

Aus dem Med. Zentrum für Methodenwissenschaften und  
Gesundheitsforschung der Philipps-Universität Marburg  
Abteilung für Allgemeinmedizin, Rehabilitative und Präventive Medizin  
Leiterin: Prof. Dr. med. Erika Baum

**Die Auswirkungen dynamischen Krafttrainings nach dem Nautilus-Prinzip  
auf kardiozirkulatorische Parameter und Ausdauerleistungsfähigkeit**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin  
dem Fachbereich Humanmedizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von  
Nader Amirfallah  
aus Dortmund

Marburg 2003

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin der Philipps-Universität  
Marburg am 11. Dezember 2003

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. B. Maisch  
Referent: Prof. Dr. E. Baum  
Korreferent: Prof. Dr. W. Grimm

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG</b>	<b>4</b>
1.1	Bewegungsmangel als Ursache chronischer Erkrankungen	4
1.2	Möglichkeit der Primär- und Sekundärprävention durch körperliche Aktivität	5
1.3	<b>Krafttraining</b>	<b>6</b>
1.3.1	Ziele des Krafttrainings	6
1.3.2	Physikalische und mechanische Aspekte des Krafttrainings	6
1.3.3	Formen des Krafttrainings	7
1.3.4	Krafttraining nach dem Nautilus-Prinzip	9
1.4	<b>Ausdauertraining</b>	<b>15</b>
1.4.1	Arten der Ausdauer	15
1.4.2	Ausdauersportarten	17
1.4.3	Adapatationseffekte des Ausdauertrainings in verschiedenen Organsystemen	18
1.5	<b>Hintergrund und Zielsetzung der Studie</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODE</b>	<b>23</b>
2.1	<b>Probandenauswahl</b>	<b>23</b>
2.2	<b>Absolvierung des Trainings</b>	<b>24</b>
2.2.1	Trainingsstätte	24
2.2.2	Trainingsgeräte	24
2.2.3	Trainingsrichtlinien	24
2.3	<b>Durchführung der Untersuchungen</b>	<b>26</b>
2.3.1	Untersuchungsbedingungen	26
2.3.2	Fahrradergometrie	26
2.3.3	Bestimmung der Laktatkonzentration	28
2.4	<b>Datenauswertung</b>	<b>28</b>
2.4.1	Erhobene Daten	28

2.4.2	Aufgabenstellung	30
2.4.3	Statistische Verfahren	30
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Charakterisierung des Probandenkollektivs</b>	<b>32</b>
3.1.1	Geschlecht	32
3.1.2	Alter	32
3.1.3	Körpergröße	33
3.1.4	Körpergewicht	33
3.1.5	Anamnestische Sportkarenz	33
<b>3.2</b>	<b>Absolvierung des Trainings</b>	<b>34</b>
3.2.1	Gesamtkollektiv	34
3.2.2	Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden	36
<b>3.3</b>	<b>Einfluß des Trainings auf das Körpergewicht</b>	<b>37</b>
3.3.1	Gesamtkollektiv	37
3.3.2	Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden	38
<b>3.4</b>	<b>Kardiozirkulatorische Parameter</b>	<b>40</b>
3.4.1	Gesamtkollektiv	40
3.4.2	Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden	44
<b>3.5</b>	<b>Ausdauerleistungsfähigkeit</b>	<b>56</b>
3.5.1	Gesamtkollektiv	56
3.5.2	Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden	57
<b>3.6</b>	<b>Laktatkonzentration</b>	<b>59</b>
3.6.1	Gesamtkollektiv	59
3.6.2	Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden	61
<b>3.7</b>	<b>Untersuchung verschiedener Einflußfaktoren auf die Zunahme der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>72</b>
<b>4.1</b>	<b>Methodenkritik</b>	<b>72</b>
4.1.1	Setting	72

4.1.2.	Angewandte Methoden	73
<b>4.2</b>	<b>Aktueller Kenntnisstand in der Literatur zu den Auswirkungen des Nautilus-Trainings</b>	<b>76</b>
<b>4.3</b>	<b>Interpretation der eigenen Ergebnisse</b>	<b>81</b>
4.3.1	Durchführbarkeit und Akzeptanz des Trainings	81
4.3.2	Auswirkung des Nautilus-Trainings auf die untersuchten Parameter	82
4.3.3	Einflußfaktoren auf die Zunahme der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit	85
4.3.4	Vergleich des Nautilus-Trainings mit anderen Trainingsformen	86
<b>4.4</b>	<b>Schlußfolgerungen und Ausblick</b>	<b>88</b>
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG: INFORMATIONSMATERIAL FÜR DIE PROBANDEN</b>	<b>104</b>
<b>8</b>	<b>VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER</b>	<b>109</b>
<b>9</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>111</b>

# 1 Einleitung und Zielsetzung

## 1.1 Bewegungsmangel als Ursache chronischer Erkrankungen

Bewegungsmangel ist in den Industriestaaten als Folge der zunehmenden Technisierung und Automatisierung weit verbreitet. Die damit einhergehende Reduktion der kardiovaskulären, pulmonalen und muskulären Beanspruchung stellt eine der Hauptursachen für die Entstehung von chronischen Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, des Stoffwechsels und des Bewegungsapparates dar (*Deutscher Verband für Gesundheitssport und Sporttherapie, 1989; Isreal, 1989; Lagerström, 1994*).

Erkrankungen aus diesen drei Bereichen sind die weitaus häufigste Ursache für eine Arbeitsunfähigkeit, wobei die Krankheitsbilder des Bewegungsapparates dabei zur Zeit an erster Stelle stehen. Zweithäufigste Ursache einer Arbeitsunfähigkeit stellen Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems dar, die zugleich die Haupttodesursache in der Bevölkerung der Industriestaaten sind (*Raspe und Kohlmann, 1993*). Die dadurch entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten belaufen sich auf durchschnittlich etwa 800 DM pro Arbeitsunfähigkeitstag (*Salowsky, 1991*).

Die körperlichen Folgen des Bewegungsmangels treten im allgemeinen schleichend und mit einer Latenz von mehreren Jahrzehnten auf, weshalb sie für den Patienten meist lange Zeit nicht spürbar sind (*Hollmann, 1983*):

- Verminderung der kardiopulmonalen Kapazität, insbesondere
  - Abnahme der maximalen Sauerstoff-Aufnahme
  - Abnahme der aerob-anaeroben Schwelle
  - Verringerung des Herzvolumens
  - Verringerung des Schlagvolumens
- Abnahme des Plasmavolumens
- orthostatische Kreislauf-Regulationsstörungen

- Anstieg der Ruhepulsfrequenz, Abnahme der Diastolenzeit mit erhöhtem O<sub>2</sub>-Bedarf des Myokards
- Störung metabolischer und regulatorischer Mechanismen
- Abnahme des Kalzium-Gehalts im Knochensystem.

## **1.2 Möglichkeit der Primär- und Sekundärprävention durch körperliche Aktivität**

Regelmäßige körperliche Bewegung kann die Kapazität des kardiovaskulären Systems vergrößern und die Risikofaktoren für koronare Herzkrankheit vermindern (*Roskamm et al., 1965; Hollmann, 1991; Shephard et al., 1999*). Hierbei wurde insbesondere ein positiver Einfluß auf Störungen des Lipidstoffwechsels nachgewiesen (*Shephard et al., 1980; Berg et al., 1988; Berg et al., 1991*), ebenso kann körperliche Aktivität Diabetes (*Richter et al., 1992; Wasserman und Zinman, 1995; Borhouts und Keizer, 2000*), Übergewicht (*Wood et al., 1991; Blair, 1993; Ross et al., 2000*) und Hypertonie (*Paffenbarger et al., 1983; Blair et al., 1984; Dunn et al., 2000*) entgegenwirken

In den letzten drei Jahrzehnten konnte in einer Vielzahl von Studien die Möglichkeit der primären Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (*Brunner et al., 1974; Paffenbarger und Hale, 1975; Paffenbarger et al., 1978; Magnus et al., 1979; Morris et al., 1980; Paffenbarger et al., 1986; Leon et al., 1987; Ekelund et al., 1988; Blair et al., 1995; Manson et al., 1999; Lee et al., 2000; Sesso et al., 2000; Stampfer et al., 2000; Lee et al., 2001*) sowie von Erkrankungen des zerebrovaskulären Systems (*Hu et al., 2000*) durch regelmäßige Bewegung nachgewiesen werden .

Ebenso konnte eine Zunahme der körperlichen Belastbarkeit von gesunden, untrainierten Personen durch gezieltes Training belegt werden (*Hollmann et al., 1964; Hollmann, 1983; Howald, 1985, Berg et al., 1986; American College of Sports Medicine, 1990; Hollmann und Gytfas, 1994*), wobei als die klassischen

Sportarten in diesem Zusammenhang Laufen, Schwimmen und Radfahren in ihren unterschiedlichsten Ausprägungen zu nennen sind.

Ein Nachteil dieses rein kardiopulmonalen Trainings ist allerdings die fehlende muskuläre Stabilisierung. Die Förderung der Muskelkraft ist aber gerade bei Berufstätigen in Ausübung einer sitzenden Tätigkeit durchaus wünschenswert und auch präventivmedizinisch von gesteigertem Interesse (*Hollmann, 1987; Darden, 1990; Einsingbach, 1990*).

Hier setzt die Bedeutung des Krafttrainings ein, mit dem sich die Muskulatur gezielt stärken und straffen lässt, weshalb eine Synthese aus Ausdauer- und Krafttraining die ideale Trainingsform darstellen würde.

### **1.3 Krafttraining**

#### **1.3.1 Ziele des Krafttrainings**

Bei akuten und chronischen Beschwerden des Bewegungsapparates sind häufig Defizite an Muskelkraft bzw. Dysbalancen des Kräfteverhältnisses von Agonist und Antagonist ursächlich. Ziele des Krafttrainings sind daher (*Horn, 1998*):

- optimales Muskelgleichgewicht zwischen Agonist und Antagonist
- Verbesserung der statischen und dynamischen Kraftentwicklung
- ausreichende Stabilisierung des Rumpfes und der Extremitätengelenke (Schutz vor Verletzungen und Überlastungen)
- Bewältigung der Anforderungen an die Muskulatur im alltäglichen Bewegungsverhalten, bei der Arbeit und im Sport.

#### **1.3.2 Physikalische und mechanische Aspekte des Krafttrainings**

Die Muskulatur ist ein kontraktiles Organ, das die Bewegungen von Körperteilen gegeneinander ermöglicht. Diese Bewegungen vollziehen sich



grundsätzlich um Gelenke, d.h. um Drehpunkte bzw. Achsen. Für die Realisierung von Kraft ist diese Tatsache von entscheidender Bedeutung, da durch die Rotation von Körperteilen und Gelenken laufend veränderte Drehmomente bzw. Hebelverhältnisse entstehen, die von der Muskulatur eine fortwährende Anpassung an die Kraftanforderungen verlangen. Dabei ist es wichtig, wo am Hebelarm, d.h. wie weit entfernt vom Drehpunkt, und unter welchem Winkel die Muskeln ansetzen. Beispielsweise ist das Drehmoment bei einer Armbeuge mit einer Last im Stehen bei hängendem Arm null, steigt auf ein Maximum bei 90°-Flexion an und nimmt dann bis zum Ende der Bewegung wieder ab. Demzufolge paßt sich die Muskulatur den aus den steigenden und sinkenden Drehmomenten resultierenden Kraftanforderungen an. Aus diesem Grund bestehen erhebliche Schwierigkeiten, einen Muskel durch ein Krafttraining mit einfachen Trainingsmitteln wie Hanteln in allen Bereichen gleichmäßig zu trainieren, zumal beim Krafttraining mit einer bestimmten Last die optimale Spannung des Muskels nicht über den gesamten Bewegungsablauf aufrechterhalten werden kann (*Radlinger et al., 1998*).

### 1.3.3 Formen des Krafttrainings

Ausschlaggebend für die Kraft eines Muskels ist die Größe des Muskelquerschnitts, wobei der Muskel sich durch Zu- oder Abnahme dieses Querschnitts den an ihn gestellten Anforderungen anpaßt. Beim gezielten Krafttraining kommt es durch eine Wiederholung starker Reize zu einer Querschnittsvergrößerung, die sowohl auf einer Zunahme des Umfangs der einzelnen Muskelfasern als auch auf einer Vermehrung von kontraktilen Elementen innerhalb des Muskels beruht (*Stegemann, 1991; Horn, 1998*). Die durch das Krafttraining gesetzten Reize können unterschiedlicher Natur sein, wonach folgende Formen des Krafttrainings unterschieden werden:

#### 1.3.3.1 Statisches (isometrisches) Krafttraining

Beim statischen Krafttraining findet die Kontraktion gegen einen unbeweglichen Widerstand statt. Die Länge des Muskels bleibt während der Kontraktion gleich, der Trainingseffekt wird durch Spannungsaufbau bei der Haltearbeit gegen den Widerstand erreicht. Vorteile des statischen Krafttrainings sind die gute

Dosierbarkeit des Widerstands, die gezielte Anwendbarkeit für einzelne Muskelgruppen sowie die Möglichkeit, das Training frühzeitig nach Verletzungen oder Operationen durchzuführen, um Atrophien vorzubeugen. Einen Nachteil stellt dagegen die fehlende Trainingswirkung auf Beweglichkeit, Schnellkraft und intermuskuläre Koordination dar (*Hollmann, 1987; Horn, 1998*).

#### 1.3.3.2 Dynamisches (isotonisches) Krafttraining

Während der Kontraktion kommt es bei gleichbleibender Spannung zu einer Verkürzung (konzentrische Kontraktion) oder Verlängerung (exzentrische Kontraktion) der Muskelfasern. Das dynamische Krafttraining ermöglicht ein physiologisches Training komplexer Bewegungsabläufe, wobei durch verschiedene variable Parameter der Trainingsreiz verändert werden kann. Jedoch besteht ein höheres Risiko von Überlastungen und Verletzungen als beim statischen Krafttraining, zudem ist die Übungsgestaltung aufwendiger (*Hollmann, 1987; Horn, 1998*).

#### 1.3.3.3 Isokinetisches Krafttraining

Beim isokinetischen Krafttraining handelt es sich um eine Sonderform des dynamischen Krafttrainings, bei der sich an speziellen Geräten der Widerstand der jeweiligen Kraftentfaltung des Muskels in jeder Gelenkstellung anpaßt. Lediglich die Geschwindigkeit der Bewegung ist vorgegeben (*Hollmann, 1987; Horn, 1998*).

Eine Möglichkeit, die verschiedenen Nachteile der oben genannten Trainingsformen auszugleichen, stellt das Training nach dem Nautilus-Prinzip dar, das Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war und in Punkt 1.3.4 ausführlich beschrieben werden soll.

### 1.3.4 Krafttraining nach dem Nautilus-Prinzip

#### 1.3.4.1 Entwicklung und Verbreitung des Nautilus-Trainings

Im Jahr 1970 wurde von Arthur Jones nach einer 20jährigen Experimentierphase das erste auf dem Nautilus-Prinzip basierende Trainingsgerät gebaut und auf den Markt gebracht. Da die in das Gerät eingebauten Exzenter in ihrer Form an eine Nautilus-Muschel erinnerten, wählte Jones für seine ein Jahr später gegründete Firma den Namen „Nautilus Sports/Medical Industries“. Die sog. Nautilus-Geräte haben im Bereich des Bodybuildings schnelle Verbreitung gefunden, nachdem 1971 ein 19jähriger nach sechsmonatigem Training an Nautilus-Geräten unter Anleitung von Arthur Jones den „Mr. America“-Wettbewerb gewonnen hatte. Auch Football-Trainer wurden auf die Nautilus-Geräte aufmerksam, mit der Folge, daß diese inzwischen zum Konditionstraining fast aller Mannschaften der ersten amerikanischen Football-Liga eingesetzt werden. Ebenso fand das Nautilus-Training Eingang in die Trainingsprogramme anderer Sportarten, wie Basketball, Hockey, Baseball oder Schwimmen. Ende 1990 wurde international in 9000 Fitness-Studios mit Nautilus-Geräten trainiert, darüberhinaus kommen sie heutzutage auch in sportmedizinischen Kliniken und Rehabilitationszentren zur Anwendung (*Darden, 1990*).

#### 1.3.4.2 Grundprinzip des Nautilus-Trainings

Arthur Jones entdeckte, daß eine Übung zur Muskelbelastung über den gesamten Bewegungsradius folgende Voraussetzungen erfüllen muß (*Darden, 1990*):

➤ Anpassung des Widerstands an die Gelenkstellung:

Wie in Punkt 1.3.2. beschrieben entstehen durch Rotationen von Körperteilen und Gelenken laufend veränderte Drehmomente bzw. Hebelverhältnisse, die eine Anpassung der Muskulatur an die Kraftanforderungen verlangen. Um eine Belastung des Muskels über den gesamten Bewegungsablauf zu erreichen, muß die durch die Muskelkontraktion bewegte Gliedmaße um eine gemeinsame Achse mit der Widerstandsquelle rotieren, was durch die Nautilus-Geräte ermöglicht wird.

➤ Individuelle Widerstände für verschiedene Muskelgruppen:

Es reicht allerdings nicht aus, daß sich der Widerstand automatisch der jeweiligen Phase des Bewegungsablaufs anpaßt. Zusätzlich wird daher durch individuelle Gestaltung des Exzenters auch der unterschiedlichen Leistungsfähigkeit verschiedener Muskelgruppen Rechnung getragen.

➤ Direkter Widerstand:

Nautilus-Geräte ermöglichen es, daß der Widerstand direkt am zu trainierenden Körperteil ansetzt. Beispielsweise stellt bei konventionellen Übungen zum Training der Oberkörpermuskulatur die geringere Leistungsfähigkeit der Unterarme und Hände den limitierenden Faktor dar, was bei Nautilus-Geräten dadurch umgangen wird, daß der Widerstand direkt an den Oberarmen ansetzt.

➤ Widerstand auch bei vollständiger Muskelkontraktion:

Eine vollständige Muskelkontraktion ist in der Position zu beobachten, in der eine weitere Bewegung nicht mehr möglich ist. Dieser Zustand wird weder bei isokinetischen Übungen noch bei den meisten Hantelübungen, aber im Training mit Nautilus-Geräten erreicht.

➤ uneingeschränkte Bewegungsgeschwindigkeit:

Bei der Durchführung der Übungen sollte keine Einschränkung der Bewegungsgeschwindigkeit bestehen. Dies ist beim normalen Hanteltraining und beim Training an Nautilus-Geräten der Fall, während diese Forderung vom isokinetischen Krafttraining nicht erfüllt wird.

➤ Kombination aus positiver und negativer Arbeit:

Einige Übungsformen, zum Beispiel das Gewichtheben, erfordern ausschließlich positive Arbeit, die durch konzentrische Kontraktion des Muskels entsteht. Dies ist auch beim isokinetischen Krafttraining der Fall. Bei exzentrischer, d.h. Bremsbelastung können jedoch höhere Kraftmaxima erzielt werden als bei konzentrischer Belastung, weshalb auch häufiger Überlastungen incl. Muskelkater auftreten (*Komi, 1975; Hollmann, 1987; Güllich und Schmidbleicher, 1999*). Negative Arbeit ist nur möglich, wenn eine Kraft vorhanden ist, die der durch die Muskelkontraktion hervorgerufenen Bewegung entgegengerichtet ist. Dies ist beim Training mit Nautilus-Geräten in den negativen Phasen der jeweiligen Übungen gegeben (*Darden, 1990*).

➤ Vordehnung des Muskels:

Ohne diesen Gegendruck werden auch verschiedene andere Anforderungen an eine effektive Übung nicht erfüllt, die einer Steigerung der Flexibilität dienen. So zum Beispiel werden die Gelenke vor der Bewegung nicht in eine gestreckte Position gebracht, die Muskeln werden nicht vorgedehnt. Isokinetisches Krafttraining fördert also im Gegensatz zum Nautilus-Training weder die Beweglichkeit noch kann auf diese Weise eine hohe Intensität der Muskelkontraktion erreicht werden, da diese eine Vordehnung erfordert.

Eine Belastung über den gesamten Bewegungsablauf kann nur vorliegen, wenn diese zehn Forderungen erfüllt sind. Durch Hanteltraining und das konventionelle Krafttraining sind meist nur folgende Anforderungen erfüllt: uneingeschränkte Bewegungsgeschwindigkeit, Kombination aus positiver und negativer Arbeit und Vordehnung des Muskels. Isokinetisches Krafttraining erfüllt nur die Anforderung der positiven Arbeit (*Darden, 1990*).

#### 1.3.4.3 Funktionsweise des Exzenters

Die im Rahmen der vorliegenden Studie zur Absolvierung des Krafttrainings eingesetzten Nautilus-Geräte ermöglichen aufgrund eines eingebauten Exzenters eine effektive Belastung des Muskels über den gesamten Bewegungsradius, die auch individuell an die Kraftkurve der verschiedenen Muskelgruppen angepaßt ist.

Je größer die zu erwartende Kraft, umso größer wird der Radius des Exzenters gestaltet. Auf diese Weise nimmt der Hebel zu, so daß dem Körper automatisch ein größeres Drehmoment bzw. ein höherer Widerstand entgegengesetzt wird. Ebenso nimmt der Radius bei zu erwartender geringerer Muskelkraft wieder ab und hat einen reduzierten Widerstand zur Folge. Hierbei handelt es sich um die Funktionsweise eines positiven Exzenters. Darüberhinaus kommen auch negative Exzenter zum Einsatz, bei denen ein geringerer Radius eine Zunahme des Widerstands bedingt.

Bei der Bestimmung der Kraftkurve des Muskels müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden:

- die Spannung bzw. Länge des Muskels
- das Ausmaß überlappender muskulärer Einflüsse in verschiedenen Positionen des Bewegungsablaufs
- der Insertionswinkel des Muskels
- die Veränderung der Hebelverhältnisse im Körper.

Im Nautilus-Gerät wird diesen Faktoren Rechnung getragen durch:

- die Größe und Form des Exzentrers
- die Form des ersten gegenläufigen Zahnrades
- den Winkel zwischen der Exzenterachse und der Achse des ersten Zahnrades
- den Abstand zwischen der Exzenterachse und der Achse des ersten Zahnrades.

Bei der Ermittlung der Widerstandskurve muß prinzipiell wird zwischen einfachen und zusammengesetzten Bewegungen unterschieden werden. Einfache Bewegungen an Nautilus-Geräten bestehen in der Rotation um ein Gelenk, z.B. bei der Bein- oder Trizepsextension. Zusammengesetzte Bewegungen basieren auf der Rotation um zwei oder mehr Gelenke.

Während bei einfachen Bewegungen die Kraft der Muskulatur innerhalb des Bewegungsablaufs etwa um 40 bis 50 % schwankt, sind die Abweichungen bei zusammengesetzten Bewegungen deutlich höher. Die Hauptursache für die Schwankung der Kraft bei einfachen Bewegungen sind die variierenden Insertionswinkel der beteiligten Muskulatur. Mit Nautilus-Geräten kann dies vollständig ausgeglichen werden und ermöglicht so eine effektive Belastung des Muskels über den gesamten Bewegungsablauf.

Dagegen stellt bei zusammengesetzten Bewegungen die unterschiedliche Länge der beteiligten Knochen die Hauptursache für die deutlich größeren Schwankungen dar. Hier ist eine optimale Anpassung an die mögliche Kraftkurve nicht möglich, da sich der Widerstand des Nautilus-Gerätes an der Belastbarkeit der Knochen orientieren muß (*Darden, 1990*).

#### 1.3.4.4 Trainingsprinzipien

Das Nautilus-Training basiert auf folgenden Trainingsprinzipien (*Darden, 1990*):

➤ Intensität:

Je größer die Intensität des Trainings, umso mehr werden die Muskeln stimuliert. Aus diesem Grund muß die Übung an einem Nautilus-Gerät bis zum momentanen Versagen des Muskels durchgeführt werden, da nur die letzten Wiederholungen der Übungen von hoher Intensität sind und somit zum Kraftaufbau beitragen.

➤ Richtige Ausführung der Übung:

Zur Erzielung eines maximalen Trainingseffekts ist die richtige Ausführung der Übungen von Bedeutung. Die Bewegungen sollen langsam und mit konstanter Geschwindigkeit über den gesamten Bewegungsablauf ausgeführt werden. Der komplette Bewegungsradius des Muskels muß ausgeschöpft werden.

➤ Betonung des exzentrischen Anteils der Bewegung:

Durch Betonung des exzentrischen Anteils der Bewegung werden die besten Trainingsergebnisse erzielt. Wenn 2 Sekunden auf das Anheben des Gewichtes verwendet werden, sollen 4 Sekunden auf das Absenken entfallen. Ein ausschließlich auf negativer Arbeit basierendes Nautilus-Training stellt die effektivste Form des Trainings dar, jedoch ist man dabei stets auf die Mithilfe einer zweiten Person angewiesen, die den positiven Anteil der Bewegung übernimmt.

➤ Kontinuierliche Steigerung:

In jeder Trainingseinheit sollte versucht werden, entweder eine zusätzliche Wiederholung der Übung zu erreichen oder den Widerstand zu erhöhen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß eine Übung 8- bis 12mal wiederholt werden sollte. Wird diese Anzahl unter- bzw. überschritten, ist der Widerstand zu hoch bzw. zu niedrig.

➤ Dauer des Trainings:

Wenn das Nautilus-Training mit hoher Intensität durchgeführt wird, muß die Trainingseinheit zeitlich begrenzt sein. Zwischen den Trainingseinheiten müssen adäquate Erholungsphasen gewährleistet sein, um dem Körper den

Aufbau von Muskelmasse zu ermöglichen. Es sollten 12 verschiedene Nautilus-Übungen pro Trainingseinheit durchgeführt werden, wobei 4-6 Übungen den Unterkörper und 6-8 Übungen den Oberkörper trainieren sollten. Pro Übung sollten 10 Wiederholungen in einer Minute durchgeführt werden.

#### 1.3.4.5 Wissenschaftlich belegte Effekte des Nautilus-Trainings an Gesunden

Die Effekte des Nautilus-Trainings an gesunden Probanden verschiedener Altersgruppen wurden im Rahmen einiger Studien erforscht. Dabei sind die Auswirkungen auf Körpergewicht, Körperfettanteil, Muskelkraft, maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ), Herzfrequenz und Blutdruck, Lipid- und Glukosestoffwechsel untersucht worden (*Hurley et al., 1984; van Dam et al., 1988; Craig et al., 1989; Hagberg et al., 1989; Sparling et al., 1990; Blumenthal et al., 1991; Cononie et al., 1991; Katz und Wilson, 1992; Hersey et al., 1994*).

Ein positiver Einfluß des Nautilus-Trainings auf die Ausdauerleistungsfähigkeit konnte bisher nicht nachgewiesen werden, wobei die maximale Sauerstoffaufnahme als Beurteilungsgröße herangezogen wurde (*Hurley et al., 1984; Craig et al., 1989; Hagberg et al., 1989; Blumenthal et al., 1991; Cononie et al., 1991; Hersey et al., 1994*), auf deren Bedeutung als Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit im Diskussionsteil näher eingegangen werden soll. Ebenso werden an dieser Stelle die Ergebnisse der zitierten Studien ausführlich dargestellt.



## 1.4 Ausdauertraining

### 1.4.1 Arten der Ausdauer

Zur Unterscheidung der Ausdauerarten bieten sich drei verschiedene Gliederungsansätze an: hinsichtlich des Anteils der beteiligten Muskulatur (lokale und allgemeine Ausdauer), hinsichtlich der muskulären Energiebereitstellung (aerobe und anaerobe Ausdauer) und hinsichtlich der Manifestation der Muskelarbeit (statische und dynamische Ausdauer).

#### 1.4.1.1 Lokale und allgemeine Ausdauer

Die Differenzierung zwischen lokaler und allgemeiner Ausdauer bezieht sich auf den Anteil der eingesetzten Muskulatur. Unter lokaler Ausdauer versteht man die Beteiligung von weniger als 1/6 der Gesamtmuskulatur, was ungefähr der Muskelmasse eines Beines entspricht. Nach *Hollmann und Hettinger (1980)* ist in dieser Größenordnung die Leistungsfähigkeit eines gesunden kardiopulmonalen Systems nicht von Bedeutung. Die allgemeine Ausdauer ist hingegen definiert als Ausdauerleistungsfähigkeit unter Einsatz von über 1/6 der gesamten Skelettmuskulatur, die insbesondere durch die Kapazität des Herz-Kreislauf-, Atmungs- und Stoffwechselsystems limitiert ist (*Gollner, 1991; Radlinger et al., 1998*).

#### 1.4.1.2 Aerobe und anaerobe Ausdauer

Die Unterscheidung in aerobe und anaerobe Ausdauer bezieht sich auf die Art der muskulären Energiebereitstellung, wobei beide Formen meist in einer Mischform auftreten.

Von aerober Ausdauer spricht man, wenn für die Energiebereitstellung genügend Sauerstoff zur Verfügung steht. Die oxidative Verbrennung von Glykogen und freien Fettsäuren gewinnt ab einer Belastungsdauer von einer Minute an Bedeutung. Als ein Kriterium der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit gilt die maximale Sauerstoffaufnahme, die anzeigt, wieviel

Energie über einen Zeitraum von einigen Minuten aerob aufgewandt werden kann (*Hollmann und Hettinger, 1980*).

Ist bei einer aeroben Ausdauerbelastung ein Fließgleichgewicht von Energieverbrauch und Energiebedarf gegeben, spricht man von einem „steady-state“. Zu Beginn einer aeroben Belastung entsteht eine Sauerstoffschuld, die aus einer verzögerten Anpassung des Herz-Kreislauf-Systems und der metabolischen Prozesse resultiert. Das Sauerstoffdefizit wird dann am Ende der Belastung durch eine Sauerstoffmehraufnahme wieder kompensiert.

Bei der anaeroben Ausdauer wird aufgrund der hohen Belastungsintensität die Energie anoxidativ bereitgestellt, da lokal zu wenig Sauerstoff für die Verbrennung vorhanden ist bzw. durch die Mitochondrien umgesetzt werden kann. Dies ist bei Ausdauerübungen bis zu einem zeitlichen Umfang von ca. einer Minute besonders ausgeprägt. Zur Energiegewinnung werden zuerst die Adenosontriphosphat- und die Kreatinphosphatspeicher entleert. Bei anaeroben Belastungen über 25 Sekunden setzt die anaerobe Glykolyse ein, bei der als Endprodukt das Laktat entsteht (*Gollner, 1991*).

Der Laktatwert, der meist über das hyperämisierte Ohrläppchen gemessen wird, steht in direktem Verhältnis zur Belastungsintensität, d.h. je höher der belastungsintensive Anteil an einer Ausdauerbelastung, umso höher ist der Laktatwert. Der Trainingseffekt des aeroben Ausdauertrainings zeigt sich somit in der Bewältigung hoher Belastungsintensitäten über einen längeren Zeitraum ohne wesentlichen Anstieg des Laktats. Laktatwerte bis zu 2 mmol/l stellen die Grenze für eine rein aerobe Energiebereitstellung dar und können über die Muskulatur sofort abgebaut werden. Jenseits der aeroben Schwelle tritt das Laktat ins Blut über, wobei sich im aerob-anaeroben Übergangsbereich Laktatbildung und Laktatabbau im Gleichgewicht befinden. Die obere Grenze dieses Laktatgleichgewichtes wird mit der anaeroben Schwelle bei 4 mmol/l erreicht. Nur bei besonderer Veranlagung oder spezifischem anaerobem Ausdauertraining kann auch bei höheren Laktatwerten ein metabolisches Gleichgewicht aufrechterhalten werden (*Keul et al., 1979, Heck und Roskopf, 1993*).

Als äußerst wirksam für die Ausdauerentwicklung hat sich das Training im Bereich des aerob-anaeroben Überganges erwiesen, wobei vor allem die

Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems auf das Training in diesem Bereich sehr effizient sind (*Gollner, 1991*).

#### 1.4.1.3 Statische und dynamische Ausdauer

Die Unterteilung nach statischen und dynamischen Ausdauerformen bezieht sich auf die Arbeitsweise der Skelettmuskulatur, wobei hier jeweils zusätzlich zwischen allgemeiner und lokaler sowie zwischen aerober und anaerober Ausdauer unterschieden werden kann. Durch die Wirkung der Muskelpumpe erfolgt die Energiebereitstellung bei dynamischer Arbeitsweise in höherem Ausmaß aerob, während die Energiebereitstellung bei statischer Ausdauerarbeit von der isometrischen Muskelanspannung abhängig ist und im Bereich über 50 % der Maximalspannung rein anaerob abläuft (*Gollner, 1991*).

#### 1.4.2 Ausdauersportarten

Unter Ausdauersportarten versteht man Betätigungsformen, bei denen aufgrund ihrer Qualität und ihrer Dauer das kardiopulmonale System zum leistungsbegrenzenden Faktor wird. Optimal sind dabei solche Sportarten, die mit einem Minimum an zeitlichem und organischem Belastungsaufwand ein Maximum an gesundheitlich wünschenswerten Adaptationen ergeben. Bei einer möglichst großen Sauerstoffaufnahme pro Minute soll also ein möglichst geringes Produkt von Schlagfrequenz und systolischem Druck bei gleichzeitig möglichst geringer Laktatproduktion vorliegen (*Hollmann, 1988*).

Folgende Sportarten erfüllen diese Anforderungen in der genannten Rangfolge: langsamer Dauerlauf, Radfahren, Skilanglaufen, Bergaufgehen, Schwimmen, Ballspiele (wie Tennis, Hockey, Fußball, Handball, Basketball), Rudern, Kanu.

Bei einem optimalen Ausdauertraining soll die Pulsfrequenz bei gesunden Probanden nach der Faustregel „180 minus Lebensalter in Jahren“ errechnet werden, die Belastungsdauer zwischen 30 und 40 Minuten liegen und 3-4mal wöchentlich trainiert werden (*Hollmann, 1988*).

