

**Aus der Universitäts – Hautklinik Tübingen  
Abteilung Dermatologie  
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. M. Röcken**

**Einfluss der Kompressionstherapie bei Radsportlern  
mit nachgewiesener Klappeninsuffizienz der  
Hautstammvenen auf Leistungsvermögen und  
Laktatspiegel**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von  
Matthias Rauschenbach  
aus  
Tübingen**

**2006**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. M. Möhrle

2. Berichterstatter: Professor Dr. A. Nieß

Meinen lieben Eltern



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1	Prolog .....	9
1.2	Phlebologie .....	10
1.2.1	Epidemiologie .....	10
1.2.2	Anatomie des Beinvenensystems .....	11
1.2.3	Physiologie des Venensystems .....	14
1.2.4	Pathophysiologie des Venensystems .....	17
1.2.5	Die apparative phlebologische Untersuchung .....	19
	Dopplersonographie .....	20
	Digitale Photoplethysmographie (DPPG) .....	21
	Farbkodierte Duplexsonographie (FKDS) .....	23
1.2.6	CEAP-Klassifikation und Stadieneinteilung nach Hach .....	23
1.2.7	Kompressionstherapie .....	25
1.3	Leistungsdiagnostik .....	27
1.3.1	Einführung .....	27
1.3.2	Atmungsbasierte Schwellenkonzepte .....	27
1.3.3	Laktat und Laktatleistungskurve .....	28
1.3.4	Laktatbasierte Schwellenkonzepte .....	30
1.3.5	Belastungstest .....	32
1.4	Chronisch venöse Insuffizienz und Sport .....	35
1.5	Thesen .....	39
<b>2</b>	<b>Material und Methodik</b>	<b>41</b>
2.1	Studienaufbau .....	41
2.1.1	Probandenkollektiv .....	41
2.1.2	Ein- und Ausschlusskriterien .....	42
2.1.3	Randomisierung .....	42
2.1.4	Ablauf .....	43
2.2	Untersuchungen Hautklinik .....	46
2.2.1	Untersuchungsbedingungen .....	46
2.2.2	Material Hautklinik .....	46

	Continuous-wave (CW) – Dopplersonographie (venös / arteriell)..	46
	Digitale Photoplethysmographie (DPPG) .....	47
	Farbkodierte Duplexsonographie (FKDS).....	49
	Perometer.....	49
	Kompressionsstrümpfe.....	50
2.2.3	Anamnese und klinische Untersuchung .....	51
2.3	Untersuchungen Sportmedizin .....	53
2.3.1	Untersuchungsbedingungen .....	53
2.3.2	Untersuchungsablauf.....	53
2.3.3	Material Sportmedizin.....	56
	Fahrradergometer.....	56
	Elektrokardiograph .....	57
	Finalgon.....	58
	Mikropipetten .....	58
	Laktatmessgerät.....	58
2.3.4	Laktatleistungskurve .....	59
	Software .....	59
2.3.5	Trainingssteuerung.....	61
2.4	Fragebogen .....	63
	Subjektive Beschwerden durch die Kompressionstherapie.....	63
	Lebensqualität .....	65
	Training.....	66
	Beurteilung des Kompressionsstrumpfes .....	66
	Compliance.....	67
	Zufriedenheit.....	67
2.5	Statistik.....	69
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>71</b>
3.1	Probanden .....	71
3.2	Leistungsdiagnostik .....	75
3.2.1	Akuteffekt der Kompressionstherapie.....	75
3.2.2	Mittelfristiger Effekt der Kompressionstherapie .....	77
3.3	Fragebogen .....	79

3.3.1	Veränderung der subjektiven Beschwerden .....	79
3.3.2	Lebensqualität .....	81
3.3.3	Training.....	83
3.3.4	Beurteilung des Kompressionsstrumpfes .....	84
3.3.5	Compliance.....	86
3.3.6	Zufriedenheit.....	87
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>89</b>
4.1	Leistungsdiagnostik .....	89
4.1.1	Probandenkollektiv .....	91
	Zusammenfassung .....	92
4.1.2	Methodik .....	93
	Phlebologische Diagnostik .....	93
	Leistungsdiagnostik .....	93
	Laktatwert, Herzfrequenz und Kompressionstherapie .....	94
	Therapiedauer und Training .....	96
	Zusammenfassung .....	97
4.2	Fragebogen .....	98
4.2.1	Beschwerden.....	98
4.2.2	Compliance.....	100
4.2.3	Kompressionsstrümpfe.....	101
4.2.4	Lebensqualität .....	102
4.3	Schlussfolgerungen .....	105
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>106</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>108</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>115</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ANCOVA	Analysis of covariance (= Kovarianzanalyse)
AS	Aerobe Schwelle
AT	Aerobic threshold
CVI	Chronisch venöse Insuffizienz
CW-Doppler	Continous-wave-Doppler
DPPG	Digitale Photoplethysmographie
EKG	Elektrokardiogramm
ET	Extensives Tempotraining
FKDS	Farbkodierte Duplexsonographie
IAS	Individuelle anaerobe Schwelle
IAT	Intensives Ausdauertraining
KI	Konfidenzintervall
LT	Lactate threshold
MKS	Medizinische(r) Kompressionsstrümpfe(-strumpf)
RT	Regenerative und lange Ausdauer
SD	Standard deviation (=Standardabweichung)
ST	Schwellenttraining

# 1 Einleitung

## 1.1 Prolog

„Eine kleine blaue Ader hatte er in der Beuge des rechten Knies gesehen, wenn er sich an Faustos Hinterrad hängte. Diese kleine, kaum sichtbare Ader schwoll anormal an, wenn eine große Anstrengung Coppis Muskeln ermüdete. Er sagte es Corrieri, seinem Wasserträger, und an einem der heißesten Tage dieses Giro d'Italia machten sie den Test. Corrieri erhielt von seinem Maestro den Auftrag, nicht von Coppis Hinterrad zu weichen und nur Augen für die Ader zu haben. Als es auf Kilometer 200 zuging und das Feld unter flimmernder Hitze stöhnte, plötzlich ein Schrei: „La vena!“ Da schob sich Gino Bartali vor: „Coppi ist müde. Wir müssen angreifen. Los, macht mit!“ Und „la vena“, die kleine anschwellende Ader in der Kniekehle des großen Favoriten, war schuld daran, dass Fausto Coppi erst mit vier Minuten Rückstand auf die Bartali-Gruppe ins Ziel kam.“ (nach Blickensdörfer, 1997)

Diese Anekdote während des Radrennens Giro d'Italia 1949, über die der Radsportjournalist *Hans Blickensdörfer* berichtet, gab den Anstoß zur vorliegenden Arbeit. Sollte ein Krampfaderleiden dem Radsporthelden Fausto Coppi den Sieg gekostet haben? Diese Überlegung ist weniger aus historischer als aus sportmedizinisch-phlebologischer Sicht interessant.

Venenerkrankungen der Beine sind in der deutschen Bevölkerung sehr häufig (Bromen et al., 2004). In der Literatur finden sich jedoch kaum Publikationen über den Zusammenhang von Sport und Venenerkrankungen. Diese Arbeit beschäftigte sich daher mit den Auswirkungen einer chronischen venösen Insuffizienz (CVI) auf die sportliche Leistungsfähigkeit. Von besonderem Interesse war, ob das Tragen medizinischer Kompressionsstrümpfe einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von Athleten mit einer venösen Insuffizienz besitzt, was bisher noch nicht untersucht wurde.

## **1.2 Phlebologie**

### **1.2.1 Epidemiologie**

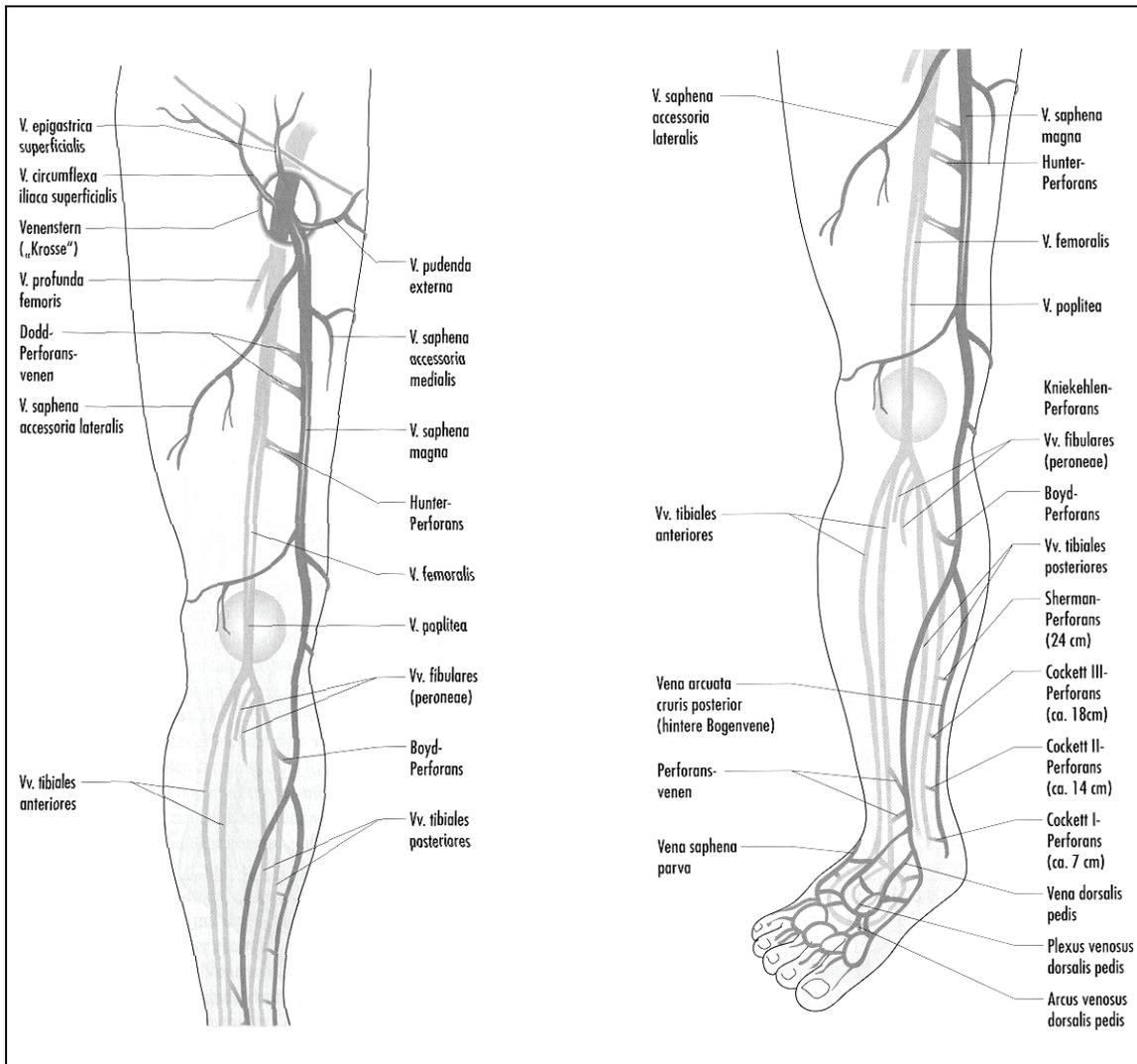
Aus epidemiologischer Sicht besitzen chronische Venenerkrankungen einen hohen Stellenwert. Es wird davon ausgegangen, dass 50 - 80% der deutschen Bevölkerung an Venenkrankheiten unterschiedlichen Schweregrades leiden (Rabe et al., 2000). Die von Fischer 1979 an 4500 Männern und Frauen durchgeführte ‚Tübinger Studie‘ zeigte, dass nur 14% der erwachsenen Wohnbevölkerung überhaupt keinen objektiven Venenbefund hatte. Bei 58% fanden sich geringe Veränderungen ohne Krankheitswert und 15% litten an einem deutlich ausgeprägten Krampfaderleiden (Fischer, 1981). Im Jahr 1999 wurde an 1566 Bewohnern der Stadt Edinburgh, Schottland, eine Studie zur Erforschung der Prävalenz von Varizen und CVI durchgeführt. Sie kam zu dem Ergebnis, dass schätzungsweise ein Drittel aller Männer und Frauen im Alter von 18 – 64 Jahren Stammvarizen aufwiesen (Evans et al., 1999). Die von der ‚Deutschen Gesellschaft für Phlebologie‘ in den Jahren 2000 – 2002 durchgeführte ‚Bonner Venenstudie‘ diente der epidemiologischen Untersuchung der Häufigkeit und Ausprägung von chronischen Venenkrankheiten in der städtischen und ländlichen deutschen Wohnbevölkerung im Alter von 18 – 79 Jahren (Rabe et al., 2003 b). Untersucht wurden 3072 Probanden. Davon wiesen nur 9.6% keinerlei Venenveränderungen auf. Bei 59% bestanden isolierte Teleangiektasien oder retikuläre Venen, bei 14% Krampfadern ohne weitere Zeichen einer chronischen venösen Insuffizienz und bei 13.4% ein prätibiales Ödem infolge venöser Veränderungen. Jedoch wiesen nur 3.3% fortgeschrittene Zeichen chronischer venöser Insuffizienz auf. Anhand dieser Zahlen wird deutlich, dass Venenkrankheiten nach wie vor eine hohe Prävalenz aufweisen. Schwere Ausprägungsgrade sind allerdings in den letzten 20 Jahren deutlich zurückgegangen (Rabe et al., 2003 b). Möglicherweise liegt dies daran, dass heutzutage den Venenkrankheiten eine größere Aufmerksamkeit entgegengebracht wird (Rabe, 2003 a).

## 1.2.2 Anatomie des Beinvenensystems

An den unteren Extremitäten wird ein oberflächliches epifasziales bzw. interfasziales (Rabe, 2003 a) und ein tiefes subfasziales Venensystem unterschieden. Beide Systeme stehen über kurze transfasziale Verbindungsvenen, die Vv. perforantes, miteinander in Verbindung.

Die tiefen Venen sind nach den Arterien benannt, die sie begleiten. Am Unterschenkel verlaufen die Venenpaare Vv. tibiales anteriores, Vv. tibiales posteriores und die Vv. peroneae. In der Kniekehle vereinigen sich diese zur V. poplitea, welche am Oberschenkel zur V. femoralis superficialis wird. In ihrem Verlauf münden in die V. poplitea die Gastrocnemiusvenen und die V. saphena parva sowie in die V. femoralis superficialis die V. profunda femoris aus der Oberschenkelmuskulatur. Proximal des Leistenbandes setzt sich die V. femoralis in die V. iliaca externa fort. Zusammen mit der V. iliaca interna bilden beide im Beckenbereich die V. iliaca communis, die in die V. cava mündet.

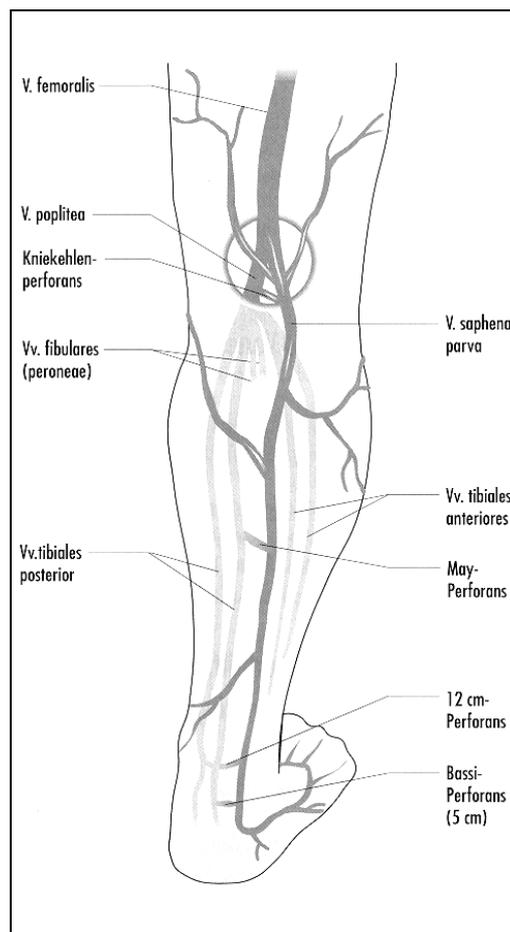
Im oberflächlichen Venensystem befinden sich die V. saphena magna und V. saphena parva mit ihren Seitenästen, die Perforanten (Vv. perforantes) sowie ein Venennetz mit großer Variationsbreite. Die V. saphena magna beginnt am Innenknöchel auf der medialen Unterschenkelseite. In ihrem Verlauf nach proximal befindet sie sich stets auf der Medialseite von Unter- und Oberschenkel um im Leistenbereich mit ihrem proximal gekrümmten Teil, der Crosse, in die V. femoralis communis zu münden. Wichtige Seitenäste der V. saphena magna sind die vordere und hintere Bogenvene (Rabe, 2003 a). Die V. saphena parva nimmt ihren Ausgang hinter dem Außenknöchel auf der lateralen Seite des Unterschenkels. Im Wadenbereich liegt sie ab etwa dem mittleren Drittel der Wade unter der Muskelfaszie und mündet meist wenige Zentimeter proximal des Kniegelenkspaltes in die V. poplitea (Rabe et al., 2000). V. saphena magna und parva besitzen weitere zahlreiche Seitenäste, auf die aber nicht näher eingegangen werden soll.



**Abbildung 1: Die oberflächlichen Venen des Ober- und Unterschenkels (nach Grotewohl, 2002).**

An der Fußsohle stehen oberflächliches und tiefes Venensystem über ein venöses Polster in relativ enger Verbindung (Rabe et al., 2000). Zudem gibt es pro Bein ungefähr 150 Verbindungsvenen, die Perforanten, über die das Blut der oberflächlichen Venen in die tiefen Venen fließt. Von klinischer Bedeutung sind davon im Verlauf der V. saphena magna am Oberschenkel vor allem die ‚Dodd’schen Venen‘ eine handbreit oberhalb des Knies sowie die sogenannte ‚Profunda Perforante‘ am lateralen Oberschenkel und die ‚Hunter Perforante‘. Am Unterschenkel eine handbreit unterhalb des Knies liegen die ‚Boyd’schen Venen‘ und an der hinteren Bogenvene die ‚24-cm Perforans (Sherman)‘ und die ‚Cockett’schen Perforanten‘ (Rabe, 2003 a). Die V. saphena parva besitzt in

Wadenmitte die ‚May’sche Perforans‘, eine Kniekehlenperforans sowie eine V. perforans am lateralen Unterschenkel. Alle Perforanten ziehen durch eine eigene Faszienlücke und werden von einer kleinen Arterie, einem Nerv und häufig von Lymphgefäßen begleitet. Es werden direkte von indirekten Perforanten unterschieden, bei denen noch Muskelvenen dazwischengeschaltet sind (Rabe et al., 2000).



**Abbildung 2: Die oberflächlichen Venen des Unterschenkels. Fossa poplitea mit V. saphena parva (Grotewohl, 2002).**

Die Wandstruktur der Venen besteht aus der inneren Venenwand, der Intima, einer Mittelschicht, Media, und der Außenwand, Adventitia. Die Media besteht aus elastischen Fasern und glatten Muskelzellen, die vegetativ innerviert sind. Über den parasymphatischen Teil des vegetativen Nervensystems können die Venen weit und über den sympathischen Teil eng gestellt werden. Die

Adventitia der oberflächlichen Venen ist in der Subkutis verankert, die tiefen Venen sind ins muskuläre Bindegewebe eingebaut (Rabe, 2003 a).

Sowohl die Venen des oberflächlichen und tiefen Venensystems als auch die Verbindungsvenen besitzen Klappen, gebildet aus halbmondförmigen Falten der Intima (Busse, 2000). Sie liegen in den oberflächlichen Venen des Beins, etwa 5 – 7 cm voneinander entfernt. In den tiefen Venen ist ihr Abstand mit 2 – 3 cm geringer. Die Perforanten enthalten 1 – 3 Klappen, die immer subfaszial liegen (Altenkämper et al., 1991). Ihre Anzahl nimmt von proximal nach distal zu und die Gesamtzahl im Lauf des Lebens ab (Rabe, 2003 a). Sie nehmen eine Schlüsselstellung in der Pathogenese der CVI ein.

### **1.2.3 Physiologie des Venensystems**

Venen zählen im Gegensatz zum arteriellen Schenkel des Kreislaufsystems zum sogenannten Niederdrucksystem. Die dort herrschenden Drücke sind mit 12 – 15 mmHg in den kleinen und mit 10 – 12 mmHg in den großen extrathorakalen Venen deutlich niedriger als im arteriellen Hochdrucksystem (Busse, 2000). Diese Druckangaben gelten für die horizontale Körperlage. Beim ruhig stehenden Erwachsenen hingegen herrschen in den venösen Gefäßen des Fußes hydrostatische Drücke von 80 – 100 mmHg (Busse, 2000; Rabe et al., 2000; Rabe, 2003 a). Mit dem orthostatischen Druckanstieg beim Wechsel von der horizontalen in die vertikale Lage geht auch eine Volumenänderung einher. Das Niederdrucksystem besitzt dabei Speicherfunktion. So befinden sich dort 85% des Blutvolumens (Altenkämper et al., 1991; Busse, 2000). Lediglich 15% entfallen auf den arteriellen Teil. Darüber hinaus hat es eine etwa 200fach größere elastische Weitbarkeit. In Orthostase befinden sich daher 400 – 500 ml Blut mehr in den unteren Extremitäten als in horizontaler Lage (Busse, 2000; Rabe, 2003 a).

Aufgrund des großen Volumens ist ein kontinuierlicher und gerichteter Abtransport des Blutes aus der Peripherie von großer Bedeutung. In den Beinen werden etwa 90% des venösen Blutes von den tiefen und nur 10% von den oberflächlichen Venen drainiert (Rabe et al., 2000; Rabe, 2003 a). Das Blut der oberflächlichen Venen fließt direkt nach proximal sowie über die Perforanten ins tiefe Venensystem, um von dort zum Herzen transportiert zu werden. Für den gerichteten Transport ist die Ventilwirkung der Venenklappen verantwortlich (Busse, 2000). Bei retrograder Blutströmung in die Peripherie oder ins oberflächliche Venensystem legen sie sich aneinander und verhindern so den Blutfluss in die falsche Richtung.

Für den Abtransport des Blutes sind mehrere Mechanismen verantwortlich. Am liegenden Menschen hat die sogenannte ‚Atmungspumpe‘ bzw. ‚abdominothorakale Zweiphasenpumpe‘ besondere Bedeutung (Rabe et al., 2000). Mit der Hebung und Senkung des Zwerchfells bei In- und Expiration sind Druckänderungen im Brust- und Bauchraum verbunden. Diese wirken sich auf die transmuralen Drücke der dort befindlichen Venen und damit auf den venösen Rückstrom aus. Während der Inspiration wird der intrathorakale Druck zunehmend negativer, worauf die Thorakalvenen aufgedehnt werden. Das führt zu einem Einstrom des Blutes in den Brustraum vor allem aus dem Bereich der V. cava superior. Gleichzeitig bewirkt die atemabhängige Senkung des Zwerchfells eine Druckerhöhung im Bauchraum. Bedingt durch den Schluss der letzten Venenklappe der unteren Extremität kann das abdominelle Blut nur in Richtung des Herzens strömen. Bei der Expiration kehren sich die Verhältnisse um. Der thorakale Druck steigt durch die Hebung des Zwerchfells und der abdominelle Druck sinkt. Dadurch fließt Blut aus den unteren Extremitäten nach (Busse, 2000; Rabe et al., 2000).

Von den sogenannten ‚Muskelpumpen‘ wird gesprochen, wenn die ruhende Blutsäule durch Muskelbewegung der Beine beschleunigt und damit Blut aus der Peripherie abtransportiert wird. Alle Muskeln in denen sich größere Venen befinden und deren Kontraktion den venösen Druck erhöhen, wie es bei den

großen subfaszialen Venen der Fall ist, besitzen diese Funktion (Rabe, 2003 a). Bei Anspannung der Muskulatur steigt der Druck im tiefen Venensystem über den Druck im oberflächlichen System an. Dadurch schließen sich die Venenklappen der Perforanten, wohingegen sich die Klappen proximal des kontrahierten Muskelbereichs öffnen und ein Blutfluss in Richtung des Herzens entsteht. Während der Phase muskulärer und venöser Entspannung fällt der Druck im tiefen wieder unter den Druck im oberflächlichen Venensystem ab und Blut strömt von der Oberfläche über die Perforanten in die Tiefe nach. Die sich entspannenden Venen üben hierbei zusätzlich eine gewisse Sogwirkung auf das Blut der Peripherie aus. Am effektivsten arbeitet die ‚Wadenmuskelpumpe‘ (Altenkämper et al., 1991; Busse, 2000; Rabe et al., 2000; Rabe, 2003 a). Daneben gibt es noch die ‚Oberschenkel‘- und ‚Fußsohlenmuskelpumpe‘.

