximalen Herzfrequenz war nicht nachzuweisen.<sup>3, 40, 80, 106</sup>

Hollmann kam 1963 in seiner Studie zu dem Schluss, dass die Differenzen in den höchsten Pulsfrequenzen zwischen beiden Geschlechtern so gering waren, dass sie vernachlässigt werden konnten.<sup>57</sup> Sheffield et al. (1978) beobachteten bei den Frauen ein stärkeres Absinken der maximalen Herzfrequenzen mit zunehmendem Alter als bei den Männern.<sup>100</sup>

Im Gegensatz dazu wiesen Hossack et al. (1982) nach, dass junge Männer eine signifikant höhere maximale Herzfrequenz hatten als die Frauen des gleichen Alters, während in höherem Alter die Frauen eine höhere maximale Herzfrequenz hatten. Sie erklärten es mit einer signifikant schnelleren Abnahme der maximalen Herzfrequenz der Männer mit im Altersverlauf.<sup>60</sup> Neumann et al. (1993) stellten im Gegensatz dazu fest, dass Frauen in jüngerem Alter eine höhere maximale Herzfrequenz hatten als Männer.<sup>86</sup>

Tanaka et al. (2001) zeigten in einer Metaanalyse von 351 Studien, dass das Geschlecht des Probanden keinen Einfluss auf die Höhe der maximalen Herzfrequenz hatte.<sup>106</sup>

Insgesamt geht man davon aus, dass das Geschlecht und die anthropometrischen Daten keinen Einfluss auf die maximale Herzfrequenz haben.

#### **2.2.2.3 Training**

Übereinstimmung besteht dahingehend, dass durch regelmäßiges körperliches Training die Zusammenhänge der Herzfrequenzregulation verändert werden können.

Die erregende Wirkung des Sympathikus - d.h. die Katecholaminausschüttung- bei Belastung und auch in Ruhe wird gemindert und die parasympathische Aktivität in Ruhe wird gesteigert.<sup>33</sup> Die zentrale Vagusaktivität wird z.B. durch periphere Impulse aktiviert.<sup>79</sup> Sowohl Mechano- als auch Chemorezeptoren der arbeitenden Muskulatur vermitteln neben Barorezeptoren der Gefäße diese Impulse.<sup>72, 79</sup> Ruhebradykardien von 30 – 40 Schlägen/Minute werden bei vorwiegend ausdauertrainierten Sportlern beobachtet. Regelmäßig sind niedrigere Herzfrequenzen bei gleicher submaximaler Belastung festzustellen, was durch eine vermin-

derte Sympathikusaktivität bedingt ist.<sup>10, 31, 47, 59, 84, 101, 114, 116</sup> Körperliches Training beeinflusst die Rezeptorendichte auf den Zielorganen.<sup>59</sup> Es kommt z.B. zu einer erhöhten kardiale Ansprechrate auf vagale Impulse. Laut Löllgen und Gerke (2001) ist auch die intrinsische Herzfrequenz (= die Herzfrequenz 5 Minuten nach einer Blockade der autonomen Herzfrequenz mit Propanolol und Atropin) bei Ausdauertrainierten geringer.<sup>79</sup> In früheren Untersuchungen konnten Jose und Collison (1970) dies allerdings nicht nachweisen.<sup>66</sup>

Einige Autoren verneinen einen Zusammenhang zwischen der Höhe der maximalen Herzfrequenz und dem Trainingszustand.<sup>3</sup> Laut Hollmann kann die maximal erreichbare Herzschlagzahl durch Training nicht verändert werden. Er geht davon aus, dass es durch Training zu einer Membranstabilisierung am Sinusknoten und zu einer Abnahme der Zahl und Affinität von sympathischen Rezeptoren kommt.<sup>59</sup> Auch Rost äußerte, dass die maximale Schlagzahl eine biologisch determinierte Größe sei, die im wesentlichen nur alters-, nicht aber geschlechts- oder trainingsabhängig sei.<sup>95</sup>

Cooper et al. (1977) und andere Autoren<sup>80</sup> wiesen dagegen nach, dass Probanden mit einem höheren Fitnesslevel eine höhere maximale Herzfrequenz hatten als solche ohne Training.<sup>25</sup> Israel erklärte diesen Zusammenhang damit, dass das Schlagvolumen beim Trainierten ansteigt, die Menge der zirkulierenden Katecholamine submaximal und maximal absinkt und die autonome Kontrolle des Herzens verändert wird. Folglich erreichen laut seiner Meinung ausdauertrainierte Sportler ein signifikant höheres Herzzeitvolumen, eine höhere Kontraktilität, und ihr Herzkreislaufsystem arbeitet folglich viel ökonomischer als das von Nichttrainierten.<sup>61</sup>

Andere Autoren, wie z.B. Londree und Moeschberger (1984), zeigten aber, dass Training die Höhe der maximalen Herzfrequenz vermindert und damit trainierte eine niedrigere maximale Herzfrequenz haben als Untrainierte.<sup>47, 78, 80</sup>

Einig ist man sich darüber, dass regelmäßiges Training dazu führt, dass trainierte ältere Menschen noch eine höhere maximale Herzfrequenz erreichen als Untrainierte.<sup>14</sup>

#### **2.2.2.4 Art der Belastung**

Die Art der Belastung (z.B. Fahrrad- oder Laufbandergometer) spielt eine wichtige Rolle, da die Masse der eingesetzten Muskulatur unterschiedlich groß ist.<sup>31, 80</sup> Bei der Fahrradergometrie wird vorwiegend die Beinmuskulatur beansprucht, in der es bei intensiven Belastungen zu einer Laktatproduktion kommt und somit der Muskel lokal übersäuert und ermüdet, bevor kardiale Leistungsgrenzen erreicht werden. Im Gegensatz dazu werden bei der Laufbandergometrie mehr Muskelgruppen einbezogen und somit verteilt sich die Laktatproduktion gleichmäßiger. Die anaerobe Schwelle wird erst bei höherer Leistung überschritten. Zudem kann das Blutlaktat besser genutzt und eine größere Pufferkapazität genutzt werden.<sup>4</sup> Folglich ist eine höhere Leistung mit einer stärkeren kardialen Ausbelastung und somit eine höhere maximale Herzfrequenz möglich. Die maximale Herzfrequenz ist dementsprechend bei der Laufbandergometrie höher als bei der Fahrradergometrie.<sup>14, 45, 59, 70, 80</sup>

Man geht davon aus, dass die Werte bei der Laufbandergometrie im Mittel um 10 – 15 Schläge/Minute höher liegen als bei der Fahrradergometrie.<sup>104</sup>

Bei Belastungsuntersuchungen sind weiterhin „Gewöhnungseffekte“ zu beachten. Sie spielen bei komplexen Bewegungsabläufen, die wie das Laufen auf einem Laufband koordinativ anspruchsvoller sind als das Fahren auf einem Radergometer, eine größere Rolle. Laufgeübte werden sich auf dem Laufband besser ausbelasten können als Laufungeübte. Erklärbar ist dies durch eine ökonomisierte Muskelaktivität. Bei Radfahren und allen einfachen Bewegungsabläufen sind derartige Effekte von untergeordneter Wertigkeit.

Von großer Bedeutung sind auch bei einfachen Bewegungsmustern in Testverfahren die durch Training erworbenen muskulären Adaptationen sowohl hinsichtlich der Muskelmasse wie auch in der Muskelfeinstruktur, dem Enzymbesatz und dem Substratgehalt. Gut trainierte Radfahrer werden sich auf einem Radergometer kardial voll ausbelasten können, nicht aber auf einem Laufband.

Israel (1982) wies bei Läufern nach, dass sie auf einem Fahrradergometer eine um bis zu 10 Schläge/Minute niedrigere Herzfrequenz erreichten als beim Laufen.<sup>61</sup>

Die Belastungsart muss also insbesondere bei Trainierten sportartangenehmer gewählt werden, um eine kardiale Ausbelastung mit maximaler Herzfrequenz zu erreichen.

#### **2.2.2.5 Körperhaltung**

Auch die Körperhaltung bei der Belastung spielt eine wichtige Rolle. Im Stehen ist der venöse Rückfluss zum Herzen geringer als im Sitzen und im Sitzen niedriger als im Liegen. Entsprechend ist die Herzfrequenz im Stehen höher als im Sitzen.<sup>28</sup> Der Faktor Körperhaltung bedingt, wie in mehreren Studien gezeigt, dass die submaximale und maximale Herzfrequenz auf dem Laufband höher ist als auf dem Fahrradergometer.<sup>45, 59</sup>

#### **2.2.2.6 Umgebungsfaktoren**

Die Umgebungsbedingungen während der Belastung haben einen Einfluss auf die maximale Herzfrequenz. Cunningham et al. (1965) zeigten, dass in der Höhe der Einfluss des Parasympathikus steigt. Gleichzeitig nimmt auch die Aktivität des Sympathikus und die Konzentration der Katecholamine im Blut zu, was letztendlich die Herzfrequenz beeinflusst.<sup>26</sup> Auch die Erhöhung der Umgebungstemperatur bewirkt eine Zunahme der Herzfrequenz.<sup>59</sup> Hollmann und Hettinger (2000) gehen davon aus, dass die Geschwindigkeit der Stoffwechselprozesse in der Zelle mit jedem Grad Temperaturerhöhung um 13% ansteigen, der Sauerstofftransport aus dem Blut in das Gewebe beschleunigt ist und die Herzaktivität intensiviert wird.<sup>59</sup> Laut Israel liegt die maximale Herzfrequenz dagegen unter Hitzebedingungen niedriger. Das wird seiner Meinung nach durch den Wärmestau im Körper verursacht, der infolge unzureichender Thermoregulation keine hohen motorischen Leistungen zulässt.<sup>61</sup>

### **2.2.2.7 Erkrankungen**

Bruce et al. (1974) und weitere Autoren führten aus, dass unabhängig vom Alter bestehende Erkrankungen die maximale Herzfrequenz aus verschiedenen Gründen beeinflussen.<sup>16</sup> Patienten mit einer chronischen Erkrankung sind in ihrer muskulären Leistungsfähigkeit reduziert. Sie brechen aufgrund muskulärer Ermüdung vor Erreichen der altersentsprechenden maximalen Herzfrequenz eine Belastung ab. Bei bronchopulmonalen Erkrankungen zwingt eine Dyspnoe zum im Hinblick auf die altersentsprechende Herzfrequenz vorzeitigen Abbruch. Bei chronischen kardialen Erkrankungen sind z.B. Angina-pectoris-Beschwerden bei einer KHK ohne oder mit EKG-Alterationen Gründe eine Belastung zu beenden. Hypertone und hypotone Blutdruckregulationsstörungen sind weitere Abbruchkriterien einer Belastung, bei der niedrigere maximale Herzfrequenzen als bei Gesunden erreicht werden. Sinusknotenerkrankungen, Reizbildungs- und Reizleitungsstörungen können bei Belastungen weitere Ursachen für erniedrigte oder überhöhte Herzfrequenzen bei Belastung sein. Dementsprechend ist immer die Ursache eines Belastungsabbruchs bei der Betrachtung einer maximal erreichten Herzfrequenz zu berücksichtigen. Folglich ist die erreichte Herzfrequenz auch ein Symptom des momentanen Gesamtzustandes des Probanden, der von Krankheiten, Trainingslevel und anderen Faktoren abhängt.<sup>19</sup>

### **2.2.2.8 Kardial wirksame Medikamente**

Die Auswirkungen von Medikamenten auf die Ruhe- und maximale Herzfrequenz sind vielfältig.<sup>31</sup> Digitalis wirkt negativ chronotrop, positiv bathmotrop und positiv inotrop.<sup>68</sup> Folglich kommt es auch zu einer Beeinflussung der Herzfrequenz während einer Belastung ähnlich wie bei  $\beta$ -Blockern, die die Leitungsgeschwindigkeit in den verschiedenen Abschnitten des Reizleistungssystems des Herzens verändern und die Kontraktilität vermindern.<sup>68</sup> Die senkende Wirkung von  $\beta$ -Blockern auf die maximale Herzfrequenz hatten Gullestad et al. (2001) in ihrer Studie nachgewiesen; Probanden unter Metoprolol hatten eine um 18 Schläge/Minute geringere Herzfrequenz als Probanden mit Placebo.<sup>42</sup> Nitrate dagegen bedingen einen reflektorischen Anstieg der Herzfrequenz durch ihrer dilatatorischen Wirkung auf die Kapazitätsgefäße.<sup>68</sup> Auch weitere kardiovaskulär wirksame Medikamente wie z.B. Diuretika, Antiarrhythmika, ACE-Hemmer,  $\text{Ca}^{2+}$ -Antagonisten haben einen positiven wie negativen Einfluss.<sup>31, 68</sup>

### **2.2.3 Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich**

Ein interessanter Aspekt bei der Analyse der Herzfrequenz unter Belastung ist ihr Verlauf in Relation zur Leistung. Brooke et al. (1968) waren die ersten, die einen sigmoidalen Verlauf der Herzfrequenzkurve bei Fahrradergometerbelastungen nachwiesen.<sup>15</sup> Nach bisherigen Erkenntnissen steigt die Herzfrequenz bei Beginn einer Belastung verzögert an. Danach erhöht sie sich bis ungefähr 90 % der maximalen Leistung linear (88 - 4% je nach Autor). Bei höherer Leistung wird der Anstieg geringer und nähert sich asymptotisch einem

Maximalwert, es wird ein sogenanntes „levelling off“ erreicht.<sup>20, 54, 67, 93, 107, 118</sup> Dieses Phänomen setzt voraus, dass mehr als 50 % der Muskelmasse maximal beansprucht werden. Das Verlassen der linearen Beziehung zwischen Herzfrequenz und Leistung wird als Abknickpunkt (Deflexionspunkt) bezeichnet, der optisch oder rechnerisch ermittelt werden kann.<sup>59</sup> In der Literatur wird zwischen einem linearen Verlauf der Herzfrequenz/Leistungskurve und einem Verlauf mit einem sogenannten „Herzfrequenzabknickpunkt (HAP)“ unterschieden<sup>59</sup> (Abb.2.2).

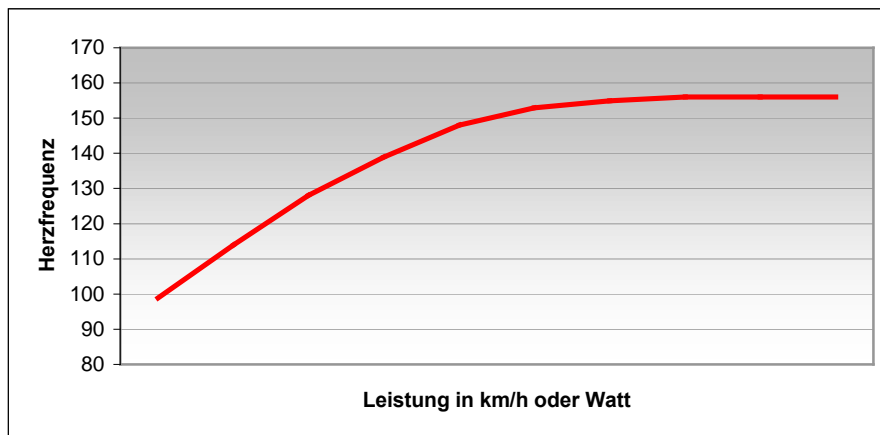


Abbildung 2.2: Theoretischer Herzfrequenzverlauf während einer Ergometrie im submaximalen und maximalen Arbeitsbereich

Conconi et al. (1982) behaupteten, dass dieses Phänomen des HAP als nichtinvasive Methode zur Bestimmung der anaeroben Schwelle genommen werden kann.<sup>23</sup> Dabei stützten sie sich auf die von Pendergast et al. (1979) gefundene Tatsache, dass oberhalb der anaeroben Schwelle die Zunahme des Sauerstoffverbrauches geringer ist, als es der Belastungsintensität entspricht.<sup>89</sup>

Er entwickelte den sogenannten „Conconi Test“.<sup>23</sup> Es handelt sich dabei um einen Feldtest, bei dem die Geschwindigkeit bei ansteigender Laufleistung mit der Herzfrequenz in Beziehung gesetzt wird.<sup>59</sup> Laut Conconi et al. (1992) soll die Geschwindigkeit am Abknickpunkt bzw. die Leistung reproduzierbar sein und mit der anaeroben Schwelle übereinstimmen.<sup>22</sup>

In mehreren anderen Studien konnte nicht bei allen Probanden dieser HAP nachgewiesen werden. Außerdem war die Reproduzierbarkeit eingeschränkt. Bei manchen Studien zeigte sich nur bei einem Teil der Probanden ein linearer Herzfrequenzverlauf. Die Häufigkeiten, in denen ein HAP darstellbar war, variierten von 100 % bis 46 %<sup>20, 23, 54, 67, 74, 88</sup> oder noch weniger. In manchen Studien hatte sogar kein Proband einen HAP, sondern alle Herzfrequenzverläufe waren linear.<sup>52, 54, 65, 92, 93</sup>

Heck und Hollmann (1992) konnten ebenfalls den HAP bei 19 % nicht und bei 10 % nur sehr schwer darstellen.<sup>49</sup> Außerdem wiesen sie nach, dass die „Conconi-Schwelle“ klar oberhalb der mittels Laktat bestimmten anaeroben Schwelle lag und bei verschiedenen Probanden nicht mit der gleichen Laktatkonzentration (3-11 mmol/l) übereinstimmte. Des weiteren stellten

Heck und Hollmann (1992) fest, dass die „Conconi-Schwelle“ hochsignifikant vom Belastungsanstieg, d.h. vom Protokoll, abhängig war.<sup>49</sup> Dies konnten auch andere Autoren nachweisen.<sup>34, 52, 54, 65, 74, 92, 93</sup> Pokan et al. (1999) vermuteten, dass Testprotokolle mit einem nicht linearen Anstieg der Geschwindigkeit oder der Zeit eher zu einem HAP führen als solche mit einem linearen Anstieg.<sup>92</sup>

Weitere Studien zeigten, dass das Auftreten eines HAP vom Alter des Probanden unabhängig war, da er bei Kindern<sup>6, 38</sup>, Jugendlichen<sup>6</sup>, Studenten<sup>54</sup> und Männern<sup>6</sup> im mittleren Altersbereich<sup>20</sup> nachgewiesen werden konnte.<sup>11</sup> Das gleiche galt für das Fitnesslevel des Probanden. Der HAP konnte bei Trainierten<sup>23, 65, 93, 107</sup> und Untrainierten<sup>19, 50, 74, 93</sup> nachgewiesen werden. Auch Patienten mit einer Herzerkrankung zeigten einen HAP.<sup>91</sup>

Die Reproduzierbarkeit des HAP hängt laut Conconi et al. (1996) und Pokan et al. (1999) vom Glykogenverbrauch ab. Laut Pokan et al. (1999) spielt auch der Wasserhaushalt eine Rolle, während Conconi et al. (1996) dem Ernährungszustand eine gewisse Bedeutung zuschreiben.<sup>24, 92</sup>

Bodner und Rhodes (2000) folgerten aus all diesen diskrepanten Ergebnissen, dass die metabolische Antwort auf eine Belastung zwar die Reabilität des HAP, nicht aber die Reproduzierbarkeit beeinflusst.<sup>11</sup>

Der einzige Parameter, zu dem letztlich in Ergometertests eine gewisse Abhängigkeit des HAP gezeigt werden konnte, war die myokardiale Funktion. Die linksventrikuläre Auswurf-fraktion erreicht bei Gesunden ihren höchsten Wert (mit weiterer Plateaubildung) mit der dominant anaeroben Energiebereitstellungsphase, und der Beginn dieses Leistungsbereichs fällt mit dem HAP zusammen.<sup>19</sup> In manchen Studien liegt die ventilatorische Schwelle genau im Bereich des HAP.<sup>111</sup> Dennoch wird empirisch der HAP-Frequenzwert bzw. die entsprechende Leistung zur Trainingssteuerung in Ausdauersportarten und bei Herz-Kreislaufkranken offenbar mit Erfolg verwendet.

Zu erwähnen ist, dass bei 6 % der Gesunden und relativ häufig bei Herzkranken nach Pokan/Hoffmann die Herzfrequenz/Leistungskurve nach einem HAP nicht abflacht, sondern ansteigt, was bei den Gesunden wie Kranken mit einer Abnahme der Auswurf-fraktion verbunden ist.<sup>90</sup> Im Vorgriff auf die Ergebnisse unserer Studie konnten wir ein derartiges Herz-frequenzverhalten weder bei den gesunden noch bei den „kranken“ Probanden beobachten. Insgesamt bleibt die physiologische Ursache für den HAP bisher noch weitestgehend unklar.<sup>14</sup>

### **3. Fragestellungen der Studie**

Wie aus der Literatur hervorgeht, ist eine Herzfrequenz unter physiologischer Belastung nur dann als maximaler physiologischer Grenzwert anzusehen, wenn bei Sinusrhythmus ein „levelling off“ zu beobachten ist. Dies setzt maximale muskuläre Beanspruchungen von mehr als 50 % der gesamten Muskelmasse voraus. Damit sind zum einen die Belastungsbedingungen, zum anderen der muskuläre Trainingszustand wesentliche Faktoren, die bestimmen, ob dieser Grenzwert erreicht wird. Weiterhin geht aus der Literatur eine eindeutige Altersabhängigkeit der maximalen Herzfrequenz hervor, wobei über die quantitative Regression mit steigendem chronologischen Alter und die absoluten Größenordnungen aber Divergenzen bestehen.<sup>31, 59, 80, 95</sup> So gut wie keine Studie erläutert, ob es sich dabei um einen physiologischen Grenzwert im o.g. Sinne handelte oder lediglich der gemessene Maximalwert in die Statistiken einging. Nur partiell wurden unterschiedliche Belastungsbedingungen in den Empfehlungen zur Berechnung einer „maximalen“ Herzfrequenz berücksichtigt.

Bei dieser unklaren Fakten- und unsicheren Datenlage war es das Anliegen unserer retrospektiven Studie an Leistungs-, Breiten- und Gesundheitssportlern im Altersbereich von 12 – 85 Jahren, für die gängigen Ergometriemethoden mit dem Fahrrad oder Laufband folgenden Fragestellungen nachzugehen:

1. Mit welcher Häufigkeit und unter welchen Bedingungen werden bei Fahrrad- und Laufbandergometrien maximale Herzfrequenzen im Sinn eines „levelling off“ erreicht?
2. In welcher Größenordnung bestehen Unterschiede zwischen diesem Grenzwert und den Herzfrequenzen am Abknickpunkt (HAP)?
3. Welche Faktoren beeinflussen die Höhe der physiologischen maximalen Herzfrequenz, die Herzfrequenz am HAP bzw. die maximale gemessene Herzfrequenz?
4. Inwieweit stimmen die mittels gängiger Formeln berechneten maximalen Herzfrequenzwerte mit tatsächlich im Leistungstest erreichten „Maximalwerten“ überein?
5. Welcher bei einer ergometrischen Belastung erreichte „maximale“ Herzfrequenzwert sollte als Grundlagen für Trainingsvorgaben verwendet werden?



## **4. Methode**

### **4.1 Studiendesign**

Die Studie wurde als retrospektive Analyse von ergometrischen Befunden der in der Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der TU München untersuchten Sportler geplant. Hierfür sollten zufällig aus dem alphabetisch sowie nach Geburtsjahrgang sortierten Archiv Akten von Männern und Frauen so gezogen werden, dass jeweils pro Geschlecht und Altersdekade 75 komplette Datensätze vorlagen. Sie sollten alle Parameter enthalten, von denen man einen Einfluss auf das Herzfrequenzverhalten und auf die maximale Herzfrequenz erwarten konnte. Pro Person wurden insgesamt 69 Parameter erhoben. Es wurde von jeder Person jeweils nur eine Belastungsuntersuchung in diese Studie aufgenommen.

Eingeschlossen wurden ausnahmslos stufenweise ansteigende Ergometrien auf dem Fahrrad im Sitzen oder auf dem Laufband in Form des Laufens bei konstanter Steigung von 1 %. Die Belastungsdauer pro Stufe sollte mindestens 3 Minuten betragen und die Gesamtdauer zumindest 12 Minuten.

Ausschlusskriterien waren das Tragen eines Herzschrittmachers, eine absolute Arrhythmie bei Vorhofflimmern sowie ein Abbruch der Diagnostik aus kardialen Gründen (z.B. ST-Hebungen, Angina Pectoris Beschwerden).

Ausgeschlossen wurden des weiteren Datensätze, die vor 1992 erhoben wurden. Der Untersuchungszeitraum der Probanden erstreckte sich von November 1992 bis September 2001.

### **4.2 Probanden**

In die Studie wurden insgesamt 435 Frauen und 455 Männer im Altersbereich von 12 bis 85 Jahren einbezogen. Das Gesamtkollektiv wurde geschlechtsspezifisch in jeweils 6 Altersgruppen von 10 Jahren (z.B. 21-30 Jahre) aufgeteilt, wobei die letzte Gruppe alle Personen über 60 Jahre enthielt (Tab.4.1). Dabei wurde eine Gruppenstärke von je 75 Patienten angestrebt. Leider standen von Frauen höheren Alters nicht ausreichend viele Leistungsdaten zur Verfügung.

Die jüngeren Altersgruppen setzten sich vorwiegend aus Kaderathleten und die mittleren Jahrgänge aus Freizeitsportlern zusammen. Im Altersbereich über 50 Jahre waren vor allem Herzpatienten vertreten, die aufgrund einer Herzerkrankung (z.B. Z.n. Herzinfarkt) regelmäßig an der Herzgruppe der TU-München teilnahmen.

Es wurden nur Daten aus Fahrrad- oder Laufbandergometerbelastungen verwendet; hierbei dominierten v.a. im höheren Altersbereich die Radbelastungen (Tab.4.1), die insgesamt 2/3 der Belastungen darstellten.

Tabelle 4.1: Gruppierungen und Ergometrieart des Gesamtkollektives

Alter	Frauen	Rad	Lauf	Männer	Rad	Lauf
11-20	76	34	42	77	44	33
21-30	75	32	43	76	30	46
31-40	75	54	21	77	42	35
41-50	76	48	28	75	45	30
51-60	74	60	14	75	60	15
> 60	59	56	3	75	68	7
<b>insgesamt</b>	<b>435</b>	<b>284</b>	<b>151</b>	<b>455</b>	<b>289</b>	<b>166</b>
<b>Prozent</b>		<b>65 %</b>	<b>35 %</b>		<b>64 %</b>	<b>36 %</b>

## 4.2.1 Anamnestische und klinische Daten

### 4.2.2.1 Ablauf der sportmedizinischen Untersuchung

Grundsätzlich liefen die Untersuchungen nach einem einheitlichen Schema ab. Der Proband wurde zuerst ausführlich befragt und klinisch untersucht. Dabei wurden Pulsfrequenz sowie der Blutdruck im Liegen und Stehen (nach der Methode von Riva und Rocci) gemessen und Blut abgenommen. Im Anschluss daran wurden Körperlänge und –masse sowie der Körperfettgehalt bestimmt. Danach wurde ein Ruhe-EKG geschrieben und bei Auffälligkeiten oder entsprechend der Vorschriften bei BAL-Athleten eine Echokardiographie durchgeführt.

Wenn keine Einwände gegen eine Belastung bestanden, wurde der Proband anschließend entweder auf dem Laufband- oder dem Radergometer im klimatisierten Messraum (20 ° C, 50 % rel. Luftfeuchtigkeit) stufenweise ansteigend belastet. Alle Belastungsuntersuchungen wurden unter ärztlicher Aufsicht durchgeführt. Durchgehend erfolgte ein EKG-Monitoring. Vor, während (in den letzten 30 Sekunden jeder Stufe) und nach der Belastung (eine, drei und fünf Minuten danach) wurde der Blutdruck gemessen, sowie Blut zur Laktatbestimmung aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen. Aus dem EKG wurde in Ruhe und zu den genannten Messzeiten, zumindest in den letzten 5 Sekunden jeder Stufe sowie direkt nach Beendigung der Belastungen und 1, 3 und 5 Minuten nach der Belastung die Herzfrequenz ermittelt. Fallweise konnte die Herzfrequenz aus der mitlaufenden EKG-Registrierungen auch zu anderen Zeitpunkten analysiert werden. Direkt nach der Belastung musste der Patient anhand der Borgskala (von 6 bis 20) den Grad seiner subjektiven Ausbelastung angeben und den Grund, der ihn zum Abbruch seiner Belastung gezwungen hatte, nennen.

#### 4.2.2.2 Anthropometrische Daten

Das Durchschnittsalter aller weiblichen Teilnehmerinnen betrug 39,5 Jahre und das der männlichen 40,4 Jahre (Tab.4.2 und Tab.9.1 – 9.12).

Tabelle 4.2: Anthropometrische Daten des Kollektivs, Mittelwerte und Standardabweichung

	Frauen					Männer				
	Alter (Jahre)	Größe (cm)	KG (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Fettant. (%)	Alter (Jahre)	Größe (cm)	KG (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Fettant. (%)
Mittelwert	39,5	166,8	62,9	22,6	22,2	40,4	178,3	78,0	24,5	15,6
Standard- abw.	16,9	6,4	9,7	3,4	6,3	17,4	6,9	11,4	3,2	6,6
Maximum	77	189	118	39	37	85	196	123	37	35
Minimum	12	151	33	14	4	13	158	46	17	4
Anzahl	435	435	435	435	412	455	455	455	455	432

In der Größe unterschieden sich die erfassten Personen nicht von der Altersnorm (Mittelwert Frauen: 167 cm; Männer: 178 cm)<sup>27</sup>, wobei sich wie in der Normalbevölkerung eine Größenabnahme ab dem 40. Lebensjahr zeigte (Tab.9.1 – 9.12). In Bezug auf das Gewicht waren die Probanden mit einem Mittelwert von 63 kg bei den Frauen und 78 kg bei den Männern etwas leichter als der Bundesdurchschnitt (Frauen 67,3 kg und Männer 81,8 kg).<sup>27</sup>

Der Bodymass Index (Körpergewicht/Körperlänge<sup>2</sup>) für die Frauen lag im Mittel bei 22,6 kg/m<sup>2</sup> und für die Männer bei 24,5 kg/m<sup>2</sup> (Tab.4.2) und war damit auch etwas niedriger als der Bundesdurchschnitt (Frauen 24,7 und Männer 26)<sup>27</sup>. Mit zunehmendem Alter zeigte sich erwartungsgemäß ein Anstieg der Werte.

Der Körperfettanteil wurde mit Calipermeter-Untersuchungen nach Jackson et al.<sup>62</sup> an 7 festgelegten Körperstellen (Trizeps, Subscapular, Achselhöhle, Brust, Suprailium, Abdomen, Oberschenkel) ermittelt. Anhand der Summe der einzelnen Messwerte und einem Vergleich mit Normogrammen können dabei unter Einbeziehung von Alter und Geschlecht Rückschlüsse auf den Körperfettanteil gezogen werden. Es ergaben sich zwischen Männern und Frauen deutliche Unterschiede, wobei die Werte der männlichen Teilnehmer in allen Altersgruppen bis maximal 9 % niedriger lagen als die der weiblichen (Tab.4.2).

#### 4.2.2.3 Medizinischer Status

Manifeste kardiovaskuläre Erkrankungen und kardiovaskulär wirksame Medikamente beeinflussen u.a. sowohl die Herzfrequenz als auch den Blutdruck. Deshalb wurde das Kollektiv auf diese Bedingungen überprüft.

### 4.2.2.3.1 Erkrankungen

Bei den registrierten Erkrankungen interessierten besonders die des kardiovaskulären Systems, der Schilddrüse und des Stoffwechsels (Tab.4.3).

Tabelle 4.3: Verteilung bestehender Erkrankungen im Gesamtkollektiv

Alter	Frauen							Männer						
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	gesamt	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	gesamt
Keine Erkrankung	68	62	50	51	30	12	272 (63 %)	74	70	62	37	23	15	281 (62 %)
Erkrankung	8	13	25	25	44	46	163 (37 %)	3	6	15	38	52	60	174 (38 %)
Herzinfarkt	-	-	-	-	2	6	8 (5 %)	-	-	-	3	5	12	20 (12 %)
Klappenfehler	1	2	-	2	3	6	14 (9 %)	-	-	-	1	1	4	6 (3 %)
KHK	-	-	-	3	1	7	11 (7 %)	-	1	-	5	7	15	28 (16 %)
Herzrhythmusstörung	1	1	7	1	9	2	21 (13 %)	1	1	2	3	6	3	16 (9 %)
Hypertonus	1	-	3	9	16	14	43 (26 %)	2	2	4	10	14	19	51 (29 %)
Kardiomyopathie	-	-	-	-	2	-	2 (1 %)	-	-	-	-	2	-	2 (1 %)
paroxsys. Tachykardie	-	1	3	1	2	-	7 (4 %)	-	1	1	1	1	1	5 (3 %)
Bradykardie/Hypotonie	-	2	2	1	-	1	6 (4 %)	-	-	-	1	-	2	3 (2 %)
Diabetes mellitus	-	1	1	1	-	2	5 (3 %)	-	-	1	-	1	1	3 (2 %)
Schilddrüse	-	3	6	2	1	1	13 (8 %)	-	-	1	2	1	1	5 (3 %)
Andere Organe	3	2	1	5	6	3	20 (12 %)	-	-	3	2	4	1	10 (6 %)
Hypercholesterin/Lipidämie	1	-	-	-	2	5	8 (5 %)	-	-	3	7	10	1	21 (12 %)
Asthma	1	1	2	-	-	-	4 (2 %)	-	1	-	3	-	-	4 (2 %)

Bei beiden Geschlechtern litt zum Untersuchungszeitpunkt laut Akten ungefähr ein Drittel der Probanden unter einer Erkrankung (Tab.4.3). Hierbei stand geschlechtsunabhängig der Hypertonus im Vordergrund (26 % der Frauen, 29 % der Männer), gefolgt von Herzrhythmusstörungen und „anderen Organleiden“ besonders bei den Frauen, dagegen KHK (16 %), Z.n. Herzinfarkt (12 %) und Hypercholesterinämie (12 %) bei den männlichen Teilnehmern. Es zeigte sich hierbei ein altersabhängiges Erkrankungsmuster. Bei den Frauen dominierten in den jüngeren Jahren nicht kardial bedingte Krankheiten. Ab 40 Jahren standen kardiale Erkrankungen im Vordergrund. Bei den Männern waren kardiale Erkrankungen ab dem jungen Erwachsenenalter häufig, ebenso eine Hypercholesterinämie.

Insgesamt zeigte sich wie erwartet ein Anstieg der Erkrankungen in Korrelation zum Alter. Während in den jüngsten Jahrgängen nur 10 % der Frauen bzw. 4 % der Männer unter einer Erkrankung litten, waren es bei beiden Geschlechtern in der Altersgruppe über 60 Jahren 80 %.

Dem wahrscheinlichen Einfluss einer kardiovaskulären Erkrankung (Herzinfarkt, Klappenfehler, KHK, Herzrhythmusstörungen, Kardiomyopathie, Hypertonus, Tachykardie und Bradykardie) auf die Herzfrequenz wurde insofern Rechnung getragen, als dass dieses Kollektiv im Folgenden zu „kardiovaskuläre Erkrankungen“ zusammengefasst und gesondert analysiert wurde.

Unter kardiovaskulären Erkrankungen litten zum Untersuchungszeitpunkt 26 % der Frauen bzw. 29 % der Männer (Tab.4.4). Von 4 % bei beiden Geschlechtern in der jüngsten Altersdekade stieg der Anteil der kardiovaskulär beeinträchtigten Probanden auf 61 % der Frauen bzw. 75 % der Männer in der ältesten Altersgruppe an.

*Tabelle 4.4: Verteilung bestehender kardiovaskulärer Erkrankungen im Gesamtkollektiv*

Alter	Frauen							Männer						
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	>60	ges.	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	>60	ges.
Keine Erk.	73	69	60	59	39	23	323	74	71	70	51	39	19	324
%	96	92	80	78	53	39	74	96	93	91	68	52	25	71
Kard. Erk.	3	6	15	17	35	36	112	3	5	7	24	36	56	131
%	4	8	20	22	47	61	26	4	7	9	32	48	75	29

Insgesamt waren nur 5 % der Probanden Raucher.

#### **4.2.2.3.2 Medikamente**

Hierbei wurde besonders auf kardiovaskulär wirksame Medikamente geachtet. Monotherapie wie Mehrfachtherapie mit  $\beta$ -Blockern, Antiarrhythmika, Diuretika und ACE-Hemmer wurden zusammengefasst.

Des weiteren wurden Lipidsenker, Antidiabetika sowie die Medikation anderer Organerkrankungen berücksichtigt, wobei Schilddrüsenmedikationen gesondert aufgeführt wurden. Weibliche Hormonpräparate (Kontrazeptiva oder Östrogene/Gestagen in der Menopause) wurden getrennt betrachtet.

Tabelle 4.5: Verteilung der Medikamenteneinnahmen des Gesamtkollektives

Alter	Frauen							Männer						
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	gesamt	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	gesamt
Keine Medikation	50	35	51	45	31	9	222 (51 %)	74	73	73	48	40	19	327 (72 %)
Mit Medikation	26	40	24	31	43	50	213 (49 %)	3	3	4	27	35	56	128 (28 %)
Kardiales Medikament	1	-	5	13	17	34	70 (33 %)	-	1	-	11	30	42	84 (66 %)
Lipidsenker	-	-	-	-	1	1	2 (1 %)	-	-	-	1	-	3	4 (3 %)
Antidiabetika	-	1	-	1	-	2	4 (2 %)	-	-	1	-	1	-	2 (2 %)
Asthma-Med.	3	1	-	-	-	-	2 (1 %)	-	-	-	3	1	-	4 (3 %)
Thyreostatika	3	5	5	6	9	3	31 (15 %)	3	2	1	9	1	7	23 (18 %)
Andere Organe	3	-	1	1	-	2	7 (3 %)	-	-	2	3	2	4	11 (9 %)
Hormone	18	33	13	10	16	8	97 (46 %)	-	-	-	-	-	-	-

Insgesamt nahmen zum Zeitpunkt der Untersuchung bei den Frauen ungefähr die Hälfte und bei den Männern ein Viertel der Probanden Medikamente ein (Tab.4.5). Die Medikationshäufigkeit nahm mit steigendem Alter zu. Bei den Teilnehmerinnen umfassten die Hormonpräparate 46 % der Medikamenteneinnahmen. In jüngeren Jahren spielte die Einnahme von Kontrazeptiva, in höherem Alter von Östrogen/Gestagen-Kombinationen eine wichtige Rolle. Als zweit- und dritthäufigste Medikamente fanden sich bei den Frauen eine Herzmedikation (33 %) und Thyreostatika (15 %). Bei den Männern stand die Herzmedikation (66 %) im Vordergrund, gefolgt von den Thyreostatika (18 %) und Präparaten für „andere Organerkrankungen“. Bei beiden Geschlechtern ließ sich eine Altersabhängigkeit der Medikation erkennen, d.h. im höheren Alter standen Herzmedikamente im Vordergrund, während bei den jüngeren Probanden geschlechterabhängig Hormonpräparate bzw. andere Organtherapeutika überwogen.

Da für die Fragestellungen dieser Studie vor allem die kardiovaskulär wirksamen Medikamente von Interesse waren, wurde im Verlauf der Arbeit das Kollektiv, das unter einer kardiovaskulär wirksamen Medikation stand, gesondert betrachtet. Darunter fielen die oben genannten kardialen Medikationen. Probanden mit einer thyreostatischen Medikation waren im Gesamtkollektiv gleichmäßig verteilt und wurden nicht gesondert betrachtet.

Insgesamt standen 16 % der Frauen bzw. 18,5 % der Männer zum Zeitpunkt der Leistungsbeurteilung unter einer kardial wirksamen Medikation (Tab.4.6). Wie erwartet zeigte sich hierbei ein Altersverlauf. Während sich in den jungen Jahrgängen kaum Probanden mit einer Einnahme von kardial wirksamen Medikamenten fanden, waren es in den ältesten Jahrgängen 58 % der Frauen und 56 % der Männer.

Tabelle 4.6: Verteilung der kardiovaskulär wirksamen Medikamenteneinnahmen des Gesamtkollektives

Alter	Frauen							Männer						
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	ges.	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	6>0	ges.
Keine Med.	75	75	70	63	57	25	365	77	75	77	64	45	33	371
%	99	100	93	83	77	42	84	100	99	100	85	60	44	81,5
Kard. Med.	1	-	5	13	17	34	70	-	1	-	11	30	42	84
%	1	-	7	17	23	58	16	-	1	-	15	40	56	18,5

#### 4.2.2.4 Sportanamnese

Aufgrund des bekannten Einflusses von körperlichem Training auf den Organismus wurden die sportlichen Aktivitäten der Patienten detailliert erfasst. Es wurde registriert, seit wann eine Person trainierte und wie viele Stunden pro Woche, sowie in welcher Sportart sie aktiv war. Weiterhin wurde unterteilt, ob es sich um einen Leistungssportler (Kader) handelte (Frauen 25 %; Männer 21 %; Tab.4.7), der einem systematischen und kontrollierten Training nachging oder um einen Hobbysportler, oder aber ob der Proband keinen Sport betrieb oder nur als Freizeitbeschäftigung.

Tabelle 4.7: Kaderathleten im Gesamtkollektiv

Alter	Frauen		Männer	
	kein Kader	Kader-athlet	kein Kader	Kader-athlet
11-20	25	51	24	53
21-30	37	38	46	30
31-40	63	12	67	10
41-50	72	4	74	1
51-60	73	1	75	0
> 60	59	0	72	3
gesamt	328 = 75%	107 = 25%	358 = 79%	97 = 21%

Die Kadersportler fanden sich v.a. im jüngeren Altersbereich, in dem sie ungefähr 2/3 der erfassten Personen darstellten. Im höheren Altersbereich waren einige Probanden vertreten, die Sportarten wie Schießen oder Eisstockschießen in einem Kader betrieben.

Die Probanden der Studie waren im Mittel seit 6 bis 8 Jahren sportlich aktiv und trainierten durchschnittlich bei den Frauen 8 und bei den Männern 11 Stunden in der Woche (Tabb.4.8 und 4.9).

Der Anteil der Nichtsportler war gering: 7 % der Frauen und knapp 1 % der Männern.

Tabelle 4.8: Anzahl der Trainingsjahre der Trainierenden

Alter	Frauen						Männer					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	8,8	7,8	7,3	6,2	5,9	5,5	6,4	9,6	9,6	7,8	7,3	5,6
Standardabw.	3,7	4,3	5,4	5,2	3,5	5,1	3,7	4,5	6,7	5,6	6,2	4,0
Minimum	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Maximum	18	16	25	25	14	24	15	20	30	20	30	20
gesamt	64	54	54	51	43	37	68	63	55	51	57	55

Tabelle 4.9: Trainingsumfang in Stunden/Woche der Trainierenden

Alter	Frauen						Männer					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	10,1	10,5	7,4	8,4	7,0	7,3	9,8	13,4	10,1	9,2	12,9	10,8
Standardabw.	7,2	8,5	5,7	7,6	4,8	9,0	6,8	8,6	7,2	7,3	13,9	12,5
Minimum	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1
Maximum	30	33	24	26	18	30	35	36	32	30	45	53
gesamt	65	59	40	26	14	15	68	62	59	44	37	30

Bei den Trainingsjahren zeigte sich eine große Spannweite der Werte (1 - 24 Jahre bei den Frauen bzw. 30 Jahre bei den Männern). Auffallend war, dass die Anzahl der Trainingsjahre im Mittel mit dem Alter abnahm, während zumindest bei den Männern die Anzahl der Trainingsstunden in der Woche auch im Alter noch sehr hoch lag. In jeder Altersgruppe gab es vergleichbar große Unterschiede von 1 bis z.T. über 30 Stunden Training pro Woche.

Die Unterteilung nach Sportarten erfolgte nach Ausdauer-, Kraftsport, technischen Sportarten und Hobbysport, wenn keinem regelmäßigen Training nachgegangen wurde und Koronarsport, bei Teilnahme an der Herzgruppe der TU-München (Tabb.4.10 und 4.11).

Tabelle 4.10: Verteilung der betriebenen Sportarten bei den Frauen

Alter	Kein Sport	Ausdauer	Mittel/Sprint	Spiel	Kraft	tech. Sport	Mehrkampf	Schießen	Hobby/Student	Koronarsport
11-20		4	24	15	7	18		5	3	
21-30	2	5	9	16	8	10		3	22	
31-40	3	16	2	2	3	5		1	43	
41-50	7	8	1			4			54	2
51-60	11	5				1			53	4
> 60	6								29	23
gesamt	29 = 7%	38 = 9%	35 = 8%	33 = 8%	18 = 4%	39 = 9%	-	9 = 2%	204 = 47%	29 = 7%



Tabelle 4.11: Verteilung der betriebenen Sportarten bei den Männern

Alter	Kein Sport	Ausdauer	Mittel/Sprint	Spiel	Kraft	tech. Sport	Mehrkampf	Schießen	Hobby/Student	Koronarsport
11-20		14	7	7	17	19	5	3	10	
21-30		15	5	15	8	19	1	2	33	
31-40		18				1			52	4
41-50		18					1		52	7
51-60	2	10			1	1			54	7
> 60	2	5				2			43	23
gesamt	4 = 1%	80 = 18%	12 = 3%	22 = 5%	26 = 6%	42 = 9%	7 = 2%	5 = 1%	245 = 54%	41 = 9%

Den größten Teil der Probanden machten die Hobbysportler bzw. Sportstudenten mit 50 % aus, gefolgt von den Ausdauersportlern mit 18 % der Männer und 9 % der Frauen. Die Herzgruppensportler stellten ungefähr 8 % der Teilnehmer dar. Die restlichen Sportarten waren zu ungefähr gleichen Anteilen von 9 % vertreten.

## **4.3 Gemessene Parameter in Körperruhe**

### **4.3.1 Kardiale Parameter**

Im Rahmen der klinischen sportmedizinischen Untersuchung wurden der Blutdruck im Liegen und Stehen, der Ruhepuls sowie das Herzvolumen bestimmt und ein Ruhe-EKG angefertigt.

Die Ruheblutdruck- und Ruhepulswerte wurden stets erst nach längerem Liegen (> 5 Minuten) nach einer Minute im Stehen gemessen. Das Ruhe-EKG wurde nach 5 Minuten ruhigem Liegen geschrieben. Daraus wurde die Ruheherzfrequenz entnommen (Tabb.9.22 – 9.33).

### **4.3.2 Humorale laborchemische Parameter**

Von den im Rahmen der sportmedizinischen Untersuchung erhobenen Blutparametern wurden folgende Werte des kleinen Blutbildes ausgewählt: Erythrozytenzahl, Hämoglobin und Hämatokrit. Diese erschienen im Zusammenhang mit der Herzfrequenz wegen ihrem teilweise vorhandenen Einfluss auf die Fließeigenschaften des Blutes und ihrer Variabilität durch körperliches Training wichtig. Des weiteren wurde die Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit (= BSG) nach einer Stunde berücksichtigt (Tabb.9.34 – 9.41).

Auch atherosklerotische Risikofaktoren, wie Cholesterin- und Triglyzeridwert, Blutglukose, Harnsäure sowie Kreatinkinase und  $\gamma$ -GT wurden ausgewertet. Dabei war zu berücksichtigen, dass wegen der späteren Ergometrie alle Patienten am Morgen vor der Blutabnahme ein kleines Frühstück zu sich genommen hatten (Tabb.9.42 – 9.53).

## **4.4 Leistungsdiagnostik**

### **4.4.1 Modus der ergometrischen Belastung**

Wie erwähnt wurden nur Fahrrad- und Laufergometerbelastungen ausgewertet.

Sämtliche Ergometrien wurden in einem klimatisierten Messraum (20° C, 50 % rel. Luftfeuchtigkeit) durchgeführt. Die Belastungsform wurde je nach Alter, Trainings- und Gesundheitszustand variiert. Man war bei der Auswahl des Testgerätes und des Belastungsprotokollens darauf bedacht, entsprechend der ausgeübten Sportart und Leistungsfähigkeit des Probanden eine sportartgerechte und aussagekräftige Belastungsform zu wählen. Bei der Laufbelastung wurde immer eine Steigung von 1 % Prozent vorgegeben, die dem Laufen auf einer Kunststoffbahn entspricht. Die initiale Belastungsintensität in km/h oder Watt wurde entsprechend der eingeschätzten Leistungsfähigkeit individuell variiert. Frauen begannen bei der Laufbandergometrie überwiegend mit 6 km/h, z.T. aber auch mit 8 km/h. Männer zu mehr als zwei Dritteln mit 8 km/h. Bei der Fahrradbelastung betrug die Anfangsbelastung bei beiden Geschlechtern zu über 60 % 50 Watt. Überwiegend Frauen und Probanden im höheren Alter begannen oft mit 25 Watt. Nur Leistungs- oder Radsportler hatten Initialbelastungen über 50 Watt (Tabb.9.13 und 9.14).

Die stufenweise Steigerung der Belastungsintensität in km/h erfolgte bei der Laufbelastung überwiegend um 2 km/h bei beiden Geschlechtern. Bei der Radbelastung wurde bei den Frauen überwiegend um 25 Watt gesteigert, nur 25 % erhöhten um 50 Watt. Bei den Männern betrug das Belastungsinkrement zur Hälfte der Fälle 50 Watt. Der Rest verteilt sich auf eine Steigerung um 25 Watt und seltener auf 30 bzw. 20 Watt, was v.a. bei Triathleten bzw. Radsportlern den Vorgaben der Verbände entsprach (Tabb.9.15 und 9.16).

Auch die Dauer der einzelnen Stufen wurde auf das Ziel der Untersuchung individuell abgestimmt. Bei über 90 % der Belastungen lag eine Stufendauer von 3 Minuten vor. Ausnahmen stellten auch hier Leistungs- und Radsportler dar (Tabb.9.17 und 9.18).

Die Gesamtdauer der Belastung wurde registriert (Tab.9.19). Sie betrug bei den Frauen im Mittel 15, bei den Männern 19 Minuten.

Nach Beendigung der Belastung mussten die Probanden anhand der Borgskala<sup>12</sup> den subjektiven Grad der Anstrengung bewerten (Tabb.9.78 – 9.89) und ihren Abbruchgrund nennen. Vorwiegend wurde aufgrund einer peripheren Ermüdung der Beine oder wegen Atemnot abgebrochen (Tabb.9.20 und 9.21). Probanden, bei denen eine kardiale Symptomatik zum vorzeitigen Abbruch zwang, wurden in diese Studie nicht aufgenommen.

## 4.4.2 Ausgewertete maximale Daten der Ergometrie

### 4.4.2.1 Gemessene maximale Herzfrequenz

Aus dem während der Ergometrie bis direkt nach dem Abbruch registrierten EKG wurde bei Sinusrhythmus der Maximalwert der Herzfrequenz ermittelt.

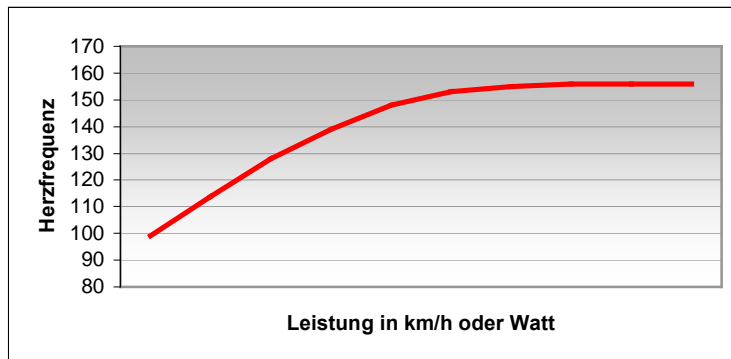
Dieser Wert wird im weiteren Verlauf als „maximale gemessene Herzfrequenz“ bezeichnet.

### 4.4.2.2 Maximale und submaximale Herzfrequenzen auf Grund des Verhaltens in Relation zur Belastung

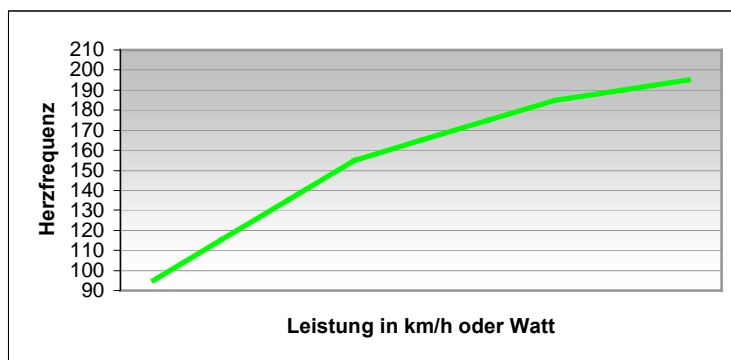
Im Hinblick auf die in der Einleitung angeführte Problematik, ob eine gemessene maximale Herzfrequenz als physiologischer Grenzwert oder als submaximale Messgröße zu definieren ist, erfolgte eine visuelle Beurteilung des Herzfrequenzverlaufs in Relation zur steigenden Leistung. Drei Typen ließen sich abgrenzen (Abb.4.1):

1. Einem zunächst linearen Anstieg folgte eine asymptotische Abflachung, die schließlich in ein Plateau überging. Es wird von einem „**levelling off**“ gesprochen.<sup>59</sup> Es handelt sich um den bei voller kardialer Ausbelastung zu erwartenden Verlauf der Herzfrequenz bei bis zur muskulären Erschöpfung ansteigender Belastung großer Muskelgruppen. Die Herzfrequenz bei „levelling off“ wurde im Folgenden als maximale Herzfrequenz bezeichnet („**levelling off**“).
2. Einem zunächst linearen Verlauf, folgte eine **asymptotische** Abflachung der Herzfrequenz ohne eine Plateaubildung (**asymptotisch**).
3. Der Herzfrequenzverlauf war bis zum Abbruch der Belastung **linear**. Die maximal erreichte Herzfrequenz entsprach dem maximal gemessenen Wert (= **linear**).

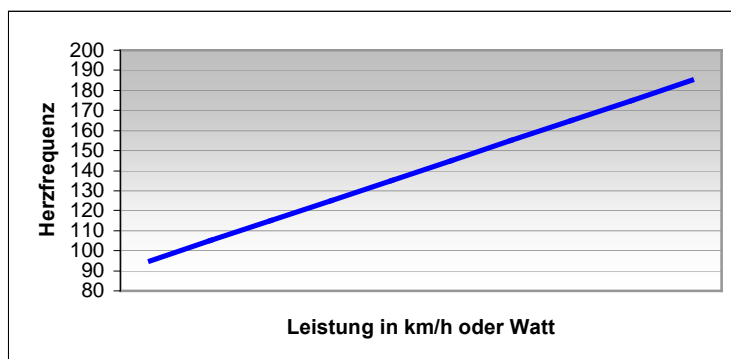
In der folgenden Abbildung sind die verschiedenen Verlaufskurven graphisch dargestellt:



Typ 1: “levelling off”



Typ 2 : “asymptotisch”



Typ 3: “linear”

Abbildung 4.1: Charakteristika des Herzfrequenzverhaltens unter ansteigender ergometrischer, erschöpfender Belastung

Entsprechend dieser drei Charakteristika wurden die Ergometriebefunde aufgeteilt und waren Grundlage für verschiedene Analysen.

Zusätzlich wurde visuell ausgewertet, bis zu welcher Herzfrequenz sich ein linear zur Leistung ansteigender Herzfrequenzverlauf zeigte. Dieser Wert wurde als „maximale lineare Herzfrequenz“ (=  $H_{fmax\ linear}$ ) bezeichnet. Bei den Probanden mit generell nur linear ansteigenden Herzfrequenzverlauf entsprach der Wert der „maximalen linearen Herzfrequenz“ dem

Wert der „maximal gemessenen Herzfrequenz“. Bei den beiden anderen Verlaufstypen entsprach er dem Herzfrequenzwert, an dem die Linearität verlassen wurde.

#### **4.4.2.3 Maximale Leistung**

Als „maximale Leistung“ wurde die Leistung der höchsten, zeitlich entsprechend der Vorgabe voll bewältigten Belastungsstufe in Watt bzw. km/h definiert. Wurde die Dauer der höchsten Stufe nicht wie vorgesehen durchgehalten, wurde zur Leistung der vorletzten Stufe ein zeitproportionaler Anteil des letzten Belastungsinkrements addiert.

Um vergleichbare Leistungswerte zu erhalten, wurden die Daten der Laufbandergometrie in km/h mit folgender Formel der Firma Jaeger in Watt umgerechnet:

$$\text{Watt} = (V \times \text{BW} \times (2.11 + G \times 0,25) - 0.6 \times \text{BW} - 151) / 10.5$$

BW	=	Körpergewicht in kg
V	=	Geschwindigkeit in km/h
G	=	Steigung in %

Sowohl absolute wie auf die Körpermasse bezogene Leistungswerte wurden verwendet (Tabb.9.54 – 9.77).

#### **4.4.2.4 Maximallaktat**

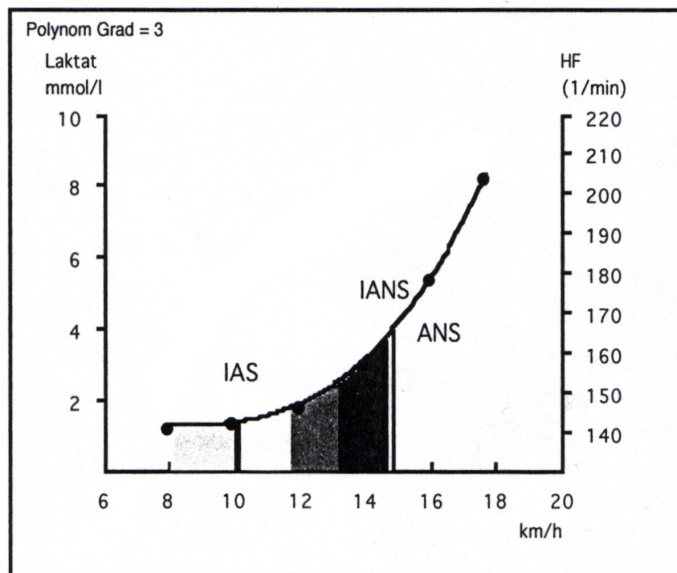
Als „Maximallaktat“ wurde der höchste bei den o.g. Zeitpunkten bestimmte Laktatwert bei den Ergometrien definiert. Der höchste Wert wurde bei Abbruch der Belastung oder eine Minute nach der Belastung gemessen. Der höhere von beiden Werten wurde verwendet.

Der Maximallaktatwert wurde als objektiver metabolischer Parameter zur Beurteilung der Ausbelastung der Probanden verwendet (Tabb.9.78 – 9.89).

### **4.4.3 Ausgewertete submaximale Daten der Ergometrie**

#### **4.4.3.1 Laktatleistungskurve**

Zur Beurteilung der muskulären energetischen Leistungsfähigkeit der Probanden wurden neben maximalen Leistungsdaten auch die aus Laktatleistungsbeziehungen herangezogen. Die Laktatleistungskurve (= LLK) ergibt sich aus der Zuordnung der am Ende der einzelnen Belastungsstufen gemessenen Blutlaktatkonzentrationen zu den entsprechenden Belastungsintensitäten. Der exponentielle Kurvenverlauf lässt sich computergestützt mit Hilfe eines Polynoms dritten Grades zuverlässig beschreiben. Ein Beispiel zeigt die Abb.4.2:



Ergometrie Ver.1.0.1E\_PPC, 8/00, wolfgang.haas@ebe-online.de

#### Legende:

Ergebnisse: Die %-Werte von Leistungen beziehen sich auf die Maximalleistung. Die Sauerstoffaufnahme wird aus der Leistung nach folgenden Formeln berechnet:

Laufbelastung:  $VO_2 = 3,166 \times \text{km/h}$

Fahrradbelastung:  $VO_2 = 300 + 13 \times \text{Watt}$

Trainingssteuerung: Die %-Werte beziehen sich hier auf die IANS (= 100%)

Regenerativ bis 75% der IANS oder bis zur IAS, Extensiv 75-90%,

Intensiv 90-95%

Tempodauerlauf 95-105%,

ANS = Anaerobe Schwelle bei 4mmol Laktat.

IANS = Individuelle Schwelle (tan  $\alpha = 1$  an der Laktatleistungskurve)

IAS = Individuelle aerobe Schwelle berechnet als Minimum von  $f(\text{Laktat/Leistung})$

AS = aerobe Schwelle bei 2 mmol Laktat.

Abbildung 4.2 :Laktatleistungskurve

Zur Leistungsbewertung wurden sowohl der Gesamtverlauf als auch definierte Punkte bzw. Bereiche der LLK herangezogen. Als sogenannte aerobe Schwelle wurde von Mader et al. diejenige Leistung definiert, ab der ein Anstieg der Laktatleistungskurve im niedrigsten Intensitätsbereich feststellbar ist.<sup>81</sup> Sie ist mit der ventilatorischen Schwelle identisch. Kindermann nahm diese empirisch bei 2 mmol Laktat (entsprechen etwa 50 – 65 %  $VO_2\text{max}$ ) an. Als sogenannte anaerobe Schwelle wurde diejenige Leistung definiert, bei der Laktatproduktion und Laktatelimination gerade im Gleichgewicht (=steady state) stehen. Sie wurde von Mader empirisch bei 4 mmol/l Laktat bzw. ungefähr 70 - 80 %  $VO_2\text{max}$  angesetzt.<sup>81</sup> Kindermann et al. sprechen von einem „aerob-anaeroben Übergang“ zwischen der aeroben und der anaeroben Schwelle.<sup>71</sup> In diesem Bereich mit Intensitäten unter der anaeroben Schwelle bleibt während einer Belastung auch bei längerer Dauer die Blutlaktatkonzentration konstant, d.h. es liegt ein steady state zwischen Produktion und Verwertung vor.

Am Anfang der 80er Jahre begann man bei diesen Schwellenkonzepten individuelle Unterschiede zu berücksichtigen. Man erkannte, dass die gleiche Blutlaktatkonzentration bei verschiedenen Personen nicht unbedingt der selben metabolischen Situation entspricht. So wurden verschiedene Modelle für die Berechnung einer individuellen aeroben und anaeroben Schwelle entwickelt. In der Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin wird für die individuelle aerobe Schwelle das Prinzip Minimum der Beziehung Laktat zu Leistung angewendet. Darunter versteht man, dass die individuelle aerobe Schwellenleistung durch den kleinsten Quotienten der beiden Parameter Laktat/Leistung zu charakterisieren ist. Die individuelle anaerobe Schwelle wird mit der sogenannten Tangenten-Methode berechnet. Simon et al. setzten die Leistung, bei der an der LLK tang  $\alpha = 1$  ist, als die individuelle anaerobe

Schwelle an.<sup>103</sup> Diese Methode wird auch an der Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin verwendet.<sup>21</sup>

Mit Hilfe dieser vier Schwellenleistungen kann absolut und in Relation zur individuellen Maximalleistung die aerobe energetische Leistungsfähigkeit beurteilt werden. Die mit den Leistungen korrespondierende Herzfrequenzen (Abb.4.3) dienen zur Trainingssteuerung in Ausdauersportarten unabhängig von maximalen wie auch immer bestimmten Herzfrequenzen. Im Weiteren wird häufig auf Schwellenleistung, -herzfrequenzen und Laktatwerten an den individuellen Schwellen zurückgegriffen.

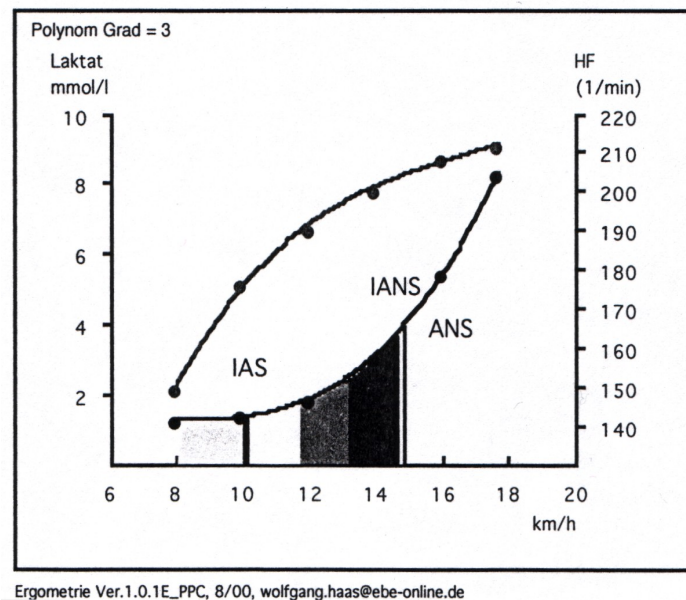


Abbildung 4.3: Laktatleistungskurve mit Herzfrequenz

#### 4.4.3.2 Herzfrequenzen an den Schwellen

Sie wurden computergestützt nach einem institutseigenen Rechenprogramm (OA Dr. Haas) aus der parallel zur Laktatleistungskurve erstellten Kurve der Herzfrequenz/Leistungsbeziehung berechnet. Es wurden die Werte an der aeroben und individuellen aeroben sowie an der anaeroben und individuellen anaeroben Schwelle ermittelt (Tabb.9.90 – 9.101).

Zusätzlich wurde beim gesunden Probandengut der Prozentsatz dieser Werte von der maximalen gemessenen Herzfrequenz berechnet, um als Grundlage für einige Korrelationsberechnungen zu dienen (Tabb.9.147 – 9.148)

#### 4.4.3.3 Leistungswerte an den Schwellen

Computergestützt wurden die Leistungswerte an den vier genannten Schwellen berechnet. Die Leistungswerte der Laufbandergometrie wurden wie die Maximalleistung mit der Formel der Firma Jaeger in Watt umgerechnet (Tabb.9.54 – 9.77).

Ähnlich wie bei den Herzfrequenzwerten an den verschiedenen Schwellen wurde für das gesunde Kollektiv auch der Prozentsatz der Werte an den 4 Schwellen in Bezug auf die maximale Leistung berechnet, um als Grundlage für einige Korrelationsberechnungen zu dienen (Tabb.9.145 – 9.146).

#### **4.4.3.4 Laktatwerte an den Schwellen**

Neben dem Maximallaktat wurden noch die Laktatwerte an der individuellen aeroben und anaeroben Schwelle mit in die Auswertung aufgenommen (Tabb.9.78 – 9.89).

#### **4.4.3.5 Blutdruckwerte während und nach der Belastung**

Der Blutdruck konnte während der Belastung nur bei der Fahrradergometrie nach Riva-Rocci bestimmt werden. Eine Blutdruckmessung beim Laufbandlaufen würde nicht nur den Probanden beeinträchtigen, sondern würde auch zu kaum verwertbaren Daten führen. Messungen in Belastungspausen spiegeln den Belastungsgrad nicht wider.

Am Radergometer erfolgte die Messung immer in den letzten dreißig Sekunden einer Stufe. Die Werte in den Minuten eins, drei und fünf nach der Belastung wurden bei beiden Ergometrieformen gemessen. In die Studie wurden neben den Ruheblutdruckwerten nur die Werte bei 50, 100 und 150 Watt auf dem Fahrrad und generell eine Minute nach Beendigung der Belastung aufgenommen (Tabb.9.102 – 9.117).

#### **4.4.3.6 Weitere berechnete bzw. bewertete Größen**

##### ***4.4.3.6.1 PWC-Werte und PWC-Werte pro Kilogramm***

Eine weitere berechnete Größe stellen die PWC-Werte dar. Darunter versteht man die „Physical Working Capacity“, d.h. die einer bestimmten Herzfrequenz zuzuordnenden Leistung (in Watt) bzw. Geschwindigkeiten (in km/h). In dieser Studie wurden bei den Herzfrequenzen 130, 150 und 170 Schläge/min anhand der Herzfrequenz/Leistungsbeziehung die entsprechenden Werte errechnet und als Parameter PWC130, PWC150 und PWC170 aufgenommen. Dadurch lässt sich eine Vergleichbarkeit für die Leistungsfähigkeit der Probanden in Bezug auf ihr Herzfrequenzverhalten erreichen. Zu bemerken ist, dass sich die Anzahl der Probanden in Bezug auf die drei Werten unterschied, da ein Teil schon zu Beginn der Belastung höhere Herzfrequenzen als 130 bzw. 150 Schläge/Minute hatte und wiederum ein anderer Teil aus verschiedenen Gründen eine Herzfrequenz von 170 Schläge/Minute nicht erreichte.

Diese Watt-Werte wurden, um eine noch objektivere Vergleichsgröße zu erhalten, auf das Körpergewicht der Probanden bezogen (Tabb.9.118 – 9.141).



#### ***4.4.3.6.2 Arbeitsherzfrequenz***

Des weiteren wurde die Arbeitsherzfrequenz des gesunden Kollektivs, die sich aus der Differenz der maximalen gemessenen Herzfrequenz und der Ruheherzfrequenz ergibt, als Ausdruck für die kardiale Leistungsfähigkeit berechnet (Tabb5.48 – 5.50 und Tabb.9.142 – 9.144).