### 1.4.3 Adaptationseffekte des Ausdauertrainings in verschiedenen Organ-systemen

Nach einem Zeitraum von 2 bis 8 Wochen stellen sich die ersten Adaptationsprozesse als Folge eines systematisch betriebenen aeroben dynamischen Trainings ein (*Gollner, 1991*), die verschiedene Organsysteme betreffen.

#### 1.4.3.1 Herz

Ausdauertraining führt einerseits zu einer Ökonomisierung der Herzarbeit, die auf einer Erhöhung des Vagotonus, auf einer Senkung des Ruhe- und Arbeitspulses und auf einer Verminderung des Sauerstoffbedarfs des Herzmuskels beruht. Andererseits kommt es zu einer Leistungserhöhung der Herzarbeit durch eine Größenzunahme des Herzens und einer Vergrößerung des Schlag- und Herzminutenvolumens in Ruhe und Belastung, woraus eine erhöhte Sauerstoffaufnahmefähigkeit resultiert. Bei Höchstleistungen kann je nach Trainingszustand, Trainingsart und Körpergewicht das Herzminutenvolumen von ca. 15-20 l/min bei Untrainierten auf 25-35 l/min bei Trainierten gesteigert werden. Ein gut ausdauertrainiertes Herz zeichnet sich darüberhinaus vor allem durch die Fähigkeit aus, auch während der Leistung große Mengen von Laktat zu oxidieren und dabei Energie zu gewinnen. Das Herz sorgt also dafür, daß das bei anaerober Arbeit in den Skelettmuskeln gebildete Laktat während der Arbeit verbraucht wird, damit das Säure-Basen-Gleichgewicht des Blutes nicht zu stark belastet wird. Das ausdauertrainierte Herz weist eine erhöhte Zahl und Größe der Mitochondrien gegenüber dem Untrainierten auf (*Gollner, 1991; Stegemann, 1991; Hollmann und Hettinger, 2000*).

#### 1.4.3.2 Gefäßsystem

Ein Adaptationseffekt des Ausdauertrainings beruht in der Steigerung der Stoffwechseltransportkapazität durch Kapillarneubildungen, Vergrößerung des Kapillarquerschnitts und Öffnung von Ruhekapillaren, woraus eine vermehrte Nährstoffversorgung und ein stärkerer Abtransport von Stoffwechselschlacken resultiert. Darüberhinaus kommt es zur Ausbildung von Kollateralen, zur

Steigerung der Durchblutungseffizienz in Ruhe und während körperlicher Belastung, zu einer Vergrößerung der venösen Kapazität sowie zu einer Erniedrigung des arteriellen Blutdrucks. Letztere basiert auf einer Erhöhung des Vagotonus, auf einer Blutumverteilung in der Muskulatur und auf einer Erhöhung der Elastizität der Blutgefäße (*Gollner, 1991; Stegemann, 1991; Hollmann und Hettinger, 2000*)

#### 1.4.3.3 Blut

Die Adaptation durch Ausdauertraining führt zu einer Erhöhung des Gesamtblutvolumens um ca. 1 bis 2 Liter, wobei sich das Plasmavolumen um etwa 2/3 und die Anzahl der Erythrozyten um etwa 1/3 erhöht. Diese Blutvolumenvermehrung ist verbunden mit einer Erhöhung der Sauerstofftransportkapazität des Blutes, einer Verbesserung der Thermoregulation, Erhöhung der Infektionsabwehr, Verbesserung der Pufferkapazität des Blutes und Erhöhung der Fibrinolyse (*Gollner, 1991; Stegemann, 1991; Hollmann und Hettinger, 2000*).

#### 1.4.3.4 Atmungssystem

Ausdauertraining bewirkt eine Ökonomisierung der Atmung und eine Vergrößerung der Atmungsreserven. Diese Effekte sind auf eine Vergrößerung der Respirationsfläche, eine Verbesserung des Atemäquivalents, eine Erweiterung des Lungenkapillarnetzes sowie der Lungenarterien und -venen zurückzuführen (*Gollner, 1991; Hollmann und Hettinger, 2000*).

#### 1.4.3.5 Neurohormonelles System

Auch in Bezug auf das vegetative Nervensystem und die hormonelle Steuerung führt Ausdauertraining zu verschiedenen Anpassungserscheinungen. Die wichtigsten Adaptationen des Nervensystems sind eine sichere und schnellere Einstellung des Sympathikotonus sowie das Überwiegen des Vagotonus, was auch die Senkung der Ruheherzfrequenz bewirkt. Diese kann bei Untrainierten bei etwa 70-80 min<sup>-1</sup> und bei ausdauertrainierten Hochleistungssportlern bei 35

min<sup>-1</sup> liegen. Der arterielle Ruheblutdruck ist dagegen bei Trainierten und Untrainierten etwa gleich groß. Auch das Atemzentrum wird durch Ausdauertraining beeinflusst, wobei Hochtrainierte in der Regel eine reduzierte Antwort der Ventilation auf den gleichen alveolären CO<sub>2</sub>-Druck zeigen. Die Adaptation des hormonellen Systems zeigt sich nicht nur in einer Funktionsverbesserung, einer erhöhten Ökonomie und einer erweiterten Reaktionslage, sondern auch in einer echten Vergrößerung der hormonproduzierenden Drüsen (*Gollner, 1991; Stegemann, 1991*).

#### 1.4.3.6 Skelettmuskulatur

Folgende Adaptationen der Skelettmuskulatur sind zu beobachten: eine erhöhte Kapillarisation und Erschließung von arteriovenösen Anastomosen, Vermehrung der Mitochondrien, in denen Enzyme des aeroben Stoffwechsels gespeichert sind, Steigerung des Myoglobingehalts bis zu 100 %, Anstieg des Muskelglykogens für den aeroben und anaeroben Stoffwechsel, Ökonomisierung der Bewegung durch Verbesserung der inter- und intramuskulären Koordination sowie spezielle Anpassungsreaktionen der Muskelfasertypen (*Gollner, 1991; Haas, 2001*). Bei letzteren kann prinzipiell zwischen „schnellen“ (phasischen, weißen) Muskelfasern und „langsamen“ (tonischen, roten) Muskelfasern unterschieden werden (*Horn, 1998*). Beim Menschen findet sich diese Differenzierung innerhalb eines Muskels, d.h. häufig liegen rote und weiße Muskelfasern benachbart. Dabei ist bei den schnellen Fasern die glykolytische Aktivität, d.h. die Fähigkeit auf anaerobem Weg Energie bereitzustellen, wesentlich größer. Dagegen sind die langsamen Fasern besonders geeignet, oxidative Energie bereitzustellen, was sich in der wesentlich höheren Enzymaktivität für den Zitratzyklus und die Atmungskette zeigt. Zudem ist ihre Fähigkeit besonders ausgeprägt, Fettsäuren zur Energiebereitstellung heranzuziehen, was besonders bei langandauernder Bewegung wichtig ist. Während bei denervierten Muskeln eine Zunahme der weißen und ein Rückgang der roten Muskelfasern zu beobachten ist, werden durch Ausdauertraining weiße Muskelfasern in rote umgewandelt. Zudem wird die oxidative Kapazität der Muskeln durch Erhöhung der Mitochondrienzahl gesteigert (*Stegemann, 1991; Güllich und Schmidtbleicher, 1999*).

#### 1.4.3.7 Passiver Bewegungsapparat

Ausdauertraining bewirkt funktionell-strukturelle Adaptationserscheinungen an Knochen, Knorpelgewebe, Sehnen und Bändern zur Stärkung des passiven Bewegungsapparates, die aber aufgrund des bradytrophen Stoffwechsels einen längeren Anpassungszeitraum in Anspruch nehmen. Im Knochengewebe kommt es zur Knochenhypertrophie (*Gollner, 1991*).

#### 1.4.3.8 Wirkung auf das Säure-Basen-Gleichgewicht und den Mineralhaushalt

Der partiell anaerob arbeitende Muskel gibt ständig Laktat und damit  $H^+$ -Ionen an das venöse Blut ab, was die Pufferfähigkeit des Blutes und damit den Mineralhaushalt in Anspruch nimmt. Der Einfluß körperlicher Belastung auf das Säure-Basen-Gleichgewicht hängt bei Ausdauertrainierten und Untrainierten davon ab, wie weit die aktuelle Leistung oberhalb der individuellen Dauerleistungsgrenze liegt. Es gibt verschiedene Mechanismen, die die auftretenden  $H^+$ -Ionen teils über die im Blut vorhandenen Puffersubstanzen, teils über die Atmung durch vermehrte Kohlendioxidabgabe kompensieren können. Bei großer Belastung benötigt die Atemarbeit schon einen erheblichen Anteil des Gesamtsauerstoffverbrauchs. Muß zudem eine metabolische Azidose kompensiert werden, wird der Kreislauf zusätzlich durch den Antransport von Sauerstoff an die Atemmuskulatur belastet. Dieser Anteil fehlt dann bei der Durchblutung und setzt folglich die Dauerleistungsgrenze des Muskels herab. Bei Ausdauertrainierten ist eine Rechtsverschiebung der  $O_2$ -Bindungskurve zu beobachten. Dies führt zu einem höheren  $O_2$ -Druck im Gewebe bei gleicher Sättigung, was für die Sauerstoffversorgung der Mitochondrien bei hohem Umsatz von Bedeutung ist. Zudem sind erhebliche Unterschiede zwischen Trainierten und Untrainierten hinsichtlich der Elektrolytkonzentrationen im femoralvenösen Blut nachweisbar. Dies ist jedoch auf die osmotisch bedingte Verminderung des zirkulierenden Blutvolumens und die daraus resultierende stärkere Konzentration seiner Bestandteile zurückzuführen (*Stegemann, 1991*).

## 1.5 Hintergrund und Zielsetzung der Studie

Das Training mit Gewichten im Sinne eines definierten Widerstandes hat in den letzten fünfzig Jahren einen starken Aufschwung erlebt und wird aufgrund seiner positiven Effekte auf Muskelkraft und Fitness sowie seiner Eignung zur Prävention und Rehabilitation orthopädischer Erkrankungen empfohlen (*Atha, 1981; Pollock et al., 1994; American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation, 1995; Fleck und Kraemer, 1997; American College of Sports Medicine, 1998; Feigenbaum und Pollock, 1999*).

Die bisher üblichen Trainingsformen in der Ausübung des klassischen Satztrainings mit Regenerationspausen von mehreren Minuten zwischen den einzelnen Trainingseinheiten konnten keine wesentliche Veränderung der aeroben Ausdauer bewirken. Es gibt allerdings Hinweise, daß mit speziellen Formen des dynamischen Krafttrainings eine Steigerung der aeroben Leistungsfähigkeit um bis zu 30 % erreicht werden kann (*Darden, 1990*).

Eine entsprechende Trainingsform sollte dynamische Komponenten des konventionellen Krafttrainings mit aeroben Aspekten verbinden. Weiterhin ist es wichtig, das Training mit möglichst geringem Zeitaufwand durchführen zu können, um aus oben genannten Gründen eine hohe Kontinuität mit einer geringen Abbrecherquote zu verbinden. Als unabdingbare Voraussetzung ist – gerade bei Untrainierten – eine Trainingsform zu wählen, die ein minimales Verletzungsrisiko bei größtmöglicher Trainingsintensität bietet (*Pförringer et al., 1985; Biener, 1992; Hollmann, 1996*).

Vor diesem Hintergrund war es einerseits Ziel der vorliegenden prospektiven Studie, die Auswirkungen eines sechsmonatigen dynamischen Krafttrainings an Nautilus-Geräten auf kardiozirkulatorische Parameter (Pulsfrequenz und Blutdruck in Ruhe und Belastung) und die mittels Fahrradergometrie bestimmte Ausdauerleistungsfähigkeit an gesunden Probanden zu untersuchen. Ergänzend wurde eine Messung des Laktatwertes vorgenommen. Andererseits sollte geklärt werden, inwieweit die Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit von verschiedenen probanden- und trainingsbezogenen Ausgangsbedingungen abhängig ist.



## **2 Material und Methode**

### **2.1 Probandenauswahl**

Der Probandenauswahl wurden folgende Kriterien zugrundegelegt:

- Alter:  
20 bis 45 Jahre
- Normalgewicht:  
Broca-Index 90-110 %
- Sportkarenz:  
Keine kreislaufrelevante sportliche Betätigung über einen Zeitraum von 18 Monaten vor Untersuchungsbeginn
- Gesundheitszustand:  
Keine trainingseinschränkenden kardiopulmonalen oder orthopädischen Vorerkrankungen.

Von 186 befragten Probanden hatten 76 Interesse, an der Studie teilzunehmen. Zur Ermittlung des Broca-Index wurde die Größe der Probanden mit einem handelsüblichen Maßband, das Gewicht mit einer geeichten mechanischen Waage bestimmt.

34 Probanden erfüllten schließlich die oben genannten Kriterien und nahmen im Zeitraum zwischen 1994 und 1996 an der Studie teil.

Drei Probanden beendeten das Training wegen ihres Wegzuges aus Marburg vorzeitig. Ausfälle durch Verletzung, Krankheit oder sonstige Gründe gab es nicht, so daß insgesamt 31 Probanden (8 Frauen, 23 Männer) das Training über den geplanten Zeitraum durchführten und in die Studie aufgenommen wurden.

Den Probanden wurde vorab zur Aufklärung über die grundsätzlichen Zusammenhänge eine Zusammenfassung der Trainingsprinzipien (siehe Anhang) ausgehändigt, um ein möglichst einheitliches Informationsniveau im Untersuchungskollektiv zu erreichen.

## **2.2 Absolvierung des Trainings**

### **2.2.1 Trainingsstätte**

Das Training fand in einem Marburger Fitnessstudio statt, das mit entsprechenden Öffnungszeiten (Montag bis Freitag von 10 bis 21 Uhr, Samstag und Sonntag von 10 bis 18 Uhr) einen geeigneten Rahmen zur individuellen Trainingsgestaltung der Probanden bot.

Alle Probanden hatten reguläre Mitgliedsverträge mit einer Laufzeit von mindestens sechs Monaten abgeschlossen, eine Vorauswahl zur Teilnahme an der Studie erfolgte erst nach Abschluß der Mitgliedschaft. Die Teilnahme war für die Probanden mit keinerlei Vorteilen oder Veränderungen während ihres sechsmonatigen Trainings verbunden. Die Trainingskarten der Probanden wurden in keiner Weise gekennzeichnet, so daß eine Teilnahme an der Studie äußerlich nicht erkennbar war.

### **2.2.2 Trainingsgeräte**

Das Krafttraining wurde an Nautilus-Geräten ausgeführt. Alle Probanden trainierten während einer Trainingseinheit an 12 verschiedenen Geräten, wobei 3 Geräte dem Training der Beinmuskulatur und 9 Geräte dem Training von Oberkörper-, Rumpf- und Armmuskulatur dienten.

### **2.2.3**

### Trainingsrichtlinien

Alle Probanden haben während ihres sechsmonatigen Trainings eine standardisierte Abfolge, Anzahl und Art von Trainingsgeräten absolviert. Die Anzahl der Trainingseinheiten sollte bei mindestens zwei, maximal drei Trainingseinheiten pro Woche liegen, was 48 bis 72 Einheiten in sechs Monaten entspricht. Für die Dauer der einzelnen Trainingseinheiten waren etwa 30 bis 40 Minuten vorgesehen. Die Trainingsfrequenz und -dauer wurde von den Probanden selbst in einem Trainingsprotokoll dokumentiert.

Beim Training waren folgende Richtlinien zu beachten:

- Um sicherzugehen, daß der Muskel während des gesamten Bewegungsablaufs belastet wird, soll der exzentrische Teil der Bewegung etwa 3-4 Sekunden lang betont werden. In der vollen Konzentration wird der Muskel für etwa eine Sekunde maximal angespannt.
- Die Bewegung muß über den maximalen Bewegungsablauf des Muskels gehen, damit der Muskel in allen Winkelstellungen wachsen kann. Ein Abfälschen des Übungsverlaufs durch Drehen oder Verschieben des Körpers ist zu vermeiden, weil so die Belastung nicht mehr voll auf die gewünschte Muskelgruppe wirkt.
- Jeder Muskel wird nur mit 1-2 Sätzen pro Trainingseinheit trainiert.
- In jeder Trainingseinheit wird der gesamte Körper trainiert.
- Das Gewicht wird so gewählt, daß 8-12 korrekte Wiederholungen der Übung möglich sind. Sind mehr als 12 Wiederholungen möglich, wird das Gewicht in der nächsten Trainingseinheit um 5-10 pds gesteigert.
- Der Satz wird bis zum momentanen Muskelversagen ausgeführt, d.h. bis das Gewicht trotz größter Anstrengung in der positiven Phase nicht mehr bewegt werden kann.

- Um einen Muskel noch intensiver zu erschöpfen, wird er durch eine eingelenkige Übung vorermüdet und anschließend ohne Pause mit einer mehrgelenkigen Übung vollends erschöpft.
- Der volle Bewegungsradius der Nautilus-Geräte soll ausgenutzt werden, um eine gute Beweglichkeit und Dehnfähigkeit zu erreichen.
- Um die Pulsfrequenz konstant zu halten, soll der Wechsel zwischen den Geräten zügig erfolgen. Wenn ein Gerät besetzt ist, sollte deshalb die übernächste Übung vorgezogen und die versäumte anschließend nachgeholt werden.

## **2.3 Durchführung der Untersuchungen**

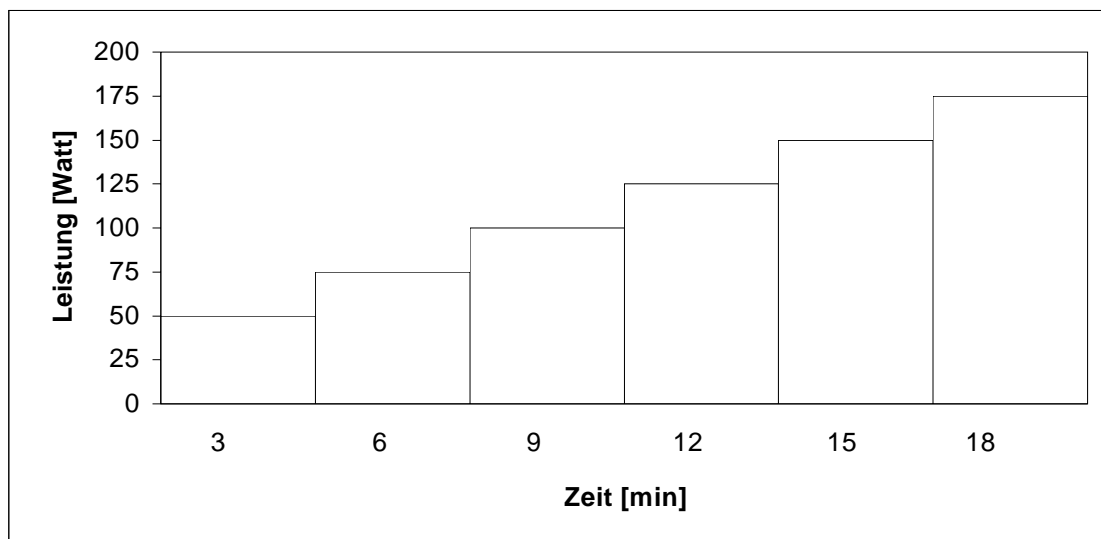
### **2.3.1 Untersuchungsbedingungen**

Vor Beginn des Trainings und nach sechs Monaten wurde bei allen Probanden eine Fahrradergometrie und eine Laktatmessung durchgeführt. Bei der Durchführung der Tests wurde darauf geachtet, daß alle Probanden mindestens 48 Stunden lang keine Trainingseinheit mehr absolviert hatten, um eine Verfälschung der Meßergebnisse durch Vorermüdung und erhöhtes Restlaktat zu minimieren. Weiterhin wurden alle Tests etwa zur selben Tageszeit (ca. 19 bis 21 Uhr) und mindestens 3 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme durchgeführt, um intraindividuellen Leistungsschwankungen durch Beeinflussung der zirkadianen Rhythmik, vermehrter gastrointestinaler Perfusion und einem verminderten Sympathikotonus entgegenzuwirken.

### **2.3.2 Fahrradergometrie**

Die Ausdauerleistungsfähigkeit wurde auf einem mechanischen Fahrradergometer (Fa. Monarc) mit standardisierten Belastungen in Watt bei einer Drehzahl von 50 U/min ermittelt. Die Fahrradergometrie begann mit einer

Leistung von 50 Watt, die in Abständen von jeweils 3 Minuten um 25 Watt gesteigert wurde (Abbildung 1). Wurde die maximale Belastungsstufe nicht für die volle Stufendauer durchgehalten, erfolgte die Berechnung der maximalen Leistungsfähigkeit zeitinterpoliert (Kindermann, 1987). Zur Berechnung der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit in Wattsekunden wurde für jede Belastungsstufe das Produkt aus Belastungsdauer in Sekunden und Leistung in Watt berechnet und die Summe der Produkte für die einzelnen Belastungsstufen ermittelt.



**Abb. 1:** Schema zur Leistungssteigerung in der Fahrradergometrie

Die Pulsfrequenz wurde mit einem Polar-Protrainer (Polar-Electro) bestimmt. Die Messung erfolgte zunächst unter Ruhebedingungen, während der Ergometrie konstant in Abständen von 60 Sekunden und nach einer dreiminütigen Erholungsphase nach Abbruch der Ergometrie.

Der Testabbruch erfolgte bei einer Pulsfrequenz von 80 %, bezogen auf die maximal erreichbare Herzfrequenz von 200 Schlägen/min abzüglich des Lebensalters (Rost und Hollmann, 1982; Kindermann, 1987; Gollner et al., 1989).

Die Blutdruckmessung wurde mittels eines NAIS-blood pressure watch durchgeführt. Der Blutdruck wurde vor Beginn der Ergometrie, bei maximaler

Belastung zum Zeitpunkt des Abbruchs sowie nach dreiminütiger Erholungsphase gemessen.

Die Bestimmung der Ruhewerte von Herzfrequenz und Blutdruck erfolgte drei Minuten nachdem die Probanden auf dem Fahrradergometer platzgenommen hatten.

### 2.3.3 Bestimmung der Laktatkonzentration

Die Stand-by-Laktatmessungen wurden mit dem ACCUSPORT-Meßgerät (Fa. Hestia, Mannheim) durchgeführt, wobei die Entnahme während der Ergometermessung aus dem Ohrläppchen erfolgte.

Die Laktatkonzentration wurde vor der Ergometrie in Ruhe sowie zum Zeitpunkt der maximalen Belastung bei Abbruch des Tests gemessen. Der Wert diente als ergänzender Parameter zur Feststellung der effektiven intraindividuellen kardiopulmonalen Belastung.

## 2.4 **Datenauswertung**

### 2.4.1 Erhobene Daten

Folgende Daten gingen in die Auswertung ein:

- Angaben zum Probandenkollektiv:
  - Geschlecht
  - Alter
  - Körpergröße
  - Körpergewicht vor Trainingsbeginn und nach sechsmonatigem Training
  - Dauer der anamnestischen Sportkarenz

- Angaben zum Training:
  - Anzahl der Trainingseinheiten
  - mittlere Dauer pro Trainingseinheit
  
- Kardiozirkulatorische Parameter:
  - Pulsfrequenz in Ruhe vor Trainingsbeginn
  - Pulsfrequenz in Ruhe nach sechsmonatigem Training
  - Pulsfrequenz nach 3 Minuten Erholung vor Trainingsbeginn
  - Pulsfrequenz nach 3 Minuten Erholung nach sechsmonatigem Training
  - systolischer und diastolischer Blutdruck in Ruhe vor Trainingsbeginn
  - systolischer und diastolischer Blutdruck in Ruhe nach sechsmonatigem Training
  - systolischer und diastolischer Blutdruck bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn
  - systolischer und diastolischer Blutdruck bei maximaler Belastung nach sechsmonatigem Training
  - systolischer und diastolischer Blutdruck nach 3 Minuten Erholung vor Trainingsbeginn
  - systolischer und diastolischer Blutdruck nach 3 Minuten Erholung nach sechsmonatigem Training

Auf eine Auswertung der Pulsfrequenz bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn und nach sechsmonatigem Training wurde verzichtet, da diese durch die Definition des Testabbruchs bei einer Pulsfrequenz von 80 %, bezogen auf die maximal erreichbare Herzfrequenz von 200 Schlägen/min abzüglich des Lebensalters, ja vorgegeben war und aus diesem Grund ohne Aussagekraft ist.

- Ausdauerleistungsfähigkeit:
  - maximale Ausdauerleistungsfähigkeit vor Trainingsbeginn
  - maximale Ausdauerleistungsfähigkeit nach sechsmonatigem Training
  
- Laktatkonzentration:
  - Laktat in Ruhe vor Trainingsbeginn
  - Laktat in Ruhe nach sechsmonatigem Training
  - Laktat bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn
  - Laktat bei maximaler Belastung nach sechsmonatigem Training.

## 2.4.2 Aufgabenstellung

Der Auswertung lag folgende Aufgabenstellung zugrunde:

- Deskriptive Darstellung aller Daten
- Unterscheidung zwischen weiblichen und männlichen Probanden
- Untersuchung von Einflüssen auf die Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit

## 2.4.3 Statistische Verfahren

### 2.4.3.1 Deskriptive Darstellung

Zur deskriptiven Darstellung von stetigen Variablen wurden Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung sowie Minimum und Maximum angegeben. Zusätzlich wurde für die Parameter der Vertrauensbereich des Mittelwertes berechnet, da kein Kontrollkollektiv zur Verfügung stand. Das Intervall -95% bis +95% umfaßt mit 95% Wahrscheinlichkeit den wahren Mittelwert der hypothetischen Grundgesamtheit. Für diskrete Variablen wurde der Anteil an der Gesamtzahl in Prozent angegeben.

### 2.4.3.2 Vergleich der Werte vor und nach sechsmonatigem Training

Beim Vergleich der Mittelwerte stetiger Variablen in abhängigen Stichproben (d.h. Werte vor und nach sechsmonatigem Training) kam der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen zum Einsatz.

### 2.4.3.3 Vergleich der Geschlechter

Beim Vergleich der Mittelwerte stetiger Variablen in unabhängigen Stichproben wurde der U-Test von Mann und Whitney angewendet.



#### 2.4.3.4 Untersuchung von Einflüssen auf die Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit

Der Zusammenhang zwischen zwei stetigen Variablen wurde mit Hilfe des Spearman'schen Korrelationskoeffizienten  $R$  ermittelt. Er stellt ein Maß für die Güte des Zusammenhangs abhängiger, beliebig verteilter stetiger Stichproben dar.  $R$  kann Werte zwischen  $-1$  und  $+1$  annehmen. Für  $R$ -Werte bis  $0,5$  spricht man von einem schwachen Zusammenhang, bis  $0,75$  von einem deutlichen Zusammenhang. Ein positives  $R$  bedeutet, daß der Zusammenhang direkt proportional ist, ein negatives  $R$  weist auf einen umgekehrt proportionalen Zusammenhang hin (Sachs, 1992).

#### 2.4.3.5 Irrtumswahrscheinlichkeit

Hauptendpunkt war die Veränderung der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit. Als Nebenendpunkte wurden gewertet: Veränderung von Puls in Ruhe und nach dreiminütiger Erholung, Blutdruck in Ruhe, bei maximaler Belastung und nach dreiminütiger Erholung, Laktatanstieg unter maximaler Belastung und Veränderung des Körpergewichts sowie als deskriptive Auswertung Subgruppenanalysen. Da nur ein Hauptendpunkt vorlag, konnte auf eine Adjustierung des Signifikanzniveaus wegen multiplen Testens verzichtet werden. Die Nullhypothese wurde verworfen, wenn ihre Wahrscheinlichkeit unter  $5\%$  ( $p < 0,05$ ) lag.

### **3 Ergebnisse**

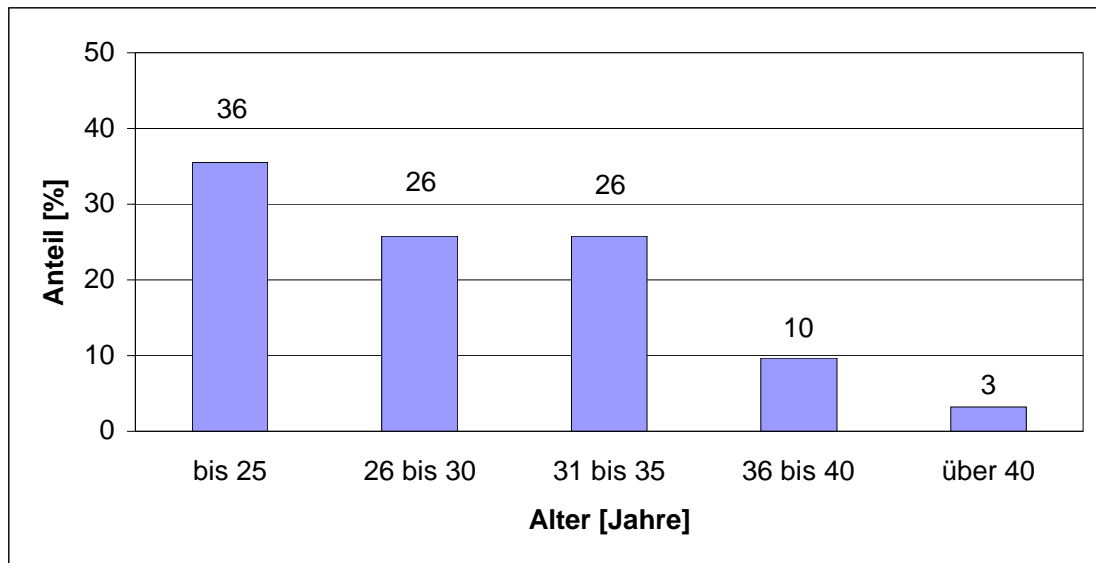
#### **3.1 Charakterisierung des Probandenkollektivs**

##### **3.1.1 Geschlecht**

Zur Auswertung kamen die Untersuchungsergebnisse von 8 Frauen (26 %) und 23 Männern (74 %).

##### **3.1.2 Alter**

Das Durchschnittsalter der Probanden betrug  $28,9 \pm 5,4$  Jahre (Spannweite: 21 - 41 Jahre; 95%-Vertrauensintervall: 26,9 - 30,9 Jahre). Die Altersverteilung ist in Abbildung 3 dargestellt.



**Abb. 2: Altersverteilung im Probandenkollektiv (n = 31)**

### 3.1.3 Körpergröße

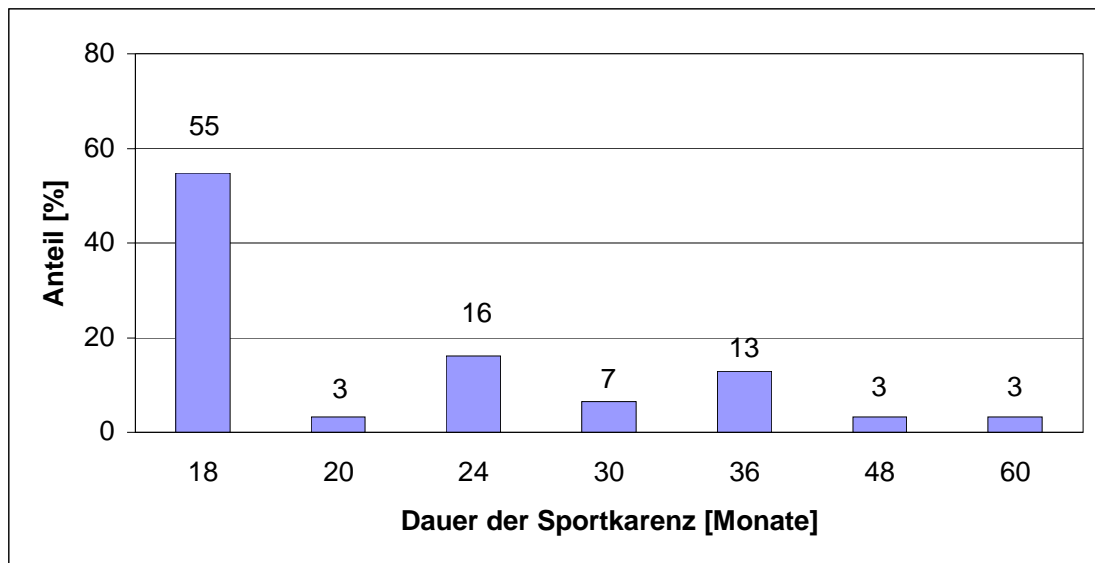
Die mittlere Körpergröße der Probanden lag bei  $180,3 \pm 6,6$  cm (Spannweite: 164 - 193 cm; 95%-Vertrauensintervall: 177,9 - 182,7 cm).

### 3.1.4 Körpergewicht

Das Körpergewicht der Probanden betrug vor Trainingsbeginn durchschnittlich  $77,8 \pm 8,6$  kg (Spannweite: 62 - 97 kg; 95%-Vertrauensintervall: 74,7 - 81,0 kg). Der mittlere Broca-Index lag bei  $96,8 \pm 5,8$  % (Spannweite: 90,0 - 108,0 %; 95%-Vertrauensintervall: 94,7 - 101,0 %), der Body-Mass-Index im Durchschnitt  $23,9 \pm 1,5$  kg/m<sup>2</sup> (Spannweite: 21,9 - 26,5 kg/m<sup>2</sup>; 95%-Vertrauensintervall: 23,3 - 24,4 kg/m<sup>2</sup>).

### 3.1.5 Anamnestische Sportkarenz

Die Probanden gaben eine anamnestische Sportkarenz von durchschnittlich  $24,5 \pm 10,2$  Monaten an (Spannweite: 18 - 60 Monate; 95%-Vertrauensintervall: 20,7 - 28,2 Monate). Die Angaben sind in Abbildung 4 prozentual aufgeschlüsselt.