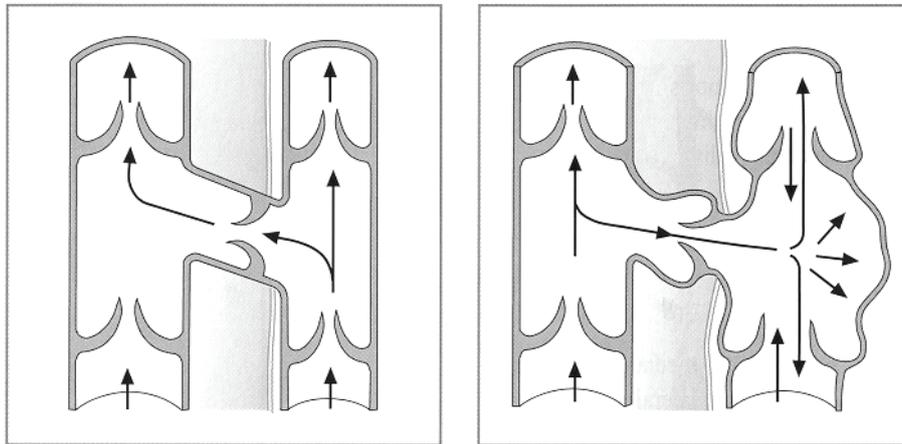
Das „modellhaft“ (Altenkämper et al., 1991) betrachtete Prinzip der ‚Wadenmuskelpumpe‘ darf jedoch nicht isoliert gesehen werden, da es in engem funktionellen Zusammenhang mit der sogenannten ‚Gelenkpumpe‘ steht (Rabe et al., 2000). Allein durch passive Bewegung des Sprunggelenks kommt es dort zu einer Beschleunigung des venösen Abflusses. Die Venen sind in diesem Bereich über Bindegewebe fixiert, so dass Bewegungen im Gelenk direkte Auswirkungen auf das venöse Volumen haben. Auf der Flexionsseite kommt es zur Entspannung der Vene, wodurch Blut aus der Peripherie angesaugt wird. Auf der Extensionsseite hingegen wirken Zugkräfte auf die Vene ein. Ihr Querschnitt verringert sich und Volumen wird ausgepresst. Bei Bewegungen wie dem Laufen oder Radfahren arbeiten ‚Wadenmuskelpumpe‘ und ‚Gelenkpumpe‘ zusammen. Dadurch kommt es zu einer erheblichen Druckreduktion in den Beinvenen von 80 –100 mmHg im Stehen auf 30 – 40 mmHg beim Gehen. Voraussetzung dafür sind funktionsfähige Venenklappen (Busse, 2000; Rabe et al., 2000; Rabe, 2003 a). Interessant ist, dass selbst bei venengesunden Probanden eine Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk den venösen Druckabfall um 21.5% gegenüber dem frei beweglichen Sprunggelenk reduziert (Kügler et al., 1999).

Neben den Transport- und Flussphänomenen auf makroskopischer Ebene findet im Bereich des Kapillarbetts die Mikrozirkulation statt. Es handelt sich um Austauschvorgänge, die auf einem Gleichgewicht zwischen kapillarer Filtration und Rückresorption beruhen, wobei eine effektive Druckdifferenz von etwa 12 mmHg herrscht. Auf arterieller Seite sorgt sie für die Filtration ins Interstitium und auf venöser Seite für die Rückresorption aus demselben. (Rabe et al., 2000; Rabe, 2003 a). Dabei können Volumenschwankungen bis zu einem gewissen Grad durch das Lymphsystem ausgeglichen werden.

#### **1.2.4 Pathophysiologie des Venensystems**

Sind die dargestellten physiologischen Abläufe längerfristig gestört, so kommt es zum Krankheitsbild der CVI. Die CVI ist eine Krankheit der Venen der unteren Extremitäten. Verschiedene ätiologische Faktoren führen dabei zu einer Störung der Hämodynamik. Dadurch entstehen morphologische Veränderungen an den Beinen, die von Venektasien (Weitstellung von Venen durch Erschlaffung ohne morphologisch nachweisbare Wandveränderungen (Pschyrembel, 1998)) über Varizen (sackförmig erweiterte, oberflächliche Venen (Sterry et al., 1999)) bis hin zu Hautveränderungen mit Ulkus cruris reichen. Als Varikose bzw. Varikosis wird die ausgedehnte Bildung von Varizen bezeichnet (Pschyrembel, 1998). Die Begriffe primäre CVI und primäre Varikose werden auch synonym verwendet (Rabe, 2003 a).

Pathogenetisch liegt der CVI eine Störung der Makrozirkulation und daraus resultierend eine Störung der Mikrozirkulation zugrunde (Grotewohl, 2002; Jünger et al., 2000; Matic et al., 2000). In 80% der Fälle ist dafür ein Gefäßwanddefekt bzw. eine Gefäßdilatation verantwortlich. Es wird von einer primären oder idiopathischen CVI gesprochen. In 20% liegt eine postthrombotische sekundäre CVI vor, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll. In beiden Fällen entwickelt sich mit der Zeit eine Venenklappeninsuffizienz (Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a).



**Abbildung 3: Schematische Darstellung einer oberflächlichen und tiefen Vene. Links: intakte Funktion mit Blutfluss von der Oberfläche in die Tiefe und in Richtung des Herzens. Rechts: varikös erweiterte oberflächliche Vene mit Reflux (nach Grotewohl, 2002).**

Durch einen lokalen Defekt im oberflächlichen Venensystem weichen die Venenklappen auseinander, und es kommt zum retrograden Blutfluss, dem sogenannten venösen Reflux, der zur Krampfader- oder auch Varizenbildung führt. Entzündliche Vorgänge, eine Gefäßwand- einschließlich Bindegewebsschwäche, eine Schwäche der glatten Muskulatur und eine Fehlfunktion des Endothels werden als Pathogenitätsfaktoren für die primäre CVI angegeben (Thulesius, 1996; Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a). Auch Veränderungen der Venenwand aufgrund gestörter Sekretionsmechanismen sowie Veränderungen auf zellulärer und hämatologischer Ebene können beobachtet werden (Rabe, 2003 a). Es ist allerdings nicht immer möglich, Ursache und Wirkung der CVI klar voneinander zu trennen, da häufig die Fehlfunktionen einander bedingen. Letztlich führen die genannten Veränderungen jedoch alle zu venösem Hochdruck aufgrund insuffizienter Venenklappen, der sogenannten ‚venösen ambulatorischen Hypertonie‘ (Partsch, 1985; Gallenkemper et al., 2000; Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a; Sandor, 2004). Bei dieser chronischen Form der Drucksteigerung kommt es auch bei Bewegung der Beine zu keiner Druckentlastung mehr (Rabe et al., 2000). Vielmehr entsteht in schweren Fällen sogar eine Drucksteigerung unter Belastung, die bis zu einer Claudication venosa führen kann. In seltenen Fällen

wird der venöse Hochdruck durch den Ausfall zusätzlicher Pumpmechanismen wie ‚Gelenk- und Muskelpumpe‘ noch verstärkt (Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a).

Unterschieden werden Stammvarikose, Seitenastvarikose, Retikulärvarikose und Perforansvarikose (Grotewohl, 2002). Am häufigsten tritt eine Insuffizienz der Stammvenen, das heißt der V. saphena magna und V. saphena parva sowie in 70% der Fälle (Sterry et al., 1999) gleichzeitig eine Insuffizienz der Perforanten auf (Recek, 2004). Makroskopisch imponieren insuffiziente Perforanten als Vorwölbungen auf der Haut, was als ‚Blow-out-Phänomen‘ bezeichnet wird (Rabe, 2003 a). Die Seitenastvarikosis kommt häufig zusammen mit einer Varikose der V. saphena magna vor. Die retikuläre Varikose intrakutaner Venen hat meist keine hämodynamischen Auswirkungen (Rabe, 2003 a). Nach *Recek* ist das Refluxvolumen und nicht die Lokalisation des retrograden Flusses der wichtigste hämodynamische Faktor (Recek, 2004).

Das klinische Bild der CVI imponiert mit Varizenbildung, Ödemen und Hautveränderungen bis hin zum Ulcus cruris sowie einer charakteristischen, wenn auch nicht immer sehr spezifischen Beschwerdesymptomatik mit müden und schweren Beinen, Muskelkrämpfen, Schmerzen, Juckreiz oder auch Spannungsgefühl (Altenkämper et al., 1991; Grotewohl, 2002). Risikofaktoren für die Entwicklung einer primären CVI sind Alter, Schwangerschaft, weibliches Geschlecht, familiäre Disposition und berufliche Belastung, die degenerative Veränderungen der suprafaszialen Venen zur Folge haben (Rabe, 2003 a).

### **1.2.5 Die apparative phlebologische Untersuchung**

Für die objektive Beurteilung des venösen Status stehen apparative Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Von großer Bedeutung ist die Dopplersonographie, die digitale Photoplethysmographie (DPPG) und die farbkodierte Duplexsonographie (FKDS).

## Dopplersonographie

Physikalische Grundlage der Dopplersonographie ist der von *Christian Doppler* Mitte des 19. Jahrhunderts entdeckte Dopplereffekt. Trifft eine Schallwelle auf einen bewegten Gegenstand und wird von diesem reflektiert, ändert sich ihre Frequenz (Rabe, 2003 a). Bewegt sich der Gegenstand auf die Schallquelle zu, so wird die Frequenz höher. Bei Entfernung von der Schallquelle ist die Frequenz der reflektierten Schallwelle niedriger. Dies wird als Dopplerverschiebung bezeichnet (Klews, 1993). Die Frequenzverschiebung ist proportional zur Blutströmungsgeschwindigkeit (Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a). Bei der Untersuchung von Blutströmungen kommen uni- und bidirektionale Geräte zum Einsatz. Unidirektionale Geräte messen lediglich die Strömungsgeschwindigkeit, bidirektionale Geräte können neben der Strömungsgeschwindigkeit auch die Strömungsrichtung angeben. Somit kann zwischen ortho- und retrograder Blutströmung unterschieden werden. In der phlebologischen Diagnostik kommen in der Regel Schallköpfe mit einer hohen Frequenz von 8 – 10 MHz zum Einsatz, welche eine gute Auflösung bei allerdings geringer Eindringtiefe haben (Klews, 1993; Rabe, 2003 a). Bei der ‚Continuous-wave (CW) – Dopplersonographie‘ sind stiftförmige Schallköpfe gebräuchlich, in welchen Sende- und Empfängerkristall getrennt untergebracht sind. Dadurch können gleichzeitig Schallwellen emittiert und registriert werden. Die Dopplersonographie findet sowohl im venösen als auch arteriellen Gefäßsystem Anwendung. Im venösen System werden spontane Strömungssignale (S-Sounds) von provozierten Strömungssignalen (A-Sounds) unterschieden, welche Beschleunigungen wiedergeben. Durch manuelle Kompression der Venen distal des Schallkopfes entsteht ein verstärkter orthograde Blutfluss, der als A-Sound registriert wird. Nach Dekompression kann ein retrogrades Strömungsgeräusch von mindestens 0.5 – 1.0 s Dauer auf einen pathologischen Reflux hinweisen (Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a). Ebenso kennzeichnet ein Reflux bei proximaler Kompression einen pathologischen Venenabschnitt. Wird der intraabdominelle Druck rasch durch ein Husten- oder Valsalvamanöver erhöht, sistiert der venöse Rückstrom aus

den Beinen vollständig. Bei dieser Provokation kann ein Reflux von 0.5 – 1.0 s Dauer während der Phase erhöhten Druckes Hinweis auf ein pathologisches Geschehen sein. Durch die genannten Provokationsmanöver bei gleichzeitiger Registrierung der A-Sounds kann der Bereich der venösen Klappeninsuffizienz näherungsweise ermittelt werden. Bei der arteriellen CW-Dopplersonographie wird die arterielle Durchblutung der Extremitäten anhand des systolischen Arteriendrucks und der Kurvenform des Dopplersignals beurteilt. Es ist notwendig, den Blutdruck der oberen Extremitäten mit dem der unteren zu vergleichen. Normal sind Knöchelarteriendrucke, die 10 – 20 mmHg über den Armarteriendruck liegen. Druckdifferenzen < 10 mmHg lassen auf eine arterielle Verschlusskrankheit schließen. Der Knöchel-Arm-Index (Quotient aus Knöchelarteriendruck geteilt durch Armarteriendruck) kann ebenso zur Beurteilung der arteriellen Gefäßzustands herangezogen werden. Er hat physiologischerweise einen Wert > 1. Die venöse CW-Dopplersonographie als Screeningmethode zur Refluxdiagnostik vor allem der epifaszialen Venen ist validiert und bestätigt (McMullin, 1992; Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a). Die arterielle CW-Dopplersonographie ist ein validiertes Diagnostikverfahren zum Ausschluss einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (Bernstein et al., 1982; Lepantalo et. al., 1983; Johnston et al., 1987; Ruff, 2003).

### **Digitale Photoplethysmographie (DPPG)**

Die digitale Photoplethysmographie (DPPG) oder auch Lichtreflexionsrheographie ist ein nicht invasives Verfahren zur Beurteilung des venösen Blutvolumens der Beine. Sie beruht auf dem Reflexionsverhalten der Hautkompartimente. Von einem auf der Haut angebrachten Photosensor werden Lichtstrahlen mit einer Wellenlänge über  $\lambda$  800 nm, also im nahen Infrarotbereich, in die Haut eingestrahlt (Rabe, 2003 a). In diesem Bereich werden über 60% des Lichtes reflektiert, wenn die Haut blutleer ist. Bei blutgefüllter Haut sind es nur etwa 6%. Die Reflexionsintensität wird als elektrische Spannung angegeben und erlaubt eine Aussage über den

Füllungszustand der Haut. Dieser ist maßgeblich abhängig vom venösen Blutvolumen welches sich, anders als kapilläres oder arterielles Blut, parallel zur Hautoberfläche befindet. Von Interesse ist bei der DPPG die Veränderung des Füllungszustandes ausgehend vom Ruhewert durch aktive Bewegungsarbeit der Beine und die anschließende Wiederauffüllphase. Mittels einer Kurve kann die dabei stattfindende Volumenänderung dargestellt werden. Anhand der venösen Wiederauffüllzeit  $t_0$  lässt sich eine Gradeinteilung vornehmen, die als Anhaltspunkt dient und nicht streng mit dem klinischen Befund korreliert (Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a).

Schweregrad	venöse Wiederauffüllzeit $t_0$	Interpretation
Normal	> 25 s	gesund
Grad I	20 – 25 s	leichte Abflussstörung
Grad II	10 – 20 s	mittelschwere Abflussstörung
Grad III	< 10 s	schwere Abflussstörung

**Tabelle 1: Einteilung der CVI in Schweregrade anhand der mittels DPPG gemessenen venösen Wiederauffüllzeit  $t_0$ .  
[s] = Sekunden**

Ein steiler Kurvenverlauf bzw. eine kurze Wiederauffüllzeit lassen auf eine venöse Insuffizienz schließen, da das Blut nicht nur orthograd aus dem arteriellen Gefäßsystem sondern auch retrograd aus dem venösen System in die Beine fließt. Die digitale Photoplethysmographie eignet sich gut zur Beurteilung der funktionellen und quantitativen Funktion der oberflächlichen und tiefen Beinvenen. Sie ist als Diagnostikverfahren akzeptiert (Weiss, 1993; Graham, 1996; Schultz-Ehrenburg et al., 2001) und hat eine sehr hohe Sensitivität bei allerdings geringer Spezifität (Bays et al., 1994). Deshalb sollte sie zur genaueren Differenzierung der Funktionsstörung mit anderen Verfahren kombiniert werden (McMullin, 1992; Somjen et al., 1993; Mosti et al., 2000).

## **Farbkodierte Duplexsonographie (FKDS)**

Die farbkodierte Duplexsonographie (FKDS) stellt eine Kombination aus konventioneller Sonographie und Dopplersonographie dar. Auf diese Weise können morphologische und funktionelle Informationen miteinander verbunden und zeitgleich betrachtet werden (Rabe, 2003 a). Diesem Prinzip liegt das am häufigsten in der Ultraschalldiagnostik verwendete bildgebende Verfahren, der ‚B-Mode (Brightness-Mode)‘, zugrunde. Das damit erzeugte Grauwertbild ist abhängig von der Amplitude der reflektierten Ultraschallechos. Je größer die Amplitude, desto heller das Bild. Auf diese Weise lassen sich Strukturen darstellen. Die FKDS kodiert das Bild in Abhängigkeit von Bewegung farbig. Dadurch lassen sich Blutströmungen darstellen. Korrelat der angezeigten Rot- und Blauschattierungen ist die mittlere Blutflussgeschwindigkeit bzw. Dopplerverschiebung. Bezugspunkt ist der Ultraschallkopf. Die Farbkodierung kann vom Untersucher frei gewählt werden. Die Farben zeigen lediglich an, ob das Blut auf den Schallkopf zu oder von ihm weg fließt (Klews, 1993). Die FKDS ist der Goldstandard in der Diagnostik venöser Insuffizienz und wird als Referenzmethode verwendet (Bays et al., 1994; Stiegler et al., 1994; Campbell et al., 1996; Schultheiss et al., 1997; Wills et al., 1998).

### **1.2.6 CEAP-Klassifikation und Stadieneinteilung nach Hach**

Die CVI kann mit Hilfe von Klassifikationen und Scores eingeteilt werden. Dabei stellt die CEAP-Klassifikation eine differenzierte Einteilung dar. Sie wird in den ‚Leitlinien zur Diagnostik und Therapie der Chronischen Venösen Insuffizienz (CVI)‘ empfohlen (Gallenkemper et al., 2000). Sie berücksichtigt klinische Zeichen, Ätiologie, Anatomie und Pathophysiologie:

**C Clinical Signs (klinische Zeichen)**

0 = Kein sicht- oder tastbarer Anhalt für Venenkrankheiten

1 = Teleangiektasien oder retikuläre Varizen

2 = Varizen

3 = Ödem

4 = Hautveränderungen (Pigmentierung, Atrophie blanche, Stauungsekzem, Dermatoliposklerose)

5 = Hautveränderungen mit Ulkusnarbe

6 = Hautveränderungen mit Ulkus cruris

**E Etiological Classification (Ätiologie)**

c = congenital

p = primär

s = sekundär

**A Anatomic Distribution (Anatomie)**

s = oberflächlich

d = tief

p = Perforans, allein oder kombiniert mit s oder d

**P Pathophysiological Dysfunction (Pathophysiologie)**

R = Reflux

O = Obstruktion

OR = Obstruktion und Reflux

**Abbildung 4: CEAP-Klassifikation zur Einteilung einer CVI.**

Die Stadieneinteilung nach Hach ermöglicht eine Zuordnung der dopplersonographisch erhobenen Venenbefunde. Die komplette Stammvarikosis der V. saphena magna und V. saphena parva lässt sich auf diese Weise einteilen (Rabe et al., 2000).

V. saphena magna	distaler Insuffizienzpunkt
Stadium I	proximaler Oberschenkel
Stadium II	distaler Oberschenkel
Stadium III	proximaler Unterschenkel
Stadium IV	distaler Unterschenkel/Fuß
V. saphena parva	
Stadium I	proximales Unterschenkel Drittel
Stadium II	mittleres Unterschenkel Drittel
Stadium III	distaler Unterschenkel/Fuß

**Tabelle 2: Stadieneinteilung einer CVI nach der Klassifikation von Hach.**

### **1.2.7 Kompressionstherapie**

Es gibt zahlreiche Behandlungsformen der CVI. Die Bandbreite der Therapieoptionen reicht von nicht invasiven Maßnahmen wie Kompressionsverbänden und Kompressionsstrümpfen über die medikamentöse Therapie bis hin zur chirurgischen Intervention. Gegenstand dieser Arbeit ist die Wirkung von medizinischen Kompressionsstrümpfen (MKS) auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von Radsportlern mit CVI. Deshalb soll hier nur auf die Therapie mit MKS näher eingegangen werden.

MKS erzeugen einen nach proximal fallenden Druckgradienten. Sie müssen als sogenannte Zweizugstrümpfe sowohl ausreichend quer- als auch längselastisch sein (Wienert et al., 2004 a). Durch die Druckerhöhung von außen kommt es zur Kompression der bei CVI dilatierten oberflächlichen Venen und damit zu einer Verringerung des Venenquerschnitts und zur Beschleunigung des venösen Blutflusses (Stöberl et al., 1989). Es wird zudem eine Verbesserung der Venenklappenschließfunktion und der venösen Drainage beobachtet (Weidinger et al., 1987; Jünger et al., 1998). Für MKS gibt es international genormte Druckwerte. In der Bundesrepublik Deutschland werden die Strümpfe in vier Kompressionsklassen eingeteilt, die nach dem Andruck im Fesselbereich

in Ruhe normiert sind. Strümpfe der Klasse I besitzen eine leichte und Strümpfe der Klasse IV eine sehr hohe Kompressionsintensität (Rabe, 2003 a). Die Wahl der Kompressionsklasse hängt vom Schweregrad der CVI ab. Milde Formen werden mit Strümpfen der Kompressionsklasse II behandelt wohingegen bei postthrombotischen Syndromen eine höhere Kompressionsklasse empfohlen wird (Stöberl et al., 1989).

Kompressionsklasse	Kompressionsintensität	Kompression in mmHg
Klasse I	leicht	18-21
Klasse II	mittel	23-32
Klasse III	kräftig	34-46
Klasse IV	sehr kräftig	49 und größer

**Tabelle 3: Einteilung medizinischer Kompressionsstrümpfe in vier Kompressionsklassen anhand von Kompressionsintensität und –druck in [mmHg].**

Die Länge der MKS richtet sich nach der Lokalisation der Veränderung und dem Therapieziel. Zur Kompensation einer CVI mit Ödembildung im Unterschenkelbereich eignet sich ein Unterschenkelkompressionsstrumpf (Wadenkompressionsstrumpf). Lediglich bei Ödembildung auch oberhalb des Knies muss der MKS bis zum Oberschenkel reichen (Rabe, 2003 a). Indikation für die Therapie mit MKS ist die Langzeitbehandlung venöser und lymphatischer Krankheitsbilder. Dabei steht die Behandlung von Ödemen im Vordergrund. Zur Thromboseprophylaxe und zur Behandlung nach thrombotischem Geschehen sowie venenchirurgischen Eingriffen werden MKS auch kurzfristig eingesetzt. Absolute Kontraindikationen sind fortgeschrittene periphere arterielle Verschlusskrankheit, dekompensierte Herzinsuffizienz, septische Phlebitis und Phlegmasia coerulea dolens. Daneben gibt es relative Kontraindikationen wie nässende Dermatosen und Unverträglichkeit gegenüber dem Strumpfmaterial (Rabe, 2003 a; Wienert et al., 2004 a). Die Wirksamkeit von MKS ist durch wenige randomisierte kontrollierte Studien belegt (Wienert et al., 2004 a). Eine Reduktion der Beschwerdesymptomatik wie Schmerzen oder Juckreiz konnte festgestellt werden. Auch kam es zu einer Verbesserung der Mikrozirkulation und einer Verringerung des durchschnittlichen Venendurchmessers (Klyscz et al., 1997 a).

## **1.3 Leistungsdiagnostik**

### **1.3.1 Einführung**

Die körperliche Leistungsfähigkeit des Menschen wird als die Summe willentlich erbrachter motorischer Aktionen in Abhängigkeit von psychophysischen Faktoren und der Umwelt definiert (de Marées, 2002). Ihre Kenntnis kann aus präventiv- und rehabilitationsmedizinischer Sicht dazu beitragen, Erkrankungen aus dem kardiopulmonalen Formenkreis vorzubeugen oder deren Therapie zu unterstützen. Im Profisport, aber auch im Amateur- und Hobbybereich ist die Ermittlung und Überwachung der Leistungsfähigkeit des einzelnen Athleten Grundelement gezielter Trainings und erfolgreichen Wettkampfs. Mit ihrer Hilfe lassen sich individuelle Trainingsempfehlungen erstellen, die effektives und der Gesundheit förderliches Trainieren erst ermöglichen. Allerdings gibt es eine sogenannte körperliche Universalleistungsfähigkeit nicht, da die körperliche Leistungsfähigkeit eine hohe biologische Variabilität zeigt (de Marées, 2002). Es ist daher von Interesse, mit Hilfe standardisierter Schemata und Konzepten zur Messung der Leistungsfähigkeit die variablen physiologischen Prozesse während körperlicher Belastung darzustellen. Die heute angewandten Verfahren in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik sind Ergebnis einer langen Entwicklung.