## 4.5 Verwendete Geräte

Folgende Geräte wurden für die Ergometrie verwendet:

- Fahrradergometer Ergometrics 900 der Firma Ergoline, 72375 Bitz (jährlich geeicht)
- Lamellenlaufband Modell Ergo EXLG 55 sp der Firma Woodway, 79576 Weil am Rhein (jährlich geeicht)

sowie bei älteren Untersuchungen

- Laufband Typ Laufergotest der Firma Jaeger, 97204 Höchberg bei Würzburg (jährlich geeicht).
- Picker Cardioscript CD 6000 der Firma Picker-Schwarzer International, 81245 München (Belastungs-EKG bei den Radergometrien)
- Mortara Instrument X-Scribe, Color-Stress-Training System der Firma Mortara, 45136 Essen (Belastungs-EKG der Laufbandergometrien)

Bei den Untersuchungen in Körperruhe wurden

- Picker Cardioscript CD 6000 + Applicard der Firma Picker-Schwarzer International, 81245 München (Ruhe-EKG)
- AU3 Partner Ultrasonographie der Firma Esaote Biomedica, 85375 Neufahrn (Echokardiographie)

eingesetzt.

Die Labordiagnostik wurde mit

- RA 2000 der Firma Bayer Technikon Diagnostics in Leverkusen (Metabolite)
- Sysmex K100 der Firma Sysmex Medical Electronics GmbH Deutschland aus 22848 Norderstadt (Blutbild)
- ESAT 6651 Lactat 6060 der Firma Eppendorf, 22339 Hamburg (Laktat in den älteren Untersuchungen)
- Biosen 5040 der EKF Industrie-Elektronik GmbH, 39179 Barleben (Laktat in den neueren Untersuchungen)

durchgeführt.

## 4.6 Statistik

Nach der Erfassung aller Parameter in tabellarischer Form wurde die Auswertung der Daten computergestützt mit den Programmen SPSS (11,5 for windows) und Excel (Microsoft) durchgeführt. Es wurden vorwiegend quantitative (z.B. Herzfrequenz), aber auch einige qualitative Merkmale (z.B. Geschlecht) erfasst. Letztere dienten vorwiegend der Möglichkeit zur Gruppen- bzw. Kategorienbildung.

Aufgrund der Selektionierung des Probandenguts konnte nach graphischer Prüfung keine Normalverteilung vorausgesetzt werden.

Alle metrischen Daten wurden mit deskriptiver Statistik behandelt. Es wurden von allen Parametern die absoluten und relativen Häufigkeiten, die Mittelwerte mit Standardabweichung berechnet und Minima wie Maxima angegeben. Die Prüfung auf Signifikanz von z.B. Mittelwertsunterschieden einzelner Untergruppen (z. B. Frauen vs. Männer) wurde mit Hilfe des parameterfreien U-Test nach Mann-Whitney-Wilcoxon durchgeführt. In dieser Arbeit wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit „p“ für die Signifikanz der Mittelwertsunterschiede nach der Einteilung von Renner wie folgt beurteilt:

$P \geq 0,05$  = nicht signifikant

$P \leq 0,05$  = schwach signifikant (gekennzeichnet mit \*)

$P \leq 0,01$  = signifikant (gekennzeichnet mit \*\*)

$P \leq 0,001$  = hoch signifikant.

Die Güte des Zusammenhanges zwischen zu überprüfenden Parametern wurde mit der Spearman Korrelationsanalyse geprüft und durch den Korrelationskoeffizienten „r“ beschrieben. Bei der Berechnung der Korrelationen wurde das  $\alpha$ -Signifikanzniveau auf  $p < 0,05$  festgelegt.<sup>32, 117</sup>

Wir danken Frau Dr. G. Schubert-Fritschle, IBE, Großhadern, für ihre Beratung.

## **5. Ergebnisse**

Die Fragestellungen der Arbeit betrafen vor allem die gesunden, kardiovaskulär voll belastbaren Probanden der Studie. Dementsprechend lag das Hauptinteresse der Arbeit auf diesem Teil des Kollektives. Nach der Darstellung der allgemeinen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen erhobenen Parametern des Gesamtkollektives diente bei den weiteren Überlegungen vorwiegend dieses „gesunde“ Probandengut als Grundlage.

Das Gesamtkollektiv setzte sich aus 890 Probanden, 435 Frauen und 455 Männern zusammen, das „gesunde“ Probanden-Kollektiv, das zum Zeitpunkt der Untersuchung unter keiner kardiovaskulären Erkrankung litt und keine kardiovaskulär wirksame Medikation einnahm, aus 627 Probanden- 312 Frauen und 315 Männern .

Des weiteren wurde auch auf die Zusammenhänge der erhobenen Parameter bei den kardiovaskulär chronisch kranken Probanden des Kollektives und bei denjenigen Probanden des Kollektives, welche unter einer kardiovaskuläre Medikation standen, in gesonderten Unterpunkten eingegangen.

### **5.1 Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich**

Wie im physiologischen Hintergrund beschrieben, wird bei Gesunden und muskulär normal Leistungsfähigen das maximale Herzvolumen bei körperlicher dynamischer Beanspruchung durch die maximale Herzfrequenz limitiert. Von einem physiologischen Grenzbereich ist auszugehen, wenn die Herzfrequenzregulation nicht mehr einer linear ansteigenden Belastung folgt. Man kann also annehmen, dass ein physiologischer Grenzwert erreicht wurde, wenn bei steigender Belastung keine weitere Entwicklung der Herzfrequenz feststellbar ist („levelling off“).

In unserer Studie interessierte, ob und wie häufig bei unserem Kollektiv auf Grund des Herzfrequenzverlaufes von einer Limitierung durch eine nicht mehr oder nur begrenzt steigerbare Herzfrequenz auszugehen war. Des weiteren sollte der Einfluss individueller Variablen (Geschlecht, Alter, anthropometrische Daten, sportliche Aktivität, physiologische Messdaten und laborchemische Parameter), der Einfluss der Art der Ergometrie (Rad oder Laufband) sowie der Leistungsfähigkeit des Probanden auf die Art des Herzfrequenzverlaufes im maximalen Arbeitsbereich untersucht werden.

## 5.1.1 Qualitative Betrachtung

Bei der Betrachtung des Herzfrequenzverlaufes im submaximalen-maximalen Arbeitsbereich wurden, wie bereits in der Methodik erläutert, drei Typen des Herzfrequenzverlaufes unterschieden: der streng **linear** ansteigende Typ, der Typ mit einem angedeuteten „levelling off“ (= **asymptotisch**) und der Typ mit einem klaren „**levelling off**“.

Zunächst soll die prozentuale Verteilung dieser drei Herzfrequenzverlaufs-Typen dargestellt werden.

### 5.1.1.1 Gesamtkollektiv

Im Gesamtkollektiv zeigten 3/5 der Probanden einen linearen Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich und je ungefähr 1/5 einen asymptotischen Verlauf bzw. einen mit einem „levelling off“ (Tab.5.1).

Tabelle 5.1: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Gesamtkollektivs

Gesamt-kollektiv	levelling off	asymptotisch	linear
n	146	198	544
%	17	22	61

### 5.1.1.2 Geschlechts- und Altersabhängigkeit

Bei der geschlechtsbezogenen Analyse ergab sich ungefähr die gleiche Verteilung wie im Gesamtkollektiv (Tab.5.2).

Tabelle 5.2: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Gesamtkollektivs differenziert nach Geschlecht

Gesamt-kollektiv	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	78	94	261	68	104	283
%	18	22	60	15	23	62

Wenn man die Häufigkeitsverteilung zusätzlich nach den Altersdekaden differenzierte, sanken mit zunehmendem Alter die Häufigkeiten der asymptotischen Herzfrequenzverläufe und die derjenigen mit dem „levelling off“ kontinuierlich ab, während diejenigen mit linearem Verlauf kontinuierlich anstiegen (Tab.5.3).

Tabelle 5.3: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Gesamtkollektivs differenziert nach Geschlecht und Alter

Alter/ Verlauf	Frauen						Männer					
	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	> 60	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	> 60
levelling off n	16	16	18	11	11	6	16	16	10	10	10	6
%	21	21	24	15	15	11	21	21	13	13	13	8
asymptotisch n	27	28	14	13	6	6	22	24	19	19	11	9
%	36	37	19	17	8	11	29	32	25	25	15	12
linear n	33	31	43	52	57	45	39	36	48	46	54	60
%	43	41	57	68	77	78	51	47	62	61	72	80

In den ersten beiden Altersdekaden hatten im maximalen Arbeitsbereich ungefähr 1/5 der Probanden einen Herzfrequenzverlauf mit „levelling off“, ungefähr 3/10 einen asymptotischen Verlauf und 2/5 der Frauen bzw. 1/2 der Männer einen linearen Herzfrequenzverlauf. In den ältesten Dekaden wiesen je 1/10 einen asymptotischen Verlauf oder einen mit einem „levelling off“ und 4/5 einen linearen Herzfrequenzverlauf auf. Auffällig war, dass sich bei den Frauen in den beiden jüngsten Altersgruppen die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Herzfrequenzverlaufstypen etwas ausgeglichener darstellten.

### 5.1.1.3 Rad- und Laufbandergometrie

Betrachtet man Fahrrad- und Laufbandergometrie getrennt, zeigte sich ein leichter Unterschied zwischen den Ergometrieformen. Bei der Fahrradergometrie hatten bei beiden Geschlechtern ungefähr 2/3 der Probanden einen linearen Herzfrequenzverlauf und jeweils 1/6 einen asymptotischen bzw. einen mit einem „levelling off“ (Tab.5.4).

Bei der Laufbandergometrie war das Verhältnis ausgeglichener - 1/5 hatten einen Herzfrequenzverlauf mit „levelling off“, 3/10 der Frauen und 1/4 der Männer einen asymptotischen und ungefähr die Hälfte einen linearen Herzfrequenzverlauf.

Tabelle 5.4: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Gesamtkollektivs differenziert nach Geschlecht und Art der Belastung

	Rad						Lauf					
	Frauen			Männer			Frauen			Männer		
Gesamtkollektiv	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	48	49	185	37	64	188	30	45	76	31	40	95
%	17	17	66	13	22	65	20	30	50	19	24	57

Auch bei dieser Differenzierung zeigte sich eine gewisse Altersabhängigkeit.

Bei der Fahrradergometrie hatten Frauen in der jüngsten Altersgruppe zur Hälfte einen linearen Herzfrequenzverlauf und ungefähr je ein Viertel einen asymptotischen Verlauf bzw. einen mit einem „levelling off“ (Tab.5.5). Mit zunehmendem Alter stieg die Häufigkeit der linearen Herzfrequenzverläufe auf ungefähr 80 % an, während die anderen beiden Herzfrequenzverläufe nur noch zu ungefähr 10 % auftraten.

Bei den Männer im jüngeren Altersbereich wiesen 1/5 der Probanden einen Herzfrequenzverlauf mit einem „levelling off“ und je 2/5 einen asymptotischen bzw. linearen auf. Mit zunehmendem Alter traten auch hier Umverteilungen zu linearen Herzfrequenzverläufen bis auf 80 % auf.

Tabelle 5.5: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs während der Fahrradergometrie des Gesamtkollektivs differenziert nach Geschlecht und Alter

Alter/ Verlauf	Frauen						Männer					
	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	> 60	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	> 60
levelling off n	8	6	15	6	7	6	9	5	4	7	7	5
%	23	19	28	12	12	11	21	17	9	16	12	7
asymptotisch n	9	11	11	9	4	5	14	12	10	14	7	7
%	26	34	20	19	7	9	32	40	24	31	12	10
linear n	17	15	28	33	49	43	21	13	28	24	46	56
%	50	47	52	69	82	77	48	43	67	53	76	82

Bei der Laufbandergometrie ist zu beachten, dass ab dem 31. Lebensjahr die Anzahl der Probanden deutlich abnahm.

Ingesamt stieg auch hier die Anzahl der Probandinnen mit einem linearen Herzfrequenzverlauf mit zunehmendem Alter an (Tab.5.6). Bei den jüngeren männlichen Probanden hatten die Hälfte einen linearen Herzfrequenzverlauf und jeweils ungefähr ein Viertel einen asymptotischen bzw. einen mit einem „levelling off“. Mit Ausnahme der Probanden zwischen dem 41. und 50. Lebensjahr blieb die Häufigkeitsverteilung über die Jahre relativ konstant.

Tabelle 5.6: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs während der Laufbandergometrie des Gesamtkollektivs differenziert nach Geschlecht und Alter

Alter/ Verlauf	Frauen						Männer					
	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	> 60	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	> 60
levelling off n	8	10	3	5	4	-	7	11	6	3	3	1
%	19	23	14	18	29	-	21	24	17	10	20	14
asymptotisch n	18	17	3	4	2	1	8	12	9	5	4	2
%	43	40	14	14	14	-	24	26	26	17	27	43
linear n	16	16	15	19	8	2	18	23	20	22	8	4
%	38	37	72	68	57	-	55	50	57	73	53	57



### 5.1.1.4 Untergruppen

Um Einflüsse des Gesundheitsstatus bzw. manifester kardiovaskulärer Erkrankungen, des Trainings und von kardiovaskulär wirksamen Pharmaka auf die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Herzfrequenzverlaufstypen zu analysieren, wurde das Kollektiv nach einigen anamnestischen und objektiven Merkmalen aufgeteilt und orientierend untersucht, ob sich zwischen diesen Untergruppen Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung nachweisen ließen.

#### 5.1.1.4.1 Gesundes Kollektiv

Unter dem gesunden Probandenkollektiv wurden in diesem Unterpunkt alle Probanden zusammengefasst, die unter keiner kardiovaskulären Erkrankung litten, keine kardiovaskulär wirksamen Pharmaka einnahmen und keinem Leistungskader angehörten.

Dieses gesunde Kollektiv setzte sich aus 438 Personen zusammen- 213 Frauen und 225 Männer.

Davon zeigte sich bei knapp über der Hälfte ein linearer Herzfrequenzverlauf, ungefähr bei einem Viertel ein asymptotischer Verlauf und bei einem Fünftel ein „levelling off“ (Tab.5.7).

Tabelle 5.7: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des gesunden Probandenkollektivs

Gesamt-kollektiv	levelling off	asymptotisch	linear
n	77	104	257
%	18	24	58

Bei geschlechtsbezogener Betrachtung zeigte sich bei beiden Geschlechtern die gleiche Häufigkeitsverteilung (Tab.5.8).

Tabelle 5.8: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des gesunden Probandenkollektivs differenziert nach Geschlecht

Gesamt-kollektiv	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	36	56	127	41	54	130
%	17	23	59	18	24	58

Differenziert nach Alter zeigte sich eine Abhängigkeit, wobei in den jüngeren Altersgruppen die Häufigkeitsverteilung bei den Frauen etwas ausgeglichener war als bei den Männern (Tab.5.9). Ab der dritten Altersdekade nahm bei beiden Geschlechtern der Prozentsatz der

Probanden mit einem linear ansteigenden Herzfrequenzverlauf zu. Dieser Anstieg war bei den Frauen mit maximal 82 % höher als bei den Männern mit maximal 68 %.

Tabelle 5.9: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des gesunden Probandenguts differenziert nach Geschlecht und Alter

Alter/ Verlauf	Frauen						Männer					
	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	> 60	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	> 60
levelling off n	15	14	11	8	4	3	16	16	9	7	5	5
%	20	20	19	14	10	17	22	22	13	14	14	31
asymptotisch n	27	26	14	11	3	1	21	22	16	16	6	1
%	37	38	24	20	8	6	28	31	23	32	18	6
linear n	31	29	33	36	32	14	37	33	45	27	23	10
%	43	42	57	66	82	77	50	47	64	54	68	63

Bei der Aufteilung des Probandenguts nach der Art der Ergometrie zeigte sich bei beiden Belastungsarten ungefähr die gleiche Verteilung wie beim gesamten gesunden Probandenkollektiv, wobei bei der Fahrradergometrie die Anzahl der linearen Herzfrequenzverläufe auf 2/3 anstieg (Tab.5.10).

Tabelle 5.10: Häufigkeitsverteilung der Herzfrequenzverläufe des gesunden Probandenkollektivs differenziert nach Geschlecht und Art der Belastung

	Rad						Lauf					
	Frauen			Männer			Frauen			Männer		
Gesamt- kollektiv	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	22	28	88	22	29	77	14	22	39	19	25	53
%	16	20	63	17	23	60	19	29	52	20	26	55

#### 5.1.1.4.2 Kaderzugehörigkeit der Probanden

Da Kadersportler einem gezielten, auf Höchstleistung ausgelegten Training nachgehen, war zu erwarten, dass sie bei einer Ergometrie ihre Leistungsfähigkeit voll ausloten. Es war deshalb von Interesse, ob sich dementsprechend das Herzfrequenzverhalten der Kadersportler im maximalen Arbeitsbereich von dem des gesunden weniger trainierten Kollektives unterschied. Hinzuzufügen ist, dass der Großteil der untersuchten Kaderathleten unter 30 Jahren alt war und folglich bei der Altersabhängigkeit nur die ersten drei Altersstufen dargestellt wurden.

Das Kollektiv setzte sich aus 186 gesunden Kadersportlern -98 Frauen und 66 Männer-zusammen. Diese waren im Mittel 22,7 Jahre alt.

Unabhängig vom Geschlecht der Probanden hatte die Hälfte der Kadersportler einen linearen Herzfrequenzverlauf (Tabb.5.11 und 5.12), ungefähr ein Fünftel einen „levelling off“-Verlauf und ein Drittel einen asymptotischen Verlauf.

Tabelle 5.11: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs der Kaderathleten

Gesamt-kollektiv	levelling off	asymptotisch	linear
n	36	60	93
%	19	32	49

Tabelle 5.12: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs der Kaderathleten differenziert nach Geschlecht

	Frauen			Männer		
Gesamt-kollektiv	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	19	32	48	17	28	45
%	19	32	48	19	31	50

Diese Verteilung blieb über die ersten drei Altersdekaden relativ konstant (Tab.5.13).

Tabelle 5.13: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs der Kaderathleten differenziert nach Geschlecht und Alter

Alter/ Verlauf	Frauen			Männer		
	11- 20	21- 30	31- 40	11- 20	21- 30	31- 40
levelling off n	10	7	2	11	4	2
%	21	18	18	22	15	20
asymptotisch n	16	12	4	14	11	3
%	33	32	36	28	41	30
linear n	23	19	5	26	12	5
%	47	50	45	51	44	50

Die Häufigkeitsverteilung war bei den Frauen unabhängig von der Art der Belastung. (Tab.5.14). Bei den Männern dagegen war die prozentuale Häufigkeit der linearen Herzfrequenzverläufe bei der Laufbandergometrie um 13 % höher als bei der Fahrradergometrie, während die der asymptotischen Herzfrequenzverläufe um 19 % niedriger war.

Tabelle 5.14: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs der Kaderathleten differenziert nach Geschlecht und Art der Belastung

Gesamt- kollektiv	Rad						Lauf					
	Frauen			Männer			Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	8	12	20	8	19	21	11	20	28	9	9	24
%	20	30	50	17	40	44	19	34	47	21	21	57

### 5.1.1.4.3 Kardiovaskuläre Erkrankungen

Um den Einfluss einer kardiovaskulären Erkrankung auf den Herzfrequenzverlauf im submaximalen-maximalen Arbeitsbereich zu klären, wurden diese Patienten getrennt betrachtet. Wie in der Methodik erwähnt, wurden hierunter nur direkt das Herz betreffende Erkrankungen zusammengefasst. Da die Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung größtenteils über 40 Jahre alt waren, kommt bei der Altersabhängigkeit nur dieser Altersbereich zur Darstellung.

Die Gruppe der Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung bestand aus 243 Personen- 112 Frauen und 131 Männer. Das Durchschnittsalter der Probanden mit einer kardialen Erkrankung lag bei 54,0 Jahren.

Von den Patienten hatten unabhängig vom Geschlecht ungefähr 3/4 einen linearen Herzfrequenzverlauf und jeweils ein Zehntel einen asymptotischen bzw. „levelling off“-Verlauf (Tabb.5.15 und 5.16).

*Tabelle 5.15: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Probandenguts mit einer kardiovaskulären Erkrankung*

Gesamtkollektiv	levelling off	asymptotisch	linear
n	33	31	179
%	14	13	74

*Tabelle 5.16: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Probandenguts mit einer kardiovaskulären Erkrankung differenziert nach Geschlecht*

	Frauen			Männer		
Gesamtkollektiv	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	23	11	78	10	20	101
%	20	10	70	8	15	77

Mit zunehmendem Alter stieg die Häufigkeit der linearen Herzfrequenzverläufe noch ein wenig an, während die der „levelling off“-Verläufe abnahm (Tab.5.17).

Tabelle 5.17: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Probandenguts mit einer kardiovaskulären Erkrankung differenziert nach Geschlecht und Alter

Alter/ Verlauf	Frauen			Männer		
	41- 50	51- 60	> 60	41- 50	51- 60	> 60
levelling off n	3	7	3	3	5	1
%	18	20	8	12	14	2
asymptotisch n	2	3	4	3	4	7
%	12	9	11	12	11	12
linear n	12	25	29	18	27	48
%	70	71	81	75	75	86

Bei der Fahrradergometrie zeigte sich die gleiche Verteilung. Die Häufigkeitsverteilung der Laufbandergometrie wurde aufgrund der geringen Probandenzahlen nicht beurteilt.

Tabelle 5.18: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Probandenguts mit einer kardiovaskulären Erkrankung differenziert nach Geschlecht und Art der Belastung

Gesamt- kollektiv	Rad						Lauf					
	Frauen			Männer			Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	18	8	70	7	14	85	5	3	8	3	6	16
%	19	8	73	7	13	80	-	-	-	-	-	-

#### 5.1.1.4.4 Kardiovaskulär wirksame Pharmaka

Der bekannte Einfluss von Medikamenten auf das Herzkreislaufsystem sollte durch eine Unterscheidung zwischen Probanden, die kardiovaskulär wirksame Medikamente einnahmen, und Probanden, die unter keiner Medikation standen, dargestellt werden. Es wurden bei der Altersabhängigkeit nur die Probanden jenseits des 40. Lebensjahr dargestellt.

Insgesamt nahmen 154 Probanden -70 Frauen und 84 Männer- zum Zeitpunkt der Ergometrie kardiovaskulär wirksame Medikamente ein. Das mittlere Alter dieser Probanden lag bei 58,7 Jahren.

84 % der Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung hatten einen linearen Herzfrequenzverlauf (Tab.5.19). Lediglich 6 % bzw. 10 % zeigten einen „levelling off“-Verlauf oder einen asymptotischen. Diese Häufigkeitsverteilung war unabhängig vom Geschlecht und weitestgehend auch vom Alter (Tabb.5.20 und 5.21).

Tabelle 5.19: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Probandenguts mit einer kardiovaskulär wirksamen Medikation

Gesamt-kollektiv	levelling off	asymptotisch	linear
n	9	16	129
%	6	10	84

Tabelle 5.20: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Probandenguts mit einer kardiovaskulär wirksamen Medikation differenziert nach Geschlecht

Gesamt-kollektiv	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	5	6	59	4	10	70
%	7	9	84	5	12	83

Tabelle 5.21: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Probandenguts mit einer kardiovaskulär wirksamen Medikation differenziert nach Geschlecht und Alter

Alter/ Verlauf	Frauen			Männer		
	41-50	51-60	> 60	41-50	51-60	> 60
levelling off n	-	2	2	1	3	-
%	-	12	6	9	10	-
asymptotisch n	1	2	3	1	5	4
%	8	12	9	9	17	9
linear n	12	13	29	9	22	38
%	92	76	85	82	73	91

Die Häufigkeitsverteilung wurde nur bei der Fahrradergometrie bewertet, da bei der Laufbandergometrie zu wenig Probanden vorhanden waren. Bei der Fahrradergometrie zeigte sich die gleiche Verteilung wie im gesamten Kollektiv der Probanden unter kardiovaskulär wirksamer Medikation (Tab.5.22).

*Tabelle 5.22: Qualitative Verteilung der Typen des Herzfrequenzverlaufs des Probandenguts mit einer kardiovaskulär wirksamen Medikation differenziert nach Geschlecht und Art der Belastung*

Gesamtkollektiv	Rad						Lauf					
	Frauen			Männer			Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
n	4	6	56	3	9	64	1	-	3	1	1	6
%	6	9	85	4	12	84	-	-	-	-	-	-

#### **5.1.1.4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse von 5.1.1**

Insgesamt waren im Gesamtkollektiv sowie bei den vier differenzierten Untergruppen die linearen Herzfrequenzverläufe am häufigsten vertreten. Die prozentualen Anteile variierten aber von 49 % bei den Kadersportlern über 58 % bzw. 61 % bei den gesunden Probanden bzw. im Gesamtkollektiv bis zu 74 % bzw. 84 % bei den Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung oder einer kardiovaskulär wirksamen Medikation. Somit dominierten bei den Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung oder einer kardiovaskulär wirksamen Medikation klar die linearen Herzfrequenzverläufe, während es bei den beiden anderen Gruppen ausgeglichener war. Bei den Kadersportlern hatte ein bemerkenswert großer Anteil (32 %) einen asymptotischen Herzfrequenzverlauf.

Die Häufigkeitsverteilung war unabhängig vom Geschlecht. Mit zunehmendem Alter war der Anteil der linearen Herzfrequenzverläufe höher. Bei der Laufbandergometrie war die Verteilung etwas ausgeglichener (1/5 „levelling off“, 3/10 bei den Frauen bzw. 1/4 bei den Männern asymptotischer Verlauf, 1/2 linearer Herzfrequenzverlauf), während bei der Fahrradergometrie die linearen Herzfrequenzverläufe mit 2/3 deutlich dominierten.



## 5.1.2 Quantitative Betrachtung

Um zu klären, ob die drei Typen des Herzfrequenzverlaufs im maximalen Arbeitsbereich mit anthropometrischen Daten, Trainingsdaten, kardiovaskulären Parametern in Ruhe und bei Belastung in Zusammenhang zu bringen sind, wurde ein statistischer Vergleich der sich qualitativ im Herzfrequenzverlauf unterscheidenden Untergruppen durchgeführt.

Bei der statistischen Analyse wurde von dem „gesunden“ Probandengut ausgegangen. Darunter wurden alle Probanden zusammengefasst, die zum Zeitpunkt der Untersuchung unter keiner kardiovaskulären Erkrankungen litten und keine kardiovaskulär wirksamen Pharmaka einnahmen. Es setzte sich aus 627 Probanden -312 Frauen und 315 Männern-zusammen.

Die Unterschiede zwischen den drei Untergruppen wurden mit Hilfe des parameterfreien U-Tests nach Mann-Whithney-Wilcoxon auf Signifikanz geprüft. Signifikante Unterschiede wurden in den Tabellen wie folgt gekennzeichnet:

a = signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit „levelling off“ und der mit asymptotischen Herzfrequenzverlauf

b = signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit „levelling off“ und der mit einem linearen Herzfrequenzverlauf

c = signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit asymptotischen Herzfrequenzverlauf und der mit einem linearen Herzfrequenzverlauf

d = signifikanter Unterschied zwischen allen drei Gruppen

### 5.1.2.1 Anthropometrische Parameter

In Bezug auf die anthropometrischen Daten konnten keine statistisch sicheren Unterschiede zwischen den einzelnen Untergruppen nachgewiesen werden (Tab. 5.23).

Das Gleiche galt, wenn man das Kollektiv nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung differenzierte (Tabb.9.149 – 9.154).

*Tabelle 5.23: Mittelwerte der anthropometrischen Daten differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs*

	levelling off	asymptotisch	linear
Größe	174 n = 113	174 n = 164	173 n = 349
Gewicht	69,9 n = 113	68,7 n = 164	69,4 n = 349
Fettanteil	16,7 n = 109	17,0 n = 155	17,6 n = 131
BMI	23,0 n = 113	22,7 n = 131	23,1 n = 349

### 5.1.2.2 Trainingsparameter

Hinsichtlich der Anzahl der Trainingsstunden pro Woche und der Trainingsjahre ließ sich kein systematischer statistisch sicherer Unterschied zwischen den drei Untergruppen nachweisen (Tab.5.25). Auch bei einer Differenzierung nach dem Geschlecht, der Art der sportlichen Belastung und dem Alter zeigte sich kein Unterschied zwischen den drei Untergruppen (Tabb.9.155 – 9.158).

Tabelle 5.24: Mittelwerte der Trainingsparameter differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs

	levelling off	asympto- tisch	linear
<b>Trainingsjahre</b>	7,6 n = 89	8,2 n = 122	8,1 n = 261
<b>Stunden/Woche</b>	11,4 n = 87	10,2 n = 111	10,2 n = 221

### 5.1.2.3 Maximale Herzfrequenzen

Beim Vergleich der maximal gemessenen und der maximalen linearen Herzfrequenzen der Gruppen zeigten sich signifikante Unterschiede (Tabb.5.25). Dabei waren die maximal gemessenen Herzfrequenzen der Gruppe mit dem linearen Herzfrequenzverlauf eindeutig niedriger und die maximalen linearen Herzfrequenzwerte dieser Gruppe aber eindeutig höher als die der beiden anderen Untergruppen.

Tabelle 5.25: Mittelwerte der maximalen gemessenen und linearen Herzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs

	levelling off	asympto- tisch	linear
<b>Max. Herzfrequenz</b>	187 <sup>b</sup>	190 <sup>c</sup>	184 <sup>b,c</sup>
<b>Max. lineare Herzfrequenz</b>	178 <sup>b</sup>	175 <sup>c</sup>	183 <sup>b,c</sup>
<b>n</b>	113	164	350

Dieser Unterschied bestand mit einer Ausnahme bei beiden Geschlechtern (Tab.5.26)

Tabelle 5.26: Mittelwerte der maximalen gemessenen und linearen Herzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Frauen			Männer		
	levelling off	asympto- tisch	linear	levelling off	asympto- tisch	linear
<b>Max. Herzfrequenz</b>	188 <sup>b</sup>	189 <sup>c</sup>	182 <sup>b,c</sup>	187	190 <sup>c</sup>	186 <sup>c</sup>
<b>Max. lineare Herzfrequenz</b>	177 <sup>b</sup>	172 <sup>c</sup>	182 <sup>c</sup>	178 <sup>b</sup>	177 <sup>c</sup>	184 <sup>b,c</sup>
<b>n</b>	55	82	175	58	82	175

Bei der Fahrradergometrie und bei der Laufbandergometrie waren bei der maximalen linearen Herzfrequenz in der Gruppe mit linearem Herzfrequenzverlauf die Werte höher als bei denen mit einem „levelling off“ bzw. denen mit einem asymptotischen Verlauf (Tab.5.27). Bei der maximal gemessenen Herzfrequenz lagen niedrigere Werte nur gegenüber den Probanden mit einem asymptotischen Verlauf vor.

Außerdem ließen sich bei der Laufbandergometrie Unterschiede zwischen allen drei Gruppen bezüglich der maximalen linearen Herzfrequenz sichern, wobei die „lineare“ Gruppe die höchsten und die „asymptotische“ Gruppe die niedrigsten Mittelwerte aufwies.

Tabelle 5.27: Mittelwerte der maximalen gemessenen und linearen Herzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
Max. Herzfrequenz	182	186 <sup>c</sup>	179 <sup>c</sup>	193	194 <sup>c</sup>	190 <sup>c</sup>
Max. lineare Herzfrequenz	173 <sup>b</sup>	171 <sup>c</sup>	178 <sup>b,c</sup>	183 <sup>d</sup>	179 <sup>d</sup>	189 <sup>d</sup>
n	60	88	206	53	76	144

Im Altersverlauf konnte kein sicherer Unterschied zwischen den Probandengruppen mit den verschiedenen Herzfrequenzverläufen hinsichtlich der maximalen gemessenen Herzfrequenz nachgewiesen werden (Tabb.5.28 und 5.29 sowie Abb.5.1).

Tabelle 5.28: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Geschlecht und Alter

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	186	189	184	177	173	147	200	190	187	186	178	146
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	196	185	187	168	162	133	198	194	188	182	156	175
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	196	188	184	175	167	149	193	189	184	182	171	155
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

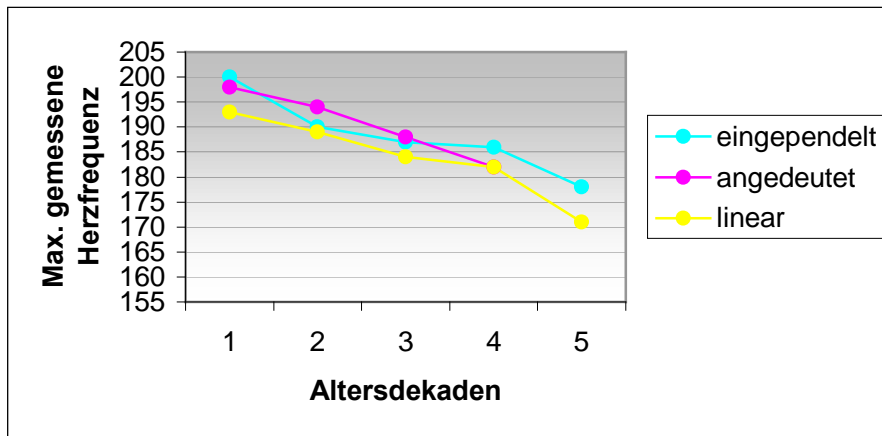


Abbildung 5.1: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Männer bei der Fahrradergometrie differenziert nach der Belastungsart

Tabelle 5.29: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Geschlecht und Alter

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	201	201	206 <sup>b</sup>	192	168	-	198	187 <sup>a,b</sup>	195	189	176	158
<b>n</b>	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
<b>asymptotisch</b>	202	194	199 <sup>c</sup>	185	152	-	205	194 <sup>a</sup>	192	177	180	-
<b>n</b>	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
<b>linear</b>	199	200	183 <sup>b,c</sup>	182	178	180	201	195 <sup>b</sup>	190	181	172	178
<b>n</b>	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Beim Vergleich der maximalen linearen Herzfrequenzen im Altersverlauf erreichten überwiegend die Probanden mit dem linearen Herzfrequenzverlauf v.a. in den jüngeren Altersdekaden signifikant die höchsten Werte (Tabb.5.30 und 5.31 und Abb.5.2).

Tabelle 5.30: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/min) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Geschlecht und Alter

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	174 <sup>b</sup>	174 <sup>b</sup>	176 <sup>b</sup>	172	163	144	189	184	181	174	168	138
<b>n</b>	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
<b>asymptotisch</b>	184 <sup>c</sup>	188 <sup>c</sup>	170 <sup>c</sup>	157 <sup>c</sup>	150	144	183	179	178	172	150	165
<b>n</b>	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
<b>linear</b>	196 <sup>b,c</sup>	188 <sup>b,c</sup>	184 <sup>b,c</sup>	175 <sup>c</sup>	167	130	190	189	184	181	171	155
<b>n</b>	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

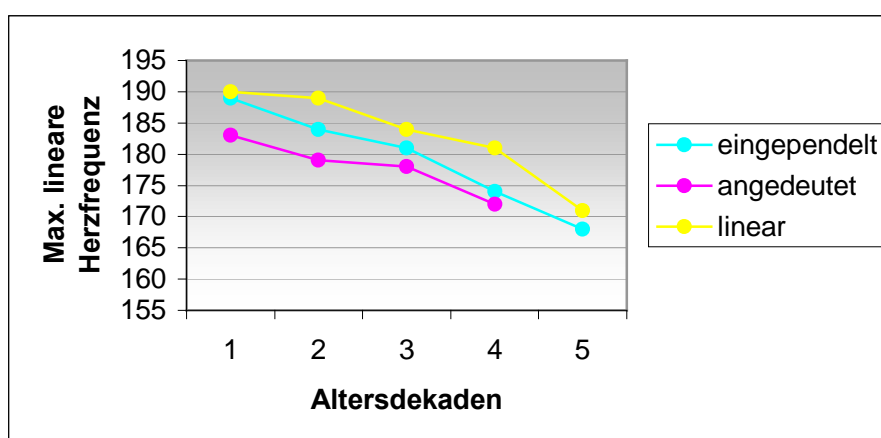


Abbildung 5.2: Mittelwerte der max. linearen Herzfrequenz (Schläge/min) der Männer bei der Fahrradergometrie differenziert nach den Typen des Herzfrequenzverlaufes

Tabelle 5.31: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/min) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Geschlecht und Alter

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	187 <sup>b</sup>	188 <sup>d</sup>	193	184	163	-	189	177 <sup>b</sup>	185	180	168	155
<b>n</b>	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
<b>asymptotisch</b>	186 <sup>c</sup>	178 <sup>d</sup>	183	174	130	-	187 <sup>c</sup>	176 <sup>c</sup>	180 <sup>c</sup>	169	167	-
<b>n</b>	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
<b>linear</b>	199 <sup>b,c</sup>	200 <sup>d</sup>	183	182	178	180	197 <sup>c</sup>	193 <sup>b,c</sup>	190 <sup>c</sup>	176	172	178
<b>n</b>	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

#### 5.1.2.4 Submaximale Herzfrequenzen an aeroben und anaeroben Schwellen

Die Herzfrequenzen an der fixen und individuellen anaeroben Schwelle der Probanden mit einem linearen Verlauf waren signifikant niedriger als die der Probanden mit einem „levelling off“ bzw. asymptotischen Verlauf. Das galt im Gesamtkollektiv sowie bei der Trennung nach dem Geschlecht und der Art der Belastung (Tabb.5.32 – 5.34).

Die Herzfrequenzen der fixen und individuellen aeroben Schwelle lagen im Kollektiv der Probanden mit dem linearen Herzfrequenzverlauf ebenfalls signifikant niedriger als die der Probanden mit einem asymptotischen Verlauf (Tab. 5.32).

Nach Geschlecht-, Alter- und Belastungsart-Differenzierung wurde dieser Zusammenhang nur teilweise für Frauen und Radbelastungen wie auch für das Alter bestätigt (Tabb.9.159 – 9.166)

Tabelle 5.32: Mittelwerte der Herzfrequenzen an den fixen und individuellen aeroben und anaeroben Schwellen (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs

	levelling off	asymptotisch	linear
<b>HFAS</b>	143 n = 111	144 <sup>c</sup> n = 162	139 <sup>c</sup> n = 339
<b>HFIAS</b>	135 n = 113	137 <sup>c</sup> n = 164	131 <sup>c</sup> n = 350
<b>HFANS</b>	171 <sup>b</sup> n = 112	171 <sup>c</sup> n = 164	162 <sup>b,c</sup> n = 345
<b>HFIANS</b>	163 <sup>b</sup> n = 113	165 <sup>c</sup> n = 164	154 <sup>b,c</sup> n = 350

Tabelle 5.33: Mittelwerte der Herzfrequenzen an den fixen und individuellen aeroben und anaeroben Schwellen (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
<b>HFAS</b>	143 n = 54	146 n = 81	142 n = 165	141 n = 57	141 n = 82	136 n = 174
<b>HFIAS</b>	140 n = 55	141 <sup>c</sup> n = 82	134 <sup>c</sup> n = 175	131 n = 58	133 n = 82	129 n = 175
<b>HFANS</b>	173 <sup>b</sup> n = 54	172 <sup>c</sup> n = 82	163 <sup>b,c</sup> n = 174	168 <sup>b</sup> n = 58	169 <sup>c</sup> n = 82	161 <sup>b,c</sup> n = 171
<b>HFIANS</b>	163 <sup>b</sup> n = 55	164 <sup>c</sup> n = 82	151 <sup>b,c</sup> n = 175	163 <sup>b</sup> n = 58	167 <sup>c</sup> n = 82	157 <sup>b,c</sup> n = 175

Tabelle 5.34: Mittelwerte der Herzfrequenzen an den fixen und individuellen aeroben und anaeroben Schwellen (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
HFAS	136 <sup>b</sup> n = 58	134 n = 86	131 <sup>b</sup> n = 195	151 n = 53	154 n = 76	151 n = 144
HFIAS	124 n = 60	125 <sup>c</sup> n = 88	120 <sup>c</sup> n = 206	148 n = 53	151 n = 76	148 n = 144
HFANS	164 <sup>b</sup> n = 59	163 <sup>c</sup> n = 88	154 <sup>b,c</sup> n = 204	178 <sup>b</sup> n = 53	179 <sup>c</sup> n = 76	174 <sup>b,c</sup> n = 141
HFIANS	152 <sup>b</sup> n = 60	155 <sup>c</sup> n = 88	143 <sup>b,c</sup> n = 206	175 <sup>b</sup> n = 53	177 <sup>c</sup> n = 76	171 <sup>b,c</sup> n = 144

### 5.1.2.5 Relative maximale Leistung, Schwellenleistungen und relative PWC

Die drei Gruppen mit den unterschiedlichen Herzfrequenzverläufen im maximalen Arbeitsbereich unterschieden sich weder in relativer maximaler Leistung noch hinsichtlich relativer Schwellenleistungen (Tabb.5.35 - 37). Auch nach Differenzierung nach Geschlecht und Alter waren keine signifikanten Unterschiede festzumachen (Tabb.9.167 – 9.176). Lediglich bei einer Aufgliederung nach der Belastungsart wiesen die Probanden mit linearem Herzfrequenzverlauf bei der Radergometrie eindeutig die niedrigste Maximalleistung auf und hatten im Vergleich zu den Probanden mit dem asymptotischen Verlauf auch niedrigere individuelle anaerobe Schwellenleistungen. Bei der Laufbandergometrie ergaben sich zwischen diesen Gruppen auch Differenzen in der individuellen aeroben und fixen anaeroben Schwellenleistung, wobei die Gruppe mit dem linearen Verlauf höhere Leistungswerte aufwies.

Tabelle 5.35: Mittelwerte der relativen Leistungswerten (W/kg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs

	levelling off	asymptotisch	linear
WMaxkg	3,5 n = 113	3,5 n = 164	3,3 n = 349
WASkg	2,0 n = 111	2,0 n = 162	2,0 n = 338
WIASkg	1,8 n = 113	1,8 n = 164	1,7 n = 349
WANSkg	2,7 n = 112	2,6 n = 164	2,6 n = 349
WIANSkg	2,5 n = 113	2,5 n = 164	2,4 n = 349

Tabelle 5.36: Mittelwerte der relativen Leistungswerten (W/kg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
WMaxkg	3,2 n = 55	3,1 n = 81	3,0 n = 174	3,8 n = 58	3,8 n = 82	3,6 n = 175
WASkg	1,8 n = 54	1,8 n = 81	1,8 n = 164	2,2 n = 57	2,2 n = 81	2,1 n = 174
WIASkg	1,7 n = 55	1,6 n = 82	1,6 n = 174	2,0 n = 58	1,9 n = 82	1,9 n = 175
WANSkg	2,5 n = 54	2,4 n = 82	2,4 n = 174	3,0 n = 58	2,9 n = 82	2,9 n = 175
WIANSkg	2,2 n = 55	2,2 n = 82	2,1 n = 174	2,8 n = 58	2,8 n = 82	2,7 n = 175

Tabelle 5.37: Mittelwerte der relativen Leistungswerten (W/kg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
WMaxkg	3,4 <sup>b</sup> n = 60	3,4 <sup>c</sup> n = 88	3,1 <sup>b,c</sup> n = 205	3,5 n = 53	3,5 n = 76	3,6 n = 144
WASkg	1,8 n = 58	1,7 n = 86	1,7 n = 194	2,3 n = 53	2,3 n = 76	2,4 n = 144
WIASkg	1,5 n = 60	1,5 n = 88	1,4 n = 205	2,2 n = 53	2,1 <sup>c</sup> n = 76	2,3 <sup>c</sup> n = 144
WANSkg	2,5 n = 59	2,5 n = 88	2,4 n = 205	2,9 n = 53	2,8 <sup>c</sup> n = 76	3,0 <sup>c</sup> n = 144
WIANSkg	2,2 n = 60	2,3 <sup>c</sup> n = 88	2,0 <sup>c</sup> n = 205	2,9 n = 53	2,8 n = 76	2,9 n = 144

Bei den relativen PWC-Werten waren die PWC170-Werte im Gesamtkollektiv bei den Probanden mit einem linearen Herzfrequenzverlauf signifikant höher als die der anderen beiden Gruppen (Tab.5.38). Das Gleiche galt für die PWC170-Werte bei den Frauen und bei der Laufbandergometrie. Bei den Männern und bei der Fahrradergometrie bestanden keine signifikanten Unterschiede (Tabb. 5.39 und 5.40).

Im Altersverlauf ergaben sich keine prinzipiellen Unterschiede (Tabb.9.177 – 9.182).



Tabelle 5.38: Mittelwerte der relativen PWC-Werte (W/kg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs

	levelling off	asympto- tisch	linear
PWC130kg	1,8 n = 80	1,7 n = 114	1,8 n = 270
PWC150kg	2,2 n = 103	2,2 n = 146	2,3 n = 151
PWC170kg	2,6 <sup>b</sup> n = 98	2,6 <sup>c</sup> n = 151	2,8 <sup>b,c</sup> n = 286

Tabelle 5.39: Mittelwerte der relativen PWC-Werte (W/kg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
PWC130kg	1,6 n = 34	1,5 n = 49	1,6 n = 129	2,0 n = 46	1,9 n = 65	2,0 n = 141
PWC150kg	2,0 n = 48	1,9 n = 70	2,0 n = 156	2,4 n = 55	2,4 n = 76	2,5 n = 163
PWC170kg	2,3 <sup>b</sup> n = 46	2,3 <sup>c</sup> n = 73	2,6 <sup>b,c</sup> n = 132	2,8 n = 52	2,9 n = 78	3,0 n = 154

Tabelle 5.40: Mittelwerte der relativen PWC-Werte (W/kg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
PWC130kg	1,7 n = 51	1,6 n = 77	1,6 n = 192	2,1 n = 29	2,0 n = 37	2,2 n = 78
PWC150kg	2,1 n = 57	2,1 n = 85	2,1 n = 195	2,3 n = 46	2,3 <sup>c</sup> n = 61	2,4 <sup>c</sup> n = 124
PWC170kg	2,5 n = 47	2,7 n = 79	2,8 n = 151	2,7 <sup>b</sup> n = 51	2,6 <sup>c</sup> n = 72	2,9 <sup>b,c</sup> n = 135

### 5.1.2.6 Ausbelastungsparameter und Belastungsdauer

In Bezug auf das Maximallaktat hob sich das nicht unterteilte Kollektiv der Probanden mit dem linearen Herzfrequenzverlauf durch niedrigere Werte vom Kollektiv mit dem asymptotischen Verlauf ab (Tabb.5.41 - 5.43). Nach der Aufgliederung hinsichtlich des Geschlechts war dieser Gruppenunterschied nur für Frauen und dabei auch nur für solche mit „levelling off“ festzustellen. Außerdem bestand dieser Unterschied nur bei der Radergometrie.

Nur für Frauen zeigte sich ebenfalls, dass die Borgwerte der Probanden mit dem linearen Herzfrequenzverlauf signifikant niedriger waren als die der anderen beiden Untergruppen, wobei dies nur für die Fahrradergometrie und nur für die Probandinnen mit einem asymptotischen Verlauf galt.

Die Ergometriedauer war kein differenzierender Faktor.

Auch im Altersverlauf ergaben sich für die Ausbelastungsparameter und für die Belastungsdauer keine statistisch sicheren Unterschiede zwischen den drei Untergruppen (Tabb.9.183 – 9.188).

Tabelle 5.41: Mittelwerte der Ausbelastungsparameter differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs

	levelling off	asymptotisch	linear
LaMax	10,0 n = 113	10,4 <sup>c</sup> n = 164	9,7 <sup>c</sup> n = 350
Borg	16,7 n = 111	16,7 n = 160	16,6 n = 348
Dauer	17,2 n = 113	17,5 n = 164	17,0 n = 350

Tabelle 5.42: Mittelwerte der Ausbelastungsparameter differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
LaMax	9,5 <sup>b</sup> n = 55	9,7 <sup>c</sup> n = 82	8,8 <sup>b,c</sup> n = 175	10,5 n = 58	11,1 n = 82	10,5 n = 175
Borg	16,6 <sup>b</sup> n = 53	16,6 <sup>c</sup> n = 80	16,2 <sup>b,c</sup> n = 173	16,9 n = 58	16,9 n = 80	16,9 n = 175
Dauer	15,6 n = 55	15,2 n = 82	15,0 n = 175	18,8 n = 58	19,9 n = 82	19,1 n = 175

Tabelle 5.43: Mittelwerte der Ausbelastungsparameter differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
<b>LaMax</b>	10,2 n = 60	10,5 <sup>c</sup> n = 88	9,6 <sup>c</sup> n = 206	9,9 n = 53	10,3 n = 76	9,8 n = 144
<b>Borg</b>	16,8 n = 60	17,1 <sup>c</sup> n = 87	16,6 <sup>c</sup> n = 206	16,8 n = 51	16,3 n = 73	16,5 n = 142
<b>Dauer</b>	18,8 n = 60	19,1 n = 88	17,8 n = 206	15,5 n = 53	15,7 n = 76	15,8 n = 144

### 5.1.2.7 Ruheherzfrequenz

Hinsichtlich der Ruheherzfrequenz ließen die drei Gruppen keine sicheren Unterschiede erkennen (Tabb.5.44 – 5.46 sowie Tab. 9.189).

Tabelle 5.44: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs

	levelling off	asymptotisch	linear
<b>HFRu</b>	62 n = 113	62 n = 163	61 n = 349

Tabelle 5.45: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
<b>HFRu</b>	65 n = 55	65 n = 82	62 n = 175	58 n = 58	59 n = 81	60 n = 175

Tabelle 5.46: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
<b>HFRu</b>	62 n = 60	63 n = 87	62 n = 205	61 n = 53	61 n = 76	60 n = 144

### 5.1.2.8 Blutdruckwerte vor, während und nach der Belastung

Beim Vergleich der Blutdruckdaten der drei Gruppen vor, während und nach der Belastung zeigte sich nur bei den systolischen Werten eine Minute nach der Belastung ein statistisch sicherer Unterschied (Tab.5.47). Hierbei waren die Werte der Probanden mit dem linearen Herzfrequenzverlauf signifikant höher als die der anderen beiden Gruppen. Nach Untergliederung der Gruppen galt dies nur für die Frauen und die Laufbandergometrie (Tabb.5.48 und 5.49). Bei den Männern und bei der Fahrradergometrie waren die Werte nur gegenüber der Gruppe mit dem asymptotischen Herzfrequenzverlauf signifikant höher. Im Altersverlauf zeigte sich kein systematischer Unterschied (Tabb.9.190 – 9.197)

Tabelle 5.47: Mittelwerte der Blutdruckwerte (mmHg) vor, während und nach der Belastung differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs

	levelling off	asymptotisch	linear
<b>RSRuhe</b>	129	128	131
<b>RDRuhe</b>	81	80	82
<b>n</b>	113	164	350
<b>RS150</b>	176	174	180
<b>RD150</b>	81	81	81
<b>n</b>	52	69	164
<b>RS+1</b>	166 <sup>b</sup>	163 <sup>c</sup>	175 <sup>b,c</sup>
<b>RD+1</b>	75	73	75
<b>n</b>	113	164	350

Tabelle 5.48: Mittelwerte der Blutdruckwerte (mmHg) vor, während und nach der Belastung differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
<b>RSRuhe</b>	124	124	127	133	132	134
<b>RDRuhe</b>	79	77	80	83	82	83
<b>n</b>	55	82	175	57	79	172
<b>RS150</b>	172	169	175	180	177	184
<b>RD150</b>	81	77	79	83	83	85
<b>n</b>	24	23	74	28	46	90
<b>RS+1</b>	155 <sup>b</sup>	157 <sup>c</sup>	166 <sup>b,c</sup>	177	169 <sup>c</sup>	185 <sup>c</sup>
<b>RD+1</b>	76	74	75	73	72	75
<b>n</b>	55	82	175	57	79	172

Tabelle 5.49: Mittelwerte der Blutdruckwerte (mmHg) vor, während und nach der Belastung differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	Linear
<b>RSRuhe</b>	129	130	132	128	125	129
<b>RDRuhe</b>	160	158	167	174	168	187
<b>n</b>	60	88	206	53	76	144
<b>RS150</b>	176	174	180	-	-	-
<b>RD150</b>	81	81	81	-	-	-
<b>n</b>	52	69	164	-	-	-
<b>RS+1</b>	160	158 <sup>c</sup>	167 <sup>c</sup>	174 <sup>b</sup>	168 <sup>c</sup>	187 <sup>b,c</sup>
<b>RD+1</b>	75	72	74	75	74	76
<b>n</b>	60	88	206	53	76	144

### 5.1.2.9 Zusammenfassung der Ergebnisse von 5.1.2

Die Probandengruppe mit dem linearen Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich unterschied sich in mehreren Parametern eindeutig vor allem von der mit dem asymptotischen, weniger von der mit dem „levelling off“ Verlauf. Letztere Gruppe zeigte kaum zu sichernde Differenzen.

Nach den Ausbelastungskriterien maximaler Laktat Spiegel und RPE nach Borg war anhand des Laktat Spiegels zu sichern, dass nur Frauen der „Hf-Linear-Gruppe“ und diese nur bei der Radergometrie weniger maximal metabolisch beansprucht waren als die der „asymptotisch-Gruppe“. Weder im Borg-Wert noch in der zusätzlich analysierten Ergometriebelastungsdauer bestanden Unterschiede.

Die maximal gemessenen Herzfrequenzen waren in der „Hf-linear-Gruppe“ bei Männern und Frauen und bei beiden Ergometrieformen gegenüber der Gruppe „asymptotisch“ und gegenüber der „levelling-off-Gruppe“ nur bei den Frauen signifikant erniedrigt. Die maximalen linearen Herzfrequenzen hingegen lagen bei beiden Geschlechtern und beiden Belastungsarten in der „Hf-linear-Gruppe“ eindeutig über denen der anderen Gruppen.

In der relativen Maximalleistung und in den relativen Leistungen an den aeroben und anaeroben Schwellen unterschieden sich die drei Gesamtgruppen –auch differenziert nach dem Geschlecht- nicht. Erst nach Differenzierung bezüglich der Belastungsart war in der „Hf-linear-Gruppe“ bei der Fahrradergometrie eine niedrigere Maximalleistung und eine niedrigere individuelle anaerobe Schwellenleistung zu sichern. Bei der Laufbandergometrie zeigte diese Gruppe aber die eindeutig höchsten Leistungen an der fixen anaeroben und der individuellen aeroben Schwelle. Auch in der relativen PWC 170-Leistung waren in der „Hf-linear-Gruppe“ insgesamt, nach Geschlechtsdifferenzierung sicher nur bei den Frauen und nach der Ergometrieunterteilung nur bei der Laufbandergometrie eindeutig höhere Werte zu beobachten.

Die mit den Schwellen korrespondierenden Herzfrequenzen wiesen in der „Hf-linear-Gruppe“-gesamt, bei beiden Geschlechtern und Ergometriearten an den anaeroben, partiell auch aeroben Schwellen die niedrigsten Werte auf.

Erwähnenswert ist, dass sich die Gruppen in anthropometrischen Grunddaten, Ruheherzfrequenz, Blutdruckverhalten in Ruhe und unter Belastung sowie in Trainingsdaten nicht unterschieden. Lediglich beim systolischen Blutdruckwert eine Minute nach der Belastung fielen in der „Hf-linear-Gruppe“ höhere Werte auf.

## **5.2 Maximale Herzfrequenz**

Wie bereits in der Einleitung erläutert, war es ein Ziel der vorliegenden Arbeit zu überprüfen, welchen Stellenwert man einer maximal gemessenen Herzfrequenz zuerkennen kann, um sie als Grundlage für die Trainingssteuerung im Ausdauersport zu verwenden. Wie die Ergebnisse des letzten Kapitels zeigten, ist in Abhängigkeit von insbesondere dem Alter und der Belastungsart nur bei weniger als 50 % der Probanden von einem voll erreichten bzw. angenähert erwarteten maximalen physiologischen Grenzwert im Sinne eines eindeutigen oder angenäherten „levelling off“ auszugehen. Es fragt sich deshalb, ob die physiologisch unscharf definierte gemessene maximale Herzfrequenz oder aber diejenige eines streng linearen Verlaufs bei stufenweise ansteigender Belastung einen verlässlichen Parameter für die Trainingssteuerung darstellt. Eine Antwort darauf sollten Korrelationsberechnungen zwischen maximalen und submaximalen Leistungsparametern und der maximal gemessenen bzw. maximalen linearen Herzfrequenz liefern.

Im Folgenden werden im Kapitel 5.2.1 die Ergebnisse zur maximal gemessenen Herzfrequenz, im Kapitel 5.2.2 die zur maximalen linearen Herzfrequenz dargestellt.

Zunächst werden die Messwerte im ungruppierten Gesamtkollektiv in Relation zum Alter orientierend beschrieben. Danach wird im Kollektiv der kardial voll belastbaren gesunden Probanden Abhängigkeiten von Geschlecht und Alter sowie ergometrischen Bedingungen nachgegangen, ehe die Fragen nach Beziehungen zu anthropometrischen Grunddaten und zu körperlichem Training sowie Leistungsparametern beantwortet wird. Es folgen Analysen zu Zusammenhängen mit hämodynamischen Parametern in Ruhe und bei/nach Belastung sowie zu ausgewählten laborchemischen Parametern. Schließlich werden Unterschiede der maximalen Herzfrequenzen in physisch auffälligen bzw. kardiovaskulär kranken Gruppen im Vergleich zu Gesunden dargestellt. Die mit den maximalen Herzfrequenzen verglichenen Variablen werden in 5.2.1 in jedem Kapitel näher beschrieben.

## 5.2.1. Maximale gemessene Herzfrequenz

### 5.2.1.1 Gesamtkollektiv

Die mittlere maximale gemessene Herzfrequenz des Gesamtkollektivs (n = 890) betrug 186 (+/- 16,3) Schläge/Minute. Aus Abb.5.3 ist eine Altersabhängigkeit zu erkennen.

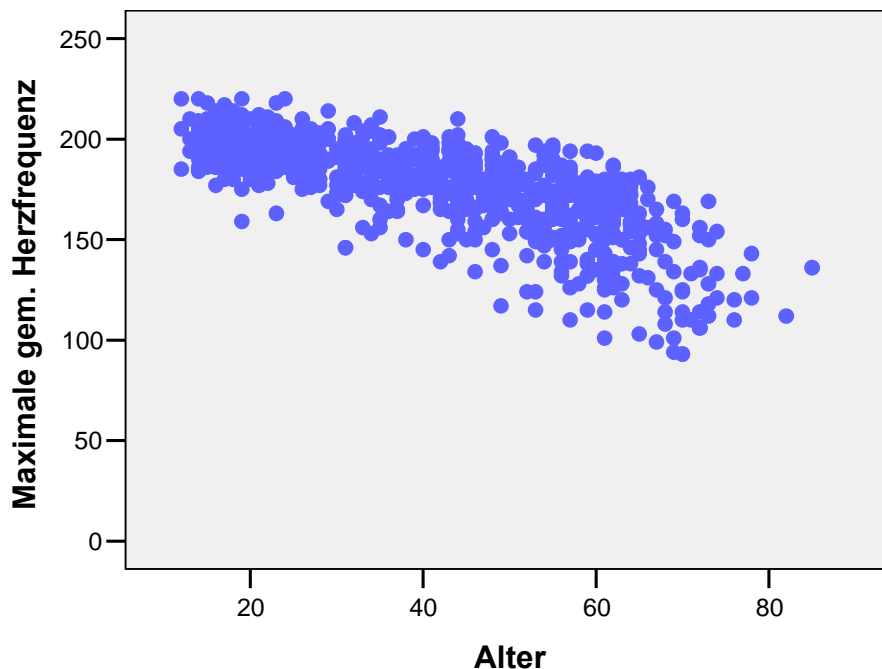


Abbildung 5.3: Maximale gemessene Herzfrequenz (Schläge/min) des Gesamtkollektivs in Relation zum Lebensalter

### 5.2.1.2 Geschlechts- und Altersabhängigkeit, gesundes Kollektiv (n = 627)

Die mittlere maximale gemessene Herzfrequenz der Frauen des gesunden Kollektivs lag bei 185 (+/- 17) Schlägen/Minute und die der Männer bei 187 (+/- 16) Schlägen/Minute (Tab.5.50). Zwischen beiden Geschlechtern war kein statistisch sicherer Unterschied nachzuweisen (Tab.5.51 und Abb.5.4).

Tabelle 5.50: Mittelwerte und Standardabweichungen, Minima und Maxima der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Frauen und Männer des gesunden Kollektivs

Alter/ Geschlecht	Hfmax gem.	Standard- abweichung	Minimum	Maximum	n
Frauen	185	16,9	121	220	312
Männer	187	16,0	101	220	315



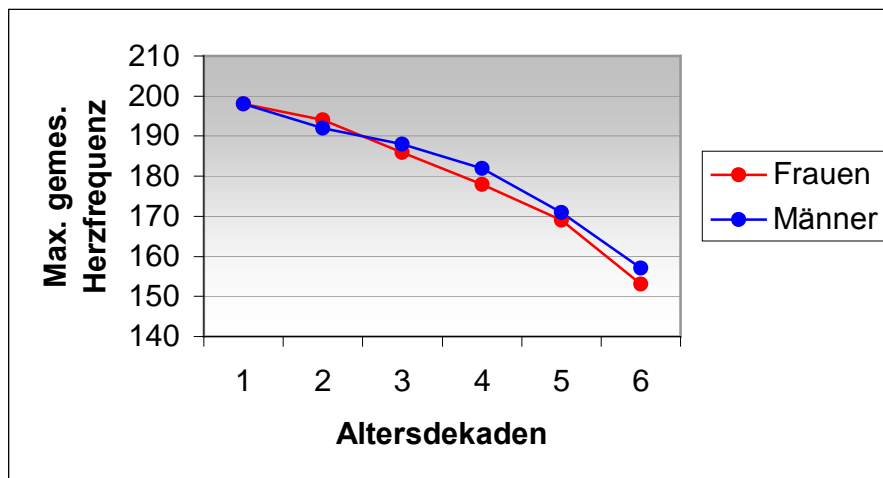


Abbildung 5.4: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Frauen und Männer in Altersgruppen

Tabelle 5.51: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

Alter/ Geschlecht	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>Frauen</b>	198 n = 73	194 n = 69	186 n = 58	178 n = 55	169 n = 39	153 n = 20
Standardab.	10,2	10,5	9,9	11,8	11,6	17,9
<b>Männer</b>	198 n = 74	192 n = 71	188 n = 70	182 n = 50	171 n = 34	157 n = 16
Standardab.	9,0	9,8	10,1	12,4	17,0	22,6
p-Wert	,545	,292	,182	,084	,125	,459

Mit zunehmenden Altersdekaden zeigte sich ohne Geschlechtsunterschied eine Abnahme der Werte (Tab.5.51 und Abb.5.4). Dabei waren bei beiden Geschlechtern die Unterschiede zwischen den einzelnen Altersdekaden signifikant (Tab.5.52), wobei die Differenzen zwischen den einzelnen Altersstufen mit zunehmendem Alter größer wurden. Der Korrelationskoeffizient zwischen maximaler gemessener Herzfrequenz und Alter betrug  $r = -0,69$ . Eine detaillierte Beschreibung der Beziehungen zum Alter erfolgt in Kapitel 5.3.

Tabelle 5.52: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) von gesunden Frauen und Männern, Hinblick auf Altersgruppenunterschiede

Alter/ Geschl.	11-20	21-30	p-Wert 1 - 2	31-40	p-Wert 2 - 3	41-50	p-Wert 3 - 4	51-60	p-Wert 4 - 5	> 60	p-Wert 5 - 6
<b>Frauen</b>	198	194	,046	186	,000	178	,001	169	,000	153	,001
<b>Männer</b>	198	192	,000	188	,019	182	,007	171	,002	157	,019

Bei der wie bereits erläutert aus der Differenz der maximalen gemessenen Herzfrequenz und der Ruheherzfrequenz berechneten Arbeitsherzfrequenz zeigte sich ab der dritten Altersdekade ein signifikanter Unterschied zwischen den Frauen und Männern, wobei die Werte der Männer im Mittel 5 in den jüngeren bzw. 10 Schläge/Minute in den älteren Altersdekaden über denen der Frauen lagen (Tab.5.53).

Wie bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz kam es mit zunehmendem Alter zu einer Abnahme der Werte, wobei die Unterschiede zwischen den Altersdekaden bei den Frauen ab der zweiten und bei den Männern ab der dritten Altersdekade signifikant waren (Tab.5.54).

*Tabelle 5.53: Mittelwerte der maximalen Arbeitsherzfrequenz (Schläge/min) des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede*

Alter/ Geschlecht	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>Frauen</b>	132 n = 73	129 n = 69	125 n = 58	115 n = 55	106 n = 39	85 n = 20
<b>Männer</b>	136 n = 74	134 n = 70	131 n = 70	123 n = 49	114 n = 34	98 n = 16
<b>p-Wert</b>	<b>,250</b>	<b>,218</b>	<b>,008</b>	<b>,014</b>	<b>,029</b>	<b>,036</b>

*Tabelle 5.54: Mittelwerte der Arbeitsherzfrequenz (Schläge/min) von gesunden Frauen und Männern, Hinblick auf Altersgruppenunterschiede*

Alter/ Geschl.	11-20	21-30	p-Wert 1 - 2	31-40	p-Wert 2 - 3	41-50	p-Wert 3 - 4	51-60	p-Wert 4 - 5	> 60	p-Wert 5 - 6
<b>Frauen</b>	132	129	<b>,370</b>	125	<b>,026</b>	115	<b>,002</b>	106	<b>,007</b>	85	<b>,000</b>
<b>Männer</b>	136	134	<b>,381</b>	131	<b>,143</b>	123	<b>,002</b>	114	<b>,029</b>	98	<b>,015</b>

### 5.2.1.3 Abhängigkeit von ergometrischen Bedingungen

#### 5.2.1.3.1 Belastungsart

Differenziert nach der Art der Belastung zeigte sich, dass bis auf eine Ausnahme (Männer: 4. Altersdekade) stets die Werte der Laufbandergometrie über denen der Fahrradergometrie lagen (Abb.5.5 und Tab.5.55).

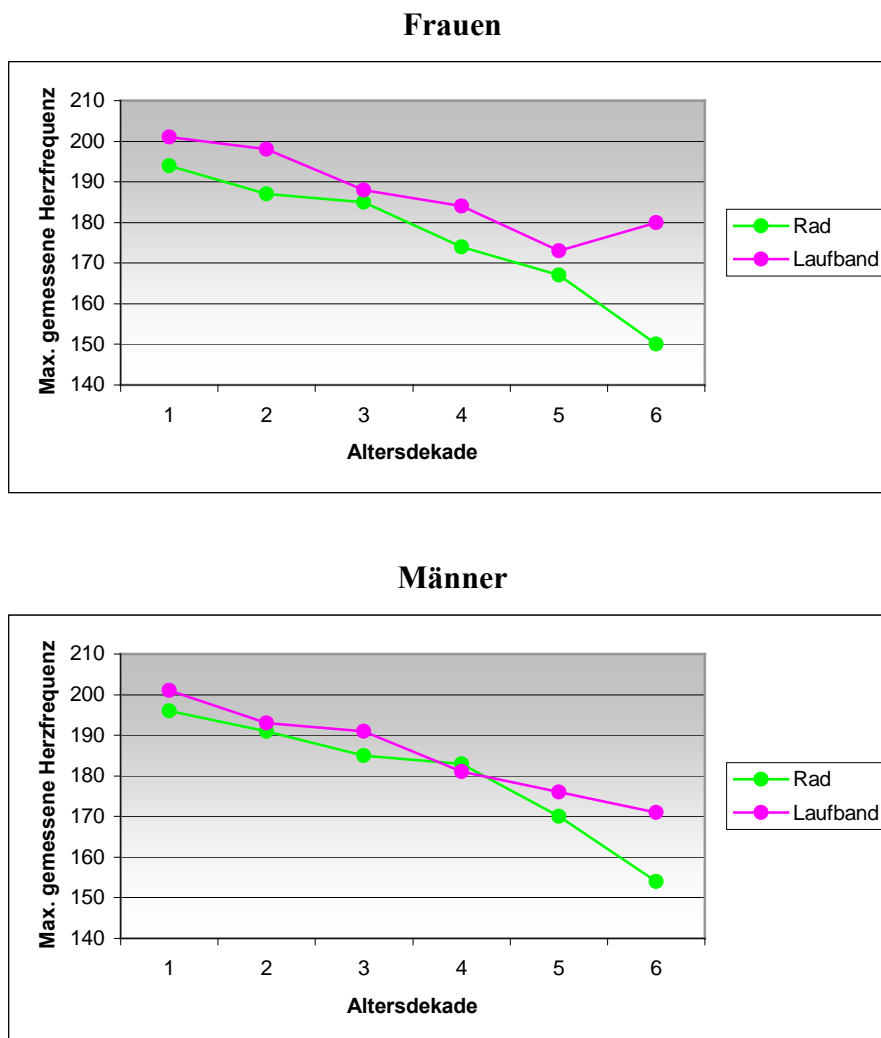


Abbildung 5.5: Maximale gemessene Herzfrequenz (Schläge/min) im Altersverlauf differenziert nach der Belastungsart

Mit Ausnahme der Probanden über 60 Jahre waren die Werte der maximalen gemessenen Herzfrequenz auf dem Laufband bei den Frauen im Mittel 7 Schläge/Minute und bei den Männern 5 Schläge/Minute höher als die auf dem Fahrradergometer (Tab.5.55).

Statistisch sicher waren Mittelwertsunterschiede nur vereinzelt und wenn in den jüngeren Altersgruppen.