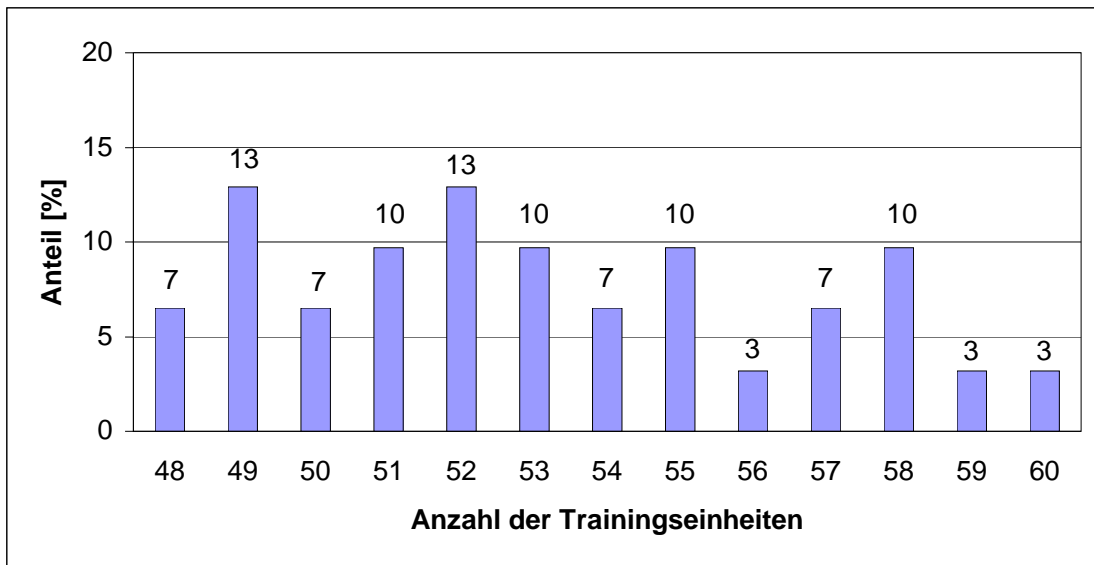
**Abb. 3: Dauer der anamnestischen Sportkarenz im Probandenkollektiv (n = 31)**

## **3.2 Absolvierung des Trainings**

### **3.2.1 Gesamtkollektiv**

#### **3.2.1.1 Anzahl der Trainingseinheiten**

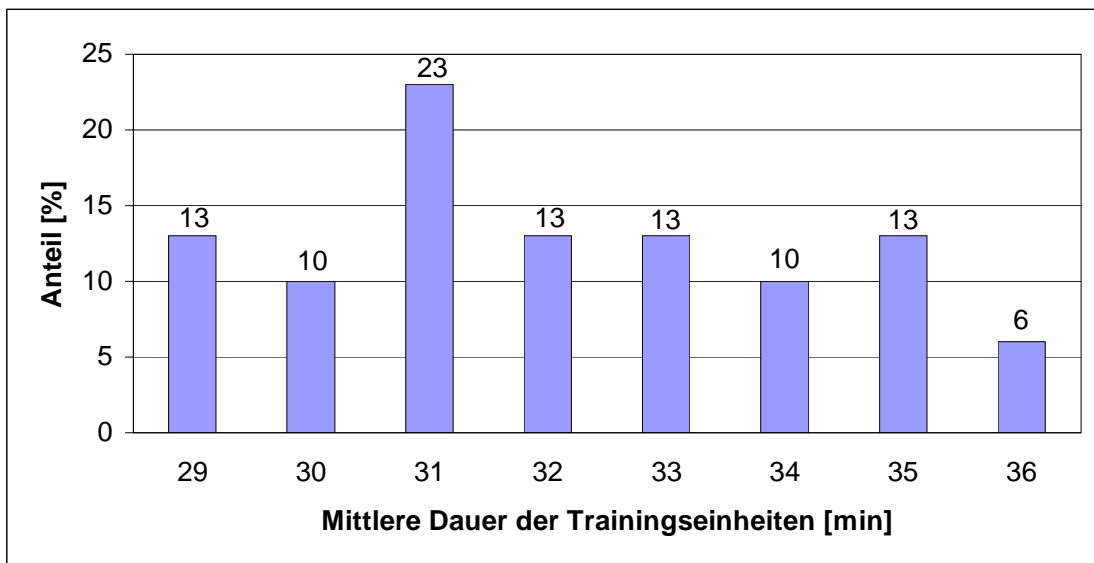
Die durchschnittliche Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten lag bei  $53,2 \pm 3,5$  (Spannweite: 48 - 60 Einheiten; 95%-Vertrauensintervall: 51,9 - 54,4 Einheiten). Die Verteilung ist in Abbildung 5 dargestellt.



**Abb. 4: Anzahl der Trainingseinheiten im Probandenkollektiv (n = 31)**

### 3.2.1.2 Dauer der Trainingseinheiten

Für jeden Probanden wurde die durchschnittliche Dauer der Trainingseinheiten ermittelt. Der daraus resultierende Mittelwert für das gesamte Probandenkollektiv betrug  $32,2 \pm 2,2$  min (Spannweite: 29 - 36 min; 95%-Vertrauensintervall: 31,4 - 33,0 min). Die Verteilung der einzelnen Angaben ist Abbildung 6 zu entnehmen.

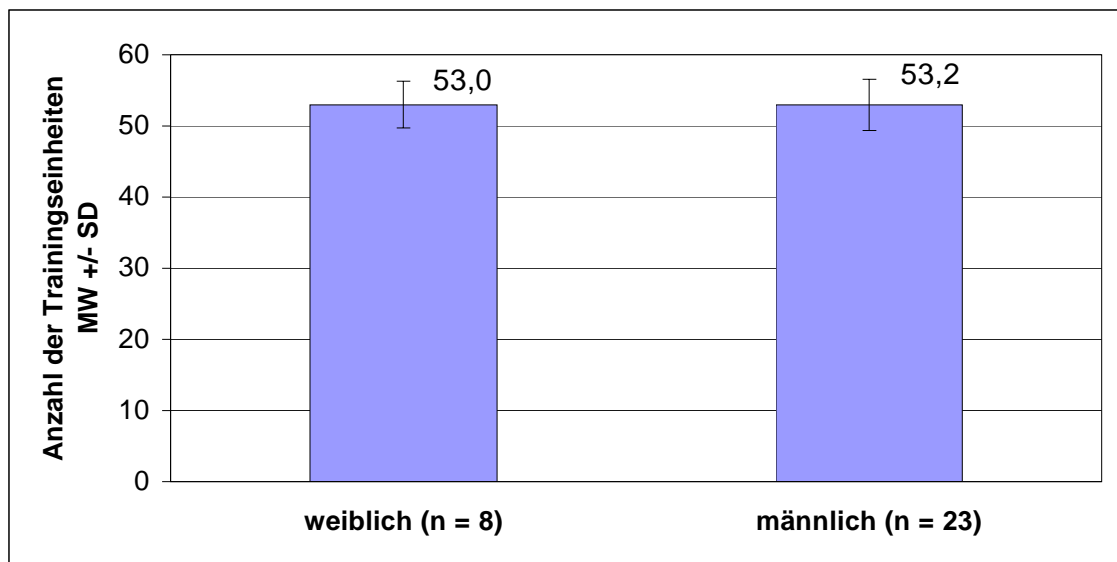


**Abb.5: Mittlere Dauer der Trainingseinheiten im Probandenkollektiv (n = 31)**

### 3.2.2 Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden

#### 3.2.2.1 Anzahl der Trainingseinheiten

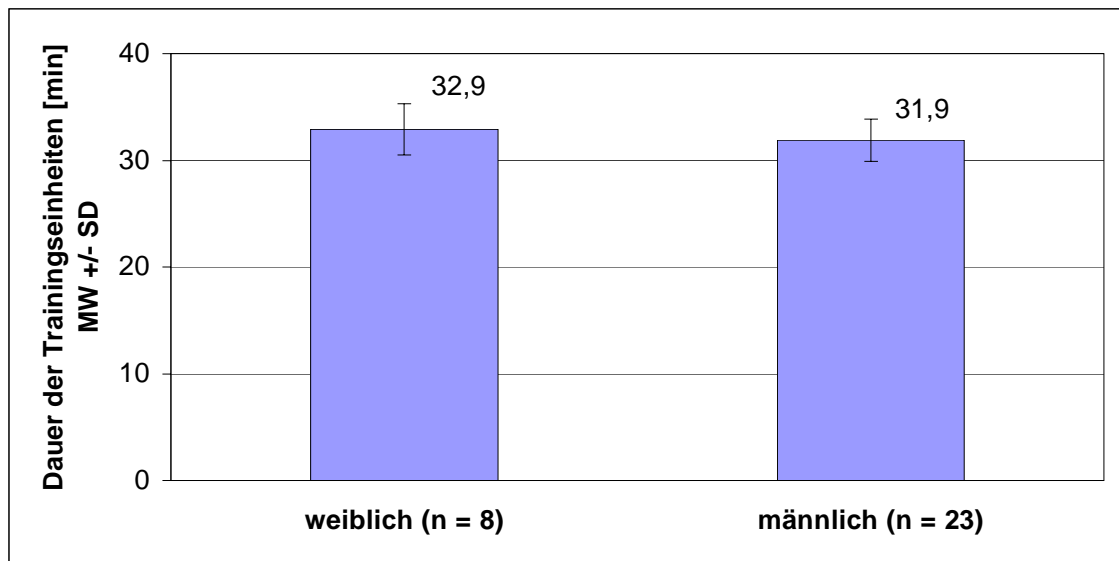
Die durchschnittliche Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten belief sich bei Frauen auf  $53,0 \pm 3,3$  (Spannweite: 49 - 58 Einheiten; 95%-Vertrauensintervall: 50,2 - 55,8 Einheiten) und bei Männern auf  $53,2 \pm 3,6$  (Spannweite: 48 - 60 Einheiten; 95%-Vertrauensintervall: 51,7 - 54,8 Einheiten) (Abbildung 7). Der Unterschied war nicht statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,87$ ).



**Abb. 6: Anzahl der Trainingseinheiten im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

#### 3.2.2.2 Dauer der Trainingseinheiten

Die mittlere Dauer der Trainingseinheiten betrug bei Frauen  $32,9 \pm 2,4$  min (Spannweite: 29 - 36 min; 95%-Vertrauensintervall: 30,9 - 34,9 min) und bei Männern  $31,9 \pm 2,0$  (Spannweite: 29 - 36 min; 95%-Vertrauensintervall: 31,0 - 32,8 min) (Abbildung 8). Der Unterschied war nicht statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,28$ ).

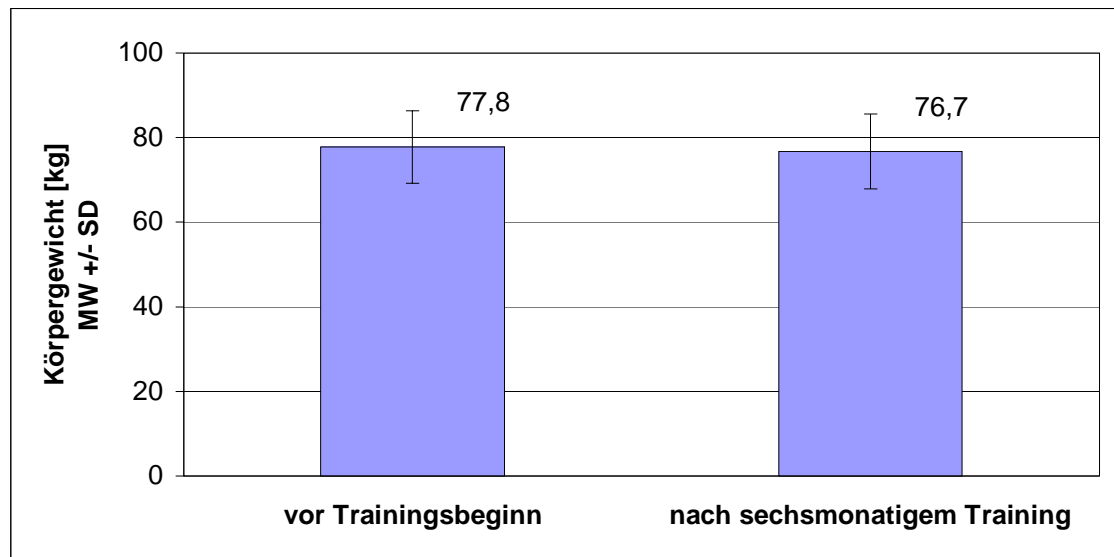


**Abb. 7: Mittlere Dauer der Trainingseinheiten im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

### 3.3 Einfluß des Trainings auf das Körpergewicht

#### 3.3.1 Gesamtkollektiv

Die Probanden wogen vor Trainingsbeginn durchschnittlich  $77,8 \pm 8,6$  kg (Spannweite: 62 - 97 kg; 95%-Vertrauensintervall: 74,7 - 81,0 kg) und nach sechsmonatigem Training  $76,7 \pm 8,9$  kg (Spannweite: 62 - 97 kg; 95%-Vertrauensintervall: 73,5 - 80,0 kg) (Abbildung 9). Der Unterschied zwischen den Werten vor und nach Training war statistisch signifikant (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen:  $p = 0,01$ ).



**Abb. 8: Körpergewicht vor und nach sechsmonatigem Training (n = 31)**

### 3.3.2 Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden

Frauen wogen vor Trainingsbeginn durchschnittlich  $66,8 \pm 4,6$  kg (Spannweite: 60 - 73 kg; 95%-Vertrauensintervall: 62,9 - 70,6 kg) und nach sechsmonatigem Training  $64,5 \pm 4,2$  kg (Spannweite: 58 - 70 kg; 95%-Vertrauensintervall: 61,0 - 68,0 kg). Bei den Männern lag das Gewicht vor Beginn des Trainings bei durchschnittlich  $81,7 \pm 5,9$  kg (Spannweite: 73 - 97 kg; 95%-Vertrauensintervall: 79,2 - 84,2 kg) und nach sechsmonatigem Training bei  $81,0 \pm 5,3$  kg (Spannweite: 74 - 96 kg; 95%-Vertrauensintervall: 78,7 - 83,3 kg) (Abbildung 10).



Die Veränderung des Körpergewichts vor und nach Training betrug bei weiblichen Probanden  $-2,3 \pm 1,2$  % (Spannweite:  $-1,5$  bis  $-5,6$  %; 95%-Vertrauensintervall:  $-4,3$  bis  $-2,4$  %), bei männlichen  $-0,8 \pm 2,9$  % (Spannweite:  $-5,8$  bis  $+3,8$  %; 95%-Vertrauensintervall:  $-2,1$  bis  $+0,4$  %) (Abbildung 11). Dieser Unterschied war statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test: je  $p = 0,02$ ).

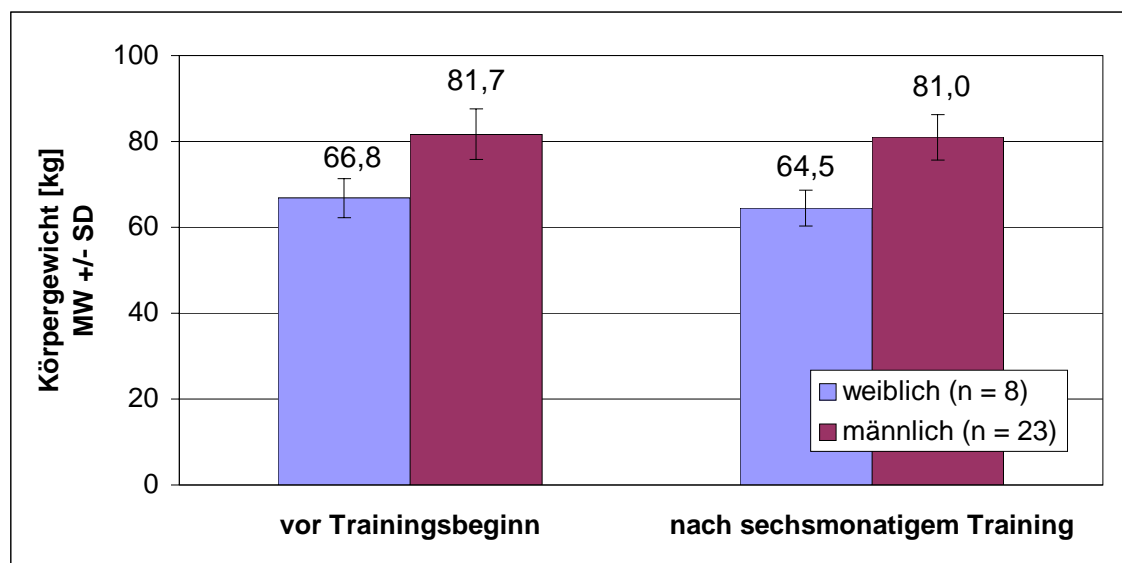


Abb. 9: Körpergewicht vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

### 3.4 Kardiozirkulatorische Parameter

#### 3.4.1 Gesamtkollektiv

##### 3.4.1.1 Ruhepulsfrequenz

Für die Pulsfrequenz in Ruhe wurde vor Beginn des Trainings ein Durchschnittswert von  $68,5 \pm 3,7$  Schlägen/min (Spannweite: 60 - 71 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 67,2 - 69,9 Schläge/min) ermittelt, der nach sechs Monaten Training bei  $65,6 \pm 2,6$  Schlägen/min (Spannweite: 60 - 71 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 64,6 - 66,5 Schläge/min) lag (Abbildung 12). Die Veränderung der Ruhepulsfrequenz war statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,0001$ ).

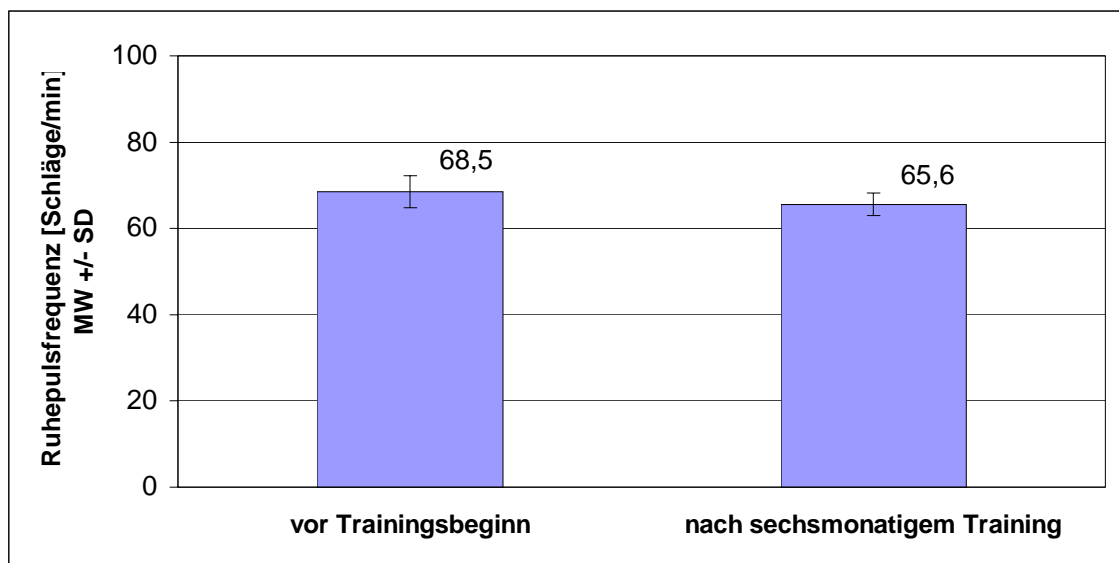
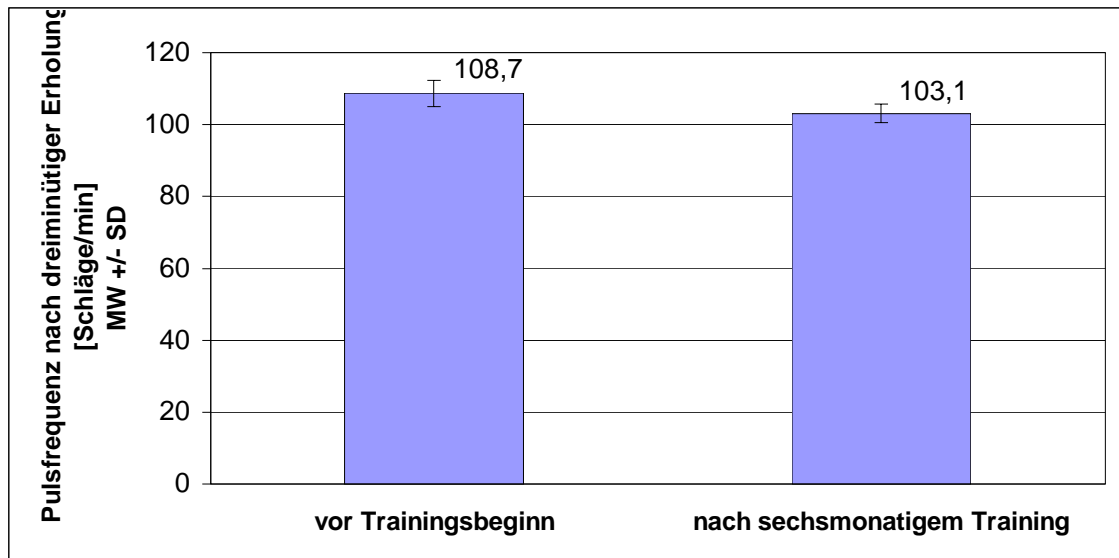


Abb. 10: Ruhepulsfrequenz vor und nach sechsmonatigem Training (n = 31)

##### 3.4.1.2 Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung

Die Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung lag vor Beginn des Trainings bei durchschnittlich  $108,7 \pm 5,1$  Schlägen/min (Spannweite: 99 - 117 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 106,8 - 110,6 Schläge/min). Der entsprechende Wert betrug nach sechs Monaten Training  $103,1 \pm 3,9$  Schläge/min (Spannweite: 96 - 110 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 101,7 - 104,6 Schläge/min)

(Abbildung 13). Die Veränderung der Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung war statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,000002$ ).



**Abb. 11: Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung vor und nach sechsmonatigem Training (n = 31)**

#### 3.4.1.3 Ruheblutdruck

Vor Trainingsbeginn konnte für den systolischen Ruheblutdruck ein Durchschnittswert von  $117,9 \pm 12,6$  mmHg (Spannweite: 90 - 135 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 113,3 - 122,5 mmHg) ermittelt werden. Nach 6 Monaten Training lag der Wert bei  $117,7 \pm 7,1$  mmHg (Spannweite: 100 - 125 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 115,2 - 120,3 mmHg) (Abbildung 14). Der Unterschied war nicht statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,94$ ).

Der mittlere diastolische Ruheblutdruck vor Trainingsbeginn betrug  $74,8 \pm 5,6$  mmHg (Spannweite: 65 - 85 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 72,8 - 76,9 mmHg). Nach sechs Monaten Training lag der Wert ebenfalls bei  $74,8 \pm 4,2$  mmHg (Spannweite: 65 - 85 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 73,3 - 76,4 mmHg) (Abbildung 14). Der Unterschied war nicht statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 1,00$ ).

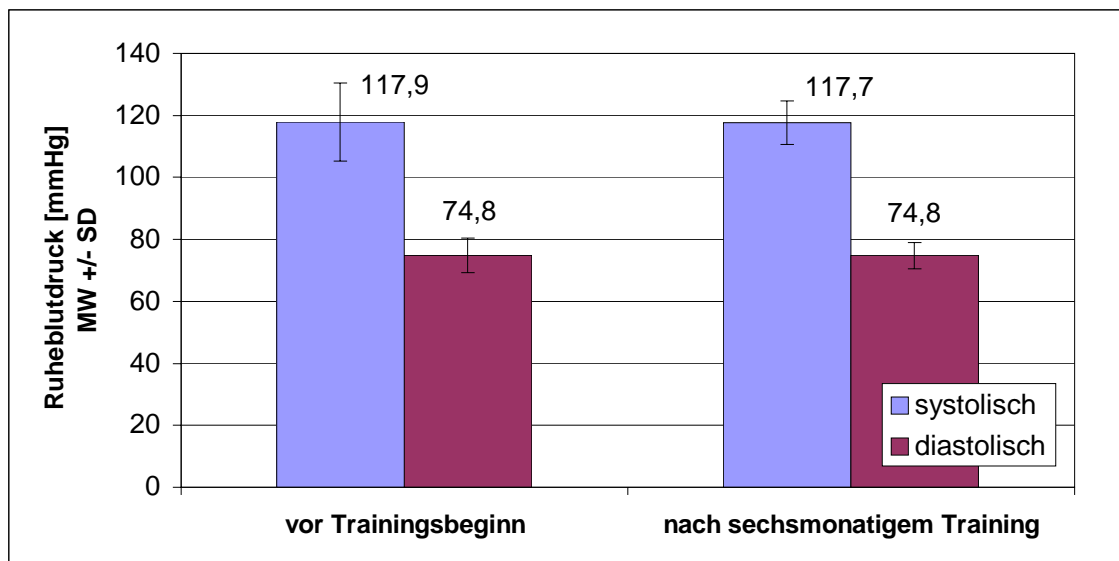
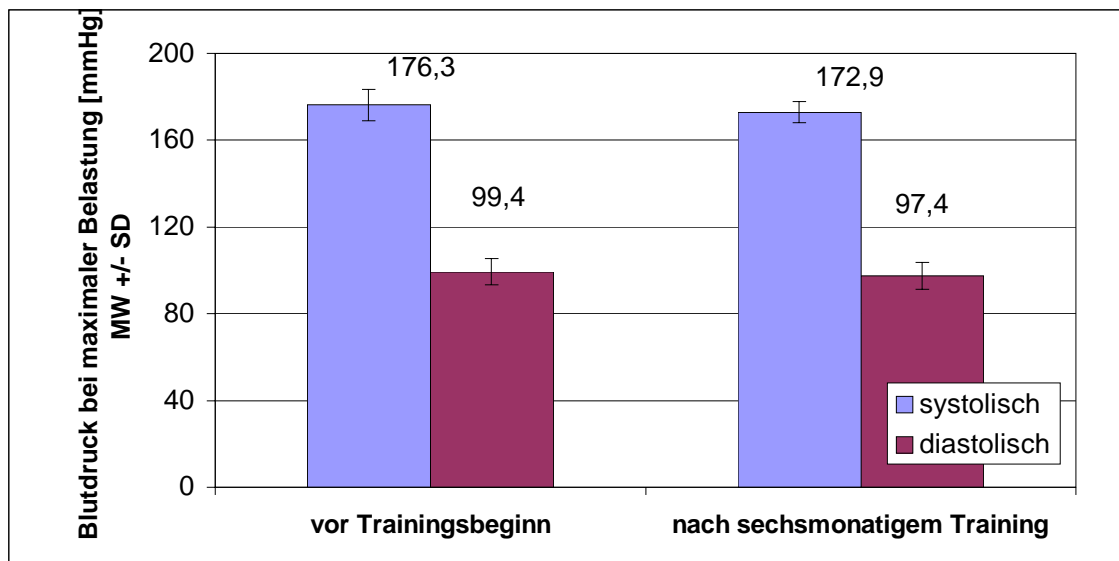


Abb. 12: Systolischer und diastolischer Ruheblutdruck vor und nach sechsmonatigem Training (n = 31)

#### 3.4.1.4 Blutdruck bei maximaler Belastung

Für den systolischen Blutdruck bei maximaler Belastung wurde vor Beginn des Trainings ein Durchschnittswert von  $176,3 \pm 7,2$  mmHg (Spannweite: 160 - 190 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 173,7 - 178,9 mmHg) ermittelt, der nach sechs Monaten Training auf  $172,9 \pm 4,8$  mmHg (Spannweite: 160 - 180 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 171,1 - 174,7 mmHg) abfiel (Abbildung 15). Die Veränderung war statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,01$ ).

Vor Trainingsbeginn konnte für den diastolischen Blutdruck bei maximaler Belastung ein Durchschnittswert von  $99,4 \pm 6,0$  mmHg (Spannweite: 85 - 100 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 97,1 - 101,6 mmHg) errechnet werden. Nach sechs Monaten Training lag der Wert bei  $97,4 \pm 6,2$  mmHg (Spannweite: 85 - 105 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 95,2 - 99,7 mmHg) (Abbildung 15). Der Unterschied war nicht statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,07$ ).



**Abb. 13: Systolischer und diastolischer Blutdruck bei maximaler Belastung vor und nach sechsmonatigem Training (n = 31)**

#### 3.4.1.5 Blutdruck nach dreiminütiger Erholung

Vor Trainingsbeginn betrug der systolische Blutdruck drei Minuten nach Abbruch der Ergometrie durchschnittlich  $138,1 \pm 6,8$  mmHg (Spannweite: 120 - 150 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 135,6 - 140,6 mmHg). Nach sechsmonatigem Training lag der Wert bei  $131,1 \pm 6,8$  mmHg (Spannweite: 110 - 145 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 128,6 - 133,6 mmHg) (Abbildung 16). Der Unterschied war statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,00001$ ).

Für den diastolischen Blutdruck nach dreiminütiger Erholung wurde vor Beginn des Trainings ein Durchschnittswert von  $92,4 \pm 6,0$  mmHg (Spannweite: 75 - 100 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 89,9 - 95,0 mmHg) gemessen, der sich nach sechs Monaten Training auf  $87,7 \pm 6,6$  mmHg (Spannweite: 80 - 100 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 85,3 - 90,1 mmHg) belief (Abbildung 16). Die Veränderung war statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,0003$ ).

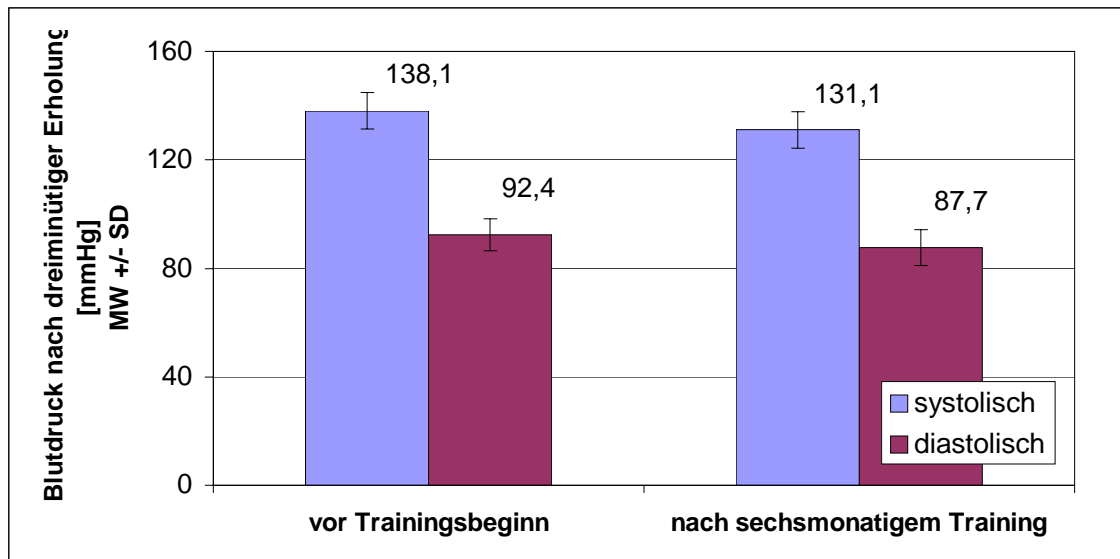
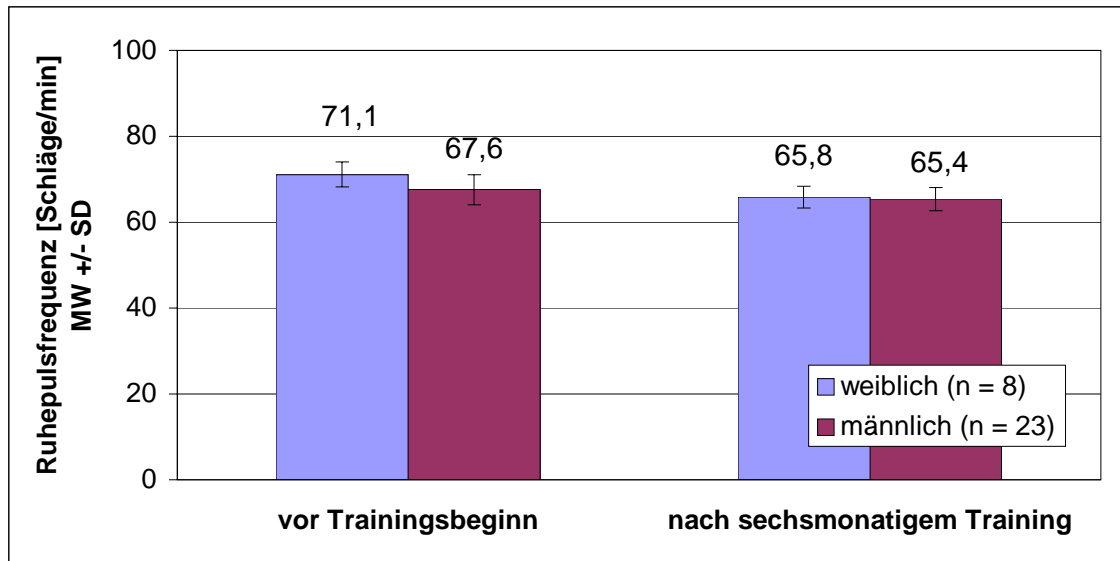


Abb. 14: Systolischer und diastolischer Blutdruck nach dreiminütiger Erholung (n = 31)

### 3.4.2 Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden

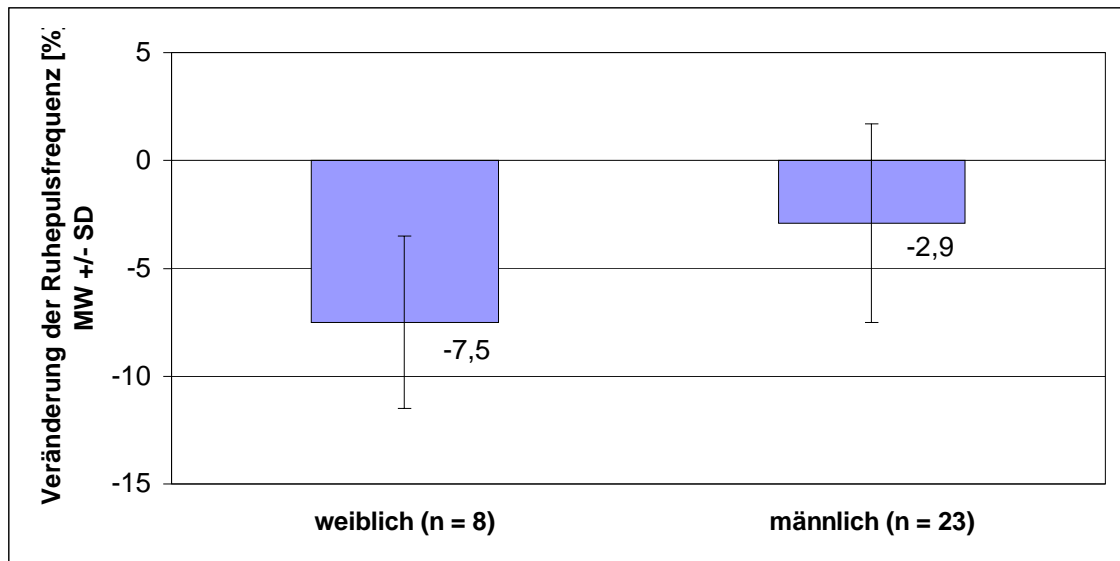
#### 3.4.2.1 Ruhepulsfrequenz

Bei den Frauen betrug die Ruhepulsfrequenz vor Beginn des Trainings durchschnittlich  $71,1 \pm 2,9$  Schläge/min (Spannweite: 65 - 74 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 68,7 - 73,5 Schläge/min) und nach sechs Monaten Training  $65,8 \pm 2,5$  Schläge/min (Spannweite: 63 - 70 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 63,7 - 67,8 Schläge/min). Bei den männlichen Probanden lag die Ruhepulsfrequenz vor Beginn des Trainings bei durchschnittlich  $67,6 \pm 3,5$  Schläge/min (Spannweite: 61 - 72 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 66,1 - 69,1 Schläge/min) und nach sechsmonatigem Training bei  $65,5 \pm 2,7$  Schläge/min (Spannweite: 60 - 71 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 64,4 - 66,7 Schläge/min) (Abbildung 17).