### **1.3.2 Atmungsbasierte Schwellenkonzepte**

Noch bis in die 1960er Jahre wurde zur Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit und des Energiestoffwechsels die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme herangezogen (Heck, 1990).

Bereits 1923 prägten *Hill et al.* die Begriffe der maximalen Sauerstoffaufnahme und des Sauerstoffdefizits bei extremer Arbeit. Dabei untersuchten sie auch den Zusammenhang zwischen Laktat und Sauerstoff vor und während Belastung

(Hill et al., 1923). Die Entwicklung der Spiroergometrie durch *Brauer* und *Knipping* im Jahr 1929 ermöglichte die exakte und reproduzierbare Bestimmung der kardiopulmonalen Ausdauerleistungsfähigkeit (Mader et al., 1976). Das Verfahren der Spiroergometrie wird bis heute angewendet. Während der Belastung auf dem Ergometer wird eine Atemmaske getragen. Mit Hilfe entsprechender technischer Ausrüstung kann die ein- und ausgeatmete Luft auf Parameter wie Atemvolumen und Sauerstoff- bzw. Kohlenstoffdioxid-partialdrücke hin analysiert werden. Auch das Konzept von *Hollmann* basierte auf diesem Prinzip. Er führte den Punkt des optimalen Wirkungsgrads der Atmung (PoW) als ‚Sauerstoff-Dauerleistungsgrenze‘ ein (Hollmann, 1985). Sie war definiert als die Belastung, bei der die Ventilation stärker ansteigt als die Sauerstoffaufnahme erwarten lässt. Daneben wurde eine Änderung der Blutlaktatkonzentration am PoW beobachtet. Später entwickelte *Wassermann* das Konzept der ‚anaeroben Schwelle (anaerobic threshold = AT)‘ (Wassermann et al., 1973). Er beobachtete bei steigender Belastungsintensität im Ergometertest ab einem gewissen Punkt eine Abweichung vom bisher linearen Verlauf von Atemminutenvolumen, Kohlendioxidproduktion und respiratorischem Quotienten. Daraus schloss er auf einen gesteigerten anaeroben Metabolismus.

Diese ersten Konzepte zur Ermittlung der körperlichen Leistungsfähigkeit basierten alle auf respiratorischen Parametern. Erst später wurde die Messung der Blutlaktatkonzentration als maßgebliches Kriterium herangezogen.

### **1.3.3 Laktat und Laktatleistungskurve**

Als Energieträger für die Muskelarbeit stehen Glukose und Muskelglykogen zur Verfügung. Im Rahmen der Glykolyse entsteht daraus Pyruvat. Unter Energiegewinnung in Form von ATP wird das gebildete Pyruvat im Citratzyklus und der Atmungskette oxidiert. Dieser Prozess ist sauerstoffabhängig. Als Sauerstoffträger steht in der Muskulatur Myoglobin zur Verfügung. Wird

aufgrund erhöhter Arbeitsleistung die Kapazität der oxidativen ATP-Gewinnung überschritten, so läuft die Glykolyse unter anaeroben Bedingungen ab. Ihr Endprodukt ist das Laktat, welches ins Blut abgegeben wird (Koolman, 1997; Löffler, 2000). Das angefallene Laktat wird bereits während der Belastung weiterverwertet. Etwa 50% wird in der aktiven Muskulatur und jeweils 15% in der inaktiven Muskulatur und der Herzmuskulatur oxidiert. 15% werden der Glukoneogenese in der Leber zugeführt (de Marées, 2002). Die Laktatkonzentration in Ruhe wird mit 0.6 – 1.8 mmol/l (Platen, 2001) bzw. 1 mmol/l (Dickhuth, 2000) angegeben.

Bei steigender Muskelbelastung und damit einer zunehmend anaeroben Stoffwechsellage wird ein charakteristischer Verlauf der Blutlaktatkonzentration, die in einer sogenannten ‚Laktatleistungskurve‘ dargestellt werden kann, beobachtet. Graphisch wird auf der Abszisse (x-Achse) die Leistung in Watt dargestellt. Dagegen werden auf der Ordinate (y-Achse) der Laktatwert [mmol/l] und die zeitgleich ermittelte Herzfrequenz [1/min] aufgetragen. Dadurch ist es möglich, an jedem Punkt der Laktatleistungskurve die Herzfrequenz, den Laktatwert und die erbrachte Leistung einander zuzuordnen. Zwei Punkte der Laktatleistungskurve sind von besonderer Bedeutung. Ausgehend von der Basislaktatkonzentration in Ruhe markiert der Punkt des ersten Anstiegs der Laktatkonzentration über den Ruhewert (de Marées, 2002) die ‚lactate threshold‘ (LT) (engl: Laktatschwelle) bzw. ‚aerobe Schwelle‘. Ab dieser Belastungsintensität nimmt die anaerobe Energiebereitstellung erkennbar zu (Dickhuth, 2000). Bei einem fortgesetzten Anstieg der Belastung wird vermehrt Laktat produziert, was aber vom Organismus über gesteigerten Laktatabbau bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden kann. Wird die maximal kompensierbare Belastungsintensität (maximales ‚steady state‘) überschritten, steigt die Laktatkonzentration exponentiell an und es herrschen vollständig anaerobe Bedingungen. Der Übergang von der aeroben zur anaeroben Stoffwechsellage ist durch eine individuelle Laktatkonzentration definiert, die als ‚individuelle anaerobe Schwelle‘ (IAS) bezeichnet wird.

### 1.3.4 Laktatbasierte Schwellenkonzepte

Von *Mader et al.* wurde 1974 erstmals die Blutlaktatkonzentration unabhängig von den wenig objektiven respiratorischen Parametern zur Leistungsdiagnostik verwendet (Mader et al., 1976). Sie führten den Begriff der ‚aerob-anaeroben Schwelle‘ ein. Anhand von klinischen Untersuchungen an trainierten und untrainierten Probanden legte *Mader* als Grenze aerober Ausdauer eine fixe Laktatkonzentration von 4 mmol/l fest. Die Bezeichnung ‚Onset of Blood Lactate Accumulation‘ (OBLA) wurde 1981 von *Sjödin et al.* eingeführt. Sie untersuchten an Marathonläufern, ab welcher Laufgeschwindigkeit („velocity“) eine Laktatanhäufung von 4 mmol/l auftrat und bezeichneten diese als VOBLA (Sjodin et al., 1981). *Kindermann et al.* führten den Begriff des ‚aerob-anaeroben Übergangs‘ ein. Auch sie nahmen die ‚aerob-anaerobe Schwelle‘ bei einer fixen Laktatkonzentration von 4 mmol/l an (Kindermann et al., 1979).

Es zeigte sich jedoch, dass Schwellenkonzepte die auf einer fixen Laktatkonzentration basierten, in Abhängigkeit von Art und Intensität des Trainings der Probanden ungenaue Ergebnisse lieferten. Je höher die Bedeutung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit in einer Sportart war, umso weiter wurde die Laktatleistungskurve nach rechts verschoben bzw. umso niedriger waren die Laktatwerte auf einer Belastungsstufe. Tendenziell wurden für gut trainierte Langstreckenläufer bei einer festgelegten Schwellenlaktatkonzentration von 4 mmol/l zu hohe Belastungsintensitäten gemessen, da diese Konzentration erst bei sehr hohen Belastungen oder gar nicht erreicht werden konnte (Keul et al., 1979; Simon et al., 1981; Stegmann et al., 1981; de Marées, 2002). Aufgrund dieser Beobachtung wurden Schwellenkonzepte entwickelt, bei welchen die anaerobe Schwelle individuell festgelegt werden konnte.

Anhand der Steigung der Laktatleistungskurve legten *Keul et al.* (Keul et al., 1979) eine sogenannte ‚individuelle anaerobe Schwelle‘ (IAS) fest. Diese lag an dem Punkt der Kurve, an welchem die Steigung  $\alpha = 51^{\circ}34'$  betrug. Um diesen

Wert zu validieren wurden 20 Skilangläufer dreimal in verschiedenen Trainingszuständen untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Laktatleistungskurve durch Training verändert werden konnte. So war die IAS bei höherem Trainingszustand zu niedrigeren Laktatwerten verschoben. *Stegmann et al.* (Stegmann et al., 1981) beobachteten eine Veränderung der Diffusions-Eliminationsrate des Laktats bei ansteigender Belastung. Sie definierten daraus die IAS als den Punkt, an dem die maximale Eliminationsrate und die maximale Diffusionsrate des Laktats im Gleichgewicht stehen (de Marées, 2002). Nach Abbruch der Belastung steigt die Laktatkonzentration noch ein wenig an, um dann kontinuierlich abzufallen. Nach *Stegmann et al.* wird durch den Punkt der Erholungskurve, an dem der Laktatwert wieder erreicht ist, der bei Belastungsabbruch gemessen wurde, eine Tangente an die Belastungskurve gelegt. Die IAS liegt an der Stelle, an welcher sich Tangente und Belastungskurve berühren. Dieses Verfahren berücksichtigt die verbesserte Laktatelimination des ausdauertrainierten Sportlers, hängt aber stark vom Testprotokoll ab (Heck, 1990). Die Abhängigkeit der Dauerleistungsgrenze von Alter und Trainingszustand wurde von *Simon et al.* untersucht (Simon et al., 1981). Sie fanden heraus, dass individuelle Unterschiede von Kindern, Jugendlichen, Erwachsenen und Sportlern am besten durch eine IAS erfasst werden, die an dem Punkt der Laktatleistungskurve liegt, an welchem die Tangentensteigung  $45^\circ$  beträgt.

*Simon et al.* legten 1983 die sogenannte ‚anaerobe Schwelle‘ bei Schwimmern bei einer Laktatkonzentration 1.5 mmol/l oberhalb der ‚aeroben Schwelle‘ fest (de Marées, 2002). *Dickhuth et al.* definierten das sogenannte ‚minimale Laktatäquivalent‘ als den Quotienten aus Laktat und Sauerstoffaufnahme. Durch Addition von 1.5 mmol/l zu diesem Quotienten ergab sich die IAS (de Marées, 2002). Das Verfahren ist somit unabhängig von der starken Variabilität der Basislaktatkonzentration. Es ist in der sportmedizinischen Praxis etabliert und validiert (Röcker, 2004). *Röcker et al.* definierten die IAS bei einer Laufgeschwindigkeit, an welcher die Laktatkonzentration um 1.5 mmol/l über die Laktatkonzentration an der LT angestiegen ist (Röcker et al., 1998). Für den

Radsport wird anstelle von 1.5 mmol/l nur eine Addition von 1.0 mmol/l gefordert (Röcker et al., 2003). Das Konzept der Leistungsdiagnostik mithilfe der IAS findet häufig Anwendung, ist objektiv, validiert und bestätigt (Röcker et al., 1995, Röcker et al., 1997, Röcker et al., 1998; Coen et al., 2001; Röcker et al., 2002).

### 1.3.5 Belastungstest

Zur sportmedizinischen Leistungsdiagnostik bedarf es neben eines Schwellenkonzepts auch eines standardisierten Belastungstests. Die in vorliegender Arbeit angewandte Belastungsuntersuchung wurde als rektangulär-triangularer Stufentest durchgeführt. Dieses Belastungsprofil besteht aus konstanten (rektangulären) und rampenförmigen (triangularen) Elementen, was in der Summe eine stufenförmige (rektangulär-triangular) Belastung ergibt (de Marées, 2002). Das hier gewählte Belastungsschema entspricht den Empfehlungen des ‚Bundesausschuss Leistungssport (BAL)‘ und stellt sich im Einzelnen so dar (Platen, 2001):

Eingangsstufe (Watt)	50 (100)
Anstieg pro Stufe (Watt)	50
Stufendauer (min)	3-5
Pausendauer (min)	0
Drehzahl (U/min)	80-100

**Abbildung 5: Belastungsschema für stufenförmige Fahrradergometertests nach den Empfehlungen des ‚Bundesausschuss Leistungssport (BAL)‘.**

Die Zielgruppe dieses Belastungsschemas sind Leistungssportler. Die Verwendung des BAL-Schemas für Probanden mit großer Leistungsbreite ist weit verbreitet und wird häufig angewendet (Löllgen, 1995; Schwarz, 2001; de Marées, 2002; Boldt et al., 2002;). Bezüglich der Drehzahl bzw. Trittfrequenz auf dem Fahrradergometer geben *Hollmann und Hettinger* an, dass sich bei über 60 Umdrehungen/min der Wirkungsgrad verschlechtert, es aber trotzdem

dem Probanden überlassen werden soll, die Tretfrequenz selbst zu wählen (Hollmann et al., 2000). *Löllgen* nennt einen empfohlenen Drehzahlbereich von 60-70 Umdrehungen/min bzw. von 60-90 Umdrehungen/min bei maximaler Belastung und den ökonomisch günstigsten Wirkungsgrad bei 50 Umdrehungen/min. Dennoch bevorzugen Patienten und Gesunde deutlich höhere Drehzahlen. Eine Ausbelastung ist oft nur bei Drehzahlen um 90 Umdrehungen/min oder darüber möglich (Löllgen, 1995). Heutiger Standard ist das drehzahlunabhängige Fahrradergometer (Platen, 2001). Vorteile der Fahrradergometrie sind die gute Abstufbarkeit und Reproduzierbarkeit der Belastung sowie die störungsarme Messbarkeit von EKG und Blutdruck (de Marées, 2002).

Als Abbruchkriterien für den Belastungstest gelten stärkere Beschwerden des Herz-Kreislauf- und Atemsystems wie Herzbeschwerden, Atemnot, Zyanose, atypisches Blutdruckverhalten, pathologische elektrokardiographische Veränderungen sowie Kopfschmerz und Schwindel (Dickhuth, 2000; Platen, 2001; de Marées, 2002). Zu trennen sind subjektive Ausbelastungskriterien von objektiven Kriterien. Subjektiv empfindet der Proband meist das Gefühl der Maximalbelastung in Form einer Übersäuerung der Beine oder Dyspnoe.

Objektive Kriterien der Ausbelastung, die als Anhaltswerte dienen, sind nach *Dickhuth* (Dickhuth, 2000):

Leistung (Watt)	mindestens > 75% der Sollleistung möglichst > 90% der Sollleistung
Herzfrequenz	> 200 – Lebensalter (mindestens) > 220 – Lebensalter (sicher)
Blutlaktat	≥ 5 mmol/l (mindestens) ≥ 9 mmol/l (sicher)

**Abbildung 6: Objektive Kriterien der Ausbelastung für Belastungstests nach *Dickhuth*.**

Um Aussagen über den aeroben Stoffwechsel machen zu können, sollte die Anfangsbelastung nicht zu hoch gewählt werden. Eine zu niedrige Anfangsbelastung hingegen kann unökonomische Muskelarbeit zur Folge haben. Auch die Schnelligkeit des Belastungsanstiegs spielt eine Rolle. Wird innerhalb eines Zeitraums  $< \frac{1}{2}$  - 1 Minute bis zur maximalen Leistung gesteigert, sind die sauerstofftransportierenden Systeme des Körpers noch nicht optimal aktiviert und die Belastung muss auf Grund früh einsetzender anaerober Prozesse rasch abgebrochen werden. Wird der Zeitraum bis zur maximalen Leistungsfähigkeit zu lang gewählt ( $> 20 - 30$  Minuten), so bestimmt vor allem die nicht mehr kompensierbare Laktatazidose den Abbruch. In beiden Fällen kann die maximale Sauerstoffaufnahme nicht erreicht werden. Zur Bestimmung der aeroben Kapazität sind Belastungszeiten zwischen 10 – 20 Minuten üblich. Um die für den Leistungssport wichtige Dauerleistungsgrenze zu ermitteln empfiehlt sich allerdings eine längere Belastungsdauer von  $> 20$  Minuten (Dickhuth, 2000).

## 1.4 Chronisch venöse Insuffizienz und Sport

Bisher wurden die Bereiche Phlebologie und sportmedizinische Leistungsdiagnostik isoliert im wissenschaftlichen Kontext dargestellt. Diese Betrachtungsweise ist jedoch einseitig, da zahlreiche Verbindungen zwischen beiden Bereichen bestehen. Deshalb soll im folgenden auf die Auswirkungen sportlicher Aktivität bei CVI näher eingegangen werden.

Für die Patienten, die an einer Erkrankung des Venensystems leiden ist es generell von Vorteil, wenn sie im Alltag das Motto: „Lieber laufen statt stehen und sitzen.“ (Rabe et al., 2000) beherzigen. Bewegung führt auch bei eingeschränkter venöser Abpumpfunktion zu einer Entlastung des Beinvenensystems. Dabei ist die Wahl einer geeigneten Bewegungsform bzw. Sportart von Bedeutung, da nicht alle Sportarten gleich empfehlenswert sind. Als empfehlenswert gelten unter anderem Schwimmen, Gefäßsport, Gehen, Wandern, Skilanglauf, Venenwalking und Radfahren ohne Belastung. Bedingt empfehlenswert sind Ballsportarten mit Sprüngen, Tennis, alpines Skifahren und intensives Joggen. Abzuraten ist von Krafttraining, Gewichtheben, Radfahren als Wettkampfsport sowie Mountainbiking (Klyscz et al., 1996; Jünger et al., 1998; Rabe et al., 2000). Vermieden werden sollen sowohl Sprung- als auch Gewichtsbelastungen, die beide direkt oder indirekt mit einer Druckerhöhung im Beinvenensystem einhergehen. Ausgeglichenere, rhythmische Bewegungsabläufe hingegen sind zu bevorzugen (Klyscz et al., 1996). Es konnte gezeigt werden, dass die Gruppe der zyklischen Sportarten wie Schwimmen und Radfahren gegenüber azyklischen Sportarten wie Eishockey und Ringen im Vorteil sind. So war in einer Studie in der erstgenannten Sportlergruppe die Varikosisprävalenz bei gleicher familiärer Disposition signifikant niedriger als in der zweiten (Peschen et al., 1996).

In vorliegender Arbeit wurden Radfahrer mit Krampfadern untersucht. Wie eben dargestellt ist Radfahren, wenn es intensiv betrieben wird, für Patienten mit CVI bedingt bis nicht empfehlenswert. Im Radrennsport wird durch die Sitzposition

der venöse Abfluss behindert während gleichzeitig eine hohe arterielle Durchblutung in den Beinen besteht (Strölin et al., 2004). Das große Blutangebot bei vermindertem Abtransport stellt eine Belastung für das Venensystem dar. Zwar fördert der Mechanismus der ‚Wadenmuskel-Sprunggelenkpumpe‘ den orthograden Blutfluss in den tiefen Leitvenen, doch kommt es bei CVI aufgrund der eingeschränkten Drainage zur venösen Hypertonie und Ödembildung. Es ist deshalb für Patienten mit CVI generell wichtig, bei allen sportlichen Aktivitäten eine Kompressionstherapie durchzuführen. Ohne diese Therapie kann es möglicherweise in nicht funktionierenden Venenabschnitten zu einer Verschlechterung der Befunde kommen (Weidinger et al., 1987; Klyscz et al., 1996; Strölin et al., 2004). *Schauer et al.* sehen die Kompression während des Trainings erst ab einem höheren Insuffizienzgrad als zwingend an (Schauer et al., 1990). Am zweckmäßigsten ist es, während des Sports die Kompression mit MKS durchzuführen.

Aus therapeutischer Sicht erfolgt die Empfehlung für Patienten mit CVI sich sportlich zu betätigen aus mehreren Gründen. Unter der Voraussetzung, dass während des Trainings eine Kompressionstherapie betrieben wird, kann eine rhythmische Bewegung im Bereich des oberen Sprunggelenkes zur besseren Durchblutung und Ernährung von Gelenk und Knorpel beitragen. Eine Kräftigung vor allem der Unterschenkelmuskulatur wirkt sich zum einen positiv auf die Gelenkfunktion aus, zum anderen wird die Wadenmuskelpumpe gestärkt. Außerdem hat Sporttherapie bei Venenerkrankungen positive Auswirkungen auf die Lebensqualität (Klyscz et al., 1996). Wird bereits in einem frühen Stadium der CVI mit einer Kombination aus physikalischer Therapie mittels MKS und sportlicher Betätigung in Form eines angeleiteten ambulanten Gefäßtrainings begonnen, können die Beschwerden der Patienten gelindert und sowohl Gelenkbeweglichkeit als auch venöse Drainage verbessert werden. Selbst in einem fortgeschrittenen Stadium der CVI tragen Gefäßtraining und Kompressionstherapie entscheidend zu einem langfristigen Therapieerfolg bei (Steins et al., 2000).

Die Wirksamkeit spezieller venöser Trainingsprogramme ist durch Studien belegt. Es konnte gezeigt werden, dass nach sechsmonatigem Training bei Patienten mit CVI eine Verbesserung subjektiver Beschwerden und eine bessere Sprunggelenkbeweglichkeit vorlag (Klyszcz et al., 1997 b; Werner, 2001). Durch frühzeitige Therapie mit Kompressionsstrümpfen, Physiotherapie und die Teilnahme an einer Gefäßsportgruppe wurde die venöse Drainage verbessert (Werner, 2001) und schwere Komplikationen der CVI verringert (Jünger et al., 1998). Insgesamt unterschied sich die Morbidität signifikant bei trainierten Patienten mit venöser Insuffizienz gegenüber Untrainierten (Bringmann, 1986). Neben den positiven Effekten der Kompressionstherapie zeigte sich, dass es nach neunwöchiger Therapie zu einer signifikanten Reduktion der statischen Kraft der Beine kam (Flügge et al., 1971), wobei der Grad der muskulären Atrophie mit der Kompressionsstärke korrelierte. Spätere Untersuchungen ergaben jedoch, dass diese Atrophie durch Krafttraining superkompensiert werden konnte (Flügge et al., 1976).

Aus physiologischer Sicht findet durch Ausdauertraining und Übungen in Rehabilitationsprogrammen eine Verbesserung der Fließeigenschaften des Blutes, eine bessere oxidative Kapazität und Sauerstoffverwertung der Skelettmuskulatur wie auch eine Umverteilung des Blutvolumens statt (Ernst et al., 1987; El-Sayed, 1998; Tan et al., 2000). Daneben wird in der Peripherie eine vermehrte Kapillarisation, ein antiatherogener Effekt und vermehrte fibrinolytische Aktivität beobachtet (Bringmann, 1986; Gottschalk et al., 1986). Es konnte gezeigt werden, dass sich unter der Therapie mit Kompressionsstrümpfen in den Beinvenen eine Reduktion des desoxygenierten Hämoglobins gegenüber der Situation ohne Kompressionsstrümpfe ergab. Diese Beobachtung wurde sowohl in Ruhe als auch bei Bewegung gemacht. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass der positive Effekt von Kompressionsstrümpfen möglicherweise auf eine Reduzierung des venösen Poolings und eine verbesserte Oxygenierung des tieferen Gewebes zurückzuführen ist (Agu et al., 2004). An Sportlern wurde festgestellt, dass es bei längerfristigem Training aufgrund des erhöhten Blutflusses zu einer

Adaptation des Venensystems kommt. Dabei vergrößert sich der Venendurchmesser ohne jedoch mit einer venösen Insuffizienz einherzugehen (Venerando et al., 1983). Schon länger ist bekannt, dass Ausdauersport zur Optimierung des Verhältnisses von venösem Tonus, Druck und Volumen, einer verbesserten Funktion von ‚Muskel- und Sprunggelenkpumpe‘ sowie einer Aktivierung der lokalen Stoffwechselregulation beiträgt (Gottschalk et al., 1986; Weidinger et al., 1987).