Tabelle 5.55: Mittelwerte der maximalen Herzfrequenzen (Schläge/min) bei Fahrrad- und Laufbandergometrien differenziert nach Geschlecht und Alter

Alter	Frauen						Männer					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Rad	194 n = 33	187 n = 28	185 n = 40	174 n = 32	167 n = 29	150 n = 18	196 n = 42	191 n = 28	185 n = 37	183 n = 30	170 n = 25	154 n = 13
Lauf	201 n = 40	198 n = 41	188 n = 18	184 n = 23	173 n = 10	180 n = 2	201 n = 32	193 n = 43	191 n = 33	181 n = 19	176 n = 9	171 n = 3
p-Wert	,014	,000	,252	,001	,286	-	,011	,962	,017	,484	,298	-

Bei der Arbeitsherzfrequenz lagen bei den Frauen mit Ausnahme der dritten Altersdekade die Laufbandwerte im Mittel 10 Schläge/Minute und bei den Männern im Mittel 8 Schläge/Minute über denen der Fahrradergometrie (Tab.5.56). Bei den Frauen erreichten diese Unterschiede häufiger ein signifikantes Niveau als bei den Männern.

5.56: Mittelwerte der Arbeitsherzfrequenz (Schläge/Minute) des gesunden Kollektivs differenziert nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede

Alter	Frauen						Männer					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Rad	128 n = 33	123 n = 28	124 n = 40	110 n = 32	102 n = 29	82 n = 18	134 n = 42	129 n = 27	126 n = 37	122 n = 30	112 n = 25	95 n = 13
Lauf	136 n = 40	133 n = 41	126 n = 18	121 n = 23	116 n = 10	115 n = 2	138 n = 32	137 n = 43	136 n = 33	125 n = 19	119 n = 9	109 n = 3
p-Wert	,125	,033	,953	,024	,005	-	,213	,046	,001	,742	,376	-

### 5.2.1.3.2 Ausbelastung und Ergometriedauer

In der Ergometrie gelten maximale Laktatspiegel als objektiver metabolischer und RPE nach Borg als subjektiver Parameter zur Beurteilung einer Ausbelastung. Zusätzlich wurde hier auch die Dauer der Belastung, die allerdings vom Belastungsprotokoll abhing, mituntersucht.

Tabelle 5.57: Mittelwerte der Ausbelastungsparameter und Ergometriedauer differenziert nach Alter, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

Geschlecht/ Alter	LaMax (mmol/l)	Borg	Dauer (min)
Frauen 11-20 n = 73	10,1	16,4	15,2
Männer 11-20 n = 74	10,5	17,0	20,2
<b>p-Wert</b>	<b>,294</b>	<b>,046</b>	<b>,000</b>
Frauen 21-30 n = 69	10,3	16,6	16,2
Männer 21-30 n = 71	11,0	17,0	20,0
<b>p-Wert</b>	<b>,145</b>	<b>,078</b>	<b>,001</b>
Frauen 31-40 n = 58	9,34	16,8	16,0
Männer 31-40 n = 70	11,1	17,0	19,3
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,231</b>	<b>,000</b>
Frauen 41-50 n = 55	8,24	16,2	14,8
Männer 41-50 n = 50	10,9	17,0	18,5
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,004</b>	<b>,000</b>
Frauen 51-60 n = 39	8,00	15,7	13,5
Männer 51-60 n = 34	9,75	16,4	17,4
<b>p-Wert</b>	<b>,013</b>	<b>,025</b>	<b>,000</b>
<b>Frauen</b> > 60 n = 20	6,23	15,9	13,0
<b>Männer</b> > 60 n = 16	8,89	16,7	17,3
<b>p-Wert</b>	<b>,002</b>	<b>,290</b>	<b>,003</b>

Die Maximalwerte des Laktats waren bei den Männern höher als bei den Frauen, wobei erst ab der dritten Altersdekade statistisch sichere Unterschiede bestanden (Tab.5.57). Bei den Frauen waren zwischen der dritten und vierten sowie der fünften und sechsten Altersdekade signifikante Unterschiede und bei den Männern zwischen der vierten und fünften Altersgruppe nachzuweisen.

Der Borgwert unterschied sich nur in der ersten, vierten und fünften Altersgruppe signifikant zwischen den beiden Geschlechtern, wobei hier die Differenz 0,6 bzw. 0,8 betrug (Tab.5.57). Insgesamt lagen die Werte der Männer immer über den Werten der Frauen. Signifikante

Unterschiede zwischen den Altersdekaden zeigten sich nur bei den Frauen zwischen der dritten und vierten Altersdekade.

Bei der Dauer der Belastung unterschieden sich die Werte der Männer in allen Altersdekaden signifikant von denen der Frauen (Tab.5.57). Die Differenzen betragen zwischen minimal 3,3 (dritte Dekade) Minuten und maximal 5,0 (erste Dekade) Minuten. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen.

Differenziert nach der Belastungsart fiel auf, dass die maximalen Laktatwerte bei fast allen Dekaden der Männer bei der Fahrradergometrie höher waren als bei der Laufbandergometrie (Tab.5.58). Statistisch sicher war dies aber nur in der jüngsten Altersgruppe der Männer.

*Tabelle 5.58: Mittelwerte der Ausbelastungsparameter und Ergometriedauer differenziert nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede*

Geschlecht/ Alter	Frauen			Männer		
	LaMax (mmol/l)	Borg	Dauer (min)	LaMax (mmol/l)	Borg	Dauer (min)
Rad 11-20	10,2 n = 33	16,6 n = 33	15,1 n = 33	11,2 n = 42	17,3 n = 42	22,7 n = 42
Lauf 11-20	10,0 n = 40	16,3 n = 40	15,2 n = 40	9,66 n = 32	16,5 n = 32	17,0 n = 32
<b>p-Wert</b>	<b>,661</b>	<b>,246</b>	<b>,737</b>	<b>,013</b>	<b>,015</b>	<b>,006</b>
Rad 21-30	10,6 n = 28	17,1 n = 28	16,7 n = 28	11,0 n = 28	16,9 n = 28	23,4 n = 28
Lauf 21-30	10,1 n = 41	16,2 n = 41	15,8 n = 41	10,9 n = 43	17,1 n = 43	17,8 n = 43
<b>p-Wert</b>	<b>,310</b>	<b>,006</b>	<b>,539</b>	<b>,920</b>	<b>,491</b>	<b>,007</b>
Rad 31-40	9,67 n = 40	16,9 n = 40	16,7 n = 40	11,4 n = 37	16,9 n = 38	21,6 n = 38
Lauf 31-40	8,61 n = 18	16,4 n = 18	14,3 n = 18	10,8 n = 33	17,1 n = 33	16,6 n = 33
<b>p-Wert</b>	<b>,274</b>	<b>,165</b>	<b>,036</b>	<b>,187</b>	<b>,962</b>	<b>,001</b>
Rad 41-50	7,94 n = 32	16,5 n = 32	15,5 n = 32	11,4 n = 31	17,4 n = 31	20,5 n = 31
Lauf 41-50	8,66 n = 23	15,7 n = 23	13,8 n = 23	10,2 n = 19	16,4 n = 19	15,2 n = 19
<b>p-Wert</b>	<b>,427</b>	<b>,047</b>	<b>,051</b>	<b>,074</b>	<b>,006</b>	<b>,000</b>
Rad 51-60	7,92 n = 29	15,8 n = 29	14,0 n = 29	9,40 n = 25	16,3 n = 25	18,6 n = 25
Lauf 51-60	8,24 n = 10	15,6 n = 10	12,1 n = 10	10,7 n = 9	16,6 n = 9	14,1 n = 9
<b>p-Wert</b>	<b>,716</b>	<b>,862</b>	<b>,079</b>	<b>,151</b>	<b>,565</b>	<b>,012</b>
Rad > 60	6,10 n = 18	15,9 n = 16	12,9 n = 16	8,93 n = 13	17,0 n = 13	18,2 n = 13
Lauf > 60	7,48 n = 2	16,0 n = 2	13,5 n = 2	8,70 n = 3	15,3 n = 3	13,3 n = 3
<b>p-Wert</b>	-	-	-	-	-	-

Beim Borgwert ergab sich bei der Fahrradergometrie im Durchschnitt eine stärkere subjektive Ausbelastung. Statistisch sicher war dies bei den Frauen nur in der zweiten und vierten Altersdekade und bei den Männern in der ersten und vierten Altersgruppe.

In Bezug auf die Dauer der Belastung bestand bei den Frauen in der dritten und vierten Altersdekade ein statistisch sicherer Unterschied zwischen der Fahrrad- und Laufbandergometrie, während bei den Männern in allen Altersgruppen ein signifikanter Unterschied nachzuweisen war. Dabei war die Dauer bei der Fahrradergometrie immer länger als die bei der Laufbandbelastung.

Tabelle 5.59: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu Ausbelastungsparametern und Ergometriedauer differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Anzahl	Rad			Lauf			
		LaMax (mmol/l)	Borg	Dauer (min)	Anzahl	LaMax (mmol/l)	Borg	Dauer (min)
Frauen 11-20	n = 33	<b>0,44*</b>	0,14	0,31	n = 40	0,19	0,07	-0,03
Männer 11-20	n = 42	<b>0,38*</b>	0,08	0,17	n = 33	0,19	0,12	-0,18
Frauen 21-30	n = 27	<b>0,49**</b>	0,21	0,35	n = 41	0,10	0,03	<b>-0,12*</b>
Männer 21-30	n = 28	0,33	<b>0,40*</b>	0,22	n = 43	-0,02	-0,01	0,06
Frauen 31-40	n = 40	<b>0,37*</b>	0,17	<b>0,35*</b>	n = 18	<b>0,55*</b>	<b>0,49*</b>	0,04
Männer 31-40	n = 37	<b>0,40*</b>	<b>0,38*</b>	-0,13	n = 33	<b>0,39*</b>	<b>0,36*</b>	0,04
Frauen 41-50	n = 32	<b>0,38*</b>	-0,08	-0,06	n = 23	0,16	0,07	-0,03
Männer 41-50	n = 31	<b>0,55*</b>	0,02	-0,20	n = 19	<b>0,43*</b>	0,38	0,29
Frauen 51-60	n = 29	<b>0,64*</b>	0,26	<b>0,48**</b>	n = 10	0,67	0,18	-0,43
Männer 51-60	n = 25	<b>0,45*</b>	<b>0,48**</b>	<b>0,40*</b>	n = 9	0,35	-0,15	0,33
Frauen > 60	n = 18	0,11	0,05	0,27	n = 2	-	-	-
Männer > 60	n = 13	0,34	-0,31	0,09	n = 3	-	-	-

Zwischen der maximalen gemessenen Herzfrequenz und den maximalen Laktatwerten bestanden bei der Fahrradergometrie mit Ausnahme der Altersgruppe über 60 Jahre und den Männern der zweiten Altersdekade immer schwache bis mittlere Zusammenhänge ( $r = 0,37 - 0,64$ ) (Tab.5.59). Bei der Laufbandergometrie dagegen lagen nur im Altersbereich von 31 bis 40 Jahren bei beiden Geschlechtern und bei den Männern zwischen 41 und 50 Jahren schwache bis mittlere Zusammenhänge vor.

Beim Borgwert ließ sich nur vereinzelt signifikante Zusammenhänge nachweisen. Signifikante Beziehungen zwischen der Dauer und der maximalen gemessenen Herzfrequenz fanden sich gesichert nur vereinzelt.

Zusammengefasst ließen sich bei den Ausbelastungsparametern und der Ergometriedauer zwischen den maximalen Laktatwerten und der maximalen gemessenen Herzfrequenz einheitliche Beziehungen nur für die Fahrradergometrie erkennen.

### 5.2.1.4 Beziehungen zu anthropometrische Grunddaten

Beim gesunden Probandengut bestanden bei der Körperlänge, Körpermasse, aber auch beim daraus errechneten Body-Mass-Index und beim gemessenen Körperfettanteil in allen Altersgruppen deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern, ausgenommen beim BMI der über 60-Jährigen (Tab.5.60). Die Männer waren altersunabhängig im Mittel 10 cm größer als die Frauen und 15 kg schwerer. Mit zunehmendem Alter nahm dieser Unterschied etwas ab. In der Gruppe über 60 Jahre betrug die Differenz nur noch 12 kg. Die Frauen dagegen hatten durchschnittlich 7 % mehr Körperfettanteil. Beim BMI waren die Mittelwerte ähnlich (Differenz maximal 3,6 kg/m<sup>2</sup>).

Des weiteren unterschieden sich die anthropometrischen Daten vorwiegend in den jüngeren Altersdekaden signifikant von Altersdekade zu Altersdekade. Wie in der Normalbevölkerung zeigte sich eine leichte Größenabnahme ab dem 40. Lebensjahr. Das Gewicht, der BMI und der Körperfettgehalt stiegen mit zunehmendem Alter kontinuierlich an.

*Tabelle 5.60: Mittelwerte der anthropometrischen Daten des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede*

(Die in Klammern gesetzten n-Werte gelten für den Fettanteil da dieser nicht bei allen Probanden gemessen wurde)

Geschl./ Alter	Anzahl	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Fett (%)
Frauen 11-20	n = 73	167	58,1	20,7	18,6
Männer 11-20	n = 74	178	71,7	22,4	10,2
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,005</b>	<b>,000</b>
Frauen 21-30	n = 68	168	63,1	22,3	19,7
Männer 21-30	n = 71	181	78,1	23,9	10,8
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 31-40	n = 58	169	61,1	21,3	18,6
Männer 31-40	n = 70	181	81,6	24,9	14,5
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 41-50	n = 55	165	61,8	22,7	23,7
Männer 41-50	n = 50	178	76,8	24,3	16,1
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,002</b>	<b>,000</b>
Frauen 51-60	n = 39	166	61,7	22,4	24,2
Männer 51-60	n = 34	178	78,0	24,6	18,6
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,001</b>	<b>,000</b>
Frauen > 60	n = 20	164	68,2	25,3	27,3
Männer > 60	n = 16	174	77,8	25,5	20,3
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,009</b>	<b>,962</b>	<b>,000</b>



Bei allen untersuchten anthropometrischen Parametern zeigten sich keine engen Beziehungen zur maximalen gemessenen Herzfrequenz (Tab.5.61). Es ließen sich lediglich vereinzelt schwache Zusammenhänge sichern.

Tabelle 5.61: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu anthropometrischen Parametern

Geschl./ Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Fett (%)	Anzahl	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Fett (%)
Frauen 11-20	n = 33	-0,08	-0,26	-0,28	-0,29	n = 40	-0,19	-0,21	-0,13	0,04
Männer 11-20	n = 42	-0,08	<b>-0,35*</b>	<b>-0,31*</b>	-0,19	n = 32	-0,14	-0,10	0,00	0,13
Frauen 21-30	n = 27	-0,12	0,02	0,12	-0,26	n = 41	-0,04	-0,11	-0,10	0,12
Männer 21-30	n = 28	0,17	0,15	0,16	0,16	n = 43	0,01	<b>-0,35*</b>	<b>-0,38*</b>	<b>-0,40*</b>
Frauen 31-40	n = 40	-0,22	-0,20	-0,02	-0,18	n = 18	-0,00	-0,00	0,12	0,02
Männer 31-40	n = 37	-0,10	-0,26	-0,17	0,06	n = 33	-0,06	-0,07	-0,01	0,00
Frauen 41-50	n = 32	0,14	-0,20	-0,18	0,18	n = 23	-0,04	-0,07	-0,01	0,34
Männer 41-50	n = 31	-0,26	-0,14	0,08	0,10	n = 19	-0,12	-0,12	-0,09	0,17
Frauen 51-60	n = 29	<b>-0,40*</b>	-0,24	-0,04	-0,18	n = 10	-0,21	-0,41	-0,29	0,52
Männer 51-60	n = 25	0,03	-0,31	0,26	-0,30	n = 9	-0,19	-0,33	-0,16	-0,07
Frauen > 60	n = 18	0,11	0,37	0,28	0,05	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 68	-0,03	0,49	0,44	-0,09	n = 7	-	-	-	-

Auffällig war, dass sich für die meisten Parameter, ob statistisch gesichert oder nicht, eine negative Beziehung zur maximalen gemessenen Herzfrequenz ergab. Dies bedeutet in der Tendenz, dass Personen mit geringerer Körperlänge, Körpermasse sowie geringerem BMI und Fettanteil höhere Herzfrequenzen hatten.

## 5.2.1.5 Beziehungen zu körperlichem Training und Leistungsparametern

### 5.2.1.5.1 Zusammenhänge mit Trainingsvariablen

Um Zusammenhänge mit systematischem Training zu überprüfen, wurden die maximal gemessenen Herzfrequenzen mit der Anzahl der Trainingsstunden pro Woche sowie den Trainingsjahren korreliert.

Bei der Betrachtung der Mittelwerte der Trainingsvariablen zeigte sich, dass die Werte der Frauen und Männer bei beiden Parametern im Mittel um 2 Stunden/Woche bzw. 2 Trainingsjahre auseinander lagen (Tab.5.62). Statistisch sicher waren diese Unterschiede nur bei den Trainingsjahren der ersten und vierten Altersdekade.

Bei den Männern bestanden zwischen den ersten beiden Altersdekaden signifikante Unterschiede hinsichtlich der Anzahl der Trainingsstunden pro Woche bzw. Trainingsjahre.

Tabelle 5.62: Mittelwerte der Trainingsvariablen differenziert nach Alter, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

Geschlecht/Alter	StdWo	TraJa
Frauen 11-20	9,9 n = 62	8,7 n = 61
Männer 11-20	10,1 n = 65	6,4 n = 65
<b>p-Wert</b>	<b>,644</b>	<b>,001</b>
Frauen 21-30	10,7 n = 55	8,1 n = 52
Männer 21-30	13,4 n = 59	9,7 n = 59
<b>p-Wert</b>	<b>,059</b>	<b>,070</b>
Frauen 31-40	8,3 n = 33	7,7 n = 41
Männer 31-40	10,8 n = 53	9,7 n = 52
<b>p-Wert</b>	<b>,093</b>	<b>,243</b>
Frauen 41-50	7,8 n = 21	6,0 n = 39
Männer 41-50	10,6 n = 30	8,8 n = 32
<b>p-Wert</b>	<b>,164</b>	<b>,014</b>
Frauen 51-60	8,6 n = 7	6,3 n = 24
Männer 51-60	11,8 n = 21	8,6 n = 24
<b>p-Wert</b>	<b>,990</b>	<b>,633</b>
Frauen > 60	8,8 n = 9	6,0 n = 12
Männer > 60	4,5 n = 6	7,6 n = 11
<b>p-Wert</b>	<b>,607</b>	<b>,347</b>

Eine statistisch sichere Korrelation zwischen der Anzahl der Trainingsstunden pro Woche bzw. den Trainingsjahren und der maximalen gemessenen Herzfrequenzen zeigte sich nur vereinzelt (Tab.5.63). Die Vorzeichen der Koeffizienten waren überwiegend negativ, was bedeutet, dass langfristig und umfangreich Trainierende höhere Herzfrequenzen aufwiesen.

Tabelle 5.63: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den Trainingsvariablen differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Rad		Lauf	
	StdWo	TraJa	StdWo	TraJa
Frauen 11-20 n = 26	-0,08 n = 26	-0,08 n = 28	0,03 n = 36	-0,01 n = 33
Männer 11-20 n = 37	-0,11 n = 37	-0,04 n = 36	0,17 n = 28	-0,21 n = 29
Frauen 21-30 n = 21	0,36 n = 21	0,07 n = 18	0,21 n = 34	-0,08 n = 34
Männer 21-30 n = 20	-0,16 n = 20	-0,18 n = 23	<b>-0,34*</b> n = 39	-0,20 n = 36
Frauen 31-40 n = 20	-0,24 n = 20	0,31 n = 29	-0,03 n = 13	0,15 n = 12
Männer 31-40 n = 24	<b>-0,48*</b> n = 24	0,07 n = 26	-0,02 n = 29	-0,16 n = 26
Frauen 41-50 n = 9	-0,13 n = 9	-0,26 n = 22	0,26 n = 22	-0,21 n = 17
Männer 41-50 n = 17	0,05 n = 17	-0,36 n = 19	-0,50 n = 13	-0,17 n = 13
Frauen 51-60 n = 3	-0,50 n = 3	0,09 n = 15	-0,20 n = 4	<b>-0,79*</b> n = 9
Männer 51-60 n = 14	0,32 n = 14	0,40 n = 17	0,07 n = 7	<b>0,85*</b> n = 7
Frauen > 60 n = 8	-0,09 n = 8	<b>-0,87*</b> n = 10	- n = 1	- n = 2
Männer > 60 n = 3	- n = 3	-0,28 n = 9	- n = 3	- n = 2

### 5.2.1.5.2 Leistungssportler versus Breiten-/Nichtsportler

Um den Einfluss eines systematischen Leistungstrainings auf die maximale Herzfrequenz zu analysieren, wurden Probanden, die einem Kader angehörten, mit Probanden ohne Kaderzugehörigkeit verglichen.

Im gesunden Kollektiv waren 98 Frauen und 88 Männer vertreten, die einem Leistungskader angehörten. Diese waren im Mittel 22,7 Jahre alt. Da sich in den Altersstufen oberhalb des 40. Lebensjahres kaum noch Kadersportler fanden, wurden nur die ersten drei Altersdekaden verglichen.

Tabelle 5.64: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenzen (Schläge/min) der Kaderathleten und der Nichtkaderathleten differenziert nach Geschlecht und Alter

Geschlecht/ Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax gem	Anzahl	Hfmax gem
Kader 11-20	n = 54	194	n = 46	201
Kein Kad. 11-20	n = 21	199	n = 26	201
<b>p-Wert</b>		<b>,034</b>		<b>,823</b>
Kader 21-30	n = 20	188	n = 45	198
Kein Kad. 21-30	n = 36	190	n = 39	186
<b>p-Wert</b>		<b>,837</b>		<b>,009</b>
Kader 31-40	n = 11	183	n = 10	193
Kein Kad. 31-40	n = 66	185	n = 41	189
<b>p-Wert</b>		<b>,311</b>		<b>,419</b>

Die maximal gemessenen Herzfrequenzen der Kaderathleten waren bei der Fahrradergometrie im Durchschnitt niedriger und bei der Laufbandergometrie höher als die der Nichtkaderathleten, aber ein statistisch sicherer Unterschied war nur beim Radfahren in der jüngsten und beim Laufen nur in der mittleren Altersgruppe zu sichern (Tab.5.64)

Bei der Betrachtung der Mittelwerte der weiteren erhobenen Parameter (Trainings-, Ruhe- und Leistungsdaten) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Untergruppen.

In den Korrelationsberechnungen der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den erhobenen Parametern waren keine prinzipiellen Unterschiede zwischen den beiden Untergruppen zu belegen.

### 5.2.1.5.3 Beziehungen zu relativer maximaler Leistung und submaximaler Leistung an aeroben und anaeroben Schwellen

In den relativen Leistungswerte unterschieden sich die beiden Geschlechter altersunabhängig in den Mittelwerten deutlich (Tab.5.65).

Dabei ergaben sich in der Reihenfolge Maximalleistung, fixe anaerobe Schwellen-, individuelle anaerobe Schwellen-, fixe aerobe und individuelle aerobe Schwellenleistung abnehmende Werte.

*Tabelle 5.65: Mittelwerte der relativen Leistungswerte (W/kg) des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede*

(Die Anzahl der Probanden an der aeroben Schwelle wurde in Klammern hinzugefügt, wenn bei diesem Wert weniger Probandendaten zur Verfügung standen als bei den anderen Herzfrequenzen)

Geschlecht/Alter	Anzahl	WMaxkg	WASkg	WIASkg	WANSkg	WIANKg
Frauen 11-20	n = 73	3,34	1,86	1,74	2,58	2,34
Männer 11-20	n = 74	3,90	2,20	2,03	2,99	2,89
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,001</b>	<b>,000</b>	<b>,055</b>	<b>,008</b>
Frauen 21-30	n = 68	3,30	1,95	1,85	2,59	2,37
Männer 21-30	n = 71 (70)	3,99	2,45	2,12	3,13	3,04
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,001</b>	<b>,004</b>
Frauen 31-40	n = 58 (54)	3,35	1,99	1,67	2,63	2,36
Männer 31-40	n = 70 (69)	3,73	2,16	1,92	2,89	2,78
<b>p-Wert</b>		<b>,003</b>	<b>,030</b>	<b>,000</b>	<b>,157</b>	<b>,009</b>
Frauen 41-50	n = 55 (53)	2,80	1,75	1,55	2,31	2,02
Männer 41-50	n = 50	3,72	2,18	1,90	2,90	2,71
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,006</b>	<b>,005</b>
Frauen 51-60	n = 39 (34)	2,52	1,44	1,24	1,98	1,68
Männer 51-60	n = 34 (32)	3,08	1,69	1,44	2,38	2,19
<b>p-Wert</b>		<b>,002</b>	<b>,024</b>	<b>,002</b>	<b>,053</b>	<b>,165</b>
Frauen > 60	n = 20 (17)	1,81	1,10	0,95	1,53	1,23
Männer > 60	n = 16	2,73	1,56	1,34	2,09	1,94
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,041</b>	<b>,010</b>	<b>,146</b>	<b>,088</b>

Unterschiede außerhalb des Signifikanzniveaus zeigten sich bei der fixen anaeroben Schwelle (Altersstufe 1,3,5,6) und bei der individuellen anaeroben Schwelle (Alterstufe 5,6). Bei den Maximalwerten und den Werten an den beiden aeroben Schwellen bestand durchwegs ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern. Insgesamt lagen die Werte der

Probanden der ersten drei Altersstufen sehr nahe beieinander. Danach fielen die Werte deutlich von Altersstufe zu Altersstufe ab. Betrachtet man die Signifikanzen zwischen den einzelnen Jahrgängen, so zeigten sich vorwiegend ab dem 30. Lebensjahr Unterschiede im signifikanten Niveau.

Bei der Gegenüberstellung der Rad- und Laufbandbelastungen fiel auf, dass zumeist die Werte der Laufbandergometrien über denen der Fahrradergometrie lagen (Tab.5.66).

Tabelle 5.66: Mittelwerte der relativen Leistungswerte (W/kg) differenziert nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede

	Frauen						Männer					
	Anzahl	WMax kg	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg	Anzahl	WMax kg	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg
Rad 11-20	n = 33	3,21	1,54	1,27	2,28	1,84	n = 42	3,86	1,96	1,77	2,83	2,69
Lauf 11-20	n = 40	3,45	2,13	2,12	2,83	2,75	n = 32	3,96	2,51	2,37	3,26	3,15
p-Wert		,084	,000	,000	,000	,000		,670	,002	,000	,016	,005
Rad 21-30	n = 27	2,29	1,70	1,44	2,41	1,99	n = 28 (27)	3,89	2,12	1,61	2,83	2,69
Lauf 21-30	n = 41	3,31	2,12	2,12	2,72	2,61	n = 43	4,05	2,66	2,45	3,32	3,27
p-Wert		,730	,010	,000	,075	,001		,341	,012	,000	,016	,011
Rad 31-40	n = 48	3,43	1,95	1,50	2,63	2,26	n = 37 (36)	3,67	1,92	1,54	2,67	2,55
Lauf 31-40	n = 18	3,16	2,04	2,04	2,63	2,58	n = 33	3,79	2,42	2,35	3,13	3,04
p-Wert		,126	,714	,000	,973	,090		,560	,009	,000	,010	,001
Rad 41-50	n = 32 (30)	2,53	1,33	1,13	1,98	1,61	n = 31	3,80	1,97	1,66	2,80	2,58
Lauf 41-50	n = 23	3,19	2,30	2,14	2,76	2,59	n = 19	3,60	2,53	2,30	3,06	2,93
p-Wert		,000	,000	,000	,000	,000		,165	,010	,000	,184	,067
Rad 51-60	n = 29 (24)	2,35	1,21	0,96	1,80	1,43	n = 25 (24)	2,98	1,59	1,24	2,30	2,02
Lauf 51-60	n = 10	3,00	1,99	2,05	2,51	2,41	n = 9	3,37	1,96	2,02	2,61	2,68
p-Wert		,002	,002	,000	,002	,000		,202	,154	,001	,216	,006
Rad > 60	n = 18 (15)	1,71	0,97	0,83	1,41	1,10	n = 13	2,63	1,37	1,12	2,00	1,71
Lauf > 60	n = 2	2,68	2,05	1,95	2,43	2,21	n = 3	3,20	2,09	2,28	2,44	2,97
p-Wert		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-

In der Maximalleistung bestand aber nur bei den Frauen der vierten und fünften Altersdekade ein signifikanter Unterschied. Bei den Männern dagegen ließ sich kein statistischer Unterschied sichern.

Bei den beiden aeroben Schwellen (mit Ausnahme der fixen aeroben Schwelle der Frauen zwischen 31 und 40 Jahren und der Männer zwischen 51 und 60 Jahren) und bei der individuellen anaeroben Schwelle (mit Ausnahme der fixen anaeroben Schwelle der Frauen zwischen 21 und 40 Jahren und der Männer zwischen 41 und 60 Jahren) zeigte sich ein

signifikanter Unterschied zwischen den beiden Ergometrieformen. Ähnliches galt auch für die fixe anaerobe Schwelle mit Ausnahme der Frauen der dritten und der Männer der vierten Altersdekade.

Zwischen der maximalen gemessenen Herzfrequenz und den relativen Leistungswerten zeigten sich nur vereinzelt einheitliche statistisch sichere Beziehungen (Tab.5.67).

Auffallend war, dass bei der Fahrradergometrie vorwiegend positive und bei der Laufbandergometrie vorwiegend negative Abhängigkeiten bestanden. Zusammenhänge im signifikanten Bereich zeigten sich vor allem bei den Frauen bei der Fahrradergometrie zur maximalen relativen Leistung.

*Tabelle 5.67: Korrelationskoeffizient r der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu relativen Leistungswerten differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung*

Geschl/ Alter	Rad					Lauf						
	Anzahl	WMax kg	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg	Anzahl	WMax kg	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg
Frauen 11-20	n = 33	0,10	-0,18	-0,07	-0,12	-0,03	n = 40	0,12	-0,19	0,19	-0,04	0,01
Männer 11-20	n = 42	0,28	0,12	0,23	0,16	0,16	n = 32	-0,20	-0,29	-0,10	-0,26	-0,29
Frauen 21-30	n = 27	<b>0,38*</b>	0,28	0,23	0,29	0,27	n = 41	-0,13	-0,02	-0,06	-0,18	-0,18
Männer 21-30	n = 28 (27)	0,15	-0,01	0,21	0,08	0,10	n = 43	0,13	0,11	-0,04	0,34	0,02
Frauen 31-40	n = 40 (36)	<b>0,48**</b>	0,29	<b>0,38*</b>	0,28	<b>0,38*</b>	n = 18	-0,19	<b>-0,56*</b>	<b>-0,59*</b>	-0,34	-0,25
Männer 31-40	n = 37 (36)	-0,04	-0,18	-0,11	-0,14	-0,21	n = 33	0,06	-0,24	-0,35	-0,20	-0,06
Frauen 41-50	n = 32 (30)	-0,02	0,12	0,05	-0,04	-0,19	n = 23	-0,11	-0,27	-0,30	-0,20	-0,18
Männer 41-50	n = 31	0,26	-0,02	0,06	0,04	0,09	n = 19	0,26	0,13	0,09	-0,04	-0,10
Frauen 51-60	n = 29 (24)	<b>0,49**</b>	0,02	0,20	0,12	0,22	n = 10	<b>-0,76*</b>	<b>-0,64*</b>	-0,53	<b>-0,84**</b>	<b>-0,81**</b>
Männer 51-60	n = 25 (24)	<b>0,54**</b>	0,28	0,39	<b>0,47*</b>	<b>0,49*</b>	n = 9	0,22	-0,01	-0,18	0,01	0,11
Frauen > 60	n = 16 (15)	0,13	-0,11	-0,24	-0,08	-0,28	n = 2	-	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	0,30	0,20	0,15	0,16	0,30	n = 3	-	-	-	-	-

#### 5.2.1.5.4 Beziehungen der Arbeitsherzfrequenz zu den Leistungsparametern

Deutlich engere Beziehungen waren zwischen Arbeitsherzfrequenz und den Leistungsparametern (Tab.5.68.1), auch nach Differenzierung nach der Belastungsart (Tab. 5.68.2), festzustellen. Auch hier zeigten sich bei der Laufbandergometrie und fast nur bei den Frauen negative Zusammenhänge.

Tabelle 5.68.1: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen Arbeitsherzfrequenz zu rel. Leistungsparametern (W/kg) differenziert nach Geschlecht und Alter

		Gesamtkollektiv				
Gesch/ Alter	Anzahl	WMax kg	WAS Kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg
Frauen 11-20	n = 73	<b>0,41**</b>	0,20	<b>0,38**</b>	<b>0,33**</b>	<b>0,35**</b>
Männer 11-20	n = 74	<b>0,23*</b>	<b>0,25*</b>	0,16	0,17	0,10
Frauen 21-30	n = 68	<b>0,41**</b>	<b>0,50**</b>	<b>0,41**</b>	<b>0,44**</b>	<b>0,43**</b>
Männer 21-30	n = 70	<b>0,45**</b>	<b>0,38**</b>	<b>0,40**</b>	<b>0,43**</b>	<b>0,38**</b>
Frauen 31-40	n = 58 (54)	<b>0,40**</b>	0,23	<b>0,27*</b>	<b>0,36**</b>	<b>0,35**</b>
Männer 31-40	n = 70 (69)	0,10	0,20	<b>0,27*</b>	0,19	0,17
Frauen 41-50	n = 55 (53)	<b>0,41**</b>	<b>0,48**</b>	0,41	<b>0,38**</b>	<b>0,37**</b>
Männer 41-50	n = 50	<b>0,48**</b>	<b>0,36*</b>	<b>0,30*</b>	<b>0,38**</b>	<b>0,37**</b>
Frauen 51-60	n = 39 (34)	<b>0,50**</b>	0,24	<b>0,44**</b>	0,27	<b>0,39*</b>
Männer 51-60	n = 34 (33)	<b>0,58**</b>	<b>0,37**</b>	0,32	0,46	<b>0,48**</b>
Frauen > 60	n = 20 (17)	<b>0,50*</b>	0,46	0,18	0,44	0,27
Männer > 60	n = 16	0,37	0,39	0,36	0,28	0,47



Tabelle 5.68.2: Korrelationskoeffizient  $r$  der Arbeitshertzfrequenz zu rel. Leistungsparametern (W/kg) differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschl/ Alter	Rad					Lauf						
	Anzahl	WMax kg	WAS Kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg	Anzahl	WMax kg	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg
Frauen 11-20	n = 33	<b>0,40*</b>	0,20	0,16	0,24	0,23	n = 40	<b>0,44**</b>	0,06	<b>0,50**</b>	<b>0,38*</b>	<b>0,40**</b>
Männer 11-20	n = 42	0,28	0,25	0,14	0,21	0,14	n = 32	0,14	0,08	-0,09	-0,06	-0,25
Frauen 21-30	n = 27	<b>0,65**</b>	<b>0,63**</b>	<b>0,54**</b>	<b>0,67**</b>	<b>0,61**</b>	n = 41	<b>0,32*</b>	<b>0,32*</b>	0,26	0,19	0,20
Männer 21-30	n = 28 (27)	<b>0,72**</b>	<b>0,67**</b>	<b>0,57**</b>	<b>0,68**</b>	<b>0,67**</b>	n = 43	0,17	0,07	0,09	0,08	0,02
Frauen 31-40	n = 40 (36)	<b>0,52**</b>	<b>0,42*</b>	<b>0,47**</b>	<b>0,46**</b>	<b>0,47**</b>	n = 18	-0,07	-0,22	-0,18	0,00	0,05
Männer 31-40	n = 37 (36)	0,10	0,16	0,10	0,12	0,02	n = 33	0,11	-0,08	<b>-0,35*</b>	-0,03	-0,03
Frauen 41-50	n = 32 (30)	0,29	<b>0,52**</b>	0,30	0,26	0,18	n = 23	0,28	<b>0,43*</b>	0,22	0,34	0,32
Männer 41-50	n = 31	<b>0,43*</b>	0,31	0,32	0,34	0,37	n = 19	<b>0,63**</b>	<b>0,58*</b>	0,43	<b>0,49*</b>	0,43
Frauen 51-60	n = 29 (24)	<b>0,59**</b>	0,12	0,30	0,28	0,34	n = 10	<b>-0,77**</b>	-0,02	<b>-0,87**</b>	<b>-0,81**</b>	<b>-0,87**</b>
Männer 51-60	n = 25 (24)	<b>0,63**</b>	<b>0,44**</b>	0,39	<b>0,57**</b>	<b>0,56**</b>	n = 9	0,55	0,00	-0,13	0,10	0,42
Frauen > 60	n = 16 (15)	0,36	0,26	-0,16	0,18	-0,05	n = 2	-	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	0,43	0,38	0,32	0,36	0,44	n = 3	-	-	-	-	-

### 5.2.1.5.5 Beziehungen zu relativen PWC 130,150,170

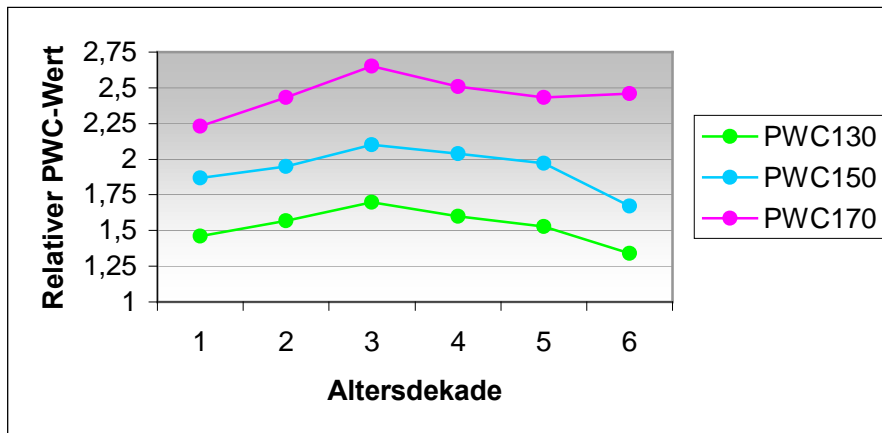
Ähnlich wie bei den Leistungswerten zeigten sich bei den PWC-Werten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern (Tab.5.69).

Tabelle 5.69: Mittelwerte der relativen PWC-Werte (W/kg) des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

Geschlecht/ Alter	PWC130kg	PWC150kg	PWC170kg
Frauen 11-20 n = 37	1,46	1,87	2,23
Männer 11-20 n = 49	1,73	2,24	2,74
<b>p-Wert</b>	<b>,012</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 21-30 n = 40	1,57	1,95	2,43
Männer 21-30 n = 54	2,09	2,52	3,08
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 31-40 n = 44	1,70	2,10	2,65
Männer 31-40 n = 59	2,03	2,48	3,06
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,001</b>
Frauen 41-50 n = 43	1,60	2,04	2,51
Männer 41-50 n = 44	2,07	2,54	3,07
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 51-60 n = 32	1,53	1,97	2,43
Männer 51-60 n = 33	1,85	2,42	3,02
<b>p-Wert</b>	<b>,007</b>	<b>,001</b>	<b>,002</b>
Frauen > 60 n = 16	1,34	1,67	2,46
Männer > 60 n = 13	1,99	2,47	2,46
<b>p-Wert</b>	<b>,009</b>	<b>,013</b>	<b>-</b>

Die Werte der Männer lagen hierbei in allen Altersbereichen deutlich über den Werten der Frauen. Die Unterschiede betragen beim PWC170 zwischen 0,41 und 0,65 Watt/kg, beim PWC150 zwischen 0,38 und 0,80 Watt/kg und beim PWC130 bei 0,32 und 0,65 Watt/kg. Für alle Altersgruppen konnte für die PWC150 bzw. PWC170 eine um jeweils 0,40 bis 0,50 Watt/kg höhere Leistung verzeichnet werden.

### Frauen



### Männer

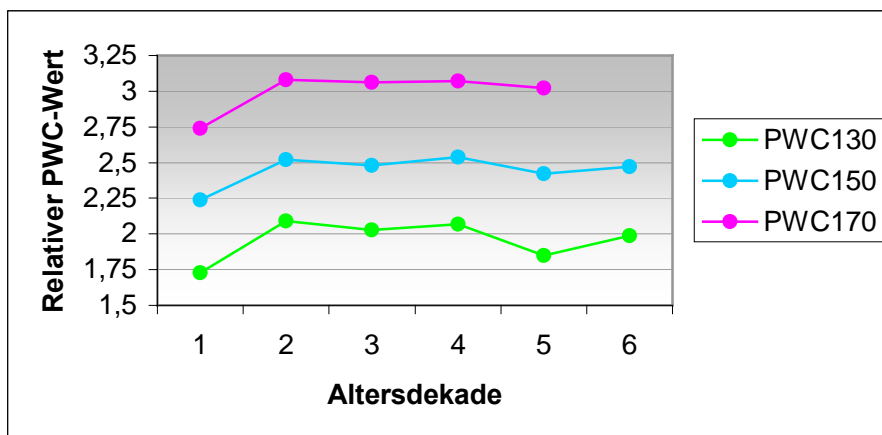


Abbildung 5.6: PWC-Werte (Watt/kg) der Frauen und Männer in Altersgruppen

Zwischen den einzelnen Altersdekaden zeigten sich kaum signifikante Unterschiede. Nur bei den Männern zwischen den ersten beiden Altersgruppen lagen bei allen drei PWC-Werten Unterschiede im signifikanten Bereich vor und bei den Frauen bei dem PWC 170-Wert zwischen der zweiten und der dritten Altersstufe.

Differenziert nach der Belastungsart ergaben sich Unterschiede zwischen den beiden Ergometrieformen, wobei vor allem die PWC 130-Werte der Laufbandergometrie gesichert über den Werten der Fahrradergometrie lagen (Tab.5.70).

Tabelle 5.70: Mittelwerte der PWC-Werte (W/kg) differenziert nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede

Geschlecht/ Alter	Frauen			Männer		
	PWC130kg	PWC150kg	PWC170kg	PWC130kg	PWC150kg	PWC170kg
Rad 11-20	1,29 n = 26	1,77 n = 33	2,22 n = 31	1,60 n = 38	2,19 n = 42	2,76 n = 42
Lauf 11-20	1,85 n = 11	1,98 n = 27	2,35 n = 39	2,19 n = 11	2,34 n = 23	2,70 n = 32
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,051</b>	<b>,285</b>	<b>,000</b>	<b>,170</b>	<b>,719</b>
Rad 21-30	1,42 n = 24	1,86 n = 27	2,50 n = 27	1,79 n = 26	2,28 n = 27	2,89 n = 26
Lauf 21-30	1,80 n = 16	2,02 n = 32	2,39 n = 39	2,37 n = 28	2,69 n = 40	3,19 n = 43
<b>p-Wert</b>	<b>,003</b>	<b>,068</b>	<b>,860</b>	<b>,000</b>	<b>,012</b>	<b>,087</b>
Rad 31-40	1,65 n = 36	2,11 n = 40	2,50 n = 33	1,96 n = 35	2,42 n = 30	3,05 n = 36
Lauf 31-40	1,94 n = 8	2,08 n = 17	2,72 n = 17	2,22 n = 24	2,56 n = 33	3,08 n = 33
<b>p-Wert</b>	<b>,181</b>	<b>,688</b>	<b>,076</b>	<b>,004</b>	<b>,320</b>	<b>,876</b>
Rad 41-50	1,43 n = 31	1,86 n = 32	2,25 n = 19	1,94 n = 29	2,40 n = 30	2,97 n = 26
Lauf 41-50	2,03 n = 12	2,36 n = 19	2,76 n = 20	2,33 n = 15	2,75 n = 19	3,23 n = 17
<b>p-Wert</b>	<b>,001</b>	<b>,001</b>	<b>,003</b>	<b>,006</b>	<b>,047</b>	<b>,358</b>
Rad 51-60	1,41 n = 26	1,83 n = 28	2,47 n = 12	1,81 n = 24	2,40 n = 23	2,98 n = 15
Lauf 51-60	2,08 n = 6	2,45 n = 8	2,35 n = 6	1,95 n = 9	2,47 n = 8	3,10 n = 8
<b>p-Wert</b>	<b>,001</b>	<b>,003</b>	<b>,553</b>	<b>,437</b>	<b>,642</b>	<b>,728</b>
Rad > 60	1,34 n = 14	1,59 n = 9	- n = 0	1,95 n = 11	2,50 n = 9	2,22 n = 4
Lauf > 60	1,63 n = 2	2,06 n = 2	2,43 n = 2	2,20 n = 2	2,38 n = 3	2,94 n = 2
<b>p-Wert</b>	-	-	-	-	-	-

Im Gegensatz dazu fanden sich bei den PWC 150–Werten und besonders den PWC 170–Werten zu sichernde Differenzen.

Zwischen den PWC-Werten und der maximalen gemessenen Herzfrequenz bestand eine vorwiegend negative Beziehung, was bedeutet, dass eine hohe maximale Herzfrequenz mit einem niedrigen PWC-Wert einherging (Tab.5.71). Beziehungen im signifikanten Bereich fanden sich vorwiegend beim PWC 150 und PWC 170 der Laufbandergometrie. Hier lag r zwischen - 0,4 und - 0,9.

Tabelle 5.71: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den relativen PWC-Werten differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Rad			Lauf		
	PWC130kg	PWC150kg	PWC170kg	PWC130kg	PWC150kg	PWC170kg
Frauen 11-20	<b>-0,47*</b> n = 26	-0,27 n = 33	-0,29 n = 31	-0,57 n = 11	-0,22 n = 27	<b>-0,39*</b> n = 39
Männer 11-20	0,05 n = 38	0,03 n = 42	-0,05 n = 42	-0,05 n = 11	<b>-0,65**</b> n = 23	<b>-0,53**</b> n = 32
Frauen 21-30	-0,24 n = 24	-0,02 n = 27	0,00 n = 27	-0,34 n = 16	-0,29 n = 32	<b>-0,53**</b> n = 39
Männer 21-30	-0,24 n = 26	-0,30 n = 27	-0,28 n = 26	-0,14 n = 28	-0,23 n = 40	<b>-0,39**</b> n = 43
Frauen 31-40	0,29 n = 36	-0,01 n = 40	0,08 n = 39	-0,68 n = 8	<b>-0,63**</b> n = 17	<b>-0,69**</b> n = 17
Männer 31-40	<b>-0,39*</b> n = 35	<b>-0,48**</b> n = 37	<b>-0,49**</b> n = 36	-0,24 n = 24	<b>-0,60**</b> n = 33	<b>-0,64**</b> n = 33
Frauen 41-50	-0,26 n = 31	<b>-0,42*</b> n = 32	-0,40 n = 19	-0,20 n = 12	<b>-0,51*</b> n = 19	<b>-0,46**</b> n = 26
Männer 41-50	-0,31 n = 29	-0,27 n = 30	-0,14 n = 26	-0,15 n = 15	-0,36 n = 19	-0,33 n = 17
Frauen 51-60	0,08 n = 26	0,14 n = 28	-0,39 n = 12	-0,71 n = 6	<b>-0,92**</b> n = 8	<b>-0,81*</b> n = 6
Männer 51-60	0,01 n = 24	0,00 n = 23	-0,15 n = 15	<b>-0,72*</b> n = 9	<b>-0,82*</b> n = 8	<b>-0,87**</b> n = 8
Frauen > 60	-0,52 n = 14	-0,59 n = 9	- n = 0	- n = 2	- n = 2	- n = 2
Männer > 60	<b>-0,71*</b> n = 11	-0,62 n = 9	0,60 n = 4	- n = 2	- n = 3	- n = 2

#### ***5.2.1.5.6 Korrelationen zu mit aeroben und anaeroben Schwellenleistungen korrespondierenden Herzfrequenzen***

Bei der Betrachtung der Mittelwerte der Schwellenherzfrequenzen ergaben sich immer in der Reihenfolge: fixe anaerobe Schwelle, individuelle anaerobe Schwelle, fixe aerobe Schwelle und individuelle aerobe Schwelle abnehmende Werte (Tab.5.72). Zur maximalen gemessenen Herzfrequenz betragen die Differenzen bei Frauen und Männern in allen Altersgruppen etwa 20 Schläge/min für die fixe anaerobe und etwa 40-45 Schläge/min für die fixe aerobe Schwelle. Bei der Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle stieg die Differenz von ca. 25 Schlägen/min in den beiden jüngsten Gruppen auf etwa 30 Schläge/min in den Altersgruppen über 50 Jahre kontinuierlich an. Bei der individuellen aeroben Schwelle blieb die Differenz mit ca. 50 Schlägen dagegen konstant.

Prozentual betragen die Herzfrequenzen an der fixen anaeroben Schwelle um 90 %, an der individuellen anaeroben Schwelle um 85 %, an der fixen aeroben Schwelle um 75 % und an der individuellen aeroben Schwelle um 70 % der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Tab.5.73).

Tabelle 5.72: Mittelwerte der Schwellenherzfrequenzen (Schläge/min) differenziert nach Alter, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

(Die Anzahl der Probanden an der aeroben Schwelle wurde in Klammern hinzugefügt, wenn bei diesem Wert weniger Probandendaten zur Verfügung standen als bei den anderen Herzfrequenzen)

Geschlecht/Alter	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIANS
Frauen 11-20	n = 73	153	148	179	171
Männer 11-20	n = 74	148	144	177	174
<b>p-Wert</b>		<b>,205</b>	<b>,297</b>	<b>,591</b>	<b>,236</b>
Frauen 21-30	n = 69	152	148	176	168
Männer 21-30	n = 71 (n = 70)	145 (n = 70)	135	170	168
<b>p-Wert</b>		<b>,031</b>	<b>,000</b>	<b>,002</b>	<b>,598</b>
Frauen 31-40	n = 59	143 (n = 57)	134	167 (n = 57)	158
Männer 31-40	n = 70	136 (n = 69)	129	165 (n = 69)	160
<b>p-Wert</b>		<b>,104</b>	<b>,178</b>	<b>,274</b>	<b>,255</b>
Frauen 41-50	n = 55	138 (n = 53)	130	161	148
Männer 41-50	n = 50	136	126	159 (n = 48)	154
<b>p-Wert</b>		<b>,846</b>	<b>,484</b>	<b>,573</b>	<b>,125</b>
Frauen 51-60	n = 39	130 (n = 31)	121	151	138
Männer 51-60	n = 34	122 (n = 33)	113	148 (n = 33)	141
<b>p-Wert</b>		<b>,038</b>	<b>,121</b>	<b>,369</b>	<b>,423</b>
Frauen > 60	n = 18	118 (n = 12)	112	137 (n = 12)	123
Männer > 60	n = 16	115	107	137	128
<b>p-Wert</b>		<b>,471</b>	<b>,334</b>	<b>,943</b>	<b>,458</b>

Tabelle 5.73: Mittelwerte der Schwellenherzfrequenzen (Schläge/min) in Prozent der maximalen gemessenen Herzfrequenz differenziert nach Alter, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

(Die Anzahl der Probanden an der aeroben Schwelle wurde in Klammern hinzugefügt, wenn bei diesem Wert weniger Probandendaten zur Verfügung standen als bei den anderen Herzfrequenzen)

Geschlecht/Alter	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIAN
Frauen 11-20	n = 73	0,78	0,75	0,91	0,86
Männer 11-20	n = 74	0,75	0,73	0,89	0,88
<b>p-Wert</b>		<b>,155</b>	<b>,098</b>	<b>,220</b>	<b>,401</b>
Frauen 21-30	n = 68	0,79	0,76	0,91	0,87
Männer 21-30	n = 71 (70)	0,76	0,70	0,89	0,87
<b>p-Wert</b>		<b>,049</b>	<b>,000</b>	<b>,017</b>	<b>,814</b>
Frauen 31-40	n = 58 (54)	0,77	0,72	0,90	0,85
Männer 31-40	n = 70 (69)	0,73	0,68	0,87	0,85
<b>p-Wert</b>		<b>,038</b>	<b>,055</b>	<b>,006</b>	<b>,880</b>
Frauen 41-50	n = 55 (53)	0,77	0,73	0,90	0,83
Männer 41-50	n = 50	0,75	0,69	0,88	0,84
<b>p-Wert</b>		<b>,334</b>	<b>,097</b>	<b>,029</b>	<b>,974</b>
Frauen 51-60	n = 39 (34)	0,77	0,72	0,90	0,82
Männer 51-60	n = 34 (32)	0,72	0,66	0,87	0,83
<b>p-Wert</b>		<b>,024</b>	<b>,015</b>	<b>,083</b>	<b>,588</b>
Frauen > 60	n = 20 (17)	0,78	0,75	0,91	0,82
Männer > 60	n = 16	0,73	0,68	0,87	0,82
<b>p-Wert</b>		<b>,110</b>	<b>,064</b>	<b>,260</b>	<b>,670</b>



Bei den absoluten Schwellenherzfrequenzen bestand mit Ausnahme der zweiten Altersdekade kein Unterschied zwischen den Geschlechtern (Tab.5.72). Bei der prozentualen Betrachtungsweise fanden sich bei den Männern mit Ausnahme der individuellen anaeroben Schwelle häufiger niedrigere Werte (Tab.5.73).

Eine Altersabhängigkeit der absoluten Herzfrequenzwerte an den Schwellen wurde insofern deutlich, als zwischen den Altersstufen zumeist ein signifikanter Unterschied der Werte bestand, was vor allem bei den beiden anaeroben Schwellen deutlich wurde.

Da sich bei der maximal gemessenen Herzfrequenz nur partiell ein signifikanter Unterschied in der Höhe der Werte zwischen den beiden Belastungsarten ergeben hatte, wurde überprüft, ob sich ein ähnliches Bild auch bei den Schwellenherzfrequenzen zeigen ließe (Tab.5.74).

*Tabelle 5.74: Mittelwerte der Schwellenherzfrequenzen (Schläge/min) nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede*

(Die Anzahl der Probanden an der aeroben Schwelle wurde in Klammern hinzugefügt, wenn bei diesem Wert weniger Probandendaten auswertbar waren)

Alter/ Ergomet.	Frauen					Männer				
	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIANS	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIANS
11-20 Rad	n = 33	143	133	171	154	n = 42	138	133	170	165
11-20 Lauf	n = 40	162	161	186	184	n = 32	162	159	187	187
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
21-30 Rad	n = 28	142	132	165	151	n = 28	141 (n = 27)	126	166	160
21-30 Lauf	n = 41	160	159	184	180	n = 43	148	141	173	173
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,178</b>	<b>,009</b>	<b>,078</b>	<b>,004</b>
31-40 Rad	n = 40	141 (n = 36)	126	164	152	n = 37	130 (n = 36)	117	156 (n = 36)	152
31-40 Lauf	n = 18	147	150	174 (n = 20)	172	n = 33	143	142	173	170
<b>p-Wert</b>		<b>,279</b>	<b>,000</b>	<b>,010</b>	<b>,000</b>		<b>,004</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
41-50 Rad	n = 32	125 (n = 30)	119	153	137	n = 31	133	122	159	151
41-50 Lauf	n = 23	153	146	171	163	n = 19	141	133	160 (n = 17)	157
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,162</b>	<b>,033</b>	<b>,855</b>	<b>,332</b>
51-60 Rad	n = 29	124 (n = 24)	113	148	131	n = 25	118 (n = 24)	106	145 (n = 24)	136
51-60 Lauf	n = 10	146	144	161	157	n = 9	130	131	155	157
<b>p-Wert</b>		<b>,001</b>	<b>,000</b>	<b>,003</b>	<b>,000</b>		<b>,193</b>	<b>,000</b>	<b>,142</b>	<b>,008</b>
> 60 Rad	n = 16	114 (n = 15)	108	133 (n = 15)	119	n = 13	110	99	133	121
> 60 Lauf	n = 2	149	144	170	158	n = 3	136	143	151	159
<b>p-Wert</b>		-	-	-	-		-	-	-	-

Tabelle 5.75: Mittelwerte der Schwellenherzfrequenzen (Schläge/min) in Prozent der maximalen gemessenen Herzfrequenz differenziert nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede

(Die Anzahl der Probanden an der aeroben Schwelle wurden in Klammern hinzugefügt, wenn bei diesem Wert weniger Probandendaten zur Verfügung standen als bei den anderen Herzfrequenzen)

	Frauen					Männer				
	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIAN	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIAN
Rad 11-20	n = 33	0,74	0,69	0,88	0,87	n = 42	0,71	0,68	0,79	0,84
Lauf 11-20	n = 40	0,81	0,80	0,93	0,93	n = 32	0,81	0,79	0,92	0,93
<b>p-Wert</b>		<b>,002</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Rad 21-30	n = 27	0,76	0,71	0,88	0,87	n = 28 (27)	0,74	0,66	0,80	0,84
Lauf 21-30	n = 41	0,81	0,80	0,93	0,90	n = 43	0,77	0,73	0,91	0,90
<b>p-Wert</b>		<b>,029</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,264</b>	<b>,003</b>	<b>,107</b>	<b>,001</b>
Rad 31-40	n = 48	0,76	0,68	0,89	0,85	n = 37 (36)	0,70	0,63	0,82	0,82
Lauf 31-40	n = 18	0,79	0,80	0,92	0,92	n = 33	0,75	0,74	0,91	0,89
<b>p-Wert</b>		<b>,551</b>	<b>,000</b>	<b>,112</b>	<b>,000</b>		<b>,044</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Rad 41-50	n = 32 (30)	0,72	0,68	0,88	0,87	n = 31	0,73	0,67	0,79	0,83
Lauf 41-50	n = 23	0,83	0,79	0,93	0,89	n = 19	0,78	0,73	0,89	0,87
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,001</b>	<b>,000</b>		<b>,119</b>	<b>,012</b>	<b>,200</b>	<b>,028</b>
Rad 51-60	n = 29 (24)	0,74	0,68	0,89	0,86	n = 25 (24)	0,71	0,63	0,79	0,80
Lauf 51-60	n = 10	0,84	0,83	0,93	0,88	n = 9	0,74	0,75	0,91	0,89
<b>p-Wert</b>		<b>,006</b>	<b>,000</b>	<b>,085</b>	<b>,000</b>		<b>,414</b>	<b>,000</b>	<b>,462</b>	<b>,004</b>
Rad > 60	n = 18 (15)	0,78	0,74	0,90	0,87	n = 13	0,72	0,65	0,81	0,79
Lauf > 60	n = 2	0,83	0,80	0,94	0,89	n = 3	0,80	0,84	0,88	0,91
<b>p-Wert</b>		<b>,441</b>	<b>,261</b>	<b>,721</b>	<b>,471</b>		<b>,364</b>	<b>,014</b>	<b>,800</b>	<b>,007</b>

Dabei zeigten sich weitestgehend signifikante Unterschiede zwischen den Werten der Rad- und Laufbandbelastung. Die Mittelwerte an den Schwellen lagen bei der Laufbandergonomie durchwegs höher. Bei den Männern waren eindeutige Unterschiede in allen Altersdekaden nur bei der individuellen aeroben Schwelle nachzuweisen. Ein ähnliches Bild ergab sich auch bei der prozentualen Betrachtung (Tab.5.75)

Zwischen der maximalen gemessenen Herzfrequenz und den Schwellenherzfrequenzen bestand immer eine positive Korrelation, was bedeutet, dass bei einer höheren maximalen Herzfrequenz auch die Werte an den submaximalen Schwellen höher waren (Tab.5.76).

Die Beziehungen zur fixen aeroben Schwelle waren am geringsten ausgeprägt. Enge bis sehr enge Zusammenhänge mit der maximalen gemessenen Herzfrequenz ergaben sich für die fixen anaeroben Schwellenwerte bei der Fahrradergometrie ( $r = 0,4 - 0,8$ ) und für die individuellen anaeroben bei der Laufbandergometrie ( $r = 0,6 - 0,9$ ).

Zusammengefasst bestanden mittlere bis enge Beziehungen zwischen der maximalen gemessenen Herzfrequenz und den Herzfrequenzen an den Schwellen.

Tabelle 5.76: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den Schwellenherzfrequenzen

Geschlecht/ Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIANS	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIANS
Frauen 11-20	n = 33	0,01	0,18	<b>0,39*</b>	0,20	n = 40	0,23	<b>0,67**</b>	<b>0,73**</b>	<b>0,78**</b>
Männer 11-20	n = 42	0,21	<b>0,37*</b>	<b>0,51**</b>	<b>0,43**</b>	n = 32	0,15	<b>0,42*</b>	<b>0,51**</b>	<b>0,64**</b>
Frauen 21-30	n = 27	<b>0,43*</b>	0,37	<b>0,53**</b>	<b>0,54**</b>	n = 41	<b>0,45**</b>	<b>0,44**</b>	<b>0,75**</b>	<b>0,70**</b>
Männer 21-30	n = 28	0,26	<b>0,46*</b>	<b>0,41*</b>	<b>0,55**</b>	n = 43	<b>0,48**</b>	<b>0,39**</b>	<b>0,57**</b>	<b>0,69**</b>
Frauen 31-40	n = 40	<b>0,43**</b>	<b>0,47**</b>	<b>0,40*</b>	<b>0,46**</b>	n = 18	0,01	0,43	<b>0,72**</b>	<b>0,84**</b>
Männer 31-40	n = 37	0,18	0,09	<b>0,47**</b>	<b>0,40**</b>	n = 33	0,14	0,34	<b>0,74**</b>	<b>0,77**</b>
Frauen 41-50	n = 32	<b>0,36*</b>	0,27	<b>0,61*</b>	-0,02	n = 23	<b>0,56**</b>	<b>0,55**</b>	<b>0,82**</b>	<b>0,75**</b>
Männer 41-50	n = 31	0,33	<b>0,38*</b>	<b>0,62**</b>	<b>0,68**</b>	n = 19	<b>0,53**</b>	<b>0,59**</b>	0,44	<b>0,69**</b>
Frauen 51-60	n = 29	0,12	<b>0,38*</b>	0,20	0,34	n = 10	0,48	<b>0,87*</b>	0,49	0,58
Männer 51-60	n = 25	0,36	<b>0,50*</b>	<b>0,63**</b>	<b>0,58**</b>	n = 9	0,37	0,18	0,54	<b>0,81**</b>
Frauen > 60	n = 18	0,47	0,29	<b>0,74*</b>	0,32	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	<b>0,74**</b>	<b>0,76**</b>	<b>0,81**</b>	<b>0,88**</b>	n = 3	-	-	-	-

Der Zusammenhang der maximalen gemessenen Herzfrequenz mit der Leistungsfähigkeit wird durch die Tatsache, dass ein enger Zusammenhang ebenfalls zwischen den Schwellenleistungen und den korrespondierenden Herzfrequenzen bestand, bestärkt (Tabb.5.77.1 und 5.77.2).

Mit Ausnahme der Frauen der 6. Altersdekade und den Männer der 5. Altersdekade waren hierbei die Werte der Korrelationskoeffizienten zwischen der Herzfrequenz und der Leistung an der fixen aeroben Schwelle am höchsten. Bei den Frauen war durchwegs der Korrelationskoeffizient bei der Herzfrequenz und der Leistung an der fixen anaeroben Schwelle am niedrigsten. Das Gleiche galt für die Männer über 50 Jahre, in den jüngeren Altersgruppen waren die Werte bei der individuellen anaeroben Schwelle niedriger.

Tabelle 5.77.1: Korrelationskoeffizient der Schwellenherzfrequenzen zu den korrespondierenden Leistungswerten

		Gesamtkollektiv			
Geschl/ Alter	Anzahl	HfAS/ WASkg/	HfIAS/ WIASkg/	HfANS/ WANSkg	HfIANS/ WIANSkg
Frauen 11-20	n = 73	<b>0,71**</b>	<b>0,71**</b>	<b>0,45**</b>	<b>0,68**</b>
Männer 11-20	n = 74	<b>0,82**</b>	<b>0,70**</b>	<b>0,62**</b>	<b>0,49**</b>
Frauen 21-30	n = 68	<b>0,68**</b>	<b>0,52**</b>	<b>0,34**</b>	<b>0,43**</b>
Männer 21-30	n = 70	<b>0,74**</b>	<b>0,46**</b>	<b>0,59**</b>	<b>0,36**</b>
Frauen 31-40	n = 58 (54)	<b>0,78**</b>	<b>0,62**</b>	<b>0,47**</b>	<b>0,47**</b>
Männer 31-40	n = 70 (69)	<b>0,76**</b>	<b>0,69**</b>	<b>0,46**</b>	<b>0,42**</b>
Frauen 41-50	n = 55 (53)	<b>0,72**</b>	<b>0,60**</b>	<b>0,53**</b>	<b>0,68**</b>
Männer 41-50	n = 50	<b>0,73**</b>	<b>0,57**</b>	<b>0,54**</b>	<b>0,44**</b>
Frauen 51-60	n = 39 (34)	<b>0,69**</b>	<b>0,60**</b>	<b>0,54**</b>	<b>0,63**</b>
Männer 51-60	n = 34 (33)	<b>0,73**</b>	<b>0,78**</b>	<b>0,64**</b>	<b>0,70**</b>
Frauen > 60	n = 20 (17)	0,23	0,35	0,32	0,25
Männer > 60	n = 16	<b>0,73**</b>	<b>0,70**</b>	<b>0,61*</b>	<b>0,72**</b>

Betrachtet man diese Zusammenhänge differenziert nach der Art der Belastung, so zeigte sich, dass diese bei der Fahrradergometrie häufiger ein signifikantes Niveau erreichten als bei der Laufbandergometrie (Tab.5.77.2).

Tabelle 5.77.2: Korrelationskoeffizient der Schwellenherzfrequenzen zu den korrespondierenden Leistungswerten differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschl/ Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	HfAS/ WASkg/	HfIAS/ WIASkg/	HfANS/ WANSkg	HfIANS/ WIANSkg	Anzahl	HfAS/ WASkg/	HfIAS/ WIASkg/	HfANS/ WANSkg	HfIANS/ WIANSkg
Frauen 11-20	n = 33	<b>0,57**</b>	0,31	0,24	<b>0,48**</b>	n = 40	<b>0,65**</b>	<b>0,32*</b>	0,21	0,12
Männer 11-20	n = 42	<b>0,70**</b>	<b>0,78**</b>	<b>0,70**</b>	<b>0,57**</b>	n = 32	<b>0,59**</b>	0,31	0,14	0,03
Frauen 21-30	n = 27	<b>0,74**</b>	<b>0,55**</b>	<b>0,52**</b>	<b>0,60**</b>	n = 41	<b>0,56**</b>	-0,02	0,09	-0,13
Männer 21-30	n = 28 (27)	<b>0,78**</b>	<b>0,62**</b>	<b>0,64**</b>	<b>0,51**</b>	n = 43	<b>0,69**</b>	<b>0,38*</b>	<b>0,53**</b>	0,17
Frauen 31-40	n = 40 (36)	<b>0,85**</b>	<b>0,56**</b>	<b>0,67**</b>	<b>0,58**</b>	n = 18	<b>0,57*</b>	-0,17	-0,17	-0,16
Männer 31-40	n = 37 (36)	<b>0,72**</b>	<b>0,68**</b>	<b>0,59**</b>	<b>0,38*</b>	n = 33	<b>0,72**</b>	0,09	0,06	-0,03
Frauen 41-50	n = 32 (30)	<b>0,53**</b>	0,27	<b>0,41*</b>	<b>0,60**</b>	n = 23	0,33	-0,20	0,12	0,09
Männer 41-50	n = 31	<b>0,66**</b>	<b>0,62**</b>	<b>0,47**</b>	<b>0,52**</b>	n = 19	<b>0,76**</b>	0,29	<b>0,62**</b>	0,16
Frauen 51-60	n = 29 (24)	<b>0,62**</b>	0,32	<b>0,56*</b>	<b>0,49**</b>	n = 10	0,15	-0,24	-0,18	-0,40
Männer 51-60	n = 25 (24)	<b>0,74**</b>	<b>0,71**</b>	<b>0,61**</b>	<b>0,61**</b>	n = 9	0,55	<b>0,72**</b>	<b>0,78*</b>	0,46
Frauen > 60	n = 16 (15)	-0,09	0,07	0,00	-0,06	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	<b>0,70**</b>	0,53	<b>0,56*</b>	<b>0,59*</b>	n = 3	-	-	-	-

Betrachtet man des weiteren den Zusammenhang zwischen den Schwellenherzfrequenzen in Prozent der maximalen gemessenen Herzfrequenz und den Leistungswerten an den korrespondierenden Schwellen, so zeigten sich auch hierbei hohe Korrelationskoeffizienten, die mit Ausnahme der Frauen über 60 Jahre (bei allen vier Schwellen) und der Männer über 60 Jahre (bei der individuellen aeroben und der fixen anaeroben Schwelle) ein signifikantes Niveau erreichten (Tab 5.78.1). Bei den Frauen unter 60 Jahren und bei den Männern mit Ausnahme der 5. Altersdekade waren die Werte bei der fixen aeroben Schwelle am höchsten.