**Abb. 15: Ruhepulsfrequenz vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

Die Veränderung der Ruhepulsfrequenz vor und nach Training lag bei weiblichen Probanden durchschnittlich bei  $-7,5 \pm 4,0$  % (Spannweite: -13,7 bis -1,5 %; 95%-Vertrauensintervall: -10,8 bis -4,1 %), bei männlichen Probanden bei  $-2,9 \pm 4,6$  % (Spannweite: -11,3 bis +8,2 %; 95%-Vertrauensintervall: -4,9 bis -1,0 %) (Abbildung 18). Dieser Geschlechtsunterschied war statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,03$ ).

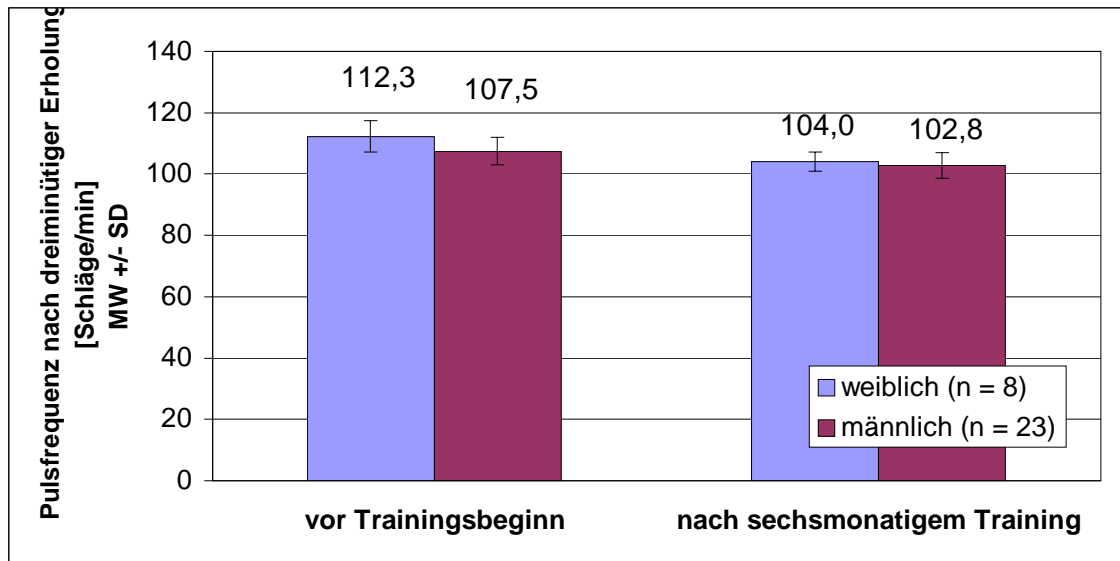


**Abb. 16: Veränderung der Ruhepulsfrequenz nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

#### 3.4.2.2 Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung

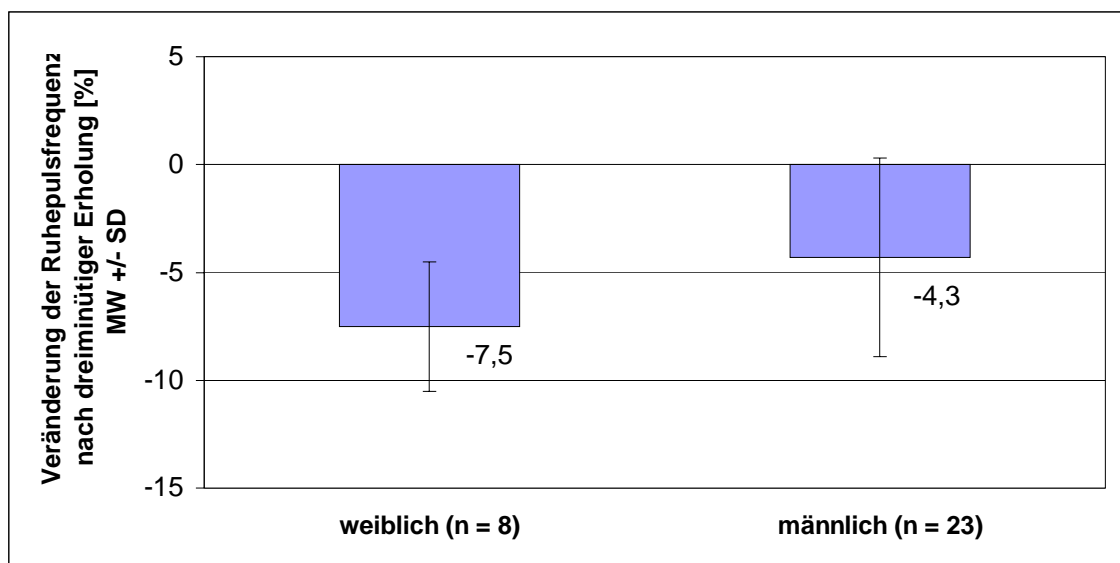
Bei weiblichen Probanden konnte vor Trainingsbeginn drei Minuten nach Abbruch der Ergometrie eine mittlere Pulsfrequenz von  $112,3 \pm 5,1$  Schlägen/min (Spannweite: 101 - 117 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 107,9 - 116,6 Schläge/min) gemessen werden. Nach einem halben Jahr lag der Wert bei  $104,0 \pm 3,1$  Schlägen/min (Spannweite: 97 - 107 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 101,4 - 106,6 Schläge/min). Bei den männlichen Probanden dagegen betragen die entsprechenden Durchschnittswerte  $107,5 \pm 4,5$  Schläge/min (Spannweite: 99 - 115 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 105,5 - 109,4 Schläge/min) vor Trainingsbeginn und  $102,8 \pm 4,2$  Schläge/min (Spannweite: 96 - 110 Schläge/min; 95%-Vertrauensintervall: 101,0 - 104,6 Schläge/min) nach sechsmonatigem Training (Abbildung 19).





**Abb. 17: Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

Die Veränderung der Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung belief sich während des sechsmonatigen Trainings bei den Frauen auf durchschnittlich  $-7,5 \pm 3,0$  % (Spannweite:  $-11,1$  bis  $-2,7$  %; 95%-Vertrauensintervall:  $-9,7$  bis  $-4,8$  %). Bei Männern lag der Wert bei  $-4,3 \pm 4,6$  % (Spannweite:  $-9,6$  bis  $1,0$  %; 95%-Vertrauensintervall:  $-5,6$  bis  $-3,0$  %) (Abbildung 20). Der Unterschied zwischen Frauen und Männern war statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,04$ ).



**Abb. 18: Veränderung der Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

### 3.4.2.3 Ruheblutdruck

Bei den Frauen betrug der systolische Ruheblutdruck zu Beginn des Trainings durchschnittlich  $110,6 \pm 8,6$  mmHg (Spannweite: 101 - 115 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 104,8 - 113,9 mmHg) und nach einem halben Jahr Training  $108,1 \pm 5,3$  mmHg (Spannweite: 100 - 115 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 103,7 - 112,6 mmHg). Bei den Männern lag der systolische Ruheblutdruck zu Beginn des Trainings durchschnittlich bei  $123,9 \pm 6,9$  mmHg (Spannweite: 110 - 135 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 120,9 - 126,9 mmHg) und nach sechs Monaten Training bei  $121,1 \pm 3,4$  mmHg (Spannweite: 110 - 125 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 119,5 - 122,7 mmHg) (Abbildung 21).

Der diastolische Wert bei den Frauen betrug vor Trainingsbeginn durchschnittlich  $68,8 \pm 4,4$  mmHg (Spannweite: 65 - 75 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 65,0 - 72,5 mmHg) und nach sechs Monaten  $72,5 \pm 2,7$  mmHg (Spannweite: 70 - 75 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 70,3 - 74,7 mmHg). Der diastolische Ruheblutdruckwert bei den Männern belief sich vor Trainingsbeginn auf durchschnittlich  $76,9 \pm 4,2$  mmHg (Spannweite: 70 - 85 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 75,1 - 78,8 mmHg) und nach einem halben Jahr auf  $75,7 \pm 4,3$  mmHg (Spannweite: 65 - 85 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 73,8 - 77,5 mmHg) (Abbildung 22).

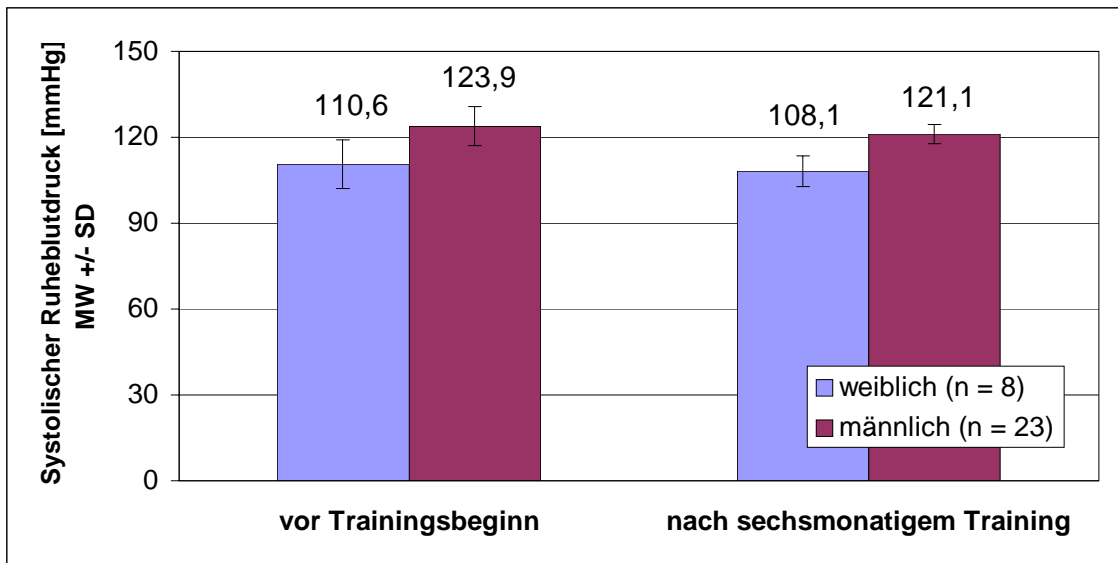


Abb. 19: Systolischer Ruheblutdruck vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

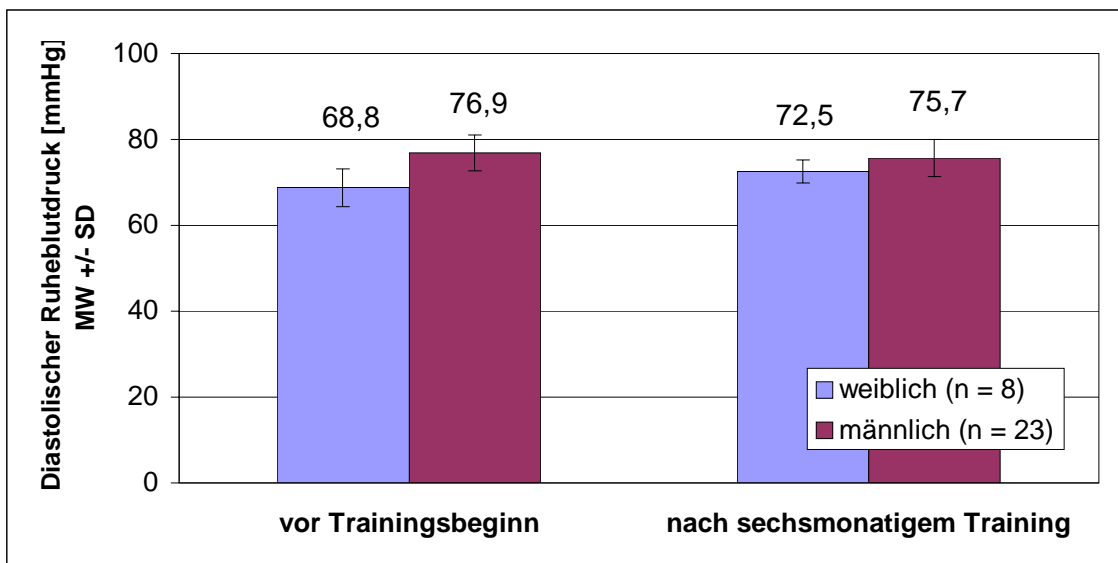
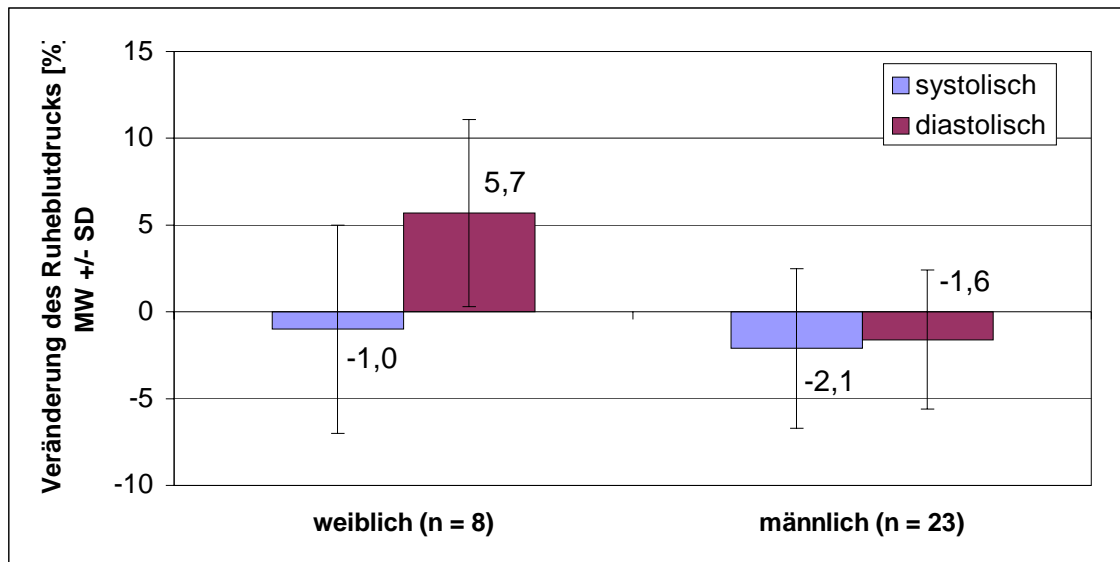


Abb. 20: Diastolischer Ruheblutdruck vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

Die prozentuale Veränderung des systolischen Ruheblutdrucks während des sechsmonatigen Trainings betrug bei Frauen  $-1,0 \pm 2,6$  % (Spannweite: -4,3 bis 8,1 %; 95%-Vertrauensintervall: -3,0 bis 1,1 %) und bei Männern  $-2,1 \pm 4,6$  % (Spannweite: -7,7 bis 9,1 %; 95%-Vertrauensintervall: -4,1 bis  $-0,1$  %)

(Abbildung 23). Der Unterschied zwischen Frauen und Männern war statistisch nicht signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,13$ ).

Für den diastolischen Blutdruckwert lagen die entsprechenden Mittelwerte für weibliche Probanden bei  $5,7 \pm 5,4$  % (Spannweite: 0 - 15,4 %; 95%-Vertrauensintervall: 1,2 - 10,2 %) und für männliche Probanden bei  $-1,6 \pm 4,0$  % (Spannweite: -7,1 bis 6,7 %; 95%-Vertrauensintervall: -3,4 bis 0,1 %) (Abbildung 23). Der Unterschied zwischen Frauen und Männern war statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,001$ ).



**Abb. 21: Veränderung des Ruheblutdrucks nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

#### 3.4.2.4 Blutdruck bei maximaler Belastung

Bei den Frauen lag der systolische Blutdruck bei maximaler Belastung zu Beginn des Trainings durchschnittlich bei  $168,8 \pm 5,2$  mmHg (Spannweite: 160 - 175 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 164,4 - 173,1 mmHg) und nach sechs Monaten Training bei  $168,8 \pm 4,4$  mmHg (Spannweite: 160 - 175 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 165,0 - 172,5 mmHg). Bei den Männern betrug der entsprechende Wert zu Beginn des Trainings  $178,9 \pm 5,8$  mmHg (Spannweite: 165 - 190 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 176,4 - 181,4 mmHg) und lag nach sechs Monaten mit  $174,3 \pm 3,7$  mmHg (Spannweite: 165 - 180 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 172,6 - 176,1 mmHg) unter dem Ausgangswert (Abbildung 24).

Der diastolische Blutdruck bei maximaler Belastung bei den Frauen betrug vor Trainingsbeginn durchschnittlich  $95,0 \pm 5,2$  mmHg (Spannweite: 85 - 105 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 89,1 - 100,9 mmHg) und lag nach einem halben Jahr unverändert bei  $95,0 \pm 5,3$  mmHg (Spannweite: 85 - 105 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 88,3 - 101,7 mmHg). Der diastolische Ruheblutdruckwert bei den Männern vor Trainingsbeginn belief sich auf durchschnittlich  $100,9 \pm 4,9$  mmHg (Spannweite: 90 - 110 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 98,7 - 103,0 mmHg) und war nach sechs Monaten auf  $98,3 \pm 5,4$  mmHg gefallen (Spannweite: 90 - 105 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 95,9 - 100,6 mmHg) (Abbildung 25).

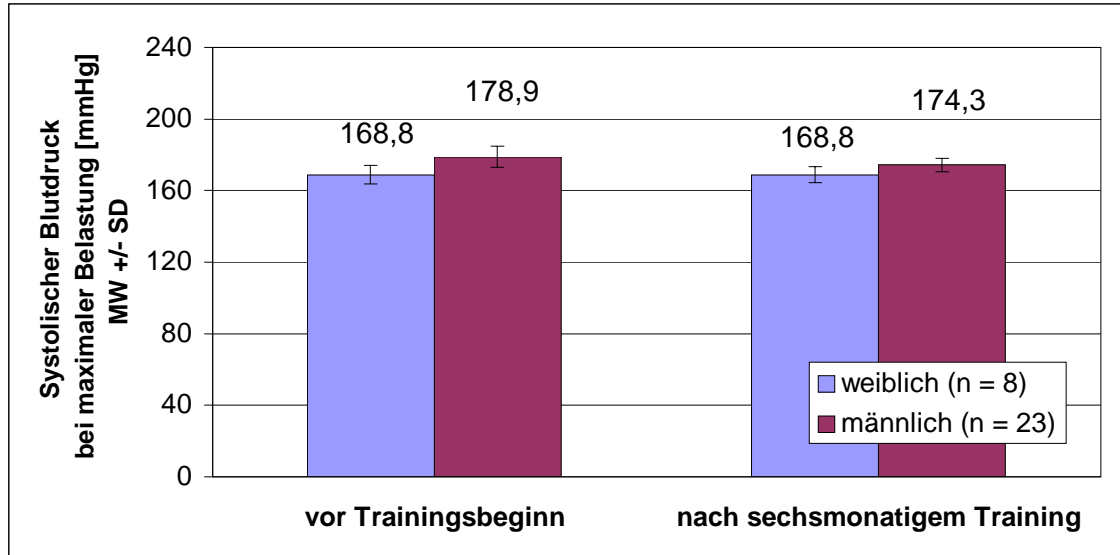


Abb. 22: Systolischer Blutdruck bei maximaler Belastung vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

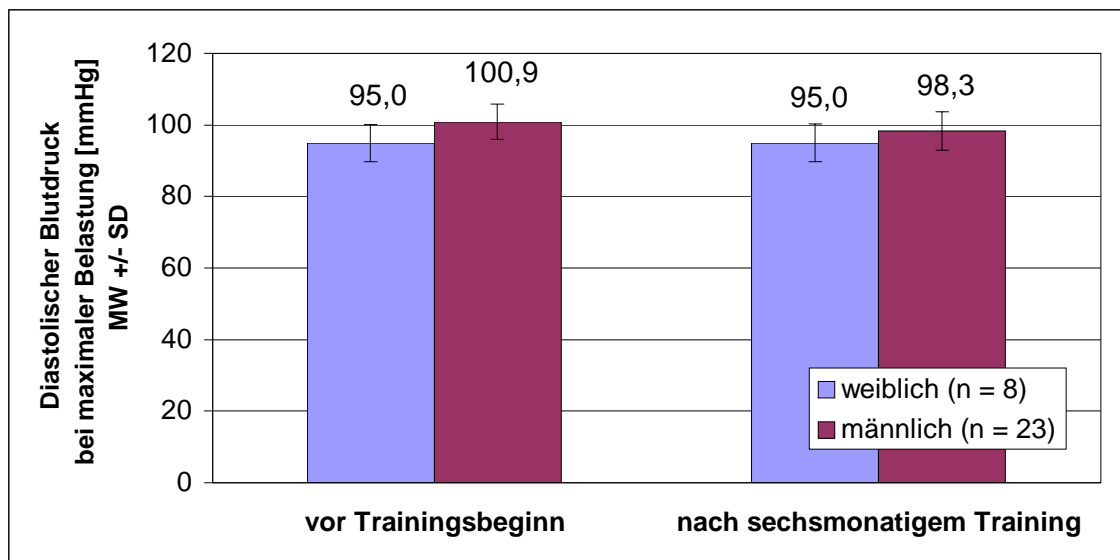
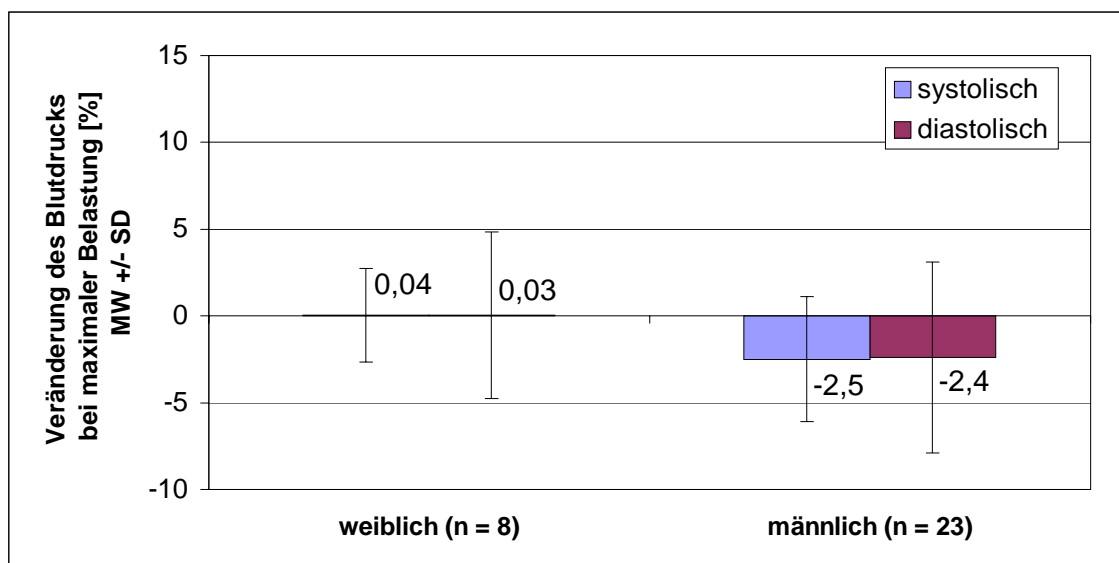


Abb. 23: Diastolischer Blutdruck bei maximaler Belastung vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

Die prozentuale Veränderung des systolischen Blutdrucks bei maximaler Belastung betrug bei Frauen nach sechs Monaten  $0,04 \pm 2,7$  % (Spannweite: -4,3 bis 8,1 %; 95%-Vertrauensintervall: -2,2 bis 2,3 %) und bei Männern  $-2,5 \pm 3,6$  % (Spannweite: -10,8 bis 3,0 %; 95%-Vertrauensintervall: -4,0 bis -0,9 %). Der Unterschied zwischen Frauen und Männern war statistisch nicht signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,18$ ).

Für den diastolischen Blutdruckwert lagen die entsprechenden Mittelwerte für weibliche Probanden bei  $0,03 \pm 4,8$  % (Spannweite: 0 bis 15,4 %; 95%-Vertrauensintervall: -4,0 bis 4,0 %) und für männliche Probanden bei  $-2,4 \pm 5,5$  % (Spannweite: -14,3 bis 5,3 %; 95%-Vertrauensintervall: -4,8 bis -0,1 %) (Abbildung 26). Der Unterschied zwischen Frauen und Männern war nicht statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,37$ ).

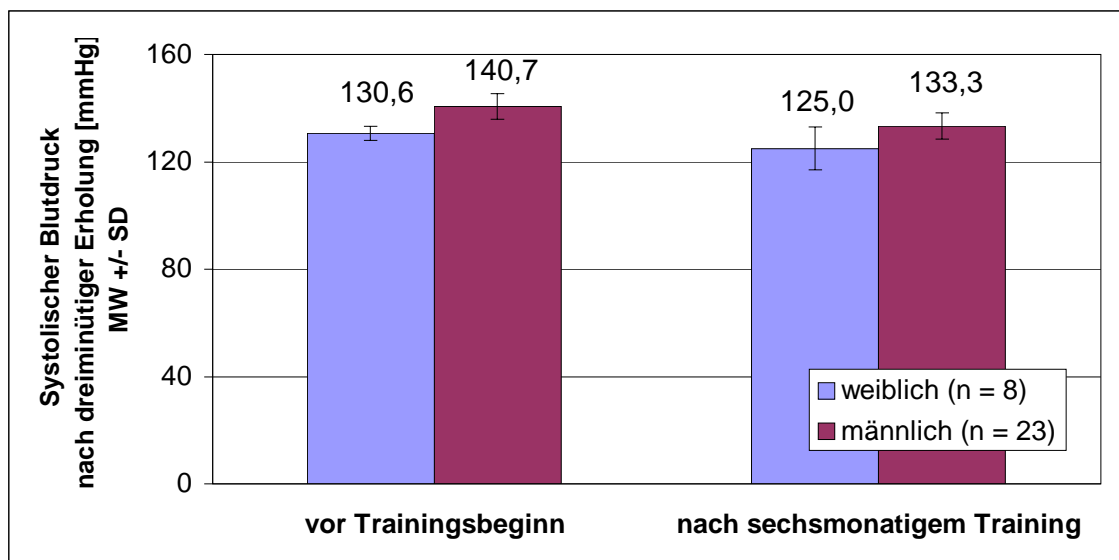


**Abb. 24: Veränderung des Blutdrucks bei maximaler Belastung nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

#### 3.4.2.5 Blutdruck nach dreiminütiger Erholung

Bei weiblichen Probanden betrug der systolische Blutdruck nach dreiminütiger Erholung zu Trainingsbeginn durchschnittlich  $130,6 \pm 2,6$  mmHg (Spannweite: 120 - 140 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 125,4 - 135,8 mmHg) und nach absolviertem Training  $125,0 \pm 8,0$  mmHg (Spannweite: 110 - 135 mmHg; 95%-

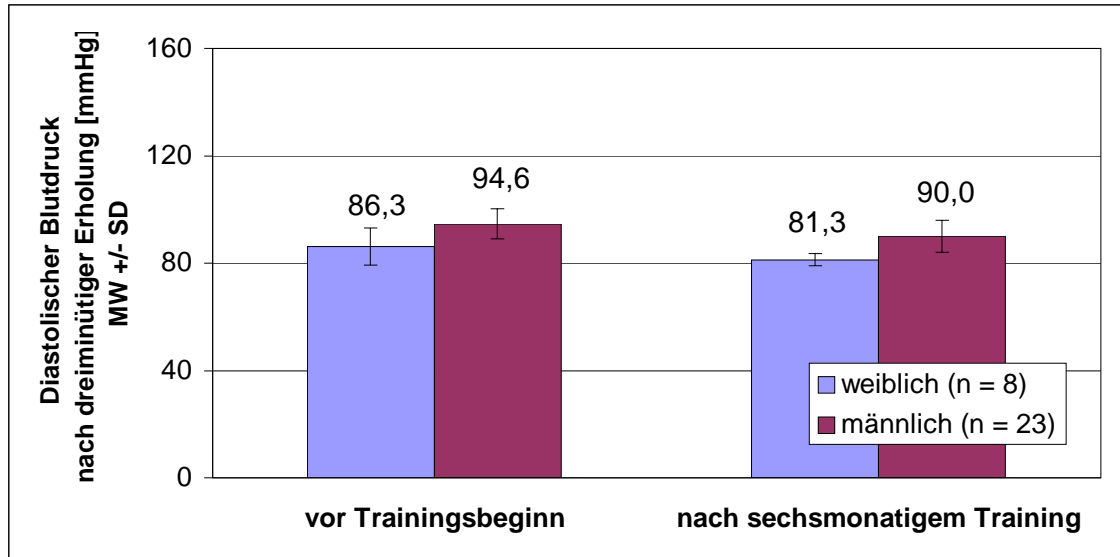
Vertrauensintervall: 118,3 - 131,7 mmHg). Bei den Männern lag der Wert zu Beginn des Trainings durchschnittlich bei  $140,7 \pm 4,8$  mmHg (Spannweite: 130 - 150 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 138,6 - 142,7 mmHg) und sank durch das Training auf  $133,3 \pm 4,9$  mmHg (Spannweite: 120 - 145 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 131,1 - 135,4 mmHg) (Abbildung 27).



**Abb. 25: Systolischer Blutdruck nach dreiminütiger Erholung vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

Der diastolische Blutdruck drei Minuten nach Abbruch der Ergometrie betrug bei den Frauen vor Trainingsbeginn durchschnittlich  $86,3 \pm 6,9$  mmHg (Spannweite: 75 - 100 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 80,4 - 92,1 mmHg) und nahm nach einem halben Jahr auf  $81,3 \pm 2,3$  mmHg ab (Spannweite: 85 - 105 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 79,3 - 83,2 mmHg). Der diastolische Ruheblutdruckwert bei den Männern belief sich vor dem Training auf durchschnittlich  $94,6 \pm 5,6$  mmHg (Spannweite: 85 - 100 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 92,1 - 97,0 mmHg) und lag sechs Monate später bei  $90,0 \pm 6,0$  mmHg (Spannweite: 80 - 100 mmHg; 95%-Vertrauensintervall: 87,4 - 92,6 mmHg) (Abbildung 28).





**Abb. 26: Diastolischer Blutdruck nach dreiminütiger Erholung vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden**

Die Veränderung des systolischen Ruheblutdrucks während des sechsmonatigen Trainings belief sich bei Frauen auf  $-4,4 \pm 2,6$  % (Spannweite:  $-8,3$  bis  $0$  %; 95%-Vertrauensintervall:  $-6,5$  bis  $-2,2$  %) und bei Männern auf  $-5,2 \pm 3,6$  % (Spannweite:  $-11,1$  bis  $3,6$  %; 95%-Vertrauensintervall:  $-6,8$  bis  $-3,6$  %) (Abbildung 29). Der Unterschied zwischen Frauen und Männern war statistisch nicht signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,87$ ).