Die positiven Auswirkungen von Bewegung und Kompressionstherapie bei Patienten mit CVI schien unbestritten. Es stellte sich aber die Frage, inwieweit der Personenkreis der Hobby-, Freizeit- und Leistungssportler mit CVI tatsächlich von einer Behandlung mit MKS profitieren würde. Obigen Überlegungen zufolge sollte es zur Reduktion der für die CVI typischen Beschwerden kommen. Es war jedoch anzunehmen, dass bei Sportlern der Leistungsgedanke eine Rolle spielt. Welchen Einfluss hat daher die Behandlung einer CVI mit Kompressionsstrümpfen auf die Leistungsfähigkeit von Sportlern? Aus physiologischer und pathophysiologischer Sicht konnte vermutet werden, dass sich aufgrund einer veränderten Hämodynamik, lokaler Stoffwechsellage und Motorik auch eine veränderte sportliche Leistungsfähigkeit ergeben würde. Allerdings bestehen Vorbehalte vieler Athleten bezüglich der Kompressionstherapie beim Sport. Es scheint die Befürchtung zu geben, durch das Tragen von Kompressionsstrümpfen in der Leistung eingeschränkt zu werden. Auch die Angst vor mangelnder Beweglichkeit, schlechtem Tragegefühl und nicht zuletzt modische Vorbehalte ließen eine schlechte Compliance (Bereitschaft eines Patienten zur Mitarbeit bei diagnostischen oder therapeutischen Maßnahmen (Pschyrembel, 1998)) vermuten. Aus diesen Überlegungen wurden die Thesen vorliegender Arbeit abgeleitet.

## 1.5 Thesen

Von vorrangigem Interesse war der Einfluss der Kompressionstherapie bei Radsportlern mit nachgewiesener Klappeninsuffizienz der Hautstammvenen auf Leistungsvermögen und Laktatspiegel. Dazu sollte in einem ersten Schritt der unmittelbare Effekt von speziell angepassten MKS auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von Radsportlern mit CVI untersucht werden. In einem zweiten Schritt sollte nach konsequenter Kompressionstherapie eine Aussage über die mittelfristigen Auswirkungen auf die Ausdauerleistungsfähigkeit gemacht werden. Daraus ergeben sich die beiden folgenden Thesen:

**These 1:** Durch das Anlegen eines medizinischen Kompressionsstrumpfes verändert sich die sportliche Leistungsfähigkeit von Radfahrern mit einer chronischen venösen Insuffizienz unmittelbar.

**These 2:** Durch die konsequente Therapie mit einem medizinischen Kompressionsstrumpf verändert sich die sportliche Leistungsfähigkeit von Radfahrern mit einer chronischen venösen Insuffizienz mittelfristig.

Die Annahme, dass das Tragen medizinischer Kompressionsstrümpfe die bei einer CVI typischen Beschwerden verringern kann, stellt eine Therapieindikation dar. Ob und in welcher Ausprägung eine solche Therapie die Beschwerdesymptomatik bei Radsportlern verringert, war bisher nicht ausreichend untersucht worden. Dieser Frage wurde unter folgenden Thesen nachgegangen:

**These 3:** Eine Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen reduziert die bei einer CVI typischen Beschwerden im Alltag des Radfahrers.

**These 4:** Eine Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen reduziert die bei einer CVI typischen Beschwerden nach dem Radtraining.

Aufgrund eventuell bestehender Vorbehalte gegen das Tragen medizinischer Kompressionsstrümpfe kann die Compliance der Betroffenen eingeschränkt sein. Dabei spielen Aspekte des Tragekomforts, der Handhabung und nicht zuletzt der Beweglichkeit eine Rolle. Es war anzunehmen, dass auch bei Radfahrern mit CVI diese Problematik vorhanden ist. Die daraus abgeleitete These lautete:

**These 5:** Die Compliance bezüglich der Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen bei Radfahrern mit CVI ist gering.

In dieser Studie wurde zur Kompressionstherapie der MKS ‚Venotrain® champion‘ der Firma Bauerfeind verwendet. Er soll sich besonders für den Einsatz in der Freizeit und beim Sport eignen. Unter dieser Annahme wurde folgende These formuliert:

**These 6:** Der Kompressionsstrumpf ‚Venotrain® champion‘ der Firma Bauerfeind eignet sich für den Einsatz im Radsport.

Zur Untersuchung der aufgestellten Thesen wurde anhand von Fahrradergometertests die sportliche Leistungsfähigkeit mit und ohne MKS über die Parameter Herzfrequenz, Laktatwert und Leistung an der aeroben Schwelle (AS) und der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) bestimmt. Mittels eines Fragebogens konnten Aussagen über die Beschwerdesymptomatik, Compliance, Lebensqualität und den Kompressionsstrumpf gemacht werden.

## **2 Material und Methodik**

### **2.1 Studienaufbau**

#### **2.1.1 Probandenkollektiv**

An der Studie nahmen 20 Radfahrer mit einer CVI in Form von Krampfadern teil. Grundvoraussetzung für die Teilnahme war eine wöchentliche Trainingsstrecke von mindestens 120 Kilometern. Um ein ausreichend großes Probandenkollektiv zu erhalten wurden 300 Sport-, Turn- und Radvereine der Landkreise Tübingen, Böblingen, Reutlingen und Zollernalb angeschrieben. Interessierte Sportler wurden gebeten, sich in der Universitätshautklinik Tübingen zu melden. Die Allgemeinbevölkerung wurde über einen Artikel in der Lokalpresse („Schwäbisches Tagblatt“) informiert. Außerdem erschien eine entsprechende Anzeige in der Laufzeitschrift ‚Runnersworld‘ und in der Mountainbikezeitschrift ‚bike‘. Parallel dazu war über die Dauer der Studie ein Artikel auf der Homepage der Rennradzeitschrift ‚tour‘ ([www.tour-magazin.de](http://www.tour-magazin.de)) geschaltet. Die Verwendung verschiedener sportartspezifischer- und unspezifischer Printmedien und des Internets einerseits, sowie der Kontakt zu zahlreichen Sportvereinen andererseits sollte ein möglichst breites und unselektiertes Kollektiv an Hobby-, Freizeit- und Leistungssportlern erreichen.

Von den anfangs 20 Probanden schied ein Proband nach der zweiten phlebologischen Untersuchung und einer nach der ersten sportmedizinischen Belastungsuntersuchung aus. Die bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Messwerte wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Von den verbliebenen 18 Probanden schied ein weiterer nach der zweiten sportmedizinischen Untersuchung aus. Die bis dahin erhobenen Messwerte des Probanden konnten berücksichtigt werden. Die Probanden schieden aus privaten Gründen aus. Insgesamt schlossen 17 Probanden die Studie komplett ab.

### **2.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien**

Einschlusskriterien zur Teilnahme an der Studie waren:

- venöse Insuffizienz (mindestens Stadium C2 nach CEAP-Klassifikation)
- Alter zwischen 18 und 55 Jahren
- Wöchentliche Trainingsstrecke > 120 Kilometer

Ausschlusskriterien waren:

- Diabetische Polyneuropathie
- Tiefe Beinvenenthrombose in den letzten 3 Monaten
- Nicht beherrschbare Hypertonie
- Fortgeschrittene Herzerkrankung
- Periphere arterielle Verschlusskrankheit
- Deutlich eingeschränkte Sprunggelenksbeweglichkeit (Dorsalflexion < 5°)
- Venenoperativer Eingriff oder Sklerotherapie innerhalb der letzten 3 Monate
- Gleichzeitige Therapie mit Immunsuppressiva, Zytostatika und Venentherapeutika
- Fortgeschrittene Leberinsuffizienz und/oder Niereninsuffizienz
- Progrediente maligne Erkrankungen
- Schwere allgemeine Erkrankungen
- Bekannte Unverträglichkeit gegen das Kompressionsmaterial/Strumpfmateriale
- Teilnahme an einer anderen klinischen Studie mit Medizinprodukten und/oder nicht zugelassenen Arzneimitteln in den letzten 4 Wochen
- Vorliegen einer Schwangerschaft

### **2.1.3 Randomisierung**

Die Probanden wurden nummeriert und nach dem Zufallsprinzip in die Untergruppen 1 und 2 aufgeteilt. In Untergruppe 1 wurde die erste

sportmedizinische Belastung ohne Kompressionsstrümpfe, in Untergruppe 2 mit Kompressionsstrümpfen durchgeführt. Während der zweiten sportmedizinischen Belastung war es umgekehrt - die Teilnehmer der Untergruppe 1 trugen Kompressionsstrümpfe, die der Untergruppe 2 nicht. Die dritte sportmedizinische Belastung wurde von beiden Untergruppen mit Kompressionsstrümpfen absolviert.

	Untergruppe 1	Untergruppe 2
1. Belastung	ohne Kompressionsstrümpfe	mit Kompressionsstrümpfen
2. Belastung	mit Kompressionsstrümpfen	ohne Kompressionsstrümpfe
3. Belastung	mit Kompressionsstrümpfen	mit Kompressionsstrümpfen

**Tabelle 4: Randomisierung. Einteilung der Probanden in zwei Untergruppen mit unterschiedlichen Trageschemata der MKS an den Belastungstagen 1-3.**

Für die Untergruppen ergaben sich im Einzelnen folgende Daten:

Gruppe	Anzahl (n)	Gewicht (kg)	Grösse (cm)	Alter (Jahre)	Laufen (km)	Rad (km)
Untergruppe 1	10	73.65 SD 8.4	179.30 SD 8.6	37.40 SD 10.5	26.5 SD 25.8	244.00 SD 117.7
Untergruppe 2	8	74.13 SD 8.7	177.25 SD 5.3	39.00 SD 7.4	20.00 SD 26.9	228.75 SD 101.8

**Tabelle 5 Verteilung der anthropomorphischen Daten sowie der wöchentlichen Trainingskilometer (Laufen und Radfahren) in den Untergruppen 1 und 2. SD = Standardabweichung**

#### 2.1.4 Ablauf

Bei den Radsportlern, die sich in der angiologischen Ambulanz der Universitätshautklinik meldeten, wurde eine Screeninguntersuchung durchgeführt. Diese Untersuchung zur Beurteilung der Studientauglichkeit umfasste eine Dopplersonographie der arteriellen und venösen Beingefäße, eine digitale Photoplethysmographie (DPPG) zur Beurteilung der dynamischen Venenfunktion und ein ausführliches Arzt-Patienten-Gespräch mit klinischer

Untersuchung der Beine. Anhand der erhobenen Daten konnte festgestellt werden, ob generell eine Studientauglichkeit vorlag. Die in Frage kommenden Probanden wurden an einem zweiten Termin duplexsonographisch untersucht. Als Orientierung dienten die in erster Sitzung erhobenen Befunde über die Lage insuffizienter Venenklappen und -abschnitte. Konnte bei dieser Untersuchung ein pathologischer Reflux in den oberflächlichen Venen oder in den Perforansvenen festgestellt werden, wurde eine standardisierte Anamnese erhoben und die Probanden auf Ein- und Ausschlusskriterien hin befragt. Waren alle Einschluss- und keine der Ausschlusskriterien erfüllt, konnten sie in die Studie aufgenommen werden und bekamen individuell MKS angepasst. Dazu wurden Beinumfang und Fußlänge der Probanden digital gemessen.

In der Abteilung Sportmedizin der Medizinischen Universitätsklinik wurden im Folgenden drei Belastungsuntersuchungen durchgeführt. Die Labortests erfolgten immer nach dem gleichen Schema als Stufenbelastungstests auf dem Fahrradergometer. Dadurch wurde die Sportartspezifität gewährleistet und es konnte eine Aussage über die sportartspezifische Ausdauer und die höchsten Leistungswerte der Probanden gemacht werden (Hollmann et al., 2000; Platen, 2001; de Marées, 2002) Die Tests erfüllten die Kriterien einer rektangulär-triangularen Belastung mit konstanter Stufendauer und Stufenhöhe (Platen, 2001; de Marées, 2002).

Gemäß der zuvor durchgeführten Randomisierung wurde die erste Belastung ohne bzw. mit Kompressionsstrümpfen absolviert (Tag 1). Während der folgenden 7 Tage durften die Strümpfe von den Probanden nicht getragen werden. Die zweite Belastung erfolgte an Tag 8 entsprechend umgekehrt mit bzw. ohne Kompressionsstrümpfe. Daraufhin wurden die Probanden gebeten, die Strümpfe bis zur dritten Belastung so häufig wie möglich, zumindest aber während des Trainings zu tragen. Nachts sollten die Strümpfe nicht getragen werden. Der Zeitraum bis zur dritten Belastung wurde orientierend mit vier Wochen veranschlagt. Die dritte Belastung wurde in beiden Untergruppen mit Kompressionsstrümpfen durchgeführt. Abschließend wurden persönliche

Informationen zur Lebensqualität, Beschwerden, Training und den Kompressionsstrümpfen anhand eines Fragebogens erhoben.

Die Ergebnisse der Belastungsuntersuchungen wurden den Probanden zusammen mit einer Trainingsempfehlung im Anschluss an jede Belastung ausgehändigt.

HAUTKLINIK	arterieller Doppler, DPPG, Arztgespräch
	Duplexsonographie, klinische Untersuchung, Anpassung der Kompressionsstrümpfe
	Randomisierung
SPORTMEDIZIN	Tag 1 - Belastung 1
	Tag 8 - Belastung 2
	nach vier Wochen - Belastung 3 Fragebogen

**Abbildung 7: Schematische Darstellung des Studienablaufs in Hautklinik und Sportmedizin.**

## **2.2 Untersuchungen Hautklinik**

### **2.2.1 Untersuchungsbedingungen**

Sämtliche Untersuchungen wurden in Räumen der angiologischen Ambulanz der Universitätshautklinik durchgeführt. Die Untersuchungsbedingungen bezüglich Raumklima und Ausstattung der Räume waren für alle Probanden gleich. Über den gesamten Zeitraum wurden zu den Untersuchungen jeweils dieselben Geräte verwendet. Die Untersuchung der Beinvenen mittels Dopplersonographie, DPPG und Duplexsonographie sowie die digitale Vermessung der Beine wurde von geschultem Personal der Ambulanz standardisiert durchgeführt.

### **2.2.2 Material Hautklinik**

#### **Continuous-wave (CW) – Dopplersonographie (venös / arteriell)**

Die dopplersonographische Untersuchung wurde mit dem Gerät ‚Multi Dopplex® II‘ der Firma HNE Healthcare, Hilden, Deutschland, durchgeführt.

Es handelt sich dabei um ein Pocketdopplergerät zur bidirektionalen Gefäßuntersuchung mittels einer Stiftsonde, welches mit einem Computer verbunden ist. Die Untersuchung der Venen mit der Dopplerstiftsonde wurde je nach Schallbedingungen am liegenden, sitzenden oder stehenden Probanden durchgeführt. Dazu wurde der Schallkopf nach Aufbringen eines Kontaktgels ohne Druck in einem Winkel von 45° auf die Haut aufgesetzt und solange bewegt, bis venöse S-Sounds gemessen werden konnten. Die Untersuchung begann mit dem Aufsuchen der Einmündung der V. saphena magna in die V. femoralis (Crosse) in der Leistenregion. Unter wiederholten Provokationsmanövern wurde die V. saphena magna nach distal verfolgt und dabei A-Sounds ausgelöst und aufgezeichnet. Ebenso wurde mit der

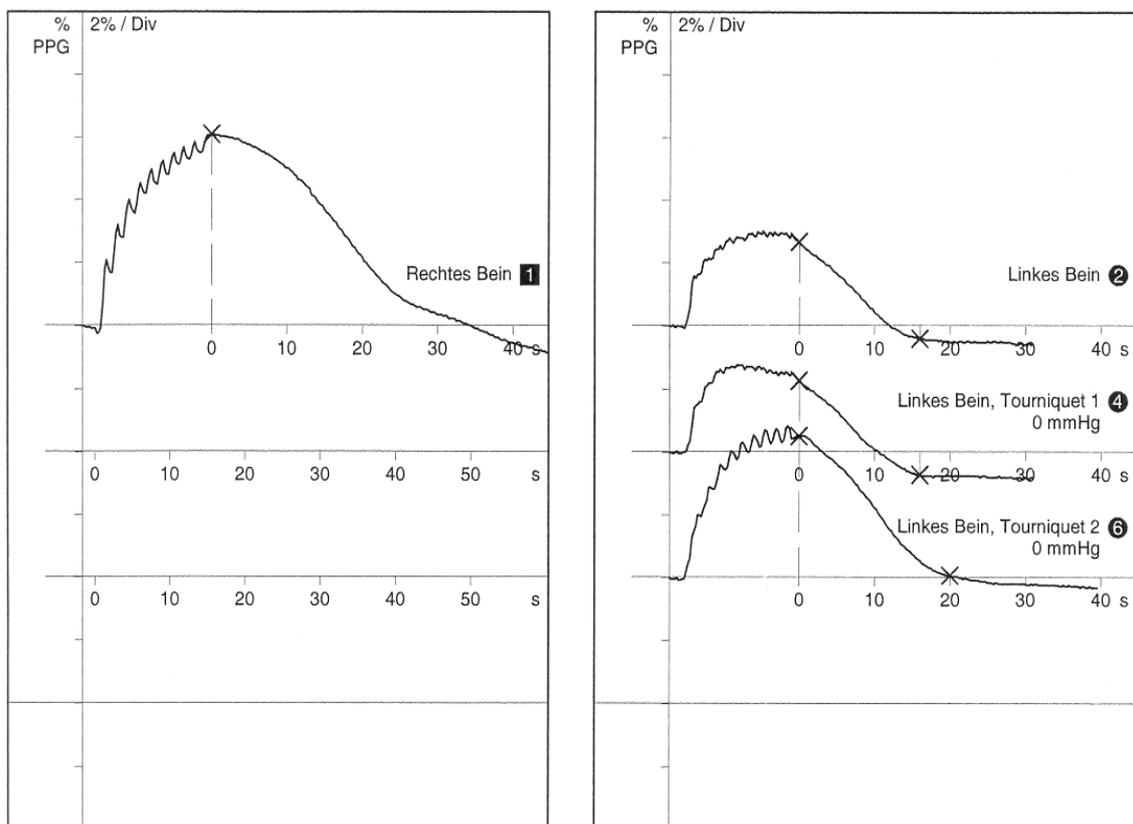
kontralateralen V. saphena magna, beiden Vv. saphenae parvae, den Vv. perforantes und eventuell sichtbaren Seitenästen verfahren, da stets beide Beine untersucht werden müssen (Rabe, 2003 a). Daran schloss sich die arterielle Dopplersonographie am liegenden Probanden an. Sie ähnelt stark der Blutdruckmessung nach Riva-Rocci. An die zu untersuchende Extremität wird eine handelsübliche Blutdruckmanschette proximal des Schallkopfes angelegt und über den systolischen Blutdruckwert aufgepumpt wodurch der arterielle Blutfluss unterbrochen wird. Der Druck, bei welchem als erstes wieder ein Dopplersignal registriert werden kann, entspricht dem arteriellen Druck. An den unteren Extremitäten wurden die Aa. tibiales posteriores und die Aa. dorsales pedes und an den oberen Extremitäten die Aa. brachiales untersucht. Die Blutdruckwerte wurden miteinander verglichen, um eine periphere arterielle Verschlusskrankheit auszuschließen.

### **Digitale Photoplethysmographie (DPPG)**

Die Untersuchung wurde mit dem digitalen Photoplethysmographen „Vasoquant VQ 1000“ der Firma Elcat, Wolfratshausen, Deutschland, durchgeführt.

Dazu wurden Photosensoren etwa 10 cm proximal der Innenknöchel auf die gesunde Haut geklebt. Die Untersuchung fand am sitzenden Probanden bei einer Flexion in den Kniegelenken von etwa 110° statt (Rabe, 2003 a). Zu Beginn wurde die Ruhedurchblutung mittels digitaler Autokalibrierung bestimmt. Der Wert diente als Bezugs- bzw. Nullwert. Unter Vorgabe eines akustischen Signals machte der Proband im Anschluss daran zehn maximale Dorsalextensionen des Fußes innerhalb von 15 Sekunden, wodurch das venöse Blut verstärkt aus den Beinen abgepumpt wurde. Während der folgenden Wiederauffüllphase mussten die Beine ruhig gehalten werden. Die Venenfüllung wurde zum einen graphisch in Form einer Kurve dargestellt als auch die venöse Wiederauffüllzeit  $t_0$  in Sekunden angegeben. Wurde bei dem Probanden eine pathologisch verkürzte Wiederauffüllzeit gemessen, musste die

Untersuchung nach Anlage von Tourniquets wiederholt werden. Tourniquets sind wie handelsübliche Blutdruckmanschetten aufgebaut und dienen der Ausschaltung der extrafaszialen Hautvenen. Wird mittels Stauung ein Venenabschnitt unterbunden und anschließend eine deutlich verlängerte bis normalisierte Wiederauffüllzeit gemessen, kann orientierend festgestellt werden, von welchem Bereich der oberflächlichen Venen die Insuffizienz ausgeht. Die Tourniquets wurden jeweils kurz distal der Einmündung der V. saphena magna und der V. saphena parva angelegt und auf 60 mmHg aufgepumpt. Nach jeder Tourniquetanlage wurde die Untersuchung wiederholt.



**Abbildung 8: DPPG-Kurve. Links: normale Venenfunktion. Rechts: Pathologische Venenfunktion mit deutlich verkürzter venöser Wiederauffüllzeit  $t_0$  und Besserung durch Tourniquet.**

[gezackt: Abpumpen des Venenblutes durch zehn maximale Dorsalextensionen des Fußes; X (> 0 s): venöse Wiederauffüllzeit  $t_0$ ]

## **Farbkodierte Duplexsonographie (FKDS)**

Die Untersuchung der Beinvenen des Probanden wurde mit dem farbkodierten Duplexsonographiegerät „HDI 5000“ der Firma Philips Medical Systems, Solingen, Deutschland, durchgeführt.

Der Proband wurde liegend in Bauch- und Rückenlage, sitzend und stehend untersucht. Provokationsmanöver wie das Husten- oder Valsalvamanöver sowie die manuelle Kompression und Dekompression dienten dabei der Darstellung des pathologischen Reflux in den oberflächlichen bzw. tiefen Beinvenen und den Verbindungsvenen (Vv. perforantes). Die erhobenen Befunde wurden schriftlich und auf Speichermedien dokumentiert.

## **Perometer**

Das Anmessen der Kompressionsstrümpfe geschah mit Hilfe des Perometers „Typ 400 T“ der Firma Pero-System, Wuppertal, Deutschland.

Das Perometermessverfahren arbeitet mit lichtemittierenden Dioden (LED) und dient der exakten Messung von Länge und Umfang der Beine und Füße. Auf diese Weise können Kompressionsstrümpfe individuell angepasst werden. Die in einem Rahmen befindliche Messeinheit wurde dazu um das stehende Bein und den steil aufgestellten Fuß des Probanden bewegt. Während der Bewegung wurde die Oberfläche des Beins von zwei Seiten automatisch abgetastet. Die auf diese Weise erhaltenen Konturenbilder konnten über einen Computer weiter bearbeitet und ausgedruckt werden ([www.pero-system.de](http://www.pero-system.de), 2004). Die in der Kompressionstherapie üblicherweise verwendeten Beinumfangmessstellen (Rabe, 2003 a) wurden graphisch und als exakte Zahlenwerte dargestellt. Die Messungen wurden für beide Beine und Füße jeweils getrennt durchgeführt.

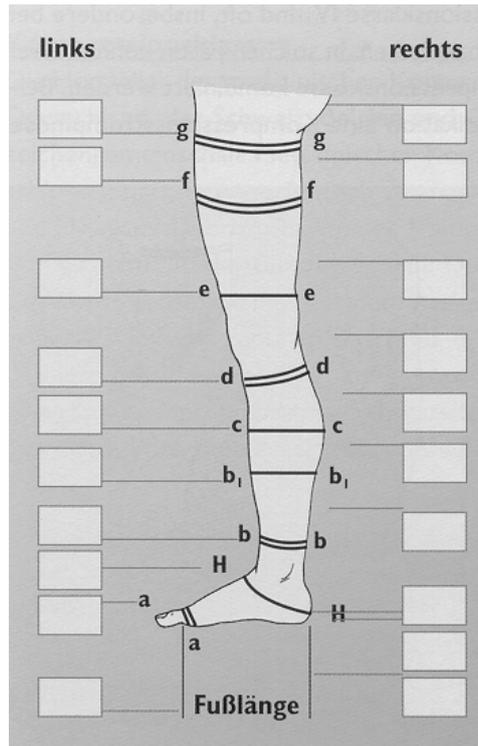


Abbildung 9: Beinumfangsmessstellen bei Maßkompressionsstrümpfen (Rabe, 2003a).

### Kompressionsstrümpfe

Der Proband erhielt für beide Beine den Wadenkompressionsstrumpf ‚Venotrain® champion‘ der Firma Bauerfeind Phlebologie GmbH & Co. KG, Zeulenroda, Deutschland.

Der MKS hat die Kompressionsklasse II mit einem genau definierten Druckverlauf, vom Knöchel zum Oberschenkel hin abnehmend. Er besteht aus ‚Lycra® Elasthan‘ Garn mit einer Innenbeschichtung aus Baumwolle. Das Gewebe reguliert Wärme und Feuchtigkeit und ist atmungsaktiv. Deshalb eignet sich der Strumpf besonders für Sport und Freizeit. Der Kompressionsstrumpf ist nahtlos und hat eine geschlossene Fußspitze (Bauerfeind, 2004). Der MKS ‚Venotrain® champion‘ war bisher noch nicht Gegenstand einer wissenschaftlichen Studie.