Tabelle 5.78.1: Korrelationskoeffizient der Schwellenherzfrequenzen in Prozent der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den korrespondierenden Leistungswerten differenziert nach Geschlecht und Alter

		<b>Gesamtkollektiv</b>			
Geschl/ Alter	Anzahl	WASkg/ %HfAS	WIASkg/ %HfIAS	WANSkg/ %HfANS	WIANSkg/ %HfIAN
Frauen 11-20	n = 73	<b>0,74**</b>	<b>0,67**</b>	<b>0,53**</b>	<b>0,70**</b>
Männer 11-20	n = 74	<b>0,83**</b>	<b>0,71**</b>	<b>0,67**</b>	<b>0,53**</b>
Frauen 21-30	n = 68	<b>0,72**</b>	<b>0,47**</b>	<b>0,45**</b>	<b>0,50**</b>
Männer 21-30	n = 70	<b>0,78**</b>	<b>0,51**</b>	<b>0,68**</b>	<b>0,45**</b>
Frauen 31-40	n = 58 (54)	<b>0,83**</b>	<b>0,69**</b>	<b>0,47**</b>	<b>0,44**</b>
Männer 31-40	n = 70 (69)	<b>0,80**</b>	<b>0,67**</b>	<b>0,63**</b>	<b>0,44**</b>
Frauen 41-50	n = 55 (53)	<b>0,71**</b>	<b>0,54**</b>	<b>0,62**</b>	<b>0,57**</b>
Männer 41-50	n = 50	<b>0,78**</b>	<b>0,58**</b>	<b>0,55**</b>	<b>0,60**</b>
Frauen 51-60	n = 39 (34)	<b>0,76**</b>	<b>0,68**</b>	<b>0,58**</b>	<b>0,69**</b>
Männer 51-60	n = 34 (33)	<b>0,49**</b>	<b>0,63**</b>	<b>0,35*</b>	<b>0,47**</b>
Frauen > 60	n = 20 (17)	0,19	0,28	0,31	0,26
Männer > 60	n = 16	<b>0,56*</b>	0,41	0,49	<b>0,76**</b>

Bei beiden Belastungsarten sind überwiegend die Werte der Korrelationskoeffizienten für die fixe aerobe Schwelle am höchsten (Tab.5.78.2). Tendenziell sind bei den Frauen die Werte an den beiden fixen Schwellen bei der Laufbandergometrie höher, bei den Männern ist das erst ab dem 40.Lebensjahr der Fall. Bei beiden Geschlechtern sind mit Ausnahme der Männer zwischen 51 und 60 Jahre die Werte der beiden individuellen Schwellen bei der Fahrradergometrie höher.

Tabelle 5.78.2: Korrelationskoeffizient der Schwellenherzfrequenzen in Prozent der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den korrespondierenden Leistungswertendifferenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschl/ Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	WASkg/ %HfAS	WIASkg/ %HfIAS	WANSkg/ %HfANS	WIANSkg/ %HfIAN	Anzahl	WASkg/ %HfAS	WIASkg/ %HfIAS	WANSkg/ %HfANS	WIANSkg/ %HfIAN
Frauen 11-20	n = 33	<b>0,60**</b>	<b>0,41*</b>	0,29	<b>0,51**</b>	n = 40	<b>0,77**</b>	0,28	<b>0,42**</b>	0,11
Männer 11-20	n = 42	<b>0,75**</b>	<b>0,74**</b>	<b>0,68**</b>	<b>0,48**</b>	n = 32	<b>0,67**</b>	<b>0,42*</b>	<b>0,39*</b>	<b>0,37*</b>
Frauen 21-30	n = 27	<b>0,69**</b>	<b>0,41*</b>	0,33	<b>0,62**</b>	n = 41	<b>0,69**</b>	-0,01	<b>0,47**</b>	0,04
Männer 21-30	n = 28 (27)	<b>0,80**</b>	<b>0,59**</b>	<b>0,71**</b>	<b>0,61**</b>	n = 43	<b>0,75**</b>	<b>0,42**</b>	<b>0,63**</b>	0,22
Frauen 31-40	n = 40 (36)	<b>0,86**</b>	<b>0,52**</b>	<b>0,50**</b>	<b>0,43**</b>	n = 18	<b>0,77**</b>	0,29	<b>0,53*</b>	0,28
Männer 31-40	n = 37 (36)	<b>0,80**</b>	<b>0,66**</b>	<b>0,75**</b>	<b>0,49**</b>	n = 33	<b>0,78**</b>	0,22	<b>0,43*</b>	0,02
Frauen 41-50	n = 32 (30)	<b>0,48**</b>	0,25	<b>0,47**</b>	<b>0,57**</b>	n = 23	<b>0,66**</b>	-0,13	<b>0,63**</b>	0,19
Männer 41-50	n = 31	<b>0,70**</b>	<b>0,59**</b>	<b>0,48**</b>	0,60	n = 19	<b>0,87**</b>	0,22	<b>0,59**</b>	0,34
Frauen 51-60	n = 29 (24)	<b>0,61**</b>	<b>0,39*</b>	<b>0,42*</b>	<b>0,43*</b>	n = 10	<b>0,73*</b>	0,13	<b>0,77**</b>	0,48
Männer 51-60	n = 25 (24)	<b>0,47*</b>	<b>0,42*</b>	0,23	0,20	n = 9	0,65	0,65	<b>0,73*</b>	<b>0,67*</b>
Frauen > 60	n = 16 (15)	0,04	0,08	0,28	0,15	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	<b>0,57*</b>	0,08	0,36	<b>0,59*</b>	n = 3	-	-	-	-

## 5.2.1.6 Zusammenhänge mit hämodynamischen Parametern in Ruhe und bei/nach Belastung

### 5.2.1.6.1 Ruheherzfrequenz

Mit Ausnahme der jüngsten und ältesten Altersdekade bestand bei der Ruheherzfrequenz ein signifikanter Unterschied zwischen Frauen und Männern. Die Werte der Männer lagen durchschnittlich 4 Schläge/min unter denen der Frauen mit Ausnahme der Gruppe der über 60-Jährigen (Tab.5.79).

*Tabelle 5.79: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz (Schläge/min) des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede*

Alter/ Geschlecht	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Frauen	65,3 n = 73	64,5 n = 69	60,7 n = 58	63,2 n = 55	62,4 n = 39	67,4 n = 20
Männer	62,5 n = 74	58,8 n = 70	57,2 n = 70	58,7 n = 49	57,3 n = 34	58,9 n = 16
p-Wert	<b>,202</b>	<b>,017</b>	<b>,030</b>	<b>,030</b>	<b>,006</b>	<b>,058</b>

Im Altersverlauf schwankte die Ruheherzfrequenz bei den Frauen um 7 Schläge/Minute und bei den Männern um 5 Schläge/Minute. Zwischen den einzelnen Jahrgängen bestanden keine signifikanten Unterschiede.

Bei den Korrelationsberechnungen der maximalen gemessenen Herzfrequenz und der Ruheherzfrequenz zeigten sich vereinzelt, vor allem bei den Männern und der Laufbandergometrie signifikante Beziehungen mittleren Grades. Ein prinzipieller, eindeutiger Zusammenhang bestand nicht (Tab.5.80).



Tabelle 5.80: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximal gemessenen Herzfrequenzen zur Ruheherzfrequenz differenziert nach Geschlecht, Alter und Belastungsart

Geschlecht/ Alter	Anzahl	HfRu Rad	HfRu Lauf
Frauen 11-20	n = 33	0,15	-0,24
Männer 11-20	n = 42	0,08	0,29
Frauen 21-30	n = 27	0,19	-0,12
Männer 21-30	n = 28	<b>0,42*</b>	<b>0,38*</b>
Frauen 31-40	n = 40	0,08	0,16
Männer 31-40	n = 37	0,24	<b>0,40*</b>
Frauen 41-50	n = 32	-0,11	0,26
Männer 41-50	n = 31	0,27	<b>0,63*</b>
Frauen 51-60	n = 29	-0,04	<b>0,74*</b>
Männer 51-60	n = 25	0,20	-0,27
Frauen > 60	n = 18	0,10	-
Männer > 60	n = 13	-0,00	-

### 5.2.1.6.2 Blutdruckwerte in Ruhe und bei/nach der Belastung

Von den erhobenen Blutdruckwerte (Tabb.9.102 – 9.113) wurden der Ruheblutdruck im Liegen, der Wert bei 100 Watt Belastung (nur bei der Fahrradergometrie) und der Wert eine Minute nach Beendigung der Belastung näher untersucht und mit der maximalen gemessenen Herzfrequenz korreliert.

Tabelle 5.81: Mittelwerte der Blutdruckwerte (mmHg) des gesunden Kollektivs in Altersgruppen differenziert nach Art der Belastung, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

	Alle		Rad				Lauf	
Geschlecht/Alter	RSLiege (mmHg)	RDLiege (mmHg)	RS100 (mmHg)	RD100 (mmHg)	RS+1 (mmHg)	RD+1 (mmHg)	RS+1 (mmHg)	RD+1 (mmHg)
Frauen 11-20	122 n = 73	78 n = 73	154 n = 31	74 n = 31	144 n = 33	67 n = 33	160 n = 40	73 n = 40
Männer 11-20	129 n = 74	82 n = 74	161 n = 39	80 n = 39	166 n = 42	66 n = 42	173 n = 32	69 n = 32
<b>p-Wert</b>	<b>,001</b>	<b>,009</b>	<b>,344</b>	<b>,055</b>	<b>,000</b>	<b>,792</b>	<b>,021</b>	<b>,113</b>
Frauen 21-30	122 n = 69	79 n = 69	152 n = 27	75 n = 27	149 n = 28	72 n = 28	167 n = 41	73 n = 41
Männer 21-30	136 n = 71	83 n = 71	168 n = 25	83 n = 25	163 n = 28	69 n = 28	192 n = 43	72 n = 43
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,012</b>	<b>,001</b>	<b>,005</b>	<b>,028</b>	<b>,647</b>	<b>,000</b>	<b>,810</b>
Frauen 31-40	122 n = 58	79 n = 58	151 n = 37	79 n = 37	148 n = 40	73 n = 40	172 n = 18	78 n = 18
Männer 31-40	133 n = 70	85 n = 70	164 n = 36	88 n = 36	174 n = 37	76 n = 37	195 n = 33	77 n = 33
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,001</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,127</b>	<b>,001</b>	<b>,984</b>
Frauen 41-50	127 n = 55	80 n = 50	164 n = 31	81 n = 31	162 n = 32	77 n = 32	184 n = 23	84 n = 23
Männer 41-50	134 n = 50	83 n = 50	164 n = 29	85 n = 29	171 n = 31	75 n = 31	200 n = 19	83 n = 19
<b>p-Wert</b>	<b>,012</b>	<b>,143</b>	<b>,776</b>	<b>,082</b>	<b>,103</b>	<b>,762</b>	<b>,024</b>	<b>,969</b>
Frauen 51-60	133 n = 39	79 n = 39	175 n = 27	86 n = 27	164 n = 29	82 n = 29	175 n = 10	77 n = 10
Männer 51-60	135 n = 34	83 n = 34	171 n = 23	87 n = 23	179 n = 25	80 n = 25	180 n = 9	80 n = 9
<b>p-Wert</b>	<b>,803</b>	<b>,051</b>	<b>,352</b>	<b>,501</b>	<b>,093</b>	<b>,664</b>	<b>,661</b>	<b>,604</b>
Frauen > 60	146 n = 20	83 n = 20	187 n = 12	80 n = 12	180 n = 18	80 n = 18	193 n = 2	80 n = 2
Männer > 60	142 n = 16	80 n = 16	174 n = 13	79 n = 13	185 n = 13	75 n = 13	200 n = 3	87 n = 3
<b>p-Wert</b>	<b>,648</b>	<b>,440</b>	<b>,320</b>	<b>,611</b>	<b>,417</b>	<b>,097</b>	-	-

Mit Ausnahme der Probanden über dem 60.Lebensjahr lagen die Ruhewerte der männlichen Probanden über den Werten der weiblichen, wobei diese Unterschiede beim diastolischen Wert bis zur dritten und beim systolischen Wert bis zur vierten Altersdekade statistisch sicher waren (Tab.5.81).

Bei einer Belastung von 100 Watt lagen die systolischen Werte der Männer im Altersbereich von 21 bis 40 Jahren und die diastolischen Werte in den ersten drei Altersdekaden signifikant über den Werten der Frauen.

Bei den systolischen Blutdruckwerten eine Minute nach Beendigung der Belastung wurden sowohl bei der Fahrrad- als auch bei der Laufbandergometrie bis zur dritten bzw. vierten Altersdekade bei den Männern signifikant höhere Werte als bei den Frauen gemessen. Diastolisch bestanden keine eindeutigen Differenzen.

Zwischen den einzelnen Altersgruppen waren nur vereinzelt signifikante Unterschiede nachzuweisen.

Differenziert nach Fahrrad- und Laufbandergometrie fällt auf, dass bei den systolischen Blutdruckwerten eine Minute nach der Belastung bis zum 50. Lebensjahr und bei den diastolischen in der ersten und vierten Altersstufe ein signifikanter Unterschied bestand.

Zwischen den Blutdruckwerten und der maximal gemessenen Herzfrequenz ließen sich keine eindeutigen Korrelationen feststellen (Tab.5.82). Lediglich bei den systolischen Blutdruckwerten eine Minute nach der Laufbelastung zeigte sich ein bis zum 40. Lebensjahr signifikanter überwiegend negativer und eher schwacher Zusammenhang

*Tabelle 5.82: Korrelationskoeffizient r der maximal gemessenen Herzfrequenz zu den Blutdruckwerten differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung*

(Die Zahl der Probanden ist bei den Werten eine Minute nach Belastung die gleiche wie bei den Liegeblutdruckwerten)

Geschl./ Alter	Rad								Lauf						
	Anzahl	RSLieg (mmHg)	RDLieg (mmHg)	Anzahl	RS100 (mmHg)	RD100 (mmHg)	RS+1 (mmHg)	RD+1 (mmHg)	Anzahl	RSLieg (mmHg)	RDLieg (mmHg)	RS100 (mmHg)	RD100 (mmHg)	RS+1 (mmHg)	RD+1 (mmHg)
Frauen 11-20	n=33	-0,03	0,28	n=31	-0,16	-0,16	0,09	-0,01	n=40	0,03	-0,08	-	-	<b>-0,48*</b>	0,01
Männer 11-20	n=42	-0,23	-0,07	n=39	-0,18	-0,07	-0,14	-0,06	n=32	0,19	0,18	-	-	0,03	-0,14
Frauen 21-30	n=28	-0,00	0,05	n=27	0,11	0,16	0,08	-0,07	n=41	-0,20	-0,12	-	-	<b>-0,32*</b>	0,09
Männer 21-30	n=28	<b>0,39*</b>	-0,11	n=25	0,15	-0,19	-0,10	-0,26	n=43	-0,07	0,05	-	-	<b>-0,34*</b>	0,06
Frauen 31-40	n=40	-0,18	-0,09	n=37	0,17	0,19	-0,13	0,03	n=18	0,08	0,11	-	-	-0,11	0,12
Männer 31-40	n=37	0,12	-0,01	n=36	-0,13	-0,12	<b>-0,43**</b>	0,05	n=33	-0,08	-0,03	-	-	<b>-0,46**</b>	-0,06
Frauen 41-50	n=32	0,23	0,29	n=31	0,27	0,20	0,11	-0,04	n=23	0,23	0,07	-	-	-0,12	-0,12
Männer 41-50	n=31	<b>0,40*</b>	0,20	n=29	0,09	0,14	-0,02	0,13	n=19	0,29	0,20	-	-	0,21	-0,05
Frauen 51-60	n=29	0,11	-0,02	n=27	0,18	0,10	0,34	0,04	n=10	-0,13	0,24	-	-	-0,34	-0,23
Männer 51-60	n=25	0,07	0,03	n=23	-0,05	0,07	0,05	-0,04	n=9	-0,46	-0,54	-	-	-0,67	0,64
Frauen > 60	n=18	-0,19	0,14	n=12	0,33	0,35	0,05	0,22	n=2	-	-	-	-	-	-
Männer > 60	n=13	0,55	0,10	n=13	-0,25	0,37	0,17	0,28	n=3	-	-	-	-	-	-

### 5.2.1.7 Beziehungen zu ausgewählten laborchemischen Parametern

Von den laborchemischen Parametern wurden das rote Blutbild (Erythrozyten, Hämoglobin, Hämatokrit), die Blutkörperchengeschwindigkeit nach 1 Stunde, die Substrate Cholesterin, Triglyzeride und Blutglukose, der Metabolit Harnsäure sowie die Enzyme Kreatinkinase und  $\gamma$ -Gt analysiert.

Bei den Messgrößen des roten Blutbildes waren in allen Altersbereichen die Werte der Männer signifikant höher als die der Frauen (Tab.5.83). Bei der BSG lagen dagegen in den ersten vier Altersdekaden die Werte der Frauen signifikant über denen der Männer.

*Tabelle 5.83: Mittelwerte des roten Blutbildes und der BSG des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede*

Geschlecht/Alter	Erys (* 10 <sup>6</sup> µl)	Hb (g/dl)	Hkt (Prozent)	BSG1 (mm 1Std)
Frauen 11-20 n = 69	4,44	13,3 n = 69	38,6 n = 69	7,1 n = 71
Männer 11-20 n = 44	5,02	15,1 n = 74	43,3 n = 74	3,5 n = 74
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 21-30 n = 69	4,45	13,6 n = 65	39,5 n = 67	7,4 n = 68
Männer 21-30 n = 69	4,95	15,0 n = 69	43,1 n = 69	3,3 n = 69
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 31-40 n = 64	4,41	13,4 n = 54	39,5 n = 54	6,8 n = 57
Männer 31-40 n = 67	4,95	15,2 n = 67	43,6 n = 67	4,1 n = 68
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 41-50 n = 54	4,34	13,5 n = 54	39,6 n = 54	7,4 n = 55
Männer 41-50 n = 48	4,81	14,7 n = 48	42,6 n = 58	4,8 n = 48
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,001</b>
Frauen 51-60 n = 57	4,38	13,6 n = 37	40,0 n = 37	6,4 n = 37
Männer 51-60 n = 34	4,81	14,8 n = 34	43,2 n = 34	5,2 n = 34
<b>p-Wert</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,077</b>
Frauen > 60 n = 18	4,40	13,5 n = 18	40,0 n = 18	9,4 n = 18
Männer > 60 n = 16	4,63	14,7 n = 16	42,4 n = 16	6,9 n = 16
<b>p-Wert</b>	<b>,039</b>	<b>,006</b>	<b>,022</b>	<b>,175</b>

Bei den Substraten lag der Blutglukosespiegel der männlichen Probanden in der Mehrzahl der Altersgruppen statistisch sicher über dem der weiblichen. Eindeutig sichere Unterschiede

bestanden bei den Cholesterinwerten der Frauen zwischen 11 – 30 Jahren (Tab.5.84). Sicher höhere Triglyzeridwerte hatten die Männer im Alterbereich von 31 – 50 Jahren.

Die Harnsäure war prinzipiell bei den Männer signifikant über den Werten der Frauen zu finden. Auch die CK und y-GT wurden bei den Männern in fast allen Altersgruppen höher bestimmt.

Zwischen den einzelnen Altersdekaden bestanden zumeist nur vereinzelt signifikante Unterschiede. Die einzige Ausnahme stellte der Cholesterinwert der Männer dar. Darin unterschieden sich mit Ausnahme der letzten beiden Altersdekaden die Altersgruppen signifikant.

*Tabelle 5.84: Mittelwerte der Substrate, Harnsäure und Enzyme des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede*

Geschlecht/Alter	Chol (mg/dl)	Trig (mg/dl)	Gluk (mg/dl)	HSA (mg/dl)	CK (U/l)	y-GT (U/l)
Frauen 11-20	187 n = 71	106 n = 25	93 n = 69	4,1 n = 70	57 n = 71	7,9 n = 71
Männer 11-20	165 n = 72	129 n = 15	97 n = 73	5,2 n = 73	97 n = 73	10,3 n = 72
<b>p-Wert</b>	<b>,001</b>	<b>,175</b>	<b>,030</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 21-30	203 n = 63	117 n = 30	93 n = 64	4,0 n = 66	63 n = 66	8,7 n = 64
Männer 21-30	182 n = 66	107 n = 19	92 n = 66	5,1 n = 68	91 n = 66	10,2 n = 64
<b>p-Wert</b>	<b>,005</b>	<b>,572</b>	<b>,766</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,001</b>
Frauen 31-40	203 n = 56	84 n = 36	94 n = 54	3,9 n = 56	45 n = 56	9,2 n = 56
Männer 31-40	203 n = 65	142 n = 51	97 n = 66	5,3 n = 67	81 n = 68	13,3 n = 67
<b>p-Wert</b>	<b>,952</b>	<b>,000</b>	<b>,090</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 41-50	212 n = 54	93 n = 52	97 n = 55	4,2 n = 55	44 n = 54	11,1 n = 55
Männer 41-50	222 n = 47	135 n = 42	100 n = 47	5,1 n = 47	74 n = 47	15,2 n = 47
<b>p-Wert</b>	<b>,193</b>	<b>,006</b>	<b>,024</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Frauen 51-60	235 n = 36	112 n = 36	94 n = 37	4,0 n = 37	43 n = 32	10,7 n = 37
Männer 51-60	243 n = 34	156 n = 34	101 n = 34	5,5 n = 34	59 n = 34	17,3 n = 34
<b>p-Wert</b>	<b>,139</b>	<b>,212</b>	<b>,005</b>	<b>,000</b>	<b>,111</b>	<b>,003</b>
Frauen > 60	233 n = 18	106 n = 18	112 n = 18	4,2 n = 18	43 n = 18	11,2 n = 18
Männer > 60	237 n = 66	146 n = 16	104 n = 16	5,5 n = 16	46 n = 16	12,2 n = 16
<b>p-Wert</b>	<b>,772</b>	<b>,187</b>	<b>,851</b>	<b>,000</b>	<b>,574</b>	<b>,022</b>

Zusammenhänge dieser Parameter mit der maximal gemessenen Herzfrequenz waren vereinzelt zu sichern, aber nicht prinzipiell zu belegen (Tabb.5.85 und 5.86).

Tabelle 5.85: Korrelationskoeffizient r der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den roten Blutwerten und der BSG differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	Erys (* 10 <sup>6</sup> µl)	Hb (g/dl)	Hkt (Prozent)	BSG1 (mm1Std)	Anzahl	Erys (* 10 <sup>6</sup> µl)	Hb (g/dl)	Hkt (Prozent)	BSG1 (mm1Std)
Frauen 11-20	n = 30	-0,02	0,03	0,01	-0,16	n = 39	-0,06	0,16	0,13	0,02
Männer 11-20	n = 42	-0,22	-0,08	-0,09	0,13	n = 32	0,04	-0,02	0,08	-0,14
Frauen 21-30	n = 27	0,19	0,05	0,07	-0,13	n = 40	0,13	0,16	0,09	-0,16
Männer 21-30	n = 26	0,35	0,35	0,37	-0,24	n = 43	0,26	0,30	0,29	-0,16
Frauen 31-40	n = 38	-0,20	-0,05	-0,09	0,19	n = 16	0,43	0,30	0,21	-0,01
Männer 31-40	n = 35	0,27	0,05	-0,03	-0,16	n = 32	0,14	-0,00	-0,08	0,10
Frauen 41-50	n = 32	0,10	0,08	0,10	-0,19	n = 22	0,31	0,24	0,26	-0,04
Männer 41-50	n = 30	-0,03	0,16	-0,09	0,28	n = 18	-0,19	-0,08	-0,03	-0,02
Frauen 51-60	n = 27	0,09	0,03	0,16	-0,21	n = 10	0,40	0,31	0,01	0,25
Männer 51-60	n = 25	-0,24	-0,35	-0,29	0,16	n = 9	0,13	0,14	0,14	-0,06
Frauen > 60	n = 18	<b>-0,54</b>	-0,31	-0,41	0,21	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	-0,39	-0,21	-0,20	0,05	n = 3	-	-	-	-

Tabelle 5.86: Korrelationskoeffizient r der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu Substraten, Harnsäure und Enzymen differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad						Lauf					
	Chol (mg/dl)	Trig (mg/dl)	Gluk (mg/dl)	HSA (mg/dl)	CK (U/l)	y-GT (U/l)	Chol (mg/dl)	Trig (mg/dl)	Gluk (mg/dl)	HSA (mg/dl)	CK (U/l)	y-GT (U/l)
Frauen 11-20	-0,23 n = 32	-0,24 n = 10	<b>0,15</b> n = 30	-0,11 n = 31	0,02 n = 32	-0,01 n = 39	0,10 n = 32	-0,32 n = 15	0,16 n = 39	0,10 n = 39	-0,18 n = 39	0,15 n = 39
Männer 11-20	0,07 n = 40	0,14 n = 8	0,04 n = 41	<b>-0,38*</b> n = 41	-0,00 n = 42	0,05 n = 32	<b>0,38*</b> n = 41	0,16 n = 7	0,06 n = 32	0,08 n = 32	0,01 n = 31	-0,02 n = 31
Frauen 21-30	-0,04 n = 26	0,07 n = 15	0,18 n = 25	-0,29 n = 25	0,09 n = 25	<b>-0,57**</b> n = 37	<b>-0,41*</b> n = 24	-0,05 n = 15	0,06 n = 39	<b>0,07</b> n = 41	-0,28 n = 41	<b>0,31*</b> n = 40
Männer 21-30	0,11 n = 24	-0,29 n = 10	0,19 n = 24	<b>-0,32</b> n = 25	-0,38 n = 24	0,02 n = 42	0,15 n = 24	-0,13 n = 9	0,13 n = 42	--0,07 n = 43	-0,01 n = 42	-0,04 n = 46
Frauen 31-40	-0,13 n = 39	-0,28 n = 29	-0,08 n = 38	0,01 n = 39	-0,20 n = 39	-0,13 n = 17	0,15 n = 39	-0,15 n = 7	-0,23 n = 16	0,02 n = 17	<b>-0,49*</b> n = 17	-0,13 n = 17
Männer 31-40	0,08 n = 35	-0,15 n = 26	-0,13 n = 35	-0,21 n = 32	0,24 n = 36	-0,01 n = 30	-0,01 n = 36	-0,24 n = 25	<b>-0,61**</b> n = 31	-0,08 n = 31	0,03 n = 32	-0,22 n = 31
Frauen 41-50	-0,20 n = 31	-0,12 n = 29	0,05 n = 32	-0,16 n = 32	-0,25 n = 32	-0,23 n = 23	-0,03 n = 32	-0,11 n = 23	0,30 n = 23	0,09 n = 23	0,02 n = 22	-0,14 n = 23
Männer 41-50	0,05 n = 29	0,27 n = 27	0,29 n = 29	-0,04 n = 29	-0,28 n = 29	-0,12 n = 18	-0,04 n = 29	-0,31 n = 15	0,08 n = 18	0,26 n = 18	0,16 n = 18	-0,08 n = 18
Frauen 51-60	0,07 n = 26	0,09 n = 26	0,06 n = 27	0,09 n = 27	-0,06 n = 27	-0,10 n = 10	-0,05 n = 27	-	-0,35 n = 10	0,10 n = 10	-0,24 n = 10	-0,22 n = 10
Männer 51-60	-0,17 n = 25	0,11 n = 25	-0,08 n = 25	-0,06 n = 25	-0,12 n = 25	0,12 n = 9	0,19 n = 25	<b>0,76**</b> n = 9	0,23 n = 9	0,32 n = 9	-0,57 n = 9	-0,12 n = 9
Frauen > 60	-0,07 n = 16	-0,13 n = 16	-0,05 n = 16	0,17 n = 16	0,02 n = 1	-	-	-	-	-	-	-
Männer > 60	<b>0,58*</b> n = 13	0,17 n = 13	0,19 n = 13	0,43 n = 13	-0,09 n = 13	-	-	-	-	-	-	-

### **5.2.1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse zur maximalen gemessenen Herzfrequenz des gesunden Kollektivs**

Mit zunehmenden Altersdekaden war statistisch eindeutig eine Abnahme der maximal gemessenen Herzfrequenz und der Arbeitsherzfrequenz feststellbar. Beziehungen zu und Unterschiede zwischen den Geschlechtern bestanden bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz nicht. Bei der Arbeitsherzfrequenz lagen ab der dritten Altersdekade die Werte der Männer signifikant über denen der Frauen.

Bei der Laufbandergometrie fanden sich gegenüber der Fahrradergometrie tendenziell höhere Mittelwerte. Eindeutige Unterschiede ließen sich jedoch nur in 5 der 10 aus Altersdekaden und Geschlecht gebildeten und im Hinblick auf Probandenzahlen statistisch auswertbaren Gruppen belegen.

Die Ausbelastung, gemessen an den maximalen Laktatspiegeln und dem RPE nach Borg, war nach Mittelwerten durchwegs bei Männern gegenüber Frauen stärker. Eindeutige Unterschiede ergaben sich beim maximalen Laktatspiegel in 4, beim Borgwert in 3 der jeweils 6 nach Altersdekaden gebildeten Gruppen. Bei Differenzierung nach Ergometrieart galt dies hauptsächlich für die Fahrradergometerbelastung. Die Ergometriedauer war prinzipiell bei Männern länger als bei Frauen und bei der Fahrradergometrie länger als bei der Laufbandergometrie.

Eine Beziehung der maximal gemessenen Herzfrequenz war zu den maximalen Laktatspiegeln statistisch sicher positiv bei beiden Geschlechtern in allen Altersdekaden bei der Fahrradergometrie (9 von 12 Gruppen), weniger bei der Laufbandergometrie (3 der 10 Gruppen) und überwiegend mittleren Grades herzustellen. Eine positive Beziehung zum Borgwert war nur in 3 bzw. 2 der jeweiligen Ergometriegruppen, eine zur Ergometriedauer nur in 3 bzw. 1 der Gruppen zu belegen.

In allen Altersdekaden wiesen Männer eindeutig höhere relative Maximalleistungen und höhere aerobe fixe und individuelle Schwellenleistungen auf. In 2 bzw. 4 der 6 Altersdekaden waren höhere Werte bei den Männern auch für die anaerobe fixe bzw. individuelle Schwellenleistung sicher, bei den anderen in der Tendenz zu belegen. Auch die Leistungen bei Herzfrequenz 130/150/170 waren bei den Männern tendenziell höher. Die submaximalen Leistungen, nicht aber die maximale Leistung waren nahezu grundsätzlich bei der Laufbandergometrie höher als bei der Fahrradergometrie. Prozentual betrug die Herzfrequenzen an der fixen anaeroben Schwelle um 90 %, an der individuellen anaeroben Schwelle um 85 %, an der fixen aeroben Schwelle um 75 % und an der individuellen aeroben Schwelle um 70 % der maximal gemessenen Herzfrequenz.

Beziehungen der maximal gemessenen Herzfrequenz zur maximalen Leistung und zu Schwellenleistungen waren nur vereinzelt in Altersgruppen zu sichern, wobei eine positive Korrelation bei der Fahrradergometrie, eine negative bei der Laufbandergometrie vorlag. Die maximale Arbeitsherzfrequenz ließ dem gegenüber sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen mehrfach mittlere Zusammenhänge vor allem zu der relativen Maximalleistung und der an der individuellen anaeroben Schwelle erkennen. Dabei fielen auch hierbei bei der Laufbandergometrie negative Beziehungen auf, während bei der Fahrradergometrie durchwegs positive Korrelationen bestanden.

Zu den PWC 170-Leistungen waren bei der Laufbandergometrie in allen Altersdekaden, zu den PWC 150-Leistungen in fast allen Gruppen negative Zusammenhänge mittleren Grades zu sichern. Für die Fahrradergometrie und PWC 130-Leistungen traf dies mit ebenfalls negativen Vorzeichen nur vereinzelt zu.

Zu den mit Schwellenleistungen korrelierenden Herzfrequenzen, die ohne nennenswerte Geschlechtsunterschiede nahezu prinzipiell bei der Laufbandergometrie höher waren als bei der Fahrradergometrie, zeigten sich nahezu in allen Altersdekaden bei Männern und Frauen positive, mittlere bis enge Korrelationen für diejenigen an fixen und individuellen anaeroben Schwellen. In 4 der 6 Rad-Gruppen und 4 der 5 Laufband-Gruppen galt dies im Prinzip auch für individuelle aerobe Schwellenherzfrequenzen, wobei der Zusammenhang aber geringer war. Bei den Herzfrequenzen an der fixen aeroben Schwelle ließen sich nur in der Hälfte der Gruppen gesicherte Beziehungen erkennen.

Zu Trainingsvariablen, Leistungstraining, Körperlänge, Körpermasse, BMI und Gesamtkörperfettgehalt, Ruheherzfrequenz, Blutdruckwerten in Ruhe sowie bei/nach der Belastung und laborchemischen Parametern konnten nur vereinzelt in dem nach Geschlecht, Altersgruppen und Belastungsart gruppierten gesunden Kollektiv Korrelationen mit der maximal gemessenen Herzfrequenz gesichert werden. Statistisch eindeutige prinzipielle Zusammenhänge waren nicht zu erkennen.



## 5.2.1.9 Maximal gemessene Herzfrequenz in abnormen Gruppen

### 5.2.1.9.1 Übergewicht versus Normalgewicht

Um den Einfluss von Übergewicht auf die maximale gemessene Herzfrequenz zu prüfen, wurden die Werte von Probanden mit einem BMI von über 25 kg/m<sup>2</sup> mit solchen von Probanden mit einem BMI unter 25 kg/m<sup>2</sup> verglichen.

Insgesamt waren 25 gesunde Frauen und 69 gesunde Männer vertreten, die nach diesem Kriterium als übergewichtig einzustufen waren und mit 535 Normalgewichtigen des gesunden Kollektives verglichen wurden.

Tabelle 5.87: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit einem BMI < und > 25 kg/m<sup>2</sup> differenziert nach Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax gem.	Anzahl	Hfmax gem.
BMI > 25 11-20	n = 13	190	n = 0	-
BMI < 25 11-20	n = 62	196	n = 72	201
<b>p-Wert</b>		<b>,004</b>		-
BMI > 25 21-30	n = 8	187	n = 8	188
BMI < 25 21-30	n = 48	190	n = 76	196
<b>p-Wert</b>		<b>,739</b>		<b>,023</b>
BMI > 25 31-40	n = 12	183	n = 13	192
BMI < 25 31-40	n = 65	185	n = 38	189
<b>p-Wert</b>		<b>,663</b>		<b>,523</b>
BMI > 25 41-50	n = 11	177	n = 6	177
BMI < 25 41-50	n = 52	178	n = 36	184
<b>p-Wert</b>		<b>,779</b>		<b>,281</b>
BMI > 25 51-60	n = 9	162	n = 1	145
BMI < 25 51-60	n = 45	170	n = 18	176
<b>p-Wert</b>		<b>,324</b>		-
BMI > 25 > 60	n = 13	159	n = 0	-
BMI < 25 > 60	n = 18	146	n = 5	175
<b>p-Wert</b>		<b>,042</b>		-

Probanden mit einem BMI von über 25 kg/m<sup>2</sup> zeigten gegenüber denen unter 25 kg/m<sup>2</sup> bei der Fahrradergometrie in der jüngsten und ältesten Altersgruppe sowie bei der Laufbandergometrie in der Altersgruppe zwischen 31 und 40 Jahren signifikant niedrigere Herzfrequenzwerte (Tab.5.87).

Beim Vergleich der Mittelwerte der weiteren erhobenen Parameter (Trainings-, Ruhe- und Leistungsdaten) der beiden Untergruppen zeigten sich nur sehr wenige signifikante Unterschiede. Zusätzlich fanden sich bei Übergewichtigen häufig um 10-20 mmHg höhere systolische und um 10 mmHg höhere diastolische Blutdruckwerte. Bei den normalgewichtigen Probanden waren dagegen die Herzfrequenzen an den vier Schwellen und die Arbeitsherzfrequenz (im Mittel 10 Schläge/Minute) etwas höher. Ähnlich verhielt es sich auch bei den relativen Leistungswerten, die durchschnittlich um 0,2 bis 0,8 Watt/kg bei den normalgewichtigen Probanden höher gemessen wurden.

Aufgrund der geringeren Probandenzahlen in den einzelnen Altersgruppen wurden keine Korrelationsberechnungen durchgeführt.

## 5.2.1.9.2 Hypertone versus Normotone

### 5.2.1.9.2.1 Systolischer Blutdruck über 130 mmHg

Um den Einfluss eines erhöhten systolischen Liegeblutdruckwerts auf das Verhalten der Herzfrequenz zu analysieren, wurden Gruppen mit einem systolischen Blutdruck bis 130 mmHg und über 130 mmHg gebildet. Es wurden nur Probanden ohne eine manifeste kardiovaskuläre Erkrankung und ohne eine Einnahme von kardiovaskulär wirksamen Pharmaka verglichen.

Bei den Frauen hatten 79 und bei den Männern 140 der Probanden einen erhöhten systolischen Blutdruckwert.

Tabelle 5.88: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit einem systolischen Blutdruck < und > 130 mmHg differenziert nach Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax gem.	Anzahl	Hfmax gem.
RS > 130 11-20	n = 16	193	n = 8	205
RS < 130 11-20	n = 59	196	n = 64	205
<b>p-Wert</b>		<b>,131</b>		<b>,090</b>
RS > 130 21-30	n = 15	194	n = 28	192
RS < 130 21-30	n = 41	187	n = 56	197
<b>p-Wert</b>		<b>,014</b>		<b>,017</b>
RS > 130 31-40	n = 28	184	n = 14	191
RS < 130 31-40	n = 47	185	n = 37	190
<b>p-Wert</b>		<b>,719</b>		<b>,604</b>
RS > 130 41-50	n = 27	563	n = 17	185
RS < 130 41-50	n = 36	175	n = 25	181
<b>p-Wert</b>		<b>,005</b>		<b>,305</b>
RS > 130 51-60	n = 28	169	n = 8	169
RS < 130 51-60	n = 26	168	n = 11	178
<b>p-Wert</b>		<b>,965</b>		<b>,238</b>
RS > 130 > 60	n = 25	149	n = 5	175
RS < 130 > 60	n = 6	163	n = 0	-
<b>p-Wert</b>		<b>,458</b>		-

Beim Vergleich der beiden Untergruppen zeigten sich kaum Unterschiede, die statistisch zu sichern waren (Tab.5.88). Bei beiden Ergometrieformen lagen in der Gruppe der 21-30 Jährigen und bei der Fahrradergometrie der 41-50 Jährigen die Werte der Probanden mit dem erhöhten systolischen Ruheblutdruck über denen der Probanden mit normotonomem Blutdruck.

Auch in den weiteren erhobenen Parametern (Trainings-, Ruhe- und Leistungsdaten) zeigten sich nur sehr wenige signifikante Unterschiede. Die Probanden mit dem erhöhten systolischen Blutdruckwert waren im Mittel signifikant schwerer und hatten einen höheren BMI. Häufig waren die Herzfrequenz- und Laktatwerte an der individuellen anaeroben Schwelle dieser Probanden höher. Die relativen Leistungswerte und die Arbeitsherzfrequenz lagen dagegen tendenziell bei den normotonen Probanden etwas höher.

Bei den Korrelationsberechnungen der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den erhobenen Parametern waren zwischen den beiden Untergruppen keine prinzipiellen Unterschiede festzustellen.

### 5.2.1.9.2.2 Diastolischer Blutdruck über 90 mmHg

Da nicht nur beim systolischen, sondern auch beim diastolischen Blutdruck gehäuft erhöhte Werte gemessen wurden, wurde auch hier zwischen einer Gruppe mit einem diastolischen Liegeblutdruckwert bis 90 mmHg und einer mit einem höheren Wert differenziert. Auch diese Probanden standen weder unter dem Einfluss von Medikamenten noch litten sie an einer manifesten kardiovaskulären Erkrankung.

Von den gesunden Probanden hatten 16 Frauen und 38 Männer einen erhöhten diastolischen Blutdruckwert.

Tabelle 5.89: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit einem diastolischen Blutdruck < und > 90 mmHg differenziert nach Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax gem.	Anzahl	Hfmax gem.
RD > 90 11-20	n = 5	194	n = 2	209
RD < 90 11-20	n = 70	195	n = 70	201
<b>p-Wert</b>		<b>,437</b>		<b>,379</b>
RD > 90 21-30	n = 5	193	n = 5	192
RD < 90 21-30	n = 51	189	n = 79	195
<b>p-Wert</b>		<b>,183</b>		<b>,355</b>
RD > 90 31-40	n = 7	184	n = 4	191
RD < 90 31-40	n = 70	185	n = 47	190
<b>p-Wert</b>		<b>,811</b>		<b>,906</b>
RD > 90 41-50	n = 7	182	n = 7	190
RD < 90 41-50	n = 56	178	n = 35	181
<b>p-Wert</b>		<b>,286</b>		<b>,028</b>
RD > 90 51-60	n = 10	171	n = 0	-
RD < 90 51-60	n = 44	168	n = 19	174
<b>p-Wert</b>		<b>,648</b>		<b>-</b>
RD > 90 > 60	n = 1	162	n = 1	174
RD < 90 > 60	n = 30	151	n = 4	175
<b>p-Wert</b>		<b>-</b>		<b>-</b>

Zwischen den beiden Untergruppen ließ sich mit Ausnahme der Laufbandergometrie der 41-50 Jährigen kein statistisch sicherer Unterschied zeigen (Tab.5.89).

Beim Vergleich der Mittelwerte der weiteren erhobenen Parameter (Trainings-, Ruhe- und Leistungsdaten) zeigten sich neben den Unterschieden der Blutdruckwerte auch signifikante Unterschiede in Bezug auf die Körpermasse und den BMI. Vor allem bis zum 40. Lebensjahr

waren die Probanden mit dem erhöhten diastolischen Blutdruckwert schwerer und hatten einen höheren BMI. Außerdem waren bei ihnen die Laktatwerte an der individuellen anaeroben Schwelle signifikant höher. Aufgrund der geringen Probandenzahlen in den einzelnen Altersgruppen wurden keine Korrelationsberechnungen durchgeführt.

### 5.2.1.9.3 Kardiale Erkrankung versus kardial gesund

Um den Einfluss einer kardialen Erkrankung auf die maximale gemessene Herzfrequenz abzuklären, wurden die Probanden mit einer kardialen Erkrankung getrennt von denen ohne eine solche betrachtet. Wie in der Methodik erwähnt wurden hierunter nur direkt das Herz betreffende Erkrankungen zusammengefasst.

Die Gruppe der Probanden mit einer Erkrankung setzte sich aus 112 Frauen und 131 Männern zusammen. Das entsprach bei den Frauen 26 % und bei den Männern 29 % des Gesamtkollektives. Das Durchschnittsalter der Frauen mit einer kardialen Erkrankung lag bei 52,5 Jahren und das der Männer bei 55,3 Jahren.

Da sich bei den Probanden unter 40 Jahren insgesamt nur 29 Probanden mit einer kardialen Erkrankung fanden, wurden nur die Probanden ab dem 41. Lebensjahr verglichen.

Tabelle 5.90: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit und ohne eine kardiale Erkrankung differenziert nach Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax gem	Anzahl	Hfmax gem
ohne Erk 41-50	n = 66	177	n = 44	183
mit Erk 41-50	n = 27	165	n = 14	183
<b>p-Wert</b>		<b>,004</b>		<b>,799</b>
ohne Erk 51-60	n = 58	169	n = 20	175
mit Erk 51-60	n = 62	155	n = 9	174
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,764</b>
ohne Erk > 60	n = 35	152	n = 5	175
mit Erk > 60	n = 87	141	n = 5	168
<b>p-Wert</b>		<b>,015</b>		<b>,548</b>

Bei der Fahrradergometrie zeigte sich bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz ein signifikanter Unterschied zwischen den Probanden mit einer kardialen Erkrankung und denen ohne eine solche (Tab.5.90). Die Werte der „gesunden“ Probanden lagen im Mittel 12 Schläge/Minute über den Werten der „kranken“ Probanden. Bei der Laufbandergometrie ließ sich kein Unterschied sichern.

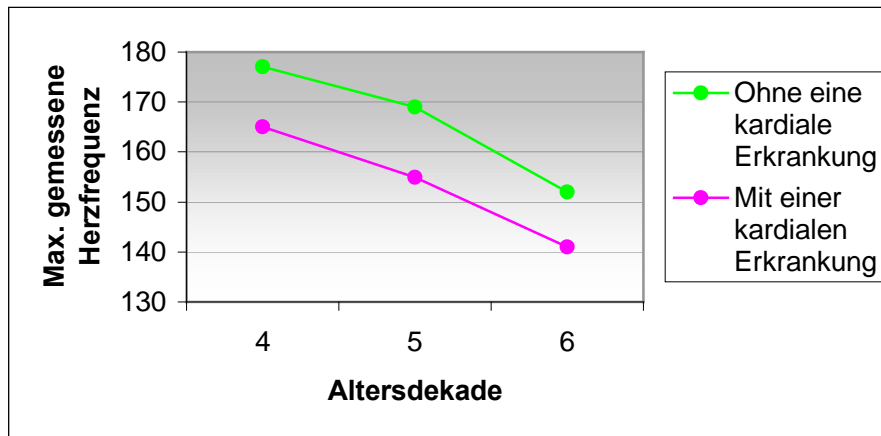


Abbildung 5.7: Mittelwerte der maximal gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit und ohne eine kardiovaskuläre Erkrankung

Beim Vergleich der weiteren erhobenen Parameter (Trainings-, Ruhe- und Leistungsdaten) der beiden Untergruppe lagen im Mittel die Werte der „gesunden“ Probanden geringfügig über den Werten der Probanden mit einer kardialen Erkrankung. Ausnahmen stellten die Körpermasse, der BMI, die Ruheherzfrequenz und die meisten erhobenen Blutdruckwerte dar. Signifikante Unterschiede zeigten sich bei der Fahrradergometrie bei den Herzfrequenzen an den beiden anaeroben Schwellen und zum größten Teil auch bei den relativen Leistungswerten, wobei dies vor allem auf die Maximalleistung und die Werte an den anaeroben Schwellen zutraf. Diese Unterschiede wurden bei den Männern deutlicher als bei den Frauen. Im Mittel lagen die Werte der Probanden ohne eine kardiale Erkrankung an den anaeroben Schwellen 10 Schläge/Minute über den Werten der Probanden mit einer kardialen Erkrankung und bei den relativen Leistungswerten zwischen 0,2 und 0,6 Watt/kg.

Bei den Korrelationsberechnungen der maximal gemessenen Herzfrequenz zu den weiteren erhobenen Parametern zeigten sich prinzipiell keinerlei Unterschiede zwischen den beiden Untergruppen.



#### 5.2.1.9.4 Kardiovaskulär wirksame Medikation

Der Einfluss einer kardiovaskulär wirksamen Medikation auf das Herzkreislaufsystem wurde durch eine Unterscheidung zwischen Probanden, die kardial wirksame Medikamente einnahmen, und Probanden, die unter keiner Medikation standen, dargestellt. Wie im Methodikteil erwähnt wurden darunter eine Monotherapie mit einem  $\beta$ -Blocker oder einem anderen Herzpräparat (Antiarrhythmika, Diuretika), eine Mehrfachtherapie mit einem  $\beta$ -Blocker und einem oder zwei weiteren herzwirksamen Medikamenten (z.B. Gerinnungshemmer wie z.B. ASS) oder andere blutdrucksenkende Mittel (z.B. ACE-Hemmer) zusammengefasst.

Insgesamt nahmen 70 Frauen und 84 Männer zum Zeitpunkt der Ergometrie kardial wirksame Medikamente ein. Das entsprach bei den Frauen 16 % und bei den Männern 19 % des Gesamtkollektives. Das mittlere Alter dieser Probanden lag bei den Frauen bei 57,2 Jahren und bei den Männern bei 59,9 Jahren. Da sich im Altersbereich unter 40 Jahren insgesamt nur 7 Probanden mit einer Einnahme einer kardial wirksamen Medikation fanden, wurden nur die Probanden ab dem 41. Lebensjahr betrachtet.

Tabelle 5.91: Mittelwerte der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit und ohne Einnahme kardiovaskulär wirksamer Medikamente differenziert nach Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax gem	Anzahl	Hfmax gem
ohne Med 41-50	n = 74	177	n = 53	183
mit Med. 41-50	n = 19	160	n = 5	180
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,535</b>
ohne Med 51-60	n = 78	167	n = 24	174
mit Med 51-60	n = 42	153	n = 5	178
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,382</b>
ohne Med > 60	n = 49	156	n = 9	173
mit Med > 60	n = 75	137	n = 1	162
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		-

Bei der Fahrradergometrie bestand hinsichtlich der maximalen gemessenen Herzfrequenz im Gegensatz zur Laufbandergometrie ein signifikanter Unterschied zwischen den Probanden mit und ohne eine kardial wirksame Medikation (Tab.5.91). Dabei lagen die Werte der Probanden ohne Medikamenteneinnahme im Mittel um 17 Schläge/Minute über denen der Probanden mit einer kardialen Medikation.

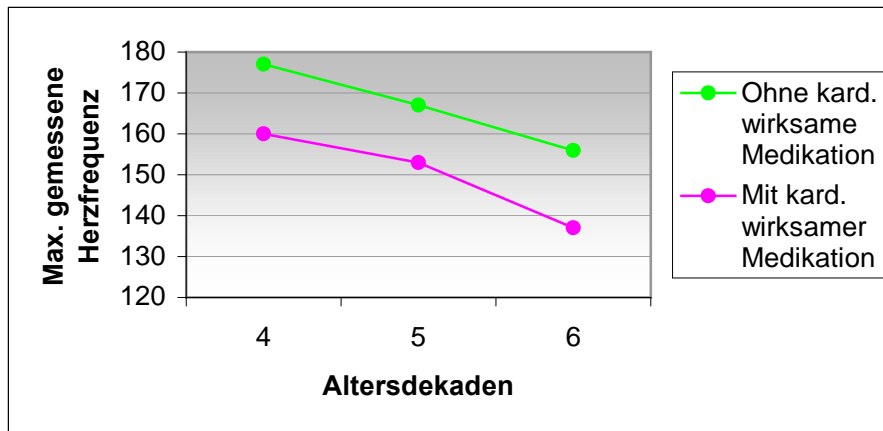


Abbildung 5.8: Maximale gemessene Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit und ohne kardiovaskulär wirksame Medikation

Betrachtet man die Mittelwerte der weiteren erhobenen Parameter (Trainings-, Ruhe- und Leistungsdaten) bei den Probanden der Fahrradergometrie, so zeigte sich, dass bei beiden Geschlechtern zwischen den Probanden mit und ohne einer kardialen Medikation ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Werte der Herzfrequenzen an den Schwellen, der Arbeitsherzfrequenz und der relativen Leistungswerte bestand. Die Werte der Herzfrequenzen an den Schwellen und die der Arbeitsherzfrequenz der Probanden ohne eine kardial wirksame Medikation waren 10 Schläge/Minute und die der relativen Leistungswerte zwischen 0,6 und 1,0 Watt/kg höher. Auch bei den anderen untersuchten Parametern lagen tendenziell die Werte der Probanden ohne eine kardial wirksame Medikation über denen der Probanden mit einer solchen. Ausnahmen stellten hierbei die Größe, Gewicht, BMI sowie die meisten Blutdruckwerte dar.

Bei den Korrelationsberechnungen der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu den erhobenen Parametern zeigten sich prinzipiell keinerlei Unterschiede zwischen den beiden Untergruppen.

## 5.2.2 Maximale lineare Herzfrequenz

Bei den Analysen zur maximalen linearen Herzfrequenz ist zu beachten, dass dieser Wert bei mehr als 50% der Probanden mit dem maximal gemessenen Herzfrequenzwert übereinstimmte und nicht gesichert war, dass damit der Endpunkt der linearen Beziehung zur Leistung und Herzfrequenz erreicht wurde.

### 5.2.2.1 Gesamtkollektiv

Die mittlere maximale lineare Herzfrequenz des Gesamtkollektivs betrug 179,5 (+/- 16,5) Schläge/Minute. Sie lag durchschnittlich 6,5 Schläge/Minute niedriger als die maximal gemessene Herzfrequenz. Aus Abb.5.9 ist eine Abnahme mit zunehmendem Alter zu erkennen.

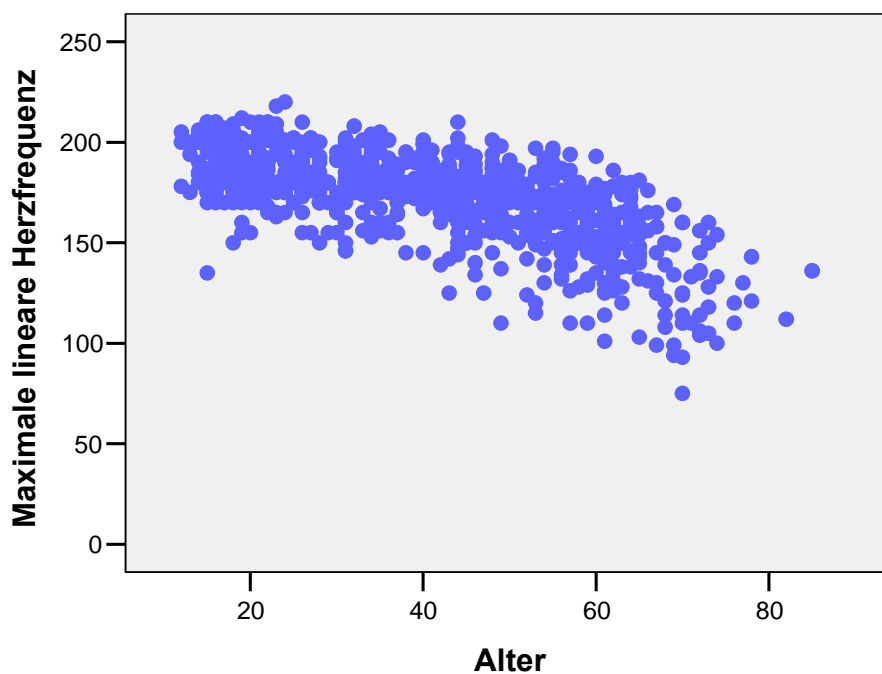


Abbildung 5.9: Maximale lineare Herzfrequenz (Schläge/min) des Gesamtkollektivs in Relation zum Lebensalter

### 5.2.2.2 Geschlechts- und Altersabhängigkeit, gesundes Kollektiv

Der Mittelwert der maximalen linearen Herzfrequenz der Frauen lag bei 178 (+/- 17) Schlägen/Minute und der der Männer bei 181 (+/- 16) Schlägen/Minute (Tab.5.92).

Tabelle 5.92: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/min) der Frauen und Männer des gesunden Probandenguts

Alter/ Geschlecht	Hfmax linear	Standard- abweichung	Minimum	Maximum	n
Frauen	178	17,0	121	212	312
Männer	181	15,9	99	218	315

Mit Ausnahme der dritten Altersdekade ( $p = 0,26$ ) bestanden zwischen Frauen und Männern keine statistisch sicheren Unterschiede.

Mit zunehmendem Alter zeigte sich eine Abnahme der Werte (Tab.5.93 und Abb.5.10). Die Werte der einzelnen Altersgruppen unterschieden sich bei beiden Geschlechtern mit Ausnahme der ersten Dekade bei den Frauen und der zweiten Altersgruppe der Männer signifikant von der nachfolgenden Altersdekade (Tab.5.94). Die Differenzen zwischen den einzelnen Altersstufen waren im jüngeren Altersbereich gering und nahmen im Alter zu. Der Korrelationskoeffizient zwischen der maximalen linearen Herzfrequenz und den Altersgruppen betrug  $r = -0,52$ .

Eine detaillierte Beschreibung der Beziehung zum chronologischen Alter folgt in Kapitel 5.3.

Zusammenfassend war nicht das Geschlecht, wohl aber das Alter maßgebend.

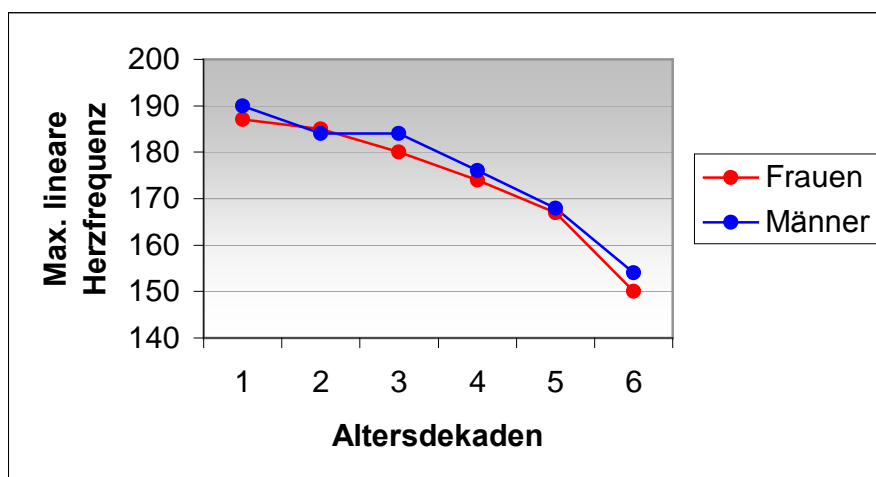


Abbildung 5.10: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/min) der Frauen und Männer in Altersgruppen

Tabelle 5.93: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/ min) des gesunden Kollektivs in Altersgruppen, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

Alter/ Geschlecht	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>Frauen</b>	187 n = 73	185 n = 69	180 n = 58	174 n = 55	167 n = 39	150 n = 20
Streuung	14,8	14,3	10,5	14,9	13,7	18,0
<b>Männer</b>	190 n = 74	184 n = 71	184 n = 70	176 n = 50	168 n = 34	154 n = 16
Streuung	10,8	17,9	10,6	14,0	17,3	22,5
<b>p-Wert</b>	<b>,460</b>	<b>,583</b>	<b>,026</b>	<b>,625</b>	<b>,358</b>	<b>,484</b>

Tabelle 5.94: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/ min) der gesunden Frauen und Männer, Hinblick auf Altersgruppenunterschiede

Alter/ Geschl.	11-20	21-30	p-Wert 1 - 2	31-40	p-Wert 2 - 3	41-50	p-Wert 3 - 4	51-60	p-Wert 4 - 5	> 60	p-Wert 5 - 6
<b>Frauen</b>	187	185	<b>,220</b>	180	<b>,034</b>	174	<b>,042</b>	167	<b>,004</b>	150	<b>,002</b>
<b>Männer</b>	190	184	<b>,005</b>	184	<b>,904</b>	176	<b>,001</b>	168	<b>,039</b>	154	<b>,028</b>

### 5.2.2.3 Abhängigkeit von ergometrischen Bedingungen

#### 5.2.2.3.1 Belastungsart

Bis auf wenige Ausnahmen (Männer: 2. und 4. Altersdekade) lagen stets die Werte der Laufbandergometrie über denen der Fahrradergometrie (Tab.5.95 und Abb.5.11). Mit Ausnahme der Probanden über 60 Jahre betrug bei den Frauen der Unterschied im Mittel 8 Schläge/Minute und bei den Männern 4 Schläge/Minute. Statistisch sicher waren die Unterschiede zwischen den beiden Ergometrieformen bei den Frauen in der zweiten, dritten und vierten Altersdekade, bei den Männern nur in der ersten Altersstufe.

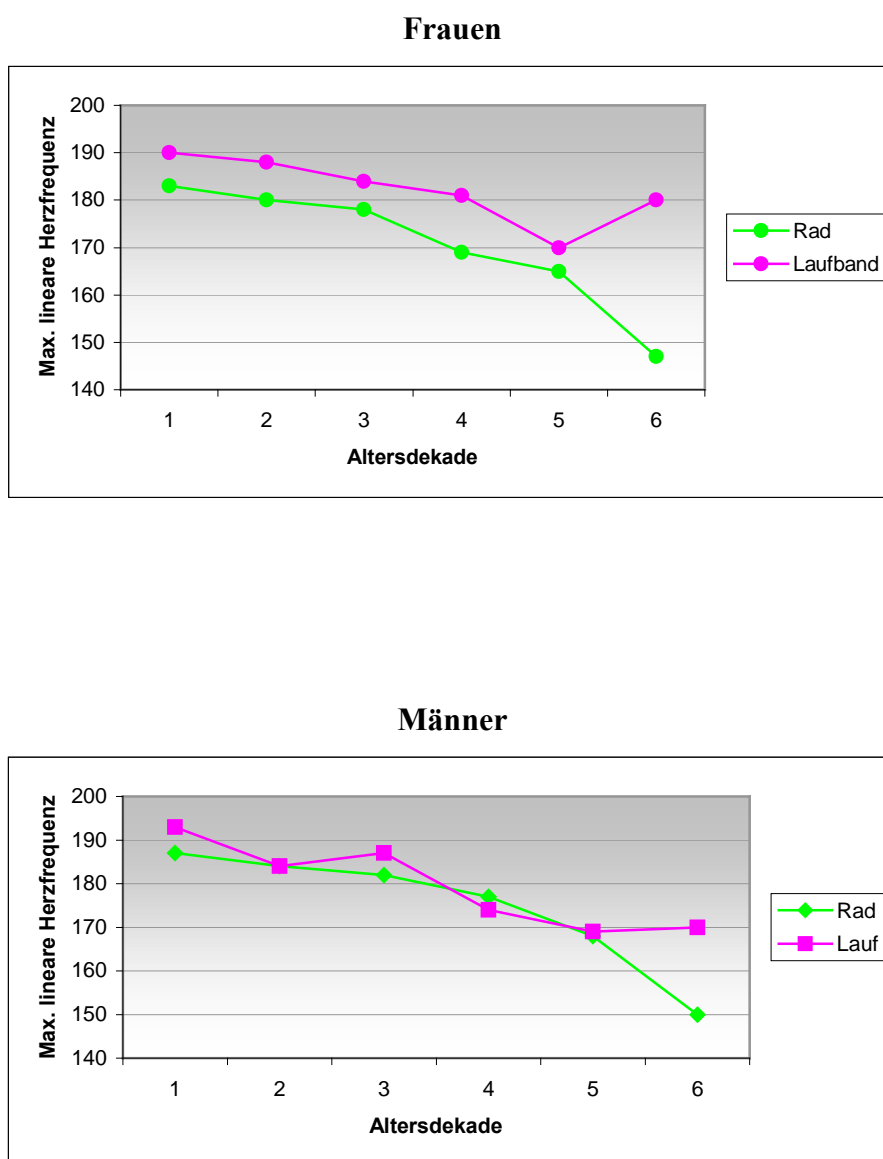


Abbildung 5.11: Maximale lineare Herzfrequenz (Schläge/min) in Altersgruppen differenziert nach der Belastungsart

Tabelle 5.95: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede

	Frauen	Männer
Alter/ Ergometrie	Hfmax linear	Hfmax linear
11-20 Rad	183 n = 33	187 n = 42
11-20 Lauf	190 n = 40	193 n = 32
<b>p-Wert</b>	<b>,193</b>	<b>,025</b>
21-30 Rad	180 n = 28	184 n = 28
21-30 Lauf	188 n = 41	184 n = 43
<b>p-Wert</b>	<b>,019</b>	<b>,939</b>
31-40 Rad	178 n = 40	182 n = 37
31-40 Lauf	184 n = 18	187 n = 33
<b>p-Wert</b>	<b>,038</b>	<b>,065</b>
41-50 Rad	169 n = 32	177 n = 31
41-50 Lauf	181 n = 23	174 n = 19
<b>p-Wert</b>	<b>,001</b>	<b>,696</b>
51-60 Rad	165 n = 29	168 n = 25
51-60 Lauf	170 n = 10	169 n = 9
<b>p-Wert</b>	<b>,272</b>	<b>,815</b>
> 60 Rad	147 n = 18	150 n = 13
> 60 Lauf	180 n = 2	170 n = 3
<b>p-Wert</b>	-	-

Zusammengefasst lässt sich bei diesem gesunden Probandengut tendenziell eine Abhängigkeit der Höhe der maximalen linearen Herzfrequenz von der Art der Belastung erkennen, wobei diese aber weniger deutlich war als bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz.

### 5.2.2.3.2 Ausbelastung und Ergometriedauer

Beziehungen der maximalen linearen Herzfrequenzen zu den maximalen Laktatwerten waren seltener im signifikanten Bereich und mit niedrigeren Korrelationskoeffizienten als bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Tab.5.96). Die Korrelationskoeffizienten waren überwiegend positiv. Es bestand kein Unterschied zwischen Frauen und Männern.

Zwischen dem Borgwert und der maximalen linearen Herzfrequenz ließen sich nur vereinzelt signifikante Beziehungen erkennen.

Auch bei der Dauer der Belastung und der maximalen linearen Herzfrequenz zeigten sich nur wenige statistisch sichere Zusammenhänge.

Tabelle 5.96: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zu den Ausbelastungsparametern und Ergometriedauer differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Rad				Lauf			
	Anzahl	LaMax (mmol/l)	Borg	Dauer (min)	Anzahl	LaMax (mmol/l)	Borg	Dauer (min)
Frauen 11-20	n = 33	0,06	-0,15	<b>0,44*</b>	n = 40	-0,14	-0,08	-0,03
Männer 11-20	n = 42	<b>0,32*</b>	0,21	0,29	n = 33	0,07	<b>0,41*</b>	-0,11
Frauen 21-30	n = 27	<b>0,45*</b>	0,23	0,17	n = 41	0,07	0,02	-0,06
Männer 21-30	n = 28	0,18	0,37	0,24	n = 43	-0,02	0,12	0,10
Frauen 31-40	n = 40	0,02	0,09	0,24	n = 18	<b>0,50*</b>	0,25	0,01
Männer 31-40	n = 37	0,32	0,24	-0,15	n = 33	<b>0,43*</b>	<b>0,38*</b>	-0,18
Frauen 41-50	n = 32	0,29	-0,12	0,02	n = 23	0,04	-0,19	-0,05
Männer 41-50	n = 31	0,32	-0,19	-0,18	n = 19	0,36	0,37	0,43
Frauen 51-60	n = 29	<b>0,53**</b>	<b>0,38*</b>	0,35	n = 10	<b>0,70*</b>	0,12	-0,44
Männer 51-60	n = 25	<b>0,57**</b>	<b>0,49*</b>	<b>0,44*</b>	n = 9	0,20	-0,42	0,38
Frauen > 60	n = 18	0,34	0,09	0,31	n = 2	-	-	-
Männer > 60	n = 13	0,34	-0,28	0,05	n = 3	-	-	-



### 5.2.2.4 Beziehung zu anthropometrische Grunddaten

Bei allen untersuchten anthropometrischen Parametern zeigten sich lediglich sehr vereinzelt schwache Beziehung zur maximalen linearen Herzfrequenz (Tab.5.97).

In den meisten Fällen ergab sich tendenziell eine negative Beziehung.

Tabelle 5.97: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zu den anthropometrischen Parametern differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

(Die in Klammern gesetzten n-Werte gelten für den Fettanteil da dieser nicht bei allen Probanden gemessen wurde)

Geschl./ Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Fett (%)	Anzahl	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Fett (%)
Frauen 11-20	n = 33 (31)	-0,11	-0,10	-0,06	-0,06	n = 40 (39)	-0,22	-0,15	-0,01	-0,09
Männer 11-20	n = 42	-0,07	-0,20	-0,08	-0,17	n = 32	-0,09	-0,21	-0,21	0,10
Frauen 21-30	n = 27 (26)	-0,26	-0,17	-0,01	-0,23	n = 41 (40)	-0,14	-0,10	0,08	-0,08
Männer 21-30	n = 28 (21)	0,20	0,02	0,01	0,06	n = 43 (40)	0,15	-0,02	-0,08	-0,18
Frauen 31-40	n = 40 (39)	-0,12	0,03	0,14	-0,03	n = 18	0,19	0,37	0,32	0,11
Männer 31-40	n = 37 (34)	-0,28	-0,32	-0,14	0,00	n = 33 (31)	0,05	0,14	0,15	0,03
Frauen 41-50	n = 32 (31)	0,04	-0,21	-0,18	0,12	n = 23 (21)	0,03	-0,19	-0,11	0,33
Männer 41-50	n = 31 (29)	-0,16	0,01	0,20	0,10	n = 19	-0,17	-0,12	0,05	0,41
Frauen 51-60	n = 29	<b>-0,44*</b>	-0,19	0,03	-0,17	n = 10	-0,24	-0,38	-0,25	0,53
Männer 51-60	n = 25 (24)	0,11	-0,27	-0,30	-0,35	n = 9	0,20	-0,35	-0,44	-0,16
Frauen > 60	n = 18	0,12	0,25	0,14	0,01	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 68	-0,18	0,47	0,48	-0,09	n = 3	-	-	-	-

## 5.2.2.5 Beziehungen zu körperlichem Training und Leistungsparametern

### 5.2.2.5.1 Zusammenhänge mit Trainingsvariablen

Die Trainingshäufigkeit in der Woche und die Anzahl der Trainingsjahre hatten bei dem gesunden Probandengut keinen entscheidenden Einfluss auf die maximale lineare Herzfrequenz (Tab.5.98). Nur vereinzelt waren signifikante Korrelationen bei den älteren Probandengruppen mit allerdings geringen Probandenzahlen nachzuweisen, deren Vorzeichen variierten.