Für den diastolischen Blutdruck lagen die entsprechenden Mittelwerte für weibliche Probanden bei  $-5,3 \pm 8,0$  % (Spannweite:  $-20,0$  bis  $6,7$  %; 95%-Vertrauensintervall:  $-12,0$  bis  $1,4$  %) und für männliche Probanden bei  $-4,8 \pm 4,8$  % (Spannweite:  $-11,1$  bis  $5,9$  %; 95%-Vertrauensintervall:  $-6,8$  bis  $-2,7$  %) (Abbildung 29). Der Unterschied zwischen Frauen und Männern war nicht statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,60$ ).

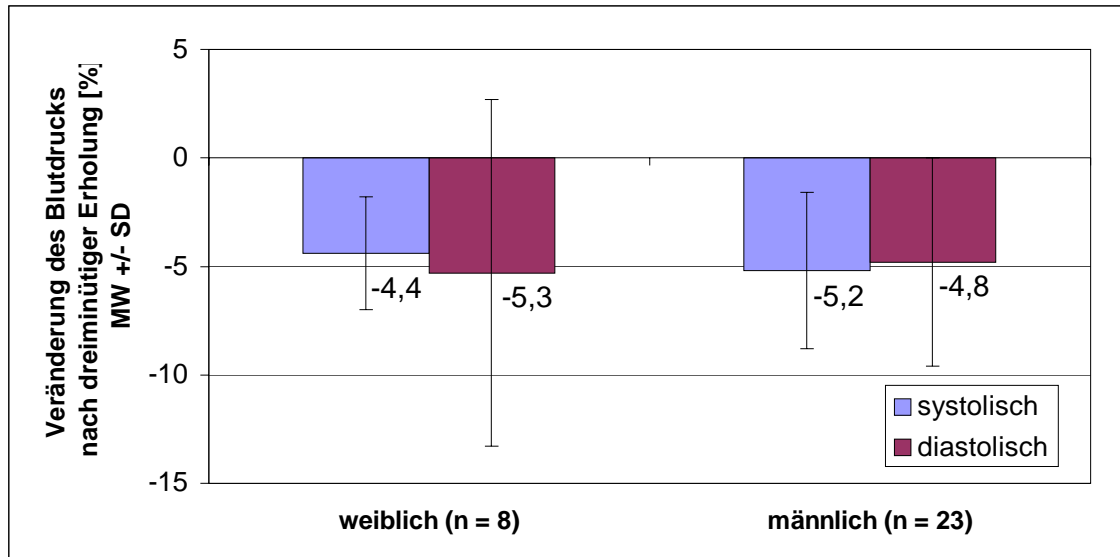
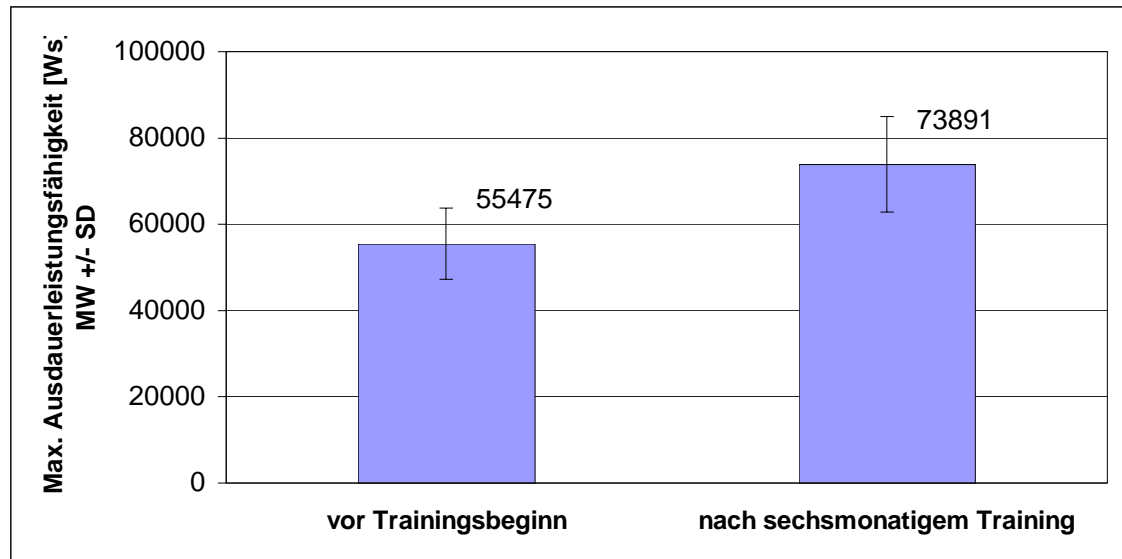


Abb. 27: Veränderung des Blutdrucks nach dreiminütiger Erholung nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

### 3.5 Ausdauerleistungsfähigkeit

#### 3.5.1 Gesamtkollektiv

Für die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit wurde vor Beginn des Trainings ein Durchschnittswert von  $55475 \pm 8244$  Wattsekunden (Spannweite: 39800 - 68250 Wattsekunden; 95%-Vertrauensintervall: 52451 - 58499 Wattsekunden) ermittelt, der nach sechsmonatigem Training auf  $73891 \pm 11096$  Wattsekunden (Spannweite: 53375 - 91925 Wattsekunden; 95%-Vertrauensintervall: 69821 - 77961 Wattsekunden) gesteigert werden konnte (Abbildung 30). Die Zunahme der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit war statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,000001$ ). Sie lag bei  $33,2 \pm 1,2$  % (Spannweite: 30,9 - 35,3 %; 95%-Vertrauensintervall: 32,7 - 33,6 %).



**Abb. 28: Maximale Ausdauerleistungsfähigkeit vor und nach sechsmonatigem Training**

### 3.5.2 Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden

Bei den Frauen betrug die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit vor Beginn des Trainings durchschnittlich  $47253 \pm 4793$  Wattsekunden (Spannweite: 41375 - 56625 Wattsekunden; 95%-Vertrauensintervall: 43246 - 51260 Wattsekunden) und lag nach sechsmonatigem Training mit  $62822 \pm 6028$  Wattsekunden (Spannweite: 55375 - 74100 Wattsekunden; 95%-Vertrauensintervall: 57782 - 67862 Wattsekunden) deutlich höher. Bei den männlichen Probanden belief sich die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit im ersten Test auf durchschnittlich  $58335 \pm 7228$  Wattsekunden (Spannweite: 39800 - 68250 Wattsekunden; 95%-Vertrauensintervall: 55209 - 61460 Wattsekunden) und nahm auf  $77741 \pm 9812$  Wattsekunden zu (Spannweite: 53375 - 91925 Wattsekunden; 95%-Vertrauensintervall: 73498 - 81984 Wattsekunden) (Abbildung 31).

Die mittlere Zunahme der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit betrug bei Frauen  $33,0 \pm 1,1$  % (Spannweite: 30,9 - 34,6 %; 95%-Vertrauensintervall: 32,1 - 33,9 %), bei Männern  $33,2 \pm 1,3$  % (Spannweite: 31,1 - 35,3 %; 95%-Vertrauensintervall: 32,7 - 33,8 %) (Abbildung 32). Die Zunahme unterschied sich bei weiblichen und männlichen Probanden nicht statistisch signifikant (Mann-Whitney U-Test: je  $p = 0,56$ ).

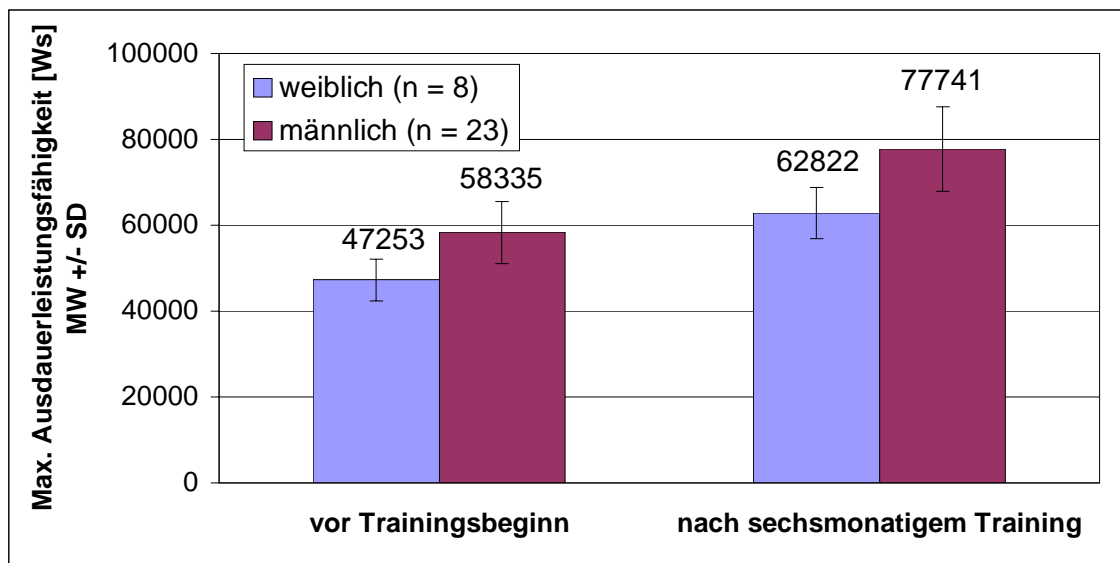


Abb. 29: Maximale Ausdauerleistungsfähigkeit vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

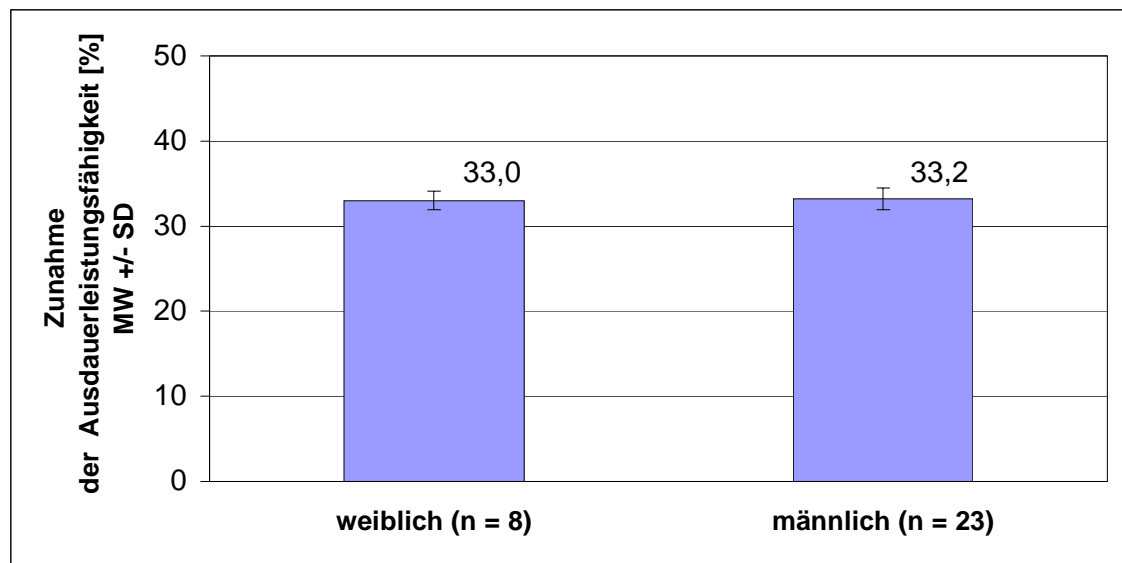
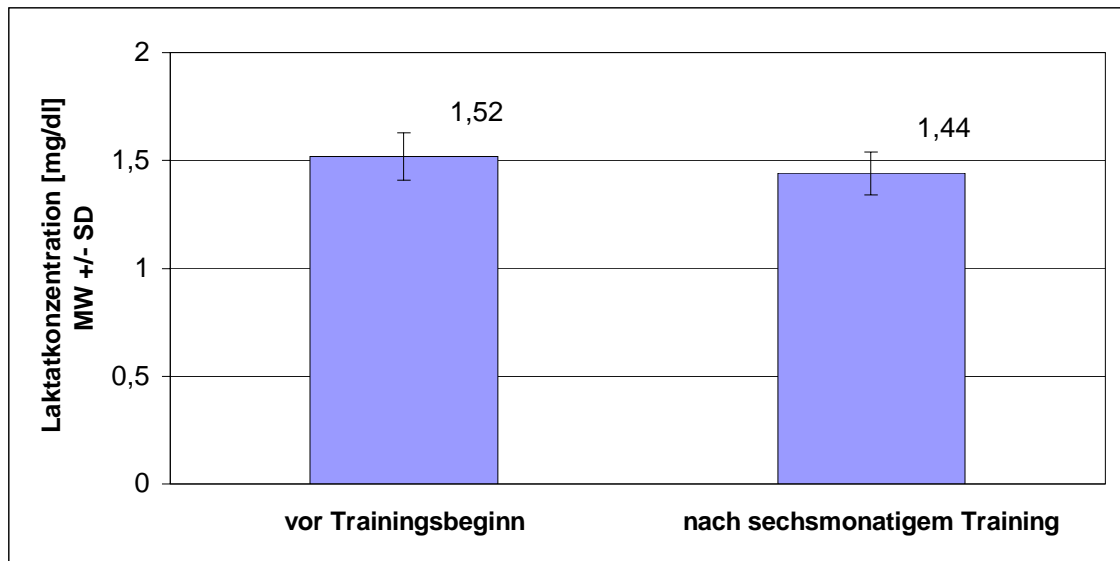


Abb. 30: Zunahme der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

### 3.6 Laktatkonzentration

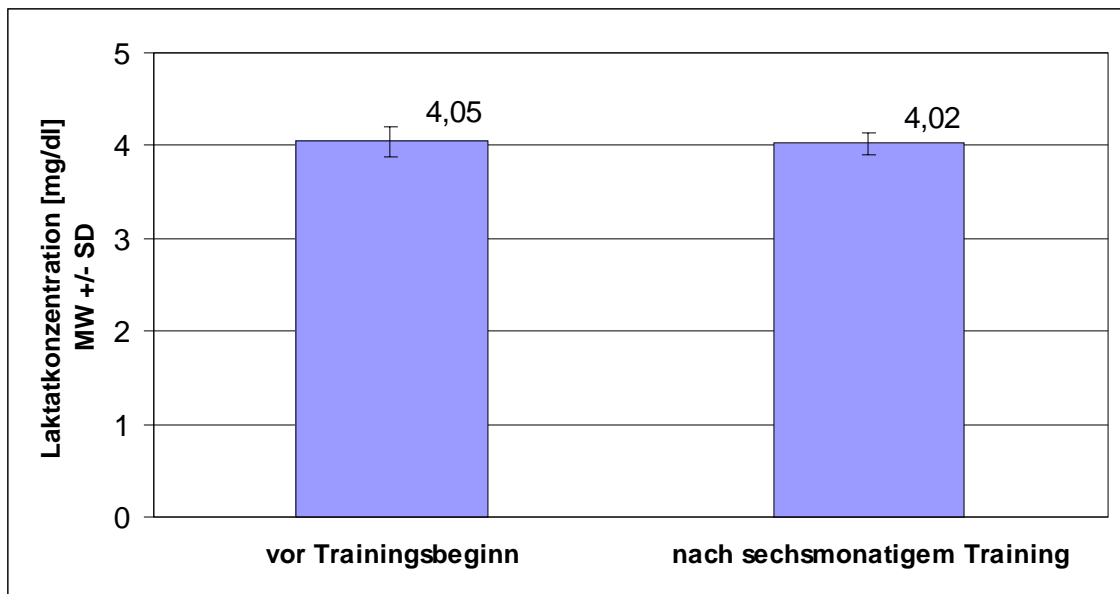
#### 3.6.1 Gesamtkollektiv

Vor Trainingsbeginn konnte für die Laktatkonzentration vor der Ergometrie ein Durchschnittswert von  $1,52 \pm 0,11$  mg/dl (Spannweite: 1,30 - 1,70 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 1,48 - 1,56 mg/dl) gemessen werden. Nach sechs Monaten Training lag der Wert bei  $1,44 \pm 0,10$  mg/dl (Spannweite: 1,30 - 1,60 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 1,40 - 1,47 mg/dl) (Abbildung 33). Der Unterschied war statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,0019$ ).



**Abb. 31: Laktatkonzentration vor der Ergometrie vor und nach sechsmonatigem Training**

Nach Abbruch der Ergometrie bei maximaler Leistung betrug die Laktatkonzentration im ersten Test  $4,05 \pm 0,16$  mg/dl (Spannweite: 3,80 - 4,30 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 3,99 - 4,10 mg/dl) und im zweiten Test  $4,02 \pm 0,11$  mg/dl (Spannweite: 3,80 - 4,20 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 3,98 - 4,06 mg/dl) (Abbildung 34). Der Unterschied war nicht statistisch signifikant (Wilcoxon-Test:  $p = 0,31$ ).



**Abb. 32: Laktatkonzentration bei Abbruch der Ergometrie vor und nach sechsmonatigem Training**

### 3.6.2 Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Probanden

Bei weiblichen Probanden konnte vor Trainingsbeginn in Ruhe eine mittlere Laktatkonzentration von  $1,50 \pm 0,09$  mg/dl (Spannweite: 1,40 - 1,60 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 1,42 - 1,58 mg/dl) bestimmt werden, nach sechs Monaten lag der Wert bei  $1,43 \pm 0,12$  mg/dl (Spannweite: 1,30 - 1,60 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 1,33 - 1,52 mg/dl). Bei den männlichen Probanden dagegen betragen die entsprechenden Durchschnittswerte  $1,52 \pm 0,11$  mg/dl (Spannweite: 1,30 - 1,70 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 1,47 - 1,57 mg/dl) im ersten Test und  $1,44 \pm 0,09$  mg/dl (Spannweite: 1,30 - 1,60 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 1,40 - 1,48 mg/dl) im zweiten Test (Abbildung 35).

Nach Abbruch der Ergometrie bei maximaler Leistung betrug die Laktatkonzentration bei den Frauen vor Trainingsbeginn  $3,94 \pm 0,07$  mg/dl (Spannweite: 3,90 - 4,10 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 3,88 - 4,00 mg/dl) und nach einem halben Jahr  $3,98 \pm 0,15$  mg/dl (Spannweite: 3,80 - 4,20 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 3,85 - 4,10 mg/dl). Für die Männer konnte im ersten Test ein Durchschnittswert von  $4,08 \pm 0,16$  mg/dl (Spannweite: 3,80 - 4,30 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 4,01 - 4,15 mg/dl), im zweiten Test von  $4,04 \pm 0,08$  mg/dl (Spannweite: 3,90 - 4,20 mg/dl; 95%-Vertrauensintervall: 4,00 - 4,08 mg/dl) ermittelt werden (Abbildung 36).

Die Laktatkonzentration nach Abbruch der Ergometrie war bei Frauen und Männern in der ersten Untersuchung statistisch signifikant unterschiedlich (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,026$ ), in der zweiten dagegen nicht (Mann-Whitney U-Test:  $p = 0,24$ ). Absolut gesehen waren die Differenzen gering.

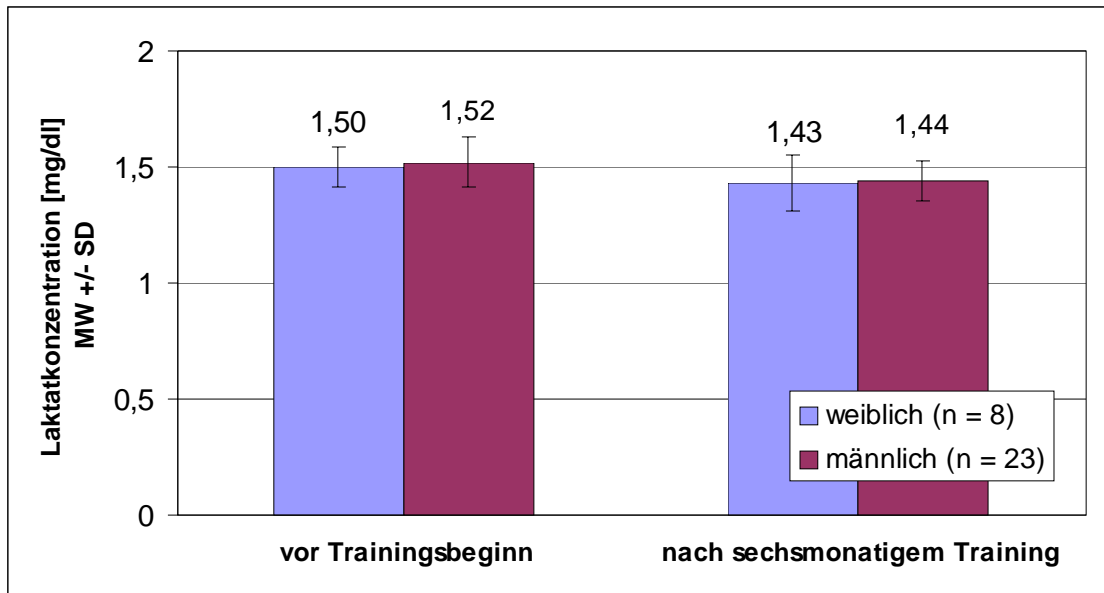


Abb. 33: Laktatkonzentration in Ruhe vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden

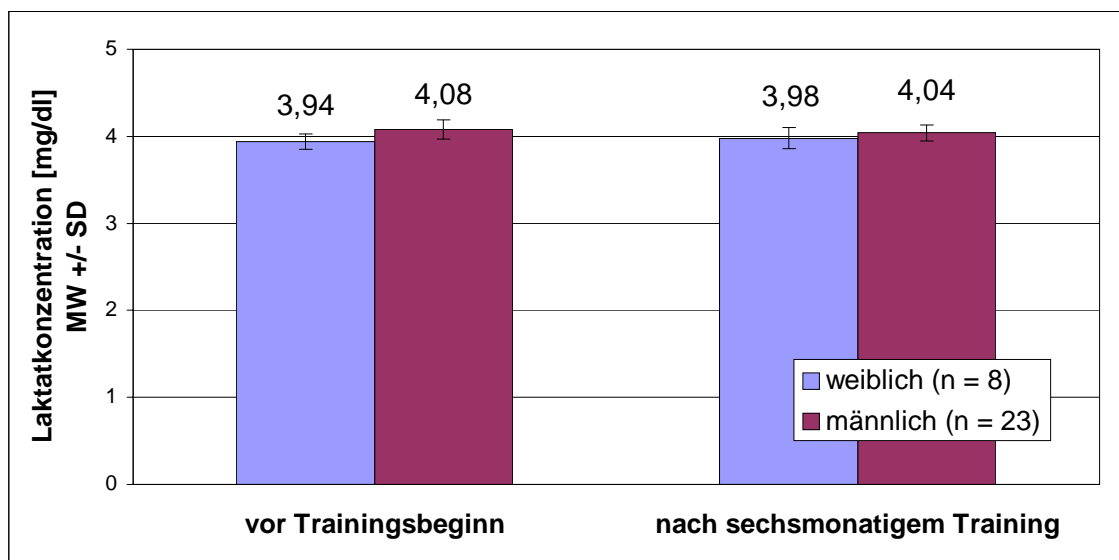


Abb. 34: Laktatkonzentration bei maximaler Belastung vor und nach sechsmonatigem Training im Vergleich weiblicher und männlicher Probanden



### 3.7 Untersuchung verschiedener Einflußfaktoren auf die Zunahme der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit

Tabelle 1 fasst die Ergebnisse zusammen, die für den Zusammenhang zwischen der Zunahme der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit und verschiedenen Einflußfaktoren ermittelt werden konnten. Die einzelnen Zusammenhänge sind zusätzlich in den Abbildungen 37 bis 52 dargestellt. Es zeigten sich keinerlei statistisch signifikante Einflüsse. Lediglich tendenziell scheinen Probanden mit relativ niedrigem Ruhepuls und einer höheren Anzahl eher kürzerer Trainingseinheiten ihre Ausdauerleistungsfähigkeit mehr zu steigern als die übrigen Teilnehmer.

Einflussfaktoren	Spearman-R	p-Wert
Alter	-0,21	0,26
Body-Mass-Index	-0,02	0,91
Anamnestiche Sportkarenz	-0,24	0,20
Anzahl der Trainingseinheiten	0,26	0,15
Dauer der Trainingseinheiten	-0,28	0,12
Ruhepulsfrequenz vor Trainingsbeginn	-0,38	0,05
Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung vor Trainingsbeginn	-0,16	0,40
Systolischer Ruheblutdruck vor Trainingsbeginn	-0,15	0,43
Diastolischer Ruheblutdruck vor Trainingsbeginn	-0,11	0,57
Systolischer Blutdruck bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn	-0,14	0,45
Diastolischer Blutdruck bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn	0,19	0,31
Systolischer Blutdruck nach dreiminütiger Erholung vor Trainingsbeginn	-0,06	0,73
Diastolischer Blutdruck nach dreiminütiger Erholung vor Trainingsbeginn	0,26	0,16
Maximale Ausdauerleistungsfähigkeit vor Trainingsbeginn	0,14	0,47
Laktatkonzentration in Ruhe vor Trainingsbeginn	0,08	0,67
Laktatkonzentration bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn	0,19	0,31

**Tab. 1: Zusammenhang zwischen der Zunahme der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit und verschiedenen Einflußfaktoren**

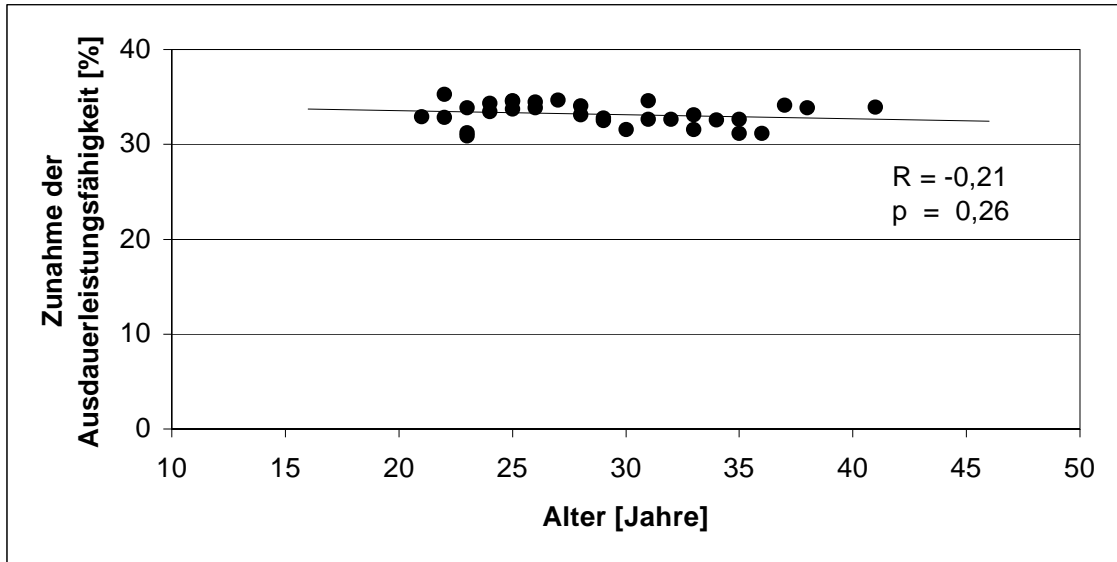


Abb. 35: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und Alter

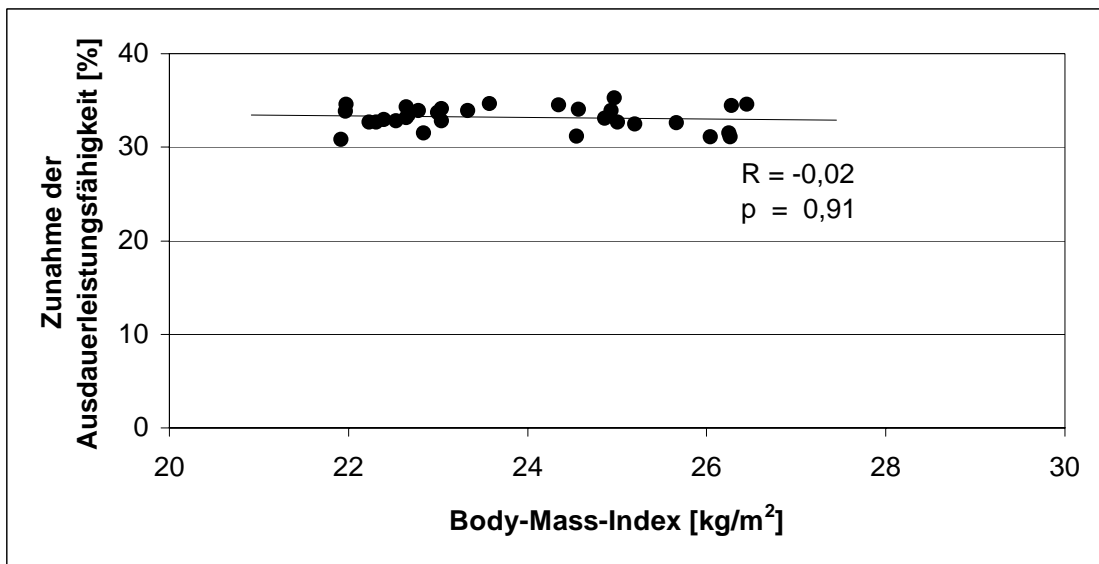


Abb. 36: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und Body-Mass-Index

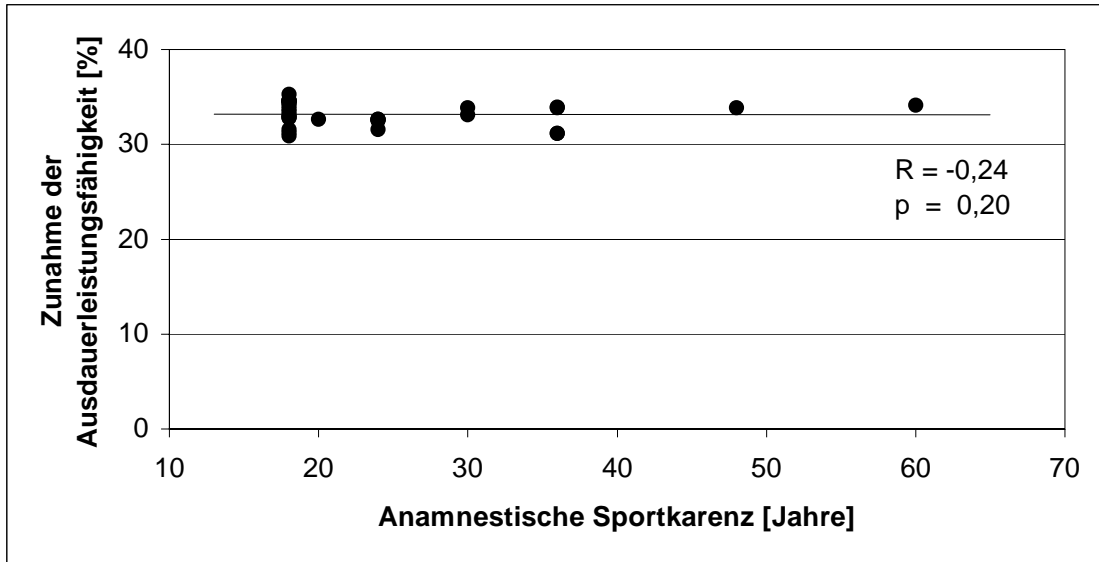


Abb. 37: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und anamnestischer Sportkarenz

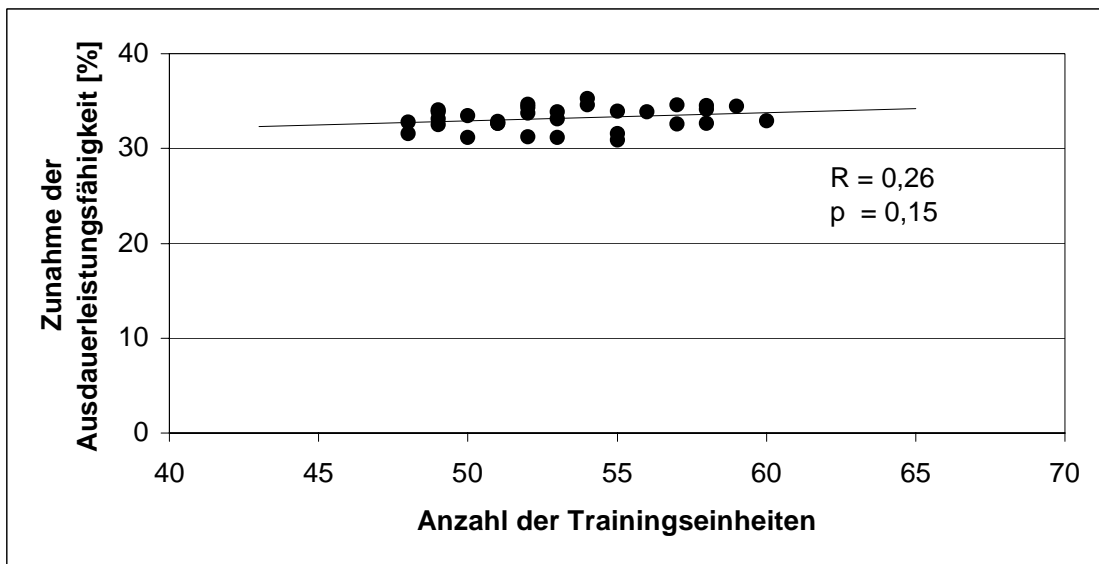


Abb. 38: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und Anzahl der Trainingseinheiten