### 2.2.3 Anamnese und klinische Untersuchung

Im Anschluss an die apparativen Untersuchungen fand ein Gespräch mit dem Probanden sowie eine klinische Untersuchung statt. Anhand eines Anamnesebogens wurde eine standardisierte Eigenanamnese erhoben, worin nach folgenden Punkten gefragt wurden:

- Beginn der Varikose
- Vorbehandlung der Varikose
- Aktuelle Beschwerden an den Beinen (Schmerz, Spannungsgefühl, Ödem)
- Stehende Tätigkeit (> 5 Stunden/Tag)
- Abgeschlossene Vorerkrankungen
- Bestehende Begleiterkrankungen
- Medikamenteneinnahme
- Traumatische Ereignisse wie Operationen oder Unfälle
- Schwangerschaft

Familienanamnestisch wurde nach Varikosis, Ulzera, Thrombose und Venenoperation gefragt.

In der klinischen Untersuchung wurden folgende Parameter untersucht:

- Körpergewicht
- Körpergröße
- Allgemeinzustand
- Herz-Kreislauf mit Ruhe-EKG
- Lunge
- Abdomen
- Extremitäten
- Sensibilität der Beine

Die eingehende körperliche Untersuchung sowie die Anamnese diente der exakten Datenerhebung und dem Ausschluss von Kontraindikationen der sportmedizinischen Belastung, insbesondere des Herz-Kreislaufsystems (Platen, 2001). Damit waren die von *Löllgen* geforderten Kriterien für Voruntersuchungen erfüllt (Löllgen, 1995).

## **2.3 Untersuchungen Sportmedizin**

### **2.3.1 Untersuchungsbedingungen**

Die sportmedizinischen Belastungsuntersuchungen fanden in der Abteilung Sportmedizin der Medizinischen Universitätsklinik statt. Sie wurden unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Die von der ‚Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention‘ gestellten Anforderungen an Untersuchungsraum und Umgebungsbedingungen wurden dabei erfüllt. Die Untersuchungsräume enthielten alle technischen Geräte zur Leistungsdiagnostik, Notfallbehandlung sowie eine separate Untersuchungsfläche. In den Untersuchungsräumen herrschte eine annähernd konstante Temperatur von 22 Grad Celsius, welche damit in den allgemein geforderten Temperaturbereichen lag (Platen, 2001; Boldt et al., 2002; Mieke, 2002). Es wurden für jeden Probanden jeweils dieselben Untersuchungsgeräte und –materialien verwendet.

### **2.3.2 Untersuchungsablauf**

Die sportmedizinische Belastungsuntersuchung bestand aus drei Abschnitten. In einer Vorphase wurde der Proband mit dem Untersuchungsablauf bekannt gemacht und für die Untersuchung vorbereitet. Daran schloss sich die eigentliche sportliche Belastung an. In einer Nachphase kam der Proband wieder zur Ruhe. Während aller drei Phasen wurde der Proband elektrokardiographisch überwacht und zu definierten Zeitpunkten Herzfrequenz und Blutdruck gemessen sowie Blutproben zur Laktatwertbestimmung entnommen. Der Proband absolvierte die Belastungsuntersuchung in bequemer Radkleidung. Ziel der Untersuchung war es, anhand der gewonnenen Daten (Herzfrequenz und Laktatwert in Relation zur erbrachten Leistung) eine Aussage über die sportliche Leistungsfähigkeit des Probanden zu machen.

Dem Probanden wurde in der Vorphase der Belastung in sitzender Position auf dem Fahrradergometer (Ruhe) am hyperämisierten Ohrläppchen Kapillarblut (kapillär-arteriell) in eine kalibrierte Mikropipette abgenommen. Die Blutentnahme am Ohrläppchen ist das heute üblicherweise angewendete Verfahren (Beneke, 2000; Dickhuth, 2000; Platen, 2001; de Marées, 2002). Ferner wurde der Blutdruck nach Riva-Rocci in der Ellenbeuge gemessen und ein EKG mit einem Papiervorschub von 50 mm/s geschrieben. Angelegt wurden die Extremitätenableitungen R, L, N und F sowie die Brustwandableitung V2, V4 und V6, mit denen sich die meisten Rückbildungsstörungen aufdecken lassen (Platen, 2001). Das EKG wurde permanent am Monitor überwacht. In der Vorphase und in den letzten 45-60 s jeder Belastungsminute sowie bei Belastungsabbruch wurde es mit einem Papiervorschub von 50 mm/s geschrieben (Löllgen, 1995; Boldt et al., 2002). Vor Beginn der Belastungsuntersuchung wurde der Proband gebeten, sich während des Tests maximal auszubelasten. Zu jeder vollen Testminute wurde vom Untersucher ein EKG geschrieben und am Ende jeder Belastungsstufe Kapillarblut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen abgenommen.

Der Zeitpunkt des Testabbruchs konnte im Rahmen der Vorgaben vom Probanden selbst bestimmt werden. Vorgaben waren ein Testabbruch frühestens nach 1 Minute auf einer Belastungsstufe bzw. danach wenn möglich erst zu jeder weiteren halben Minute. Abgebrochen werden durfte der Test vom Probanden erst an seiner subjektiven physiologischen Leistungsgrenze, sofern keine anderen Abbruchkriterien erfüllt waren (vgl. Einleitung). Um die maximale Leistungsfähigkeit beurteilen zu können, muss eine kardiopulmonale Ausbelastung erreicht werden (Platen, 2001). Wegen der standardisierten Auswertung sollte ein Testabbruch wenn möglich nur zu den definierten Abbruchzeitpunkten erfolgen. Nach Abbruch der Belastung schloss sich eine 5-minütige Nachphase an. Während der ersten Minute wurde ein Rhythmusstreifen mit einem Papiervorschub von 5 mm/s geschrieben. Am Ende der Minuten +1, +3 und +5 wurde ein EKG mit einem Papiervorschub von 50 mm/s geschrieben und in Minute +3 nach Testende nochmals Kapillarblut

aus dem Ohrläppchen abgenommen und der Blutdruck des Probanden nach Riva-Rocci gemessen. In der Nachphase wurde es dem Probanden ermöglicht, mit einer niedrigen Belastung von 50 bis 100 Watt auszutreten. Als Orientierung dienten die Leitlinien der ‚Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention‘, welche zur Vermeidung eines orthostatischen Kollaps nach Fahrradergometerbelastung das Weiterrreten 1-2 Minuten mit niedriger Belastung oder ganz ohne Widerstand empfehlen (Boldt et al., 2002), was auch *Platen* beschreibt (Platen, 2001).

Auf einem separaten Dokumentationsbogen wurde die Art der Belastung, Anfangsbelastung, Inkrement, Stufendauer, Abbruchzeit und –grund dokumentiert. Zu jeder Stufe wurden Herzfrequenz (1/min) und Laktatwert (mmol/l), sowie die vor und nach Belastung gemessenen Blutdruckwerte eingetragen. Die Blutlaktatkonzentration wurde unmittelbar nach Testende aus den gewonnenen Blutproben bestimmt. Anhand der gemessenen Herzfrequenz- und Laktatwerte vor der Belastung und am Ende jeder Belastungsstufe konnte anschließend eine Laktatleistungskurve erstellt werden. Mit dem Probanden wurde seine persönliche Laktatleistungskurve ausführlich besprochen und eine individuelle Trainingsempfehlung gegeben.

Da es Hinweise darauf gibt, dass die akute Ernährung vor der Belastungsuntersuchung die Laktatleistungskurve nach rechts oder links verschieben kann (de Marées, 2002), waren die Probanden angehalten, ihre Ernährungsgewohnheiten vor den Tests nicht zu ändern. Es wurde auch darauf geachtet, dass die Probanden unmittelbar vor den Untersuchungen keine Wettkämpfe absolviert hatten. Um den Störfaktor zirkadianer Schwankungen der Leistung gering zu halten, wurde darauf geachtet, die Belastungsuntersuchungen möglichst zur jeweils selben Tageszeit durchzuführen.

### 2.3.3 Material Sportmedizin

#### Fahrradergometer

Der Belastungstest wurde mit dem Fahrradergometer ‚Excalibur Sport 1000 W‘ der Firma Lode, Groningen, Niederlande durchgeführt.

Es handelt sich hierbei um ein elektrodynamisches, drehzahlunabhängiges Fahrradergometer mit Workload Programmer nach ISO 13485 mit einem maximalen Leistungszuwachs von 1000 Watt/sec. Das Fahrradergometer ist mit einem Trainingscomputer verbunden, welcher den Belastungsablauf steuert. Der Ablauf der Belastung bleibt so vom Untersucher unbeeinflusst. Gewählt wurde das Belastungsprogramm ‚Allgemeinsport 50‘. Die Anfangsbelastung betrug 50 Watt, die Stufendauer 3 Minuten (Dickhuth, 2000). Am Ende jeder Stufe steigerte sich die Belastungsintensität automatisch um 50 Watt. Dies entspricht dem Schema eines rektangulär-triangularen Belastungstests.

Bei der Fahrradergometrie stellen sich besondere Anforderungen an das Ergometer, die in DIN 13405 festgelegt sind (Platen, 2001). Dazu gehören Grundanforderungen an Sitz- und Lenkerverstellungen, Tretkurbellänge und Sitzposition, drehzahlunabhängiger Betrieb, eine ausreichend große Schwungmasse für ‚rundes‘ Treten sowie exakte und stabile LeistungsEinstellung (Fehler < 5%) (Platen, 2001; de Marées, 2002). Andere Quellen sprechen von einer maximal zulässigen Messabweichung von 2% oder 1.8 Watt (Mieke, 2002).

Das Fahrradergometer ist einem Straßenrennrad nachempfunden. Es verfügt über einen rennradtypisch gebogenen Rennlenker, einen Rennsattel und ein Klickpedalsystem. Vor Beginn der Belastung wurde das Ergometer auf die optimale Sitzposition des Sportlers eingestellt. Verändert werden konnte dabei die Sattelposition in der Vertikalen und Horizontalen, sowie die Position des Lenkers in der Vertikalen und Horizontalen. Je nach Fahrradschuh des Athleten

fanden Klickpedalsysteme von ‚Shimano (SPD)‘, ‚time‘, ‚look‘ sowie anderer Hersteller Verwendung. Über ein in der Sohle des Fahrradschuhs montiertes Verbindungsstück aus Metall (Cleat) wird beim Klickpedalsystem durch Einrasten in den Mechanismus des Pedals eine feste Verbindung zwischen Radfahrer und Fahrrad hergestellt. Dadurch soll sich die Effizienz des Tritts erhöhen, da die Muskelkraft direkt auf das Pedal übertragen wird. Zudem ist es möglich am Pedal nach kranial zu ziehen, was zusätzlich eine Leistungssteigerung und bessere Nutzung der Energiereserven bewirken soll (www.MTB-News.de, 2003).

Bei drehzahlunabhängigen Fahrradergometern wird die Bremskraft elektrisch erzeugt. Mit Hilfe eines elektronischen Reglers wird sie bei steigender Drehzahl entsprechend reduziert und umgekehrt, so dass die physikalische Leistung in Grenzen konstant bleibt (de Marées, 2002). „[...] die eingestellte Last ist hierbei in einem weiten Bereich unabhängig von der durch den Probanden gewählten Umdrehungszahl (Dickhuth, 2000).“ Die maximale Leistung wird in Watt/kg (Körpergewicht des Sportlers) angegeben, da ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Körpergewicht und maximaler Leistung unabhängig vom Trainingszustand besteht (Dickhuth, 2000).

### **Elektrokardiograph**

Zur Ableitung des Elektrokardiogramms wurde das Gerät ‚Cardiosmart ST‘, Version 1.3 der Firma GE Marquette HELLIGE Medical Systems, Freiburg, Deutschland, verwendet. Die Registrierung erfolgte mittels Thermo-Punktdruckverfahren auf thermoreaktivem Papier derselben Firma.

## **Finalgon**

Das Ohrläppchen des Probanden wurde vor Beginn der Belastung zum Zweck der Hyperämisierung mit einer kleinen Menge ‚Finalgon® Creme‘ bestrichen. Sie enthält als arzneilich wirksame Bestandteile 1.7 mg Nonivamid und 10.8 mg Nicoboxil. Beide Wirkstoffe führen zu einer starken Gefäßerweiterung der Haut und einer Zunahme der Hautdurchblutung (Boehringer Ingelheim Pharma KG, 2000). Die Verwendung von ‚Finalgon® Creme‘ zur Hyperämisierung wird häufig beschrieben (Föhrenbach, 1984; Fröhlich et al., 2003).

## **Mikropipetten**

Zur Gewinnung der Kapillarblutprobe wurden Mikropipetten der Firma Marienfeld GmbH, Lauda-Königshofen, Deutschland, benutzt. Es handelt sich dabei um Natrium-heparinisierte Kapillaren mit einem End-zu-End-Volumen von 20 µl ( $R \leq 0.5 \%$  und  $CV \leq 0.6 \%$ ). Die gewonnene Kapillarblutprobe wurde 1:50 mit Systemlösung verdünnt. Das Probenmaterial wurde dazu in mit 1000 µl Systemlösung vorgefüllte 2 ml Safe-Lock Gefäße der Firma Marienfeld GmbH, Lauda-Königshofen, Deutschland, gegeben.

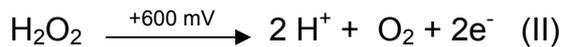
## **Laktatmessgerät**

Zur Bestimmung der Laktatkonzentration in der Kapillarblutprobe wurde das Gerät ‚EBIO® plus‘ der Firma Eppendorf, Wesseling-Berzdorf, Deutschland verwendet.

Die darin vorhandene Messelektrode (Enzymelektrode) arbeitet nach dem enzymatisch-amperometrischen Messprinzip. Eine Laktatmembran enthält das immobilisierte, aktive Enzym Laktatoxidase (LOD). Dieses katalysiert die Oxidation von Laktat zu Pyruvat (I).



H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> wird an einer Platinelektrode gemäß Reaktionsgleichung (II) bei +600 mV oxidiert.



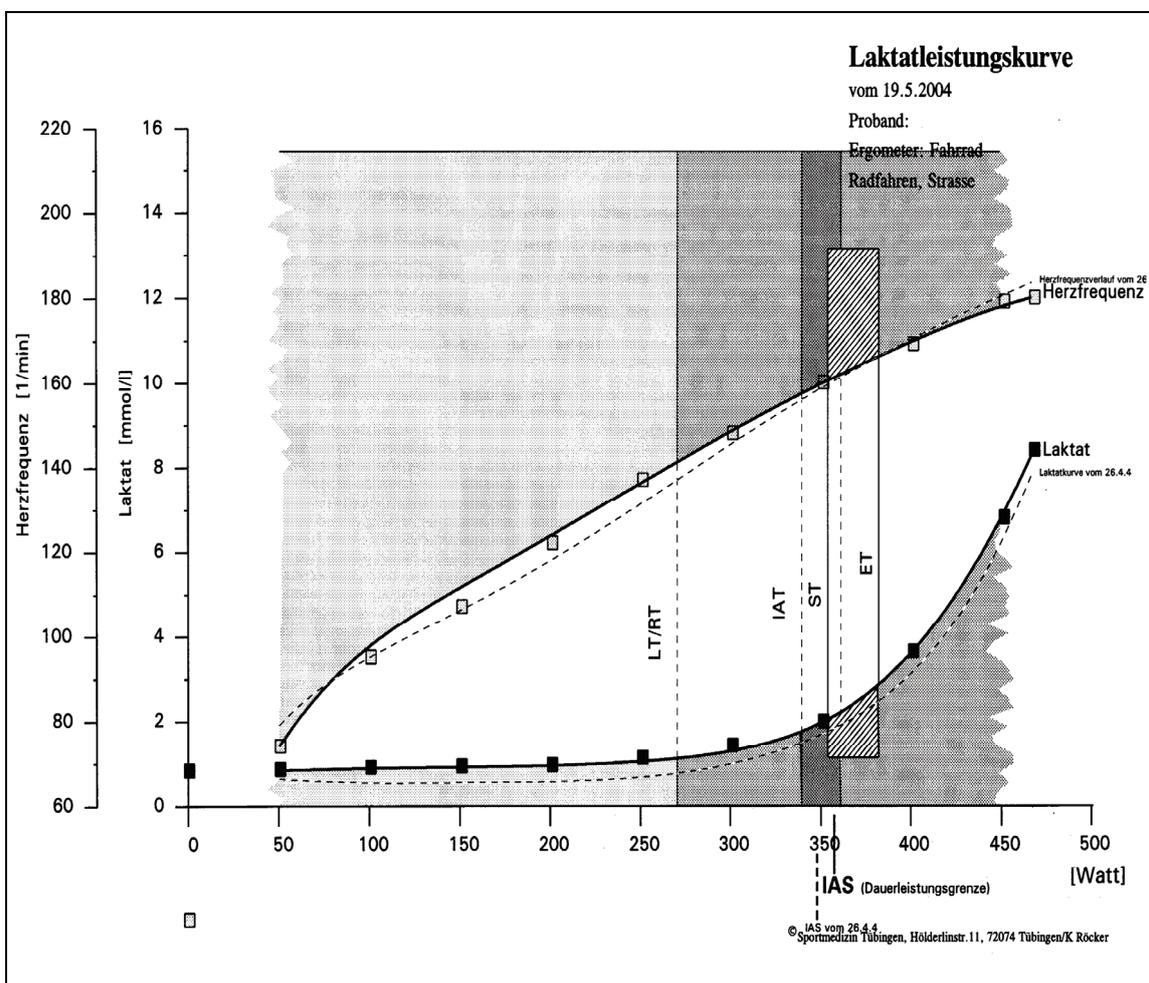
Daraus wird fortlaufend ein Messsignal in Form einer Strom-Zeit-Kurve differenziert. Der maximale Kurvenanstieg wird in einen Spannungswert umgewandelt. Dieser Wert ist der Laktatkonzentration proportional. Gemessen werden kann in einem Bereich von 0.5 – 30 mmol/l Laktat. Die Unpräzision beträgt < 1.5 % bei 2 mmol/l und die Verschleppung < 1.5 % nach Broughton. Die Stabilität (Drift) wird mit < 3 % bezogen auf 12 mmol/l und 60 Proben angegeben (Ebio® plus Bedienungsanleitung).

### 2.3.4 Laktatleistungskurve

#### Software

Die Messparameter ‚Herzfrequenz‘ und ‚Laktatwert‘ in Abhängigkeit zur ‚Belastung‘ wurden am Probanden zeitgleich erhoben, jedoch getrennt ausgewertet. Ein Zusammenführen dieser Parameter geschah in Form einer Laktatleistungskurve. Sie wurde mit der Computersoftware ‚Ergonizer®‘, Version 2.2.3 von *PD Dr. med. K. Röcker* der Medizinischen Klinik, Uni Freiburg erstellt. Dazu wurde jedem gemessenen Laktatwert die entsprechende Herzfrequenz zugeordnet. Der Vergleich der Laktatwerte in Abhängigkeit zur Herzfrequenz bei Belastung ist eine reliable Methode zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit (Pfitzinger et al., 1998). In Abhängigkeit der jeweiligen Belastungsstufe wird eine automatische untersucherunabhängige Berechnung und Auswertung von ‚aerober Schwelle‘ (AS) und ‚individueller anaerober

Schwelle' (IAS) durchgeführt. Beide Parameter unterliegen aber natürlichen und messtechnischen Schwankungen. ‚Ergonizer®‘ nutzt eine Methode, die gegenüber einzelnen Abweichungen minimal störanfällig ist. Über ein sogenanntes ‚Spline-Verfahren‘ wird der zu erwartenden Kurvenverlauf mit Hunderten realen Laktatleistungskurven verglichen und gegebenenfalls angepasst. Dennoch können dadurch keine eindeutigen oder systematischen Messfehler beseitigt werden. ‚Ergonizer®‘ wurde in zahlreichen internationalen Publikationen und Studien beschrieben und eingesetzt (Röcker, 2004).



**Abbildung 10: Laktatleistungskurve eines Radfahrers, erstellt mit dem Programm ‚Ergonizer®‘, Version 2.2.3.**  
[LT/RT] = regenerative und lange Ausdauer, [IAT] = intensives Ausdauertraining, [ST] = Schwellentraining, [ET] = extensives Tempotraining.

### 2.3.5 Trainingssteuerung

Anhand der erstellten Laktatleistungskurve wurde dem Probanden eine individuelle Trainingsempfehlung gegeben. Das verwendete Belastungsschema eines rektangulär-triangularen Stufentests lässt Aussagen sowohl über die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit als auch über die Trainingsgestaltung zu (de Marées, 2002).

Im Wesentlichen basierte die Trainingsempfehlung auf den gemessenen Parametern ‚Herzfrequenz‘ und ‚Laktatwert‘ und deren Verhältnis zueinander. Die Herzfrequenz eignet sich dabei eher zur Differenzierung der Belastungsintensität im Bereich unterhalb und an der ‚anaeroben Schwelle‘, wohingegen der Laktatwert im Bereich an der ‚anaeroben Schwelle‘ und darüber eine bessere Diskriminierung zulässt. Von Belastungsbeginn an zeigt die Herzfrequenz einen annähernd linearen Anstieg. Allerdings lässt die Belastungsherzfrequenz kaum Aussagen über die aerobe Leistungsfähigkeit bzw. die Dauerleistungsgrenze zu, da sie nur sehr vage mit der aeroben Leistungsfähigkeit korreliert (Dickhuth, 2000). Generell gilt, dass der Parameter ‚Herzfrequenz‘ dann sinnvoll zur differenzierten Intensitätssteuerung eingesetzt werden kann, wenn er anhand der Laktatleistungskurve „kalibriert“ wird (de Marées, 2002). Gerade beim Fahrradfahren, sowie in anderen Ausdauersportarten sind trainingssteuernde Untersuchungen im Sinn der beschriebenen Belastungstests weit verbreitet (Dickhuth, 2000).

„Das Ziel leistungsdiagnostischer Untersuchungen ist nicht die Gesundheitsüberprüfung, die zum Teil miterfasst werden kann, sondern die Erfassung der Gesamtleistung oder Teilkomponenten der Gesamtleistung zur Optimierung des Trainingsprozesses.“ (Dickhuth, 2000)

*Dickhuth* und *Röcker* (Dickhuth, 2000) definieren Trainingsintensitätsbereiche, indem sie die IAS = 100% setzen. Daraus ergeben sich orientierend folgende Bereiche:

Extensives Tempotraining (ET)	$\geq$ IAS (anaerob)
Schwellentraining (ST)	enger Bereich $\leq$ IAS (aerob/anaerob)
Intensives Ausdauertraining (IAT)	zwischen LT und ST (aerob)
Regenerative und lange Ausdauer (RT)	$\leq$ LT (aerobe Schwelle)

**Tabelle 6: Trainingsintensitätsbereiche nach *Dickhuth* und *Röcker* anhand von [IAS] = individuelle anaerobe Schwelle und [LT] = aerobe Schwelle.**

Dem Probanden wurde geraten, den Hauptanteil des Trainings als ‚intensives Ausdauertraining‘ (IAT) zu absolvieren, entsprechend der Angaben für die prozentuale Verteilung des gesamten Jahrestrainingsumfangs im Bereich ‚Leistungssport‘ (Zintl et al., 2001):

Grundlagenausdauer-1-Bereich (aerob)	60%
Grundlagenausdauer-2-Bereich (aerob/anaerob)	25%
Wettkampfspezifische Ausdauer (anaerob)	15%

**Tabelle 7: Empfehlung zur prozentualen Verteilung des Jahrestrainingsumfangs im Bereich ‚Leistungssport‘.**

## 2.4 Fragebogen

Nach Abschluss der letzten sportmedizinischen Untersuchung füllten die Probanden einen Fragebogen aus. Darin enthalten waren Fragen nach subjektiven Beschwerden, die im Zusammenhang mit einer CVI auftreten können, ihrer Meinung zu Tragekomfort und Material der Kompressionsstrümpfe, der Compliance bezüglich der Tragedauer, ihrer Lebensqualität während der Studie und der Studie selbst (siehe ‚Anhang‘). Der Fragebogen wurde in Anlehnung an den ‚Tübinger Lebensqualitätsfragebogen‘ entworfen. *Augustin et al.* fordern für dermatologische Therapiestudien die Berücksichtigung der Lebensqualität. Mittels validierter Fragebögen kann durch Selbstauskunft methodensicher und einfach die Lebensqualität ermittelt werden. Dafür stehen mehrere Fragebögen zur Verfügung (*Augustin et al.*, 2000). *Klyscz et al.* haben im ‚Tübinger Fragebogen zur Messung der Lebensqualität bei CVI-Patienten (TLQ-CVI)‘ ein krankheitsspezifisches Testinstrument geschaffen, welches die Anforderungen der psychometrischen Testgütekriterien erfüllt. Daneben scheint der Fragebogen für den klinischen Einsatz sehr praktikabel zu sein, da er klinisch relevante Einsichten in die subjektive Krankheitssicht und -verarbeitung der Patienten vermittelt. Der TLQ-CVI wird in der klinischen Forschung angewandt, ist reliabel und validiert. Er wird als erprobter und standardisierter Fragebogen für wissenschaftliche Studien empfohlen (*Gallenkemper et al.*, 1996; *Klyscz et al.*, 1998; *Schall*, 2000).