Tabelle 5.98: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zu den Trainingsvariablen differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Rad		Lauf	
	StdWo	TraJa	StdWo	TraJa
Frauen 11-20 n = 26	-0,08	0,05 n = 28	-0,03 n = 36	0,01 n = 33
Männer 11-20 n = 37	-0,23	0,12 n = 36	-0,04 n = 28	-0,03 n = 29
Frauen 21-30 n = 21	0,15	-0,06 n = 18	0,24 n = 34	0,11 n = 34
Männer 21-30 n = 20	-0,04	-0,26 n = 23	-0,14 n = 39	-0,05 n = 36
Frauen 31-40 n = 20	-0,29	0,06 n = 29	0,01 n = 13	0,19 n = 12
Männer 31-40 n = 24	<b>-0,33</b>	0,18 n = 26	0,34 n = 29	-0,11 n = 26
Frauen 41-50 n = 9	-0,15	-0,20 n = 22	0,13 n = 22	-0,11 n = 17
Männer 41-50 n = 17	-0,04	-0,37 n = 19	-0,28 n = 13	-0,40 n = 13
Frauen 51-60 n = 3	-	0,01 n = 15	-0,20 n = 4	<b>-0,81*</b> n = 9
Männer 51-60 n = 14	0,23	0,44 n = 17	<b>0,83*</b> n = 7	-0,30 n = 7
Frauen > 60 n = 8	-0,15	<b>-0,87**</b> n = 10	- n = 1	- n = 2
Männer > 60 n = 3	0,00	-0,09 n = 9	- n = 3	- n = 2

### 5.2.2.5.2 Leistungssportler versus Breiten-/Nichtsportler

Der Einfluss des Trainingsumfangs auf die maximale lineare Herzfrequenz wurde durch einen Vergleich von Kadersportler und Nichtkadersportlern überprüft. Es wurden wie bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz nur die ersten drei Altersdekaden der gesunden Probanden verglichen.

Tabelle 5.99: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenzen (Schläge/min) der Kaderathleten und der Nichtkaderathleten differenziert nach Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax linear	Anzahl	Hfmax Linear
Kader 11-20	n = 54	184	n = 46	193
Kein Kad. 11-20	n = 21	190	n = 26	189
<b>p-Wert</b>		<b>,176</b>		<b>,255</b>
Kader 21-30	n = 20	179	n = 45	192
Kein Kad. 21-30	n = 36	184	n = 39	177
<b>p-Wert</b>		<b>,087</b>		<b>,000</b>
Kader 31-40	n = 11	175	n = 10	187
Kein Kad. 31-40	n = 66	181	n = 41	185
<b>p-Wert</b>		<b>,063</b>		<b>,560</b>

Nur bei der Laufbandergometrie lagen die Werte der Kaderathleten über denen der Nichtkaderathleten, wobei nur in der zweiten Altersdekade ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Untergruppen bestand (Tab.5.99).

In den Korrelationsberechnungen der maximalen linearen Herzfrequenz zu den weiteren erhobenen Parametern zeigten sich im Groben keinerlei Unterschiede zwischen den beiden Untergruppen.

### 5.2.2.5.3 Beziehungen zur relativen maximalen Leistung und submaximalen Leistung an aeroben und anaeroben Schwellen

Es zeigten sich wenige signifikante Abhängigkeiten zwischen den relativen Leistungswerten und der maximalen linearen Herzfrequenz (Tab.5.100). Auffallend war wie bei der Analyse mit der maximal gemessenen Herzfrequenz, dass bei der Fahrradergometrie vorwiegend positive und bei der Laufbandergometrie vorwiegend negative Beziehungen bestanden. Insgesamt waren etwas seltener signifikante Korrelationen bei der maximalen linearen Herzfrequenz als bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz zu sichern.

Tabelle 5.100: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zu relativen Leistungswerten differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschl/ Alter	Rad						Lauf					
	Anzahl	WMax kg	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg	Anzahl	WMax kg	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg
Frauen 11-20	n = 33	0,19	0,07	0,10	0,13	0,00	n = 40	0,23	0,08	0,13	0,15	0,18
Männer 11-20	n = 42	0,19	0,27	0,24	0,17	0,14	n = 32	-0,06	-0,15	-0,07	-0,06	-0,13
Frauen 21-30	n = 27	<b>0,38*</b>	0,29	0,28	0,34	0,33	n = 41	0,07	0,05	0,06	0,01	-0,03
Männer 21-30	n = 28 (27)	0,00	-0,12	0,12	-0,03	-0,02	n = 43	0,20	0,18	0,10	0,11	0,04
Frauen 31-40	n = 40 (36)	0,10	0,26	0,30	0,17	0,15	n = 18	0,00	-0,12	<b>-0,92*</b>	-0,12	-0,20
Männer 31-40	n = 37 (36)	-0,15	-0,18	-0,13	-0,15	-0,29	n = 33	0,11	<b>-0,36*</b>	<b>-0,36*</b>	-0,23	-0,02
Frauen 41-50	n = 32 (30)	-0,05	0,16	0,07	-0,01	-0,17	n = 23	-0,07	-0,22	-0,14	-0,15	-0,13
Männer 41-50	n = 31	0,10	-0,09	-0,00	-0,08	-0,01	n = 19	0,25	0,15	0,11	0,06	0,00
Frauen 51-60	n = 29 (24)	<b>0,40*</b>	-0,01	0,15	0,08	0,17	n = 10	-0,72	<b>-0,69*</b>	-0,48	<b>-0,82**</b>	<b>-0,78**</b>
Männer 51-60	n = 25 (24)	<b>0,53*</b>	0,31	<b>0,41*</b>	<b>0,45*</b>	<b>0,45*</b>	n = 9	0,42	-0,05	0,24	0,12	0,53
Frauen > 60	n = 16 (15)	0,07	-0,10	-0,24	-0,07	-0,27	n = 2	-	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	0,28	0,25	0,14	0,18	0,30	n = 3	-	-	-	-	-

#### 5.2.2.5.4 Beziehungen zu PWC 130,150,170

Bei der Analyse der Zusammenhänge zwischen den relativen PWC-Werten und der maximalen linearen Herzfrequenz ist zu beachten, dass die Anzahl der Probanden in den einzelnen Gruppen stark differierten und auch hohe Korrelationskoeffizienten aufgrund der geringen Probandenzahl fragwürdig sind.

Mit überwiegender Tendenz zeigte sich eine negative Beziehung zwischen der maximalen linearen Herzfrequenz und den PWC-Werten, aber die Zusammenhänge waren -mit Ausnahme der Männer zwischen 31 und 40 Jahren- nur selten im signifikanten Bereich (Tab.5.101). Die Beziehungen waren schwächer ausgeprägt als bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz.

*Tabelle 5.101: Korrelationskoeffizient r der maximalen linearen Herzfrequenz zu den relativen PWC-Werten differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung*

(Aufgrund einer geringen Anzahl von Probanden bei der Laufbandergometrie in den höheren Altersgruppen ergeben sich trotz eines hohen Korrelationskoeffizienten keine Signifikanzen)

Geschlecht/Alter	Rad			Lauf		
	PWC130kg	PWC150kg	PWC170kg	PWC130kg	PWC150kg	PWC170kg
Frauen 11-20	-0,19 n = 26	-0,12 n = 33	-0,01 n = 31	-0,53 n = 11	0,07 n = 27	-0,05 n = 39
Männer 11-20	0,27 n = 38	0,10 n = 42	0,06 n = 42	0,07 n = 11	<b>-0,57**</b> n = 23	-0,20 n = 32
Frauen 21-30	0,03 n = 24	0,19 n = 27	0,30 n = 27	<b>-0,33</b> n = 16	-0,30 n = 32	-0,25 n = 39
Männer 21-30	-0,18 n = 26	-0,23 n = 27	-0,17 n = 26	0,09 n = 28	0,23 n = 40	0,12 n = 43
Frauen 31-40	0,20 n = 36	0,02 n = 40	0,12 n = 39	-0,43 n = 8	-0,37 n = 17	-0,25 n = 17
Männer 31-40	<b>-0,37*</b> n = 35	<b>-0,39*</b> n = 37	<b>-0,45*</b> n = 36	-0,27 n = 24	<b>-0,51**</b> n = 33	<b>-0,49**</b> n = 33
Frauen 41-50	-0,19 n = 31	<b>-0,41*</b> n = 32	-0,31 n = 19	-0,05 n = 12	-0,33 n = 19	-0,20 n = 26
Männer 41-50	<b>-0,26</b> n = 29	-0,30 n = 30	-0,15 n = 26	-0,10 n = 15	-0,19 n = 19	-0,31 n = 17
Frauen 51-60	0,06 n = 26	0,13 n = 28	-0,29 n = 12	-0,71 n = 6	<b>-0,91*</b> n = 8	-0,77 n = 6
Männer 51-60	0,09 n = 24	0,09 n = 23	0,02 n = 15	-0,56 n = 9	<b>-0,51</b> n = 8	0,07 n = 8
Frauen > 60	-0,52 n = 14	-0,54 n = 9	- n = 0	- n = 2	- n = 2	- n = 2
Männer > 60	<b>-0,64*</b> n = 11	-0,53 n = 9	0,80 n = 4	- n = 2	- n = 3	- n = 2

### 5.2.2.5.5 Korrelationen mit zu aeroben und anaeroben Schwellenleistungen korrespondierenden Herzfrequenzen

Zwischen der maximalen linearen Herzfrequenz und den Schwellenherzfrequenzen bestand ein überwiegend positiver Zusammenhang, wobei im Vergleich zur maximal gemessenen Herzfrequenz die Korrelationskoeffizienten etwas niedriger waren und seltener ein signifikantes Niveau erreicht wurde (Tab.5.102).

Bei der Laufbandergometerbelastung fanden sich vor allem im jüngeren Altersbereich mehr signifikante Korrelationen als bei der Fahrradergometrie, ab dem 40. Lebensjahr dagegen eher bei der Fahrradergometrie. Die geringsten Beziehungen zeigten sich zu den mit den fixen aeroben Schwellenleistungen korrespondierenden Herzfrequenzen.

Tabelle 5.102: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zu den Schwellenherzfrequenzen differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIANS	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIANS
Frauen 11-20	n = 33	0,15	0,11	0,25	-0,04	n = 40	<b>0,34*</b>	<b>0,42**</b>	<b>0,49**</b>	<b>0,48**</b>
Männer 11-20	n = 42	0,23	0,27	0,29	0,06	n = 32	0,10	0,20	0,26	<b>0,35*</b>
Frauen 21-30	n = 27	0,26	0,16	0,22	0,32	n = 41	<b>0,42**</b>	<b>0,44**</b>	<b>0,52**</b>	<b>0,47**</b>
Männer 21-30	n = 28	0,13	0,34	0,21	0,27	n = 43	0,16	0,01	0,12	0,21
Frauen 31-40	n = 40	0,30	<b>0,38*</b>	0,17	0,21	n = 18	0,24	0,17	0,30	0,46
Männer 31-40	n = 37	0,13	0,06	0,32	0,11	n = 33	0,00	0,32	<b>0,43*</b>	<b>0,53**</b>
Frauen 41-50	n = 32	<b>0,41*</b>	<b>0,36*</b>	<b>0,59**</b>	0,02	n = 23	<b>0,36</b>	<b>0,45*</b>	<b>0,57**</b>	<b>0,54**</b>
Männer 41-50	n = 31	0,29	0,33	<b>0,48**</b>	<b>0,56*</b>	n = 19	0,39	0,30	0,41	<b>0,46*</b>
Frauen 51-60	n = 29	0,04	0,31	0,15	0,27	n = 10	0,43	<b>0,89**</b>	0,40	0,54
Männer 51-60	n = 25	0,33	<b>0,48*</b>	<b>0,52**</b>	<b>0,44*</b>	n = 9	0,13	<b>0,78*</b>	0,29	0,40
Frauen > 60	n = 18	0,49	0,30	<b>0,73*</b>	0,35	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	<b>0,78**</b>	<b>0,74**</b>	<b>0,80**</b>	<b>0,85**</b>	n = 3	-	-	-	-

## 5.2.2.6 Zusammenhänge mit hämodynamischen Parametern in Ruhe und bei/nach Belastung

### 5.2.2.6.1 Ruheherzfrequenz

Zwischen der Ruheherzfrequenz und der maximalen linearen Herzfrequenz bestand kein prinzipiell statistisch sicherer Zusammenhang (Tab.5.103). Noch vereinzelter als bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz waren Beziehungen zu sichern.

Tabelle 5.103: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zur Ruheherzfrequenz

Geschlecht/ Alter	Anzahl	HfRu Rad	HfRu Lauf
Frauen 11-20	n = 40	0,04	-0,25
Männer 11-20	n = 32	-0,04	0,05
Frauen 21-30	n = 41	-0,08	-0,17
Männer 21-30	n = 43	<b>0,44*</b>	0,19
Frauen 31-40	n = 18	0,08	0,08
Männer 31-40	n = 33	0,23	0,29
Frauen 41-50	n = 23	-0,03	0,23
Männer 41-50	n = 19	0,21	0,33
Frauen 51-60	n = 10	-0,06	<b>0,78**</b>
Männer 51-60	n = 9	0,25	0,48
Frauen > 60	n = 2	0,11	-
Männer > 60	n = 3	0,05	-

### 5.2.2.6.2 Blutdruckwerte in Ruhe und bei/nach der Belastung

Zwischen den Blutdruckwerten und der maximalen linearen Herzfrequenz ließen sich nur bei der Fahrradergometrie vereinzelt sichere Zusammenhänge mit gegensätzlichen Vorzeichen feststellen (Tab.5.104).

Tabelle 5.104: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zu den Blutdruckwerten differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

(Die Zahl der Probanden ist bei den Werten eine Minute nach Belastung die gleiche wie bei den Liegeblutdruckwerten)

Geschl./ Alter	Rad								Lauf						
	Anzahl	RSLieg (mmHg)	RDLieg (mmHg)	Anzahl	RS100 (mmHg)	RD100 (mmHg)	RS+1 (mmHg)	RD+1 (mmHg)	Anzahl	RSLieg (mmHg)	RDLieg (mmHg)	RS100 (mmHg)	RD100 (mmHg)	RS+1 (mmHg)	RD+1 (mmHg)
Frauen 11-20	n =33	<b>-0,36*</b>	0,32	n =31	-0,24	-0,23	0,17	-0,25	n =40	-0,23	-0,17	-	-	-0,09	0,12
Männer 11-20	n =42	-0,19	-0,18	n =39	-0,02	-0,03	-0,01	0,11	n =32	0,05	-0,20	-	-	0,11	-0,24
Frauen 21-30	n =28	-0,14	0,01	n =27	-0,02	0,07	0,17	-0,13	n =41	0,00	0,08	-	-	0,11	0,02
Männer 21-30	n =28	0,36	0,08	n =25	0,10	-0,17	-0,15	-0,24	n =43	0,04	-0,07	-	-	0,13	0,16
Frauen 31-40	n =40	-0,04	0,19	n =37	-0,14	0,22	-0,19	-0,00	n =18	0,21	0,07	-	-	-0,08	0,22
Männer 31-40	n =37	0,04	-0,14	n =36	0,11	0,08	-0,14	0,19	n =33	0,12	0,21	-	-	-0,14	0,00
Frauen 41-50	n =32	0,09	0,16	n =31	0,25	0,05	-0,03	-0,13	n =23	0,15	-0,04	-	-	-0,13	-0,22
Männer 41-50	n =31	<b>0,36*</b>	0,24	n =29	-0,14	0,25	0,08	-0,01	n =19	0,05	0,04	-	-	0,12	-0,12
Frauen 51-60	n =29	0,21	0,18	n =27	0,19	0,17	<b>0,40*</b>	0,09	n =10	-0,11	0,20	-	-	-0,28	-0,20
Männer 51-60	n =25	0,02	-0,02	n =23	-0,12	-0,08	0,02	-0,19	n = 9	-0,40	-0,23	-	-	0,14	0,52
Frauen > 60	n =18	-0,07	0,13	n = 12	0,42	0,36	0,18	0,25	n = 2	-	-	-	-	-	-
Männer > 60	n =13	-0,50	0,08	n =13	-0,13	0,38	0,30	0,28	n = 3	-	-	-	-	-	-



### 5.2.2.7 Beziehung zu ausgewählten laborchemischen Parametern

Bei den Werten des roten Blutbildes, der BSG, den Substraten, der Harnsäure und den Enzymen zeigten sich bei beiden Geschlechtern ähnlich vereinzelt wie bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz statistisch sichere Beziehungen zur maximalen linearen Herzfrequenz (Tabb.5.105 und 5.106).

Tabelle 5.105: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zu den roten Blutwerten und der BSG differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	Erys (* 10 <sup>6</sup> µl)	Hb (g/dl)	Hkt (Prozent)	BSG1 (mm1S0td)	Anzahl	Erys (* 10 <sup>6</sup> µl)	Hb (g/dl)	Hkt (Prozent)	BSG1 (mm1Std)
Frauen 11-20	n = 30	0,09	-0,15	-0,15	0,02	n = 39	-0,06	0,11	-0,04	-0,05
Männer 11-20	n = 42	<b>-0,31*</b>	-0,11	-0,14	0,21	n = 32	-0,23	-0,25	-0,21	0,09
Frauen 21-30	n = 27	-0,11	-0,23	-0,09	0,16	n = 40	0,07	0,09	0,04	<b>-0,32*</b>
Männer 21-30	n = 26	0,26	0,31	0,28	-0,08	n = 43	0,14	0,24	<b>0,31*</b>	-0,17
Frauen 31-40	n = 38	<b>-0,32*</b>	-0,01	0,02	0,11	n = 16	0,46	0,41	0,34	-0,06
Männer 31-40	n = 35	0,24	0,02	-0,06	-0,09	n = 32	-0,06	-0,14	-0,16	0,12
Frauen 41-50	n = 32	0,16	0,08	0,07	-0,21	n = 22	0,09	0,10	-0,02	-0,04
Männer 41-50	n = 30	0,23	0,28	0,12	0,08	n = 18	-0,22	-0,22	-0,13	0,16
Frauen 51-60	n = 27	0,14	0,11	0,19	-0,24	n = 10	0,42	0,31	0,01	0,26
Männer 51-60	n = 25	-0,19	-0,29	-0,24	0,20	n = 9	0,39	0,18	0,24	-0,28
Frauen > 60	n = 16	-0,52	-0,22	-0,33	0,21	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	-0,36	-0,12	-0,13	0,07	n = 3	-	-	-	-

Tabelle 5.106: Korrelationskoeffizient  $r$  der maximalen linearen Herzfrequenz zu Substraten, Harnsäure und Enzymen differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/ Alter	Rad						Lauf					
	Chol (mg/dl)	Trig (mg/dl)	Gluk (mg/dl)	HSA (mg/dl)	CK (U/l)	y-GT (U/l)	Chol (mg/dl)	Trig (mg/dl)	Gluk (mg/dl)	HSA (mg/dl)	CK (U/l)	y-GT (U/l)
Frauen 11-20	-0,35 n = 32	-0,20 n = 10	<b>-0,07</b> n = 30	0,07 n = 31	0,16 n = 32	-0,29 n = 39	-0,07 n = 32	0,17 n = 15	0,04 n = 39	0,13 n = 39	-0,10 n = 39	0,22 n = 39
Männer 11-20	<b>-0,35</b> n = 40	0,00 n = 8	-0,08 n = 41	<b>-0,27</b> n = 41	-0,15 n = 42	-0,06 n = 32	0,19 n = 41	<b>-0,96</b> n = 7	-0,13 n = 32	-0,09 n = 32	0,04 n = 31	0,20 n = 31
Frauen 21-30	-0,28 n = 26	0,32 n = 15	0,06 n = 25	-0,12 n = 25	0,06 n = 25	-0,21 n = 37	-0,07 n = 24	0,37 n = 15	-0,16 n = 39	<b>0,19</b> n = 41	0,01 n = 41	<b>0,40</b> n = 40
Männer 21-30	0,24 n = 24	-0,13 n = 10	0,38 n = 24	<b>-0,22</b> n = 25	-0,36 n = 24	0,26 n = 42	0,15 n = 24	-0,50 n = 9	0,28 n = 42	-0,14 n = 43	-0,12 n = 42	0,21 n = 46
Frauen 31-40	0,09 n = 39	0,05 n = 29	-0,07 n = 38	-0,18 n = 39	-0,21 n = 39	0,05 n = 17	<b>0,49</b> n = 39	<b>-0,86</b> n = 7	0,04 n = 16	0,06 n = 17	<b>-0,16</b> n = 17	-0,38 n = 17
Männer 31-40	0,01 n = 35	-0,07 n = 26	-0,09 n = 35	-0,11 n = 32	0,23 n = 36	0,25 n = 30	-0,08 n = 36	-0,22 n = 25	<b>-0,48</b> n = 31	-0,08 n = 31	0,28 n = 32	-0,31 n = 31
Frauen 41-50	0,25 n = 31	-0,15 n = 29	0,06 n = 32	-0,21 n = 32	-0,32 n = 32	-0,16 n = 23	0,02 n = 32	-0,01 n = 23	0,16 n = 23	0,33 n = 23	0,24 n = 22	-0,16 n = 23
Männer 41-50	0,05 n = 29	0,12 n = 27	<b>0,42</b> n = 29	0,04 n = 29	-0,17 n = 29	-0,12 n = 18	-0,23 n = 29	0,23 n = 15	-0,21 n = 18	0,34 n = 18	0,02 n = 18	-0,06 n = 18
Frauen 51-60	-0,07 n = 26	-0,01 n = 26	0,01 n = 27	-0,05 n = 27	-0,07 n = 27	-0,14 n = 10	-0,07 n = 27	-0,23 n = 10	-0,30 n = 10	0,07 n = 10	-0,21 n = 10	-0,20 n = 10
Männer 51-60	-0,06 n = 25	0,27 n = 25	-0,05 n = 25	-0,08 n = 25	-0,09 n = 25	0,13 n = 9	0,39 n = 25	0,05 n = 9	0,03 n = 9	-0,02 n = 9	0,12 n = 9	-0,20 n = 9
Frauen > 60	0,09 n = 16	0,17 n = 16	-0,05 n = 16	0,29 n = 16	-0,24 n = 16	-	-	-	-	-	-	-
Männer > 60	0,55 n = 13	0,23 n = 13	0,07 n = 13	0,44 n = 13	-0,04 n = 13	-	-	-	-	-	-	-

### **5.2.2.8 Zusammenfassung für die maximale lineare Herzfrequenz des gesunden Kollektivs**

Auch bei der maximalen linearen Herzfrequenz war eine eindeutige Abnahme mit zunehmenden Altersdekaden bei niedrigeren Durchschnittswerten im Vergleich zur maximal gemessenen Herzfrequenz zu sichern. Geschlechtsunterschiede waren in den Altersgruppen mit einer Ausnahme und höherem Wert bei den Männern nicht vorhanden

Zusammenhänge mit der Ergometrieart ließen sich nur in 4 von 10 auswertbaren Gruppen statistisch belegen. Maximale Laktatspiegel korrelierten positiv in 4 der 12 Altersgruppen bei der Fahrradergometrie und 3 der 10 Gruppen der Laufbandergometrie schwach bis mittel mit der maximalen linearen Herzfrequenz. Zusammenhänge mit dem Borgwert waren positiv in 2 der 12 Radergometriegruppen bzw. 2 der 10 Laufbandergometriegruppen statistisch sicher nachweisbar. Zusammenhänge mit der Ergometriedauer ergaben sich nur bei den Radergometriegruppen in 2 Fällen.

Beziehungen zur relativen Maximalleistung und zu Schwellenleistungen waren nur vereinzelt und nicht prinzipiell zu belegen, wobei wiederum ein positives Vorzeichen bei der Radergometrie und ein negatives bei der Laufbandergometrie auffiel. Zu den PWC-Leistungen waren fast nur bei Männern im Alter von 31 – 40 Jahren, sonst nur vereinzelt negative Zusammenhänge zu sichern. Häufiger korrelierte die maximale lineare Herzfrequenz mit Schwellenherzfrequenzen, wobei bei der Radergometrie dies für die Altersdekade ab 31 Jahren, für die Laufbandergometrie überwiegend für die 11 – 50-Jährigen zutraf. Ein grundlegender, alters- und geschlechtsabhängiger Zusammenhang war nicht erkennbar.

Zu Trainingsvariablen, Leistungstraining, anthropometrischen Grundgrößen, Ruheherzfrequenz, Blutdruck in Ruhe und bei/nach Belastung sowie zu laborchemischen Parametern waren nur vereinzelt sichere Korrelationen herauszuarbeiten.

Zusammenfassend zeigte sich lediglich zwischen dem Alter und der maximalen linearen Herzfrequenz ein hoher statistischer Zusammenhang. Mittlere bis schwache positive Beziehungen ergaben sich zur Ergometrieart, den Schwellenherzfrequenzen (Fahrrad- und Laufbandergometrie) sowie den maximalen Laktatwerten bei der Fahrradergometrie. Zum Geschlecht, den anthropometrischen Daten, dem Trainingsumfang, den Borgwerten, der Dauer, den relativen Leistungs- und PWC-Werten, der Ruheherzfrequenz, den Blutdruckwerten und den laborchemischen Parametern bestanden keine gesicherten Beziehungen.

Insgesamt waren die Zusammenhänge bei der maximalen linearen Herzfrequenz seltener und geringer ausgeprägt als bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz.

## 5.2.2.9 Maximale lineare Herzfrequenz in abnormen Gruppen.

### 5.2.2.9.1 Übergewicht versus Normalgewicht

Bei der Überprüfung des Einflusses vom Körpergewicht auf die maximale lineare Herzfrequenz wurden Probanden mit einem BMI von größer und kleiner 25 kg/m<sup>2</sup> verglichen.

Tabelle 5.107: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/ min) der Probanden mit einem BMI < und > 25 kg/m<sup>2</sup> differenziert nach Alter und Art der Belastung

Ergometrie /Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax Linear	Anzahl	Hfmax linear
BMI > 25 11-20	n = 13	182	n = 0	-
BMI < 25 11-20	n = 62	187	n = 72	192
<b>p-Wert</b>		<b>,044</b>		-
BMI > 25 21-30	n = 8	177	n = 8	184
BMI < 25 21-30	n = 48	183	n = 76	185
<b>p-Wert</b>		<b>,350</b>		<b>,587</b>
BMI > 25 31-40	n = 12	182	n = 13	190
BMI < 25 31-40	n = 65	180	n = 38	184
<b>p-Wert</b>		<b>,366</b>		<b>,081</b>
BMI > 25 41-50	n = 11	168	n = 6	174
BMI < 25 41-50	n = 52	174	n = 36	179
<b>p-Wert</b>		<b>,751</b>		<b>,713</b>
BMI > 25 51-60	n = 9	161	n = 1	145
BMI < 25 51-60	n = 45	168	n = 18	171
<b>p-Wert</b>		<b>,464</b>		-
BMI > 25 > 60	n = 13	156	n = 0	-
BMI < 25 > 60	n = 18	143	n = 5	174
<b>p-Wert</b>		<b>,038</b>		-

Mit Ausnahme der dritten und der ältesten Altersdekade lagen die Werte der Probanden mit einem BMI von unter 25 kg/m<sup>2</sup> über denen derjenigen mit einem BMI über 25 kg/m<sup>2</sup> (Tab.5.107). Statistisch sicher waren diese Unterschiede nur bei der Fahrradergometrie in der jüngsten und ältesten Altersgruppe.

Aufgrund der geringeren Probandenzahlen in den einzelnen Altersgruppen wurden keine Korrelationsberechnungen durchgeführt.

## 5.2.2.9.2 Hypertone versus Normotone

### 5.2.2.9.2.1 Systolischer Blutdruck über 130 mmHg

Es wurde zwischen einer Gruppe mit einem systolischen Blutdruck bis 130 mmHg und einer Gruppe mit einem höheren systolischen Liegeblutdruckwert unterschieden.

Um einen Einfluss von Medikamenten oder Erkrankungen auszuschließen, wurden hierbei nur Probanden ohne eine manifeste kardiovaskuläre Erkrankung und ohne Einnahme von kardiovaskulär wirksamen Pharmaka miteinander verglichen.

Tabelle 5.108: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit einem systolischen Blutdruck < und > 130 mmHg differenziert nach Alter und Art der Belastung

Ergometrie /Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax linear	Anzahl	Hfmax linear
RS > 130 11-20	n = 16	184	n = 8	192
RS < 130 11-20	n = 59	186	n = 64	191
<b>p-Wert</b>		<b>,377</b>		<b>,725</b>
RS > 130 21-30	n = 15	188	n = 28	186
RS < 130 21-30	n = 41	180	n = 56	185
<b>p-Wert</b>		<b>,038</b>		<b>,692</b>
RS > 130 31-40	n = 28	180	n = 14	188
RS < 130 31-40	n = 47	181	n = 37	185
<b>p-Wert</b>		<b>,919</b>		<b>,212</b>
RS > 130 41-50	n = 27	175	n = 17	177
RS < 130 41-50	n = 36	171	n = 25	179
<b>p-Wert</b>		<b>,054</b>		<b>,719</b>
RS > 130 51-60	n = 28	168	n = 8	163
RS < 130 51-60	n = 26	166	n = 11	175
<b>p-Wert</b>		<b>,795</b>		<b>,351</b>
RS > 130 > 60	n = 25	147	n = 5	174
RS < 130 > 60	n = 6	157	n = 0	-
<b>p-Wert</b>		<b>,458</b>		-

Beim Vergleich der beiden Untergruppen zeigten sich nur bei der Fahrradergometrie in der Gruppe der 21-30 Jährigen ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen, wobei die Werte der Probanden mit dem erhöhten systolischen Ruheblutdruck über denen der Probanden mit dem normotonen Blutdruck lagen (Tab.5.108). Bei den Korrelationen der maximalen linearen Herzfrequenz zu den weiteren erhobenen Parametern zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Untergruppen.

### 5.2.2.9.2.2 Diastolischer Blutdruck über 90 mmHg

Wie bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz wurde zwischen einer Gruppe mit einem diastolischen Liegeblutdruckwert bis 90 mmHg und einer mit einem Wert über 90 mmHg differenziert.

Um einen Einfluss von Medikamenten oder Erkrankungen auszuschließen, wurden hierbei nur Probanden ohne eine manifeste kardiovaskuläre Erkrankung und ohne eine Einnahme von kardiovaskulär wirksamen Medikamenten miteinander verglichen.

*Tabelle 5.109: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/ min) der Probanden mit einem diastolischen Blutdruck < und > 90 mmHg differenziert nach Alter und Art der Belastung*

Ergometrie /Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax linear	Anzahl	Hfmax Linear
RD > 90 11-20	n = 5	182	n = 2	190
RD < 90 11-20	n = 70	186	n = 70	192
<b>p-Wert</b>		<b>,265</b>		<b>,986</b>
RD > 90 21-30	n = 5	189	n = 5	186
RD < 90 21-30	n = 51	181	n = 79	185
<b>p-Wert</b>		<b>,203</b>		<b>,999</b>
RD > 90 31-40	n = 7	182	n = 4	191
RD < 90 31-40	n = 70	180	n = 47	185
<b>p-Wert</b>		<b>,487</b>		<b>,367</b>
RD > 90 41-50	n = 7	179	n = 7	183
RD < 90 41-50	n = 56	172	n = 35	177
<b>p-Wert</b>		<b>,222</b>		<b>,370</b>
RD > 90 51-60	n = 10	169	n = 0	-
RD < 90 51-60	n = 44	166	n = 19	170
<b>p-Wert</b>		<b>,632</b>		<b>-</b>
RD > 90 > 60	n = 1	162	n = 1	174
RD < 90 > 60	n = 30	148	n = 4	174
<b>p-Wert</b>		<b>-</b>		<b>-</b>

Zwischen den beiden Untergruppen ließen sich keine statistisch sicheren Unterschiede zeigen (Tab.5.109). Aufgrund der geringeren Probandenzahlen in den einzelnen Altersgruppen wurden keine Korrelationsberechnungen durchgeführt.

### 5.2.2.9.3 Kardiale Erkrankung versus kardial gesund

Es wurden die Mittelwerte von Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung und Probanden ohne eine solche miteinander verglichen.

Da sich im Altersbereich unter 40 Jahren insgesamt nur 38 Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung fanden, wurden nur die Probanden ab dem 41. Lebensjahr betrachtet.

Tabelle 5.110: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit und ohne eine kardiovaskuläre Erkrankung differenziert nach Alter und Art der Belastung

Ergometrie /Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax linear	Anzahl	Hfmax linear
ohne Erk 41-50	n = 66	162	n = 44	182
mit Erk 41-50	n = 58	167	n = 14	171
<b>p-Wert</b>		<b>,016</b>		<b>,321</b>
ohne Erk 51-60	n = 58	155	n = 20	172
mit Erk 51-60	n = 62	149	n = 9	174
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,871</b>
ohne Erk > 60	n = 35	139	n = 5	164
mit Erk > 60	n = 87	172	n = 5	178
<b>p-Wert</b>		<b>,035</b>		<b>,310</b>

Bei der Fahrradergometrie zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Probanden mit einer kardialen Erkrankung und denen ohne eine solche (Tab.5.110). Dabei lagen die Werte der „gesunden“ Probanden im Mittel 12 Schläge/Minute über den Werten der „kranken“ Probanden. Bei der Laufbandergometrie ließ sich dies nicht nachweisen.

Bei den Korrelationsberechnungen der maximalen linearen Herzfrequenz zu den weiteren erhobenen Parametern zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Untergruppen.

#### 5.2.2.9.4 Kardiovaskulär wirksame Medikation

Der bekannte Einfluss von Medikamenten auf das Herzkreislaufsystem sollte durch eine Unterscheidung zwischen Probanden, die kardiovaskulär wirksame Medikamente einnahmen, und Probanden, die unter keiner solchen Medikation standen, dargestellt werden.

Da sich im Altersbereich unter 40 Jahren insgesamt nur 7 Probanden mit einer Einnahme einer kardiovaskulär wirksamen Medikation fanden, wurden nur die Probanden ab dem 41. Lebensjahr betrachtet.

Tabelle 5.111: Mittelwerte der maximalen linearen Herzfrequenz (Schläge/min) der Probanden mit und ohne Einnahme kardiovaskulär wirksamer Medikamente differenziert nach Alter und Art der Belastung

Ergometrie /Alter	Rad		Lauf	
	Anzahl	Hfmax linear	Anzahl	Hfmax Linear
ohne Med 41-50	n = 74	172	n = 53	179
mit Med. 41-50	n = 19	158	n = 5	180
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,957</b>
ohne Med 51-60	n = 78	165	n = 24	170
mit Med 51-60	n = 42	152	n = 5	177
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,323</b>
ohne Med > 60	n = 49	153	n = 9	170
mit Med > 60	n = 75	135	n = 1	162
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		-

Bei der Fahrradergometrie bestand ein statistisch sicherer Unterschied zwischen den Probanden mit und denen ohne eine Einnahme einer kardiovaskulären wirksamen Medikation (Tab.5.111). Dabei lagen die Werte der Probanden ohne Medikamenteneinnahme im Mittel um 15 Schläge/Minute über denen der Probanden mit einer kardiovaskulär wirksamen Medikation. Bei der Laufbandergometrie ließ sich dies nicht darstellen.

Bei den Korrelationsberechnungen der maximalen linearen Herzfrequenz zu den weiteren erhobenen Parametern zeigten sich im Wesentlichen keine Unterschiede zwischen den beiden Untergruppen.



## 5.3 Regressionsfunktionen der maximalen Herzfrequenz

### 5.3.1 Vergleich mit nach gängigen Formeln berechneten maximalen Herzfrequenzen

Da heutzutage im Allgemeinen die Regel gilt, dass man von einer maximalen Herzfrequenz von 200 bzw. 220 – Lebensalter (je nach Literatur und Belastungsart) bei sportlicher Betätigung ausgehen soll, erschien interessant, inwieweit daraus berechnete maximale Herzfrequenzen mit der tatsächlich im Stufentest erreichten maximalen Herzfrequenz übereinstimmen und ob dabei Unterschiede in Abhängigkeit vom Geschlecht, Alter oder der Belastungsart nachgewiesen werden können.

Bei der Berechnung der maximalen Herzfrequenz in Abhängigkeit vom Alter nahmen wir entsprechend der geltenden Lehrmeinung je nach Belastungsart folgende Formeln als Grundlage:

Fahrrad: **Maximale altersentsprechende Herzfrequenz = 200 – Lebensalter**<sup>70, 98</sup>

Laufband: **Maximale altersentsprechende Herzfrequenz = 220 - Lebensalter**<sup>33, 70</sup>

*Tabelle 5.112: Berechnete maximale Herzfrequenz (Schläge/min) mit Standardabweichung der gesunden Frauen und Männer differenziert nach Alter und Art der Belastung*

Geschl./ Alter	Rad			Lauf		
	Anzahl	HfMax berechnet	Standard- abweich.	Anzahl	HfMax berechnet	Standard- abweich.
Frauen 11-20	n = 33	183	2,2	n = 40	203	2,2
Männer 11-20	n = 42	182	1,4	n = 32	203	3,8
Frauen 21-30	n = 28	174	3,0	n = 41	196	2,5
Männer 21-30	n = 28	175	3,1	n = 43	195	2,8
Frauen 31-40	n = 40	165	3,0	n = 18	185	3,0
Männer 31-40	n = 37	165	3,2	n = 33	186	2,5
Frauen 41-50	n = 32	154	2,6	n = 23	175	3,1
Männer 41-50	n = 31	156	2,3	n = 19	175	2,9
Frauen 51-60	n = 29	145	2,9	n = 10	165	2,5
Männer 51-60	n = 25	144	2,9	n = 9	166	2,7
Frauen > 60	n = 18	135	5,0	n = 2	158	-
Männer > 60	n = 13	133	5,4	n = 3	156	-

Die nach den Formeln im gesunden Kollektiv berechneten maximalen Herzfrequenzen sind in Tab.5.112 für Frauen und Männern dargestellt.

Tabelle 5.113: Gegenüberstellung der berechneten und der maximalen gemessenen Herzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Rad				Lauf			
	Anzahl	Frauen	Anzahl	Männer	Anzahl	Frauen	Anzahl	Männer
HfMaxge 11-20	n = 33	194	n = 42	196	n = 40	201	n = 32	202
HfMaxbe 11-20	n = 33	183	n = 42	182	n = 40	203	n = 32	203
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,100</b>		<b>,370</b>
HfMaxge 21-30	n = 28	187	n = 28	191	n = 41	198	n = 43	193
HfMaxbe 21-30	n = 28	174	n = 28	175	n = 41	196	n = 43	195
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,310</b>		<b>,062</b>
HfMaxge 31-40	n = 40	185	n = 37	185	n = 18	188	n = 33	191
HfMaxbe 31-40	n = 40	165	n = 37	165	n = 18	185	n = 33	186
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,715</b>		<b>,002</b>
HfMaxge 41-50	n = 32	174	n = 31	183	n = 23	184	n = 19	181
HfMaxbe 41-50	n = 32	154	n = 31	156	n = 23	175	n = 19	175
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,015</b>
HfMaxge 51-60	n = 29	167	n = 25	170	n = 10	173	n = 9	176
HfMaxbe 51-60	n = 29	145	n = 25	144	n = 10	165	n = 9	166
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,130</b>		<b>,079</b>
HfMaxge > 60	n = 18	150	n = 13	154	n = 2	180	n = 3	171
HfMaxbe > 60	n = 18	135	n = 13	133	n = 2	159	n = 3	158
<b>p-Wert</b>		<b>,001</b>		<b>,004</b>		-		-

Tabelle 5.114: Differenzen der maximalen gemessenen und der berechneten maximalen Herzfrequenzen (Schläge/min) differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	Delta Hfmaxge	Maximum	Minimum	Standard-abweichung	Anzahl	Delta Hfmaxge	Maximum	Minimum	Standard-abweichung
Frauen 11-20	n = 30	10,5	27	- 22	10,0	n = 39	- 2,4	19	- 23	9,1
Männer 11-20	n = 42	13,7	34	- 7	9,5	n = 32	- 1,5	18	- 20	8,3
Frauen 21-30	n = 27	12,9	29	0	8,3	n = 40	1,5	23	- 22	9,3
Männer 21-30	n = 26	16,1	34	- 14	11,3	n = 43	- 2,5	21	- 22	8,5
Frauen 31-40	n = 38	19,4	39	- 3	9,0	n = 16	2,9	26	- 25	12,3
Männer 31-40	n = 35	20,0	41	- 11	10,5	n = 32	5,2	20	- 13	9,0
Frauen 41-50	n = 32	19,3	42	- 7	11,8	n = 22	9,5	26	- 9	10,1
Männer 41-50	n = 30	26,7	54	- 34	13,3	n = 18	6,3	27	- 14	10,3
Frauen 51-60	n = 27	22,4	40	- 1	10,5	n = 10	8,1	33	- 14	15,4
Männer 51-60	n = 25	25,5	48	- 26	17,0	n = 9	9,2	30	- 19	13,8
Frauen > 60	n = 16	14,6	42	- 11	15,0	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	20,6	42	- 30	20,9	n = 3	-	-	-	-

Bei der Gegenüberstellung der Werte der gemessenen maximalen Herzfrequenz und der berechneten maximalen Herzfrequenz ergaben sich bei der Fahrradergometrie unabhängig vom Geschlecht in allen Altersgruppen signifikante Unterschiede (Tab.5.113 und 5.114 sowie Abb.5.12). Der Unterschied war in den beiden jüngsten Altersgruppen am geringsten (10,5 Schläge/Minute bei den Frauen und 13,7 Schläge/Minute bei den Männern) und am größten bei den Frauen zwischen 51 und 60 Jahren (22,4 Schläge/Minute) und bei den Männern zwischen 41 und 50 Jahren (26,7 Schläge/Minute). In den Gruppen der über 60 Jährigen fielen die Differenzen wieder etwas ab. Die gemessenen Werte lagen durchwegs höher als die Berechneten.

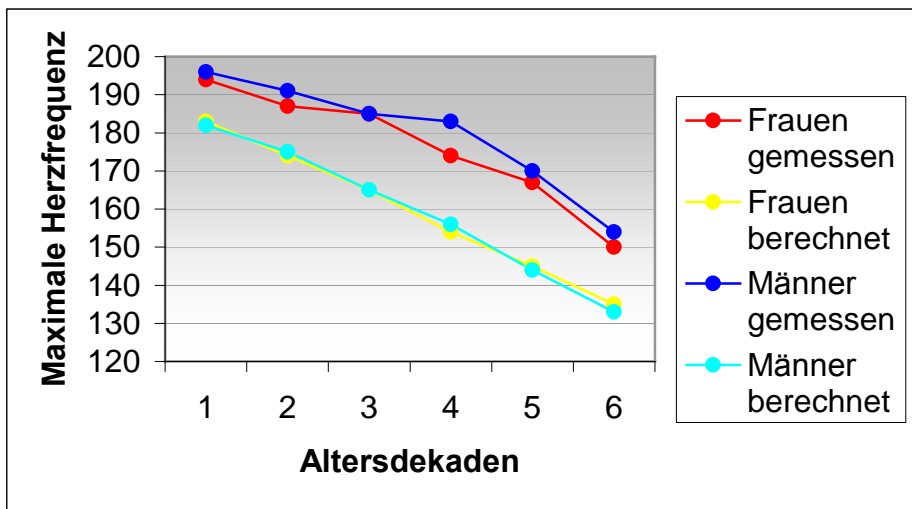


Abbildung 5.12: Mittelwerte der berechneten und der im Fahrradergometertest erreichten maximalen Herzfrequenz (Schläge/min) der Frauen und Männer in Altersgruppen

Bei der Laufbandergometrie ergaben sich bei den Frauen nur in der vierten und bei den Männern in der dritten und vierten Altersdekade signifikante Unterschiede (Tab.5.114 und Abb.5.13). Davor differierten die Werte maximal um 2 Schläge/Minute. Im Gegensatz zur Fahrradergometrie differierten die Werte im gesamten Altersbereich bei den Frauen maximal um 9,5 Schläge/Minute und bei den Männern um 9,2 Schläge/Minute.

Nur in der jüngsten Altersgruppe waren die berechneten maximalen Herzfrequenzen geringfügig höher als die gemessenen; ansonsten lagen die Werte der gemessenen maximalen Herzfrequenz über denen der Berechneten.

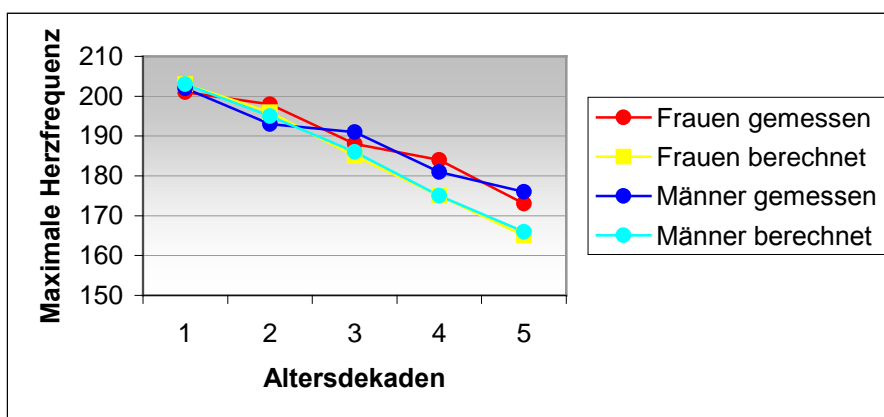


Abbildung 5.13: Mittelwerte der berechneten und der im Laufbandergometertest erreichten maximalen Herzfrequenz (Schläge/min) der Frauen und Männer in Altersgruppen

Tabelle 5.115: Mittelwerte der maximalen linearen und der berechneten maximalen Herzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Rad				Lauf			
	Anzahl	Frauen	Anzahl	Männer	Anzahl	Frauen	Anzahl	Männer
HfLin 11-20	n = 33	183	n = 42	187	n = 40	190	n = 33	193
HfMaxbe 11-20	n = 33	183	n = 42	182	n = 40	203	n = 33	203
<b>p-Wert</b>		<b>,992</b>		<b>,002</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>
HfLin 21-30	n = 28	180	n = 28	184	n = 41	188	n = 43	184
HfMaxbe 21-30	n = 28	174	n = 28	175	n = 41	196	n = 43	195
<b>p-Wert</b>		<b>,021</b>		<b>,001</b>		<b>,001</b>		<b>,000</b>
HfLin 31-40	n = 40	178	n = 37	182	n = 18	184	n = 33	187
HfMaxbe 31-40	n = 40	165	n = 37	165	n = 18	185	n = 33	186
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,671</b>		<b>,741</b>
HfLin 41-50	n = 32	169	n = 31	176	n = 23	181	n = 19	174
HfMaxbe 41-50	n = 32	154	n = 31	156	n = 23	175	n = 19	175
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,008</b>		<b>,949</b>
HfLin 51-60	n = 25	165	n = 25	168	n = 10	170	n = 9	169
HfMaxbe 51-60	n = 25	145	n = 25	144	n = 10	165	n = 9	166
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>		<b>,000</b>		<b>,461</b>		<b>,514</b>
HfLin > 60	n = 18	147	n = 13	150	n = 2	180	n = 3	170
HfMaxbe > 60	n = 18	135	n = 13	133	n = 2	159	n = 3	158
<b>p-Wert</b>		<b>,005</b>		<b>,010</b>		-		-

Tabelle 5.116: Mittelwerte der Differenzen zwischen der maximalen linearen und der berechneten maximalen Herzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Geschlecht, Alter und Art der Belastung

Geschlecht/Alter	Rad					Lauf				
	Anzahl	Delta Hfmaxlin	Maximum	Minimum	Standardabweichung	Anzahl	Delta Hfmaxlin	Maximum	Minimum	Standardabweichung
Frauen 11-20	n = 33	0,03	25	- 50	16,8	n = 40	- 12,5	11	- 34	11,4
Männer 11-20	n = 42	5,1	30	- 15	10,2	n = 32	- 9,8	11	- 33	11,2
Frauen 21-30	n = 28	5,5	29	- 18	12,0	n = 41	- 8,0	12	- 39	13,9
Männer 21-30	n = 28	9,1	32	- 14	13,3	n = 43	- 10,9	21	- 42	11,6
Frauen 31-40	n = 40	13,0	39	- 9	11,0	n = 18	- 1,1	20	- 25	10,9
Männer 31-40	n = 37	16,9	41	- 11	10,6	n = 33	0,7	21	- 29	10,8
Frauen 41-50	n = 32	14,6	42	- 32	16,6	n = 23	6,5	33	- 18	10,6
Männer 41-50	n = 31	20,9	54	- 14	14,0	n = 19	- 0,2	30	- 26	14,0
Frauen 51-60	n = 29	20,6	40	1	11,3	n = 10	4,9	28	- 36	20,1
Männer 51-60	n = 25	23,7	45	- 31	17,5	n = 9	3,0	20	- 19	13,2
Frauen > 60	n = 18	11,7	30	- 11	14,4	n = 2	-	-	-	-
Männer > 60	n = 13	27,4	41	- 32	20,4	n = 3	-	-	-	-

Bei der maximalen linearen Herzfrequenz zeigte sich bei der Fahrradergometrie mit Ausnahme der Frauen zwischen 11 und 20 Jahren ein statistisch sicherer Unterschied zur berechneten maximalen Herzfrequenz (Tab.5.116 und Abb.5.14). Die Werte der maximalen linearen Herzfrequenz lagen immer über denen der Berechneten. Die Mittelwertsdifferenz stieg bis zum 60.Lebensjahr linear mit dem Alter bei den Frauen von 0 auf 21 Schläge/Minute und bei den Männern von 5 auf 24 Schläge/Minute an und fiel bei den Probanden über 60 Jahre wieder etwas ab.

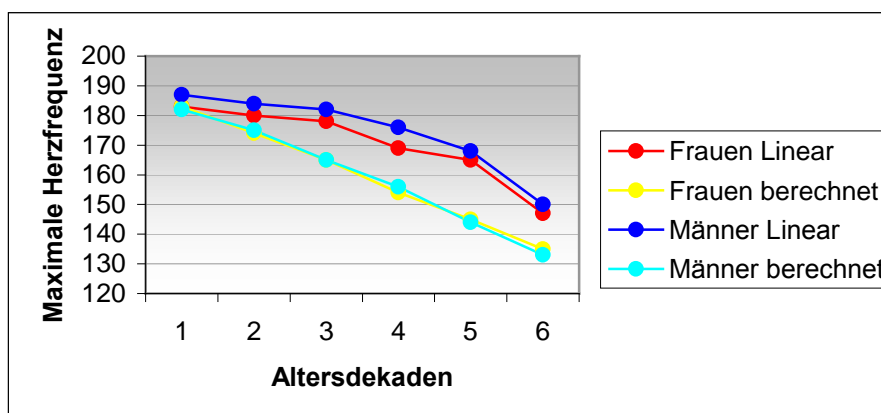


Abbildung 5.14: Mittelwerte der maximalen linearen und berechneten maximalen Herzfrequenz (Schläge/min) der Radergometrie in Altersgruppen

Bei der Laufbandergometrie fanden sich in den ersten beiden Jahrgängen signifikante Unterschiede zur berechneten maximalen Herzfrequenz (Tab.5.116 und 5.104 sowie Abb.5.15). In diesem Altersbereich waren die Werte der berechneten maximalen Herzfrequenz höher als die der maximalen linearen Herzfrequenz. Die Differenzen betragen maximal – 12,5 Schläge/Minute bei den Frauen und – 10,9 Schläge/Minute bei den Männern und waren negativer als bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz. In der dritten Altersdekade lagen die Werte der beiden Herzfrequenzen nur 1 Schlag/Minute auseinander, und ab dem 40. Lebensjahr waren die Werte der linearen Herzfrequenz etwas höher als die der berechneten. Statistisch sicher waren diese Unterschiede aber nur bei den Männern zwischen 41 und 50 Jahren. Ab dem 31. Lebensjahr bis zum 60. Lebensjahr waren die Differenzen der maximalen linearen zur berechneten maximalen Herzfrequenz geringer als die der maximalen gemessenen Herzfrequenz zur berechneten maximalen Herzfrequenz. Sie lagen bei den Frauen zwischen – 1,1 und 6,5 Schlägen/Minute und bei den Männern zwischen – 0,2 und 3,0 Schlägen/Minute.

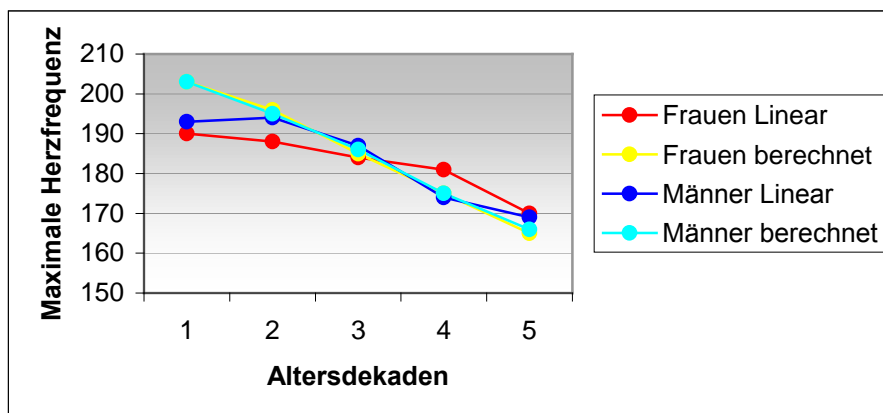


Abbildung 5.15: Mittelwerte der maximalen linearen und berechneten maximalen Herzfrequenz (Schläge/min) der Laufbandergometrie in Altersgruppen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei der Fahrradergometrie in allen Altersstufen die maximale lineare Herzfrequenz etwas näher an der berechneten Herzfrequenz lag als die maximale gemessene Herzfrequenz. Bei der Laufbandergometrie dagegen waren in den ersten beiden Altersstufen die Werte der maximalen gemessenen Herzfrequenz etwas näher an der berechneten Herzfrequenz und ab dem 31. Lebensjahr die Werte der maximalen linearen Herzfrequenz.

### 5.3.2 Beschreibung der altersabhängigen maximalen Herzfrequenz unseres Kollektivs

Wir prüften, ob es sich beim Zusammenhang zwischen der maximalen gemessenen bzw. linearen Herzfrequenz und dem Alter bei unserem gesunden Probandengut um eine lineare, polynomische, logarithmische oder exponentielle Funktion handelte. Für diese Berechnungen nahmen wir nur gesunde Probanden zwischen 20 und 60 Jahren als Grundlage. Es zeigte sich, dass eine lineare Funktion die Beziehung am besten beschreibt.

Für die maximale gemessene Herzfrequenz ergab sich für das gesunde Kollektiv ohne Berücksichtigung der Ergometrieart folgende Regressionsfunktion, wobei in Klammern der Wert des Bestimmtheitsmaßes angegeben wurde:

$$\text{Maximale gemessene Herzfrequenz} = 211 - 0,71 \times \text{Alter} \\ (R^2 = 0,35)$$

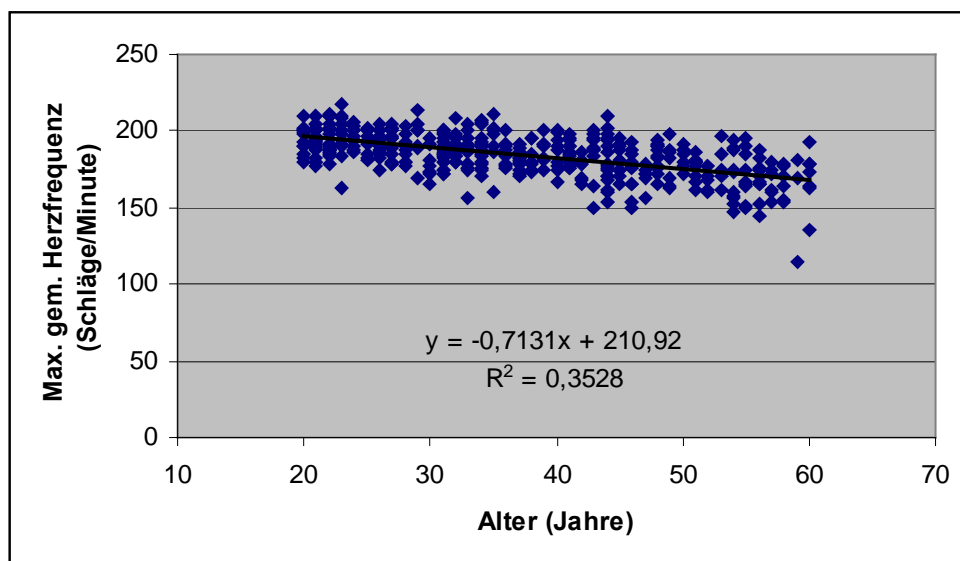


Abbildung 5.16: Maximale gemessene Herzfrequenz (Schläge/min) in Relation zum Alter in Jahren

Differenziert nach der Art der Belastung ergaben sich folgende Regressionsfunktionen für die maximal gemessene Herzfrequenz:

$$\text{Maximale gemessene Herzfrequenz Fahrradergometrie} = 207 - 0,67 \times \text{Alter} \\ (R^2 = 0,31)$$

$$\text{Maximale gemessene Herzfrequenz Laufbandergometrie} = 211 - 0,65 \times \text{Alter} \\ (R^2 = 0,33)$$



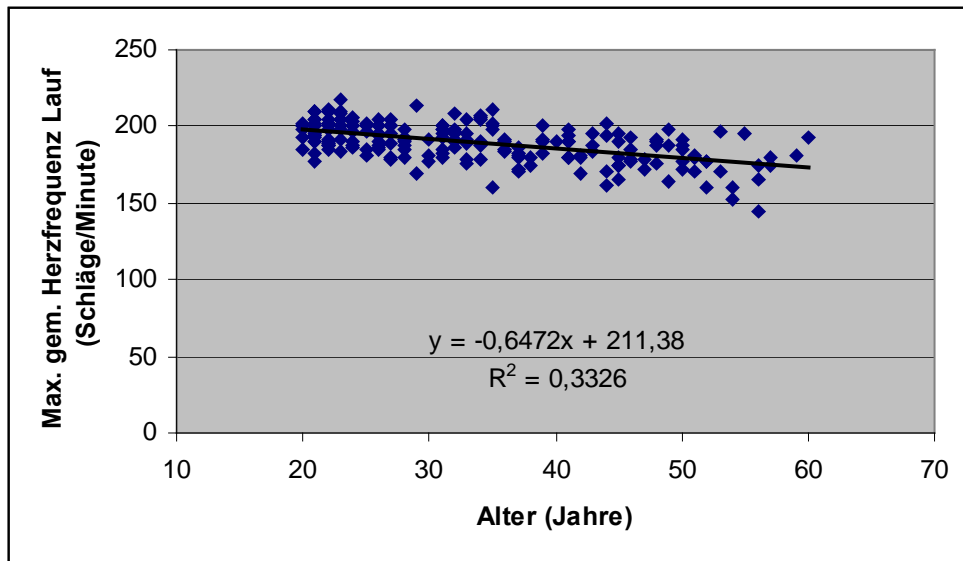
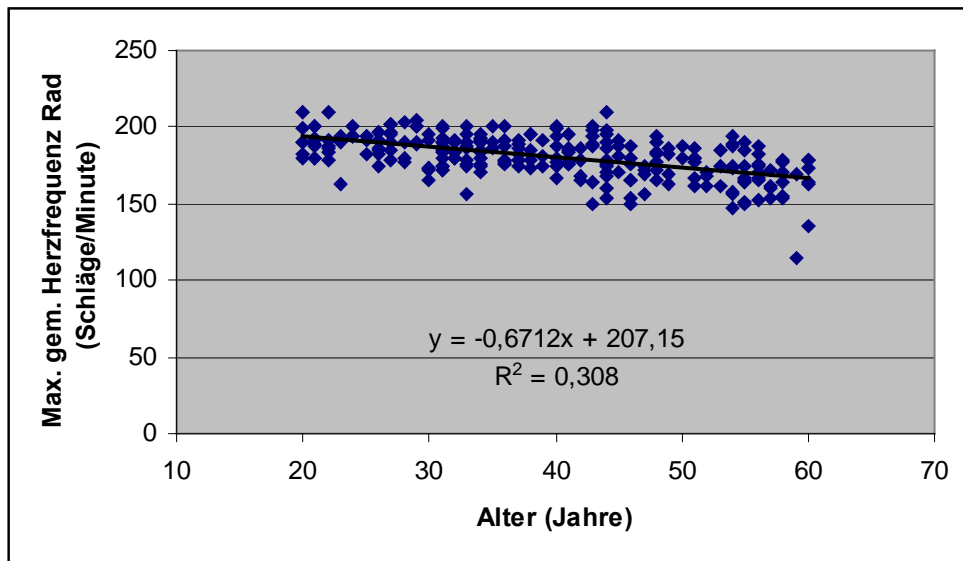


Abbildung 5.17: Maximale gemessene Herzfrequenz (Schläge/min) in Relation zum Alter nach Differenzierung in Fahrrad.- und Laufbandergometrie

Für die maximale lineare Herzfrequenz ergaben sich folgende Regressionsfunktionen:

**Maximale lineare Herzfrequenz** =  $199 - 0,54 \times \text{Alter}$   
( $R^2 = 0,18$ )

**Maximale lineare Herzfrequenz Fahrradergometrie** =  $196 - 0,51 \times \text{Alter}$   
( $R^2 = 0,16$ )

**Maximale lineare Herzfrequenz Laufbandergometrie** =  $199 - 0,47 \times \text{Alter}$   
( $R^2 = 0,14$ )

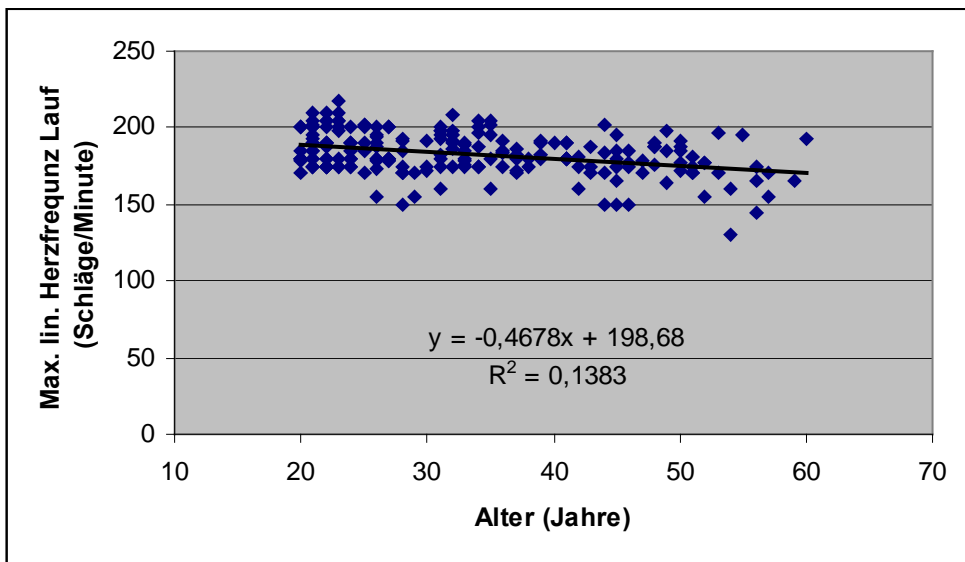
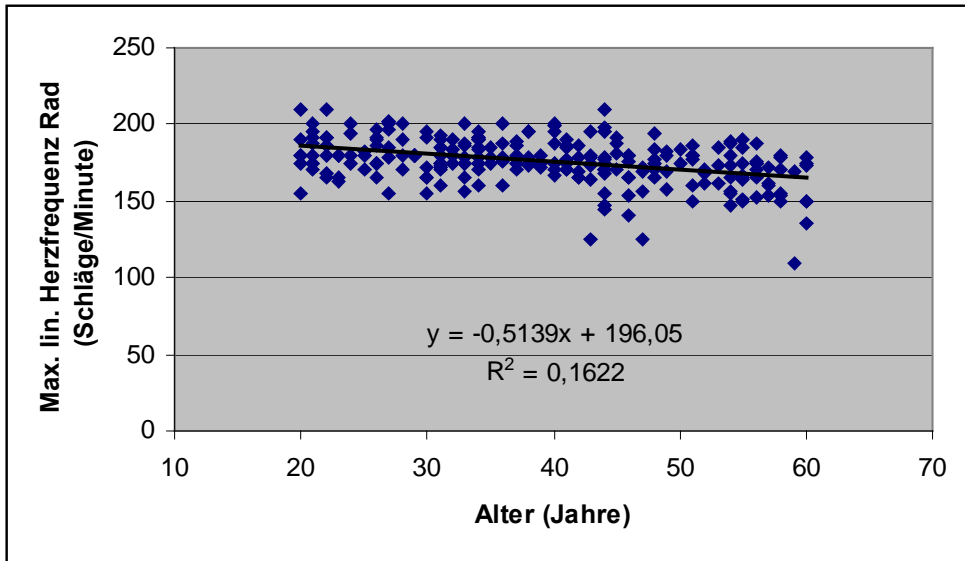
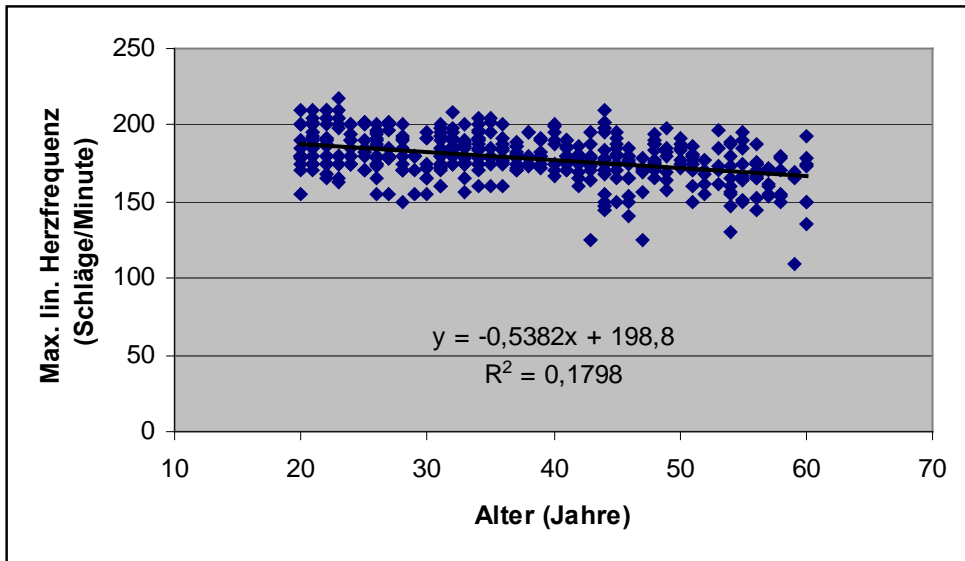


Abbildung 5.18: Maximale lineare Herzfrequenz(Schläge/min) in Relation zum Alter in Jahren ohne und mit Differenzierung in Fahrrad.- und Laufbandergometrie

## **6. Diskussion**

### **6.1 Diskussion der Methode**

#### **6.1.1 Probanden**

Die Probanden wurden rein zufällig aus dem alphabetisch sowie nach Geburtsjahrgang sortierten Archiv der Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der TU-München gezogen. Die jüngeren Altersgruppen setzten sich vorwiegend aus Leistungssportlern und die mittleren Jahrgänge aus Freizeitsportlern zusammen. Im Altersbereich über 50 Jahre waren vor allem Patienten vertreten, die aufgrund einer Herzerkrankung (z.B. Z.n. Herzinfarkt) regelmäßig an der Herzgruppe der TU-München teilnahmen. Da bei diesen wie bei allen anderen kardiovaskulär nicht gesunden Probanden keine kardiale Ausbelastung ergometrisch angestrebt wurde, untersuchten wir sie wie auch diejenigen unter kardiovaskulär wirksamer Medikation getrennt vom gesunden Kollektiv.

Insgesamt bestand das Probandenkollektiv somit hauptsächlich aus sportlich aktiven Probanden. Der Anteil der Probanden, die nicht regelmäßig Sport betrieben, war mit 7 % bei den Frauen und 1 % bei den Männern sehr klein und lag damit unter dem Bevölkerungsdurchschnitt.

Die gesunden Probanden unterschieden sich in den meisten erhobenen Parametern nicht von den dem Alter und Gesundheitsstatus entsprechenden Normwerten der Bevölkerung.<sup>27</sup> Lediglich die Leistungsfähigkeit -beurteilt an den relativen Leistungs- und PWC-Werten-, lag vor allem im Alter im Mittel 10 – 20 % über dem Durchschnitt.

Damit können die Ergebnisse keine Allgemeingültigkeit beanspruchen. Sie engen sich auf ein mehr oder wenig sportlich aktives Kollektiv ein, das aber im Hinblick auf die Fragestellung von besonderem Interesse war. Außerdem ergaben sich für die statistische Analyse ausreichende Probandenzahlen nur vom 10. bis zum 60. Lebensjahr. Jüngere und ältere Personen bleiben deswegen in der Diskussion unberücksichtigt, auch wenn letztere in einer Gruppe > 60 Jahren in den Ergebnissen dargestellt wurden.

#### **6.1.2 Ausbelastende Ergometrie**

Sämtliche Ergometrien wurden durch in der Ergometrie erfahrene Ärzte/Innen durchgeführt. Immer wurde eine subjektive Ausbelastung auf Grund von muskulärer Ermüdung angestrebt. Nur bei Auftreten von zunehmenden pektanginösen Beschwerden, zunehmender Dyspnoe, Schwindel, klinischen Symptomen wie Gesichtsblassheit, Zyanose, Husten, zerebralen Symptomen und ischämischen EKG-Veränderungen, schwerwiegenden Rhythmusstörungen sowie Blutdruckwerten von über 250/120 mmHg, insbesondere im Verein mit EKG-Veränderungen, wurde die Belastung vom Arzt abgebrochen. Ein Überschreiten der altersentsprechenden maximalen Herzfrequenz bei Sinusrhythmus galt nicht als Abbruchkriterium.