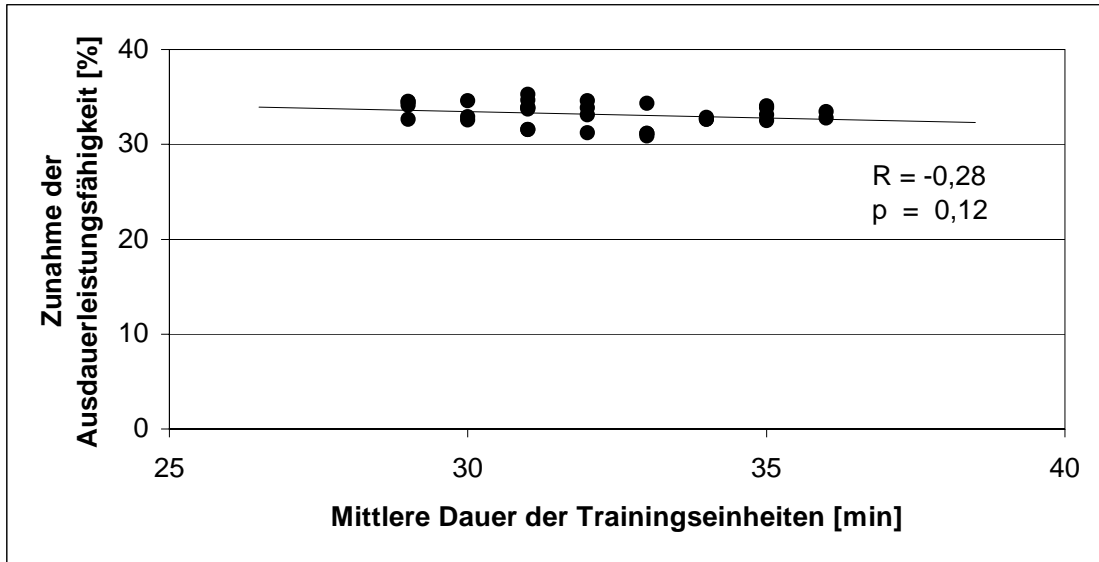


Abb. 39: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und mittlere Dauer der Trainingseinheiten

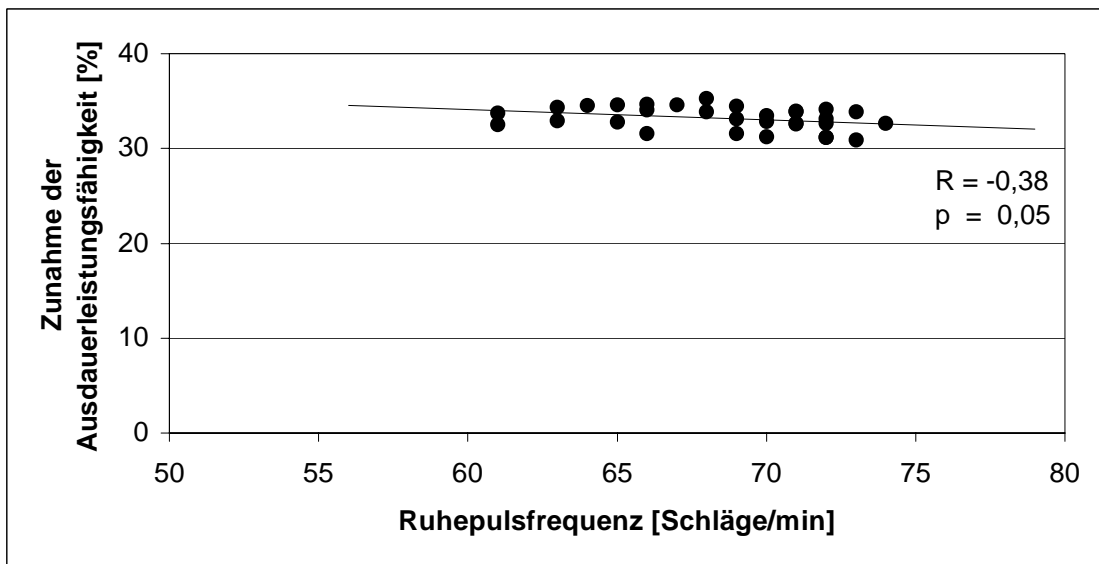


Abb. 40: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und Ruhepulsfrequenz vor Trainingsbeginn

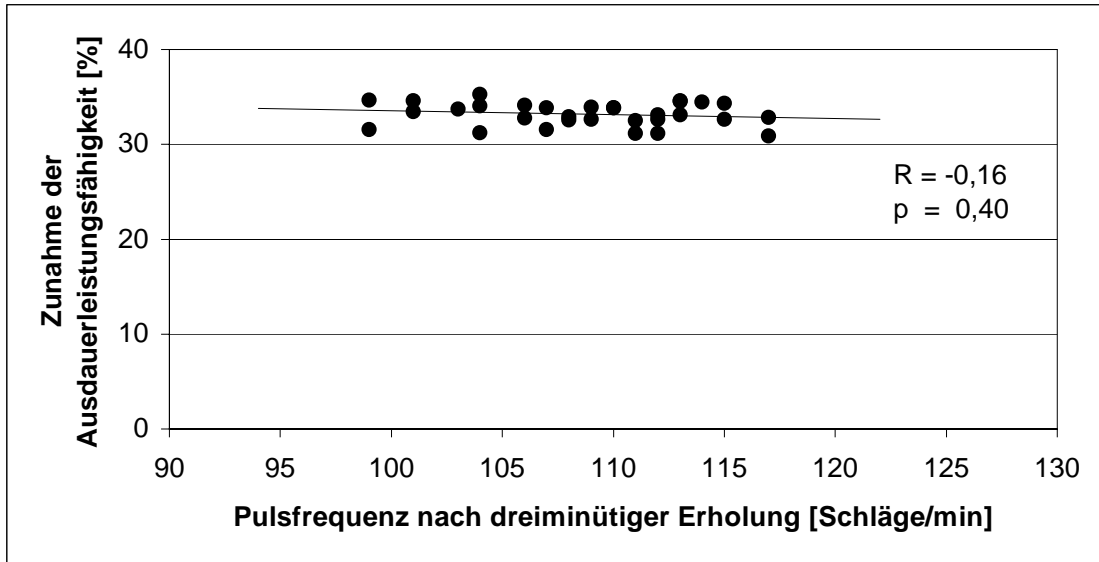


Abb. 41: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung

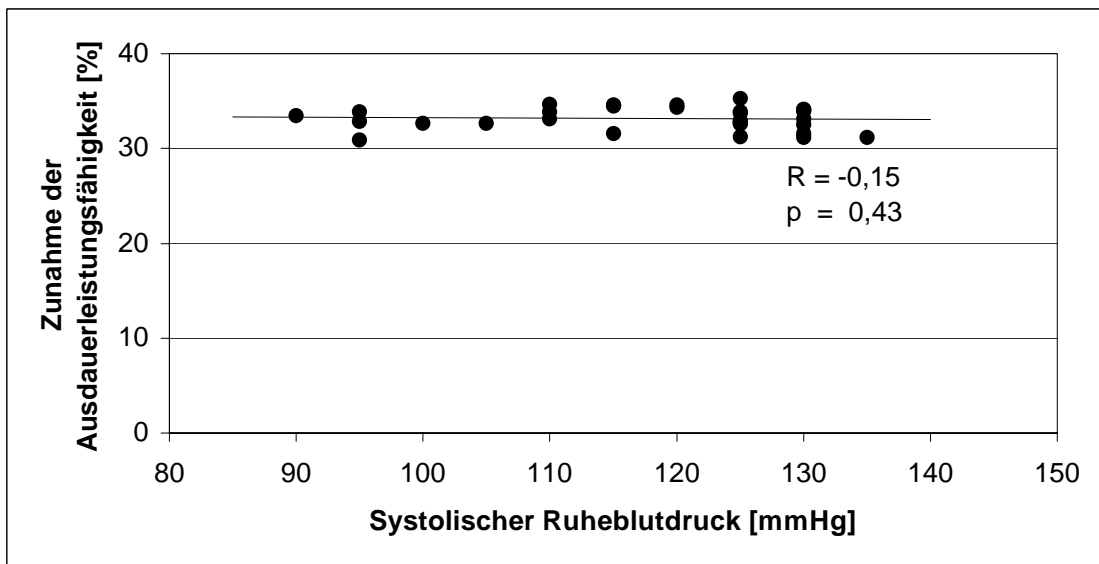


Abb. 42: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und systolischem Ruheblutdruck vor Trainingsbeginn

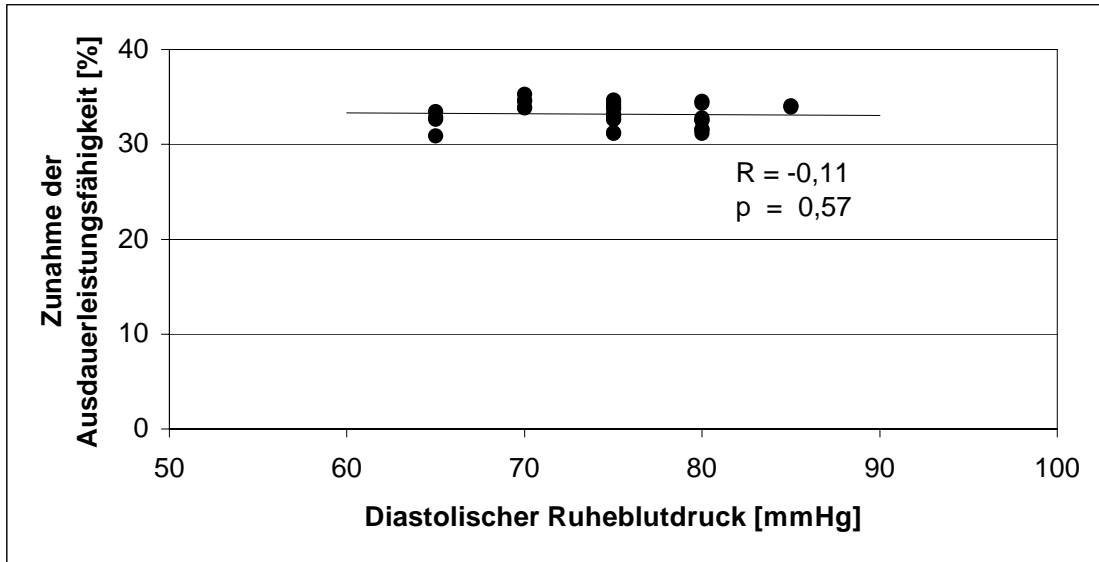


Abb. 43: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und diastolischem Ruheblutdruck vor Trainingsbeginn

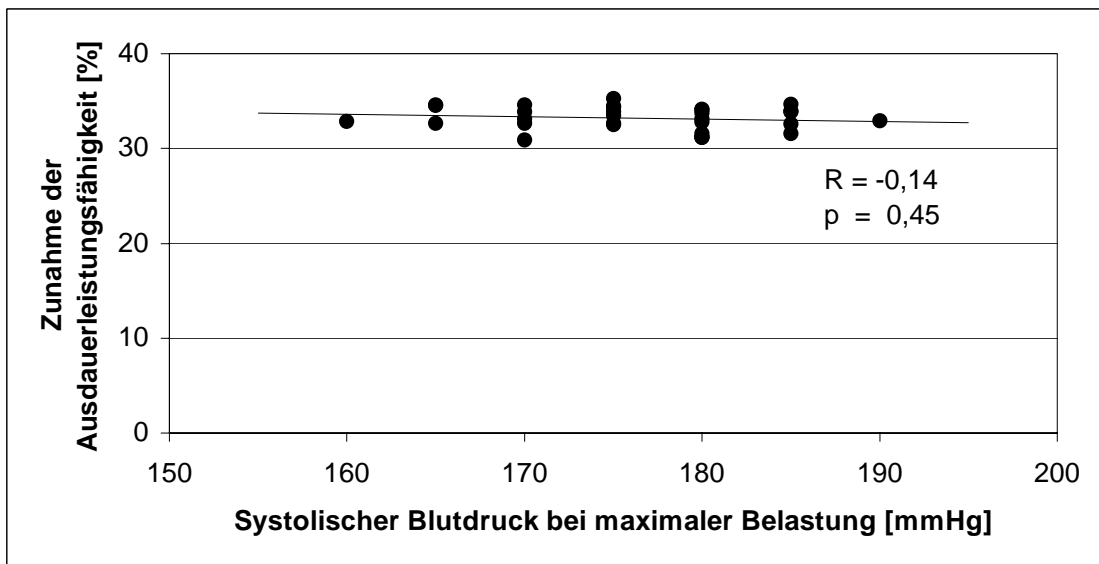


Abb. 44: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und systolischem Blutdruck bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn

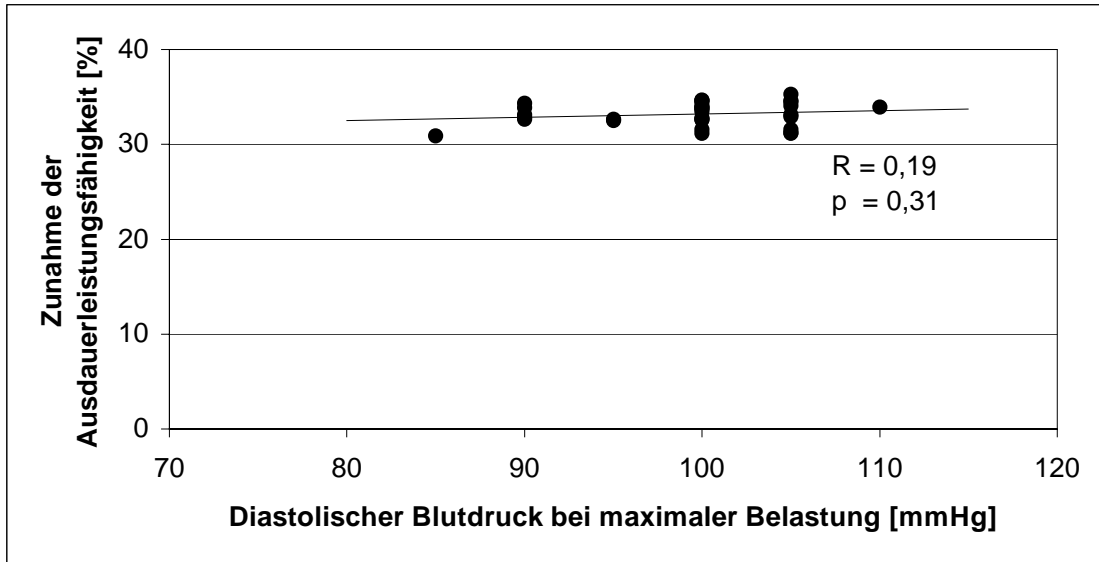


Abb. 45: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und diastolischem Blutdruck bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn

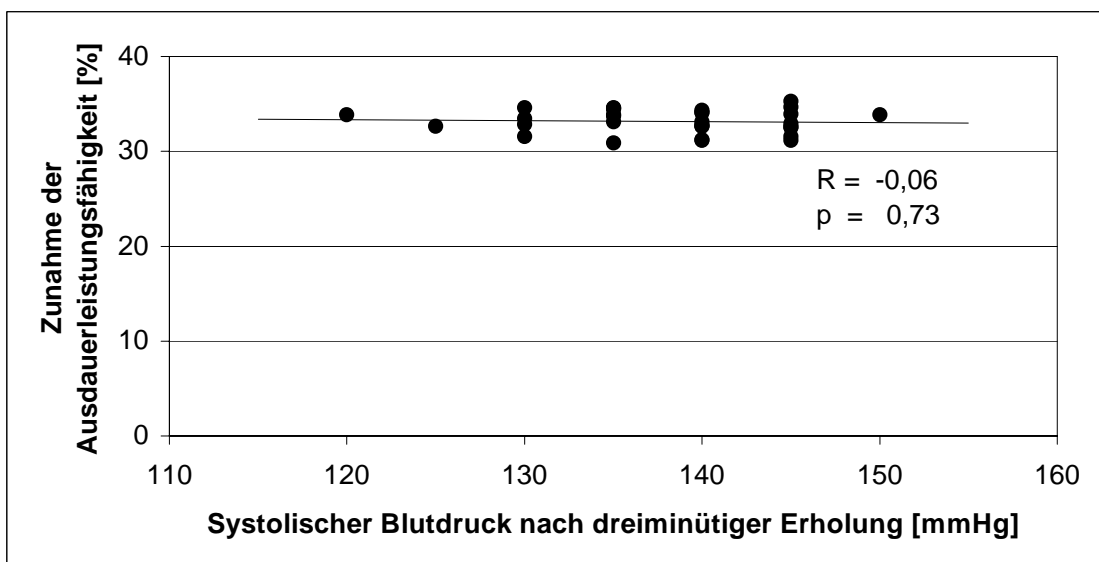


Abb. 46: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und systolischem Blutdruck nach dreiminütiger Erholung vor Trainingsbeginn

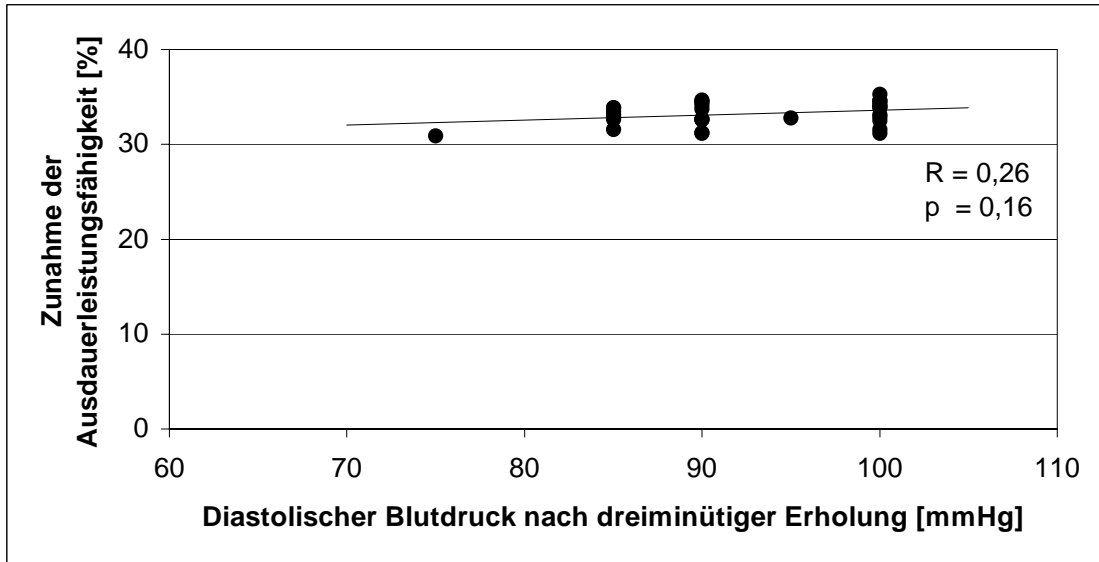


Abb. 47: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und diastolischem Blutdruck nach dreiminütiger Erholung vor Trainingsbeginn

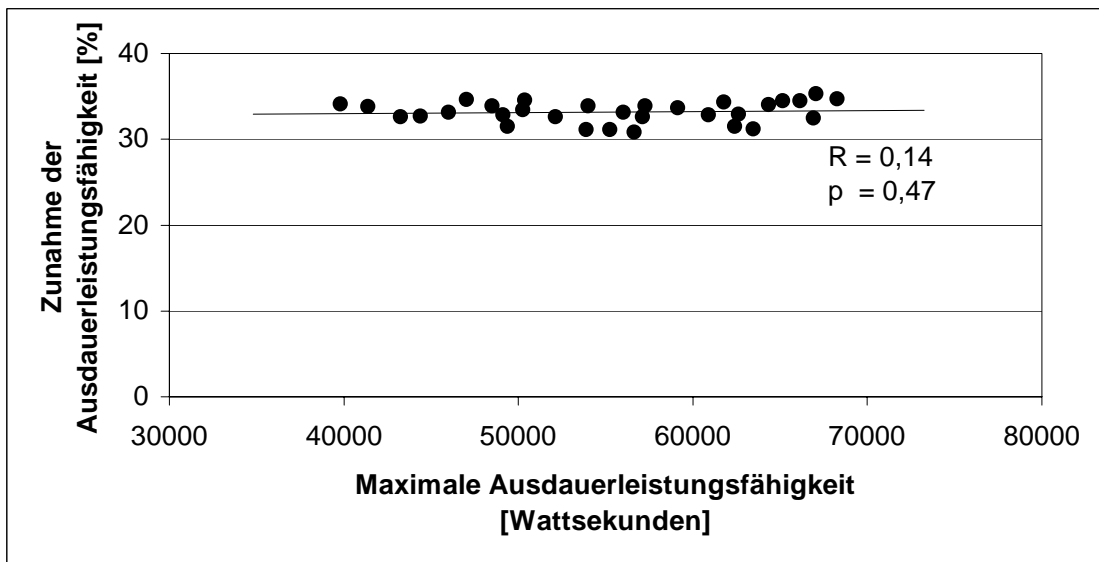


Abb. 48: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und maximaler Ausdauerleistungsfähigkeit vor Trainingsbeginn



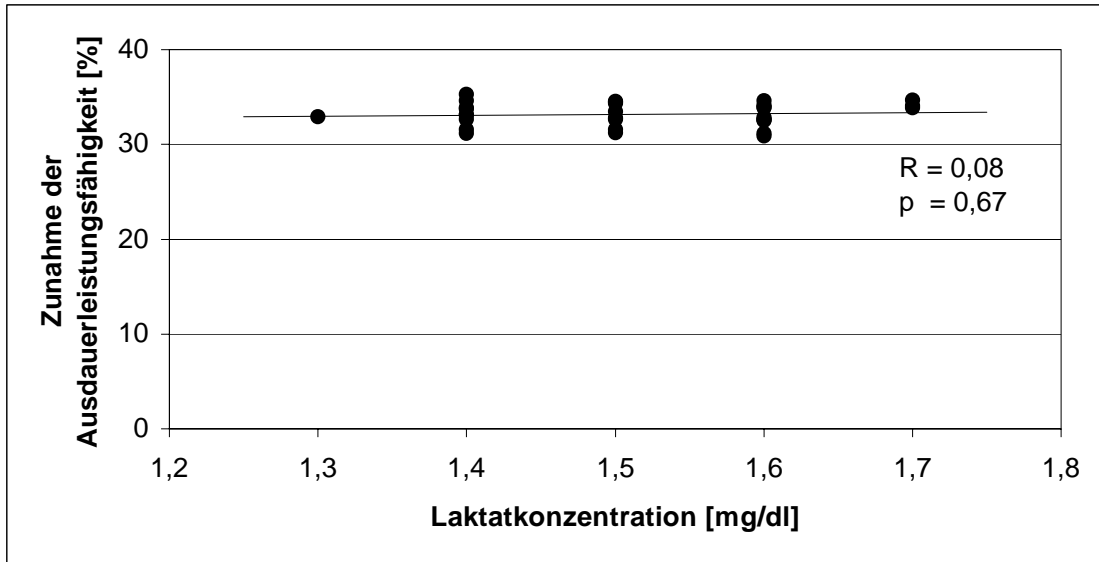


Abb. 49: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und Laktatkonzentration in Ruhe vor Trainingsbeginn

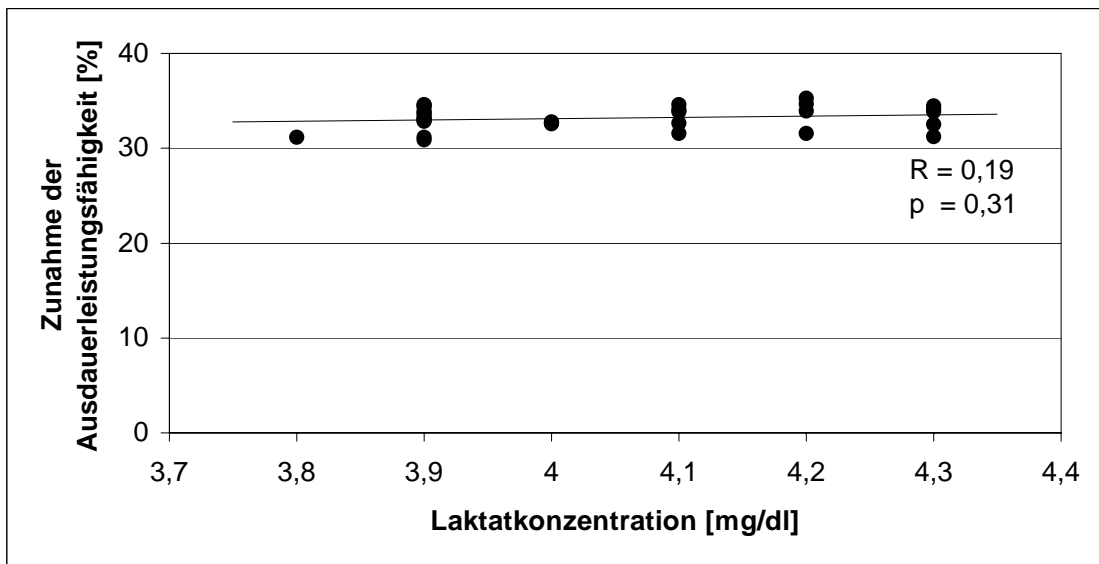


Abb. 50: Zusammenhang zwischen Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit und Laktatkonzentration bei maximaler Belastung vor Trainingsbeginn

## 4 Diskussion

### 4.1 Methodenkritik

#### 4.1.1 Setting

Diese Studie wurde von keiner Seite gesponsort und mußte deshalb mit Eigenmitteln durchgeführt werden. So konnten neben der Laktatmessung keine weiteren Laborparameter überprüft werden; ebensowenig stand eine Spiro-Ergometrie zur Verfügung.

Zusätzlich mußte auf eine Vergleichs- oder Kontrollgruppe verzichtet werden. Aus früheren Untersuchungen ist aber bekannt, daß ohne Intervention in der geprüften Altersgruppe ohne Vorselektion durch manifeste Erkrankungen (d.h. dann eintretende Regression zum Mittelwert) praktisch alle geprüften Parameter konstant blieben (*Hurley et al., 1984*).

Eine Verfälschung bei Erhebung der Parameter war ebenfalls nicht möglich. Unberücksichtigt blieben eine Verfälschung der Daten durch eine Gewichtsveränderung der Probanden, Meßschwankungen der automatischen Blutdruckmeßgeräte sowie die Erhöhung der Belastungsstufe als objektivierbarer Parameter.

Da nur ein Hauptendpunkt vorlag, konnte auf eine Adjustierung des Signifikanzniveaus wegen multiplen Testens verzichtet werden. Die Ergebnisse waren jedoch größtenteils so eindeutig, daß davon ausgegangen werden kann, daß sie auch bei Adjustierung für multiples Testen signifikant bleiben würden (*Sachs, 1992*).

#### 4.1.2

## Angewandte Methoden

### 4.1.2.1 Nautilus-Geräte

Das im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchte Krafttraining nach dem Nautilus-Prinzip wurde im Gliederungspunkt 1.3.4. bereits ausführlich beschrieben. Um eine gleichbleibende Spannung des Muskels zu erzeugen, sind in die Nautilus-Geräte Exzenter eingebaut, die in Abhängigkeit vom Hebelarm gewährleisten sollen, daß das Drehmoment über den Bewegungsverlauf konstant bleibt. Die Umsetzung dieses Prinzips gelingt jedoch aus unterschiedlichen Gründen nicht hundertprozentig.

Da es sich bei den Exzentern um eine feste Installation handelt und das Drehmoment vom Hebelarm, d.h. von der Länge der Gliedmaßen, abhängt, treten bei unterschiedlich großen Personen abweichende Drehmomente auf.

Darüberhinaus verändert sich während des Bewegungsablaufs die intra- und intermuskuläre Koordination. Zum einen arbeiten in verschiedenen Bewegungsabschnitten innerhalb eines Muskels unterschiedliche Muskelfasern, so daß der Tonus innerhalb des Muskels also über die Bewegung variiert. Zum anderen teilen sich synergistisch arbeitende Muskeln phasenhaft die Bewegungsabschnitte auf, so daß einzelne Muskeln oft nur über einen ganz bestimmten Winkel arbeiten. Aus diesem Grund wäre es theoretisch exakter, praktisch aber undurchführbar, die Kräfte vektoriell bezogen auf die einzelnen Muskeln zu erfassen.

Selbst wenn man durch den Einsatz exzentrischer Scheiben versucht, das Drehmoment während der Muskelaktion gleich hoch zu halten, ist im EMG eine starke Schwankung der elektrischen Aktivität trotz der gleich hohen äußeren Belastungsintensität zu erkennen, was als Hinweis auf die intramuskuläre Tonusveränderung zu werten ist (*Radlinger et al., 1998*).

#### 4.1.2.2 Fahrradergometrie

Zur Prüfung der Ausdauerleistungsfähigkeit stehen verschiedene Tests zur Verfügung, von denen als die wichtigsten die Bestimmung der Arbeitskapazität und die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme zu nennen sind.

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max.}$ ) ist ein Maß für die aerobe Leistungskapazität des Organismus (*Froelicher und Lancaster, 1974; Kindermann et al., 1980; Berg et al., 1986*). Man mißt sie spirometrisch bei kontinuierlich oder stufenweise ansteigender Ergometerleistung, wobei die Sauerstoffaufnahme zunächst gleichmäßig zunimmt und dann mit dem Übergang in den Erschöpfungsbereich auf einen Plateauwert abflacht (*Schmidt und Thews, 1985*).

Ausgehend vom engen Bezug zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und den korrespondierenden Herzleistungsparametern (Herzvolumen, Schlagvolumen, Herzminutenvolumen) beim Gesunden kann nach Ansicht verschiedener Autoren auf diese Weise eine Aussage zur individuellen Herzleistungsfunktion gemacht werden (*Froelicher und Lancaster, 1974; Dickhuth et al., 1983a+b; Berg et al., 1986; Fuller und Movahed, 1987*).

In anderen Publikation wird dagegen von einem nur geringen Zusammenhang zwischen maximaler Sauerstoffaufnahme und Ausdauerleistungsfähigkeit ausgegangen (*Costill et al., 1973; Hickson et al., 1980; Dickhuth et al., 1988; Berg et al., 1990; Marcinik et al., 1991*), so daß dieses Verfahren als Methode der Leistungsmessung insgesamt umstritten ist.

Dagegen stellt die Bestimmung der Arbeitskapazität mittels Fahrrad- oder Laufbandergometrie eine akzeptierte Standardmethode zur Leistungsfeststellung dar (*Bruce, 1974; Morris und McHenry, 1978; Stippig et al., 1982; Löllgen und Ulmer, 1985; Fuller und Movahed, 1987; Kindermann, 1987; Berg et al., 1990; Gollner, 1991; Jung, 1992*).

Der Test soll aus einem einfachen Bewegungsablauf bestehen, um die neuromuskuläre Koordination auf ein Mindestmaß zu beschränken. Weiterhin ist eine stufenweise ansteigende Belastung mit niedrigem Belastungsbeginn anzustreben, um eine optimale Adaptation während der ersten Minuten zu

erreichen. Große Teile der gesamten Muskelmasse sollen beansprucht werden, um das Sauerstofftransportsystem, den limitierenden Faktor der körperlichen Leistungsfähigkeit, austesten zu können. Der Test muß schnell und leicht auswertbar sein, um ihn als Routinemethode einsetzen zu können. Schließlich muß der Test in seiner Gesamtheit für den Patienten wie für den Untersuchenden akzeptabel sein (*Jung, 1992*).

Die häufigste Belastungsmethode in der Praxis, die auch im Rahmen unserer Studie zur Anwendung kam, stellt die Fahrradergometer-Belastung im Sitzen dar. Sie erfüllt alle genannten Kriterien eines guten Belastungstests und stellt die in Mitteleuropa gebräuchlichste Belastungsform dar (*Kindermann, 1987*).

Für die Fahrradergometrie existieren heute zahlreiche Belastungsprogramme, die insbesondere hinsichtlich Eingangsstufe, Belastungsdauer und Belastungssteigerung variieren. Es kann mit einer Eingangsstufe von 25 Watt (leistungsschwache Personen), 50 Watt (Personen mittlerer Leistungsfähigkeit) oder 100 bzw. 150 Watt (Sportlerinnen bzw. Sportler) begonnen werden. Die Steigerung kann 25 Watt bei leistungsschwachen oder 50 Watt bei leistungsstärkeren Personen oder Sportlern betragen, die Belastungsdauer pro Stufe liegt bei zwei oder drei Minuten (*Kindermann, 1987*). In unserer Untersuchung wurde mit einer Leistung von 50 Watt begonnen, die im Abstand von drei Minuten um jeweils 25 Watt gesteigert wurde. Hinsichtlich der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit stuften *Kullmer et al. (1987)* das zwei- und das dreiminütige Belastungsprotokoll als gleichwertig ein: bei zweiminütiger Stufendauer lag die maximale Wattzahl um 6 % höher als bei dreiminütiger Stufendauer, während die maximale Sauerstoffaufnahme nur einen marginalen Unterschied zeigte. Die dreiminütige Stufendauer ist jedoch für das Erreichen von Steady-state-Bedingungen bei Herzfrequenz und Blutdruck günstiger (*Mellerowicz et al., 1964; Gilbert et al., 1967; Neumann et al., 1996*) und somit für die Bestimmung der Belastungstoleranz besser geeignet. Zudem ist bei Fahrradergometrien mit zusätzlichem methodischen Aufwand während der Belastung (z.B. Blutabnahme, Blutdruckmessung) eine dreiminütige Stufendauer praktikabler (*Kullmer et al., 1987*).

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß bei der Fahrradergometrie im Gegensatz zur Belastungsart der Laufbandergometrie neben der

Ausdauerleistungsfähigkeit auch der Einfluß der Kraftausdauer zum Tragen kommt (*Kindermann, 1987*).

#### 4.1.2.3 Laktatmessung

Eine blutige Laktatmessung ist in der Leistungsdiagnostik seit längerem ein anerkannter und zuverlässiger Parameter, der die individuelle Belastung effektiv widerspiegelt (*Graham, 1984; Kamber, 1992; Gambke et al., 1994; Heck, 1990; Hildebrand et al., 1993; Cwickla, 1994*).