### **Subjektive Beschwerden durch die Kompressionstherapie**

Die Probanden sollten zunächst eine subjektive Einschätzung bezüglich ihrer Beschwerden im Alltag und während des Trainings machen. Um feststellen zu können welchen Effekt die Therapie mit MKS auf die subjektive Beschwerdesymptomatik im Alltag und nach dem Training hat, wurden dieselben Fragen im Rahmen des Fragebogens zweimal gestellt. Zunächst

bezogen sie sich auf einen Zeitraum von 7 Tagen vor Beginn der Kompressionstherapie, dann auf die vergangenen 7 Tage, also auf einen Zeitraum in welchem die Kompressionsstrümpfe möglichst oft, jedoch immer während des Trainings getragen werden sollten. Auf einer ordinalen Skala mussten die Probanden zu jedem einzelnen Symptom angeben, ob sie dieses überhaupt hatten („hatte ich nicht“) bzw. wie sehr sie darunter litten („gar nicht“, „etwas“, „ziemlich“, „stark“, „sehr stark“). Für den Zweck der Auswertung wurde eine Kodierung in Zahlenwerte vorgenommen, wobei „hatte ich nicht“ den Wert 0 und „sehr stark“ den Wert 5 erhielt.

	hatte ich nicht	hatte ich in den letzten 7 Tagen, und ich litt darunter				
		gar nicht	etwas	ziemlich	stark	sehr stark
müde Beine	○	○	○	○	○	○
<i>Kodierung</i>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

**Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Fragebogen. Kursiv erklärend die Zahlenkodierung (nicht im Originalfragebogen enthalten).**

Im einzelnen wurde nach folgenden CVI-typischen Symptomen im Alltag und nach Training gefragt:

„müde Beine“, „Spannungsgefühl in den Beinen“, „Schweregefühl in den Beinen“, „Brennen in den Beinen“, „Stechen in den Beinen“, „Taubheitsgefühl in den Beinen“, „Überempfindlichkeit an den Beinen bei Berührung“, „Wärmegefühl in den Beinen“, „Schmerzen beim Sitzen“, „Schmerzen beim Auftreten“, „Schmerzen beim Liegen“, „schlechter Schlaf wegen meiner Beinbeschwerden“, „Schwellungen der Beine“ und „Steifigkeit in den Beingelenken“.

## Lebensqualität

Im weiteren Verlauf des Fragebogens sollten die Probanden angeben, welchen Stellenwert in den letzten 7 Tagen ihre CVI-abhängigen Beschwerden in ihrem Leben hatten und wie sie damit umgehen konnten. Auch sollten sie beurteilen wie ihr allgemeiner Gesundheitszustand und ihre allgemeine Lebensqualität in den letzten 7 Tagen war. Zu diesem Zweck konnte zu jedem einzelnen Kriterium auf einer visuellen Analogskala eines von 15 Feldern markiert werden. Die linken Felder entsprachen eher einer positiven bzw. sehr guten, die rechten Felder einer eher negativen bzw. sehr schlechten Einschätzung. Für das Kriterium ‚Gedanken/Sorgen‘ entsprachen linke Felder starken, rechte Felder geringen bis keinen ‚Gedanken/Sorgen‘. Zum Zweck der Auswertung wurden den Feldern von links nach rechts die Zahlenwerte 1 bis 15 zugeordnet.

Die einzelnen Kriterien waren:

- ‚Ich konnte meine Beschwerden gut beeinflussen‘ bis ‚Ich konnte nichts gegen meine Beschwerden tun‘ (‚Einfluss‘)
- ‚Ich war durch meine Beschwerden in meinem Alltag überhaupt nicht behindert‘ bis ‚Ich war durch meine Beschwerden in meinem Alltag sehr behindert‘ (‚Behinderung‘)
- ‚Ich habe mich überhaupt nicht um meine Beschwerden gekümmert‘ bis ‚Ich habe mich dauernd mit meinen Beschwerden beschäftigt‘ (‚Aufmerksamkeit‘)
- ‚Ich habe mir Gedanken/Sorgen gemacht, dass sich meine Beschwerden verschlimmern können‘ bis ‚Ich habe mir keine Gedanken darüber gemacht‘ (‚Sorgen‘)
- ‚Gesundheitszustand alles in allem‘ von ‚sehr gut‘ bis ‚sehr schlecht‘ (‚Gesundheit‘)
- ‚Lebensqualität alles in allem‘ von ‚sehr gut‘ bis ‚sehr schlecht‘ (‚Lebensqualität‘)

## **Training**

Die Probanden sollten danach eine Aussage über die Intensität und den zeitlichen Umfang ihrer Trainingseinheiten der letzten vier Wochen, also mit MKS, im Vergleich zu den Trainingseinheiten während der vier Wochen vor dem ersten Belastungstest (ohne MKS) machen. Dazu konnte auf einer ordinalen Skala angegeben werden, ob die Intensität bzw. der Umfang des Trainings der letzten vier Wochen „viel größer“, „wenig größer“, „gleich“, „wenig geringer“ oder „viel geringer“ war. Für die Auswertung wurde eine Kodierung in Zahlenwerte durchgeführt, wobei „viel größer“ den Wert 1 und „viel geringer“ den Wert 5 erhielt. Daraus wurden Mediane und Quartilsabstände berechnet.

## **Beurteilung des Kompressionsstrumpfes**

Um den Kompressionsstrumpf ‚Venotrain® champion‘ beurteilen zu können, sollten die Probanden auf einer ordinalen Skala zu 13 Kriterien angeben, ob das jeweilige Kriterium „gar nicht“, „etwas“, „ziemlich“, „stark“ oder „sehr stark“ zutraf. Die Kriterien standen alle in Zusammenhang mit dem subjektiven Tragekomfort des Kompressionsstrumpfes. Unterschieden wurde zwischen dem Tragekomfort im Alltag und beim Training.

Insgesamt neun Kriterien konnten dabei als negativ angesehen werden:

„Er störte mich“, „Er erzeugte ein Kältegefühl“, „Die Haut schwitzte unter ihm“, „Die Haut trocknete unter ihm aus“, „Er schränkte die Bewegungsfreiheit ein (Faltenbildung an den Gelenken)“, „Es gab Reaktionen auf das Strumpfband“, „Er rutschte“, „Er schnürte die Haut ein“ und „Er war zu eng“.

Vier Kriterien gaben positive Eigenschaften wieder:

„Er ist strapazierfähig“, „Er erzeugte ein Sicherheitsgefühl“, „Er saß bequem“ und „Er gab ihnen Halt“.

Für die Auswertung wurden die Antworten in die Zahlenwerte 1 bis 5 kodiert und die Mediane sowie die 75%- und 25%-Quartile errechnet. Dabei entsprach die Antwort „gar nicht“ dem Wert 1 und „sehr stark“ dem Wert 5.

## **Compliance**

Neben den Fragen zum Tragekomfort wurde auch die Compliance abgefragt. Auf einer ordinalen Skala konnte angegeben werden, ob während der letzten vier Wochen „immer“, „häufig“, „regelmäßig“, „selten“ oder „nie“ getragen wurden.

## **Zufriedenheit**

Abschließend wurde die Probanden nach ihrer Zufriedenheit gefragt. Dazu sollten sie auf einer ordinalen Skala angeben, ob das jeweilige Kriterium „gar nicht“, „etwas“, „mäßig“, „ziemlich“ oder „sehr“ zutraf. Die Fragen standen im Zusammenhang mit der Venenerkrankung, der sportlichen Leistungsfähigkeit unter Kompressionstherapie und der ärztlichen Betreuung.

Im einzelnen wurde nach der „Belastung durch den Zeitaufwand für die Behandlung der Beinbeschwerden“ und der „Belastung durch die Beschwerden im Alltagsleben“ gefragt. Die Probanden sollten angeben, ob sie glaubten, dass „die Strümpfe die Leistungsfähigkeit verbessern“ und einschätzen, wie sie mit „der Beeinträchtigung ihres Erscheinungsbildes durch die Beinenerkrankung“ umgehen können. Auch wurden sie nach ihrer Zufriedenheit bezüglich „ihrer Beine“, des „Zustands ihrer Venenerkrankung“, der „Wirksamkeit des Kompressionsstrumpfs“ und der „Zufriedenheit mit der ärztlichen Betreuung“

gefragt. Zum Zweck der Auswertung wurde eine Kodierung in die Zahlenwerte 1 bis 5 vorgenommen und die Mediane der einzelnen Kriterien sowie die 75%- und 25%-Quartile errechnet. Die Antwort „gar nicht“ entsprach dem Zahlenwert 1, die Antwort „sehr“ dem Wert 5.

## 2.5 Statistik

Die statistische Auswertung der Rohdaten wurde mit dem Programm JMP™ Version 4.0 der Firma SAS Institute, Cary, USA durchgeführt. Zur Erstellung der Diagramme und Tabellen dienten die Programme Microsoft® Excel 2000 und TurboCAD Deluxe® Version 10.1 der Firma IMSI, Novato, USA.

Aus den anthropomorphischen Daten der Studienteilnehmer und ihrer wöchentlichen Trainingsstrecke wurden die arithmetischen Mittelwerte und die jeweilige Standardabweichung (SD) berechnet. Die phlebologischen Daten wurden rein deskriptiv behandelt. Nur für die venöse Wiederauffüllzeit  $t_0$  wurde der arithmetische Mittelwert und die SD berechnet. Die SD ist ein Streuungsmaß. Bei einer Gauß- oder Normalverteilung liegen etwa zwei Drittel aller Werte im Bereich von einer SD oberhalb und unterhalb des arithmetischen Mittelwertes (Harms, 1998).

Zur Auswertung der leistungsdiagnostischen Parameter wurden arithmetische Mittelwerte in Form mittlerer Differenzen der Messwerte ‚mit MKS‘ minus ‚ohne MKS‘ und die dazu gehörenden 95%-Konfidenzintervalle ermittelt. Zusätzlich wurde im Ein-Stichproben-t-Test das Signifikanzniveau der Mittelwerte überprüft und eine Kovarianzanalyse durchgeführt. Das Konfidenzintervall (KI) umgibt den Erwartungswert oder (tatsächlichen) Mittelwert mit einem sogenannten Vertrauensbereich. Dazu wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit gewählt. Beim 95%-KI beträgt sie 5%. Praktisch heißt dies, dass der Erwartungswert mit 95%iger Wahrscheinlichkeit in dem angegebenen Bereich liegt (Harms, 1998). Schließt der Bereich den Wert 0 mit ein, verliert der (geschätzte) arithmetische Mittelwert an Aussagekraft, da der tatsächliche Mittelwert mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% auch 0 betragen kann. In vorliegender Arbeit würde das beispielsweise bedeuten, dass das Tragen von MKS zu keiner Veränderung der Messparameter führte. Umgekehrt würde ein 95%-KI ohne den Wert 0 anzeigen, dass MKS die Messparameter (mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%) entsprechend zu positiven oder negativen

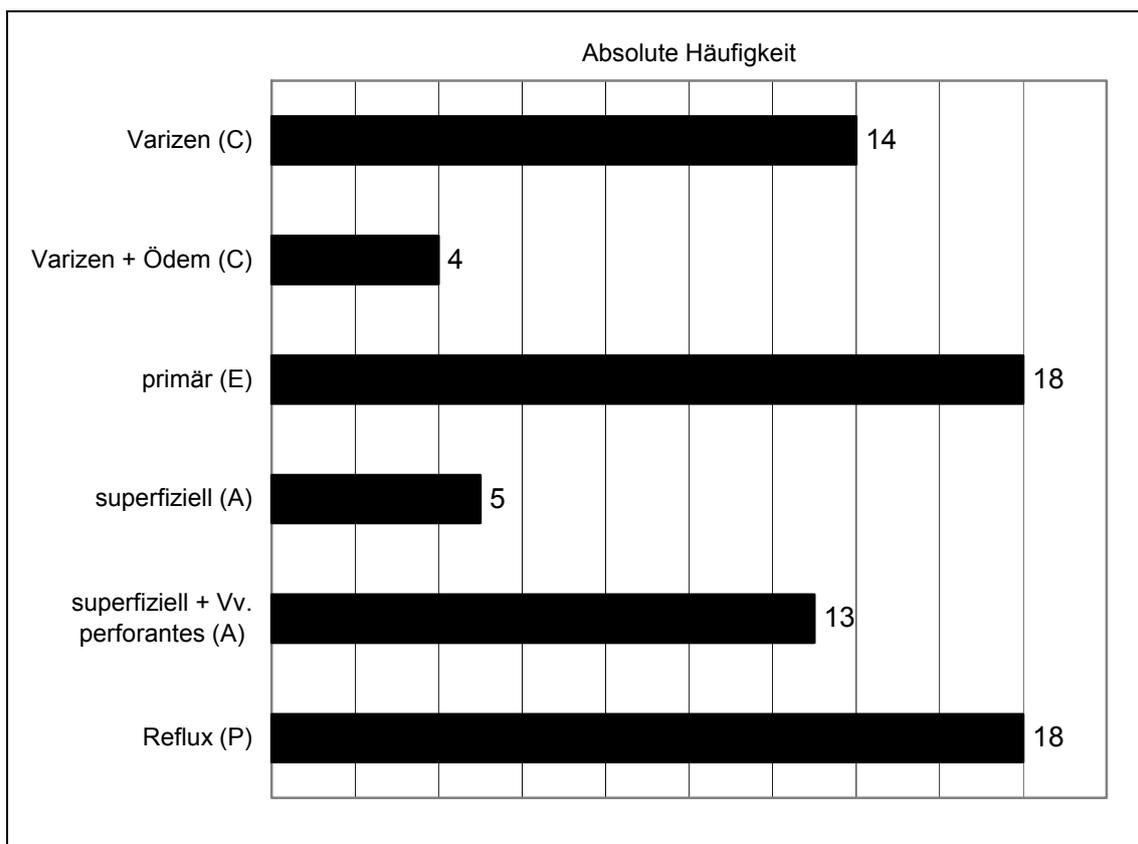
Werten veränderten. Im Ein-Stichproben-t-Test wird untersucht, ob eine anfangs aufgestellte Hypothese, die sogenannte Nullhypothese, verworfen werden muss oder nicht. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wird dabei als p-Wert angegeben. Dazu wird ein Signifikanzniveau festgelegt. Als signifikant wird ein Ergebnis bezeichnet, das mit einem  $p < 0.05$  die Nullhypothese verwirft, das heißt im Beispiel, dass mit einem Fehler von weniger als 5% ein signifikanter Effekt durch die MKS erzielt würde. Dieser Test gilt für normalverteilte Werte (Harms, 1998). In vorliegender Arbeit war die Nullhypothese die Annahme, dass sich insgesamt kein signifikanter Effekt durch die Behandlung mit MKS einstellt. Mit einer ANCOVA (Analysis of covariance = Kovarianzanalyse) wurde untersucht, ob die mittleren Differenzen der Messparameter von der venösen Auffüllzeit  $t_0$  abhängen.

Aus den Angaben im Fragebogen zu den subjektiven ‚Beschwerden‘ der Probanden wurden Differenzen gebildet und daraus wie auch aus den Angaben zur ‚Lebensqualität‘ Mittelwerte und 95%-KI errechnet. Aus den ordinalskalierten Daten zum ‚Training‘, der ‚Beurteilung der MKS‘ und der ‚Zufriedenheit‘ wurde jeweils der Median gebildet und der Quartilsabstand angegeben. Der Median oder Zentralwert liegt in der Mitte aller beobachteter Werte und wird von höchstens der Hälfte aller Werte über- und unterschritten. Er ist gegen Ausreißer meist unempfindlich. Der Quartilsabstand liegt zwischen dem 25. und 75. Perzentil und beinhaltet den Bereich mit den mittleren 50% der Werte (Harms, 1998). Die Angaben zur ‚Compliance‘ wurden deskriptiv dargestellt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Probanden

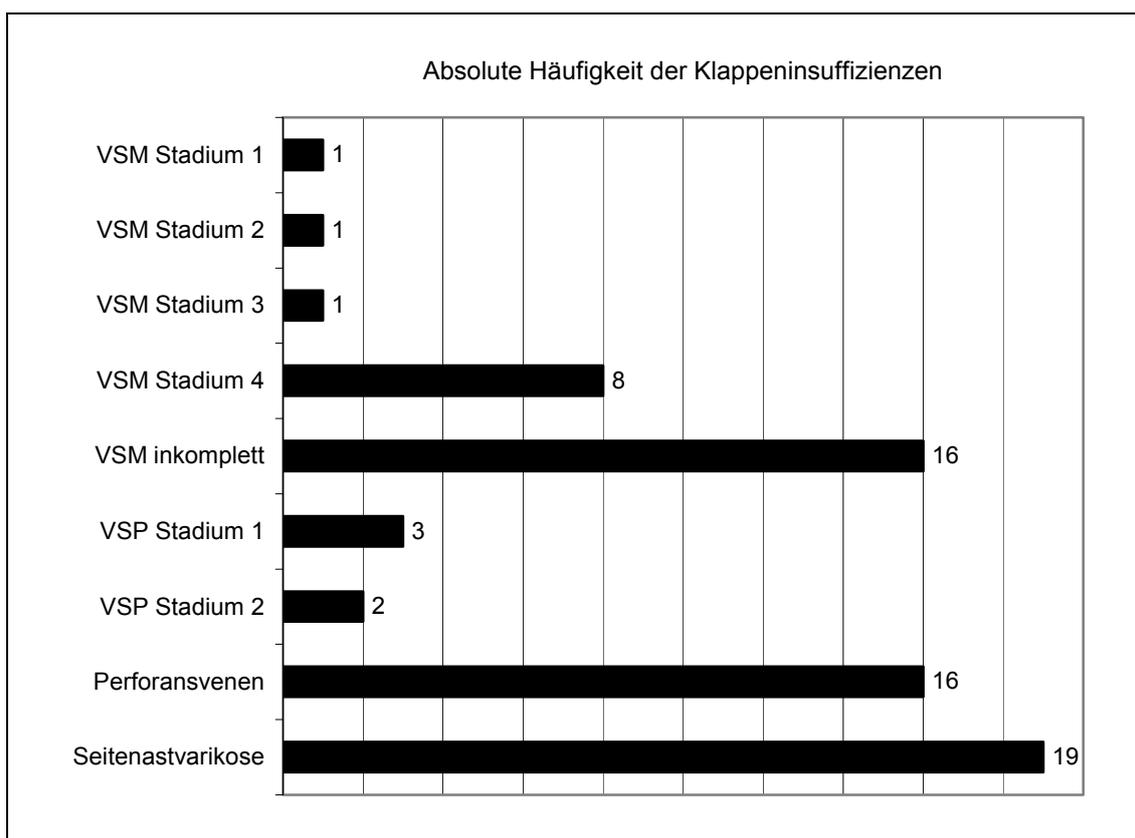
In der Auswertung konnte das Datenmaterial von 18 Probanden (16 Männer, 2 Frauen) berücksichtigt werden. Von den 18 Probanden beendeten 17 (15 Männer, 2 Frauen) die Studie regulär. 1 Proband schied aus privaten Gründen vorzeitig aus. Das gewonnene Datenmaterial dieses Probanden floss in die Ergebnisse mit ein. Das Durchschnittsalter der Studienteilnehmer betrug 38.1 SD 9.0 Jahre. Die wöchentliche Trainingsstrecke mit dem Fahrrad lag bei 237.2 SD 107.86 km. Der venöse Befund ergab klinisch die Stadien C<sub>2-3</sub> E<sub>p</sub> A<sub>s</sub> und p P<sub>R</sub> (CEAP-Klassifikation):



**Abbildung 12: Absolute Häufigkeit der venösen Befunde anhand der CEAP-Klassifikation bei 18 Probanden.**

14 Probanden litten isoliert an Varizen (C2), 4 Probanden an Varizen mit Ödem (C3). Bei allen 18 Probanden war die Genese der CVI primär ( $E_p$ ). In 5 Fällen waren nur die oberflächlichen Venen von der CVI betroffen ( $A_s$ ), bei 13 Probanden waren zusätzlich oder isoliert Vv. perforantes insuffizient ( $A_p$ ). Bei allen Probanden wurde ein pathologischer Reflux ( $P_R$ ) festgestellt. Venöse Obstruktionen waren nicht vorhanden.

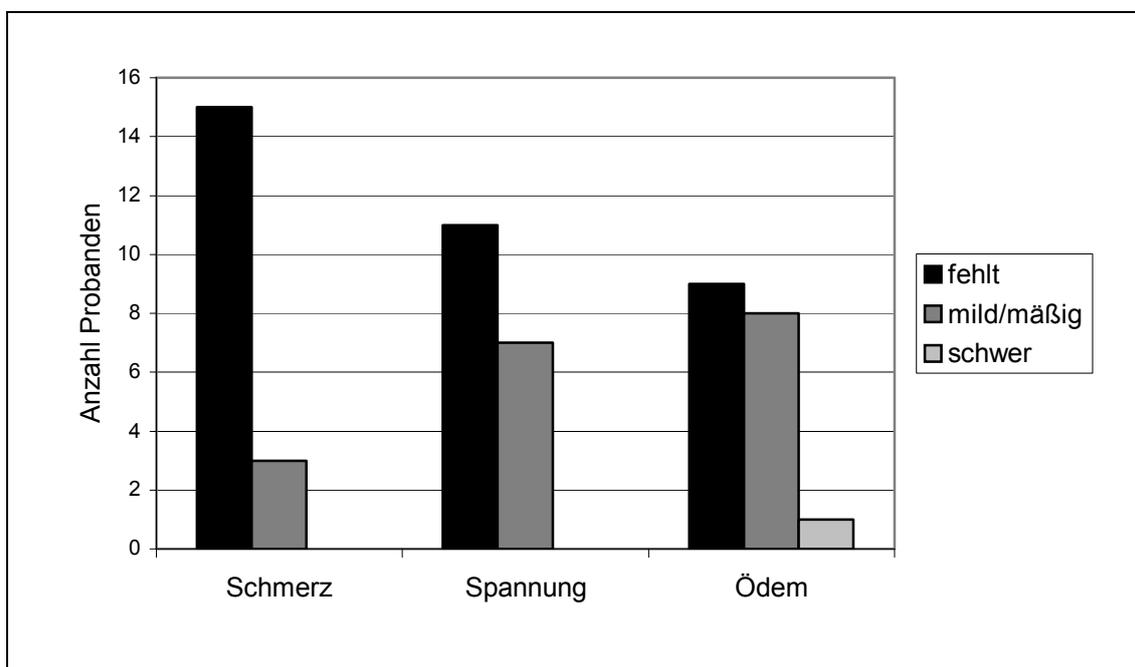
Dopplersonographisch zeigten sich, bezogen auf beide Beine, an der V. saphena magna (VSM) die Insuffizienzstadien 1-4 und an der V. saphena parva (VSP) die Insuffizienzstadien 1-2 (Stadieneinteilung nach Hach). Darüber hinaus kamen inkomplette Insuffizienzen der V. saphena magna (VSM inkomplett), Insuffizienzen der Vv. perforantes sowie Seitenastvarikose vor.



**Abbildung 13: Verteilung der dopplersonographisch nachgewiesenen Klappeninsuffizienzen nach der Klassifikation von Hach bei 18 Probanden. [VSM] = V. saphena magna, [VSP] = V. saphena parva.**

In der Dopplersonographie konnten bei 2 Probanden isoliert am rechten Bein Klappeninsuffizienzen nachgewiesen werden, bei 4 Probanden am linken Bein. Bei 12 Probanden waren an beiden Beinen Insuffizienzen vorhanden.