Bei derartigen in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik üblichen Protokollen ist bei Gesunden davon auszugehen, dass eine weitgehende kardiale Ausbelastung erzielt werden

kann, um objektiv die kardiovaskuläre Belastbarkeit, ein zentrales Anliegen der Untersuchungen, zu überprüfen.<sup>33, 70</sup> Ob bei jedem Individuum aber die von der maximalen Herzfrequenz limitierte kardiale Leistungsgrenze erreicht wird, hängt von weiteren Faktoren ab. Die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit ist zwar eine wesentliche, aber dennoch nur eine von vielen Komponenten, die bei derartigen Protokollen über die erbringbare Maximalleistung entscheidet. Die leistungslimitierenden Faktoren sind primär die aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit der beanspruchten Muskulatur, deren Masse und der Leistungswillen des Probanden. Lokale Azidosen der Muskulatur, die die enzymatische Energiefreisetzung hemmen und als muskuläre Ermüdung/Erschöpfung u.U. in Form von Schmerzen wahrgenommen werden, sind bei Gesunden wie auch in unserer Studie die häufigsten Abbruchursachen.<sup>70</sup> Dabei bestimmt die „Tagesform“ der rationalen und emotionalen Befindlichkeit mit, ab welchem sensorischen Beanspruchungsgrad die Willkürmotorik beendet wird.

Methodische Gründe, die vor kardialer Ausbelastung zum Belastungsabbruch zwingen, sind vor allem in der Belastungsart zu suchen. Bei der Fahrradergometrie wird die Leistung dominant über zyklische dynamische Kraftentwicklung der Beinmuskulatur, besonders der Streckerschlingen erbracht. Die Masse dieser Muskeln und deren aerob und anaerob freisetzbaren Energiemenge ist leistungsentscheidend. Nur bei Radrennfahrern erreicht die Beinmuskelmasse Dimensionen, deren maximaler Sauerstoffbedarf eine volle kardiale Ausbelastung ermöglicht.<sup>59</sup> Bei nicht spezifisch Trainierten ist demnach bei einer Radergometrie nicht mit einer maximalen Grenzhertzfrequenz zu rechnen. Die besondere energetische Beanspruchung des M. quadrizeps femoris führt, erst recht bei nicht spezifisch Trainierten, zur lokalen Übersäuerung, zur lokalen Ermüdung und demzufolge zum Abbruch vor der kardialen Leistungsgrenze.

Bei Laufbandbelastungen stellt sich demgegenüber das Problem der umschriebenen lokalen Ermüdung seltener, da die zyklische, dynamische muskuläre Beanspruchung mit weniger Kraftaufwand auf zahlreichere Muskelgruppen im Vergleich zur Radergometrie verteilt wird. Die insgesamt größere beanspruchte Muskelmasse von mehr als 50 % der Gesamtkörpermasse garantiert in der Regel eine stärkere kardiale Ausbelastung als bei der Fahrradergometrie. Allerdings stellt sich hierbei das Problem, den komplexen Bewegungsablauf des auch für erfahrene Läufer ungewohnten „Laufbandlaufens“ koordinativ bei höheren Geschwindigkeiten voll zu beherrschen. Koordinationsmängel können einen vorzeitigen Abbruch zur Folge haben. Sie können auch submaximal zu erheblichen Wirkungsgradunterschieden führen<sup>57</sup>, die eine quantitative Bewertung submaximaler Leistungsdaten erschweren. Generell entscheidet aber wie bei der Radergometrie der Trainingszustand der beanspruchten Muskulatur über die maximale Leistung und damit auch über die kardiale Ausbelastung.

Dem Trainingsaspekt wurde in dieser Studie insofern Rechnung getragen, als die Probanden in mehr oder weniger starker Annäherung an ihre sportlichen Aktivitäten zwischen Fahrrad- und Laufbandergometrie wählen konnten, wenn nicht das Belastungsprotokoll von Sportfachverbänden vorgeschrieben war.

Die unterschiedliche muskuläre, koordinative und biomechanische Beanspruchung in den beiden Ergometriearten führt auch zu einer unterschiedlichen kardialen Beanspruchung, wie

von Zerkawy et al und Rost nachgewiesen.<sup>97, 119</sup> Bei vergleichbarer submaximaler Belastung ist aufgrund des höheren Druckaufwandes bei der Fahrradergometrie mit höheren Blutdruckwerten und damit einer höheren Druckarbeit des Herzens im Vergleich zur Laufbandergometrie zu rechnen, die sich auf die zentrale Regulation der Hämodynamik auswirkt.

Weiterhin können lange, über 30 Minuten dauernde Ergometrien auf Grund eines Glykogenmangels der Muskulatur zu einem Belastungsabbruch führen, auch ohne dass eine ausreichende Maximalbeanspruchung vorgelegen hat. Auf die kardiovaskuläre Beanspruchung wirkt sich dies jedoch nicht aus, da mit zunehmender Belastungsdauer die zur Thermoregulation notwendige Herz-Kreislaufarbeit auch in klimatisierten Messräumen ansteigt. Jeschke et al beobachteten bei ausbelastenden Fahrrad- und Laufbandergometrien die durchschnittlich höchsten maximalen Herzfrequenzen bei Dauern über 40 Minuten, die sich eindeutig von Ausbelastungen mit Dauern < 15 Minuten unterschieden.<sup>64</sup>

Die Frage, ob im Einzelfall bei der Ergometrie eine muskuläre und psychische Ausbelastung, die mit einer grenzwertigen kardialen Beanspruchung verbunden war, erreicht wurde, kann retrospektiv nur aus der Synopsis von metabolischen Parametern der Muskulatur, insbesondere dem maximalen Laktat Spiegel, psychischen Beanspruchungsparametern, von denen sich der subjektive Beanspruchungsgrad nach Borg<sup>12</sup> RPE bewährt hat, und dem Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich, von dem theoretisch ein asymptotisches Verhalten in Relation zur Leistung im maximalen Arbeitsbereich zu erwarten ist, beantwortet werden. Laktat Spiegel > 9,0 mmol/l und ein RPE von > 16 gelten nach Löllgen (Geigy-Tabellen) als sichere objektive Teilkriterien<sup>70, 87</sup>, die von unserem Kollektiv Gesunder im Durchschnitt bei Frauen und Männern im Alter von 11 – 40 Jahren, im höheren Alter bis 60 Jahre nur von Männern überschritten wurden. Für Frauen über 40 Jahren traf dies in starker Annäherung zu. Weitgehend war demnach von einer psychischen und muskulären Ausbelastung auszugehen. Inwieweit dies mit der kardialen Ausbelastung korrelierte, war Teilanliegen dieser Studie.

### **6.1.3 Visuelle Analyse des Herzfrequenzverlaufs und Ermittlung der maximalen linearen Herzfrequenz**

Der Herzfrequenzverlauf der Probanden im maximalen Arbeitsbereich wurde visuell analysiert und danach einem der drei verschiedenen Verlauftypen zugeordnet. Zusätzlich wurde visuell bestimmt, bis zu welchem Wert die Herzfrequenz linear verlief.

Da die Auswertung der Herzfrequenzverläufe nicht computergestützt, sondern visuell durch einen Betrachter durchgeführt wurde, können sich subjektive Messfehler, vor allem bei der Höhe der maximalen linearen Herzfrequenz, ergeben haben. Eine computergestützte Analyse wäre sicherlich akkurater gewesen. Dennoch ist die visuelle Analyse die allgemein gebräuchlichere Methode.<sup>11</sup> In einer Studie von Ballarin et al. (1996) wurde außerdem eine hohe Korrelation zwischen den Ergebnissen einer visuellen und einer computergestützten Analyse nachgewiesen, die aber von der Erfahrung des Beobachters abhängig war.<sup>7</sup> In unserer Studie wurden die Daten von zwei Personen ausgewertet, um eine Konstanz zu wahren und interindividuelle Unterschiede in der Auswertung zu vermeiden.

## **6.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **6.2.1 Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich**

Bei gesunden, physisch normal leistungsfähigen Probanden ist, wie Brooke et al bereits 1968 bei der Fahrradergometrie beobachteten, bei ansteigender physischer Belastung bis zur Erschöpfung ein sigmoidaler Verlauf der Herzfrequenz in Relation zur Leistung festzustellen.<sup>15</sup> Bei Belastungsbeginn steigt die Frequenz zunächst nur zögerlich an, was als Reduktion des Vagotonus gedeutet wird. Danach erhöht sie sich linear mit der physischen Leistungssteigerung. Ab > 90 % der maximalen Leistungsfähigkeit kann die lineare Beziehung verlassen werden. Die Frequenzkurve über der Leistung nähert sich asymptotisch einem physiologischen Grenzwert an bzw. erreicht einen Grenzwert, was als „levelling off“ bezeichnet wird.<sup>59</sup> Den Punkt der Herzfrequenz-/Leistungskurve, an dem die lineare Beziehung zwischen Herzfrequenz und Leistung verlassen wird, bezeichnet man als „Herzfrequenzabknickpunkt“ (HAP) oder „Heart Rate Deflection Point“.

Wie aber in zahlreichen Studien<sup>49, 63, 74, 93, 109</sup> und auch von uns festgestellt, ist eine derartige Herzfrequenz-/Leistungsbeziehung im hier interessierenden Arbeitsbereich bei Ergometrien nicht die Regel.

In unserem Gesamtkollektiv wiesen lediglich 17 % der Probanden ein „levelling off“- Phänomen auf und bei 22 % war ein asymptotischer Verlauf erkennbar. In dem als kardiovaskulär gesund abgegrenzten Kollektiv, das keinem Leistungskader angehörte, zeigte sich mit 18 bzw. 24 % eine nahezu gleiche Verteilung. Ein Einfluss des Geschlechts war nicht erkennbar. Beim größten Teil der Probanden (61 bzw. 58 %) bestand auch bei Abbruch eine lineare Herzfrequenz-/Leistungsbeziehung, die offen lässt, ob eine maximale Herzfrequenz als physiologischer Grenzwert erreicht wurde.

In den überwiegenden Fällen mit linearem Frequenzverlauf bis zum Abbruch wird einerseits diskutiert, dass die angewandte Ergometriemethode hinsichtlich Art und Protokoll der individuellen Leistungsfähigkeit nicht gerecht wurde<sup>17</sup>, um an kardiale Leistungsgrenzen zu gelangen. Andererseits wird häufiger die Meinung vertreten, dass die wesentliche Ursache in einer ungenügenden willkürlichen psychophysiologischen Ausbelastung des Probanden zu suchen ist<sup>39</sup>, wenn nicht objektive Symptome wie EKG- oder Blutdruck-Alterationen den Untersucher zur vorzeitigen Beendigung der Belastung zwangen.

Die Diskussion um die Methodik einer adäquaten kardialen ergometrischen Ausbelastung entzündete sich besonders am sog. „Conconi-Test“. Conconi et al<sup>23</sup> hatten 1982 bei Lauf-Feldtests, bei denen das Herzfrequenzverhalten mit nach jeweils 200 m gesteigerten Geschwindigkeiten korreliert wurde, nicht nur beobachtet, dass bei 100 % der Läufer ein sehr gut reproduzierbarer HAP auftrat, sondern dass er eng mit der anaeroben Schwelle korrelierte. Conconi erkannte die Möglichkeit, auf diese Weise unblutig und ohne großen Aufwand eine Steuerung des Ausdauertrainings durchzuführen und wandte diese Methode auch mit Erfolg an.<sup>22</sup>

Allerdings konnten nur wenige Autoren die Ergebnisse von Conconi bestätigen, wenn andere Ergometriearten und andere Protokolle verwendet wurden.

Über das teilweise Fehlen eines eindeutigen HAP berichten viele Autoren, u. a. Urhausen et al. (1988)<sup>109</sup> bei 32,1 % (Laufband) bzw. 91,7 % (Rad), Kuipers et al. (1988)<sup>74</sup> bei 53,8 % (Rad), Ribeiro et al. (1985)<sup>93</sup> 27,9 % (Rad), Jakob et al. (1987)<sup>63</sup> bei 30 % (Laufband) bzw. 100 % (Rad).<sup>48</sup>

Heck und Hollmann (1992) konnten während einer Fahrradergometerbelastung nur bei 71 % der Probanden einen HAP nachweisen -19 % hatten einen linearen Verlauf und bei 10 % der Probanden war nur sehr schwer einen HAP zu zeigen.<sup>49</sup> Auch bei Bunc et al. (1992) konnte bei 7 % der Probanden kein HAP nachgewiesen werden.<sup>20</sup> In der Studie von Francis et al. (1989) hatten alle Probanden während einer Fahrradergometerbelastung einen linearen Herzfrequenzverlauf.<sup>34</sup>

Es zeigte sich bei uns ein mittlerer Zusammenhang zwischen dem Herzfrequenzverlauf und der Art der Belastung. Bei der Fahrradergometrie war der Anteil der linearen Herzfrequenzverläufe mit ungefähr 2/3 der Probanden höher als bei der Laufbandergometrie mit ca. 50 %. Dafür war die Anzahl der asymptotischen Herzfrequenzverläufe bei der Laufbandergometrie mit 3/10 bei den Frauen und 1/4 bei den Männern höher als bei der Fahrradergometrie, während der Prozentsatz der „levelling off“-Verläufe ungefähr gleich hoch war. Eine Ursache für die tendenziell deutlich stärkere kardiale Ausbelastung bei der Laufbandergometrie könnten die erwähnten höheren beteiligten Muskelmassen der Probanden auf dem Laufband sein.

Aus diesen Studienergebnissen und unseren Daten kristallisierte sich somit ein deutlicher Einfluss der Art der Ergometrie heraus, der insofern plausibel ist, als die beanspruchte Muskelmasse mit über die kardiale Ausbelastung entscheidet. Sie ist bei der Laufbandergometrie, wie erwähnt, größer. Bei damit höherem aerobem Energieumsatz wird ein höheres Herzminutenvolumen gefordert, und deshalb sind häufiger grenzwertige Herzfrequenzbeanspruchungen in der Form von asymptotischen Verläufen bzw. „levelling off“-Phänomenen zu erwarten. Bei der Fahrradergometrie hingegen ist bei einer nicht spezifisch trainierten Beinmuskulatur mit lokaler Ermüdung bei der steigenden dynamischen Kraftbelastung und damit mit Belastungsabbrüchen, bevor ein HAP erreicht wird, zu rechnen.

Neben der Art der Ergometrie wird auch den Belastungsprotokollen, die sich in den Studien erheblich unterschieden, eine Wertigkeit beim Erreichen eines Herzfrequenzgrenzwertes beigemessen. Bei Conconi et al (1982) nahmen mit steigender Belastung die Stufenzeiten ab, d.h. der Belastungsanstieg war nicht linear.<sup>23</sup> Im Gegensatz dazu wählten viele andere Autoren ein stufenförmig ansteigendes Belastungsprotokoll, bei dem die Stufenlänge konstant war, allerdings die Stufenlängen zwischen den einzelnen Studien deutlich variierten, z.B.

- Pokan (1999): Beginn mit 6 km/h, danach alle 60 Sekunden Steigerung um 0,6 km/h<sup>92</sup>
- Hofmann (1998): Beginn mit 40 Watt, alle 60 Sekunden Steigerung um 20 Watt<sup>54</sup>
- Urhausen (1998): Beginn mit 100 Watt, alle 3 Minuten Steigerung um 50 Watt<sup>108</sup>
- Bunc (1992): 3 Minuten treten ohne Widerstand, danach mit 40 Watt und alle 60 Sekunden Steigerung um 10 Watt<sup>20</sup>

- Heck (1992): Beginn mit 25 Watt, danach alle 2 Minuten Steigerung um 25 Watt<sup>49</sup>
- Kuipers (1988): Beginn mit 100 Watt für 5 Minuten, danach alle 2,5 Minuten Steigerung um 50 Watt<sup>74</sup>
- Ribeiro (1985): Beginn mit 30 Watt für 4 Minuten, dann alle 60 Sekunden Steigerung um 30 Watt<sup>93</sup>

Wir wählten ein stufenweise ansteigendes Belastungsprotokoll, das mit 25 bzw. 50 Watt begann und alle 3 Minuten um 25 bzw. 50 Watt anstieg.

Der Einfluss des Belastungsprotokolls auf das Herzfrequenzverhalten im maximalen Arbeitsbereich und insbesondere auch für das Auftreten eines HAP wurde verschieden gedeutet. Bunc et al. (1992) vermuteten und Pokan et al. (1999) wiesen in ihrer Studie nach, dass das Auftreten eines HAP durch den nichtlinearen Anstieg der Belastung in der letzten Phase des Tests bedingt ist.<sup>20, 92</sup> Auch Heck et al. (1989) kamen zu dem Ergebnis, dass die Conconi-Schwelle stark vom Belastungsprotokoll abhängig ist. Ihrer Meinung nach besteht zwischen der Belastung und der Herzfrequenz dahingehend eine Interaktion, dass mit Zunahme des Belastungsanstieges die Herzfrequenz für eine definierte Belastung absinkt.<sup>48</sup> Bodner et al. (2000) bestätigten den Einfluss des Belastungsprotokolls auf den Herzfrequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich.<sup>11</sup> Vachon et al. (1999) zeigten, dass in ihrer Studie 100 % der Probanden bei einem Feldtest mit dem Conconi-Protokoll einen HAP hatten, während nur 50 % der Probanden bei einem Stufentest mit einer fixen Stufendauer einen HAP zeigten.<sup>110</sup>

Offenbar sind ein rascher Anstieg der Belastungsintensität mittels kurzer Stufendauern und ein gleiches zu leistendes Arbeits- und nicht Leistungsinkrement, wie von Conconi angewandt, Voraussetzungen, um kardiale Leitungsgrenzen auszuloten.

Im Gegensatz zu Studien, die die Bedeutung des Ergometrieprotokolls hervorheben, gehen Hoffmann et al (1997) davon aus, dass die Unterschiede im Vorhandensein eines HAP nicht vom Belastungsprotokoll abhängig sind, sondern dass der HAP eine normale physiologische Variation in der Regulation des Herzens während einem ansteigenden Belastung ist.<sup>54</sup> Die Autoren beobachteten ein ähnliches Phänomen bei der linksventrikulären Ejektionsfraktion (LVEF), und stellten fest, dass die Abknickpunkte bei nahezu gleichen Leistungen und eng korrelierend auftraten.

Die These, dass individuelle physische, besonders aber auch psychische Faktoren für das Erreichen eines kardialen Grenzwertes bei Belastung wesentlicher sind als die Art und Weise einer physischen Beanspruchung, wird durch die unumstrittene Empirie untermauert, dass dem Willen zur Leistungserbringung, der Motivation, vor und besonders während einer Ergometrie, eine zentrale Rolle zukommt. Die Motivation ist eine komplexe, mentale und emotionale Größe, die biorhythmischen Schwankungen unterliegt und aktuell z.B. durch Autosuggestion und von extern durch Untersucher oder Zuschauer eine erhebliche Variabilität aufweist. Langfristig wird sie, positiv wie negativ, durch Erfahrungen mit Grenzsituationen physischer/sportlicher Beanspruchung bzw. durch regelmäßige Trainingsmaßnahmen und auch durch Wissenserwerb beeinflusst. Mit dem Alter nimmt die Bereitschaft an



„unbekannte“, z.B. auch ergometrische Leistungsgrenzen zu gehen, ab.<sup>58</sup> Bei bekannten Erkrankungen, insbesondere des kardiovaskulären und pulmonalen Systems, sind es Risikoüberlegungen, die Untersuchte und Untersucher zu Recht grenzwertige Belastungen vermeiden lassen. Die Problematik dieses zentralen für ergometrische Ausbelastungen entscheidenden Parameters „Motivation“ ist, wie bereits diskutiert, dass er objektiv nicht messbar, sondern nur retrospektiv und subjektiv z.B. nach Borg als Anstrengungsempfinden abschätzbar ist. Nur in der Synopsis mit objektiven Parametern einer körperlichen Ermüdung, wie dem Grad einer Ganzkörper-Laktatidose, gewinnt er an Plausibilität.

In unserem Untersuchungsgut ist es nach obigen Aspekten verständlich und nach ermittelten Borg-Werten im Verein mit maximalen Laktatwerten wahrscheinlich, dass sich die Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen und auch solche mit kardiovaskulär wirksamen Pharmaka willkürlich psychophysisch in geringster Häufigkeit im gesamten Kollektiv voll ausbelasteten. Immerhin waren aber bei 14 % der Patienten mit einer kardiovaskulären Erkrankung „levelling off“-Phänomene und bei 13 % asymptotische Verläufe sowie bei 6 bzw. 10 % bei Patienten unter Pharmaka grenzwertige kardiale Ausbelastungen zu beobachten.

Dieser Erwartung entsprach auch und war an Borg- und Laktatwerten zu belegen, dass sich im Vergleich zu einem gesunden Kollektiv, von denen 42 % ein grenzwertiges Herzfrequenzverhalten (18 % „levelling off“, 24 % asymptotisch) aufwiesen, Leistungssportler mit 51 % (19 % „levelling off“, 32 % asymptotisch) deutlich abhoben. Das ist als Indiz zu werten, dass das maximale Herzfrequenzverhalten von der Leistungsbereitschaft (Motivation) wie aber auch von der Fähigkeit, physische Leistungsreserven voll abzurufen -was nur Trainierten gelingt-, also individuellen Faktoren bestimmt wird.

Bemerkenswert war, dass das Alter im gesunden Kollektiv bei im Durchschnitt hohen Borg-Werten (über 16) und Laktatwerten (über 8 mmol/l) -die beide für eine hohe Ausbelastung über alle Altersdekaden hinweg sprachen- den stärksten Einfluss auf die Herzfrequenzverläufe erkennen ließ. Unabhängig von der Art der Belastung stieg bei den Frauen der Prozentsatz der linearer Verläufe von 41 auf 78 % und bei den Männern von 47 auf 80 % von der jüngsten bis zu ältesten Altersgruppe. Die Ursache dafür kann nicht nur in der Motivation und der Leistungsfähigkeit der Probanden liegen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Heck et al (1989). Sie vertraten auf der Basis von Studienergebnissen die Auffassung, dass das Nichtauftreten einer Abflachung der Herzfrequenzleistungskurve in den meisten Fällen nicht durch fehlende Ausbelastung begründet werden kann.<sup>48</sup>

Es müssen noch andere individuelle Faktoren eine Rolle spielen. Wir untersuchten deshalb, ob sich die drei Gruppen mit unterschiedlichem Frequenzverlauf im maximalen Arbeitsbereich hinsichtlich anthropometrischer und physischer maximaler und submaximaler Leistungsparameter, Trainingsdaten, besonders aber auch hinsichtlich der Absolutwerte von maximal, submaximal und in Körperruhe gemessenen Herz-/Kreislaufparametern unterschieden.

Lässt man die vereinzelt nachweisbaren Unterschiede, die mit Wahrscheinlichkeit der Ergometriemethode zuzuordnen sind, unberücksichtigt, hob sich aus der Vielzahl der überprüften Parameter eindeutig hervor, dass

- a) zwar erwartungsgemäß die maximal gemessenen Herzfrequenzen in der „levelling off“- und „asymptotisch“- Gruppe gegenüber der „linearen“ Gruppe höher waren (187 bzw 190/ min vs. 184/ min), aber unerwartet die maximalen linearen Herzfrequenzen in der „linearen“ Gruppe eindeutig am höchsten (183/ min vs. 178 bzw. 175/ min) gemessen wurden.
- b) Zudem zeigte sich, dass die mit den metabolischen, insbesondere anaeroben Schwellen korrespondierenden Herzfrequenzen in der „linearen“ Gruppe die niedrigsten Werte, unabhängig von Geschlecht und der Ergometrieart, aufwiesen.
- c) Weiterhin war der systolische Blutdruck 1 Minute nach der Belastung in der „linearen“ Gruppe eindeutig höher als in den anderen Gruppen.

Die Ergebnisse a) – c) lassen in erster Linie daran denken, dass die unterschiedlichen Herzfrequenzverläufe auf Unterschiede in der Ausdauerleistungsfähigkeit, zumindest zwischen der „linearen“ Gruppe und den beiden anderen zurückzuführen sein könnten. Eine eindeutig geringere maximal gemessene Herzfrequenz in der „linearen“ Gruppe könnte durch eine frühere lokale muskuläre Ermüdung und damit u.U. geringere psychophysische Ausbelastung bedingt sein, in deren Folge es zu einem Abbruch vor der kardialen Leistungsgrenze kam. Sie wäre auch eine plausible Ursache dafür, dass bereits bei niedrigen Herzfrequenzen metabolische Schwellen überschritten würden. Eine schlechte Ausdauerleistungsfähigkeit könnte auch eine schlechte vegetative Erholungsfähigkeit mit länger dauernder Überhöhungen des Blutdrucks nach Belastung erklären.

Aber weder die Ausbelastungsparameter (Borg- und maximale Laktatwerte), noch die maximalen und submaximalen mit den Schwellen korrespondierenden Leistungswerte bestätigten diese Hypothesen.

Plausible Erklärungen für das individuell unterschiedliche Verhalten der Herzfrequenz im maximalen dynamischen Arbeitsbereich ließen sich auch aus der Literatur nicht eruieren. Heck et al (1989) konstatierten, dass „auch ein linearer Anstieg der Herzfrequenz bis zur Erschöpfung biologische Realität sein kann“.<sup>48</sup> Bunc et al (1992) äußerten, dass das Abknicken der Herzfrequenzkurve keine physiologische Notwendigkeit ist und dass eine lineare Beziehung zwischen Herzfrequenz und der Belastungsintensität eine normale biologische Gegebenheit wäre.<sup>20</sup> Wir stimmen mit der von Hoffmann et al (1997)<sup>53</sup> und Pokan et al (1998)<sup>91</sup> sowie der auch im Grunde von Heck und Bunc vertretenen Meinung überein, dass es sich bei der für Arbeit verfügbaren Herzfrequenz um eine variable, wahrscheinlich genetisch determinierte Größe handelt, von deren Quantität es abhängt, ob im Individualfall physiologische Grenzbereiche mit alinearer Frequenz/Leistungsbeziehung erreicht werden. Die Probanden unserer Studie, die auch bei voller psychischer und physischer Ausbelastung lineare Herzfrequenz/Leistungsbeziehungen aufwiesen, müssten dementsprechend über ein größeres Arbeitsfrequenzspektrum verfügen als diejenigen mit „levelling off“-Phänomen und asymptotischen Verlauf. Doch dies ist bei der komplexen Regelung nicht nur der Herzfrequenz, sondern auch der Hämodynamik unter Körperarbeit bislang Spekulation. Zweifellos ist weitere Forschungsarbeit über den bisher nur wenig analysierten maximalen Arbeitsbereich notwendig, um die physiologischen Hintergründe besser zu verstehen.

Insgesamt konnte demonstriert werden, dass bei stufenweise ansteigender Belastung auf Fahrrad- wie Laufbandergometern bei 11 bis über 60-jährigen Frauen und Männern im maximalen Arbeitsbereich bei 61 % der Probanden lineare Beziehungen zwischen Herzfrequenz und Belastungsintensität bis zum Abbruch vorlagen und bei 17 % „levelling off“-Phänomene sowie bei 22 % asymptotische Frequenzverläufe zu beobachten waren.

Der demnach größere Teil der Probanden, der nach Lehrbuchmeinung nicht die Kriterien einer kardialen Ausbelastung erfüllte, entstammte einerseits einem Kollektiv von kardial Kranken und mit kardialen Pharmaka behandelten Patienten, das auch als physisch und psychisch (gemessen am Laktatspiegel) als nicht voll ausbelastet gelten konnte. Andererseits änderte sich bei als gesund einzuschätzenden Probanden das Verhältnis kaum (58 %). Geschlechtsunterschiede bestanden nicht. Lediglich bei Leistungssportlern war ein geringerer Prozentsatz mit linearen Beziehungen (49 %) auf Grund stärkerer physischer und psychischer Ausbelastung feststellbar.

Die Belastungsmethode hatte insofern einen Einfluss, als bei der Laufbandergometrie mit der größeren aktivierten Muskelmasse der Anteil der als kardial ausbelastet einzuschätzenden um 5 % gegenüber der Fahrradergometrie größer war.

Von individuellen Faktoren (anthropometrische Parameter, maximale und submaximale Leistungsfähigkeit, kardiovaskuläre Parameter in Ruhe (Liegen), submaximal, maximal und nach Belastung, Trainingsdaten) zeichnete sich das chronologische Alter als die wesentliche Einflussgröße ab. Der Anteil der linearen Verläufe erhöhte sich bei Frauen von 43/42 % bei 11 – 30-Jährigen auf um 80 % bei 60-Jährigen und bei Männern von 50 % auf 68 %.

Bemerkenswert war, dass sich die drei Gruppierungen („levelling off“, „asymptotisch“, „linear“) nicht hinsichtlich der Leistungsfähigkeitsparameter und der metabolischen sowie psychischen Ausbelastung, sondern in der maximal gemessenen linearen Herzfrequenz unterscheiden, die bei den vermeintlich kardial nicht Ausbelasteten mit linearem Verlauf eindeutig am höchsten war. Letzteres führte zur Diskussion einer genetisch determinierten Quantität der Arbeitsherzfrequenz, die individuell in unterschiedlichem Ausmaß beansprucht werden kann. Dies lässt Zweifel aufkommen, ob ein „levelling off“ der Herzfrequenz oder zumindest das Überschreiten eines HAP als ein grundsätzliches Kriterium einer suffizienten, „voll ausbelastenden“ Ergometrie überhaupt gefordert werden kann. Die aus unserer Studie sich ergebende Tatsache, dass mit der von uns gewählten und im Sportbereich überwiegend angewandten Ergometrie-Methode der physiologische Grenzbereich der Herzfrequenz selbst bei Leistungssportlern nur bei 50 % erreicht wird, spricht allein schon dagegen.

Sinnvoll ist zweifellos, bei einer Ergometrie die Tatsache einer kardialen Ausbelastung festzustellen, aber problematisch ist es bereits, diese mit Leistungsfähigkeit oder gar einer Prognose quoad vitam zu korrelieren. Unsere Befunde deckten keine Zusammenhänge mit der relativen Maximalleistung, in die auch die des kardiovaskulären Systems mit eingeht, auf.

## **6.2.2 Maximale Herzfrequenz**

### **6.2.2.1 Einflussfaktoren der maximalen Herzfrequenz**

Die physiologischen Grundlagen der Herzfrequenzregulation sind im Grunde bei allen Menschen gleich. Dennoch verhält sich die Herzfrequenz in Ruhe und unter Belastung bei jedem Menschen anders, da viele verschiedene Faktoren die Höhe der Herzfrequenz beeinflussen. Die Herzfrequenz in Ruhe und unter (maximaler) Belastung ist somit eine individuelle Größe.

Heutzutage spielt vor allem die maximale Herzfrequenz im Leistungssport sowie im präventiven und rehabilitativen Bereich eine wichtige Rolle in der Trainingssteuerung.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es dementsprechend, die Einflussfaktoren auf die „maximale Herzfrequenz“ zu bestimmen, um anhand dieser Ergebnisse eine sinnvolle individuelle Trainingssteuerung ermöglichen zu können.

Bei der Betrachtung der Zusammenhänge zwischen den von uns erhobenen Parametern und der maximalen Herzfrequenz differenzierten wir zwischen einer maximal im Stufentest gemessenen Herzfrequenz und einer maximalen linearen Herzfrequenz. Diese definierten wir als den maximalen Herzfrequenzwert während der ansteigenden Belastung, bei dem im Herzfrequenzverlauf die Linearität (HAP) verlassen wurde.

Die maximale gemessene Herzfrequenz betrug in unserem gesunden Kollektiv  $186 \pm 16,3$  Schläge/Minute und die maximale lineare Herzfrequenz  $178 \pm 17$  Schläge/Minute.

Das Geschlecht unserer Probanden hatte keinen sicheren Einfluss auf die Höhe der beiden maximalen Herzfrequenzen. Die Werte der Frauen und Männer lagen im Altersverlauf bei beiden Herzfrequenzen lediglich 0 bis maximal 4 Schläge auseinander. Das deckt sich mit den Ergebnissen der meisten Studien.<sup>28, 57, 80</sup> Hollmann wies 1963 in seiner Studie nach, dass die Differenzen in den höchsten Pulsfrequenzen zwischen beiden Geschlechtern sehr gering waren und deshalb vernachlässigt werden konnten.<sup>57</sup> Tanaka et al. (2001) zeigten in einer Metaanalyse von 351 Studien (mit 18712 Probanden), dass das Geschlecht des Probanden keinen Einfluss auf die Höhe der maximalen Herzfrequenz hatte.<sup>106</sup> Die Unterschiede zwischen Frauen und Männern, die Hossack et al. (1982), Sheffield et al. (1978) und Neumann et al. (1993) nachwiesen<sup>60, 86, 100</sup>, konnten wir nicht bestätigen. Die Grundlage für diese Behauptungen lässt sich allerdings schwer nachvollziehen, da z.B. Hossack et al. (1982) nur die Werte ihrer männlichen Probanden veröffentlichten.

In unserer Studie bestand bei beiden maximalen Herzfrequenzen eine klare Altersabhängigkeit: je älter die Probanden waren, desto geringer war die maximal gemessene und die maximale lineare Herzfrequenz. Hierbei stimmten die Werte unserer Probanden bei der maximalen (gemessenen) Herzfrequenz in ungefähr mit den Werten der Probanden von Hollmann (1963) überein.<sup>57</sup> Der Korrelationskoeffizient betrug bei den gesunden Probanden für die maximale gemessene Herzfrequenz  $r = -0,69$  und für die maximale lineare Herzfrequenz

$r = -0,52$ . Bei Graettinger et al. (1995) lag der Korrelationskoeffizient der maximalen Herzfrequenz und des Alters zwischen  $-0,3$  und  $-0,6$ .<sup>40</sup> Gründe für diesen geringeren Zusammenhang könnten sein, dass in seiner Studie im Gegensatz zu unserer Studie erstens nur männliche Probanden betrachtet wurden und zweitens die Hälfte der Probanden einen Hypertonus hatte.

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und den maximalen Herzfrequenzen war bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz vor allem in den jüngeren Altersgruppen deutlicher als bei der maximalen linearen Herzfrequenz. Das bedeutet, dass vor allem bei unseren Probanden unter 40 Jahren der Punkt, bis zu dem die Herzfrequenz linear mit der Belastung anstieg, weniger vom Alter abhängig war als der Maximalwert der Herzfrequenz. Das würde dafür sprechen, dass gerade im jüngeren bis mittleren Altersbereich eventuell noch andere Faktoren den Herzfrequenzverlauf beeinflussen, während in höherem Alter das Alter die wichtigste Rolle spielt. Das Ergebnis stimmt damit teilweise mit Israel überein, der davon ausgeht, dass die maximale Herzfrequenz des gesunden Herzens mehr in Zusammenhang mit der biosozial determinierten Leistungsfähigkeit steht als mit dem kalendarischen Alter.<sup>95</sup> Er ist aber der Meinung, dass ältere Sportler bei einer extensiven Maximalbelastung die gleichen maximalen Herzfrequenzwerte erreichen können wie Jüngere, was im Gegensatz zu unseren erwähnten Ergebnissen steht. Bei der Betrachtung unserer Daten muss man aber berücksichtigen, dass 2/3 der Probanden einen bis zur (angenommenen) Ausbelastung linearen Herzfrequenzverlauf hatten, was die Ergebnisse verzerrt.

Der Einfluss des Alters auf die maximale Herzfrequenz wurde in vielen Studien nachgewiesen und gilt als allgemein anerkannt.<sup>2, 17, 31, 40, 45, 59, 78, 80, 94, 95</sup> Man ist sich dabei nur nicht einig, wie groß der Einfluss des Alters im Vergleich zu anderen Parametern ist. Londree und Moeschberger (1984) behaupteten in ihrer Studie, dass das Alter für 73 % der Variabilität der maximalen Herzfrequenz verantwortlich war.<sup>80</sup> In einer späteren Studie zeigten Whaley et al. (1992), dass es bei ihrem Probandengut 36 % waren<sup>115</sup> und laut Graettinger et al (1995) 33 %.<sup>40</sup> In unserer Studie betrug der Variabilitätskoeffizient 0,69.

Bei diesen verschiedenen Ergebnissen darf man das Probandengut nicht außer Acht lassen: bei Londree und Moeschberger (1992) setzte es sich aus Probanden von 388 verschiedenen Studien zusammen; das von Whaley et al. (1992) aus über 2000 Frauen und Männern mit unterschiedlichem Gesundheitsstatus und bei Graettinger et al. (1995) waren es nur männliche Probanden, von denen die Hälfte einen Hypertonus hatte. Diese unterschiedliche Zusammensetzung ist sicherlich ein Grund dafür, dass der Einfluss des Alters nicht gleich hoch war, da noch andere Faktoren, wie z.B. der Hypertonus, die maximale Herzfrequenz beeinflussten.

Bei unserem Probandengut zeigte sich ein mittlerer Zusammenhang zwischen der Art der Belastung und der Höhe der beiden maximalen Herzfrequenzen. Bis auf wenige Ausnahmen lagen die Werte der Laufbandergometrie über denen der Fahrradergometrie: im Mittel bei den Frauen 7 (HfMax) bzw. 8 (HfLin) Schläge/Minute und bei den Männern 5 (Hfmax) bzw. 4 (HfLin) Schläge/Minute. Statistisch sicher war der Unterschied vor allem bei den Frauen und vorwiegend in den jüngeren Altersgruppen. Man darf allerdings nicht übersehen, dass in den

älteren Dekaden die Anzahl der Laufbandbelastungen abnahm und somit trotz deutlicher numerischer Unterschiede häufig kein Signifikanzniveau erreicht wurde. Insgesamt war der Zusammenhang bei beiden maximalen Herzfrequenzen etwa gleich hoch.

Der Einfluss der Belastungsart -Fahrradergometrie oder Laufbandergometrie- auf die Höhe der maximalen Herzfrequenz war Hintergrund vieler Studien. Man kam zu dem Ergebnis, dass die maximale Herzfrequenz auf dem Laufband höher ist als die auf dem Fahrrad.<sup>8, 14, 45, 59, 80</sup> Man geht heute davon aus, dass die Werte auf dem Laufband im Mittel 10 – 15 Schläge/Minute höher sind<sup>104</sup>, was man durch den Unterschied in der Masse der eingesetzten Muskulatur erklärt.<sup>31, 80</sup> Bei unseren Probanden war der Unterschied zwischen den Werten der Laufband- und der Fahrradergometrie nicht so groß wie in der Literatur vermutet. Dabei spielt sicherlich eine Rolle, dass unsere Probanden sportlich mehr oder weniger aktiv waren und es gewohnt waren an ihre Leistungsgrenzen zu gehen. Außerdem waren wir bemüht die Probanden je nach ihrer gewohnten sportlichen Aktivität auf dem passenden Ergometer zu belasten. Sportler erreichen bekanntlich ihre höchste Herzfrequenz in ihrer jeweiligen Sportart. So wies Israel (1982) nach, dass Läufer, die auf einem Fahrradergometer belastet wurden, eine um bis zu 10 Schläge/Minute niedrigere Herzfrequenz erreichten als beim Laufen und somit der Belastungstest nur eingeschränkt bewertbar ist.<sup>61</sup> Diese Fehlerquelle versuchten wir zu vermeiden.

Für die anthropometrischen Daten –Körperlänge, Körpermasse, BMI, Körperfettmasse- ergab sich in unserer Studie kein systematischer Zusammenhang mit den maximalen Herzfrequenzen. Wir verglichen zusätzlich die maximalen Herzfrequenzwerte von Probanden mit einem BMI > 25 kg/m<sup>2</sup> und solche mit einem niedrigeren BMI. Es zeigte sich auch hierbei kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Unser Ergebnis steht im Einklang mit dem anderer Studien.<sup>40</sup> Lester et al. (1968) konnten in ihrer Studie mit Hilfe von Regressionsanalysen ebenfalls keinen Einfluss von Größe und Gewicht auf die maximale Herzfrequenz nachweisen.<sup>78</sup>

Einen systematischen Zusammenhang zwischen dem Grad der sportlichen Aktivität der Probanden –anhand von Trainingsstunden pro Woche und Trainingsjahren- und der Höhe der maximalen Herzfrequenz konnten wir ebenfalls nicht feststellen.

Dieses Ergebnis stimmt mit den Ergebnissen anderer Autoren überein.<sup>2, 10, 59</sup> Laut Hollmann kann die maximal erreichbare Herzschlagzahl durch Training nicht verändert werden.<sup>59</sup> Auch Rost äußerte, dass die maximale Schlagzahl eine biologisch determinierte Größe ist, die im wesentlichen nur alters-, nicht aber geschlechts- oder trainingsabhängig ist.<sup>95</sup>

Cooper et al. (1977) und andere Autoren zeigten im Gegensatz zu unseren Ergebnissen, dass trainierte Probanden eine höhere maximale Herzfrequenz hatten als untrainierte, was er auch damit erklärte, dass die untrainierten Probanden früher abbrechen als die trainierten.<sup>25, 44</sup> Israel erklärte diesen Zusammenhang damit, dass das Schlagvolumen beim Trainierten ansteigt, die zirkulierenden Katecholamine absinken und die autonome Kontrolle des Herzens verändert wird. Folglich erreichen laut seiner Meinung ausdauertrainierte Sportler ein signifikant höheres Herzzeitvolumen, eine höhere Kontraktilität und ihr Herzkreislaufsystem arbeitet

folglich viel ökonomischer als das von nichttrainierten<sup>61</sup>, was das Erreichen einer höher maximalen Herzfrequenz ermöglicht.

Andere Autoren, wie z.B. Londree und Moeschberger (1984), zeigten wiederum, dass Training die Höhe der maximalen Herzfrequenz vermindert und damit Trainierte eine niedrigere maximale Herzfrequenz haben als untrainierte<sup>47, 78, 80</sup>. Beim Vergleich dieser Studien muss man erwähnen, dass sich das Probandengut zwischen den einzelnen Studien u.a. hinsichtlich des Grades der Trainiertheit unterschied und allein das ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse sein kann.

Um diese Zusammenhänge zu überprüfen, verglichen wir die Werte der beiden maximalen Herzfrequenzen von Kaderathleten und Nichtkaderathleten. Es zeigten sich in Abhängigkeit von der Belastungsart unterschiedliche Ergebnisse. Bei der Fahrradergometrie waren die Werte der Nichtkadersportler höher als die der Kaderathleten (HfMax 2 - 5 Schläge/ Minute; HfLin 5 - 6 Schläge/Minute) und bei der Laufbandergometrie waren dagegen die Werte der Kaderathleten höher als die Nichtkadersportler (HfMaxge 0 – 12 Schläge/Minute; HfLin 2 – 15 Schläge/ Minute). Statistisch sicher waren diese Unterschiede aber nur vereinzelt. Man muss dabei aber auch in Erwägung ziehen, dass sich die Kadersportler unserer Studie aus unterschiedlichen Sportarten, z.B. Ausdauer und Kraftsport, zusammensetzten. Bekanntermaßen haben Ausdauersportarten einen deutlichen höheren Effekt auf das Herzkreislaufsystem als z.B. Kraftsportarten.

Als mögliche Erklärung für diesen ergometriespezifischen Unterschied ergibt sich die Tatsache, dass sich unser Probandengut im Vergleich zum Bevölkerungsdurchschnitt aus sportlich aktiveren Individuen zusammensetzte. Der Anteil der Probanden, die keinen Sport betrieben, betrug in unserer Studie lediglich 4 %. Außerdem wurden nur Probanden unter 40 Jahren verglichen. Ein weiterer erklärender Aspekt könnte sein, dass die meisten Nichtkaderathleten eher an das Fahrradfahren gewöhnt waren als an das Laufen. Probanden, die an ein Laufbandergometer nicht gewöhnt sind, haben häufig Koordinationsprobleme. Außerdem wurden auf dem Laufband eher die leistungsstärkeren Probanden belastet, die zumeist in „Laufsportarten“ aktiv waren.

Neben dem Einfluss des Trainings untersuchten wir als objektiveren Parameter den Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit der Probanden und den maximalen Herzfrequenzen.

Es konnten kaum signifikante Beziehungen zwischen den relativen Leistungswerten und den beiden maximalen Herzfrequenzen nachgewiesen werden und wenn dann hatten sie bei der Fahrradergometrie ein positives und bei der Laufbandergometrie ein negatives Vorzeichen. Zwischen den PWC-Werten und den maximalen Herzfrequenzen bestand dagegen ein überwiegend negativer Zusammenhang, der vor allem bei der Laufbandergometrie bei den PWC150- und PWC170-Werten bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz statistisch sicher war.

Somit bestand zumindest bei der Laufbandergometrie ein Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit der Probanden und der Höhe der maximalen Herzfrequenz. Die Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit wird auch durch die Korrelationen zwischen der Arbeitsherz-

frequenz und der relativen Maximalleistung sowie der Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle gestützt, wobei auch hier die Zusammenhänge bei der Fahrradergometrie positiv und die bei der Laufbandergometrie negativ waren.

Dies könnte dadurch bedingt sein, dass erstens eher die Leistungsfähigeren auf dem Laufband belastet wurden und zweitens die geringere Laktatakkumulation bzw. der größere Anteil der eingesetzten Muskelmasse auf dem Laufband eine höhere Leistung erlaubte.

Ein enger Zusammenhang bestand in unserer Studie zwischen den Schwellenherzfrequenzen und den beiden maximalen Herzfrequenzen. Je höher die Herzfrequenzen an den Schwellen waren, desto höher waren die Werte der beiden maximalen Herzfrequenzen. Die Beziehung zwischen diesen Größen war bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz deutlicher als bei der maximalen linearen Herzfrequenz. Diese Beziehung könnte dadurch erklärt werden, dass Probanden, die erst bei höheren Herzfrequenzen die aeroben bzw. anaeroben Schwellen erreichen -also mutmaßlich trainierter bzw. leistungsfähiger sind- auch eine höhere maximale Herzfrequenz haben, während untrainierte schon früh die Schwellen erreichen und häufig aufgrund einer peripheren Erschöpfung oder anderen Symptomen die Belastung beenden ohne kardiopulmonal voll ausbelastet zu sein. Bestätigt wurde dieser Zusammenhang durch eine enge Korrelation zwischen den Herzfrequenzwerten und den korrespondierenden Leistungswerten an den Schwellen (und der Arbeitsherzfrequenz und den relativen Leistungswerten), was für eine gewisse Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit spricht.

Den Zusammenhang zwischen dem Grad der Ausbelastung der Probanden und der Höhe der beiden maximalen Herzfrequenzen haben wir anhand des maximalen Laktatwerts, dem Borgwert und der Dauer der Belastung überprüft. Der maximale Laktatwert war ein objektiver und der Borgwert ein subjektiver Parameter für die Ausbelastung.

Zwischen dem maximalen Laktatwert und den maximalen Herzfrequenzen bestand ein schwacher bis mittlerer direkter Zusammenhang, der am deutlichsten bei den Werten der maximalen gemessenen Herzfrequenz während der Fahrradergometrie war. Er war insgesamt bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz größer als bei der maximalen linearen Herzfrequenz.

Der Unterschied zwischen der Fahrrad- und der Laufbandergometrie könnte durch die unterschiedliche Masse der eingesetzten Muskulatur bedingt sein oder aber dadurch, dass die Probanden bei der Laufbandergometrie aus anderen Gründen, wie z.B. Koordinationsproblemen, aufhörten bevor sie ihre Maximalleistung erreichten.

Zwischen dem Borgwert und den beiden maximalen Herzfrequenzen zeigte sich ähnlich wie bei der Dauer kein systematischer Zusammenhang. Bei beiden Parametern waren nur vereinzelt signifikante Korrelationen zu den maximalen Herzfrequenzen erkennbar.

Der subjektive Grad der Ausbelastung stand somit in unserer Studie in keinem Zusammenhang mit der Höhe der maximalen Herzfrequenz. Es stellt sich die Frage, ob dies dadurch bedingt ist, dass die Probanden den Grad der Ausbelastung höher bzw. niedriger einschätzen als er wirklich war, da sich beim objektiven Parameter -dem maximalen Laktatwert- eine Korrelation zeigte. Der fehlende Zusammenhang mit der Dauer ließe sich dadurch erklären, dass alle Probanden nach dem gleichen Protokoll bis ans Ende ihrer Leistungsgrenze belastet



wurden und die Dauer dementsprechend von der Leistungsfähigkeit des Probanden abhing. Ein leistungsfähigerer Proband braucht bekanntlich länger bis er seinen Maximalwert erreicht als ein untrainierter Proband -unabhängig von der Höhe des Maximalwerts.

In unserem Probandenkollektiv ließ sich kein systematischer Zusammenhang zwischen der Ruheherzfrequenz und den beiden maximalen Herzfrequenzen nachweisen.

Im Gegensatz dazu wiesen Grimbey und Saltin (1966) einen direkten Zusammenhang zwischen der maximalen Herzfrequenz und der Ruheherzfrequenz nach ( $r = 0,81$ ).<sup>41</sup> Borsky et al. (1978) bestätigten diesen Zusammenhang.<sup>13</sup> Whaley et al. (1992) zeigten in ihrer Studie, dass die Probanden mit einer höheren Ruheherzfrequenz eine höhere Herzfrequenz erreichten als die nach der dem Alter entsprechend berechneten Formel ( $220 - \text{Alter}$ ), während die mit einer niedrigeren Ruheherzfrequenz unter dem berechneten Wert blieben.<sup>115</sup>

Bei diesen unterschiedlichen Ergebnissen spielen sicherlich Unterschiede in der Zusammensetzung des Probandenguts eine Rolle sowie die Definition der Ruheherzfrequenz. Bei unserem Probandengut wurde die Ruheherzfrequenz frühestens nach 5 Minuten ruhigem Liegen ermittelt. Häufig wird auch die auf dem Ergometer kurz vor der Belastung im Sitzen auf dem Fahrrad gemessene Herzfrequenz als Ruheherzfrequenz verwendet.

Wir konnten des weiteren keine systematischen Zusammenhänge zwischen den Blutdruckparametern in Ruhe, bei 100 Watt Belastung, eine Minute nach der Belastung und den beiden maximalen Herzfrequenzen nachweisen. Auch beim Vergleich der maximalen Herzfrequenzwerte von Probanden mit einem erhöhten systolischen ( $> 130 \text{ mmHg}$ ) oder diastolischen ( $> 90 \text{ mmHg}$ ) Blutdruck mit Probanden mit einem normotonen systolischen bzw. diastolischen Wert ergab sich kein statistisch sicherer Unterschied zwischen den jeweiligen Gruppen.

Diese Tatsache mag dadurch bedingt sein, dass die Zahl der Probanden in den einzelnen Altersdekaden häufig sehr klein war und deswegen kein Signifikanzniveau erreicht wurde.

Zwischen den erhobenen humoralen laborchemischen Parametern und den maximalen Herzfrequenzen ließ sich kein systematischer Zusammenhang erkennen. Es zeigten sich lediglich vereinzelt signifikante Beziehungen zwischen den Größen.

Den Einfluss von kardiovaskulären Erkrankungen auf die maximale Herzfrequenz überprüften wir, indem wir die Werte von Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung mit denen von Probanden ohne eine solche Erkrankung verglichen. Es wurden dabei nur Probanden jenseits des 40. Lebensjahres betrachtet.

Bei der Fahrradergometrie zeigte sich bei beiden maximalen Herzfrequenzen ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen: die Werte der Probanden mit einer Erkrankung lagen 10 – 14 Schläge/Minute unter denen der gesunden Probanden. Bei der Laufbandergometrie konnte dies nicht dargestellt werden. Ein Grund dafür ist sicherlich die geringere Probandenzahl, da die meisten Probanden mit einer manifesten kardiovaskulären Erkrankung auf dem Fahrrad belastet wurden. Den Einfluss von Erkrankungen auf die maximale Herzfre-

quenz wiesen Bruce et al. (1974) in einer Studie mit gesunden Probanden und Probanden mit einer Hypertension, KHK oder beidem ebenfalls nach.<sup>16</sup>

Ein ähnlicher Zusammenhang zeigte sich auch bei den Probanden mit einer kardiovaskulär wirksamen Medikation. Wie erwartet hatten diese Probanden zumindest bei der Fahrradergometrie signifikant niedrigere Werte als die Probanden ohne eine kardiovaskulär wirksame Medikation: im Mittel 16 Schläge/Minute bei beiden maximalen Herzfrequenzen. Bei der Laufbandergometrie konnte dieser Zusammenhang nicht dargestellt werden.

Die senkende Wirkung von  $\beta$ -Blockern auf die maximale Herzfrequenz hatten Gullestad et al. (2001) in ihrer Studie nachgewiesen -die Probanden mit Metoprolol hatten eine um 18 Schläge/Minute geringere Herzfrequenz als die Probanden mit Placebo.<sup>42</sup> Dieses Ergebnis stimmt mit unserem in etwa überein. Rost (1984) erläuterte, dass je höher die Belastung steigt, umso ausgeprägter ist der Frequenzverlust durch den Einsatz von Betablockern; die Schere zwischen einer Herzfrequenzkurve ohne Medikamenteneinsatz und einer solchen mit öffnet sich umso mehr, je stärker die Herzfrequenz von Ruhe bis Maximalwert anwächst.<sup>95</sup>

Nach der Betrachtung aller erwähnten Zusammenhänge darf man nicht außer Acht lassen, dass es weitere Faktoren gibt, von denen man einen Einfluss auf die maximale Herzfrequenz erwarten kann, die hier aber nicht untersucht wurden.

Tageszeit, Diäten und Umweltfaktoren, wie z.B. Temperatur und Höhe über dem Meeresspiegel, beeinflussen die Höhe der maximalen Herzfrequenz nachweislich.<sup>26, 51, 59, 113</sup>

In unserer Studie wurden Klimafaktoren (klimatisierter Raum), Tageszeit (nur Untersuchungen am Vormittag), Ernährung (kleines Frühstück) allerdings weitgehend berücksichtigt.

Aber auch die „Tagesform“ des Probanden beeinflusst seine Leistungsfähigkeit -und damit auch seine maximale Herzfrequenz.<sup>38</sup> Für die Tagesform spielen wiederum verschiedene Faktoren wie z.B. private Probleme, Übermotivation u.a. eine Rolle. Noch nicht manifeste Erkrankungen können ebenfalls unbemerkt die Physiologie der Herzfrequenz verändern.

Man sollte deshalb die maximale Herzfrequenz nicht als eine fixe, nur vom chronologischen Alter bestimmte biologische Größe sehen, sondern als einen individuellen Parameter, der durch verschiedenste Faktoren und von diesen in variabler Weise beeinflusst sein kann.

### 6.2.2.2 Maximale gemessene Herzfrequenz versus maximale linearen Herzfrequenz

Wie bereits mehrfach erwähnt wurde in zahlreichen ergometrischen Studien (mit ansteigenden Belastungen bis zum Erreichen der Abbruchkriterien) selten definiert, was unter „maximaler Herzfrequenz“ verstanden wurde. Entweder wurde der bei der Ergometrie unter Einbeziehung der frühen Erholungsphase unter Sinusrhythmus beobachtete Maximalwert der Herzfrequenz (unabhängig vom Abbruchzeitpunkt) oder der Maximalwert bei Abbruch als Messergebnis verwertet. Selten wurde das Herzfrequenzverhalten bei ansteigender Belastung berücksichtigt und nur dann von einem Maximalwert gesprochen, wenn sich die Herzfrequenz asymptotisch einem Grenzwert näherte bzw. ein Plateau erreichte. Nur im letzten Fall wäre von einem physiologischen Grenzwert auszugehen, der aber höchstens bei 50 % der Probanden annähernd bestimmt werden kann.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu klären, ob eine maximal gemessene, aber physiologisch unscharf definierte Herzfrequenz und diejenige maximale Herzfrequenz am Ende eines streng linearen Verlaufs (bei stufenweise ansteigender Belastung) für die Trainingssteuerung von unterschiedlicher Wertigkeit sind.

Wie aus unseren Ergebnissen zu dem hervorgeht, kann zwischen physiologischem Grenzwert und maximaler Abbruchherzfrequenz zahlenmäßig ein eindeutiger Unterschied bestehen. Es fragt sich deshalb, welchen gemessenen bzw. messbaren Maximalwert man in der individuellen Trainingssteuerung, die auf einer Ergometrie beruht, für Ratschläge nutzen soll.

Beim Vergleich der Zusammenhänge zwischen den beiden maximalen Herzfrequenzen mit den von uns erhobenen Parametern zeigte sich zumeist eine engere Korrelationen mit der maximalen gemessenen Herzfrequenz (vgl. 6.2.2.1).

So lag z.B. beim Alter der Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und der maximal gemessenen Herzfrequenz bei  $-0,69$  und bei der maximalen linearen Herzfrequenz bei  $-0,52$ . Dies lässt die Vermutung zu, dass die Abhängigkeit vom Alter für den maximal gemessenen Wert der Herzfrequenz höher ist als für den Wert bis zu dem die Herzfrequenz linear ansteigt.

Da außerdem bei allen Korrelationsberechnungen die Koeffizienten bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz höher waren, stellte sich zusätzlich die Frage, welche anderen Faktoren, die in unserer Studie nicht betrachtet wurden, die Höhe der maximalen linearen Herzfrequenz beeinflussen. Dementsprechend sollte man überlegen, ob es sich bei der maximalen linearen Herzfrequenz doch um eine individuelle und damit nicht „objektivierbare“ Größe handelt, die dementsprechend nicht als allgemeiner Parameter zur Trainingssteuerung genutzt werden sollte, da er „individuell“ ist.

Für die Unterschiede hinsichtlich der Höhe der Korrelationskoeffizienten lassen sich aber noch einige Gründe finden. Die maximale gemessene Herzfrequenz wurde stets am Ende der Belastung gemessen, wodurch der Zeitpunkt der Messung bei allen Probanden gleich war und sie auch einen annähernd gleichen Grad an Ausbelastung erfahren haben sollten. Die maximale lineare Herzfrequenz wird hingegen bei allen Probanden zu einem anderen Zeitpunkt der Belastung erreicht und ist damit nur eingeschränkt vergleichbar. Man geht zwar in der

Literatur davon aus, dass die Herzfrequenz bei ungefähr 70 % der individuellen kardialen Leistungsfähigkeit abzuflachen beginnt<sup>59</sup>, dennoch herrscht über den genauen Leistungspunkt keine Sicherheit. In unserer Studie wurde bei über der Hälfte der Probanden der Wert der maximalen linearen Herzfrequenz erst bei Belastungsabbruch erreicht, während der Rest der Probanden zu einem nicht klar definierten Zeitpunkt ihre maximale lineare Herzfrequenz erreichte. Demzufolge war die metabolische Situation bzw. die Ausbelastung der Probanden bei Erreichen der maximalen linearen Herzfrequenz nicht identisch. Ein Teil der Probanden erreicht die maximale lineare Herzfrequenz im submaximalen, der anderer Teil im maximalen Arbeitsbereich.

Hinzu kommt, dass letztlich unklar ist, ob man bei den Probanden, die einen bis zum Ende der Belastung linearen Herzfrequenzverlauf hatten, wirklich von einer maximalen linearen Herzfrequenz sprechen kann, da sie die Linearität nicht verlassen haben und man deshalb nicht einschätzen kann, ob die Herzfrequenz nicht noch weiter linear verlaufen wäre oder ob sie eventuell doch noch ein „levelling off“ erreicht hätten.

Viele Autoren gehen davon aus, dass die linearen Herzfrequenzverläufe dadurch zustande kommen, dass die Probanden nicht voll ausbelastet sind oder dass es an dem gewählten Belastungsprotokoll liegt (6.2.1). Für diese Vermutung spricht, dass unsere Probanden mit einem linearen Herzfrequenzverlauf bis zum Ende eine signifikant niedrigere maximale gemessene Herzfrequenz hatten als die anderen beiden Untergruppen. Dagegen spricht jedoch, dass sich die drei Untergruppen u.a. hinsichtlich der Leistungswerte und der Belastungsdauer nicht unterschieden.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor bei der maximalen linearen Herzfrequenz ist, dass sie visuell bestimmt wird und folglich von den Fähigkeiten und der Erfahrung des Betrachters abhängt. Außerdem werden die Herzfrequenzwerte nicht kontinuierlich während der Belastung gemessen und registriert, sondern höchstens jede Minute. Es wäre also möglich, dass die Herzfrequenz schon zu einem früheren Zeitpunkt und damit bei einem geringeren Wert die Linearität verlassen hätte.

Insgesamt muss man sagen, dass die genauen physiologischen Hintergründe zu diesem Thema noch nicht ausreichend erforscht sind und man nicht weiß, inwieweit der Verlauf der Herzfrequenz individuell vorgegeben ist und damit auch nicht, ob ein linearer Verlauf der Herzfrequenz bis zum Ende nicht auch physiologisch ist -was z.B. Heck et al. (1989) vermuten.<sup>48</sup>

Die maximale lineare Herzfrequenz ist demzufolge eine für die dynamische Leistungsfähigkeit des Gesamtorganismus individuelle, unscharf definierbare Größe, die auch nur eingeschränkt zwischen verschiedenen Personen vergleichbar ist. Im Gegensatz dazu ist die maximale gemessene Herzfrequenz eine messtechnisch klar definierte Größe, die zwar sicherlich auch durch verschiedenste Faktoren beeinflusst wird, dennoch aber objektiver und vergleichbarer ist. Somit sollte man diesen Wert als Grundlage für die Trainingsgestaltung nehmen.

### **6.2.3 Mit Formeln berechnete maximale Herzfrequenz**

Eine Vielzahl von gesundheits- und leistungsorientierten Freizeitsportlern und auch Spitzensportlern absolvieren ihre Trainingseinheiten in Herzfrequenzbereichen, die prozentual von einer mit einer Formel berechneten maximalen Herzfrequenz bestimmt werden. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese Formeln eine zuverlässige Grundlage für ein herzfrequenzgesteuertes Trainings sind, da sie nur den Einfluss des Alters und nicht die individuellen Voraussetzungen des Sportlers beachten.

Aus diesem Grund verglichen wir die von unseren Probanden erreichte „maximale gemessene“ und „maximale lineare“ Herzfrequenz mit nach gängigen Formeln berechneten Werten für die maximale Herzfrequenz. Wir differenzierten zwischen den beiden Ergometrieformen und verwendeten bei den Probanden mit einer Fahrradergometrie die Formel „200 – Lebensalter“<sup>98</sup> und bei der Laufbandergometrie „220 – Lebensalter“<sup>70</sup>.

Bei der Fahrradergometrie waren die Werte der beiden maximalen Herzfrequenzen bis auf wenige Ausnahmen signifikant höher als die nach der Formel berechneten Werte. Die Differenzen stiegen mit zunehmendem Alter. Insgesamt lagen die Werte der maximalen linearen Herzfrequenz etwas näher an den nach der Formel berechneten Werten.

Bei der Laufbandergometrie dagegen zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse bei den beiden maximalen Herzfrequenzen. Bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz gab es in den jüngeren Jahren eine bessere Übereinstimmung als bei der Fahrradergometrie. In den jüngeren Altersdekaden waren die Werte der berechneten maximalen Herzfrequenz nur geringfügig höher als die im Stufentest erreichte maximale Herzfrequenz, die Differenz stieg dann aber mit zunehmendem Alter.

Bei der maximalen linearen Herzfrequenz lagen in den ersten beiden Jahrgängen die Werte der berechneten maximalen Herzfrequenz signifikant über den Werten der im Stufentest erreichten maximalen Herzfrequenz, im mittleren Altersbereich lagen die beiden Werte nahe beieinander, während ab der vierten Altersdekade der Frauen und der fünften der Männer die Werte der maximalen linearen Herzfrequenz deutlich über den Werten der berechneten maximalen Herzfrequenz lagen.

In den jüngeren Jahrgängen stimmten die Werte der maximalen gemessenen Herzfrequenz und in den älteren die Werte der maximalen linearen Herzfrequenz somit besser mit den nach der Formel berechneten Werten überein.

Die Originalformel „220 – Lebensalter“ wurde von Rost und Hollmann (1982) anhand von Ergebnissen bei untrainierten Probanden auf dem Fahrradergometer ermittelt. Man kann also nicht sicher sagen, ob die Probanden nicht eine höhere maximale Herzfrequenz gehabt hätten, wenn sie auf dem Laufband belastet worden wären. Außerdem ist nicht klar, ob die Gültigkeit der Formel nicht auch vom Trainingszustand des Probanden abhängt, da sie an untrainierten Probanden ermittelt wurde.<sup>98</sup>

Diese Tatsachen können Gründe für den signifikanten Unterschied zwischen den mit der Formel errechneten Werten und der tatsächlich erreichten maximalen Herzfrequenz sein.

Unser Ergebnis, dass die im Stufentest erreicht maximale Herzfrequenz höher ist als die nach Formel berechnete, steht im Einklang mit einer Vielzahl von Studien.

Spanaus (2002) verglich in seiner Studie die maximalen gemessenen Herzfrequenzwerte der Probanden bei Hfmax-Lauftests mit den nach verschiedenen Formeln berechneten Werten.<sup>104</sup> Bei beiden Geschlechtern lagen die nach der Formel „220 – Lebensalter“ berechneten Werte signifikant unter den tatsächlich erreichten Werten. Die Differenzen stiegen bei den Männern mit zunehmendem Alter von 2,3 – 6,4 Schläge/Minute (20-29 Jahre) auf 7,8 – 10,8 Schläge/Minute (50 – 64 Jahre) an. Bei den Frauen waren die Unterschiede geringer. Diese Ergebnisse stimmen tendenziell mit unseren Werten überein. Allerdings wurden bei uns bei der Laufbandergometrie erst ab der dritten bzw. vierten Altersdekade klare Unterschiede deutlich. Diese waren bei den Frauen ungefähr gleich groß wie bei den Männern. Eine Ursache dafür könnte sein, dass Spanaus seine Probanden aus einer Läufergruppe rekrutierte und diese einem regelmäßigen, durch einen Trainer festgelegten Lauftraining nachgingen.

Tanaka et al. (2001) führten eine Metaanalyse von 351 Studien und eine prospektive Studie durch, um den Unterschied zwischen der tatsächlich erreichten maximalen Herzfrequenz und der nach der Formel „220 – Lebensalter“ errechneten zu ermitteln. Es zeigte sich, dass die nach der Formel berechnete maximale Herzfrequenz bei jungen Probanden die maximale Herzfrequenz überschätzte, im mittleren Altersbereich übereinstimmte und bei älteren Probanden unterschätzte. Dieses Ergebnis zeigt sich bei uns nur bei der Laufbandergometrie. Tanaka et al. hatten aber zwischen den beiden Ergometrieformen nicht differenziert. Da die Werte aus 351 verschiedenen Studien retrospektiv gewonnen wurden, handelte es sich um ein nicht selektiertes Probandengut, das schwer verglichen werden kann.

Wir prüften anhand unserer Daten, ob der Zusammenhang zwischen der maximalen gemessenen bzw. linearen Herzfrequenz und dem Alter linear, exponentiell, logarithmisch, potentiell oder polynomisch ist. Es zeigte sich, dass es sich wie in den anderen Studien um eine lineare Beziehung handelte.

In unserem Probandengut ergaben sich folgende Formeln für das gesunde Probandengut zwischen 20 und 60 Jahren:

$$\begin{aligned} \text{Maximale gemessene Herzfrequenz} &= 211 - 0,71 \times \text{Alter} \quad (R^2 = 0,35) \\ \text{Maximale lineare Herzfrequenz} &= 199 - 0,54 \times \text{Alter} \quad (R^2 = 0,18) \end{aligned}$$

Damit ergab sich für die Formel der maximalen gemessenen Herzfrequenz die größte Übereinstimmung mit der Formel von Robinson et al. (1939): „212 – 0,775 x Alter“.<sup>94</sup>

Wir wählten für die Berechnungen erst die Probanden ab dem 20. Lebensjahr, da diese Probanden voll ausgewachsen sind.

Insgesamt zeigte sich, dass Formeln zur Berechnung der maximalen Herzfrequenz nicht adäquat sind. Nimmt man nun die nach den Formeln berechnete Herzfrequenz als Grundlage zur Berechnung der Trainingsintensität, so unter- oder überschätzt man die Trainingsintensität und der Sportlern trainiert nicht in dem für ihn richtigen Herzfrequenzbereich. Eine weitere Gefahr liegt darin begründet, dass man den wahren Grad der physischen Anstrengung bei einer Ergometrie falsch einschätzt, wenn man sich an den anhand von Formeln berechneten Werten orientiert. Man darf deshalb die mit Formeln berechneten maximalen Herzfrequenzwerte nur als groben Richtwert nehmen und nicht beim Erreichen des berechneten Wertes die Belastungsuntersuchung abbrechen, da der Proband eventuell –wie unsere Daten zeigen– noch nicht ausbelastet ist und auch seine maximale Herzfrequenz nicht erreicht hat. Andererseits muss das „Nichterreichen“ des berechneten Wertes nicht für einen krankhaften Prozess oder fehlende Fitness sprechen.

Man sollte deswegen die Höhe der maximalen Herzfrequenz nicht anhand einer Formel berechnen, sondern mit einem Stufentest ermitteln, damit der Sportler oder der Patient im richtigen Herzfrequenzbereich trainiert und den gewünschten Trainingseffekt erzielt.