Im Rahmen unserer Studie wurden die Stand-by-Laktatmessungen mit dem ACCUSPORT-Meßgerät der Fa. Hestia, Mannheim, durchgeführt. Dieses Gerät bietet als einziges verfügbares Mobilmeßgerät eine den stationären Meßeinrichtungen etwa gleichwertige Genauigkeit (*Beneke et al., 1994; Gambke et al., 1994; Roßkopf et al., 1995*).

Die Blutentnahme erfolgte aus dem Ohrläppchen (*Foxdal et al., 1990; Roßkopf et al., 1995*), wobei die Invasivität des Verfahrens einen Nachteil darstellt. Die Laktatmessung wurde von den Probanden nur bedingt akzeptiert. Das ursprüngliche Vorhaben, während der Ergometrie in zweiminütigen Abständen Laktatmessungen vorzunehmen, mußte auf insgesamt zwei Bestimmungen (Wert in Ruhe und bei maximaler Belastung) reduziert werden.

Von 186 befragten Probanden hatten nur 76 Interesse an einer Studienteilnahme gezeigt. 110 Probanden lehnten aufgrund der angekündigten Laktatmessung ab.

## 4.2 Aktueller Kenntnisstand in der Literatur zu den Auswirkungen des Nautilus-Trainings

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Studien, die sich mit den Auswirkungen des Nautilus-Trainings auf verschiedene Parameter befaßten. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Kollektive, Abweichungen in der Durchführung des Trainings sowie in der Länge des Beobachtungszeitraums, sind die Untersuchungen nur bedingt miteinander vergleichbar.

Autor	Probanden	Art und Dauer des Trainings	Untersuchte Parameter	statistisch signifikante Veränderungen innerhalb der Gruppen
Hurley et al., 1984	<p><i>Versuchsgruppe:</i> 13 untrainierte gesunde Männer zw. 40 und 55 Jahren</p> <p><i>Kontrollgruppe:</i> 10 untrainierte gesunde Männer zw. 40 und 64 Jahren</p>	<p><i>Versuchsgruppe:</i> 14 Übungen an Nautilus-Geräten mit je 8-12 Wiederholungen möglichst keine Pausen beim Gerätewechsel 3-4 Trainingseinheiten/Woche über 16 Wo.</p> <p><i>Kontrollgruppe:</i> kein Training</p>	Körpergewicht Körperfettanteil   Muskelkraft max. VO <sub>2</sub> Belastungs- herzfrequenz Belastungs- blutdruck	<p><i>Versuchsgruppe:</i> Muskelkraft ↑</p> <p><i>Kontrollgruppe:</i> --</p>
van Dam et al., 1988	<p><i>Versuchsgruppe:</i> 9 gesunde normalgewichtige Frauen in der Postmenopause zw. 50 und 67 Jahren</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> 7 gesunde normalgewichtige Frauen in der Postmenopause zw. 50 und 67 Jahren</p>	<p><i>Versuchsgruppe:</i> Training an Nautilus-Geräten (nicht näher beschrieben) 3 Trainingseinheiten/Woche über 6 Monate</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> Ausdauertraining auf dem Laufband (20 min bei 70-85% der max. HF) 3 Trainingseinheiten/Woche über 6 Monate</p>	Nüchternglukose und -insulin im OGTT	<p><i>Versuchsgruppe:</i> keine</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> Nüchterninsulin im Zeitraum bis zu 30 min nach Glukosegabe ↓</p>
Craig et al., 1989	<p><i>Versuchsgruppe:</i> 9 ältere gesunde Männer im Durchschnittsalter von 62,8 ± 0,7 Jahren</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> 6 jüngere gesunde Männer im Durchschnittsalter von 23,3 ± 1,5 Jahren</p>	<p><i>Versuchs- und Vergleichsgruppe:</i> Training an 8 Nautilus-Geräten mit je 3 x 10 Wiederholungen 3 Trainingseinheiten/Woche mit einer Dauer von 45-60 min über 12 Wochen</p>	Körpergewicht Körperfettanteil   max. VO <sub>2</sub> Muskelkraft Nüchternglukose und -insulin im OGTT	<p><i>Versuchsgruppe:</i> Körpergewicht ↑ Körperfettanteil ↓ Muskelkraft ↑ Nüchterninsulin ↓</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> Körperfettanteil ↓ Muskelkraft ↑ Nüchterninsulin ↓</p>

Tab. 2: Literaturübersicht

Autor	Probanden	Art und Dauer des Trainings	Untersuchte Parameter	statistisch signifikante Veränderungen innerhalb der Gruppen
Hagberg et al., 1989	<p><i>Versuchsgruppe:</i> 19 untrainierte gesunde Probanden zw. 70 und 79 Jahren</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> 16 untrainierte gesunde Probanden zw. 70 und 79 Jahren</p>	<p><i>Versuchsgruppe:</i> Training an 10 Nautilus-Geräten mit je 8-12 Wiederholungen 1-2 min Pausen beim Gerätewechsel 3 Trainingseinheiten/Woche über 26 Wochen</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> Ausdauertraining (Gehen beginnend mit 20 min bei 50% d. max. VO<sub>2</sub> mit kontinuierlicher Steigerung auf 35-45 min bei 75-85% der max. VO<sub>2</sub>) 3 Trainingseinheiten/Woche über 26 Wochen</p>	Gewicht Muskelkraft max. VO <sub>2</sub> Belastungs- herzfrequenz Belastungs- blutdruck	<p><i>Versuchsgruppe:</i> Muskelkraft ↑</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> max. VO<sub>2</sub> ↑ syst. Belastungs- RR ↓</p>

Sparling et al., 1990	<i>Versuchsgruppe:</i> 16 Männer mit KHK im Durchschnittsalter von 55,8 ± 7,1 Jahren	<i>Versuchsgruppe:</i> Training an 12 Nautilus-Geräten je 8-20 Wiederholungen 3 Trainingseinheiten/Woche über 6 Monate	Körpergewicht Körperfettanteil   Muskelkraft Ruhe- und Belastungsblutdruck	<i>Versuchsgruppe:</i> Muskelkraft ↑
Cononie et al., 1991	<i>Versuchsgruppe:</i> 20 untrainierte gesunde Probanden zw. 70 und 79 Jahren (9 Frauen, 11 Männer)  <i>Vergleichsgruppe:</i> 17 untrainierte gesunde Probanden zw. 70 und 79 Jahren (9 Frauen, 8 Männer)	<i>Versuchsgruppe:</i> Training an 10 Nautilus-Geräten mit je 8-12 Wiederholungen 1-2 min Pausen beim Gerätewechsel 3 Trainingseinheiten/Woche über 6 Monate  <i>Vergleichsgruppe:</i> Ausdauertraining (Gehen/Laufen beginnend mit 20-30 min bei 50% d. max. VO <sub>2</sub> mit kontinuierlicher Steigerung auf 35 bis 45 min bei 75-85% der max. VO <sub>2</sub> ) 3 Trainingseinheiten/Woche über 6 Monate	Gewicht Körperfettanteil   Muskelkraft max. VO <sub>2</sub> Ruheblutdruck	<i>Versuchsgruppe:</i> Muskelkraft ↑  <i>Vergleichsgruppe:</i> : max. VO <sub>2</sub> ↑ diast. Ruhe-RR ↓

Tab. 2 (Forts.): Literaturübersicht

Autor	Probanden	Art und Dauer des Trainings	Untersuchte Parameter	statistisch signifikante Veränderungen innerhalb der Gruppen
Blumenthal et al., 1991	<i>Versuchsgruppe:</i> 22 gesunde prä- (n = 11) bzw. postmenopausale (n = 11) Frauen zw. 45 und 55 Jahren ohne Medikation  <i>Vergleichsgruppe:</i> 24 gesunde prä- (n = 12) bzw. postmenopausale (n = 12) Frauen zw. 45 und 55 Jahren ohne Medikation	<i>Versuchsgruppe:</i> Beweglichkeitsübungen (20 min) mit sich anschließendem Nautilus-Training (35 min): 9 Übungen an 7 Nautilus-Geräten mit je 12-15 Wiederholungen 2 Trainingseinheiten/Woche über 12 Wochen  <i>Vergleichsgruppe:</i> Aerobes Ausdauertraining (15 min Aufwärmen, 35 min Laufen bei mind. 70% der HF-Reserve) 3 Trainingseinheiten/Woche über 12 Wochen	Ruheherzfrequenz max. VO <sub>2</sub> Gesamtcholesterin LDL-Cholesterin HDL-Cholesterin VLDL-Cholesterin Triglyzeride Apo A-I Apo A-II Apo B	<i>Versuchsgruppe prämenopausal:</i> --  <i>Versuchsgruppe postmenopausal:</i> --  <i>Vergleichsgruppe prämenopausal:</i> --  <i>Vergleichsgruppe postmenopausal:</i> Gesamtcholesterin ↓ HDL-Cholesterin ↓ Apo A-I ↑
Katz u. Wilson, 1992	<i>Versuchsgruppe:</i> 13 untrainierte gesunde Frauen zw. 18 und 27 Jahren  <i>Kontrollgruppe:</i> 13 untrainierte gesunde Frauen zw. 18 und 22 Jahren	<i>Versuchsgruppe:</i> 13 Übungen an 13 Nautilus-Geräten mit je 11-15 Wiederholungen möglichst keine Pausen beim Gerätewechsel 3 Trainingseinheiten/Woche mit einer max. Dauer von 30 min über 6 Wochen  <i>Kontrollgruppe:</i> kein Training	Muskelkraft syst. und diast. Ruheblutdruck	<i>Versuchsgruppe:</i> Muskelkraft ↑ syst. Ruhe-RR ↓ diast. Ruhe-RR ↓ (Aufgrund der im Vergleich mit der Kontrollgruppe zusätzlich beobachteten Zeiteffekte war die RR-Abnahme jedoch nicht auf das Training zurückzuführen)

Tab. 2 (Forts.): Literaturübersicht



Autor	Probanden	Art und Dauer des Trainings	Untersuchte Parameter	statistisch signifikante Veränderungen innerhalb der Gruppen
Hersey et al., 1994	<p><i>Versuchsgruppe:</i> 17 untrainierte gesunde Frauen u. Männer zw. 70 und 79 Jahren</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> 16 untrainierte gesunde Frauen u. Männer zw. 70 und 79 Jahren</p>	<p><i>Versuchsgruppe:</i> Training an 10 Nautilus-Geräten je 8-12 Wiederholungen 1-2 min Pause beim Gerätewechsel 3 Trainingseinheiten/Woche über 6 Monate</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> Ausdauertraining (Gehen/Laufen beginnend mit 20 min bei 70% der HF-Reserve mit kontinuierlicher Steigerung auf 35 bis 45 min bei 75-85% der HF-Reserve) 3 Trainingseinheiten/Woche über 6 Monate</p>	<p>Körpergewicht Körperfettanteil   max. VO<sub>2</sub> Muskelkraft Glukosetoleranz Gesamtcholesterin Triglyzeride</p>	<p><i>Versuchsgruppe:</i> Muskelkraft ↑</p> <p><i>Vergleichsgruppe:</i> : VO<sub>2</sub> ↑ Glukosetoleranz ↑</p>

Tab. 2 (Forts.): Literaturübersicht

Ein Gerätewechsel ohne Pausen wurde explizit nur in der Studie von *Hurley et al. (1984)* sowie *Katz und Wilson (1992)* gefordert. Die Untersuchung von *Hurley et al. (1984)* unterscheidet sich jedoch von unserer durch einen kürzeren Untersuchungszeitraum von vier Monaten und durch das Probandenkollektiv (Männer zwischen 40 und 55 Jahren). *Katz und Wilson (1992)* untersuchten Frauen zwischen 18 und 27 Jahren über einen Zeitraum von sechs Wochen.

In den Studien von *Hagberg et al. (1989)*; *Cononie et al. (1991)* sowie *Hersey et al. (1994)* finden sich Hinweise auf eine ein- bis zweiminütige Pause beim Gerätewechsel, während die anderen Autoren keine näheren Angaben zu dieser Frage machen.

Folgende Effekte des Nautilus-Trainings lassen sich trotz der eingeschränkten Vergleichbarkeit der Studien jedoch festhalten:

➤ Körpergewicht:

Lediglich eine der sechs Studien, in denen die Veränderung des Körpergewichts untersucht wurde, konnte eine statistisch signifikante Auswirkung des Nautilus-Trainings nachweisen; hier war bei älteren Männern ein Anstieg des Körpergewichts beobachtet worden (*Craig et al., 1989*). In den anderen Untersuchungen war die Veränderung des Körpergewichts nicht

statistisch signifikant (*Hurley et al., 1984; Craig et al., 1989; Hagberg et al., 1989; Sparling et al., 1990; Cononie et al., 1991; Hersey et al., 1994*).

➤ Körperfettanteil:

Der Einfluß des Nautilus-Training auf den Körperfettanteil wurde von *Hurley et al. (1984), Craig et al. (1989), Sparling et al. (1990), Cononie et al. (1991), Hersey et al. (1994)* untersucht. Eine statistisch signifikante Abnahme konnte nur in der Studie von *Craig et al. (1989)* nachgewiesen werden.

➤ Muskelkraft:

Eine signifikante Zunahme der Muskelkraft durch das Nautilus-Training zeigte sich in allen Studien, in denen dieser Parameter untersucht wurde (*Hurley et al., 1984; Craig et al., 1989; Hagberg et al., 1989; Sparling et al., 1990; Cononie et al., 1991; Katz und Wilson, 1992; Hersey et al., 1994*).

➤ Maximale Sauerstoffaufnahme:

Die Auswirkung eines Trainings an Nautilus-Geräten auf die maximale Sauerstoffaufnahme wurde von *Hurley et al. (1984), Craig et al. (1989), Hagberg et al. (1989), Blumenthal et al. (1991), Cononie et al. (1991) und Hersey et al. (1994)* untersucht. Eine signifikante Veränderung konnte jedoch in keiner der Studien belegt werden.

➤ Herzfrequenz:

Eine Beeinflussung der Herzfrequenz in Ruhe oder Belastung durch das Nautilus-Training wurde in keiner Studie nachgewiesen (*Hurley et al., 1984; Hagberg et al., 1989; Blumenthal et al., 1991*).

➤ Blutdruck:

Ebensowenig wurden durch das Training Ruhe- oder Belastungsblutdruck signifikant verändert (*Hurley et al., 1984; Hagberg et al., 1989; Sparling et al., 1990; Cononie et al., 1991; Katz und Wilson, 1992*).

➤ Lipidstoffwechsel:

*Blumenthal et al. (1991)* und *Hersey et al. (1994)* untersuchten die Auswirkungen des Nautilus-Trainings auf den Lipidstoffwechsel, ohne signifikante Veränderungen festzustellen.

➤ Glukosestoffwechsel:

Während in der Untersuchung von *van Dam et al. (1988)* das Nautilus-Training keinen Einfluß auf Nüchtern glukose und -insulin von gesunden Frauen in der Postmenopause hatte, war bei *Craig et al. (1989)* bei Männern in vergleichbarem Alter ein Rückgang des Nüchterninsulinspiegels zu beobachten.

### 4.3 Interpretation der eigenen Ergebnisse

#### 4.3.1 Durchführbarkeit und Akzeptanz des Trainings

Die Anzahl der Trainingseinheiten sollte in der vorliegenden Studie bei mindestens zwei, maximal drei Trainingseinheiten pro Woche liegen, was 48 bis 72 Einheiten in sechs Monaten entspricht. Die Dauer der einzelnen Trainingseinheiten sollte etwa 30 bis 40 Minuten betragen.

Das Training erwies sich in der vorgegebenen Form als praktikabel und gut durchführbar. Die Probanden absolvierten zwischen 48 und 60 Trainingseinheiten (Mittelwert:  $53,2 \pm 3,5$ ) mit einer durchschnittlichen Dauer von 29 bis 36 min (Mittelwert:  $32,2 \pm 2,2$  min).

Lediglich drei der ursprünglich in die Studie aufgenommenen Probanden beendeten das Training wegen ihres Wegzuges aus Marburg vorzeitig. Abbrüche aus anderen Gründen gab es nicht, was für die gute Akzeptanz des Nautilus-Trainings spricht. Von einem Selektionseffekt durch eine besonderes hohe Motivation der Studienteilnehmer muß hier nicht ausgegangen werden, da sich das Nautilus-Training bei allen Besuchern des Marburger Fitnessstudios unabhängig von einer Teilnahme an der Studie großer Beliebtheit erfreut. Darüberhinaus ist die weltweite Verbreitung der Nautilus-Geräte ein weiterer Hinweis auf die große Akzeptanz dieser Trainingsform (*Darden, 1990*). Die angekündigte Lactat-Bestimmung stellte jedoch ein relevantes Hindernis für die Studienteilnahme dar, so dass hier ein Selektionseffekt unabhängig von der Trainingsmotivation nicht auszuschließen war.

Vorgesehen war eine vorherige Trainingskarenz von mindestens 18 Monaten. Da auffallend viele Probanden genau diese Karenzzeit benannten, ist eine Unschärfe dieses Parameters im Sinne der sozialen Erwünschtheit nicht auszuschließen. Eine mögliche kürzere Trainingskarenz vor Studienbeginn hätte allenfalls die Effekte des Trainings verringert, so daß die Kernaussage unberührt bleibt.

#### 4.3.2 Auswirkung des Nautilus-Trainings auf die untersuchten Parameter

##### 4.3.2.1 Körpergewicht

Nach sechsmonatigem Training war im Untersuchungskollektiv eine statistisch signifikante Gewichtsabnahme von ursprünglich  $77,8 \pm 8,6$  kg auf  $76,7 \pm 8,9$  kg zu beobachten ( $p = 0,01$ ).

Somit steht unser Ergebnis im Widerspruch zu den Resultaten anderer Autoren, die übereinstimmend keinen statistisch signifikanten Einfluß des Nautilus-Trainings auf das Körpergewicht nachweisen konnten (*Hurley et al., 1984; Craig et al., 1989; Hagberg et al., 1989; Sparling et al., 1990; Cononie et al., 1991; Hersey et al., 1994*). Bei den Probanden aus der Studie von *Craig et al. (1989)* war sogar eine Gewichtszunahme zu verzeichnen.

Insgesamt konnte jedoch eine Gewichtsabnahme durch körperliches Training bereits in anderen Untersuchungen belegt werden (*Wood et al., 1991; Blair, 1993; Ross et al., 2000*). Die im Rahmen unserer Studie erzielte Gewichtsabnahme zeigt, daß die untersuchten Probanden sehr diszipliniert waren und den durch das Training erhöhten Kalorienverbrauch nicht über vermehrte Kalorienaufnahme kompensierten.

##### 4.3.2.2 Kardiozirkulatorische Parameter

###### 4.3.2.2.1 Pulsfrequenz

Nach sechsmonatigem Nautilus-Training hatte die Pulsfrequenz in Ruhe ( $68,5 \pm 3,7$  vs.  $65,6 \pm 2,6$  Schläge/min;  $p = 0,0001$ ) sowie nach dreiminütiger

Erholung ( $108,7 \pm 5,1$  vs.  $103,1 \pm 3,9$  Schläge/min;  $p = 0,000002$ ) statistisch signifikant abgenommen.

Auch dieses Ergebnis unserer Studie entspricht nicht den Resultaten anderer Untersuchungen, die eine statistisch signifikante Beeinflussung der Pulsfrequenz durch das Nautilus-Training nicht nachweisen konnten (*Hurley et al., 1984; Hagberg et al., 1989; Blumenthal et al., 1991*).

#### 4.3.2.2.2 Blutdruck

Statistisch signifikante Veränderungen des Ruheblutdrucks waren in unserem Kollektiv nicht aufgetreten (systolisch:  $117,9 \pm 12,6$  vs.  $117,7 \pm 7,1$  mmHg; diastolisch:  $74,8 \pm 5,6$  mmHg vs.  $74,8 \pm 4,2$  mmHg). Dagegen war der systolische ( $176,3 \pm 7,2$  mmHg vs.  $172,9 \pm 4,8$  mmHg;  $p = 0,01$ ) und der diastolische ( $99,4 \pm 6,0$  vs.  $97,4 \pm 6,2$  mmHg;  $p = 0,07$ ) Blutdruck bei maximaler Belastung zurückgegangen, wobei nur das Ergebnis für den systolischen Blutdruck statistisch signifikant war. Drei Minuten nach Abbruch der Ergometrie hatte dagegen der systolische ( $138,1 \pm 6,8$  vs.  $131,1 \pm 6,8$  mmHg;  $p = 0,00001$ ) und der diastolische Blutdruck ( $92,4 \pm 6,0$  vs.  $87,7 \pm 6,6$  mmHg;  $p = 0,0003$ ) signifikant abgenommen. Diese Ergebnisse sprechen gegen einen wesentlichen Habituationseffekt an die Untersuchungssituation (*Neumann et al., 1996*) und für eine echte Ökonomisierung der kardiovaskulärer Parameter.

Andere Autoren hatten bisher keinen Einfluß des Nautilus-Trainings auf Ruhe- oder Belastungsblutdruck zeigen können (*Hurley et al., 1984; Hagberg et al., 1989; Sparling et al., 1990; Cononie et al., 1991; Katz und Wilson, 1992*). In der Untersuchung von *Katz und Wilson (1992)* war zwar in der Versuchsgruppe eine signifikante Abnahme des systolischen und des diastolischen Ruheblutdrucks zu beobachten, die jedoch auf Zeiteffekte und nicht auf das Training zurückzuführen war.

#### 4.3.2.3 Ausdauerleistungsfähigkeit

Die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit auf dem Fahrradergometer konnte innerhalb von sechs Monaten von durchschnittlich  $55475 \pm 8244$  Wattsekunden

auf  $73891 \pm 11096$  Wattsekunden signifikant gesteigert werden ( $p = 0,000001$ ). Die Zunahme betrug  $33,2 \pm 1,2$  %.

In anderen Studien, in denen ausschließlich die maximale Sauerstoffaufnahme zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit herangezogen wurde, wurde dagegen kein signifikanter Einfluß des Nautilus-Trainings nachgewiesen (Hurley et al., 1984; Craig et al., 1989; Hagberg et al., 1989; Blumenthal et al., 1991; Cononie et al., 1991; Hersey et al., 1994), auch wenn das Training – wie in unserem Kollektiv – ohne Pausen beim Gerätewechsel durchgeführt wurde (Hurley et al., 1984).

Diese abweichenden Ergebnisse könnten auch darauf zurückzuführen sein, daß die maximale Sauerstoffaufnahme zwar ein guter Index für die aerobe Kapazität ist, aber keinen zuverlässiger Prädiktor der Ausdauerleistungsfähigkeit darstellt (Costill et al., 1973; Hickson et al., 1980; Dickhuth et al., 1988; Berg et al., 1990; Marcinik et al., 1991). Insbesondere beim Krafttraining wäre es denkbar, daß die Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit auf den Anstieg der Muskelkraft und der aeroben Kapazität der Muskulatur beruht, aber sich nicht in einem Anstieg der maximalen Sauerstoffaufnahme niederschlägt. Dennoch ist die in unserer Untersuchung nachgewiesene Zunahme der Leistungsfähigkeit im Ergometer-Ausdauerstest relevant. In verschiedenen Untersuchungen konnte die positive Korrelation zwischen körperlicher Aktivität bzw. erhöhter Ausdauerleistungsfähigkeit und verminderten kardiovaskulären Ereignissen nachgewiesen werden, auch wenn man daraus nicht auf eine Kausalität schließen kann (Brunner et al., 1974; Paffenbarger und Hale, 1975; Paffenbarger et al., 1978; Magnus et al., 1979; Morris et al., 1980; Paffenbarger et al., 1986; Leon et al., 1987; Ekelund et al., 1988; Blair et al., 1995; Manson et al., 1999; Lee et al., 2000; Sesso et al., 2000; Stampfer et al., 2000; Lee et al., 2001). Da die untersuchten Probanden neben dem Nautilus-Training keine anderen sportlichen Aktivitäten aufwiesen, müssen die beobachteten Effekte auf diese Trainingsform zurückgeführt werden.

#### 4.3.2.4 Laktatkonzentration

Während die Laktatkonzentration vor der Ergometrie nach sechsmonatigem Training von durchschnittlich  $1,52 \pm 0,11$  mg/dl auf  $1,44 \pm 0,10$  mg/dl signifikant zurückgegangen war ( $p = 0,0019$ ), blieb sie bei maximaler Leistung nahezu unverändert ( $4,05 \pm 0,16$  vs.  $4,02 \pm 0,11$  mg/dl;  $p = 0,31$ ).

Nach dem halbjährigen Nautilus-Training lagen die für die Laktatkonzentration ermittelten Extremwerte zwischen 3,80 und 4,20 mg/dl und hatten sich so gegenüber den Ausgangswerten (3,80 bis 4,30 mg/dl) nicht verändert. Somit wurde die Grenze des Laktatgleichgewichtes mit einer anaeroben Schwelle von 4 mg/dl von allen Probanden nicht oder nur geringfügig überschritten (*Gollner, 1991*). In Anbetracht des in der vorliegenden Studie erbrachten Nachweises einer Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit kann davon ausgegangen werden, daß durch das absolvierte Training auch die aerobe Leistungsfähigkeit zugenommen hat. Dies ist auf die intensive Kreislaufbelastung während der Trainingseinheiten und die unvollständige Erholung aufgrund des schnellen Wechsels der einzelnen Trainingsgeräte zurückzuführen. Dagegen fanden wir keine Zunahme der anaeroben Belastungsfähigkeit.

#### 4.3.3 Einflußfaktoren auf die Zunahme der maximalen Ausdauerleistungs- fähigkeit

Zur Klärung der Frage, ob für die Zunahme der maximalen Ausdauerleistung im Rahmen eines Nautilus-Trainings bestimmte probanden- oder trainingsbezogene Voraussetzungen erfüllt sein müssen, wurde der Einfluß einer Vielzahl von Faktoren untersucht. Dabei konnten keinerlei statistisch signifikante Zusammenhänge ermittelt werden, so daß das Nautilus-Training in der ausgewählten Probandengruppe uneingeschränkt zu einer Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit führt.

Lediglich bei der Unterscheidung nach dem Geschlecht waren für verschiedene Untersuchungsparameter Unterschiede in der Ausprägung des Trainingserfolgs zu beobachten, wobei die Abnahme des Körpergewichts, der Ruhepulsfrequenz sowie der Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung bei den Frauen jeweils größer ausgefallen war als bei den Männern. Möglicherweise haben Frauen das Trainingsprogramm gezielt zur Unterstützung einer Gewichtsabnahme durch Modifikation der Ernährung benutzt. Wir haben keine

Daten zum Ernährungsverhalten der Probanden bzw. zum Wunsch nach Gewichtsabnahme erfaßt. Allerdings wurden nur normalgewichtige Personen in die Untersuchung aufgenommen. Vergleichsdaten aus der Literatur zum Einfluß verschiedener Faktoren des Nautilus-Trainings auf die Ausdauerleistungsfähigkeit fanden sich nicht.

#### 4.3.4 Vergleich des Nautilus-Trainings mit anderen Trainingsformen

##### 4.3.4.1 Nautilus-Training vs. Ausdauersportarten

Ein Vorteil des Nautilus-Trainings ist darin zu sehen, daß es ein kurzes, aber intensives Trainieren ermöglicht. Dies ist vor allem deshalb von Bedeutung, weil Zeitmangel heutzutage viele Menschen an der regelmäßigen Ausübung sportlicher Aktivitäten hindert.

Bei den gängigen Ausdauersportarten wie Laufen oder Radfahren liegt eine Mehrbelastung der unteren Extremitäten vor, während beim Nautilus-Training der ganze Körper belastet wird. Ebenso fehlt den Ausdauersportarten sowohl die Kraft- als auch die Beweglichkeitskomponente, die das Nautilus-Training auszeichnet. Da eine niedrige Flexibilität mit einer höheren Verletzungsgefahr einhergeht (*Kasprzak, 1987*), liegt ein weiterer Vorteil des Nautilus-Trainings gegenüber den Ausdauersportarten in seiner geringeren Verletzungsgefahr (*Darden, 1990*).

##### 4.3.4.2 Nautilus-Training vs. konventionelles Krafttraining

*Eldracher (1993)* untersuchte die Auswirkungen eines sechsmonatigen Bodybuilding-Trainings bei Untrainierten. Er konnte keinen relativen Anstieg der Ausdauerleistungsfähigkeit auf dem Fahrradergometer nachweisen, jedoch war außerdem eine Gewichtszunahme um durchschnittlich 5 kg zu beobachten. In unserer Studie war das Körpergewicht der Probanden sogar statistisch signifikant zurückgegangen.

Im Vergleich zum konventionellen Krafttraining ist die Verletzungsgefahr beim Training nach dem Nautilus-Prinzip geringer. Die langsamen Bewegungen



zwingen den Sportler dazu, mit leichteren Gewichten zu trainieren, was an sich schon einen Vorteil darstellt. Ebenso führt die Anwendung des Prinzips der Vorermdung zu einer Reduzierung der Trainingsgewichte. Durch die Verwendung von leichteren Gewichten werden die Gelenke geschont. Da Verletzungen fast ausschließlich bei Beschleunigungen auftreten, kommt es bei diesem beschleunigungsarmen Training sehr selten zu Verletzungen. In dem Marburger Fitnessstudio, in dem die vorliegende Untersuchung durchgeführt wurde, war es innerhalb von drei Jahren bei keinem der 1100 Mitglieder bei der Durchführung des Nautilus-Trainings zu Verletzungen gekommen.

Aufgrund der Führung durch die Maschine ist eine Standardisierung des Bewegungsablaufes möglich, was das Training insbesondere für Anfänger erleichtert und Fehlbelastungen verhindert. Daraus resultiert der Nachteil einer geringen Anzahl von Variationsmöglichkeiten bei extremem Training, der aber für den Breitensport keine Rolle spielt.

#### **4.4 Schlußfolgerungen und Ausblick**

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie belegen, daß durch reines Krafttraining nach dem Nautilus-Prinzip die aerobe Leistungsfähigkeit verbessert werden kann, wobei auch die kardiozirkulatorischen Parameter positiv beeinflusst werden. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten, herz-kreislauf-orientierten Sport abseits der traditionellen Ausdauersportarten zu betreiben.

Aufgrund der teilweise deutlichen Abweichungen unserer Ergebnisse von den bisherigen Beobachtungen des Schrifttums wäre es zur Absicherung der Ergebnisse angezeigt, unseren Studienansatz an einem größeren Kollektiv zu wiederholen und durch Kontrolle von Stoffwechselfparametern zu ergänzen. Zudem wäre es von Interesse, den Effekt der untersuchten Trainingsform auch bei Probanden im Alter von über 40 Jahren sowie bei Übergewichtigen zu untersuchen, da es sich hierbei um die eigentliche Zielgruppe der Primärprävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen handelt. Hierbei sollte eine Kontrollgruppe mitgeführt werden.

## 5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden prospektiven Studie war es einerseits, die Auswirkungen eines sechsmonatigen dynamischen Krafttrainings an Nautilus-Geräten auf kardiozirkulatorische Parameter (Pulsfrequenz und Blutdruck in Ruhe und Belastung) und die mittels Fahrradergometrie bestimmte Ausdauerleistungsfähigkeit an 31 gesunden untrainierten Probanden (8 Frauen, 23 Männer) im Alter von 20 bis 45 Jahren zu untersuchen. Ergänzend wurde eine Messung des Laktatwertes vorgenommen. Andererseits sollte geklärt werden, inwieweit die Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit von verschiedenen probanden- und trainingsbezogenen Ausgangsbedingungen abhängig ist.

Das Training erwies sich in der vorgegebenen Form als praktikabel und gut durchführbar. Die Probanden absolvierten zwischen 48 und 60 Trainingseinheiten (Mittelwert:  $53,2 \pm 3,5$ ) mit einer durchschnittlichen individuellen Dauer von 29 bis 36 min (Mittelwert:  $32,2 \pm 2,2$  min).

Nach sechsmonatigem Training war im Untersuchungskollektiv eine statistisch signifikante Gewichtsabnahme von ursprünglich  $77,8 \pm 8,6$  kg auf  $76,7 \pm 8,9$  kg zu beobachten ( $p = 0,01$ ).

Ebenso hatte die Pulsfrequenz in Ruhe ( $68,5 \pm 3,7$  vs.  $65,6 \pm 2,6$  Schläge/min;  $p = 0,0001$ ) sowie nach dreiminütiger Erholung ( $108,7 \pm 5,1$  vs.  $103,1 \pm 3,9$  Schläge/min;  $p = 0,000002$ ) statistisch signifikant abgenommen.

Signifikante Veränderungen des Ruheblutdrucks waren in unserem Kollektiv nicht aufgetreten (systolisch:  $117,9 \pm 12,6$  vs.  $117,7 \pm 7,1$  mmHg; diastolisch:  $74,8 \pm 5,6$  mmHg vs.  $74,8 \pm 4,2$  mmHg). Dagegen waren der systolische ( $176,3 \pm 7,2$  mmHg vs.  $172,9 \pm 4,8$  mmHg;  $p = 0,01$ ) und der diastolische ( $99,4 \pm 6,0$  vs.  $97,4 \pm 6,2$  mmHg;  $p = 0,07$ ) Blutdruck bei maximaler Belastung zurückgegangen, ebenso drei Minuten nach Abbruch der Ergometrie (systolisch:  $138,1 \pm 6,8$  vs.  $131,1 \pm 6,8$  mmHg,  $p = 0,00001$ ; diastolisch:  $92,4 \pm 6,0$  vs.  $87,7 \pm 6,6$  mmHg;  $p = 0,0003$ ).