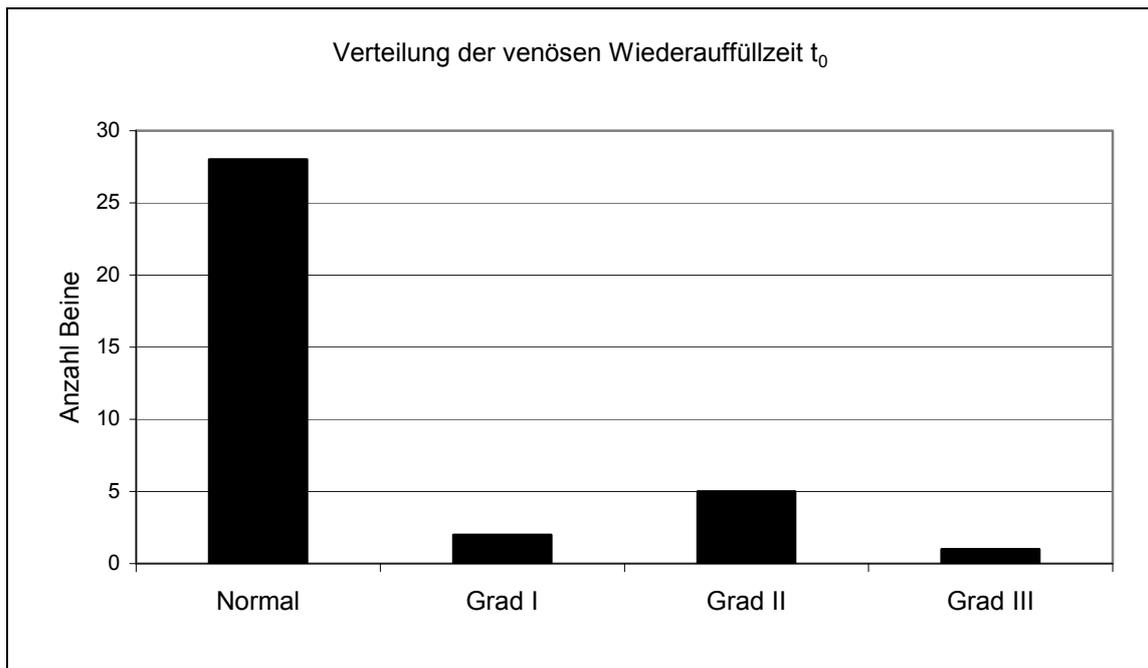
In der speziellen Anamnese bezüglich einer CVI gaben bei ‚Schmerz‘ 15 Probanden ‚fehlt‘ und 3 Probanden ‚mild/mäßig‘ an. 11 Probanden gaben bei ‚Spannung‘ die Antwort „fehlt“ und 7 antworteten mit „mild/mäßig“. Die Frage nach ‚Ödem‘ beantworteten 9 Probanden mit „fehlt“ und 8 mit „mild/mäßig“. 1 Proband antwortete mit „schwer“.



**Abbildung 14: Absolute Häufigkeit der CVI – typischen Beschwerden ‚Schmerz‘, ‚Spannung‘ und ‚Ödem‘ bei 18 Probanden, unterteilt nach den Antworten „fehlt“, „mild/mäßig“ und „schwer“.**

In der Sozial- und Familienanamnese gaben 3 Probanden an, einen stehenden Beruf auszuüben. Bei 13 Probanden ist in der Familie eine Varikose, bei 2 Probanden ein Ulkus cruris bekannt. Bei 2 Probanden kam familiär eine tiefe Beinvenenthrombose vor und bei 5 Probanden wurde in der Familie schon ein Venenleiden operativ therapiert. 8 Probanden waren selbst schon an den Venen vorbehandelt.

Mittels DPPG wurde der venöse Funktionsparameter  $t_0$  (Wiederauffüllzeit) jeweils für beide Beine ermittelt. Im Mittel betrug die venöse Wiederauffüllzeit  $t_0$  36.39 SD 12.10 Sekunden. In Bezug auf beide Beine ergab die Messung der venösen Wiederauffüllzeit  $t_0$  in 28 Fällen einen Normalbefund, in 2 Fällen eine venöse Funktionsstörung 1. Grades, in 5 Fällen eine Störung 2. Grades und in 1 Fall eine Störung 3. Grades.

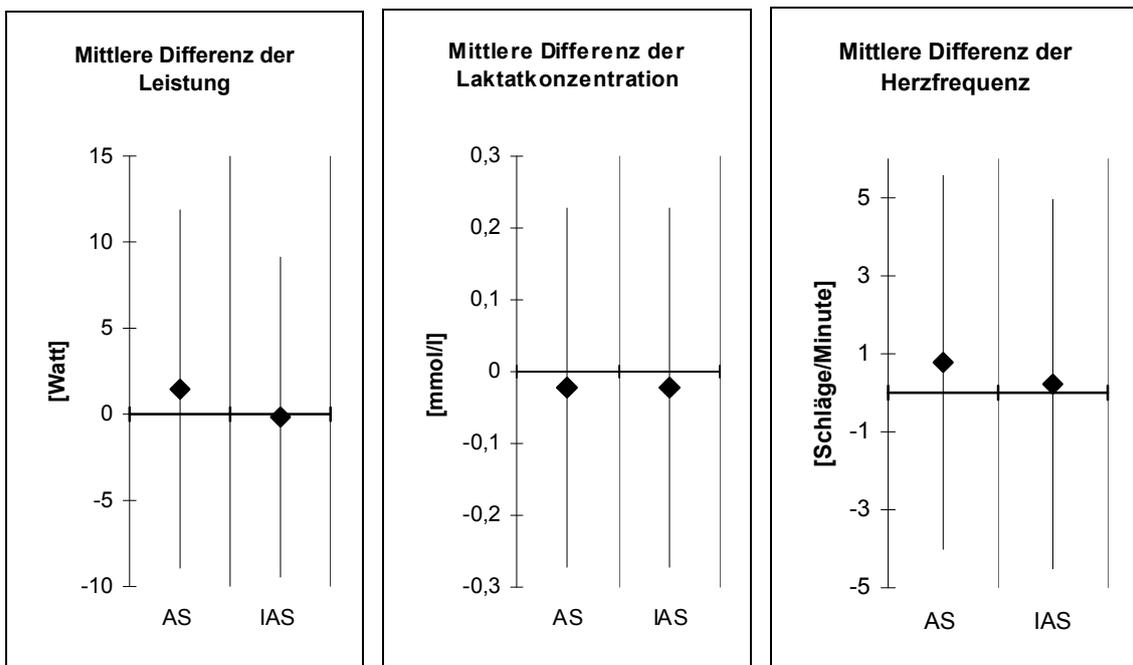


**Abbildung 15: Verteilung der venösen Wiederauffüllzeit  $t_0$  bei 18 Probanden (36 Beinen).**

## 3.2 Leistungsdiagnostik

### 3.2.1 Akuteffekt der Kompressionstherapie auf Ausdauerleistung, Laktatwert und Herzfrequenz

Es wurde untersucht, ob das Tragen von Kompressionsstrümpfen während der sportlichen Belastung einen unmittelbaren Effekt auf die Ausdauerleistung, den Laktatwert und die Herzfrequenz hat (Akuteffekt). Dazu wurden im Abstand von genau einer Woche zwei sportmedizinische Belastungen auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Während einer der beiden Untersuchungen wurden Kompressionsstrümpfe getragen.



**Abbildung 16: Akuteffekt der Kompressionstherapie auf Leistung, Laktatkonzentration und Herzfrequenz.** Die Ergebnisse stellen die Differenz der gemittelten Messwerte mit MKS minus der gemittelten Messwerte ohne MKS an der [AS] = aeroben Schwelle und der [IAS] = individuellen anaeroben Schwelle dar.

—◆— = Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall

An der aeroben Schwelle (AS) zeigte sich in der Messung mit Kompressionsstrümpfen im Mittel eine Zunahme der Leistung um 1.46 Watt, eine Abnahme der Laktatkonzentration um 0.02 mmol/l und eine Steigerung

der Herzfrequenz um 0.78 Schläge/Minute gegenüber der Messung ohne Kompressionsstrümpfe. Keine dieser Differenzen zeigte eine Signifikanz im Ein-Stichproben-t-test.

An der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) zeigte sich in der Messung mit Kompressionsstrümpfen im Mittel eine Abnahme der Leistung um 0.17 Watt, eine Abnahme der Laktatkonzentration um 0.02 mmol/l und eine Steigerung der Herzfrequenz um 0.22 Schläge/Minute gegenüber der Messung ohne Kompressionsstrümpfe. Keine dieser Differenzen zeigte eine Signifikanz im Ein-Stichproben-t-test.

	MITTLERE DIFFERENZ	95%- KONFIDENZ-INTERVALL		P-WERT (1-STICHPROBEN T-TEST)
		oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	
Leistung (AS) [Watt]	1.46	11.86	-8.95	0.77
Laktatkonzentration (AS) [mmol/l]	-0.02	0.23	-0.27	0.85
Herzfrequenz (AS) [1/min]	0.78	5.57	-4.02	0.74
Leistung (IAS) [Watt]	-0.17	9.13	-9.47	0.97
Laktatkonzentration (IAS) [mmol/l]	-0.02	0.23	-0.27	0.85
Herzfrequenz (IAS) [1/min]	0.22	4.97	-4.51	0.92

**Tabelle 8: Ergebnisse des Akuteffekts der Kompressionstherapie auf Leistung, Laktatkonzentration und Herzfrequenz. Angegeben sind die mittleren Differenzen, 95%-Konfidenzintervalle und p-Werte.**

Mit einer ANCOVA (Analysis of covariance) wurde untersucht, ob die Differenz von Leistung, Laktatkonzentration und Herzfrequenz mit und ohne Kompressionsstrumpf von der venösen Auffüllzeit  $t_0$  (als kontinuierlicher Faktor berücksichtigt) abhängt. Es ergaben sich dabei keine signifikanten Unterschiede im Sinne eines  $p < 0.05$ .

### 3.2.2 Mittelfristiger Effekt der Kompressionstherapie auf Ausdauerleistung, Laktatwert und Herzfrequenz

Nach Abschluss der Untersuchungen für den Akuteffekt wurden die Probanden gebeten, die Kompressionsstrümpfe während eines etwa vierwöchigen Zeitraums möglichst oft, jedoch immer während des Trainings zu tragen. Im Anschluss daran wurde eine sportmedizinische Belastungsuntersuchung auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Von Interesse waren die Ausdauerleistung, der Laktatwert und die Herzfrequenz (mittelfristiger Effekt).

Die Ergebnisse stellen die Differenz der gemittelten Messwerte mit Kompressionsstrümpfen (Messung 3) minus der gemittelten Messwerte ohne Kompressionsstrümpfe (Messung 1 oder 2) dar.

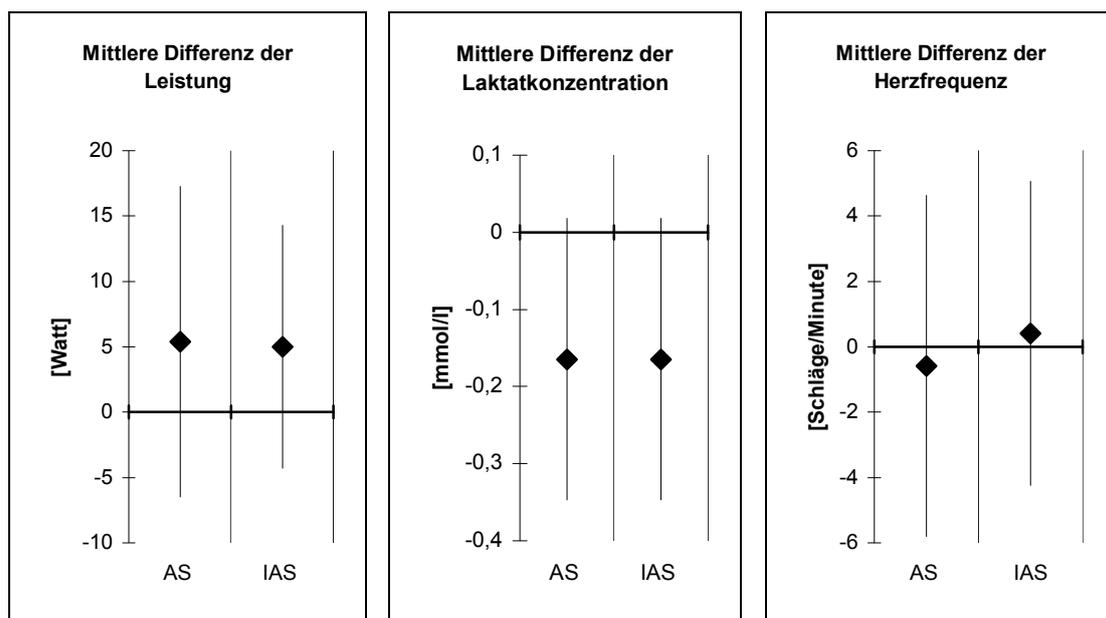


Abbildung 17: Mittelfristiger Effekt der Kompressionstherapie auf Leistung, Laktatkonzentration und Herzfrequenz. Die Ergebnisse stellen die Differenz der gemittelten Messwerte mit MKS minus der gemittelten Messwerte ohne MKS an der [AS] = aeroben Schwelle und der [IAS] = individuellen anaeroben Schwelle dar.

—◆— = Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall

An der aeroben Schwelle (AS) zeigte sich in der Messung mit Kompressionsstrümpfen im Mittel eine Zunahme der Leistung um 5.39 Watt, eine Abnahme der Laktatkonzentration um 0.16 mmol/l und eine Abnahme der

Herzfrequenz um 0.59 Schläge/Minute gegenüber der Messung ohne Kompressionsstrümpfe. Keine dieser Differenzen zeigte eine Signifikanz im Ein-Stichproben-t-test.

An der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) zeigte sich in der Messung mit Kompressionsstrümpfen im Mittel eine Zunahme der Leistung um 4.99 Watt, eine Abnahme der Laktatkonzentration um 0.16 mmol/l und eine Zunahme der Herzfrequenz um 0.41 Schläge/Minute gegenüber der Messung ohne Kompressionsstrümpfe. Keine dieser Differenzen zeigte eine Signifikanz im Ein-Stichproben-t-test.

	MITTLERE DIFFERENZ	95%- KONFIDENZ-INTERVALL		P-WERT (1-STICHPROBEN T-TEST)
		oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	
Leistung (AS) [Watt]	5.39	17.26	-6.47	0.35
Laktatkonzentration (AS) [mmol/l]	-0.16	0.02	-0.35	0.07
Herzfrequenz (AS) [1/min]	-0.59	4.63	-5.81	0.81
Leistung (IAS) [Watt]	4.99	14.28	-4.30	0.27
Laktatkonzentration (IAS) [mmol/l]	-0.16	0.02	-0.35	0.07
Herzfrequenz (IAS) [1/min]	0.41	5.07	-4.24	0.85

**Tabelle 9: Ergebnisse des mittelfristigen Effekts der Kompressionstherapie auf Leistung, Laktatkonzentration und Herzfrequenz. Angegeben sind die mittleren Differenzen, 95%-Konfidenzintervalle und p-Werte.**

Mit einer ANCOVA (Analysis of covariance) wurde untersucht, ob die Differenz von Leistung, Laktatkonzentration und Herzfrequenz mit und ohne Kompressionsstrumpf von der venösen Auffüllzeit  $t_0$  (als kontinuierlicher Faktor berücksichtigt) abhängt. Es ergaben sich dabei keine signifikanten Unterschiede im Sinne eines  $p < 0.05$ .

### 3.3 Fragebogen

#### 3.3.1 Veränderung der subjektiven Beschwerden durch die Kompressionstherapie

Darstellung der Ergebnisse in tabellarischer Form:

SYMPTOM (im Alltag (A) und nach Training (T))		MITTLERE DIFFERENZ (mit – ohne MKS)	95% - KONFIDENZINTERVALL		HÄUFIGKEIT DER NENNUNG [%]	
			oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	vor Therapie	unter Therapie
müde Beine	A	-0.88	-0.28	-1.48	76.5	41.2
	T	-0.80	0.02	-1.62	75.0	43.8
Schweregefühl	A	-1.41	-0.81	-2.02	70.6	11.8
	T	-0.76	-0.07	-1.46	64.7	17.6
Schwellungen	A	-1.44	-0.68	-2.19	58.8	12.5
	T	-0.56	0.14	-1.26	35.3	12.5
Spannungsgefühl	A	-0.82	-0.16	-1.48	52.9	17.6
	T	-0.71	-0.20	-1.21	58.8	17.6
Brennen	A	-0.12	0.19	-0.43	11.8	5.9
	T	-0.06	0.16	-0.28	11.8	5.9
Stechen	A	-0.12	0.19	-0.43	11.8	5.9
	T	-0.12	0.19	-0.43	11.8	5.9
Taubheitsgefühl	A	-0.12	0.19	-0.43	11.8	5.9
	T	0.00	0.18	-0.18	5.9	5.9
Überempfindlichkeit bei Berührung	A	0.00	0.00	0.00	5.9	6.3
	T	0.00	0.00	0.00	5.9	6.3
Schmerzen beim Sitzen	A	-0.06	0.24	-0.37	17.6	18.8
	T	0.00	0.34	-0.34	11.8	12.5
Schmerzen beim Liegen	A	-0.13	0.22	-0.49	11.8	6.7
	T	0.00	0.21	-0.21	5.9	6.7
Schmerzen beim Auftreten	A	0.25	0.66	-0.16	5.9	18.8
	T	0.00	0.21	-0.21	11.8	13.3
Steifigkeit in den Beingelenken	A	-0.07	0.26	-0.40	6.3	6.3
	T	-0.07	0.26	-0.40	6.3	6.3
Wärmegefühl	A	-0.19	0.27	-0.63	23.5	18.8
	T	-0.19	0.27	-0.63	23.5	12.5
schlechter Schlaf	A	-0.07	0.26	-0.40	5.9	6.7
	T	-0.07	0.26	-0.40	5.9	6.7

**Tabelle 10: Veränderungen der subjektiven Beschwerden im Alltag [A] und nach Training [T] durch die Therapie mit MKS. Darstellung der mittleren Differenzen (Werte ‚mit MKS‘ minus Werte ‚ohne MKS‘), 95%-Konfidenzintervallen und der relativen Häufigkeiten der Nennung. Negative mittlere Differenzen bedeuten eine Beschwerdereduktion. Statistisch signifikante Veränderungen sind grau hinterlegt.**

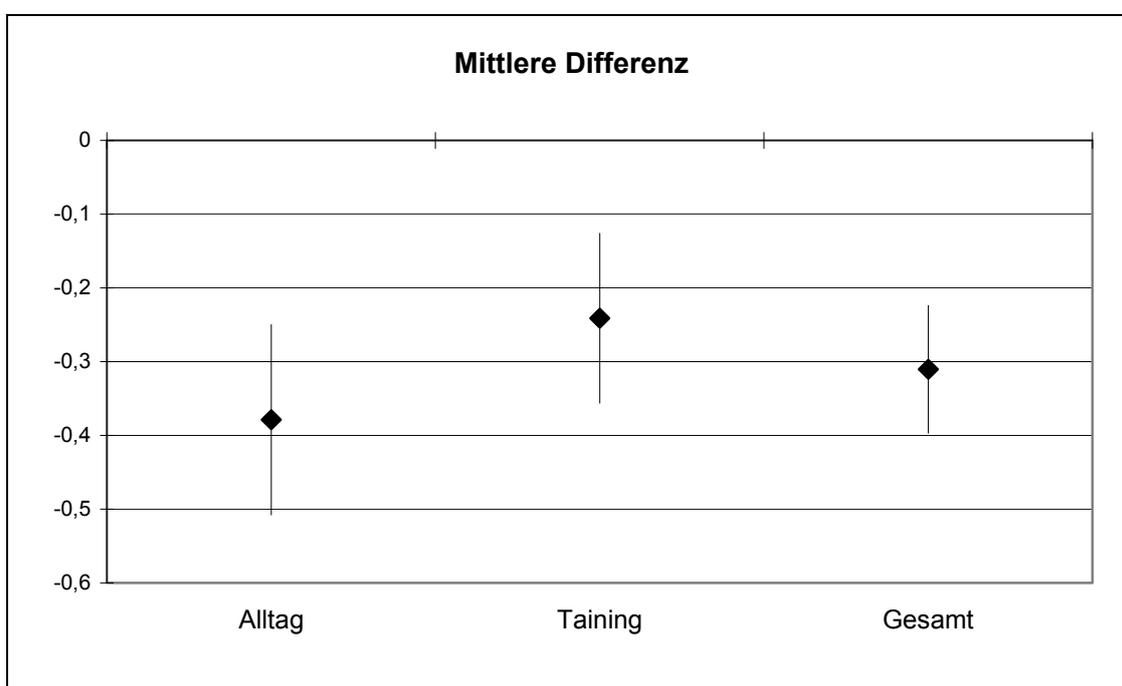
Die Ergebnisse stellen die Differenz der gemittelten Zahlenwerte mit Kompressionsstrümpfen minus der Werte ohne Kompressionsstrümpfe dar. Negative Zahlenwerte entsprechen einer Reduktion, positive Werte einer Zunahme der Beschwerdesymptomatik bzw. des Leidensdruckes. Zur Interpretation diente das 95% - Konfidenzintervall als Maß für die Signifikanz der einzelnen Parameter. Außerdem wurde die relative Häufigkeit der Nennung der Symptome angegeben.

Die Probanden wurden jeweils zu 14 Symptomen im Alltag und 14 Symptomen nach dem Training vor und während der Kompressionstherapie befragt. Von diesen insgesamt 28 CVI-typischen Symptomen zeigten 6 Symptome eine signifikante Differenz vor und während der Kompressionstherapie:

- ‚müde Beine‘ im Alltag mit  $-0.88$  Punkten  
(95% KI  $-0.28$  bis  $-1.48$  Punkte)
- ‚Schweregefühl in den Beinen‘ im Alltag mit  $-1.41$  Punkten  
(95% KI  $-0.81$  bis  $-2.02$  Punkte)
- ‚Schweregefühl in den Beinen‘ nach dem Training mit  $-0.76$  Punkten  
(95% KI  $-0.07$  bis  $-1.46$  Punkte)
- ‚Schwellungen der Beine‘ im Alltag mit  $-1.44$  Punkten  
(95% KI  $-0.68$  bis  $-2.19$  Punkte)
- ‚Spannungsgefühl in den Beinen‘ im Alltag mit  $-0.82$  Punkten  
(KI  $-0.16$  bis  $-1.48$  Punkte)
- ‚Spannungsgefühl in den Beinen‘ nach dem Training mit  $-0.71$  Punkten  
(95% KI  $-0.20$  bis  $-1.21$  Punkte).

Die untersuchten Radsportler mit CVI hatten unter einer Kompressionstherapie signifikant weniger müde Beine und Schwellungen der Beine im Alltag und signifikant weniger Schwere- und Spannungsgefühl der Beine im Alltag und nach dem Training.

Die Gesamtanalyse aller mittlerer Differenzen der Kriterien im ‚Alltag‘ ergab einen Wert von  $-0.38$  Punkten (95% KI  $-0.25$  bis  $-0.51$  Punkte) ( $p < 0.0001$ ). Alle mittleren Differenzen nach ‚Training‘ ergaben  $-0.24$  Punkte (95% KI  $-0.13$  bis  $-0.36$  Punkte) ( $p < 0.0001$ ). Die Untersuchung aller mittleren Differenzen, ungeachtet ihrer Einteilung in ‚Alltag‘ oder ‚Training‘ ergab für das Kriterium ‚Gesamt‘ einen Zahlenwert von  $-0.31$  Punkten (95% KI  $-0.22$  bis  $-0.40$  Punkte). Die Kompressionstherapie reduzierte die klinischen CVI-typischen Beschwerden im Alltag und nach dem Training signifikant.