## 7. Zusammenfassung

Aufgrund der praktischen Bedeutung der maximalen Herzfrequenz für die Trainingssteuerung im präventiven und rehabilitativen Bereich sowie im Leistungssport sollten in der vorliegenden Arbeit die Einflussfaktoren der maximalen Herzfrequenz und ihres Verlaufes im maximalen Arbeitsbereich bestimmt und außerdem die Sinnhaftigkeit einer auf ihr basierenden Trainingssteuerung überprüft werden. Zusätzlich analysierten wir, welcher Wert als „maximale Herzfrequenz“ des Probanden für die Trainingssteuerung verwendet werden sollte: die maximale im Stufentest gemessene Herzfrequenz (= max. gemessene Herzfrequenz) oder die Herzfrequenz bis zu der der Herzfrequenzverlauf während der Belastung linear war (= max. lineare Herzfrequenz).

Unsere Studie wurde als retrospektive Analyse von ergometrischen Befunden der in der Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der TU München untersuchten Personen geplant. In die Studie wurden insgesamt 890 unterschiedlich sportlich aktive Probanden -435 Frauen und 455 Männer- im Altersbereich von 12 bis 85 Jahren einbezogen. Eingeschlossen wurden ausnahmslos stufenweise ansteigende Ergometrien auf dem Fahrrad im Sitzen oder auf dem Laufband in Form des Laufens bei konstanter Steigung von 1 %. Die Belastungsdauer pro Stufe sollte mindestens 3 Minuten betragen und die Gesamtdauer zumindest 12 Minuten. Ausschlusskriterien waren das Tragen eines Herzschrittmachers, eine absolute Arrhythmie bei Vorhofflimmern sowie ein Abbruch der Diagnostik aus kardialen Gründen (z.B. ST-Hebungen, Angina Pectoris Beschwerden). Pro Person wurden insgesamt 69 Parameter erhoben.

Wir führten eine visuelle Beurteilung des Herzfrequenzverlaufs in Relation zur steigenden Leistung durch. Dabei ermittelten wir die maximale lineare Herzfrequenz und differenzierten drei Typen: einen bis zum Abbruch der Belastung linear verlaufenden Typ, einen zweiten, der zunächst linear verlief und dann asymptotisch in Richtung Abszisse abflachte, aber kein Plateau bildete und einen dritten, der im Gegensatz zum zweiten Typ am Ende ein Plateau bildet und somit ein sog. „levelling off“ erreicht.

Wir konnten lediglich bei 17 % unserer Probanden im Gesamtkollektiv einen Herzfrequenzverlauf mit einem „levelling off“ registrieren. 22 % der Probanden hatten einen asymptotischen und 61 % einen bis zum Ende der Belastung linearen Herzfrequenzverlauf. Es zeigte sich eine Altersabhängigkeit der Verteilung, wobei mit zunehmendem Alter der Anteil der linearen Herzfrequenzverläufe bis auf 78 (Frauen) bzw. 80 % (Männer) zunahm. Das Geschlecht spielte keine Rolle. Die Art der Belastung hatte einen Einfluss auf die Häufigkeitsverteilung, wobei bei der Fahrradergometrie die linearen Verläufe mit 2/3 dominierten (1/6 je asymptotisch und „levelling off“), während es bei der Laufbandergometrie mit 1/2 linearem, 3/10 (Frauen) bzw. 1/4 (Männer) asymptotischen und 1/5 „levelling off“-Verlauf etwas ausgeglichener war.



Um den Einfluss von Training, kardiovaskulären Erkrankungen und kardiovaskulär wirksamen Medikamenten auf den Herzfrequenzverlauf zu untersuchen, bildeten wir Untergruppen. Bei den Kaderathleten wurden Probanden bis zum 40. Lebensjahr berücksichtigt und bei den Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung oder einer kardiovaskulär wirksamen Medikation nur solche jenseits des 40. Lebensjahres.

Im gesunden Probandenkollektiv, dessen Probanden unter keiner kardiovaskulären Erkrankungen litten, keine kardiovaskulär wirksamen Medikamenten einnahmen und keinem Leistungskader angehörten, zeigte sich ungefähr die gleiche Verteilung der Herzfrequenztypen wie im Gesamtkollektiv. Bei den Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung und denen mit einer kardiovaskulär wirksamen Medikation stieg der Anteil der linearen Herzfrequenzverläufe auf 74 % bzw. 84 % an. Bei den Kaderathleten sank dagegen der Prozentsatz der linearen Herzfrequenzverläufe auf 49 % und der der asymptotischen Herzfrequenzverläufe stieg auf 32 %.

Wir erklärten diese Ergebnisse mit einer bei den Kaderathleten erhöhten Gewöhnung und Bereitschaft an ihre Leistungsgrenze zu gehen. Bei den Probanden mit einer kardiovaskulären Erkrankung oder kardiovaskulär wirksamen Medikamenten schlossen wir auf eine durch die Erkrankungen oder Medikamente beeinflusste physiologische Regulation der Herzfrequenz sowie eine aufgrund von Symptomen oder psychischen Gründen verminderte Bereitschaft der Probanden an ihre Leistungsgrenze gehen, was durch im Vergleich zum gesunden Probandengut erniedrigte relative Leistungswerte, Herzfrequenzwerte an den Schwellen und eine erniedrigte Arbeitsherzfrequenz bestätigt werden konnte.

Beim Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit den verschiedenen Herzfrequenzverläufen zeigten sich keine Unterschiede in Bezug auf die anthropometrischen Daten, die Trainingsdaten, die Ruheherzfrequenz, die relativen Leistungswerte und die Blutdruckwerte mit Ausnahme des systolischen Wertes eine Minute nach der Belastung. Die Probanden mit einem linearen Herzfrequenzverlauf hatten aber eine signifikant niedrigere maximale gemessene und eine signifikant höhere maximale lineare Herzfrequenz als die anderen beiden Untergruppen. Außerdem waren ihre maximalen Laktatwerte und die Herzfrequenzwerte an den beiden anaeroben Schwellen niedriger, sowie der systolische Blutdruckwert eine Minute nach der Belastung höher, was vermuten lässt, dass die Probanden vielleicht doch nicht vollständig ausbelastet waren oder untrainierter waren als die der anderen Untergruppen. Dagegen sprach aber der signifikant höhere PWC170 Wert dieser Gruppe, so dass letztlich kein klarer Unterschied eruiert werden konnte.

Die maximale gemessene Herzfrequenz betrug in unserem Probandengut 186 +/- 16 Schläge/Minute und die maximale lineare Herzfrequenz 179,5 +/- 16,5 Schläge/Minute.

Die Zusammenhänge der beiden maximalen Herzfrequenzen und der erhobenen Parameter wurde zunächst am gesunden Probandengut überprüft.

Die Höhe der maximalen Herzfrequenz zeigte eine klare Altersabhängigkeit ( $r = -0,69$  bei  $Hf_{max}$  und  $r = -0,52$  bei  $Hf_{Lin}$ ) und eine Abhängigkeit von der Belastungsart. Die Werte der Probanden, die auf dem Laufbandergometer belastet worden waren, waren im Mittel bei den

Frauen 7 (HfMax) bzw. 8 (HfLin) Schläge/Minute und bei den Männern 5 (HfMax) bzw. 4 (HfLin) Schläge/Minute höher als die derjenigen mit einer Fahrradergometerbelastung.

Das Geschlecht, die anthropometrischen Daten, die Trainingsdaten, der Borgwert, die Dauer der Belastung, die untersuchten Blutdruckwerte und die humoralen laborchemischen Parameter hatten keinen Einfluss auf die maximale Herzfrequenz.

Für eine gewisse Abhängigkeit der maximalen Herzfrequenz von der Leistungsfähigkeit des Probanden sprach der bei beiden Ergometrieformen mittlere bis enge positive Zusammenhang mit den Schwellenherzfrequenzen und den maximalen Laktatwerten (bei der Fahrradergometrie) sowie die mittleren Zusammenhänge zwischen der Arbeitsherzfrequenz und den Leistungswerten.

Alle genannten Zusammenhänge waren bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz stärker als bei der maximalen linearen Herzfrequenz.

Da die maximale lineare Herzfrequenz außerdem keine klar definierte und vergleichbare Größe ist, kamen wir zu dem Schluss, dass die maximale gemessene Herzfrequenz eine verlässlichere Größe für die Trainingssteuerung ist.

Zusätzlich verglichen wir die Werte der beiden maximalen Herzfrequenzen zwischen verschiedenen Untergruppen.

Wir konnten zwischen den Werten von übergewichtigen ( $\text{BMI} > 25 \text{ kg/m}^2$ ) und normalgewichtigen Probanden ( $\text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$ ), denen von Probanden mit einem erhöhten systolischen ( $> 130 \text{ mmHg}$ ) bzw. diastolischen ( $> 90 \text{ mmHg}$ ) und denen mit einem normotonen systolischen ( $< 130 \text{ mmHg}$ ) bzw. diastolischen ( $< 90 \text{ mmHg}$ ) Liegeblutdruck keinen signifikanten Unterschied nachweisen. Kaderathleten hatten im Vergleich zu Nichtkaderathleten bei der Fahrradergometrie tendenziell niedrigere und bei der Laufbandergometrie höhere maximale gemessene und lineare Herzfrequenzen. Probanden mit einer manifesten kardiovaskulären Erkrankung oder kardiovaskulär wirksamen Medikation hatten bei der Fahrradergometrie signifikant niedrigere Werte als die Probanden ohne eine manifeste kardiovaskuläre Erkrankung oder eine kardiovaskuläre Medikation. Die Differenz lag im Mittel bei der maximalen gemessenen Herzfrequenz bei 10 – 14 Schlägen/Minute und bei der maximalen linearen Herzfrequenz bei 16 Schlägen/Minute.

Des Weiteren untersuchten wir, inwieweit die im Stufentest erreichte maximale gemessene und die maximale lineare Herzfrequenz mit nach Formel berechneten Werten übereinstimmten. Wir verwendeten bei der Fahrradergometrie „ $200 - \text{Lebensalter}$ “ und bei der Laufbandergometrie „ $220 - \text{Lebensalter}$ “.

Bei der Fahrradergometrie lagen die im Stufentest erreichten Werte der maximalen gemessenen und der maximalen linearen Herzfrequenz signifikant über den Werten der berechneten maximalen Herzfrequenz. Bei der Laufbandergometrie waren die Unterschiede etwas geringer als bei der Fahrradergometrie. Hier waren in den jüngeren Altersdekaden die

Werte der berechneten maximalen Herzfrequenz höher, in den mittleren gleich hoch und in den älteren niedriger als die im Stufentest erreichten maximalen Werte.

Mittels einer linearen Regression berechneten wir bei unserem Probandengut eine Formel für den Zusammenhang zwischen dem Alter und der maximalen gemessenen bzw. linearen Herzfrequenz für unser gesundes Probandengut zwischen 20 und 60 Jahren:

$$\text{Maximale gemessene Herzfrequenz} = 211 - 0,71 \times \text{Alter} \quad (R^2 = 0,35)$$

$$\text{Maximale lineare Herzfrequenz} = 199 - 0,54 \times \text{Alter} \quad (R^2 = 0,18)$$

Wir kamen aufgrund unserer Ergebnisse zu dem Schluss, dass für eine sinnvolle Trainingssteuerung im Ausdauersport die Höhe der maximalen Herzfrequenz nicht anhand einer Formel berechnet, sondern in einem Stufentest ermittelt werden sollte, damit der Sportler oder der Patient im richtigen Herzfrequenzbereich trainiert und den gewünschten Trainingseffekt erzielt.

## 8. Literaturverzeichnis

1. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults  
American College of Sports Medicine position statement on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 30:975-991., 1998.
2. Astrand, I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand.* 49(Suppl):1-82, 1960.
3. Astrand, P. O. Human physical fitness with special reference to sex and age. *Physiol Rev.* 36:307-335., 1956.
4. Astrand, P. O. and B. Saltin. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol.* 16:977-981., 1961.
5. Bainbridge, F. The Influence of venous Filling upon the Rate of the Heart. *J Physiol.* 50:65-84, 1915.
6. Ballarin, E., C. Borsetto, M. Cellini, M. Patracchini, P. Vitiello, P. G. Ziglio, and F. Conconi. Adaptation of the "Conconi test" to children and adolescents. *Int J Sports Med.* 10:334-338., 1989.
7. Ballarin, E., U. Sudhues, C. Borsetto, I. Casoni, G. Grazi, C. Guglielmini, F. Manfredini, G. Mazzoni, and F. Conconi. Reproducibility of the CONCONi-Test: Test Repeatability and observer variations. *Int J Sports Med.* 17:520-524, 1996.
8. Basset, F. A. and M. R. Boulay. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 81:214-221., 2000.
9. Blais SN, Kohl HW, Paffenbarger RS, Clark DG, Cooper KH, and G. W. Physical fitness and all-cause mortality. *JAMA.* 262:2395-2401, 1989.
10. Blomquist, C. and B. Saltin. Cardiovascular Adaptations to physical training. *Ann Rev Physiol.* 45:169-189, 1983.
11. Bodner, M. E. and E. C. Rhodes. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Med.* 30:31-46., 2000.
12. Borg, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 14:377-381., 1982.
13. Borsky, J., L. Hubacova, F. Strelka, and M. Vldar. Variabilität der Reaktion der Herzschlagfrequenz auf physische Belastung. *Med u Sport.* 18:106, 1978.
14. Boudet, G., M. Garet, M. Bedu, E. Albuissou, and A. Chamoux. Median maximal heart rate for heart rate calibration in different conditions: laboratory, field and competition. *Int J Sports Med.* 23:290-297., 2002.
15. Brooke, J. D., E. J. Hamley, and H. Thomason. Relationship of heart rate to physical work. *J Physiol.* 197:61P-63P., 1968.
16. Bruce, R., F. FD, C. MN, and G. O. Gey. Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise. *Am J Cardiol.* 34:757-763, 1974.
17. Bruce, R. A., J. R. Blackmon, J. W. Jones, and G. Strait. Exercising Testing in Adult Normal Subjects and Cardiac Patients. *Pediatrics.* 32:SUPPL 742-756., 1963.
18. Brüscke, G. *Handbuch der Inneren Erkrankungen- Herz-, Kreislauf- und Gefäßerkrankungen.* Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1985
19. Bunc, V., P. Hofmann, H. Leitner, and G. Gaisl. Verification of the heart rate threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 70:263-269., 1995.
20. Bunc, V. and H. J. Comparison of two methods of noninvasive anaerobich threshold determination in middle-aged men. *Sports Med Training Rehabil.* 3:87-94, 1992.
21. Coen, B. *Individuelle anaerobe Schwelle.* 1. ed. Köln: Sport und Buch Strauß, 1997

22. Conconi, F., C. Borsetto, C. I. G. Grazi, G. Guglielmini, F. Manfredini, G. Mazzoni, M. Patracchini, and E. Ballarin. Die Methodik des CONCONI-Tests. *Österr. J Sportsmed.* 22:35, 1992.
23. Conconi, F., M. Ferrari, P. G. Ziglio, P. Droghetti, and L. Codeca. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol.* 52:869-873., 1982.
24. Conconi, F., G. Grazi, I. Casoni, C. Guglielmini, C. Borsetto, E. Ballarin, G. Mazzoni, M. Patracchini, and F. Manfredini. The Conconi test: methodology after 12 years of application. *Int J Sports Med.* 17:509-519., 1996.
25. Cooper, K., J. Purdy, S. White, M. Pollock, and A. Linnerud. Age-fitness adjusted maximal heart rate. *Med Sport.* 10:78-88, 1977.
26. Cunningham, D., D. McCrimmon, and L. Vlach. Cardiovascular response to interval and continous training in women. *Eur J Appl Physiol.* 41:187-197, 1979.
27. Deutschland, S. B. Mikrozensus Befragung 2005.
28. DiCarlo, L. J., P. B. Sparling, M. L. Millard-Stafford, and J. C. Rupp. Peak heart rates during maximal running and swimming: implications for exercise prescription. *Int J Sports Med.* 12:309-312., 1991.
29. Ellestad, H. Chronotropic Inkompetence. The implications of the heart rate response to exercise (compensatory parasympatic hyperactivity?). *Circulation.* 93:1485-1487, 1996.
30. Ellestad, M. *Stress Testing.* 2. ed. Philadelphia: F.A.Davis, 1980
31. Engelhardt, M. and Neumann. *Sportmedizin-Grundlagen für alle Sportarten.* München, Wien, Zürich: BLV Sportwissen, 1994
32. Exner, H. *Medizinische Biometrie.* 11 ed. Stuugart, New York: Georg Thieme Verlag, 1990
33. Fletcher, G. F., G. J. Balady, E. A. Amsterdam, B. Chaitman, R. Eckel, J. Fleg, V. F. Froelicher, A. S. Leon, I. L. Pina, R. Rodney, D. A. Simons-Morton, M. A. Williams, and T. Bazzarre. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation.* 104:1694-1740., 2001.
34. Francis, K. T., P. R. McClatchey, J. R. Sumsion, and D. E. Hansen. The relationship between anaerobic threshold and heart rate linearity during cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 59:273-277., 1989.
35. Frick, H., H. Leonhardt, and S. D. *Allgemeine Anatomie-Spezielle Anatomie I.* 4. ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 1992
36. Frick, H., H. Leonhardt, and D. Starck. *Spezielle Anatomie II.* 4. ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 1992
37. Froelicher, V., F. Yanowitz, A. Thompson, and M. Lancaster. Treadmill exercise testing at the USAF School of Aerospace Medicine: physiological responses in aircrewman and the detection of latent coronary artery disease. *Advisory Group for Aerospace Research and Development.* 76:370-376, 1975.
38. Gaisl, G. and G. Wiesspeiner. [Comparison of heart rate to lactate threshold and to Conconi's threshold in children]. *Schweiz Z Sportmed.* 37:153-156., 1989.
39. Gaisl, G. and G. Wiesspeiner. A noninvasive method of determing the anaerobic threshold in children. *Int J Sports Med.* 8:41-44, 1987.
40. Graettinger, W. F., D. H. Smith, J. M. Neutel, J. Myers, V. F. Froelicher, and M. A. Weber. Relationship of left ventricular structure to maximal heart rate during exercise. *Chest.* 107:341-345., 1995.
41. Grimbey, G. and B. Saltin. Physiological analysis of physically well-trained middle-aged and old athletes. *Acta med scandinav.* 179:513, 1966.

42. Gullestad, L., C. Manhenke, T. Aarsland, R. Skardal, H. Fagertun, J. Wikstrand, and J. Kjekshus. Effect of metoprolol CR/XL on exercise tolerance in chronic heart failure - a substudy to the MERIT-HF trial. *Eur J Heart Fail.* 3:463-468., 2001.
43. Hagan, R. D., S. E. Weis, and P. B. Raven. Effect of pedal rate on cardiorespiratory responses during continuous exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 24:1088-1095., 1992.
44. Hagberg, J. M., W. K. Allen, D. R. Seals, B. F. Hurley, A. A. Ehsani, and J. O. Holloszy. A hemodynamic comparison of young and older endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol.* 58:2041-2046., 1985.
45. Hammond, H. K. and V. F. Froelicher. Normal and abnormal heart rate responses to exercise. *Prog Cardiovasc Dis.* 27:271-296., 1985.
46. Hammond, H. K., T. L. Kelly, and V. Froelicher. Radionuclide imaging correlates of heart rate impairment during maximal exercise testing. *J Am Coll Cardiol.* 2:826-833., 1983.
47. Hanson, J., B. Tabakin, and A. Levy. Long-term physical training and cardiovascular dynamics in middle-aged men. *Circulation.* XXXVIII:783-799, 1968.
48. Heck, H., K. Beckers, E. Lammerschmidt, E. Pruin, G. Hess, and W. Hollmann. Bestimmbarkeit, Objektivität und Validität der Conconi-Schwelle auf dem Fahrradergometer. *Dtsch Z Sportmed.* 40:388-402, 1989.
49. Heck, H. and W. Hollmann. Bestimmbarkeit, Objektivität und Validität der CONCONI-Schwelle auf dem Fahrradergometer. *Österr. J Sportsmed.* 22:45, 1992.
50. Hofmann, P., V. Bunc, H. Leitner, R. Pokan, and G. Gaisl. Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 69:132-139., 1994.
51. Hofmann, P., M. Maprecht, G. Schwabberger, R. Pokan, and S. P. von Duvillard. Einfluss unterschiedlicher Diätformen auf die Laktatleistungskurve im Stufentest und das Laktatverhalten bei Dauerbelastung auf dem Fahrradergometer-eine Einzelfallstudie. *Dtsch Z Sportmed.* 3:82-87, 1998.
52. Hofmann, P., R. Pokan, K. Preidler, H. Leitner, D. Szolar, B. Eber, and G. Schwabberger. Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function. *Int J Sports Med.* 15:232-237., 1994.
53. Hofmann, P., R. Pokan, S. P. von Duvillard, and P. Schmid. The Conconi test. *Int J Sports Med.* 18:397-399., 1997.
54. Hofmann, P., R. Pokan, S. P. von Duvillard, F. J. Seibert, R. Zweiker, and P. Schmid. Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects. *Med Sci Sports Exerc.* 29:762-768., 1997.
55. Hofmann, P., S. P. Von Duvillard, F. J. Seibert, R. Pokan, M. Wonisch, L. M. Lemura, and G. Schwabberger. %HRmax target heart rate is dependent on heart rate performance curve deflection. *Med Sci Sports Exerc.* 33:1726-1731., 2001.
56. Hollmann, W. *Der Arbeits- und Trainingseinfluss auf Kreislauf und Atmung-Eine klinische und physiologische Betrachtung.* Darmstadt: Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, 1959
57. Hollmann, W. *Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers.* München: Johann Ambrosius Barth, 1963
58. Hollmann, W. *Zentrale Themen der Sportmedizin.* Berlin-Heidelberg-New York: Springer Verlag, 1972
59. Hollmann, W. and T. Hettinger. *Sportmedizin-Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin.* 4. ed. Stuttgart, New York: Schattauer, 2000
60. Hossack, K. F. and R. A. Bruce. Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: comparison of age-related changes. *J Appl Physiol.* 53:799-804., 1982.
61. Israel, S. *Sport und Herzschlagfrequenz.* Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1982

62. Jackson, A. and M. Pollock. Factor analysis and multivariate scaling of anthropometric variables for assessment of body composition. *Med Sci Sports*. 8:196-203, 1976.
63. Jakob, E., G. Berlis, M. Huber, and K. Glittenberg. *Bestimmung der anaeroben Schwelle mittels CONCONI-Tests in Labor- und Felduntersuchungen*. In: Rieckert, H. (Hrsg.): *Sportmedizin-Kursbestimmung*. Berlin: Springer, 1987
64. Jeschke, D., H.-C. Heitkamp, R. Locher, and D. Schneider. Effects of different work duration in gradual bicycle and treadmill ergometer tests on aerobic/anaerobic capacity and anaerobic threshold determinations. in: Bachl, N., Prokop, L., Suckert, R.: *Proceedings of the world congress of sports medicine, Vienna 1982*. Urban & Schwarzenberg, 1984.
65. Jones, A. M. and J. H. Doust. Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point. *Int J Sports Med*. 16:541-544., 1995.
66. Jose, A. D. and D. Collison. The normal range and determinants of the intrinsic heart rate in man. *Cardiovasc Res*. 4:160-167., 1970.
67. Kara, M., H. Gokbel, C. Bediz, N. Ergene, K. Ucok, and H. Uysal. Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. *J Sports Med Phys Fitness*. 36:31-34., 1996.
68. Karow, T. and R. Lang. *Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie*. Bergisch-Gladbach: Druckerei F. Hanson, 2001
69. Katch, V., A. Weltman, S. Sady, and P. Freedson. Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 39:219-227., 1978.
70. Kindermann, W. Ergometrie-Empfehlungen für die ärztliche Praxis. *Dtsch Z Sportmed*. 38:244-268, 1987.
71. Kindermann, W., G. Simon, and J. Keul. The significance of the aerobic-anaerobic determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol*. 42:25-34, 1979.
72. Klinke, R. and S. Silbernagl. *Lehrbuch der Physiologie*. 2. ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 1996
73. Kostis, J. B., A. E. Moreyra, M. T. Amendo, J. Di Pietro, N. Cosgrove, and P. T. Kuo. The effect of age on heart rate in subjects free of heart disease. Studies by ambulatory electrocardiography and maximal exercise stress test. *Circulation*. 65:141-145., 1982.
74. Kuipers, H., H. A. Keizer, T. de Vries, P. van Rijnthoven, and M. Wijts. Comparison of heart rate as a non-invasive determinant of anaerobic threshold with the lactate threshold when cycling. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 58:303-306., 1988.
75. La Rovere, M. T., G. D. Pinna, S. H. Hohnloser, F. I. Marcus, A. Mortara, R. Nohara, J. T. Bigger, Jr., A. J. Camm, and P. J. Schwartz. Baroreflex sensitivity and heart rate variability in the identification of patients at risk for life-threatening arrhythmias: implications for clinical trials. *Circulation*. 103:2072-2077., 2001.
76. Lagerstrom, D. and J. Graf. *Die richtige Trainingspulsfrequenz beim Ausdauersport*. In: *Herz Sport Gesundheit*, 1986, 21-24.
77. Lauer, M. S., G. S. Francis, P. M. Okin, F. J. Pashkow, C. E. Snader, and T. H. Marwick. Impaired chronotropic response to exercise stress testing as a predictor of mortality. *Jama*. 281:524-529., 1999.
78. Lester, M., L. T. Sheffield, P. Trammell, and T. J. Reeves. The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise. *Am Heart J*. 76:370-376., 1968.
79. Löllgen, H. and R. Gerke. Bradykardie im Sport. *Dtsch Z Sportmed*. 5, 2001.
80. Londree, B. R. and M. M.L. Influence of Age and Other Factors on Maximal Heart Rate. *J Cardiac Rehabil*. 4:44-49, 1984.

81. Mader, A., H. Liesen, H. Heck, H. Philippi, R. Rost, P. Schürch, and W. Hollmann. Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt u. Sportmed.* 27:80-88, 109-112, 1976.
82. Marees De, H. *Sportphysiologie.* 9. ed. Köln: Sport & Buch Strauß, 2002
83. Meyer, T., H. H. Gabriel, and W. Kindermann. Is determination of exercise intensities as percentages of VO<sub>2</sub>max or HRmax adequate? *Med Sci Sports Exerc.* 31:1342-1345., 1999.
84. Mitchell, J. How to recognize "Athlete`s Heart". *The Physican and Sportsmedicine.* 20:87-93, 1992.
85. Neumann, G., A. Pfützner, and A. Berbalk. *Optimiertes Ausdauertraining.* Aachen, 1998
86. Neumann, G., A. Pfützner, and K. Hottenrott. *Alles unter Kontrolle.* Aachen, 1993
87. Neumann, G. and K. Schüler. *Sportmedizinische Funktionsdiagnostik:* VEB Johann Ambrosius Barth Leipzig, 1989
88. Nikolaizik, W. H., B. Knopfli, E. Leister, P. de Boer, B. Sievers, and M. H. Schoni. The anaerobic threshold in cystic fibrosis: comparison of V-slope method, lactate turn points, and Conconi test. *Pediatr Pulmonol.* 25:147-153., 1998.
89. Pendergast, D., P. Cerretelli, and D. W. Rennie. Aerobic and glycolytic metabolism in arm exercise. *J Appl Physiol.* 47:754-760., 1979.
90. Pokan, R., H. Förster, P. Hofmann, H. Hörtnagl, E. Ledl-Kurkowski, and M. Wonisch. *Kompendium der Sportmedizin. Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie:* SpringerWienNewYork, 2004, 380.
91. Pokan, R., P. Hofmann, S. P. von Duvillard, F. Beaufort, G. Smekal, R. Gasser, W. Klein, B. Eber, N. Bachl, and P. Schmid. The heart rate performance curve and left ventricular function during exercise in patients after myocardial infarction. *Med Sci Sports Exerc.* 30:1475-1480., 1998.
92. Pokan, R., P. Hofmann, S. P. von Duvillard, G. Smekal, R. Hogler, H. Tschan, R. Baron, P. Schmid, and N. Bachl. The heart rate turn point reliability and methodological aspects. *Med Sci Sports Exerc.* 31:903-907., 1999.
93. Ribeiro, J. P., R. A. Fielding, V. Hughes, A. Black, M. A. Bochese, and H. G. Knuttgen. Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. *Int J Sports Med.* 6:220-224., 1985.
94. Robinson, S. Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie.* 10, 1938.
95. Rost, R. *Herz und Sport-Eine Standortbestimmung der modernen Sportkardiologie.* Erlangen: perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft mbH, 1984
96. Rost, R. *Lehrbuch der Sportmedizin.* Köln: Deutscher Ärzte Verlag, 2001
97. Rost, R. and D. W. Behrenbeck. *Kardiologie im Sport.* Köln: Deutscher Ärzteverlag, 1987
98. Rost, R. and W. Hollmann. *Belastungsuntersuchungen in der Praxis.* Stuttgart-New York, 1982
99. Sandvik, L., J. Erikssen, M. Ellestad, G. Erikssen, E. Thaulow, R. Mundal, and K. Rodahl. Heart rate increase and maximal heart rate during exercise as predictors of cardiovascular mortality: a 16-year follow-up study of 1960 healthy men. *Coron Artery Dis.* 6:667-679., 1995.
100. Sheffield, L. T., J. A. Maloof, J. A. Sawyer, and D. Roitman. Maximal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. *Circulation.* 57:79-84., 1978.
101. Sidney, K. H. and R. J. Shephard. Frequency and intensity of exercise training for elderly subjects. *Med Sci Sports.* 10:125-131., 1978.
102. Silbernagl, S. and A. Despopoulos. *Taschatlas der Pyhsiologie.* 4. ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 1991



103. Simon, G., A. Berg, H. Dickhuth, A. Simon, and J. Keul. Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit vom Alter und von der Leistungsfähigkeit. *Dtsch Z Sportmed.* 32:7-14, 1981.
104. Spanaus, W. *Herzfrequenzkontrolle im Ausdauersport.* Aachen: Meyer & Meyer Verlag, 2002
105. Spanaus, W. Sinn und Unsinn um die Maximalpuls-Ermittlung. *Spiridon Laufmagazin.* 11, 2001.
106. Tanaka, H., K. D. Monahan, and D. R. Seals. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol.* 37:153-156., 2001.
107. Tokmakidis, S. and L. Leger. External validity of the conconis` heart rate anaerobic as compared to the lactate threshold. *Exerc Physiol.* 3:43-58, 1988.
108. Urhausen, A., H. H. Gabriel, B. Weiler, and W. Kindermann. Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *Int J Sports Med.* 19:114-120., 1998.
109. Urhausen, H., B. Coen, and W. Kindermann. Kritische Anmerkungen zum CONCONI-Test in der Trainingssteuerung bei Leistungssportlern. *Leichtathletik.* 29, 1988.
110. Vachon, J. A., D. R. Bassett, Jr., and S. Clarke. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. *J Appl Physiol.* 87:452-459., 1999.
111. Wassermann, K., B. Whipp, S. Koyal, and W. Beaver. Anaerobic threshold and respiratory exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 35:157-175, 1973.
112. Weineck, J. *Optimales Training-Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings.* 8. ed. Balingen: PERIMED-spitta, Medizinische verlagsgesellschaft mbH, 1994
113. Weineck, J. *Sportbiologie-Beiträge zur Sportmedizin.* 3. ed. Erlangen: PERIMED-spitta, Medizinische verlagsgesellschaft mbH, 1990
114. Wenger, H. A. and G. J. Bell. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med.* 3:346-356., 1986.
115. Whaley, M. H., L. A. Kaminsky, G. B. Dwyer, L. H. Getchell, and J. A. Norton. Predictors of over- and underachievement of age-predicted maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc.* 24:1173-1179., 1992.
116. Wilmore, J. H., P. R. Stanforth, J. Gagnon, T. Rice, S. Mandel, A. S. Leon, D. C. Rao, J. S. Skinner, and C. Bouchard. Heart rate and blood pressure changes with endurance training: the HERITAGE Family Study. *Med Sci Sports Exerc.* 33:107-116., 2001.
117. Wüstendorfer, W. *Einführung in die Statistik.* 2. ed. Nürnberg: emwe-Verlag, 2003
118. Zacharogiannis, E. and M. Farrally. Ventilatory threshold, heart rate deflection point and middle distance running performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 33:337-347., 1993.
119. Zerzawy, R. Hämodynamische Reaktionen unter verschiedenen Belastungsformen. In: *Kardiologie im Sport* Köln: Deutscher Ärzteverlag, 1987.

## 9. Tabellenanhang

Tabelle 9.1: Anthropometrische Mittelwerte der Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	167,3	58,1	18,6	20,7
<b>Standardab</b>	6,6	8,6	4,8	2,4
<b>Minimum</b>	153,0	33,0	8,0	14,2
<b>Maximum</b>	187,0	78,0	29,0	26,5
<b>gesamt</b>	76	76	73	76

Tabelle 9.2: Anthropometrische Mittelwerte der Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	168,4	63,0	19,8	22,2
<b>Standardab</b>	5,8	7,1	4,9	2,1
<b>Minimum</b>	156,0	48,0	10,0	18,3
<b>Maximum</b>	183,0	91,0	35,0	29,8
<b>gesamt</b>	74	74	72	74

Tabelle 9.3: Anthropometrische Mittelwerte der Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	169,3	62,0	19,0	21,6
<b>Standardab</b>	7,8	10,7	4,4	2,9
<b>Minimum</b>	156,0	47,0	10,0	16,9
<b>Maximum</b>	189,0	118,0	29,0	39,4
<b>gesamt</b>	75	75	73	75

Tabelle 9.4: Anthropometrische Mittelwerte der Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	165,7	63,0	24,1	23
<b>Standardab</b>	5,3	9,7	5,9	3,5
<b>Minimum</b>	152,0	48,5	12,0	16,9
<b>Maximum</b>	183,0	100,5	35,0	34,2
<b>gesamt</b>	76	76	69	76

Tabelle 9.5: Anthropometrische Mittelwerte der Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	165,9	63,9	25,3	23,3
<b>Standardab</b>	5,5	9,5	5,8	3,5
<b>Minimum</b>	154,0	47,0	16,0	18,4
<b>Maximum</b>	189,0	103,4	36,0	38,2
<b>gesamt</b>	74	74	73	74

Tabelle 9.6: Anthropometrische Mittelwerte der Frauen über 60 Jahre

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	163,3	68,7	28,3	25,8
<b>Standardab</b>	5,5	9,4	5,7	3,6
<b>Minimum</b>	151,0	47,5	4,0	18,3
<b>Maximum</b>	174,0	90,0	37,0	34,1
<b>gesamt</b>	59	59	52	59

Tabelle 9.7: Anthropometrische Mittelwerte der Männer im Altersbereich von 11-20 Jahren

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	178,5	72,0	10,3	23,5
<b>Standardab</b>	7,3	14,8	5,5	3,6
<b>Minimum</b>	158,0	45,5	4,0	16,8
<b>Maximum</b>	193,0	114,0	30,0	33,3
<b>gesamt</b>	77	77	77	77

Tabelle 9.8: Anthropometrische Mittelwerte der Männer im Altersbereich von 21-30 Jahren

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	180,5	77,6	11	23,8
<b>Standardab</b>	5,8	9,9	4,7	2,7
<b>Minimum</b>	170,0	62,5	4,0	19,5
<b>Maximum</b>	196,0	112,0	24,0	33,4
<b>gesamt</b>	76	76	66	76

Tabelle 9.9: Anthropometrische Mittelwerte der Männer im Altersbereich von 31-40 Jahren

	<b>Größe</b> (cm)	<b>Gewicht</b> (kg)	<b>Fettanteil</b> (%)	<b>BMI</b> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	181,5	81,6	14,4	24,7
<b>Standardab</b>	6,8	11,4	5,5	3,0
<b>Minimum</b>	167,0	58,7	6,0	19,1
<b>Maximum</b>	195,0	116,5	27,0	33,7
<b>gesamt</b>	77	77	72	77

Tabelle 9.10: Anthropometrische Mittelwerte der Männer im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Fettanteil (%)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	178,3	78,4	16,9	24,6
<b>Standardab</b>	5,3	9,6	5,0	2,5
<b>Minimum</b>	170,0	59,5	7,0	19,7
<b>Maximum</b>	192,0	106,5	28,0	32,3
<b>gesamt</b>	75	75	72	75

Tabelle 9.11: Anthropometrische Mittelwerte der Männer im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Fettanteil (%)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	177,3	79,2	19,6	25,2
<b>Standardab</b>	6,8	10,5	5,1	2,5
<b>Minimum</b>	161,0	57,0	8,0	20,3
<b>Maximum</b>	194,0	169,0	35,0	33,0
<b>gesamt</b>	75	75	73	75

Tabelle 9.12: Anthropometrische Mittelwerte der Männer über 60 Jahre

	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Fettanteil (%)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Mittelwert</b>	173,7	79,3	21,3	26,5
<b>Standardab</b>	6,3	9,3	4,7	3,2
<b>Minimum</b>	162,0	63,0	10,0	21,0
<b>Maximum</b>	192,0	105,0	30,0	36,6
<b>gesamt</b>	75	75	72	75

Tabelle 9.13: Watt/km/h-Wert am Beginn der Ergometrie bei den Frauen

Alter	Lauf (km/h)							Rad (Watt)					
	4	6	7	8	9	10	12	25	50	70	80	100	130
<b>11-20</b>	-	33	-	9	-	-	-	5	29	-	-	-	-
<b>21-30</b>	-	35	-	8	-	-	-	2	28	-	1	1	-
<b>31-40</b>	1	17	-	3	-	-	-	7	43	-	3	-	-
<b>41-50</b>	-	22	-	5	-	-	-	12	35	1	-	-	1
<b>51-60</b>	-	12	-	1	1	-	-	29	31	-	-	-	-
<b>&gt; 60</b>	1	2	-	-	-	-	-	48	8	-	-	-	-
<b>gesamt</b>	2	121	-	26	1	-	-	103	174	1	4	1	1

Tabelle 9.14: Watt/km/h-Wert am Beginn der Ergometrie bei den Männern

Alter	Lauf (km/h)							Rad (Watt)					
	4	6	7	8	9	10	12	25	50	70	80	100	130
11-20	-	12	-	20	1	-	-	-	34	-	2	7	1
21-30	-	4	-	40	-	1	1	-	24	1	-	5	-
31-40	-	9	-	25	-	-	1	-	34	-	3	4	1
41-50	-	12	2	16	-	-	-	1	39	-	3	1	1
51-60	-	9	2	4	-	-	-	9	49	-	-	2	-
60 <	-	5	2	-	-	-	-	25	42	1	-	-	-
gesamt	-	51	6	105	1	1	2	35	222	2	8	19	3

Tabelle 9.15: Steigerung pro Stufe während der Ergometrie der Frauen

Alter	Lauf (km/h)			Rad (Watt)				
	1	2	3	20	25	30	40	50
11-20	-	42	-	-	20	-	-	14
21-30	2	40	1	1	15	1	-	15
31-40	1	20	-	3	27	3	-	21
41-50	1	27	-	-	43	1	-	4
51-60	2	12	-	-	54	1	-	5
> 60	1	2	-	-	56	-	-	-
gesamt	7	143	1	4	215	6	-	59

Tabelle 9.16: Steigerung pro Stufe während der Ergometrie der Männer

Alter	Lauf (km/h)			Rad (Watt)				
	1	2	3	20	25	30	40	50
11-20	1	32	-	8	1	2	1	32
21-30	3	43	-	5	3	1	-	21
31-40	2	33	-	5	2	5	1	29
41-50	3	27	-	3	10	6	-	26
51-60	2	13	-	2	33	3	-	22
> 60	-	7	-	-	53	1	-	14
gesamt	11	155	-	23	102	18	2	144

Tabelle 9.17: Stufendauer der Belastung (min) bei den Frauen

min/ Alter	2	3	4	5	6
11-20	1	71	2	2	-
21-30	-	69	3	2	1
31-40	-	75	-	-	-
41-50	-	75	-	1	-
51-60	-	74	-	-	-
> 60	2	57	-	-	-
gesamt	3	421	5	5	1

Tabelle 9.18: Stufendauer der Belastung (min) bei den Männern

min/ Alter	2	3	4	5	6
11-20	-	75	2	-	-
21-30	-	75	-	1	-
31-40	-	73	2	-	2
41-50	-	74	-	1	-
51-60	-	75	-	-	-
> 60	-	74	-	-	-
gesamt	-	446	4	3	2

Tabelle 9.19: Gesamtdauer der Belastung (min) bei beiden Geschlechtern

Alter	Frauen					Männer				
	Mittel Wert	Stand-ardab	Mini-mum	Maxi-mum	An-zahl	Mittel wert	Stand-ardab	Mini-mum	Maxi-mum	An-zahl
11-20	15	2,8	10	25	n = 76	20	8,4	10	48	n = 77
21-30	16	5,3	9	37	n = 75	20	8,1	10	54	n = 76
31-40	16	4,6	9	30	n = 75	20	6,9	10	45	n = 77
41-50	15	4,1	9	35	n = 76	18	5,4	10	39	n = 75
51-60	14	2,7	9	21	n = 74	18	4,9	10	36	n = 75
> 60	13	2,9	8	21	n = 59	17	4,5	9	40	n = 75
gesamt	15	4,0	8	37	n = 435	19	6,7	9	54	n = 455

Tabelle 9.20: Grund zum Abbruch der Ergometrie bei den Frauen

Alter	Periphere Ermüd.	Dyspnoe	Kreislauf-probleme	muskul. Schmerz	peri.Erm. + Dysp.
11-20	48	16	8	1	2
21-30	37	18	8	2	8
31-40	40	23	6	-	5
41-50	36	22	8	-	10
51-60	28	28	11	1	6
> 60	28	19	5	-	8
gesamt	216	126	46	4	39

Tabelle 9.21: Grund zum Abbruch der Ergometrie bei den Männern

Alter	Periphere Ermüd.	Dyspnoe	Kreislauf-probleme	muskul. Schmerz	peri.Erm. + Dysp.
11-20	46	19	6	3	2
21-30	43	18	3	4	6
31-40	42	21	3	1	10
41-50	38	23	4	1	9
51-60	44	18	7	1	5
> 60	37	20	8	-	10
gesamt	250	119	31	10	42

Tabelle 9.22: Ruhedaten der Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	122,0	77,9	117,8	79,1	65,2
<b>Standardab</b>	11,3	7,5	10,9	7,5	13,6
<b>Minimum</b>	90	60	90	60	41
<b>Maximum</b>	160	95	140	95	110
<b>gesamt</b>	76	76	76	76	76

Tabelle 9.23: Ruhedaten der Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	121,8	78,7	119,7	79,1	64,4
<b>Standardab</b>	11,1	7,9	10,6	9,1	14,1
<b>Minimum</b>	90	60	100	50	39
<b>Maximum</b>	140	95	150	100	103
<b>gesamt</b>	75	75	75	75	75

Tabelle 9.24: Ruhedaten der Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	122,9	79,3	120,3	80,5	61,6
<b>Standardab</b>	14,7	9,0	12,3	9,1	12,2
<b>Minimum</b>	95	60	90	50	40
<b>Maximum</b>	180	110	160	105	102
<b>gesamt</b>	75	75	75	75	75

Tabelle 9.25: Ruhedaten der Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	128,4	80,1	126,1	82,8	63,6
<b>Standardab</b>	17,6	10,3	14,6	9,7	12,4
<b>Minimum</b>	90	60	105	60	38
<b>Maximum</b>	185	115	170	110	98
<b>gesamt</b>	76	76	75	75	76

Tabelle 9.26: Ruhedaten der Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	141,4	82,6	133,0	84,3	62,4
<b>Standardab</b>	23,2	11,4	16,9	8,5	9,3
<b>Minimum</b>	105	60	100	70	34
<b>Maximum</b>	210	110	185	105	90
<b>gesamt</b>	74	74	74	74	74

Tabelle 9.27: Ruhedaten der Frauen über 60 Jahre

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	149,4	83,6	141,1	83,7	63,6
<b>Standardab</b>	21,0	10,6	17,1	9,2	11,0
<b>Minimum</b>	115	65	105	60	46
<b>Maximum</b>	210	105	180	110	95
<b>gesamt</b>	59	59	59	59	59

Tabelle 9.28: Ruhedaten der Männer im Altersbereich von 11-20 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	130,4	81,9	131,5	82,7	63,0
<b>Standardab</b>	17,0	9,8	14,2	8,9	12,4
<b>Minimum</b>	110	60	100	70	42
<b>Maximum</b>	190	120	170	110	101
<b>gesamt</b>	77	77	75	75	77

Tabelle 9.29: Ruhedaten der Männer im Altersbereich von 21-30 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	135,8	83,6	133,8	84,7	59,2
<b>Standardab</b>	15,1	10,5	14,0	10,0	12,2
<b>Minimum</b>	100	65	100	60	41
<b>Maximum</b>	200	110	165	110	105
<b>gesamt</b>	76	76	76	76	75

Tabelle 9.30: Ruhedaten der Männer im Altersbereich von 31-40 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	134,3	85,5	134,7	90,4	57,8
<b>Standardab</b>	15,5	9,7	14,5	10,4	9,0
<b>Minimum</b>	110	70	110	70	41
<b>Maximum</b>	190	110	190	125	80
<b>gesamt</b>	77	77	77	77	77

Tabelle 9.31: Ruhedaten der Männer im Altersbereich von 41-50 Jahren

	<b>RSLiege</b> (mmHg)	<b>RDLiege</b> (mmHg)	<b>RSSitz</b> (mmHg)	<b>RDSitz</b> (mmHg)	<b>HfRu</b> (Schl/min)
<b>Mittelwert</b>	138,2	86,1	135,9	89,7	58,5
<b>Standardab</b>	18,6	10,9	18,3	11,3	12,0
<b>Minimum</b>	105	65	100	60	39
<b>Maximum</b>	210	115	210	140	110
<b>gesamt</b>	75	75	75	75	74



Tabelle 9.32: Ruhedaten der Männer im Altersbereich von 51-60 Jahren

	RSLiege (mmHg)	RDLiege (mmHg)	RSSitz (mmHg)	RDSitz (mmHg)	HfRu (Schl/min)
Mittelwert	143,9	87,8	141,3	90,8	57,7
Standardab	22,0	11,3	18,5	10,5	9,5
Minimum	105	60	110	70	40
Maximum	200	110	190	120	90
gesamt	75	75	75	75	75

Tabelle 9.33: Ruhedaten der Männer über 60 Jahre

	RSLiege (mmHg)	RDLiege (mmHg)	RSSitz (mmHg)	RDSitz (mmHg)	HfRu (Schl/min)
Mittelwert	149,4	84,3	143,3	85,3	59,9
Standardab	21,5	10,4	20,6	9,5	11,2
Minimum	105	60	100	60	42
Maximum	215	110	195	110	100
gesamt	75	75	75	75	75

Tabelle 9.34: BSG (mm/Std) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	7,14	5,77	1	36	74
21-30	7,36	4,54	1	31	74
31-40	7,26	5,41	1	33	73
41-50	7,79	7,09	1	52	71
51-60	7,50	6,62	1	37	68
> 60	10,22	7,10	2	38	55

Tabelle 9.35: BSG (mm/Std) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	3,39	2,40	1	12	77
21-30	3,36	2,69	1	19	74
31-40	3,91	3,91	1	26	75
41-50	4,61	3,61	1	21	72
51-60	5,37	3,92	1	17	73
> 60	7,04	5,54	1	23	71

Tabelle 9.36: Erythrozytenzahl (\* 10<sup>6</sup>µl) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	4,43	0,29	3,63	5,11	72
21-30	4,44	0,30	3,61	5,25	73
31-40	4,39	0,32	3,72	5,30	70
41-50	4,35	0,30	3,40	4,97	70
51-60	4,38	0,31	3,77	5,13	69
> 60	4,40	0,34	3,66	5,22	55

Tabelle 9.37: Erythrozytenzahl (\* 10<sup>6</sup>µl) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	5,03	0,35	4,13	5,76	77
21-30	4,94	0,36	3,77	5,76	74
31-40	4,97	0,30	4,14	5,68	72
41-50	4,79	0,33	4,06	5,56	73
51-60	4,64	0,32	3,87	5,30	71
> 60	4,64	0,32	3,87	5,30	71

Tabelle 9.38: Hämoglobin (g/dl) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	13,25	0,88	11	15	72
21-30	13,52	0,95	11	16	71
31-40	13,44	0,97	11	16	70
41-50	13,52	1,07	9	15	70
51-60	13,40	1,02	10	16	69
> 60	13,50	0,93	11	16	55

Tabelle 9.39: Hämoglobin (g/dl) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	15,12	1,02	12	18	77
21-30	15,00	0,97	13	17	74
31-40	15,24	0,79	13	17	74
41-50	14,82	0,94	13	18	72
51-60	14,80	0,88	13	17	73
> 60	14,58	1,03	12	17	71

Tabelle 9.40: Hämatokrit (%) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	38,52	2,42	32	45	72
21-30	39,41	2,69	32	49	73
31-40	39,30	2,89	33	46	70
41-50	39,66	2,79	30	45	70
51-60	39,63	2,69	30	45	69
> 60	39,93	2,73	34	48	55

Tabelle 9.41: Hämatokrit (%) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	43,19	3,01	35	49	77
21-30	43,03	2,63	37	49	74
31-40	43,73	2,32	38	50	74
41-50	42,94	2,71	37	49	72
51-60	43,14	2,85	35	52	73
> 60	42,00	3,28	31	48	71

Tabelle 9.42: Cholesterinwerte (mg/dl) der Frauen

	Mittelwerte	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	186,5	37,79	101	276	74
21-30	202,8	43,93	98	306	68
31-40	201,8	34,13	121	284	72
41-50	217,4	33,46	134	282	69
51-60	236,2	40,15	159	350	66
> 60	235,4	37,95	164	344	55

Tabelle 9.43: Cholesterinwerte (mg/dl) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	165,4	30,68	91	237	75
21-30	181,0	33,39	105	299	71
31-40	205,9	36,04	120	296	72
41-50	223,1	33,79	158	321	70
51-60	238,4	38,44	135	319	72
> 60	227,4	53,25	137	478	70

Tabelle 9.44: Triglyzeride (mg/dl) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	106,2	42,32	40	196	25
21-30	117,2	56,13	52	327	32
31-40	87,3	31,07	36	159	51
41-50	101,7	64,44	37	358	67
51-60	112,7	59,50	43	371	66
> 60	126,4	69,92	38	424	55

Tabelle 9.45: Triglyzeride (mg/dl) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	129,4	53,13	44	231	15
21-30	107,5	48,64	50	219	19
31-40	138,9	87,22	47	497	56
41-50	138,6	81,20	49	460	64
51-60	146,1	114,3	43	803	70
> 60	154,2	84,35	55	455	67

Tabelle 9.46: Blutglukose (mg/dl) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	92,69	12,02	57	147	72
21-30	92,37	18,30	61	198	70
31-40	93,60	12,01	67	120	70
41-50	97,44	15,37	73	194	70
51-60	99,15	18,14	68	216	66
> 60	105,2	29,25	68	267	54

Tabelle 9.47: Blutglukose (mg/dl) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	97,32	15,38	46	140	76
21-30	92,07	13,97	61	146	71
31-40	97,99	13,21	62	154	73
41-50	101,1	11,61	71	127	71
51-60	104,0	12,16	79	145	73
> 60	103,2	15,49	67	167	69

Tabelle 9.48: Harnsäure(mg/dl) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	4,05	0,85	1,49	5,77	73
21-30	4,02	0,96	2,09	6,20	72
31-40	3,85	0,85	0,99	6,26	72
41-50	4,12	1,41	1,32	12,30	70
51-60	4,09	0,88	1,88	6,35	68
> 60	4,84	1,31	2,70	8,93	54

Tabelle 9.49: Harnsäure (mg/dl) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	5,27	1,26	2,78	9,00	76
21-30	5,05	1,51	2,63	12,70	73
31-40	5,25	1,23	2,54	7,89	74
41-50	5,16	1,09	1,04	7,84	71
51-60	5,59	1,25	2,57	9,84	73
> 60	5,55	1,10	2,74	7,82	70

Tabelle 9.50: CK (U/l) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	57,55	27,06	23	157	74
21-30	60,26	77,15	14	639	72
31-40	43,89	24,51	13	140	72
41-50	45,33	36,68	16	256	69
51-60	42,72	20,93	17	117	65
> 60	44,19	29,44	15	209	54

Tabelle 9.51: CK (U/l) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	96,88	77,54	27	419	76
21-30	95,31	92,33	20	546	71
31-40	78,30	87,45	9	682	75
41-50	69,27	74,53	20	645	71
51-60	65,32	50,52	14	273	73
> 60	52,32	29,81	20	208	69

Tabelle 9.52: y-GT (U/l) der Frauen

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	7,89	3,39	2,0	18,7	74
21-30	8,62	5,18	1,1	40,5	70
31-40	9,27	4,34	3,0	27,2	72
41-50	10,88	7,47	2,1	40,5	70
51-60	12,31	6,37	2,9	39,7	65
> 60	13,78	8,27	4,6	41,6	54

Tabelle 9.53: y-GT (U/l) der Männer

	Mittelwert	Standardab	Minimum	Maximum	gesamt
11-20	10,49	5,71	1,9	38,8	75
21-30	10,14	3,72	1,0	24,0	68
31-40	13,74	8,06	5,4	47,4	74
41-50	17,41	11,04	1,2	61,0	71
51-60	19,89	12,41	6,0	56,0	73
> 60	20,55	15,95	4,6	96,1	69

Tabelle 9.54: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	187,6	89,48	75,69	134,1	109,2	14,31	8,50	8,46	11,56	11,22
Standardabw.	44,27	38,10	27,53	40,74	41,89	1,41	2,10	1,31	1,63	1,22
Minimum	114,0	38,0	33,0	68,0	51,1	11,3	6,0	6,0	7,9	8,2
Maximum	288,0	182,0	145,0	233,0	201,0	18,0	12,0	11,6	14,5	14,0
gesamt	34	34	34	34	34	42	42	42	42	42

Tabelle 9.55: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	202,4	103,2	85,39	146,8	120,8	13,64	8,40	8,48	11,00	10,56
Standardabw.	51,48	47,81	30,56	45,77	45,42	1,55	2,20	1,18	1,92	1,47
Minimum	100,0	27	50,0	78,0	52,0	10,0	6,0	6,0	6,0	6,7
Maximum	300,0	207	171,0	243,0	213,0	18,0	15,0	11,2	16,0	14,5
gesamt	32	31	32	32	32	43	43	43	43	43

Tabelle 9.56: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	195,3	107,2	84,35	149,8	128,6	13,00	8,28	8,18	10,98	10,62
Standardabw.	55,61	49,55	33,62	49,36	42,49	1,73	2,74	1,52	1,91	1,70
Minimum	79,0	25,0	25,0	56,0	58,0	9,3	4,0	4,1	6,0	6,1
Maximum	300,0	232,0	158,0	270,0	236,0	15,3	14,0	10,6	14,0	13,7
gesamt	54	50	54	54	54	21	21	21	21	21

Tabelle 9.57: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	153,1	80,81	67,01	120,8	97,56	13,15	8,99	8,45	11,10	10,50
Standardabw.	45,11	36,31	25,63	38,19	36,82	1,97	2,69	1,55	2,46	2,00
Minimum	83,0	25,0	25,0	60,0	31,0	8,2	6,0	5,4	6,0	6,4
Maximum	267,0	185,0	129,0	216,0	192,0	16,7	14,0	10,7	15,0	13,9
gesamt	48	44	48	48	48	28	28	28	28	28

Tabelle 9.58: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	134,9	70,70	57,06	105,6	81,91	12,13	7,86	8,09	10,19	9,64
Standardabw.	30,28	27,92	20,21	26,49	24,74	1,23	2,16	1,25	2,20	1,81
Minimum	79,0	25,0	25,0	49,0	25,0	9,3	6,0	6,0	6,4	6,2
Maximum	213,0	128,0	122,1	166,0	138,0	14,0	12,0	9,8	13,7	12,5
gesamt	60	53	60	60	60	14	14	14	14	14

Tabelle 9.59: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Frauen über 60 Jahre

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	112,2	57,21	51,12	90,32	66,05	10,57	7,69	6,90	9,23	7,92
Standardabw.	27,07	23,46	16,40	24,25	22,86	1,25	1,81	1,75	1,67	1,98
Minimum	63,0	25,0	25,0	35,0	28,0	9,7	7,0	5,2	7,9	6,0
Maximum	178,0	138,0	85,0	165,0	129,0	12,0	10,0	7,87	11,1	10,0
gesamt	56	53	54	53	54	3	3	3	3	3

Tabelle 9.60: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Männer im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	289,4	143,3	130,4	210,2	202,2	16,65	10,21	9,63	13,33	13,26
Standardabw.	56,80	72,75	52,09	63,27	58,29	2,11	2,74	2,11	2,79	2,51
Minimum	167,0	50,0	50,0	79,0	73,0	12,5	6,0	2,8	3,6	3,7
Maximum	400,0	325,0	262,0	361,0	327,0	22,0	17,0	13,5	18,8	18,0
gesamt	44	44	44	44	44	33	33	33	33	33

Tabelle 9.61: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Männer im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	301,4	162,8	123,1	218,6	207,4	17,10	10,80	9,96	13,80	13,73
Standardabw.	72,81	79,94	57,58	78,80	73,38	2,10	2,84	1,65	2,56	1,96
Minimum	158,0	50,0	50,0	64,0	82,0	10,3	6,0	6,0	7,2	6,9
Maximum	470,8	326,0	243,0	386,0	355,0	22,7	17,0	13,7	18,8	18,0
gesamt	30	29	30	30	30	46	46	46	46	46

Tabelle 9.62: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Männer im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	299,1	157,6	125,8	218,5	209,5	15,81	9,69	9,50	12,14	11,85
Standardabw.	49,55	56,05	43,28	50,57	46,78	1,16	2,14	1,17	2,67	1,93
Minimum	183,0	50,0	50,0	94,0	118,0	12,7	6,0	6,5	6,3	8,6
Maximum	410,0	282,0	220,0	329,0	302,0	18,7	14,0	12,3	16,4	15,2
gesamt	42	41	42	42	42	35	35	35	30	30

Tabelle 9.63: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Männer im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	269,0	134,9	114,9	196,2	180,9	14,95	9,76	9,10	12,14	11,85
Standardabw.	65,94	52,42	44,55	54,96	57,81	1,89	2,93	1,59	2,67	1,93
Minimum	117,0	49,0	46,0	74,0	59,0	12,3	6,0	6,0	6,3	8,6
Maximum	433,3	262,0	261,0	314,0	330,0	18,6	15,0	11,8	16,4	15,2
gesamt	45	44	45	45	45	30	30	30	30	30

Tabelle 9.64: Ergometriespezifische Leistungswerte (Watt) der Männer im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	221,7	113,7	94,70	171,9	151,8	13,77	8,43	8,22	10,98	11,13
Standardabw.	64,28	48,48	38,11	50,60	52,15	2,26	2,00	1,99	2,29	2,11
Minimum	100,0	37,0	36,0	74,0	44,0	10,0	6,0	6,0	7,0	7,7
Maximum	350,0	226,0	214,0	275,0	262,0	17,3	12,1	12,0	15,3	15,1
gesamt	60	56	60	60	60	15	15	15	15	15

Tabelle 9.65: Ergometriespezifische (Watt) Leistungswerte der Männer über 60 Jahre

	Rad					Lauf				
	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS	WMAX	WAS	WIAS	WANS	WIANS
Mittelwert	175,2	91,44	74,48	137,0	115,6	13,03	7,82	8,05	9,62	9,81
Standardabw.	51,96	40,49	29,60	44,05	46,06	1,02	2,23	1,66	2,55	1,71
Minimum	87,5	25,0	36,0	67,0	40,7	11,9	6,0	6,0	6,0	7,0
Maximum	300,0	226,0	158,0	255,0	229,0	14,7	12,0	10,7	13,3	12,1
gesamt	68	68	68	68	67	7	7	7	7	7

Tabelle 9.66: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS /kg	WIAS /kg	WANS /kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS /kg	WIAS /kg	WANS /kg	WIANS /kg
Mittelwert	3,23	1,53	1,30	2,30	1,86	3,45	2,13	2,12	2,82	2,75
Standardabw.	0,63	0,56	0,43	0,57	0,61	0,36	0,49	0,32	0,40	0,31
Minimum	1,90	0,63	0,55	1,19	0,87	2,75	1,56	1,56	1,98	2,05
Maximum	4,50	2,59	2,25	3,35	3,00	4,61	3,25	2,97	3,89	3,71
gesamt	34	34	34	34	34	42	42	42	42	42

Tabelle 9.67: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS /kg	WIAS /kg	WANS /kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS /kg	WIAS /kg	WANS /kg	WIANS /kg
Mittelwert	3,27	1,67	1,40	2,38	1,96	3,24	2,10	2,13	2,68	1,79
Standardabw.	0,89	0,82	0,55	0,79	0,77	0,35	0,50	0,27	0,43	0,33
Minimum	1,46	0,45	0,58	1,05	0,57	2,46	1,56	1,56	1,56	1,71
Maximum	4,89	3,29	2,71	3,98	3,39	4,26	3,49	2,73	3,81	3,47
gesamt	31	30	31	31	31	43	43	43	43	43



Tabelle 9.68: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	3,20	1,75	1,37	2,43	2,08	3,13	2,07	2,05	2,63	1,92
Standardabw.	0,93	0,82	0,57	0,81	0,69	0,38	0,62	0,34	0,45	0,39
Minimum	1,14	0,47	0,38	0,63	0,63	2,30	1,11	1,13	1,56	1,58
Maximum	4,90	3,45	2,61	4,02	3,51	3,65	3,29	2,59	3,36	3,29
gesamt	54	50	54	54	54	21	21	21	21	21

Tabelle 9.69: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	2,40	1,27	1,03	1,87	1,51	3,17	2,23	2,11	2,70	2,57
Standardabw.	0,77	0,60	0,40	0,63	0,60	0,44	0,61	0,35	0,55	0,45
Minimum	0,90	0,43	0,40	0,90	0,53	2,05	1,56	1,42	1,56	1,65
Maximum	4,47	3,20	2,23	3,74	3,11	3,96	3,24	2,61	3,58	3,33
gesamt	48	44	48	48	48	28	28	28	28	28

Tabelle 9.70: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	2,14	1,11	0,91	1,67	1,29	2,94	1,98	2,03	2,50	2,38
Standardabw.	0,61	0,49	0,37	0,50	0,45	0,28	0,49	0,28	0,50	0,41
Minimum	1,04	0,31	0,30	0,71	0,34	2,30	1,56	1,56	1,65	1,60
Maximum	3,56	2,67	2,20	3,28	2,52	3,36	2,91	2,41	3,29	3,02
gesamt	60	53	60	60	60	14	14	14	14	14

Tabelle 9.71: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Frauen über 60 Jahre

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	1,64	0,84	0,75	1,32	0,97	2,58	1,94	1,76	2,29	1,99
Standardabw.	0,42	0,34	0,26	0,37	0,34	0,28	0,41	0,39	0,38	0,45
Minimum	0,98	0,30	0,34	0,56	0,43	2,39	1,69	1,38	1,99	1,56
Maximum	2,96	1,75	1,33	2,41	1,98	2,91	2,41	2,17	2,70	2,45
gesamt	56	52	54	53	54	3	3	3	3	3

Tabelle 9.72: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Männern im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	3,81	1,91	1,74	2,78	2,65	3,95	2,51	2,38	3,20	3,14
Standardabw.	0,93	1,07	0,78	0,97	0,84	0,47	0,62	0,47	0,62	0,54
Minimum	2,17	0,55	0,50	1,20	1,11	3,02	1,56	0,85	1,02	1,03
Maximum	5,46	4,43	3,57	4,92	4,46	5,15	3,96	3,24	4,44	4,23
gesamt	44	44	44	44	44	33	33	33	33	33

Tabelle 9.73: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Männern im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	3,82	2,05	1,57	2,77	2,62	4,05	2,63	2,45	3,31	3,23
Standardabw.	0,91	1,03	0,79	1,01	0,91	0,46	0,64	0,37	0,58	0,49
Minimum	1,96	0,72	0,62	0,93	1,05	2,53	1,56	1,56	1,83	1,51
Maximum	5,26	3,96	3,55	4,93	4,33	5,31	3,96	3,29	4,43	3,99
gesamt	30	29	30	30	30	46	46	46	46	46

Tabelle 9.74: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Männern im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	3,71	1,98	1,58	2,72	2,59	3,76	2,39	2,32	3,10	3,01
Standardabw.	0,79	0,79	0,62	0,75	0,64	0,26	0,48	0,29	0,33	0,22
Minimum	2,11	0,59	0,56	1,09	1,26	3,06	1,56	1,63	2,12	2,52
Maximum	5,40	3,32	2,67	4,00	3,69	4,41	3,40	2,97	3,83	3,58
gesamt	42	41	42	42	42	35	35	35	35	35

Tabelle 9.75: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Männern im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	3,54	1,79	1,52	2,58	2,37	3,53	2,40	2,25	2,94	2,87
Standardabw.	0,91	0,72	0,60	0,75	0,76	0,48	0,66	0,36	0,60	0,43
Minimum	1,35	0,57	0,52	0,94	0,68	2,38	1,56	1,56	1,63	2,14
Maximum	5,07	3,30	3,05	3,95	3,86	4,39	3,49	2,86	3,90	3,63
gesamt	45	44	45	45	45	30	30	30	30	30

Tabelle 9.76: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Männern im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	2,77	1,43	1,20	2,16	1,90	3,31	2,06	2,10	2,68	2,71
Standardabw.	0,86	0,66	0,53	0,71	0,69	0,51	0,45	0,45	0,52	0,47
Minimum	0,89	0,46	0,30	0,64	0,44	2,46	1,56	1,56	1,78	1,94
Maximum	4,65	3,00	2,78	3,64	3,40	4,10	3,00	2,93	3,65	3,60
gesamt	60	53	60	60	60	15	15	15	15	15

Tabelle 9.77: Ergometriespezifische relative Leistungswerte (W/kg) bei den Männern über 60

	Rad					Lauf				
	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg	WMAX /kg	WAS/ kg	WIAS/ kg	WANS/ kg	WIANS /kg
Mittelwert	2,22	1,17	0,95	1,72	1,47	3,14	1,97	2,02	2,37	2,54
Standardabw.	0,72	0,54	0,39	0,60	0,61	0,23	0,50	0,37	0,57	0,63
Minimum	0,99	0,38	0,48	0,48	0,53	2,88	1,56	1,56	1,56	1,78
Maximum	4,21	3,40	2,24	3,83	3,32	3,51	2,91	2,61	3,20	3,79
gesamt	68	68	68	68	67	7	7	7	7	7

Tabelle 9.78: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	10,14	1,69	2,60	16,62	10,06	2,03	3,51	16,27
Standardabw.	2,37	0,56	0,71	1,74	2,46	0,74	0,74	1,43
Minimum	6,6	0,86	1,30	11	2,4	0,80	2,08	14
Maximum	16,0	3,00	4,40	19	13,8	4,30	5,30	19
gesamt	34	34	34	34	42	42	42	41

Tabelle 9.79: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	10,56	1,69	2,57	17,03	9,91	2,21	3,36	16,23
Standardabw.	2,59	0,61	0,50	1,53	2,21	1,36	0,94	1,18
Minimum	5,9	0,70	1,65	12	4,1	0,60	1,80	14
Maximum	15,2	3,30	4,00	20	15,7	9,70	5,80	19
gesamt	32	32	32	32	43	43	43	39

Tabelle 9.80: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	9,08	1,63	2,80	16,74	8,30	2,01	3,39	16,55
Standardabw.	2,47	0,78	0,96	1,38	2,70	0,74	0,98	1,36
Minimum	2,3	0,50	1,39	14	2,6	0,40	1,88	14
Maximum	14,2	4,00	6,30	19	12,2	3,00	5,50	19
gesamt	54	54	54	54	21	21	21	20

Tabelle 9.81: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	7,61	1,64	2,60	16,15	8,65	2,01	3,13	15,75
Standardabw.	2,22	0,60	0,87	1,62	1,90	0,97	1,13	1,35
Minimum	2,1	0,70	1,70	13	5,7	0,50	1,36	13
Maximum	12,2	3,10	6,30	20	14,0	4,80	6,80	19
gesamt	47	47	47	48	28	28	28	28

Tabelle 9.82: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	7,40	1,66	2,45	15,62	8,10	2,35	3,18	15,71
Standardabw.	2,43	0,64	0,73	1,98	2,48	1,02	0,79	1,68
Minimum	2,3	0,70	1,50	6	4,4	1,00	2,40	13
Maximum	12,0	4,00	5,30	20	11,3	4,40	4,50	19
gesamt	60	60	60	60	14	14	14	14

Tabelle 9.83: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Frauen über 60 Jahre

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	6,60	1,91	2,42	15,91	7,45	1,36	1,99	15,67
Standardabw.	1,99	0,71	0,82	1,62	0,42	0,71	0,82	2,08
Minimum	3,0	0,60	1,43	12	7,1	0,60	1,10	14
Maximum	12,9	4,00	5,70	19	7,9	2,00	2,70	18
gesamt	56	54	54	56	3	3	3	3

Tabelle 9.84: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Männer im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	11,18	1,84	3,56	17,25	9,71	2,01	3,78	16,50
Standardabw.	2,01	0,69	0,87	1,43	2,42	0,63	0,71	1,44
Minimum	6,6	0,70	1,80	14	4,7	0,90	2,80	14
Maximum	14,6	3,76	5,10	20	14,0	4,00	6,30	20
gesamt	44	44	44	44	33	33	33	32