Die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit auf dem Fahrradergometer konnte innerhalb von sechs Monaten von durchschnittlich  $55475 \pm 8244$  Wattsekunden

auf  $73891 \pm 11096$  Wattsekunden signifikant gesteigert werden ( $p = 0,000001$ ). Die Zunahme betrug  $33,2 \pm 1,2$  %.

Während die Laktatkonzentration vor der Ergometrie nach sechsmonatigem Training von durchschnittlich  $1,52 \pm 0,11$  mg/dl auf  $1,44 \pm 0,10$  mg/dl signifikant zurückgegangen war ( $p = 0,0019$ ), blieb sie bei maximaler Leistung nahezu unverändert ( $4,05 \pm 0,16$  vs.  $4,02 \pm 0,11$  mg/dl;  $p = 0,31$ ).

Es konnten für keinen der untersuchten Einflußfaktoren (Alter, Body-Mass-Index, anamnestiche Sportkarenz, Anzahl und Dauer der Trainingseinheiten, Pulsfrequenz, Blutdruck, maximale Ausdauerleistungsfähigkeit und Laktatkonzentration vor Trainingsbeginn) statistisch signifikante Zusammenhänge mit der Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit ermittelt werden. Demnach führt das Nautilus-Training in der ausgewählten Probandengruppe uneingeschränkt zum Trainingserfolg. Lediglich bei der Unterscheidung nach dem Geschlecht waren für verschiedene Untersuchungsparameter Unterschiede zu beobachten, wobei die Abnahme des Körpergewichts, der Ruhepulsfrequenz sowie der Pulsfrequenz nach dreiminütiger Erholung bei den Frauen jeweils größer ausgefallen war als bei den Männern.

Zusammenfassend belegten die Ergebnisse der vorliegenden Studie, daß durch reines Krafttraining nach dem Nautilus-Prinzip die aerobe Leistungsfähigkeit verbessert werden kann, wobei auch die kardiozirkulatorischen Parameter positiv beeinflußt werden. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten, herz-kreislauf-orientierten Sport abseits der traditionellen Ausdauersportarten zu betreiben.

## 6 Literatur

1. American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation:  
Guidelines for Cardiac Rehabilitation Programs.  
Human Kinetics Publishers, Champaign (1991)
2. American College of Sports Medicine:  
American College of Sports Medicine position stand. The recommended  
quantity and quality of exercise for developing and maintaining  
cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults.  
Med Sci Sports Exerc 22, 265-274 (1990)
3. American College of Sports Medicine:  
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.  
Med Sci Sports Exerc 30, 975-991 (1998)
4. Atha, J.:  
Strengthening muscle.  
Exerc Sport Sci Rev 9, 1-73 (1981)
5. Beneke, R., Boldt, F., Richter, Th., Kress, A., Leithäuser, R., Behn, C.:  
Laktatmessung in der Sportmedizin – drei Meßgeräte im Vergleich.  
Dtsch Z Sportmed 45, 60-69 (1994)
6. Berg, A., Baumstark, M., Keul, J.:  
Wirkungen des Sports auf den Stoffwechsel, insbesondere  
Lipidmetabolismus.  
Therapiewoche 38, 1954-1959 (1988)
7. Berg, A., Halle, M., Baumstark, M., Frey, I., Keul, J.:  
Einfluß und Wirkweise der körperlichen Aktivität auf den Lipid- und  
Lipoproteinstoffwechsel.  
Dtsch Z Sportmed 42, 224-231 (1991)

8. Berg, A., Jakob, E., Lehmann, M., Dickhuth, H.H., Huber, G., Keul, J.:  
Aktuelle Aspekte der modernen Ergometrie.  
Pneumologie 44, 2-13 (1990)
9. Berg, A., Lehmann, M., Keul, J.:  
Körperliche Aktivität bei Gesunden und Koronarkranken.  
Thieme, Stuttgart / New York (1986)
10. Biener, K.:  
Sportunfälle – Epidemiologie und Prävention. Lehre, Forschung und  
Verhütung.  
Verlag Hans Huber, Bern / Göttingen / Toronto (1992)
11. Blair, S.N.:  
Evidence for success of exercise in weight loss and control.  
Ann Intern Med 119, 702-706 (1993)
12. Blair, S.N., Goddard, N.N., Gibbons, L.W., Cooper, K.H.:  
Physical fitness and incidence of hypertension in healthy normotensive  
men and women.  
JAMA 252, 487-490 (1984)
13. Blair, S.N., Kohl, H.W., Barlow, C.E., Paffenbarger, R.S., Gibbons, L.W.,  
Macera, C.A.:  
Changes in physical fitness and all-cause mortality.  
JAMA 273, 1093-1098 (1995).
14. Blumenthal, J.A., Matthews, K., Fredrikson, M., Rifai, N., Schniebolck, S.,  
German, D., Steege, J., Rodin, J.:  
Effects of exercise training on cardiovascular function and plasma lipid,  
lipoprotein, and apolipoprotein concentrations in premenopausal and  
postmenopausal women.  
Arterioscler Thromb 11, 912-917 (1991)
15. Borghouts, L.B., Keizer, H.A.:  
Exercise and insulin sensitivity: a review.  
Int J Sports Med 21, 1-12 (2000)
16. Bruce, R.A.:  
Methods of exercise testing.  
Am J Cardiol 5, 715-720 (1974)

17. Brunner, D., Manelis, G., Modan, M.:  
Physical activity at work and the incidence of myocardial infarction, angina pectoris, and death due to ischemic heart disease. An epidemiological study in Israeli collective settlements (Kibbutzim).  
J Chronic Dis 27, 217-222 (1974)
18. Cononie, C.C., Graves, J.E., Pollock, M.L., Phillips, M.I., Sumners, C., Hagberg, J.M.:  
Effect of exercise training on blood pressure in 70- to 79-yr-old men and women.  
Med Sci Sports Exerc 23, 505-511 (1991)
19. Costill, D.L., Thomason, H., Roberts, E.L.:  
Fractional utilization of aerobic capacity during distance running.  
Med Sci Sports 5, 248-253 (1973)
20. Craig, B.W., Everhart, J., Brown, R.:  
The influence of high-resistance training on glucose tolerance in young and elderly subjects.  
Mech Ageing Dev 49, 147-157 (1989)
21. Czwikla, H.:  
Laktatkonzentration Boehringer Mannheim, S. 235-239.  
In: Clasing, D., Weicker, H., Böning, D. (Hrsg.): Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik.  
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart / Jena / New York (1994)
22. Darden, E.:  
The Nautilus book.  
Contemporary Books, Chicago 1990.
23. Deutscher Verband für Gesundheitssport und Sporttherapie (Hrsg.):  
WELLNESS – Unternehmensstrategie Gesundheit. Sektion Gesundheitsförderung in Alltag und Beruf.  
Eigenverlag, Hürth (1989)
24. Dickhuth, H.H., Lehmann, M., Abel, R., Keul, J.:  
Zweidimensionale Belastungsechokardiographie und Plasmakatecholamin-Bestimmung zur Beurteilung des physiologisch hypertrophierten Herzens.  
Z Kardiol 72, 268-276 (1983a)

25. Dickhuth, H.H., Nause, A., Staiger, J., Bonzel, T., Keul, J.:  
Two-dimensional echocardiographic measurements of left ventricular volume and stroke volume of endurance-trained athletes and untrained subjects.  
Int J Sports Med 4, 21-26 (1983b)
26. Dickhuth, H.H., Wohlfahrt, B., Hildebrand, D., Rokitzki, L., Huonker, M., Keul, J.:  
Jahreszyklische Schwankungen der Ausdauerleistungsfähigkeit von hochtrainierten Mittelstreckenläufern.  
Dtsch Z Sportmed 39, 346-353 (1988)
27. Dunn, A.L., Marcus, B.H., Kampert, J.B., Garcia, M.E., Kohl, H.W., Blair, S.N.:  
Comparison of lifestyle and structured interventions to increase physical activity and cardiorespiratory fitness.  
JAMA 281, 327-334 (1999)
28. Ekelund, L.G., Haskell, W.L., Johnson, J.L., Whaley, F.S., Criqui, M.H., Sheps, D.S.:  
Physical fitness as a predictor of cardiovascular mortality in asymptomatic north american men: The Lipid Research Clinics Mortality Follow-up Study.  
N Engl J Med 319, 379-384 (1988)
29. Einsingbach, T.:  
Muskuläres Aufbautraining in der Krankengymnastik und Rehabilitation.  
Pflaum, München (1990)
30. Eldracher, W.:  
Längsschnittuntersuchung über kardiopulmonale Auswirkungen eines halbjährigen Bodybuilding-Trainings an Untrainierten.  
Medizinische Dissertation, Frankfurt am Main (1993)
31. Feigenbaum, M.S., Pollock, M.L.:  
Prescription of resistance training for health and disease.  
Med Sci Sports Exerc 31, 38-45 (1999)
32. Fleck, S.J., Kraemer, W.J.:  
Designing resistance training programs.  
Human Kinetics Books, Champaign (1997)



33. Foxdal, P., Sjödin, B., Rudtsam, H., Östman, C., Östman, B., Hedenstierna, G.C.:  
Lactate concentration differences in plasma, whole blood, capillary fingerblood and erythrocytes during submaximal graded exercise in humans.  
Eur J Appl Physiol 61, 218-222 (1990)
34. Froelicher, V.F., Lancaster, M.C.:  
The prediction of maximal oxygen consumption from a continue exercise treadmill protocol.  
Am Heart J 4, 445-450 (1974)
35. Fuller, T., Movahed, A.:  
Current review of exercise testing: application and interpretation.  
Clin Cardiol 10, 189-200 (1987)
36. Gambke, B., Berg, A., Fabian, K., Francaux, M., Lormes, W., Haber, P., Hartmann, U., Kamber, M., Roßkopf, P., Schwarz, L., Steinacker, J.M.:  
Multicenter evaluation of a new portable system for determining blood lactate.  
Med Sci Sports Exerc 26 (Suppl), 42 (1994)
37. Gilbert, R., Auchincloss, J.H., Baule, G.H.:  
Metabolic and circulatory adjustments to unsteady-state exercise.  
J Appl Physiol 22, 905-909 (1967)
38. Gollner, E.:  
Rehabilitatives Ausdauertraining in der Orthopädie und Traumatologie auf Grundlage der Trainingslehre.  
Pflaum Verlag, München (1991)
39. Graham, T.E.:  
Measurement and interpretation of lactate, S. 51-65.  
In: Löllgen, H., Mellerowicz, H. (Hrsg.): Progress in ergometry: Quality control and test criteria.  
Springer, Berlin (1984)
40. Güllich, A., Schmidtbleicher, D.:  
Struktur der Krafftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden.  
Dtsch Z Sportmed 50, 223-234 (1999)

41. Haas, H.J.:  
Trainingstherapie, S. 84-249.  
In: van den Berg, F. (Hrsg.):  
Angewandte Physiologie. 3. Therapie, Training, Tests.  
Thieme, Stuttgart / New York (2001)
42. Hagberg, J.M., Graves, J.E., Limacher, M., Woods, D.R., Leggett, S.H.,  
Cononie, C., Gruber, J.J., Pollock, M.L.:  
Cardiovascular responses of 70- to 79-yr-old men and women to exercise  
training.  
J Appl Physiol 66, 2589-2594 (1989)
43. Heck, H.:  
Diagnostische Verfahren zur Beurteilung der Belastbarkeit und  
Leistungsfähigkeit.  
Therapiewoche 38, 1940-1944 (1988)
44. Heck, H.:  
Lactat in der Leistungsdiagnostik.  
Hofmann, Schorndorf (1990)
45. Heck, H., Rosskopf, P.:  
Die Laktat-Leistungsdiagnostik – valider ohne Schwellenkonzepte.  
TW Sport + Medizin 5, 344-352 (1993)
46. Hersey, W.C., Graves, J.E., Pollock, M.L., Gingerich, R., Shireman, R.B.,  
Heath, G.W., Spierto, F., McCole, S.D., Hagberg, J.M.:  
Endurance exercise training improves body composition and plasma  
insulin responses in 70- to 79-year-old men and women.  
Metabolism 43, 847-854 (1994)
47. Hickson, R.C., Rosenkoetter, M.A., Brown, M.M.:  
Strength training effects on aerobic power and short-term endurance.  
Med Sci Sports Exerc 12, 336-339 (1980)
48. Hildebrand, A., Lormes, W., Emmert, J., Schneider, V., Steinacker, J.M.,  
Stauch, M.:  
Change of L-lactat concentration in different blood compartments during  
exercise.  
Med Sci Sports Exerc 25 (Suppl): 65 (1993)

49. Hollmann, W.:  
Körperliches Ausdauertraining – Wirkung und Regeln.  
Fortschr Med 101, 1664-1668 (1983)
50. Hollmann, W.:  
Muskelkraft und Krafttraining aus sportmedizinischer Sicht.  
Dtsch Z Sportmed 38, 405-415 (1987)
51. Hollmann, W.:  
Sport und Praeventivmedizin.  
Med Forschung 1, 183-197 (1988)
52. Hollmann, W.:  
Zur gesundheitlichen Bedeutung von Training.  
Dtsch Z Sportmed 42, 457 (1991)
53. Hollmann, W.:  
Die Bedeutung der Sportmedizin als Präventionsmedizin.  
Dtsch Z Sportmed 47 (Suppl), 127-137 (1996)
54. Hollmann, W., Gytfas, I.:  
Gesundheit und körperliche Aktivität (WHO und FIMS).  
Dt Ärztebl 91, 3511-3514 (1994).
55. Hollmann, W., Hettinger, Th.:  
Sportmedizin, Arbeits- und Trainingsgrundlagen.  
Schattauer, Stuttgart (1980)
56. Hollmann, W., Hettinger, Th.:  
Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin.  
Schattauer, Stuttgart (2000)
57. Hollmann, W., Venrath, H., Bouchard, C., Budinger, H.:  
Über die Eignung der häufigsten Sportarten für präventive und  
rehabilitative Zwecke auf dem Herz-Kreislaufsektor.  
I. Physiologische Grundlagen.  
Fortschr Med 81, 243-250 (1964)

58. Horn, H.G.:  
Medizinisches Aufbautraining.  
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart / Jena / Lübeck /Ulm (1998)
59. Howald, H.:  
Morphologische und funktionelle Veränderungen der Muskelfasern durch  
Training, S. 254-270.  
In: Bührle, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und  
Schnellkrafttrainings.  
Verlag Karl Hofmann, Schorndorf (1985)
60. Hu, F.B., Stampfer, M.J., Colditz, G.A., Ascherio, A., Rexrode, K.M.,  
Willett, W.C., Manson, J.E.:  
Physical activity and risk of stroke in women.  
JAMA 22, 2961-2967 (2000).
61. Hurley, B.F., Seals, D.R., Ehsani, A.A., Cartier, L.J., Dalsky, G.P.,  
Hagberg, J.M., Holloszy, J.O.:  
Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function.  
Med Sci Sports Exerc 16, 483-488 (1984)
62. Isreal, S.:  
Der Bewegungsmangel als kardiovaskulärer Risikofaktor – eine Übersicht  
zu epidemiologischen Untersuchungen.  
Med Sport 29, 2-9 (1989)
63. Jung, K.:  
Bewegungstherapie: Prinzipien des therapeutischen Sports.  
Hippokrates-Verlag, Stuttgart (1992)
64. Kamber, M.:  
Laktatmessungen in der Sportmedizin: Meßmethodenvergleich.  
Schweiz Z Sportmed 40, 77-86 (1992).
65. Kasprzak, B.A.:  
Sporttraumatologische Aspekte des Krafttrainings.  
Dtsch Z Sportmed 38, 404-405 (1987)
66. Katz, J., Wilson, B.R.:  
The effects of a six-week, low-intensity Nautilus circuit training program  
on resting blood pressure in females.  
J Sports Med Phys Fitness 32, 299-302 (1992)

67. Keul, J.; Simon, G., Berg, A., Dickhuth, H.-H., Goertler, I., Kübel, R.:  
Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur  
Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung.  
Dtsch Z Sportmed 30, 212-218 (1979)
68. Kindermann, W.:  
Ergometrie-Empfehlungen für die ärztliche Praxis.  
Dtsch Z Sportmed 6, 244-268 (1987)
69. Kindermann, W., Schramm, M., Keul, J.:  
Aerobic performance diagnostics with different experimental settings.  
Int J Sports Med 1, 110-114 (1980)
70. Komi, P.V.:  
Faktoren der Muskelkraft und Prinzipien des Krafttrainings.  
Leistungssport 5, 3-7 (1975)
71. Kullmer, T., Kindermann, W., Mücke, E.:  
Körperliche Leistungsfähigkeit und Herz-Kreislauf-Verhalten bei Fahrrad-  
ergometrien unterschiedlicher Stufendauer.  
Herz/Kreisl 19, 209-213 (1987)
72. Lagerström, D.:  
Grundlagen der Sporttherapie bei koronarer Herzkrankheit.  
Echo-Verlag, Köln (1994)
73. Lee, I.-M., Sesso, H.D., Paffenbarger, R.S.:  
Physical activity and coronary heart disease risk in men. Does the  
duration of exercise episodes predict risk?  
Circulation 102, 981-986 (2000)
74. Lee, I.-M., Rexrode, K.M., Cook, N.R., Manson, J.E., Buring, J.E.:  
Physical activity and coronary heart disease in women.  
JAMA 11, 1447-1454 (2001)
75. Leon, A.S., Connett, J., Jacobs, D.R., Rauramaa, R.:  
Leisure-time physical activity levels and risk of coronary heart disease  
and death: The Multiple Risk Factor Intervention Trial.  
JAMA 258, 2388-2395 (1987)

76. Löllgen, H., Ulmer, H.V.:  
Ergometrie-Empfehlungen zur Durchführung und Bewertung  
ergometrischer Untersuchungen.  
Klin Wschr 63, 651-677 (1985)
77. Magnus, K., Matroos, A., Strackee, J.:  
Walking, cycling, or gardening with or without seasonal interruption in  
relation to acute coronary events.  
Am J Epidemiol 110, 724-733 (1979)
78. Manson, J.E., Hu, F.B., Rich-Edwards, J.W., Colditz, G.A., Stampfer,  
M.J., Willett, W.C., Speizer, F.E., Hennekens, C.H.:  
A prospective study of walking as compared with vigorous exercise in the  
prevention of coronary heart disease in women.  
N Engl J Med 341, 650-658 (1999)
79. Marcinik, E.J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P., Hurley, B.F.:  
Effects of strength training on lactate threshold and endurance  
performance.  
Med Sci Sports Exerc 23, 739-743 (1991)
80. Mellerowicz, H., Roskamm, H., Hettinger, T., Hollmann, W., Klaus, E.J.,  
König, K., Mies, H., Reindell, H., Stoboy, E.:  
Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung.  
Z Kreislaufforsch 53, 856-860 (1964)
81. Morris, J.N., Everitt, M.G., Pollard, R.:  
Vigorous exercise in leisure-time: Protection against coronary heart  
disease.  
Lancet 2, 1207-1210 (1980)
82. Morris, S.N., McHenry, P.L.:  
Role of exercise stress testing in healthy subjects and patients with  
coronary heart disease.  
Am J Cardiol 42, 659-665 (1978)
83. Neumann, G., Pfützner, A., Hottenrott, K.:  
Alles unter Kontrolle: Ausdauertraining.  
Meyer & Meyer, Aachen (1993)

84. Paffenbarger, R.S., Hale, W.E.:  
Work activity and coronary heart mortality.  
N Engl J Med 292, 545-550 (1975)
85. Paffenbarger, R., Hyde, R.T., Wing, A.L., Hsieh, C.-C.:  
Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni.  
N Engl J Med 314. 605-613 (1986)
86. Paffenbarger, R.S., Wing, A.L., Hyde, R.T.:  
Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni.  
Am J Epidemiol 108, 161-175 (1978)
87. Paffenbarger, R.S., Wing, A.L., Hyde, R.T.:  
Physical activity and incidence of hypertension in college alumni.  
Am J Epidemiol 117, 245-257 (1983)
88. Pförringer, W., Rosemeyer, B., Bär, H.W.:  
Sport, Trauma und Belastung.  
Perimed, Erlangen (1985)
89. Pollock, M.L., Graves, J.E., Swart, D.L., Lowenthal, D.T.:  
Exercise training and prescription for the elderly.  
South Med J 87, S88-S95 (1994)
90. Radlinger, L., Bachmann, W., Homburg, J., Leuenberger, U., Thaddey, G.:  
Rehabilitatives Krafttraining. Theoretische Grundlagen und praktische Anwendungen.  
Thieme, Stuttgart / New York (1998)
91. Raspe, T., Kohlmann, T.:  
Rückenschmerzen – eine Epidemie unserer Tage?  
Dtsch Ärztebl 47, 1343-1347 (1993)
92. Richter, E.A., Turcotte, L., Hespel, P., Kiens, B.:  
Metabolic responses to exercise. Effects of endurance training and implications for diabetes.  
Diabetes Care 15, 1767-1776 (1992)
93. Roskamm, H., Reindell, H., Winckelmann, G., König, K.:  
Die Bedeutung der körperlichen Aktivität in der Prophylaxe und Therapie von Herz- und Kreislauferkrankungen.  
Therapiewoche 14, 675-682 (1965)

94. Ross, R., Dagnone, D., Jones, P.J.H., Smith, H., Paddags, A., Hudson, R., Janssen, I.:  
Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men.  
Ann Intern Med 133, 92-103 (2000)
95. Rost, R., Hollmann, W.:  
Belastungsuntersuchungen in der Praxis.  
Thieme, Stuttgart 1982.
96. Sachs, L.:  
Angewandte Statistik.  
Springer, Berlin/Heidelberg/New York 1992.
97. Salowsky, H.:  
Fehlzeiten – eine Bilanz nach 20 Jahren Lohnfortzahlungsgesetz.  
Deutscher Instituts-Verlag, Köln (1991)
98. Schmidt, R.F., Thews, G.:  
Physiologie des Menschen.  
Springer, Berlin / Heidelberg / New York (1985)
99. Sesso, H.D., Paffenbarger, R.S., Lee, I.-M.:  
Physical activity and coronary heart disease in men. The Harvard Alumni Health Study.  
Circulation 102, 975-980 (2000)
100. Shephard, R.J., Balady, G.J.:  
Exercise as cardiovascular therapy.  
Circulation 99, 963-972 (1999)
101. Shephard, R.J., Youldon, P.E., Cox, M., West, C.:  
Effects of a 6-month industrial fitness programme on serum lipid concentrations.  
Atherosclerosis 35, 277-286 (1980).
102. Sparling, P.B., Cantwell, J.D., Dolan, C.M., Niederman, R.K.:  
Strength training in a cardiac rehabilitation program: a six-month follow-up.  
Arch Phys Med Rehabil 71, 148-152 (1990)



103. Stampfer, M.J., Hu, F.B., Manson, J.E., Rimm, E.B., Willett, W.C.:  
Primary prevention of coronary heart disease in women through diet and lifestyle.  
N Engl J Med 343, 16-22 (2000)
104. Stegemann, J.:  
Leistungsphysiologie.  
Thieme, Stuttgart / New York (1991)
105. Stippig, J., Berg, A., Lehmann, M., Keul, J.:  
Die Laufbandergometrie und ihre Bedeutung für die versicherungsmedizinische Diagnostik.  
Lebensversicherungsmedizin 4, 84-88 (1982)
106. van Dam, S., Gillespy, M., Notelovitz, M., Martin, A.D.:  
Effect of exercise on glucose metabolism in postmenopausal women.  
Am J Obstet Gynecol 159, 82-86 (1988)
107. Wasserman, D.H., Zinman, B.:  
Fuel homeostasis, S. 29-47.  
In: Ruderman, N., Devlin, J.T. (Hrsg.): The health professional's guide to diabetes and exercise.  
American Diabetes Association, Alexandria (1995)
108. Wood, P.D., Stefanick, M.L., Williams, P.T., Haskell, W.L.:  
The effects on plasma lipoproteins of a prudent weight-reducing diet, with or without exercise in overweight men and women.  
N Engl J Med 325, 461-466 (1991)

## **7 Anhang: Informationsmaterial für die Probanden**

## **Das Nautilus-Training**

### **"Trainiere intensiv, aber kurz!"**

Die Begriffe "Intensität" und "Energie" sind die Schlüsselworte bei diesem Training. Die Energie spielt deshalb eine große Rolle, weil alle Vorgänge im Körper vorhandene Energiereserven voraussetzen. Wird nun durch ein langes intensives Training zuviel Energie verbraucht, ist der Körper anschließend nicht in der Lage mit angemessenen Adaptionserscheinungen zu reagieren. Der Körper versucht nämlich zuerst die Energieverluste, die zum Beispiel durch Training entstehen, auszugleichen, bevor er Energie für das Muskelwachstum heranzieht. Man hat herausgefunden, daß die Anregung zu schnellem Muskelwachstum Muskelkonzentrationen von hoher Intensität voraussetzt. Wenn man seine Leistungsfähigkeit überschreitet, muß der Körper Reserven einsetzen, die normalerweise geschützt sind.

Damit diese Reserven beim Training nicht wieder angegriffen werden, erhöht der Körper seine Leistungsfähigkeit, was er durch den Aufbau von zusätzlicher Muskelmasse erreicht. Durch die Steigerung der Trainingsintensität wird aber der Körper jedesmal neu herausgefordert.

Der wohl größte Vorteil des Nautilus-Prinzips liegt jedoch in der Minimierung der Verletzungsgefahr. Durch die Bewegungen über den jeweils maximalen Bewegungsradius wird der Muskel bereits während des Krafttrainings gedehnt. Und ein gedehnter Muskel ist sowohl leistungsfähiger als auch verletzungsresistenter. Desweiteren zwingen die langsamen Bewegungen den Sportler mit leichteren Gewichten zu trainieren, was an sich schon ein Vorteil ist. Auch die Anwendung des Prinzips der Vorermüdung führt zur Reduzierung der Trainingsgewichte. Durch die Verwendung von leichteren Gewichten werden die Gelenke geschont. Diese gehören immer zu den Schwachstellen am menschlichen Körper, da sie sich wesentlich langsamer an das Training anpassen als die Muskulatur. Aus diesem Grund sollte man sich an die folgende Regel halten: "Trainiere, wann immer es möglich ist, mit einer Übung und einem Trainingssystem, das die Gelenke schont und die Muskeln trotzdem optimal belastet!"

## **Wie sieht nun das eigentliche Training aus ?**

Es gibt einige Regeln, die das ganze Training bestimmen:

1. Die konzentrische Phase der Bewegung dauert mindestens zwei, die exzentrische mindestens vier Sekunden und in der vollen Konzentration wird der Muskel für etwa eine Sekunde maximal angespannt. Nur so kann man sichergehen, daß die Bewegung ohne Schwung ausgeführt wird, und der Muskel über den ganzen Bewegungsablauf belastet wird.
2. Die Bewegung muß über den maximalen Bewegungsradius des Muskels gehen. Nur so kann der Muskel in allen Winkelstellungen wachsen. Ausnahmen bilden hier Sport-oder Unfallverletzte.
3. Der Satz wird bis zum momentanen Muskelversagen ausgeführt. Dies ist dann erreicht, wenn das Gewicht trotz größter Anstrengung in der positiven Phase nicht mehr bewegt werden kann.
4. Der negative Teil der Bewegung wird betont, da sich der Muskel sonst in dieser Phase erholen könnte. Diese Phase dauert ca. 3-4 Sekunden.
5. Um einen Muskel noch intensiver erschöpfen zu können wird er durch eine eingelenkige Übung vorermüdet, um ihn dann ohne Pause mit einer mehrgelenkigen vollends zu erschöpfen.
6. Jeder Muskel wird mit nur einem Satz pro Trainingseinheit trainiert.
7. In jeder Trainingseinheit wird der gesamte Körper trainiert. Damit wird der "Crossing - Effekt" ( Als Crossing - Effekt wird die Tatsache bezeichnet, daß nicht nur die trainierten Muskeln vom Training profitieren, sondern, im geringen Umfang allerdings, auch die restlichen Muskeln am Körper ), am besten ausgenutzt. Der Körper hat außerdem die Möglichkeit, sich an den folgenden Tagen besser regenerieren, was durch ein Split - Programm nicht gewährleistet ist.
8. Es wird maximal dreimal pro Woche trainiert.
9. Das Gewicht soll so gewählt werden, daß 8-12 Wiederholungen möglich sind. Eine Übung wird solange durchgeführt bis keine korrekte Wiederholung

möglich ist. Sind mehr als 12 Wiederholungen möglich, steigert man das Gewicht für den nächsten Trainingstermin um ca. 5-10 pds.

**10.** Um eine gute Beweglichkeit und Dehnfähigkeit zu erreichen, ist es notwendig, möglichst den vollen Bewegungsradius der Geräte auszunutzen

**11.** Wenn ein Gerät besetzt ist, sollte die übernächste Übung vorgezogen und die versäumte anschließend nachgeholt werden.

**12.** Ein Anhalten der Luft sollte unbedingt vermieden werden. Die Atmung sollte normal, dem Puls entsprechend, durchgeführt werden, wobei beim Anheben der Gewichte bewußt durch den Mund ausgeatmet wird.

**13.** Auf eine gerade Haltung ist zu achten. Ein Abfälschen des Übungsverlaufs durch Drehen oder Verschieben des Körpers ist zu vermeiden, weil dadurch die Übung wird und die Belastung nicht mehr voll auf die gewünschte Muskelgruppe wirkt. Überdies erhöht sich die Verletzungsgefahr, wenn die Übung nicht korrekt ausgeführt wird.

Wir sind davon überzeugt, daß Sie unter Beachtung dieser Trainingsprinzipien Ihre Ziele erreichen werden.

## **Herz-Kreislauf-Fitness und Krafttraining**

Die positiven Auswirkungen von Herz-Kreislauf-Training sind wohl jedem von uns bekannt, sowohl Medien als auch Mediziner weisen schon seit Jahren auf die gesundheitsfördernden Effekte von Ausdauertraining hin. Für so manchen Nicht-Sportler stellt sich jedoch die Frage, welche Sportart er ergreifen soll und inwieweit sich durch diese Sportart Verletzungsrisiken ergeben. Deshalb ist auch gerade für den Anfänger eine versierte Anleitung und engmaschige Überwachung des Trainings sinnvoll. Nicht jedem Sportanfänger liegen die „klassischen“ Ausdauersportarten wie Laufen, Radfahren und Schwimmen, zumal ja oftmals dafür auch geeignete Trainingsmöglichkeiten oder die entsprechende Zeit fehlen.

Die aufgeführten Sportarten haben zudem auch noch den Nachteil der ungenügenden Muskelstabilisierung, besonders im Bereich der Rückenmuskulatur, die -vor allem bei Personen mit sitzender Tätigkeit- bei weiten Teilen der Bevölkerung mehr oder minder starke Defizite aufweist.

Hier setzt die Bedeutung des Krafttrainings ein, mit dem sich die Muskulatur gezielt stärken und straffen lässt. Die ideale Trainingsform wäre also eine Synthese aus Ausdauer- und Krafttraining, die am besten auch noch nicht allzu viel Trainingszeit in Anspruch nimmt. Meine Beobachtungen hier im Physicum gaben mir Hinweise, dass mit einem entsprechend ausgelegten Nautilus-Krafttraining diese Vorgaben zu erfüllen wären. Um den wissenschaftlichen Nachweis zu erbringen, führe ich hier im Physicum eine entsprechende Studie unter Leitung der Professur für Allgemeinmedizin des Universitätsklinikums Marburg durch. Für diese Studie suche ich neue Mitglieder, die daran interessiert sind, mitzuwirken.

Welche Vorteile hätte die Teilnahme an dieser Studie für Sie? Sie trainieren wie alle anderen Mitglieder des Physicums an den Nautilus-Geräten, nehmen jedoch nach sechs Monaten erneut an einem (zu Beginn für alle Mitglieder obligatorischen) Fitnesstest teil. Der Fitnesstest enthält für alle Studienteilnehmer eine verbesserte Leistungsdiagnostik, die Kosten der zusätzlichen Tests werden vom Physicum und von mir getragen. Weiterhin stehe ich Ihnen jederzeit zur Trainingsbetreuung zur Verfügung, um eventuell aufkommende Fragen und Probleme bezüglich des Trainings zu klären. Sollten Sie weiter Fragen zu dieser Studie oder weitergehendes Interesse an den wissenschaftlichen Hintergründen haben, rufen Sie mich an (06421/162375) oder hinterlassen Sie eine Nachricht an der Reception.

## 8 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren in:

Münster: Prof. Dr. Themann  
Prof. Dr. Toellner

Essen: Prof. Dr. Blank  
Prof. Dr. Leder  
Prof. Dr. Schmidt-Neuerburg  
Prof. Dr. Schriefers  
Prof. Dr. Stäcker  
Prof. Dr. Sustmann

Bochum: Prof. Dr. Christ  
Prof. Dr. Hinrichsen  
Prof. Dr. Holldorf  
Prof. Dr. Röskenbleck  
Prof. Dr. Scheid

Marburg: Prof. Dr. Arnold  
Prof. Dr. Bauer  
Frau Prof. Dr. Baum  
Prof. Dr. Gotzen  
Prof. Dr. Griss  
Prof. Dr. Happle  
Prof. Dr. Joseph  
Prof. Dr. Klenk  
Prof. Dr. Kaffarnik

Prof. Dr. Klose  
Prof. Dr. Kretschmer  
Prof. Dr. Maisch  
Prof. Dr. Rothmund  
Prof. Dr. Schmidt-Rohde  
Prof. Dr. Schulz  
Prof. Dr. von Wichert  
Prof. Dr. Wiegand



## **9 Danksagung**

Frau Prof. Dr. med. Erika Baum danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und ihre engagierte wissenschaftliche Betreuung.

Herrn PD Dr. med. Norbert Donner-Banzhoff möchte ich für seine Hilfsbereitschaft danken.

Ganz besonders danke ich den Probanden und dem Team des PHYSICUM Marburg.