Tabelle 9.85: Ergometriespezifische Laktat-(mmol/l) und Borgwerte der Männer im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	11,04	1,41	3,26	16,86	11,13	1,87	3,79	17,00
Standardabw.	2,84	0,73	0,88	1,33	2,96	0,76	0,97	1,56
Minimum	6,9	0,30	1,30	14	4,7	0,90	2,60	13
Maximum	16,4	3,50	4,80	19	19,5	4,50	7,40	20
gesamt	30	30	30	32	46	46	46	46

Tabelle 9.86: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Männer im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	11,37	1,51	3,50	17,05	10,85	1,98	3,54	17,03
Standardabw.	1,92	0,56	1,10	1,68	1,86	0,62	0,77	1,15
Minimum	6,4	0,80	1,90	12	5,2	1,10	2,10	15
Maximum	15,6	4,10	8,70	20	14,7	3,40	5,70	19
gesamt	42	42	42	42	35	35	35	35

Tabelle 9.87: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Männer im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	10,99	1,65	3,21	17,24	10,11	2,04	3,54	16,23
Standardabw.	2,50	0,67	0,75	1,19	1,76	0,97	1,12	1,38
Minimum	5,6	0,50	1,80	15	7,4	0,80	2,10	13
Maximum	16,1	3,60	5,26	20	15,1	4,90	6,50	19
gesamt	45	45	45	45	30	30	30	30

Tabelle 9.88: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Männer im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	8,94	1,52	2,92	16,15	9,54	2,26	3,88	16,40
Standardabw.	2,70	0,54	0,72	1,26	2,54	0,77	1,27	1,59
Minimum	3,3	0,70	1,20	13	4,2	1,20	2,30	13
Maximum	15,0	3,39	5,20	20	14,0	4,06	7,20	19
gesamt	60	60	60	60	15	15	15	15

Tabelle 9.89: Ergometriespezifische Laktat- (mmol/l) und Borgwerte der Männer über 60 Jahre

	Rad				Lauf			
	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg	LaMax	LAIAS	LAIAN	Borg
Mittelwert	7,90	1,68	2,65	16,09	9,28	2,66	3,86	15,71
Standardabw.	2,40	0,76	0,78	1,43	2,83	1,49	1,49	1,25
Minimum	1,8	0,50	1,20	13	4,7	1,30	2,10	14
Maximum	13,4	5,10	5,50	20	12,4	5,70	6,40	17
gesamt	68	68	68	65	7	7	7	7

Tabelle 9.90: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	193,9	143,2	133,8	170,9	154,4	200,5	161,8	161,3	186,2	183,7
Standardabw.	10,38	14,62	16,61	10,86	16,24	8,84	16,76	14,52	10,27	11,23
Minimum	159	116	104	147	115	185	132	131	165	158
Maximum	211	171	171	190	182	220	191	206	206	212
gesamt	34	34	34	34	34	42	42	42	42	42

Tabelle 9.91: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	188,7	141,6	131,8	166,6	151,5	197,7	160,0	159,9	183,6	179,9
Standardabw.	9,99	19,17	17,20	13,54	16,41	9,39	16,89	14,31	10,40	10,52
Minimum	172	100	102	123	111	169	126	119	155	154
Maximum	220	177	169	188	177	214	188	200	201	203
gesamt	32	31	32	32	32	43	43	43	43	43

Tabelle 9.92: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	179,9	137,3	124,4	161,4	149,9	185,9	148,5	149,5	173,3	170,9
Standardabw.	13,56	19,28	19,99	15,20	17,47	14,83	18,32	12,16	11,33	12,57
Minimum	146	102	84	132	113	145	109	129	142	149
Maximum	202	173	179	186	185	211	189	174	192	192
gesamt	54	50	54	54	54	21	21	21	20	21

Tabelle 9.93: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	170,3	125,0	117,8	151,3	135,7	183,3	153,3	146,8	170,5	163,9
Standardabw.	14,62	18,28	16,28	14,88	17,95	9,47	15,47	16,09	9,39	13,07
Minimum	134	93	89	113	101	166	113	112	156	132
Maximum	201	183	161	193	186	202	179	179	187	188
gesamt	48	44	48	48	48	28	28	28	28	28

Tabelle 9.94: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	162,1	119,6	110,3	144,0	126,3	172,7	144,1	142,4	160,7	156,1
Standardabw.	15,87	16,65	14,39	15,58	18,47	13,46	13,19	16,56	9,14	10,93
Minimum	126	75	84	97	83	152	128	114	140	132
Maximum	197	163	150	175	173	195	172	175	173	176
gesamt	60	53	60	60	60	14	14	14	14	14

Tabelle 9.95: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Frauen über 60 Jahre

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	144,0	107,3	103,9	128,9	112,0	176,7	142,3	163,3	165,3	143,0
Standardabw.	23,81	15,73	16,40	20,48	17,28	8,33	18,15	34,02	11,15	27,18
Minimum	93	75	74	91	84	170	129	138	157	113
Maximum	181	139	138	165	155	186	163	202	178	166
gesamt	56	53	54	53	54	3	3	3	3	3

Tabelle 9.96: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Männer im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	196,3	138,2	133,3	169,4	165,2	201,6	162,1	159,6	187,3	186,9
Standardabw.	9,30	22,66	18,19	14,33	14,81	7,57	17,79	17,03	11,27	9,83
Minimum	177	100	97	131	125	186	124	111	152	165
Maximum	217	185	169	198	189	220	196	191	209	205
gesamt	44	44	44	44	44	33	33	33	33	33

Tabelle 9.97: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Männer im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	191,0	140,4	125,6	165,7	159,8	193,5	148,5	141,9	174,2	174,0
Standardabw.	11,02	21,07	22,30	16,84	16,54	9,62	20,0	17,70	12,96	13,15
Minimum	163	103	88	119	129	177	97	104	142	147
Maximum	210	196	171	204	191	218	191	184	200	204
gesamt	30	29	30	30	30	46	46	46	46	46

Tabelle 9.98: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Männer im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	184,8	131,6	117,6	157,2	152,1	191,1	142,9	141,8	172,6	169,6
Standardabw.	9,34	16,31	15,95	12,22	12,03	9,58	15,39	13,26	9,92	10,46
Minimum	156	98	89	134	119	170	110	108	149	150
Maximum	201	162	158	178	176	208	172	171	192	186
gesamt	42	41	42	41	42	35	35	35	35	35

Tabelle 9.99: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Männer im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	177,0	126,2	116,6	151,6	144,5	182,2	141,6	136,6	161,6	160,0
Standardabw.	17,62	21,83	19,72	19,07	19,69	9,72	15,78	13,24	11,63	10,99
Minimum	117	80	84	100	97	162	110	109	139	142
Maximum	210	169	161	182	177	198	172	167	184	184
gesamt	45	44	45	45	45	30	30	30	28	30



Tabelle 9.100: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Männer im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	161,6	113,3	104,3	139,4	129,8	176,3	134,1	135,7	158,5	159,0
Standardabw.	20,04	18,35	14,01	17,10	18,86	12,67	14,77	13,43	13,21	13,26
Minimum	110	64	77	93	85	145	114	116	132	124
Maximum	194	152	138	184	170	197	155	164	181	177
gesamt	60	56	60	59	60	15	15	15	15	15

Tabelle 9.101: Ergometriespezifische submaximale Herzfrequenzwerte (Schläge/min) der Männer über 60 Jahre

	Rad					Lauf				
	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN	HfMax	HFAS	HFIAS	HFANS	HFIAN
Mittelwert	144,2	104,2	97,50	125,0	114,2	169,3	134,4	135,7	151,1	151,7
Standardabw.	22,49	16,99	15,46	18,34	20,82	11,22	17,29	18,63	10,16	14,83
Minimum	94	74	70	92	78	158	110	111	135	129
Maximum	180	144	152	173	171	187	155	160	167	172
gesamt	68	68	68	68	67	7	7	7	7	7

Tabelle 9.102: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	RS50	RD50	RS100	RD100	RS150	RD150
Mittelwert	135	76	155	75	170	73
Standardabw.	11,0	8,3	15,3	10,0	26,1	9,4
Minimum	120	60	120	55	130	60
Maximum	160	95	180	95	265	90
gesamt	32	32	32	32	25	25

Tabelle 9.103: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	RS50	RD50	RS100	RD100	RS150	RD150
Mittelwert	134	79	151	74,5	165	73
Standardabw.	12,6	11,0	13,7	7,8	15,4	9,4
Minimum	110	60	130	60	140	60
Maximum	160	100	190	95	210	95
gesamt	30	30	31	31	25	25

Tabelle 9.104: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	138	80	153	79	164	80
<b>Standardab</b>	17,5	9,7	19,1	10,4	15,7	8,8
<b>Minimum</b>	110	60	115	60	130	60
<b>Maximum</b>	190	100	210	110	190	100
<b>gesamt</b>	50	50	50	50	43	43

Tabelle 9.105: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	149	84	168	85	185	84,4
<b>Standardab</b>	18,7	11,0	21,5	12,4	18,3	9,9
<b>Minimum</b>	120	65	110	65	150	70
<b>Maximum</b>	190	110	220	110	220	100
<b>gesamt</b>	47	47	44	44	23	23

Tabelle 9.106: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	157	85	181	88	187	88
<b>Standardab</b>	24,6	10,5	24,7	10,5	17,8	8,7
<b>Minimum</b>	115	65	140	70	165	70
<b>Maximum</b>	230	110	250	120	230	105
<b>gesamt</b>	59	59	51	51	23	23

Tabelle 9.107: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Frauen über 60 Jahre

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	166	84	188	84	205	87
<b>Standardab</b>	24,5	11,2	28,4	12,4	25,5	17,7
<b>Minimum</b>	120	60	130	55	175	55
<b>Maximum</b>	230	110	260	110	240	110
<b>gesamt</b>	55	55	32	32	8	8

Tabelle 9.108: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Männer im Altersbereich von 11-20 Jahren

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	152	83	161	81	175	77
<b>Standardab</b>	18,9	11,4	21,1	12,9	21,4	9,9
<b>Minimum</b>	120	60	130	60	140	60
<b>Maximum</b>	190	110	210	110	220	105
<b>gesamt</b>	34	34	41	41	43	43

Tabelle 9.109: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Männer im Altersbereich von 21-30 Jahren

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	150	85	166	83	180	81
<b>Standardab</b>	18,7	11,6	17,9	12,3	20,9	11,9
<b>Minimum</b>	120	60	135	60	140	60
<b>Maximum</b>	185	110	200	110	220	100
<b>gesamt</b>	24	24	27	27	29	29

Tabelle 9.110: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Männer im Altersbereich von 31-40 Jahren

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	147	90	165	88	183	86
<b>Standardab</b>	13,1	8,2	16,2	10,0	16,3	11,7
<b>Minimum</b>	125	75	140	70	155	60
<b>Maximum</b>	180	110	215	115	230	115
<b>gesamt</b>	35	35	40	40	39	39

Tabelle 9.111: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Männer im Altersbereich von 41-50 Jahren

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	154	87	167	87	184	87
<b>Standardab</b>	23,5	10,5	21,7	10,9	22,3	12,0
<b>Minimum</b>	130	70	140	65	150	70
<b>Maximum</b>	240	130	250	135	260	140
<b>gesamt</b>	40	40	42	42	41	41

Tabelle 9.112: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Männer im Altersbereich von 51-60 Jahren

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	158	91,4	177	91	196	90
<b>Standardab</b>	22,6	11,5	24,0	11,0	26,2	10,8
<b>Minimum</b>	120	65	135	65	150	70
<b>Maximum</b>	210	130	230	125	260	120
<b>gesamt</b>	56	56	57	57	48	48

Tabelle 9.113: Belastungsblutdruck während der Radergometrie (mmHg) der Männer über 60 Jahre

	<b>RS50</b>	<b>RD50</b>	<b>RS100</b>	<b>RD100</b>	<b>RS150</b>	<b>RD150</b>
<b>Mittelwert</b>	159	84	178	84	198	83
<b>Standardab</b>	23,0	10,7	25,4	12,9	24,9	12,8
<b>Minimum</b>	120	60	120	60	150	60
<b>Maximum</b>	215	115	270	130	265	110
<b>Gesamt</b>	66	66	65	65	49	49

Tabelle 9.114: Ergometriespezifische systolische Blutdruckwerte eine Minute nach Belastung (mmHg) bei den Frauen

Alter	Rad						Lauf					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	145	148	147	165	170	178	161	166	173	181	182	197
Standardabw.	17,9	21,5	21,3	24,4	28,2	26,7	22,6	22,0	19,7	23,2	21,6	14,4
Minimum	90	110	80	120	115	110	120	110	150	140	145	180
Maximum	190	190	200	220	240	260	220	215	220	240	220	205
gesamt	34	32	54	48	60	56	42	43	21	28	14	3

Tabelle 9.115: Ergometriespezifische diastolische Blutdruckwerte eine Minute nach Belastung (mmHg) bei den Frauen

Alter	Rad						Lauf					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	67	72	73	80	82	82	73	74	78	84	80	87
Standardabw.	11,2	12,2	12,6	12,1	21,6	10,9	8,9	10,7	12,6	13,8	14,3	11,6
Minimum	50	40	40	60	145	50	60	60	50	60	60	80
Maximum	90	110	110	110	220	105	90	100	110	120	105	100
gesamt	34	32	54	48	14	56	42	43	21	28	14	3

Tabelle 9.116: Ergometriespezifische systolische Blutdruckwerte eine Minute nach Belastung (mmHg) bei den Männern

Alter	Rad						Lauf					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	167	163	177	173	185	188	173	192	195	196	185	222
Standardabw.	28,3	23,3	24,0	29,1	34,7	34,0	19,5	28,0	27,4	24,8	24,2	31,9
Minimum	100	110	130	90	115	110	140	120	125	155	150	180
Maximum	220	210	230	240	270	260	220	240	280	240	250	280
gesamt	44	30	42	45	60	68	33	46	35	30	15	7

Tabelle 9.117: Ergometriespezifische diastolische Blutdruckwerte eine Minute nach Belastung (mmHg) bei den Männern

Alter	Rad						Lauf					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	66	70	77	76	85	81	69	71	78	84	82	87
Standardabw.	10,5	12,1	10,3	12,6	13,4	12,0	10,7	12,0	12,4	12,0	11,5	4,9
Minimum	50	40	60	50	45	50	50	40	50	60	60	80
Maximum	90	90	110	120	120	110	90	100	100	110	100	90
gesamt	44	30	42	45	60	68	33	46	35	30	15	7

Tabelle 9.118: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	74,46	102,7	129,0	111,5	114,6	136,8
Standardabw.	23,79	38,41	39,6	18,82	24,62	31,16
Minimum	44,0	43,0	72,0	85,0	66,3	71,4
Maximum	156,0	194,0	239,0	149,0	152,9	192,1
gesamt	26	34	32	12	28	41

Tabelle 9.119: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Frauen im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,29	1,77	2,22	1,87	2,00	2,35
Standardabw.	0,34	0,62	0,58	0,20	0,28	0,38
Minimum	0,72	0,72	1,20	1,60	1,56	1,74
Maximum	2,01	3,64	3,32	2,12	2,53	3,15
gesamt	26	34	32	12	28	41

Tabelle 9.120: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	84,97	112,8	150,5	111,4	127,2	151,6
Standardabw.	24,51	33,0	38,87	19,28	20,90	31,50
Minimum	53	42,0	76,0	80,0	91,0	78,0
Maximum	142	198,0	244,0	150,0	177,7	225,6
gesamt	29	32	32	17	33	40

Tabelle 9.121: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Frauen im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,38	1,83	2,44	1,79	2,02	2,38
Standardabw.	0,46	0,59	0,73	0,27	0,32	0,45
Minimum	0,66	0,76	1,35	1,56	1,60	1,60
Maximum	2,65	3,29	4,53	2,28	2,79	3,58
gesamt	28	31	31	17	33	40

Tabelle 9.122: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	98,96	127,9	162,3	116,3	125,0	151,5
Standardabw.	28,41	38,47	43,59	27,28	32,88	36,86
Minimum	26,0	45,0	63,0	92,0	71,7	90,9
Maximum	174,0	250,0	248,0	176,0	193,1	222,1
gesamt	48	51	44	9	19	19

Tabelle 9.123: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Frauen im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,59	2,04	2,63	1,92	2,09	2,53
Standardabw.	0,45	0,58	0,66	0,40	0,44	0,47
Minimum	0,49	0,84	1,14	1,56	1,18	1,49
Maximum	2,51	3,27	3,72	2,59	2,95	3,38
gesamt	48	51	44	9	19	19

Tabelle 9.124: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	88,39	114,6	136,5	117,7	134,9	158,6
Standardabw.	32,21	36,65	38,10	21,80	23,57	29,36
Minimum	34,0	65,0	96,0	86,0	96,6	105,8
Maximum	177,0	224,0	250,0	154,0	174,0	205,5
gesamt	46	44	23	13	22	25

Tabelle 9.125: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Frauen im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,36	1,80	2,17	2,04	2,30	2,73
Standardabw.	0,50	0,58	0,63	0,34	0,45	0,56
Minimum	0,51	1,02	1,54	1,56	1,58	1,69
Maximum	2,73	3,48	4,54	2,61	3,22	3,81
gesamt	46	44	23	13	22	25

Tabelle 9.126: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	90,39	110,9	139,1	127,3	141,0	142,2
Standardabw.	25,59	25,30	36,94	15,88	34,53	37,61
Minimum	47,0	50,0	75,0	105,0	74,8	89,3
Maximum	195,0	169,0	242,0	149,0	203,5	203,4
gesamt	53	49	18	7	12	8

Tabelle 9.127: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Frauen im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,43	1,77	2,27	3,08	2,37	2,46
Standardabw.	0,43	0,50	0,58	0,30	0,49	0,57
Minimum	0,72	0,72	1,08	1,65	1,56	1,65
Maximum	2,73	3,20	3,38	2,46	3,27	3,33
gesamt	53	49	18	7	12	8

Tabelle 9.128: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Frauen über 60 Jahre

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	86,15	99,12	114,0	106,1	119,9	147,9
Standardabw.	30,30	22,28	23,69	34,91	26,50	39,16
Minimum	44,0	67,0	88,0	76,0	93,2	112,4
Maximum	163,0	170,0	146,0	144,0	146,2	189,9
gesamt	39	25	7	3	3	3

Tabelle 9.129: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Frauen über 60 Jahre

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,27	1,49	1,72	1,72	1,98	2,42
Standardabw.	0,45	0,38	0,34	0,10	0,18	0,11
Minimum	0,68	0,91	1,27	1,60	1,80	2,34
Maximum	2,24	2,50	2,15	1,78	2,17	2,55
gesamt	39	25	7	3	3	3

Tabelle 9.130: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Männer im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	121,0	163,2	207,8	111,5	114,6	173,0
Standardabw.	33,38	42,08	47,10	18,82	24,62	48,38
Minimum	68,0	67,0	121,0	85,0	66,3	94,6
Maximum	190,0	240,0	289,0	149,0	152,9	295,1
gesamt	39	44	44	12	28	33

Tabelle 9.131: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Männer im Altersbereich von 11-20 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,59	2,15	2,73	2,14	2,32	2,69
Standardabw.	0,46	0,64	0,71	0,34	0,43	0,58
Minimum	0,72	0,72	1,20	1,56	1,69	1,90
Maximum	2,71	3,58	4,34	2,68	3,40	4,08
gesamt	26	34	32	12	24	33

Tabelle 9.132: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Männer im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	138,0	177,1	224,8	183,2	210,3	245,2
Standardabw.	52,52	57,88	62,05	29,78	39,78	49,55
Minimum	52,0	68,0	100,0	112,0	116,1	144,7
Maximum	242,0	290,0	366,0	239,0	290,2	343,9
gesamt	28	29	28	29	41	46

Tabelle 9.133: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Männer im Altersbereich von 21-30 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,79	2,29	2,89	2,36	2,69	3,16
Standardabw.	0,68	0,73	0,74	0,33	0,45	0,52
Minimum	0,74	1,01	1,48	1,67	1,74	2,10
Maximum	3,36	3,78	4,30	2,93	3,47	4,03
gesamt	28	29	28	29	41	46



Tabelle 9.134: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Männer im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	154,6	199,9	247,6	178,6	204,8	246,6
Standardabw.	36,31	44,41	52,24	32,10	39,24	44,18
Minimum	70,0	120,0	165,0	109,0	132,0	167,9
Maximum	232,0	280,0	400,0	226,0	286,8	345,8
gesamt	39	42	41	25	35	35

Tabelle 9.135: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Männer im Altersbereich von 31-40 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,91	2,46	3,07	2,20	2,53	3,05
Standardabw.	0,50	0,56	0,69	0,28	0,36	0,36
Minimum	0,81	1,45	1,94	1,67	1,67	2,46
Maximum	3,43	3,52	4,76	2,75	3,13	3,81
gesamt	39	42	41	25	35	35

Tabelle 9.136: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Männer im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	146,5	181,1	228,1	180,0	208,2	246,3
Standardabw.	35,89	44,55	59,75	24,13	34,30	38,94
Minimum	72,0	67,0	34,0	135,0	137,8	172,0
Maximum	258,0	303,0	336,0	222,0	271,6	305,7
gesamt	42	41	34	20	29	28

Tabelle 9.137: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Männer im Altersbereich von 41-50 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,91	2,38	3,05	2,29	2,64	3,14
Standardabw.	0,45	0,56	0,77	0,39	0,48	0,60
Minimum	0,96	0,96	0,47	1,63	1,72	2,14
Maximum	3,17	3,72	4,50	2,93	3,45	4,19
gesamt	42	41	34	20	29	28

Tabelle 9.138: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Männer im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	147,4	191,6	234,5	151,4	182,1	226,1
Standardabw.	40,45	49,17	53,10	27,55	32,63	43,61
Minimum	62,0	100,0	158,0	112,0	135,3	176,8
Maximum	230,0	288,0	329,0	204,0	260,3	334,5
gesamt	55	47	24	11	14	13

Tabelle 9.139: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Männer im Altersbereich von 51-60 Jahren

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,86	2,43	2,98	1,99	2,44	3,07
Standardabw.	0,50	0,61	0,72	0,30	0,38	0,51
Minimum	0,87	1,50	1,96	1,56	1,83	2,39
Maximum	2,89	3,61	4,54	2,59	3,31	4,26
gesamt	55	47	24	11	14	13

Tabelle 9.140: Ergometriespezifische PWC-Werte (Watt) der Männer über 60 Jahre

	Rad			Lauf		
	PWC 130	PWC 150	PWC 170	PWC 130	PWC 150	PWC 170
Mittelwert	139,4	175,3	199,4	159,8	194,0	197,1
Standardabw.	39,19	39,19	38,92	31,81	34,30	53,70
Minimum	70,0	70,0	158,0	117,0	154,8	135,5
Maximum	217,0	217,0	250,0	205,0	255,6	234,2
gesamt	49	49	9	5	6	3

Tabelle 9.141: Ergometriespezifische rel. PWC-Werte (W/kg) der Männer über 60 Jahre

	Rad			Lauf		
	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg	PWC 130kg	PWC 150kg	PWC 170kg
Mittelwert	1,76	2,26	2,50	2,13	2,56	2,63
Standardabw.	0,53	0,71	0,58	0,18	0,37	0,63
Minimum	0,90	0,86	1,76	1,85	1,83	2,01
Maximum	3,22	3,86	3,45	2,32	2,79	3,27
gesamt	49	35	9	5	6	3

Tabelle 9.142: Mittelwerte der Arbeitsherzfrequenz (Schläge/min) des gesunden Kollektives differenziert nach Geschlecht

Alter	Frauen						Männer					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	132	129	125	115	106	85	136	134	131	123	114	98
Standardabw.	17,6	17,9	12,8	17,2	13,0	23,5	13,3	12,5	12,0	13,8	18,4	24,2
Minimum	74	83	81	71	82	27	107	95	97	88	63	35
Maximum	168	158	161	141	134	120	167	158	156	155	142	127
gesamt	73	69	58	55	39	20	74	70	70	49	34	16

Tabelle 9.143: Mittelwerte der Arbeitsherzfrequenz (Schläge/min) der Frauen des gesunden Kollektives differenziert nach Art der Belastung

Alter	Frauen											
	Rad						Lauf					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	128	123	124	110	102	82	136	133	126	121	116	115
Standardabw.	18,0	19,5	13,1	18,3	12,4	22,3	16,6	15,6	12,3	13,2	9,5	4,9
Minimum	74	83	81	71	82	27	102	98	110	94	101	112
Maximum	149	150	145	141	132	120	168	158	161	139	134	119
gesamt	33	28	40	32	29	18	40	41	18	23	10	2

Tabelle 9.144: Mittelwerte der Arbeitsherzfrequenz (Schläge/min) der Männer des gesunden Kollektives differenziert nach Art der Belastung

Alter	Männer											
	Rad						Lauf					
	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
Mittelwert	134	129	126	122	112	95	138	137	136	125	119	109
Standardabw.	13,7	14,1	11,4	15,6	19,2	25,9	12,7	10,4	10,8	10,5	15,8	12,0
Minimum	107	95	97	88	63	35	112	118	105	99	89	97
Maximum	158	147	147	155	142	127	167	158	156	138	137	121
gesamt	42	27	37	30	25	13	32	43	33	19	9	3

Tabelle 9.145: Mittelwerte der Leistungsdaten des gesunden Kollektivs an den vier Schwellen in Prozent der Maximalleistung differenziert nach Alter, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

Geschlecht/Alter	Anzahl	WASkg	WIASkg	WANSkg	WIANSkg
Frauen 11-20	n = 73	0,55	0,51	0,77	0,69
Männer 11-20	n = 74	0,55	0,51	0,76	0,74
<b>p-Wert</b>		<b>,859</b>	<b>,978</b>	<b>,961</b>	<b>,044</b>
Frauen 21-30	n = 68	0,58	0,56	0,78	0,71
Männer 21-30	n = 71 (70)	0,60	0,52	0,77	0,75
<b>p-Wert</b>		<b>,496</b>	<b>,225</b>	<b>,909</b>	<b>,010</b>
Frauen 31-40	n = 58 (54)	0,58	0,50	0,78	0,71
Männer 31-40	n = 70 (69)	0,57	0,51	0,77	0,74
<b>p-Wert</b>		<b>,840</b>	<b>,639</b>	<b>,400</b>	<b>,021</b>
Frauen 41-50	n = 55 (53)	0,60	0,54	0,81	0,71
Männer 41-50	n = 50	0,59	0,51	0,78	0,73
<b>p-Wert</b>		<b>,687</b>	<b>,168</b>	<b>,076</b>	<b>,954</b>
Frauen 51-60	n = 39 (34)	0,56	0,48	0,79	0,66
Männer 51-60	n = 34 (32)	0,54	0,45	0,77	0,71
<b>p-Wert</b>		<b>,725</b>	<b>,778</b>	<b>,220</b>	<b>,040</b>
Frauen > 60	n = 20 (17)	0,59	0,53	0,83	0,67
Männer > 60	n = 16	0,53	0,47	0,76	0,69
<b>p-Wert</b>		<b>,326</b>	<b>,198</b>	<b>,110</b>	<b>,986</b>

Tabelle 9.146: Mittelwerte der Leistungsdaten des gesunden Kollektivs an den vier Schwellen in Prozent der Maximalleistung differenziert nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede

	Frauen					Männer				
	Anzahl	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg	Anzahl	WAS kg	WIAS kg	WANS kg	WIAN kg
Rad 11-20	n = 33	0,47	0,39	0,71	0,56	n = 42	0,48	0,44	0,72	0,69
Lauf 11-20	n = 40	0,62	0,61	0,82	0,80	n = 32	0,63	0,60	0,81	0,80
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Rad 21-30	n = 27	0,49	0,43	0,73	0,59	n = 28 (27)	0,52	0,40	0,71	0,67
Lauf 21-30	n = 41	0,64	0,64	0,82	0,79	n = 43	0,65	0,61	0,82	0,81
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Rad 31-40	n = 48	0,55	0,43	0,76	0,66	n = 37 (36)	0,51	0,41	0,72	0,69
Lauf 31-40	n = 18	0,64	0,65	0,83	0,82	n = 33	0,64	0,62	0,83	0,80
<b>p-Wert</b>		<b>,158</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Rad 41-50	n = 32 (30)	0,52	0,45	0,78	0,63	n = 31	0,52	0,43	0,74	0,68
Lauf 41-50	n = 23	0,72	0,67	0,86	0,81	n = 19	0,70	0,64	0,85	0,82
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Rad 51-60	n = 29 (24)	0,52	0,40	0,77	0,61	n = 25 (24)	0,53	0,40	0,77	0,67
Lauf 51-60	n = 10	0,66	0,68	0,83	0,80	n = 9	0,59	0,60	0,78	0,79
<b>p-Wert</b>		<b>,079</b>	<b>,000</b>	<b>,219</b>	<b>,000</b>		<b>,350</b>	<b>,000</b>	<b>,440</b>	<b>,000</b>
Rad > 60	n = 18 (15)	0,56	0,50	0,82	0,66	n = 13	0,51	0,41	0,76	0,63
Lauf > 60	n = 2	0,76	0,73	0,91	0,82	n = 3	0,65	0,72	0,76	0,93
<b>p-Wert</b>		<b>,088</b>	<b>,118</b>	<b>,441</b>	<b>,118</b>		<b>,299</b>	<b>,007</b>	<b>,900</b>	<b>,025</b>

Tabelle 9.147: Mittelwerte der Schwellenherzfrequenzen des gesunden Kollektivs in Prozent der maximalen gemessenen Herzfrequenz differenziert nach Alter, Hinblick auf Geschlechtsunterschiede

Geschlecht/Alter	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIAN
Frauen 11-20	n = 73	0,78	0,75	0,91	0,86
Männer 11-20	n = 74	0,75	0,73	0,89	0,88
<b>p-Wert</b>		<b>,155</b>	<b>,098</b>	<b>,220</b>	<b>,401</b>
Frauen 21-30	n = 68	0,79	0,76	0,91	0,87
Männer 21-30	n = 71 (70)	0,76	0,70	0,89	0,87
<b>p-Wert</b>		<b>,049</b>	<b>,000</b>	<b>,017</b>	<b>,814</b>
Frauen 31-40	n = 58 (54)	0,77	0,72	0,90	0,85
Männer 31-40	n = 70 (69)	0,73	0,68	0,87	0,85
<b>p-Wert</b>		<b>,038</b>	<b>,055</b>	<b>,006</b>	<b>,880</b>
Frauen 41-50	n = 55 (53)	0,77	0,73	0,90	0,83
Männer 41-50	n = 50	0,75	0,69	0,88	0,84
<b>p-Wert</b>		<b>,334</b>	<b>,097</b>	<b>,029</b>	<b>,974</b>
Frauen 51-60	n = 39 (34)	0,77	0,72	0,90	0,82
Männer 51-60	n = 34 (32)	0,72	0,66	0,87	0,83
<b>p-Wert</b>		<b>,024</b>	<b>,015</b>	<b>,083</b>	<b>,588</b>
Frauen > 60	n = 20 (17)	0,78	0,75	0,91	0,82
Männer > 60	n = 16	0,73	0,68	0,87	0,82
<b>p-Wert</b>		<b>,110</b>	<b>,064</b>	<b>,260</b>	<b>,670</b>

Tabelle 9.148: Mittelwerte der Schwellenherzfrequenzen des gesunden Kollektivs in Prozent der maximalen gemessenen Herzfrequenz differenziert nach Geschlecht und Alter, Hinblick auf Belastungsunterschiede

	Frauen					Männer				
	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIAN	Anzahl	HfAS	HfIAS	HfANS	HfIAN
Rad 11-20	n = 33	0,74	0,69	0,88	0,87	n = 42	0,71	0,68	0,79	0,84
Lauf 11-20	n = 40	0,81	0,80	0,93	0,93	n = 32	0,81	0,79	0,92	0,93
<b>p-Wert</b>		<b>,002</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Rad 21-30	n = 27	0,76	0,71	0,88	0,87	n = 28 (27)	0,74	0,66	0,80	0,84
Lauf 21-30	n = 41	0,81	0,80	0,93	0,90	n = 43	0,77	0,73	0,91	0,90
<b>p-Wert</b>		<b>,029</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>		<b>,264</b>	<b>,003</b>	<b>,107</b>	<b>,001</b>
Rad 31-40	n = 48	0,76	0,68	0,89	0,85	n = 37 (36)	0,70	0,63	0,82	0,82
Lauf 31-40	n = 18	0,79	0,80	0,92	0,92	n = 33	0,75	0,74	0,91	0,89
<b>p-Wert</b>		<b>,551</b>	<b>,000</b>	<b>,112</b>	<b>,000</b>		<b>,044</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,000</b>
Rad 41-50	n = 32 (30)	0,72	0,68	0,88	0,87	n = 31	0,73	0,67	0,79	0,83
Lauf 41-50	n = 23	0,83	0,79	0,93	0,89	n = 19	0,78	0,73	0,89	0,87
<b>p-Wert</b>		<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,001</b>	<b>,000</b>		<b>,119</b>	<b>,012</b>	<b>,200</b>	<b>,028</b>
Rad 51-60	n = 29 (24)	0,74	0,68	0,89	0,86	n = 25 (24)	0,71	0,63	0,79	0,80
Lauf 51-60	n = 10	0,84	0,83	0,93	0,88	n = 9	0,74	0,75	0,91	0,89
<b>p-Wert</b>		<b>,006</b>	<b>,000</b>	<b>,085</b>	<b>,000</b>		<b>,414</b>	<b>,000</b>	<b>,462</b>	<b>,004</b>
Rad > 60	n = 18 (15)	0,78	0,74	0,90	0,87	n = 13	0,72	0,65	0,81	0,79
Lauf > 60	n = 2	0,83	0,80	0,94	0,89	n = 3	0,80	0,84	0,88	0,91
<b>p-Wert</b>		<b>,441</b>	<b>,261</b>	<b>,721</b>	<b>,471</b>		<b>,364</b>	<b>,014</b>	<b>,800</b>	<b>,007</b>

Tabelle 9.149: Mittelwerte der anthropometrischen Daten differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
<b>Größe</b>	167 n = 55	168 <sup>c</sup> n = 82	166 <sup>c</sup> n = 174	180 n = 58	179 n = 82	179 n = 175
<b>Gewicht</b>	63 n = 55	61 n = 82	61 n = 174	76 n = 58	76 n = 82	78 n = 175
<b>Fettanteil</b>	20,4 n = 54	20,4 n = 80	21,3 n = 164	13,2 n = 55	13,4 n = 75	14,0 n = 167
<b>BMI</b>	22,4 n = 55	21,6 n = 82	22,1 n = 174	23,5 n = 58	23,8 n = 82	24,2 n = 175

Tabelle 9.150: Mittelwerte der anthropometrischen Daten differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
<b>Größe</b>	174 n = 60	174 n = 88	172 n = 205	174 n = 53	172 n = 76	173 n = 144
<b>Gewicht</b>	69,6 n = 60	70,4 n = 88	70,6 n = 205	70,3 n = 53	66,6 n = 76	67,7 n = 144
<b>Fettanteil</b>	17,4 n = 58	17,8 n = 80	19,3 n = 193	15,9 n = 51	16,2 n = 75	15,1 n = 138
<b>BMI</b>	23,0 n = 60	23,0 n = 80	23,7 n = 205	23,0 n = 53	22,3 n = 76	22,4 n = 144

Tabelle 9.151: Mittelwerte der Größe (cm) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	168	168	170	166	167	163	178	183 <sup>a</sup>	183	179	178	174
<b>n</b>	15	14	11	8	4	3	16	16	9	7	9	5
<b>asymptotisch</b>	167	170 <sup>b</sup>	168	166	167	158	180	179 <sup>a</sup>	181	178	175	177
<b>n</b>	27	26	14	11	3	1	21	22	16	16	6	1
<b>linear</b>	167	166 <sup>b</sup>	169	165	166	164	178	180	181	177	179	174
<b>n</b>	31	28	33	20	32	11	37	33	45	15	23	10



Tabelle 9.152: Mittelwerte des Gewichtes (kg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	61,2	62,5	63,5	66,0	58,8	69,0	70,1	84,0 <sup>a,c</sup>	79,4	76,4	74,3	70,1
<b>n</b>	15	14	11	8	4	3	16	16	9	7	9	5
<b>asymptotisch</b>	56,4	65,4	60,0	62,0	63,6	62,0	72,1	76,1 <sup>a</sup>	80,6	76,9	77,2	90,0
<b>n</b>	27	26	14	11	3	1	21	22	16	16	6	1
<b>linear</b>	58,0	61,4	60,9	60,8	61,8	67,2	72,1	76,5 <sup>c</sup>	82,5	76,8	79,1	79,7
<b>n</b>	31	28	33	20	32	11	37	33	45	15	23	10

Tabelle 9.153: Mittelwerte des BMI (kg/m<sup>2</sup>) differenziert nach Alter, Geschlecht und Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	21,7	22,3	22,0	24,1	21,1	26,0	22,0	25,0	23,7	23,9	23,5	23,1
<b>n</b>	15	14	11	8	4	3	16	16	9	7	9	5
<b>asymptotisch</b>	20,1	22,6	21,2	22,6	22,8	24,8	22,3	23,7	24,5	24,2	25,4	28,9
<b>n</b>	27	26	14	11	3	1	21	22	16	16	6	1
<b>linear</b>	20,7	22,1	21,2	22,4	22,6	25,0	22,6	23,5	25,2	23,3	24,6	26,3
<b>n</b>	31	28	33	20	32	11	37	33	45	15	23	10

Tabelle 9.154: Mittelwerte des Fettanteils (%) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	20,4	18,4	18,7	24,0	20,3	25,7	9,3	12,1	13,3	16,3	18,6	18,2
<b>n</b>	14	14	11	8	4	3	16	16	9	5	9	5
<b>asymptotisch</b>	18,5	21,0	18,8	23,4	27,7	30,0	10,1	11,3	15,5	15,9	19,8	22,0
<b>n</b>	27	26	14	11	3	1	21	20	13	14	6	1
<b>linear</b>	17,8	19,2	18,4	23,6	24,3	27,3	10,6	9,8	14,3	16,2	18,3	21,1
<b>n</b>	31	26	33	20	32	11	37	28	43	15	23	10

Tabelle 9.155: Mittelwerte des Trainingsstunden pro Woche differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Geschlecht

	Frauen			Männer		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
Trainingsjahre	6,7 n = 42	8,1 n = 57	7,5 n = 130	8,4 n = 47	8,2 n = 65	8,7 n = 175
Stunden/Woche	10,0 n = 42	9,6 n = 54	9,4 n = 89	12,7 n = 45	10,7 n = 57	10,8 n = 131

Tabelle 9.156: Mittelwerte des Trainingsstunden pro Woche differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs und Art der Belastung

	Rad			Lauf		
	levelling off	asymptotisch	linear	levelling off	asymptotisch	linear
Trainingsjahre	8,1 n = 44	8,2 n = 63	8,1 n = 145	7,2 n = 45	8,1 n = 57	8,2 n = 114
Stunden/Woche	9,7 n = 39	10,0 n = 54	9,8 n = 107	12,8 n = 48	10,3 n = 76	10,7 n = 144

Tabelle 9.157: Mittelwerte des Trainingsstunden pro Woche differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	11,4	13,2	5,4 <sup>a</sup>	8,2	-	3,0	9,4	15,9	8,9	17,7	20,2	5,5
n	15	14	11	8	0	3	16	16	9	7	9	5
asymptotisch	9,2	9,9	11,9 <sup>a</sup>	7,3	3,0	-	12,2	13,9	7,4 <sup>b</sup>	6,4	3,0	-
n	27	26	14	11	3	0	21	22	16	16	6	0
linear	9,8	9,9	8,2	7,7	9,5	13,6	9,2	11,9	12,6 <sup>b</sup>	11,1	10,0	4,0
n	31	28	33	20	32	11	37	33	45	15	23	10

Tabellen 9.158: Mittelwerte der Trainingsjahre differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	7,1	5,9	8,6	6,4	7,7	5,0	6,5	10,0	9,3	8,6	7,7	7,8
n	15	14	11	8	4	3	16	16	9	7	9	5
asymptotisch	9,1	8,7	7,3	3,2	11,0	9,0	6,2	10,2	10,3	8,6	3,8	1,0
n	27	26	14	11	3	1	21	22	16	16	6	1
linear	9,2	8,7	7,7	6,3	5,9	6,0	6,5	9,2	9,7	9,0	10,3	8,5
n	31	28	33	20	32	11	37	33	45	15	23	10

Tabelle 9.159: Mittelwerte der Herzfrequenzen an der fixen aeroben Schwelle (Schläge/min) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	148 <sup>a</sup>	147	144	127	136	115	137	148	126	138	108	107
<b>nn</b>	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
<b>asymptotisch</b>	134 <sup>a</sup>	139	134	119	129	124	140	140	134	135	114	136
<b>n</b>	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
<b>linear</b>	146	142	142	127	123	113	138	139	130	130	120	108
<b>n</b>	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.160: Mittelwerte der Herzfrequenzen an der fixen aeroben Schwelle (Schläge/min) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	152	152	145	148	158	-	170	143	148	137	150 <sup>c</sup>	154
<b>n</b>	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
<b>asymptotisch</b>	170	161	140	153	128	-	158	148	152	139	122	-
<b>n</b>	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
<b>linear</b>	165	163	149	155	145	149	160	150	138	142	126 <sup>c</sup>	127
<b>n</b>	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.161: Mittelwerte der Herzfrequenzen an der individuellen aeroben Schwelle (Schläge/min) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	133	142	130	115	131	117	127	128	114	125	103	97
<b>n</b>	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
<b>asymptotisch</b>	131	129	121	117	107	105	138	124	123	124	111	92
<b>n</b>	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
<b>linear</b>	133	132	128	120	112	106	133	127	115	120	106	100
<b>n</b>	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.162: Mittelwerte der Herzfrequenzen an der individuellen aeroben Schwelle (Schläge/min) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	155	159	159	140	127 <sup>c</sup>	-	164	138	143	124	136	143
<b>n</b>	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
<b>asymptotisch</b>	165	155	156	152	114	-	158	163	142	136	122	-
<b>n</b>	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
<b>linear</b>	161	143	147	145	153 <sup>c</sup>	144	158	141	142	133	135	143
<b>n</b>	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.163: Mittelwerte der Herzfrequenz an der fixen anaeroben Schwelle (Schläge/min) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	170	173	170	163	150	139	173	169	160	164	158	130
<b>n</b>	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
<b>asymptotisch</b>	171	166	163	147	157	102	174	169	160	162	144	165
<b>n</b>	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
<b>linear</b>	171	162	163	152	147	134	165	162	155	154	143	131
<b>n</b>	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.164: Mittelwerte der Herzfrequenz an der fixen anaeroben Schwelle (Schläge/min) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	185	184	181	172	166	-	193 <sup>c</sup>	171	181 <sup>c</sup>	147	168	158
<b>n</b>	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
<b>asymptotisch</b>	188	182	178	175	140	-	191	176	176	164	147	-
<b>n</b>	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
<b>linear</b>	185	184	172	170	162	170	183 <sup>c</sup>	173	171 <sup>c</sup>	161	154	158
<b>n</b>	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.165: Mittelwerte der Herzfrequenzen an der fixen individuellen Schwelle (Schläge/min) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	156	164	156	147	155	121	163	161	150	157	159 <sup>c</sup>	117
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	155	145	155	145	134	127	171	162	163 <sup>b</sup>	154	137	141
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	152	151	152	133	129	118	162	147	146 <sup>b</sup>	148	132 <sup>c</sup>	121
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.166: Mittelwerte der Herzfrequenzen an der fixen individuellen Schwelle (Schläge/min) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	181	182	192 <sup>c</sup>	160	158	-	191	168 <sup>a</sup>	177	155	162	154
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	187	178	178	168	132	-	190	179 <sup>a</sup>	169	159	161	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	182	181	167 <sup>c</sup>	162	160	158	184	173	168	156	152	161
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.167: Mittelwerte der maximalen relativen Leistung (W/kg) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	2,8 <sup>c</sup>	3,7	3,6	3,0	2,8	1,5	3,7	3,9	4,0	4,0	3,6	3,0
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	3,3	2,7 <sup>b</sup>	3,5	2,1	2,2	1,2	4,2	4,1	3,9	3,8	2,3	1,9
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	3,4 <sup>c</sup>	3,7 <sup>b</sup>	3,3	2,5	2,3	1,8	3,7	3,6	3,6	3,7	3,0	2,5
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.168: Mittelwerte der maximalen relativen Leistung (W/kg) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	3,2 <sup>c</sup>	3,3	3,0	3,3	3,1	-	4,1	3,8 <sup>c</sup>	3,8	3,5	3,2	3,2
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	3,4	3,4	2,9	2,9 <sup>b</sup>	3,2	-	3,7	4,0 <sup>b,c</sup>	3,9	3,5	3,3	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	3,6 <sup>c</sup>	3,2	3,3	3,2 <sup>b</sup>	3,0	2,7	4,0	4,2 <sup>b</sup>	3,8	3,7	3,5	3,2
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.169: Mittelwerte der Leistungswerte an der fixen aeroben Schwelle (Watt/kg) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	1,5	1,6	2,1	1,7	1,2	0,8	1,7	2,3	2,0	2,2	1,7	1,6
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	1,4	1,4	1,7	0,9 <sup>b</sup>	1,4	1,0	2,1	2,4	1,8	2,0	1,0	1,3
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	1,7	2,0	2,0	1,4 <sup>b</sup>	1,2	1,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,7	1,2
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.170: Mittelwerte der Leistungswerte an der fixen aeroben Schwelle (Watt/kg) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	1,9 <sup>c</sup>	2,0	1,6 <sup>c</sup>	2,3	2,7	-	2,8	2,5	2,5	2,2	2,4	2,9
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	2,1	2,3	1,4 <sup>b</sup>	1,9	2,3	-	2,3	2,4 <sup>b</sup>	2,6	2,4	1,6	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	2,3 <sup>c</sup>	2,0	2,6 <sup>b,c</sup>	2,4	1,8	2,1	2,5	2,8 <sup>b</sup>	2,3	2,6	2,0	1,7
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.171: Mittelwerte der Leistungswerte an der individuellen aeroben Schwelle (Watt/ kg) der Fahrrad-ergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	1,1	1,5	1,6	1,4	1,1	0,9	1,5	1,7	1,6	1,8	1,3	1,4
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	1,5	1,2	1,4	0,9	1,0	0,6	2,0	1,7	1,6	1,7	1,0	0,6
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	1,4	1,6	1,5	1,1	1,0	0,8	1,8	1,5	1,5	1,6	1,3	1,1
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.172: Mittelwerte der Leistungswerte an der individuellen aeroben Schwelle (Watt/kg) der Laufband-ergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	2,0	2,2	1,8	2,1	2,1	-	2,7	2,4	2,4	1,8	2,1	2,6
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	2,1	2,1	1,8	1,9	2,0	-	2,0	2,3 <sup>b</sup>	2,3	2,2	1,6	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	2,2	2,1	2,2	2,2	2,0	2,0	2,4	2,6 <sup>b</sup>	2,4	2,4	2,2	2,1
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.173: Mittelwerte der Leistungswerte an der fixen anaeroben Schwelle (Watt/kg) der Fahrrad-ergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	2,1	2,4	2,8	2,4	1,7	1,2	2,6	2,9	2,9	3,0	2,7	2,3
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	2,1	2,0	2,5	1,6	2,0	0,6	3,1	2,9	2,6	2,8	1,8	1,7
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	2,4	2,7	2,6	2,0	1,8	1,5	2,8	2,7	2,7	2,7	2,3	1,9
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.174: Mittelwerte der Leistungswerte an der fixen anaeroben Schwelle (Watt/kg) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	2,6	2,7	2,3	2,7	3,0	-	3,5	3,2	3,2	2,4	2,9	3,2
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	2,8	2,8	2,3	2,5	2,7	-	2,7	3,1	3,2	3,0	2,2	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	3,0	2,7	2,8	2,8	2,4	2,4	3,3	3,5	3,1	3,2	2,8	2,1
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.175: Mittelwerte der Leistungswerte an der individuellen anaeroben Schwelle (Watt/kg) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	1,6	2,1	2,3	2,0	1,8	1,0	2,4	2,7	2,6	2,7	2,7	1,9
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	1,9	1,6	2,2	1,5	1,5	1,0	2,9	2,8	2,7	2,6	1,6	1,4
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	1,9	2,3	2,3	1,6	1,4	1,1	2,7	2,5	2,5	2,5	2,0	1,7
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.176: Mittelwerte der Leistungswerte an der individuellen anaeroben Schwelle (Watt/kg) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	2,6 <sup>c</sup>	2,6	2,3	2,5	2,7	-	3,5	3,1	3,1	2,6	2,6	3,4
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	2,7	2,7	2,2	2,3	2,5	-	2,7	3,2	3,0	2,9	2,6	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	2,6 <sup>c</sup>	2,5	2,7	2,7	2,3	2,2	3,2	3,4	3,0	3,0	2,7	2,6
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2



Tabelle 9.177: Mittelwerte der relativen PWC130-Werte (Watt/kg) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	1,2	1,2	1,7	1,7	1,5	1,2	1,5	1,8	1,9	1,9	2,0	2,5
n	4	4	7	5	1	3	9	5	4	5	3	3
asymptotisch	1,3	1,3	1,6	1,1	1,5	1,1	1,6	1,9	1,9	1,8	0,9 <sup>b</sup>	1,2
n	7	8	10	6	2	1	13	11	8	10	2	1
linear	1,3	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0	1,9 <sup>b</sup>	1,8
n	17	12	19	20	23	10	18	10	25	14	19	7

Tabelle 9.178: Mittelwerte der relativen PWC130-Werte (Watt/kg) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	2,0	1,7	-	2,1	2,2	-	2,0	2,4	2,1	2,6	1,9	2,3
n	3	4	0	1	2	0	3	7	5	1	2	1
asymptotisch	1,7	1,9	1,6	1,6	2,4	-	2,1	2,3	2,3	2,1	1,8	-
n	3	8	1	2	1	0	3	6	6	4	3	0
linear	1,8	1,7	2,0	2,1	1,9	1,7	2,3	2,4	2,2	2,4	2,1	2,1
n	5	4	7	9	3	2	5	15	13	10	4	1

Tabelle 9.179: Mittelwerte der relativen PWC150-Werte (Watt/kg) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	1,6	1,7	2,1	2,1	1,6	1,0	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	3,3
n	7	4	9	5	2	1	9	5	4	5	3	3
asymptotisch	1,9	1,6	2,1	1,6	1,8	-	2,3	2,5	2,2	2,3	1,6 <sup>b</sup>	1,5
n	9	10	11	7	2	0	14	10	8	11	2	1
linear	1,8	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7	2,2	2,2	2,5	2,4	2,5 <sup>b</sup>	2,2
n	17	13	20	20	24	8	19	12	25	14	18	5

Tabelle 9.180: Mittelwerte der relativen PWC150-Werte (Watt/kg) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	2,1	2,0	1,8	2,3	2,6	-	2,4	2,6	2,5	2,4	2,5	2,8
n	6	8	1	3	2	0	5	11	5	2	2	1
asymptotisch	1,9	2,1	1,6	2,1	3,2	-	2,3	2,5	2,6	2,6	2,3	-
n	11	13	3	3	1	0	4	10	8	5	3	0
linear	2,1	1,9	2,2	2,5	2,2	2,1	2,3	2,9	2,6	2,9	2,7	2,2
n	10	11	13	13	5	2	14	19	20	12	3	2

Tabelle 9.181: Mittelwerte der relativen PWC170-Werte (W/kg) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	1,8	2,4	2,7	2,3	1,9	-	2,5	2,8	3,1	2,5	2,7	-
n	5	4	9	3	1	0	9	5	4	5	2	0
asymptotisch	2,3	2,1 <sup>b</sup>	2,6	2,1	-	-	2,9	3,0	2,9	3,1	2,3	1,8
n	9	10	11	4	0	0	14	10	8	10	2	1
linear	2,3	2,9 <sup>b</sup>	2,8	2,3	2,5	-	2,8	2,8	3,1	3,1	3,2	2,4
n	17	10	19	12	11	0	19	11	24	11	11	3

Tabelle 9.182: Mittelwerte der relativen PWC170-Werte (W/kg) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	2,2	2,3	1,9	2,7	2,7	-	2,8	3,1	3,0	3,0	3,0	-
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	0
asymptotisch	2,3	2,5	2,0	2,1	-	-	2,4	2,9	3,1	3,2	2,9	-
n	17	16	3	3	0	0	7	11	8	4	3	0
linear	2,4	2,3	2,7	2,9	2,3	2,5	2,8	3,4	3,1	3,3	3,4	2,9
n	14	13	12	14	5	2	18	21	20	11	3	2

Tabelle 9.183: Mittelwerte des Maximallaktats (mmol/l) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	8,8 <sup>a</sup>	11,7	9,4	8,4	10,8 <sup>c</sup>	6,4	11,1	12,0	12,8	11,8	8,7	9,3
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	11,8 <sup>a</sup>	9,0 <sup>b</sup>	10,4	7,6	5,5	5,5	12,0	11,6	11,9	11,3	7,3	6,2
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	9,9	11,4 <sup>b</sup>	9,4	8,0	7,9 <sup>c</sup>	6,3	10,5	9,9	11,1	11,4	9,8	9,1
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.184: Mittelwerte des Maximallaktats (mmol/l) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	10,0	10,5	10,3	10,9	4,8	-	7,6 <sup>c</sup>	11,1	10,2	13,6 <sup>c</sup>	8,3	4,7
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	10,3	9,8	9,9	9,2	9,5	-	9,7	11,3	10,9	9,4	11,9	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	9,7	10,1	8,1	8,1	9,0	7,5	10,5 <sup>c</sup>	10,7	10,9	9,9 <sup>c</sup>	11,1	10,7
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.185: Mittelwerte des Borgwertes der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	17,3	17,5	16,6	17,4 <sup>c</sup>	16,0	15,3	16,7	16,4	16,3	18,0	16,0	17,3
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	16,9	16,6	17,1	17,3	14,5	15,0	17,1	17,1	17,6	17,6	17,3	17,0
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	16,2	17,3	17,0	16,0 <sup>c</sup>	15,8	16,2	17,7	16,8	16,8	17,1	16,2	16,9
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.186: Mittelwerte des Borgwertes der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	16,0	16,4	17,5	16,3	17,0	-	16,7	17,4 <sup>a</sup>	17,4	16,5	17,5	14,0
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	16,4	16,1	17,0	17,3 <sup>b</sup>	15,0	-	15,3	15,9 <sup>a</sup>	17,0	17,0	15,3	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	16,3	16,3	16,1	15,3 <sup>b</sup>	15,3	16,0	16,8	17,5	17,0	16,2	17,0	16,0
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.187: Mittelwerte der Dauer (min) der Fahrradergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	13,6	20,8	17,0	20,4 <sup>a</sup>	17,0	10,3	19,4	24,4	27,0	17,8	16,0	22,3
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	14,9	15,1	16,3	12,4 <sup>a</sup>	15,5	10,0	25,4	22,2	24,1	20,8	16,7	18,0
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	15,8	16,6	16,8	15,3	13,6	13,9	22,4	24,1	19,9	21,2	19,3	16,1
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.188: Mittelwerte der Dauer (min) der Laufbandergometrie differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	15,3	14,5	13,0	13,3	13,0	-	17,3	16,3	17,0	16,5	14,0	14,0
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	15,1	17,4	13,3	12,3	13,0	-	15,6	16,6	17,4	14,0	14,3	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	15,4	14,9	14,8	14,3	11,7	13,5	17,4	19,3	16,3	15,4	14,0	13,0
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.189: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz (Schläge/min) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	71	67	59	57	59	77	62	58	58	57	52	56
<b>n</b>	15	14	11	8	4	3	16	16	9	7	5	5
<b>asymptotisch</b>	65	67	63	67	57	62	63	59	56	58	54	53
<b>n</b>	27	26	14	11	3	1	21	22	16	15	6	1
<b>linear</b>	63	61	60	64	63	66	63	60	57	59	59	61
<b>n</b>	31	29	33	36	32	14	37	32	45	27	23	10

Tabelle 9.190: Mittelwerte der systolischen Blutdruckes im Liegen (mmHg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	121	126	118	131	124	137	126	139	131	133	135	136
<b>n</b>	14	14	11	8	4	3	16	16	9	5	9	5
<b>asymptotisch</b>	124 <sup>b</sup>	121	124	128	128	140	128	133	134	129	133	145
<b>n</b>	27	26	14	11	3	1	21	20	13	14	6	1
<b>linear</b>	120 <sup>b</sup>	120	122	126	135	150	131	134	133	137	135	145
<b>n</b>	31	26	33	20	32	11	37	28	43	15	23	10

Tabelle 9.191: Mittelwerte der diastolischen Blutdruckes im Liegen (mmHg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
<b>levelling off</b>	77	83 <sup>a</sup>	78	82	74	78	83	86	84	80	83	79
<b>n</b>	14	14	11	8	4	3	16	16	9	5	9	5
<b>asymptotisch</b>	78	76 <sup>a</sup>	77	81	70	75	81	82	83	82	83	80
<b>n</b>	27	26	14	11	3	1	21	20	13	14	6	1
<b>linear</b>	78	79	79	80	81	84	81	83	86	85	83	80
<b>n</b>	31	26	33	20	32	11	37	28	43	15	23	10

Tabelle 9.192: Mittelwerte der systolischen Blutdruckes bei 100 Watt Belastung der Fahrradergometrie (mmHg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	158	149	156 <sup>a</sup>	163	168	160	159	173	155	163	173	164 <sup>c</sup>
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	161	154	160 <sup>a,b</sup>	163	160	-	157	170	160	169	172	165
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	149	151	145 <sup>b</sup>	165	177	191	165	164	167	160	170	180 <sup>c</sup>
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.193: Mittelwerte der diastolischen Blutdruckes bei 100 Watt Fahrradbelastung (mmHg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	83 <sup>a,c</sup>	79	80	92 <sup>a,c</sup>	80	70	76	91	87	81	93	83
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	74 <sup>a</sup>	75	79	80 <sup>a</sup>	83	-	79	84	85	84	97	75
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	71 <sup>c</sup>	74	78	79 <sup>c</sup>	87	79	83	84	89	88	85	78
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.194: Mittelwerte des systolischen Blutdruckes (mmHg) eine Minute nach Fahrradbelastung differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

Alter/Verlauf	Frauen						Männer					
	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	146	143	154	167	145	150	152	163 <sup>c</sup>	174	174	188	153
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	142	150	152	160	160	170	167	160	158 <sup>b</sup>	161	173 <sup>b</sup>	180
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	154	150	144	161	166	188	172	157 <sup>c</sup>	179 <sup>b</sup>	177	178 <sup>b</sup>	202
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.195: Mittelwerte des systolischen Blutdruckwertes (mmHg) eine Minute nach Laufbandbelastung differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	147 <sup>c</sup>	162	165	188	153	-	179	200 <sup>a</sup>	175	195	173	180
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	155	164	167	175	190	-	160	173 <sup>a,b</sup>	191	186	165 <sup>b</sup>	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	174 <sup>c</sup>	173	175	185	179	193	176	198 <sup>b</sup>	201	207	195 <sup>b</sup>	210
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

Tabelle 9.196: Mittelwerte des diastolischen Blutdruckes eine Minute nach Fahrradbelastung (mmHg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	71	66	78	88	80	78	66	72	71	76	90	70 <sup>c</sup>
n	7	4	9	5	2	3	9	5	4	5	3	4
asymptotisch	69	73	75	76	78	80	62 <sup>b</sup>	71	72	75	93	70
n	9	10	11	7	2	1	14	11	8	11	3	1
linear	64	73	70	74	82	81	70 <sup>b</sup>	67	79	75	76	78 <sup>c</sup>
n	17	14	20	20	25	12	19	12	25	15	19	8

Tabelle 9.197: Mittelwerte des diastolischen Blutdruckes eine Minute nach der Laufbandbelastung (mmHg) differenziert nach Typ des Herzfrequenzverlaufs, Alter und Geschlecht

	Frauen						Männer					
Alter/Verlauf	11-21	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	> 60
levelling off	73	72	88	87	78	-	74	74 <sup>a</sup>	76	63 <sup>c</sup>	75	90
n	8	10	2	3	2	0	7	11	5	2	2	1
asymptotisch	72	76	67	89	80	-	74	63 <sup>a</sup>	78	86	80	-
n	18	16	3	4	1	0	7	11	8	5	3	0
linear	74	72	79	82	76	80	66	76 <sup>b</sup>	77	86 <sup>c</sup>	83	85
n	14	15	13	16	7	2	18	21	20	12	4	2

## 10. Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
ACE	Angiotensin Converting Enzym
AS	Aerobe Schwelle
ANS	Anaerobe Schwelle
ATP	Adenosintriphosphat
AV	Atrioventrikulär
BAL	Bundesausschuss Leistungssport
BW	Körpergewicht in kg
BMI	Body Mass Index
Bradyk.	Bradykardie
BSG1	Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit nach 1 Std
bzw.	Beziehungsweise
C	Celsius
Ca <sup>2+</sup>	Calzium
cAMP	cyclo Adenosinmonophosphat
ccm	Kubikzentimeter
cm	Zentimeter
C O <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CK	Creatinkinase
Delta Hfmax	Hfmax berechnet – Hfmax gem
Delta Hfmax lin	Hfmax berechnet – Hfmax linear
d. h.	das heißt
Diab.	Diabetes
dl	Deziliter
Dysp.	Dyspnoe
EKG	Elektrokardiogramm
Erk.	Erkrankung
Ermüd.	Ermüdung
Erys	Erythrozyten
et al.	et alteri
Fett	Prozentualer Körperfettanteil
Fettant.	Prozentualer Körperfettanteil
g	Gramm
G	Steigung in Prozent
Gluk	Blutglukosewert
H <sup>+</sup>	Wasserstoff
HAP	Herzfrequenzabknickpunkt
Hb	Hämoglobinwert



Herzvol	Herzvolumen
HfAS	Herzfrequenz an der AS
HfANS	Herzfrequenz an der ANS
HfIAS	Herzfrequenz an der IAS
HfIANS	Herzfrequenz an der IANS
HfLin	Maximale lineare Herzfrequenz
Hfmax	Maximale gemessene Herzfrequenz
Hfmax be(rechnet)	Berechnete maximale Herzfrequenz
Hfmax gem	Maximale im Stufentest gemessene Herzfrequenz
Hfmax linear	Maximaler Herzfrequenzwert bis zu dem die Herzfrequenz linear verläuft
HfRu	Ruheherzfrequenz
Hkt	Hämatokrit
HSA	Harnsäure
Hyperchol.	Hypercholesterinämie
IAS	Individuelle aerobe Schwelle
IANS	Individuelle anaerobe Schwelle
IHR	Intrinsische Herzfrequenz
K <sup>+</sup>	Kalium
Kader	Kaderathlet
Kard.	Kardial(e)
Kardiomyopat.	Kardiomyopathie
KG	Körpergewicht in Kilogramm
KHK	Koronare Herzkrankheit
Kg/m <sup>2</sup>	Kilogramm pro Quadratmeter
Km/h	Kilometer pro Stunde
Kraft	Kraftsportart
l	Liter
LaMax	Maximaler Laktatwert während des Belastungstests
LaIAS	Laktatwert an der IAS
LaIANS	Laktatwert an der IANS
Lauf	Laufbandergometrie
LBM	Lean Body Mass
LLS	Laktatleistungskurve
m	Meter
Med.	Medikament(e)
min	Minute(n)
ml	Milliliter
Mittel	Mittelstrecke
ml/l	Milliliter pro Liter
ml/min	Milliliter pro Minute
mm	Quadratmeter

mmHg	Millimeter Wassersäule
n	Anzahl
µl	Mikroliter
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
o. A.	ohne Angabe
o. g.	oben genannt
p	Signifikanz der Mittelwertsunterschiede nach der Einteilung von Renner
Paroxys.	Paroxysmal
peri.	peripher
PWC	Physical Working Capacity
PWC130	Physical Working Capacity bei einer Herzfrequenz von 130 Schlägen/Minute
PWC150	Physical Working Capacity bei einer Herzfrequenz von 150 Schlägen/Minute
PWC170	Physical Working Capacity bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen/Minute
PWC130kg	Physical Working Capacity bei einer Herzfrequenz von 130 Schlägen/Minute pro KG
PWC150kg	Physical Working Capacity bei einer Herzfrequenz von 150 Schlägen/Minute pro KG
PWC170kg	Physical Working Capacity bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen/Minute pro KG
r	Korrelationskoeffizient
Rad	Fahrradergometrie
RDLieg(e)	Diastolischer Blutdruckwert im Liegen
RDSitz	Diastolischer Blutdruckwert im Sitzen
RD50	Diastolischer Blutdruckwert bei 50 Watt Belastung
RD100	Diastolischer Blutdruckwert bei 100 Watt Belastung
RD150	Diastolischer Blutdruckwert bei 150 Watt Belastung
RD+1	Diastolischer Blutdruckwert 1 Min nach Belastung
rel.	relativ
RSLieg(e)	Systolischer Blutdruckwert im Liegen
RSSitz	Systolischer Blutdruckwert im Sitzen
RS50	Systolischer Blutdruckwert bei 50 Watt Belastung
RS100	Systolischer Blutdruckwert bei 100 Watt Belastung
RS150	Systolischer Blutdruckwert bei 150 Watt Belastung
RS+1	Systolischer Blutdruckwert 1 Min nach Belastung
s	Sekunde
Schl/min	Schläge/Minute
sek.	Sekunde
Spiel	Spielsportart

Standardaw.	Standardabweichung
StdWo	Anzahl der Trainingsstunden pro Woche
Tab.	Tabelle
Tabb.	Tabellen
Tech.	Technisch(e)
TraJa	Anzahl der Trainingsjahre
Trig	Triglyzeridwert
TU	Technische Universität
U/l	Aktivität pro Liter
u.a.	unter anderem
u.U.	unter Umständen
vgl.	vergleiche
V	Geschwindigkeit
V.	Vena
v. a.	vor allem
VO <sub>2</sub> max	Maximale Sauerstoffaufnahme
W	Watt
W/kg	Watt pro Kilogramm
WANS	Leistung in Watt an der ANS
WANSkg	Leistung in Watt an der ANS pro KG
WAS	Leistung in Watt an der AS
WASkg	Leistung in Watt an der AS pro KG
WIAS	Leistung in Watt an der IAS
WIASkg	Leistung in Watt an der IAS pro KG
WIANS	Leistung in Watt an der IANS
WIANSkg	Leistung in Watt an der ANS pro KG
WMax	Maximale Leistung in Watt
WMaxkg	Maximale Leistung in Watt pro KG
γ-GT	Gammaglutamyltransferase
z. B.	zum Beispiel
Z. n.	Zustand nach
ZNS	Zentrales Nervensystem
z. T.	zum Teil

## **11. Lebenslauf**

### **Corinna Michaela Kälberer**

Geburtsdatum: 11.09.77  
Geburtsort: München  
Familienstand: ledig  
Staatsangehörigkeit: deutsch

#### **Schulbildung**

1984 – 1988 Grundschule Stephanskirchen  
1988 – 1997 Ignaz-Günther-Gymnasium Rosenheim

#### **Studium**

1997 - 2005 Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians Universität München  
09/1998 Physikum  
08/1999 1. Staatsexamen  
08/2000 2. Staatsexamen  
10/2004 3. Staatsexamen

#### **Famulaturen**

03/2000 Hämatologie, Medizinische Klinik Innenstadt, München  
09/2000 Kardiologie, Gemeinschaftspraxis Dr. Renner, Dr. Busch und Dr. Nisenbaum, München  
08/2001 Unfallchirurgie, Klinikum Rosenheim, Rosenheim  
09/2001 Internistische Sportmedizin, Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin, München

#### **Praktisches Jahr**

04/03 – 08/03 Innere Medizin, Städtisches Krankenhaus München-Harlaching  
08/03 – 11/03 Allgemein- und Unfallchirurgie, Klinikum Rosenheim  
12/03 – 03/04 Dermatologie, Universitätsspital Zürich, Schweiz

#### **Beruflicher Werdegang**

Seit 01/05 Assistenzärztin der Inneren Medizin am Kreiskrankenhaus Eggenfelden

## **12. Danksagung**

Ich möchte mich als erstes bei Herrn Prof. Dr. D. Jeschke bedanken, der es mir ermöglicht hat eine Doktorarbeit in der präventiven und rehabilitativen Sportmedizin zu schreiben. In der Zusammenarbeit mit ihm habe ich die gesamte Zeit seine Begeisterung für die präventive und rehabilitative Sportmedizin spüren dürfen und wurde davon angesteckt- dafür möchte ich mich bedanken.

Ein weitere großer Dank gilt Herr Dr. R. Lorenz, der mich in all die „geheimen“ computer-gestützten Analysetechniken, die man für eine Doktorarbeit braucht, eingeführt hat und mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Des weiteren möchte ich mich beim ganzen Team der „Poliklinik für präventive und rehabilitative Sportmedizin“ bedanken, die mir jederzeit weiterhalfen. Insbesondere gilt mein Dank Frau Stehbeck.

Frau Dr. G. Schubert-Fritschle vom IBE am Klinikum Großhadern möchte ich ebenfalls für ihre unermüdliche Beratung danken.

Darüber hinaus möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mich während der ganzen Zeit unterstützt haben.

Mein weiterer Dank gilt Frau Dr. H. Kaupp, die mir als Ökotrophologin mit einigen Formeln weiterhelfen konnte.

Als letztes möchte ich Herrn Dr. N. Jordan danken, ohne den es meine Doktorarbeit nur in handschriftlicher Form gäbe.