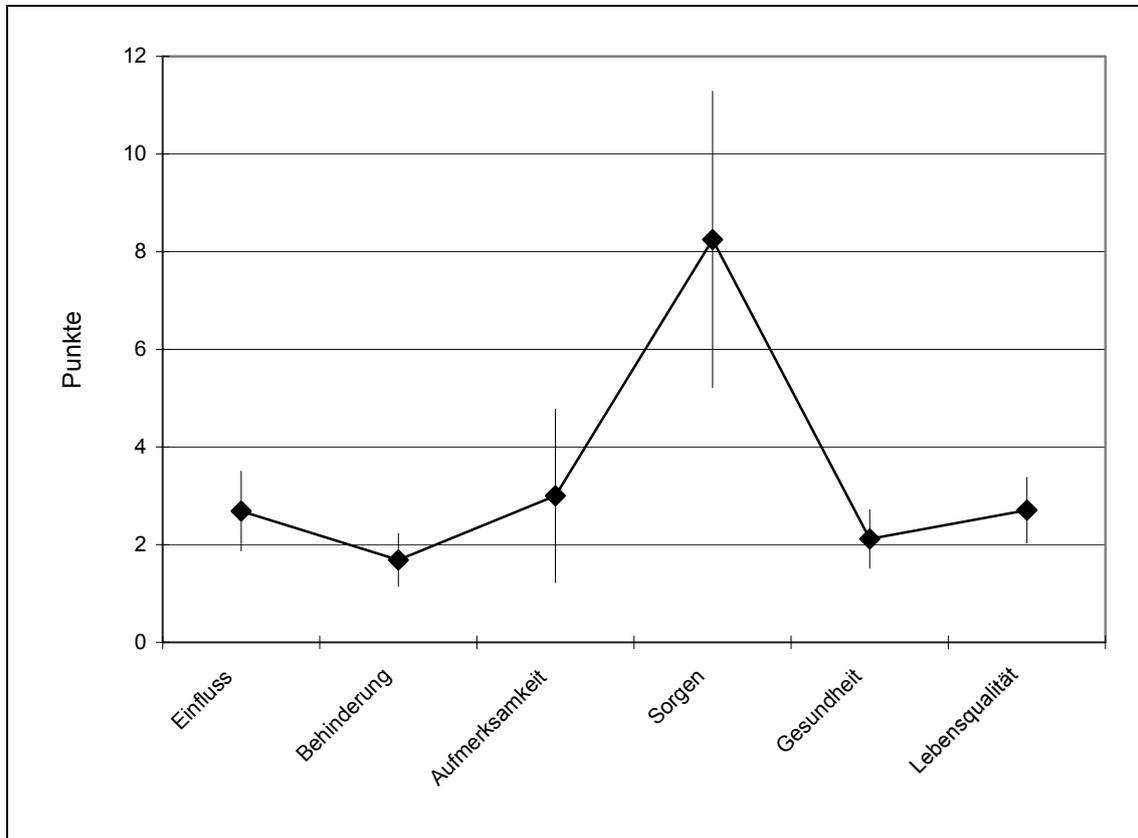
**Abbildung 18: Gesamtanalyse aller mittleren Differenzen. Darstellung der Ergebnisse für die Bereiche ‚Alltag‘, ‚Training‘ und ‚Gesamt‘ (‚Alltag‘ und ‚Training‘). Für alle drei Bereiche zeigt sich eine signifikante Beschwerdereduktion durch die Therapie mit MKS.**

—◆— = Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall

### 3.3.2 Lebensqualität

Die Markierungen auf einer visuellen Analogskala wurden in Zahlenwerte umgewandelt. Aufgrund der Kodierung entsprechen niedrige Werte den Feldern auf der linken Seite, hohe Zahlenwerte den Feldern auf der rechten Seite. Je niedriger der Wert umso positiver war die Einschätzung der Probanden

bezüglich Fragen der Lebensqualität. Lediglich beim Kriterium ‚Gedanken/Sorgen‘ war dies umgekehrt. Für die einzelnen Kriterien wurde jeweils der Mittelwert und das 95% Konfidenzintervall berechnet.



**Abbildung 19: Darstellung der Angaben zur Lebensqualität. Je niedriger der Punktwert, desto positiver die Einschätzung der Probanden. Bei ‚Sorgen‘ umgekehrte Kodierung. —◆— = Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall**

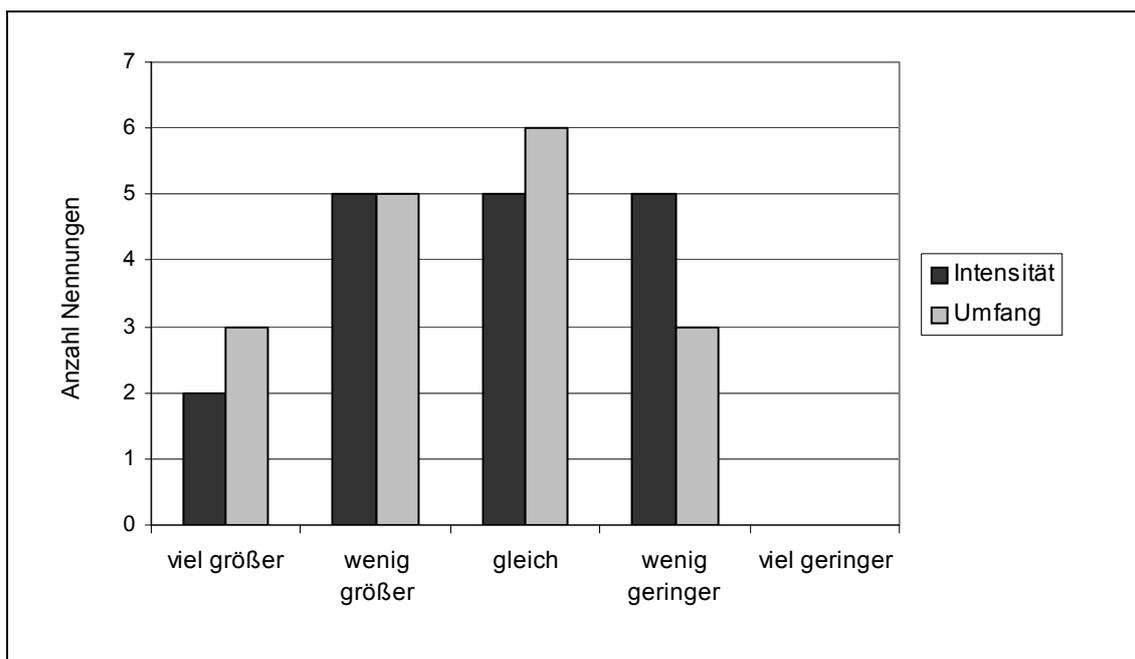
Das Kriterium ‚Einfluss‘ lag im Mittel bei 2.69 Punkten (95% KI 3.51 bis 1.87 Punkte), ‚Behinderung‘ bei 1.69 Punkten (95% KI 2.23 bis 1.15 Punkte), ‚Aufmerksamkeit‘ bei 3.00 Punkten (95% KI 4.78 bis 1.22 Punkten), ‚Sorgen‘ bei 8.25 Punkten (95% KI 11.29 bis 5.21 Punkte), ‚Gesundheit‘ bei 2.12 Punkten (95% KI 2.72 bis 1.52 Punkte) und ‚Lebensqualität‘ bei 2.71 (95% KI 3.38 bis 2.03 Punkte).

Während eines Zeitraums, in dem die Radsportler die Kompressionstherapie konsequent durchführten, konnten sie ihre Beschwerden sehr gut beeinflussen, fühlten sich nicht durch sie behindert und kümmerten sich nicht um sie. Jedoch

machten sie sich vermehrt Sorgen, dass sich ihre Beschwerden verschlimmern könnten. Alles in allem schätzten sie ihren Gesundheitszustand und ihre Lebensqualität als sehr gut ein.

### 3.3.3 Training

Unten stehende Grafik zeigt die Häufigkeit der Nennungen bezüglich Intensität und Umfang des Trainings während eines etwa vierwöchigen Zeitraums, in dem die Kompressionsstrümpfe getragen wurden. Durch Kodierung der Antworten in die Werte 1 bis 5 konnten Angaben zu mittlerer Intensität und Umfang gemacht werden.



**Abbildung 20: Angaben von 17 Probanden zu Intensität und Umfang ihres Trainings während des etwa vierwöchigen Zeitraums, in dem die MKS getragen wurden. Darstellung der absoluten Häufigkeiten.**

Der Median der Intensität lag bei 3 Punkten (75%-Quartil 4; 25%-Quartil 2) und der Median des Umfangs ebenfalls bei 3 Punkten (75%-Quartil 3; 25%-Quartil 2), wobei 3 Punkte der Antwort „gleich“ entsprechen. Das heißt, dass im Verlauf der Studie Trainingsintensität und –umfang im Mittel nicht gesteigert wurden.

### 3.3.4 Beurteilung des Kompressionsstrumpfes

Der Median von 9 eher negativen Eigenschaften lag bei 1 Punkt im Alltag und beim Training bzw. bei 2 Punkten im Alltag und beim Training für das Kriterium ‚Haut schwitzt unter dem Strumpf‘. Der Median der 4 eher positiven Eigenschaften lag bei 3 bzw. 4 Punkten im Alltag und beim Training.

Sowohl im Alltag als auch beim Training wurden die negativen Eigenschaften im Mittel nur einmal „etwas“ und ansonsten „gar nicht“ und die positiven Eigenschaften „ziemlich“ bis „stark“ von den Probanden empfunden. Auch unterschieden sich die Alltags- und Trainingssituation nicht wesentlich voneinander.

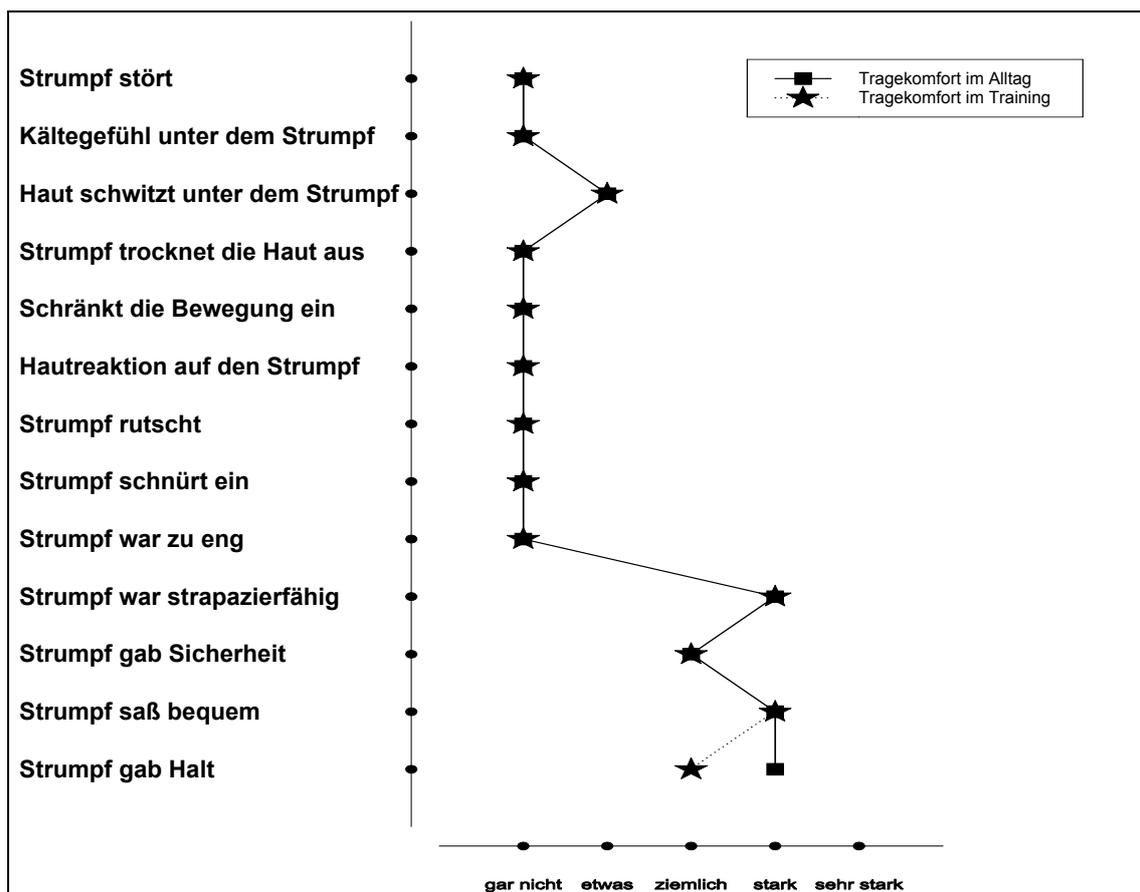


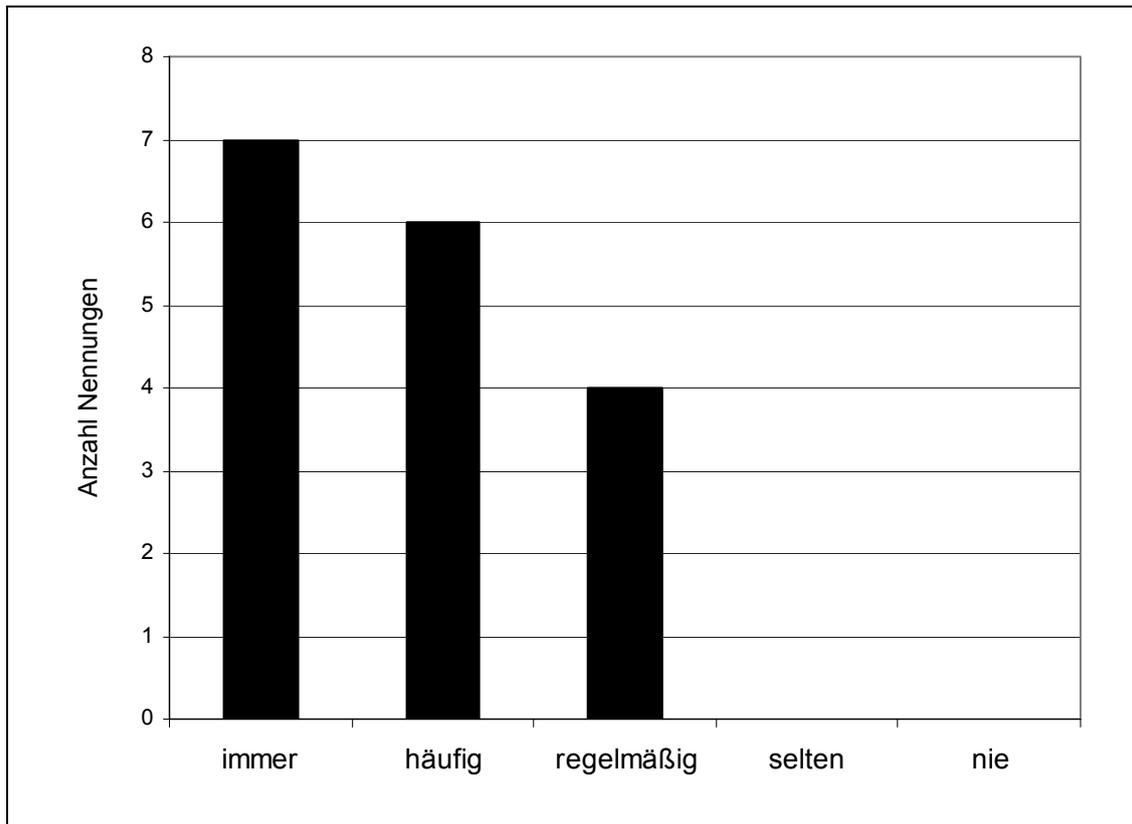
Abbildung 21: Beurteilung des MKS. Gezeigt sind die Mediane von 9 eher negativen und 4 eher positiven Eigenschaften des MKS. Die negativen Eigenschaften werden von den Probanden „gar nicht“ und „etwas“ empfunden, die positiven Eigenschaften dagegen „ziemlich“ und „stark“. Unterschieden wird der Tragekomfort im Alltag und im Training.

	MEDIAN	QUARTILSABSTAND		MEDIAN	QUARTILSABSTAND	
		75%-Quartil	25%-Quartil		75%-Quartil	25%-Quartil
	ALLTAG			TRAINING		
Strumpf gab Halt	4	4	4	3	4	3
Strumpf saß bequem	4	4	3	4	4	3
Strumpf gab Sicherheit	3	4	2	3	4	2
Strumpf war strapazierfähig	4	4.75	3	4	5	3
Strumpf war zu eng	1	1	1	1	2	1
Strumpf schnürt ein	1	2	1	1	2	1
Strumpf rutscht	1	1.75	1	1	1.50	1
Hautreaktion auf den Strumpf	1	1	1	1	1	1
Strumpf schränkt Bewegung ein	1	1	1	1	1	1
Strumpf trocknet die Haut aus	1	2	1	1	2	1
Haut schwitzt unter dem Strumpf	2	2	1	2	2	1.50
Kältegefühl unter dem Strumpf	1	1	1	1	1	1
Strumpf stört	1	2	1	1	2	1

**Tabelle 11: Auswertung der Angaben zur Beurteilung des MKS anhand von Median und Quartilsabständen. Unterschieden wird die Situation im ‚Alltag‘ und beim ‚Training‘.**

### 3.3.5 Compliance

Die Grafik zeigt die Häufigkeitsverteilung der Antworten auf die Frage: „Wie häufig haben Sie Ihren Kompressionsstrumpf in den letzten 4 Wochen getragen?“



**Abbildung 22: Absolute Anzahl der Antworten auf die Frage nach der Tragehäufigkeit des MKS in den letzten 4 Wochen (Compliance)**

Die Compliance der Radsportler war während der Studie hoch. Von 17 Probanden antworteten 7 mit „immer“, 6 mit „häufig“ und 4 mit „regelmäßig“. Die Antworten „selten“ und „nie“ kamen nicht vor.

### 3.3.6 Zufriedenheit

Die Auswertung der Fragen zu Venenerkrankung, sportlicher Leistungsfähigkeit unter Kompressionstherapie und ärztlicher Betreuung ergab folgendes Ergebnis:

KRITERIEN	MEDIAN	QUARTILSABSTAND	
		75%-Quartil	25%-Quartil
Belastung durch den Zeitaufwand der Behandlung	1	1.75	1
Belastung durch die Beschwerden im Alltag	2	2	1
Glaube an Leistungssteigerung durch den MKS	3	4	2
Zufriedenheit mit den Beinen	4	4	4
Umgang mit dem Erscheinungsbild möglich	4	4.75	3
Zufriedenheit mit dem Venenzustand	4	4	3
Zufriedenheit mit der Wirkung des MKS	4	5	4
Zufriedenheit mit der Betreuung	5	5	4

**Tabelle 12: Auswertung der Probandenzufriedenheit. Berechnet wurden Median und Quartilsabstand. Die Werte 1 bis 5 entsprechen den Antworten „gar nicht“, „etwas“, „mäßig“, „ziemlich“ und „sehr“.**

Die ‚Belastungen‘ wurden von den Sportlern „gar nicht“ bis „etwas“ empfunden. Der ‚Glaube an eine Leistungssteigerung durch die Kompressionsstrümpfe‘ entsprach der Einschätzung „mäßig“. Die Probanden waren mit ihren ‚Beinen‘ „ziemlich“ zufrieden und konnten mit ihrem ‚Erscheinungsbild‘ ebenfalls „ziemlich“ gut umgehen. Auch waren sie mit dem ‚Venenzustand‘ und der ‚Wirkung des Kompressionsstrumpfes‘ „ziemlich“ zufrieden. Mit der ‚ärztlichen Betreuung‘ waren die Probanden „sehr“ zufrieden.

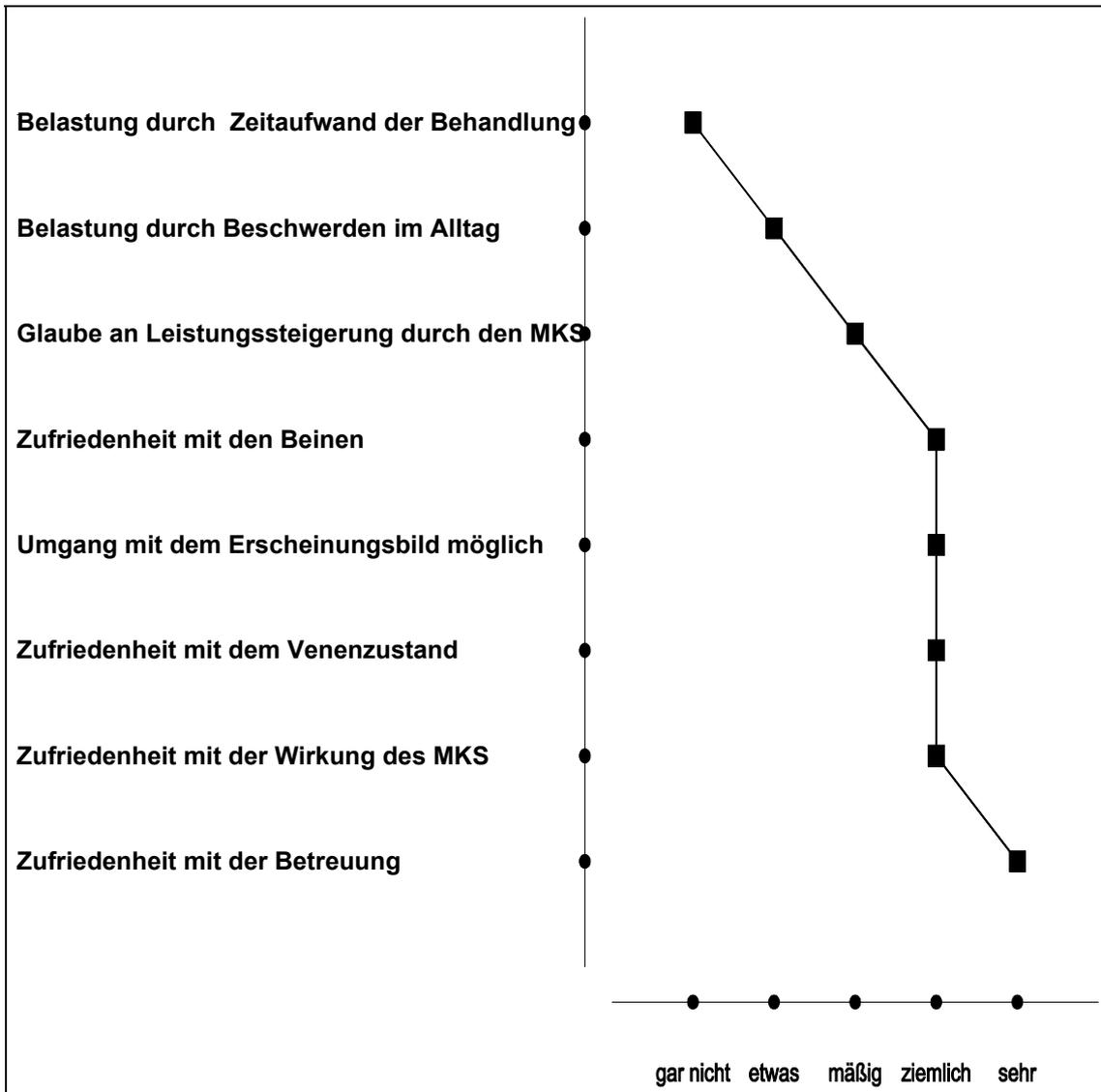


Abbildung 23: Graphische Darstellung der Mediane zu den einzelnen Kriterien der Pobandenzufriedenheit.

## 4 Diskussion

In der abschließenden Diskussion sollen die Ergebnisse anhand der aufgestellten Thesen besprochen werden. Dabei bezieht sich die Diskussion zum einen auf die in den sportmedizinischen Belastungsuntersuchungen erhobenen objektiven Daten, zum anderen auf die mittels des Fragebogens gewonnenen subjektiven Einschätzungen der Probanden.

### 4.1 Leistungsdiagnostik

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit lag auf der Fragestellung nach dem ‚Einfluss der Kompressionstherapie bei Radsportlern mit nachgewiesener Klappeninsuffizienz der Hautstammvenen auf Leistungsvermögen und Laktatspiegel‘. Die dazu formulierten Thesen lauteten:

**These 1:** Durch das Anlegen eines medizinischen Kompressionsstrumpfes verändert sich die sportliche Leistungsfähigkeit von Radfahrern mit einer chronischen venösen Insuffizienz unmittelbar.

**These 2:** Durch die konsequente Therapie mit einem medizinischen Kompressionsstrumpf verändert sich die sportliche Leistungsfähigkeit von Radfahrern mit einer chronischen venösen Insuffizienz mittelfristig.

Unter der Annahme, dass Radfahrer mit einer CVI aufgrund der Venenerkrankung in ihrer sportlichen Leistungsfähigkeit beeinflusst werden, wurden Vergleiche zwischen Belastungsuntersuchungen mit und ohne MKS durchgeführt. Es wurde angenommen, dass durch die Therapie mit Kompressoinsstrümpfen eine Normalisierung der pathologischen Venensituation und dadurch eine Veränderung der sportlichen Leistungsfähigkeit eintreten würde. Bei diesen Überlegungen wurden unwillkürlich zwei Dinge als gegeben vorausgesetzt – nämlich einen messbaren

Einfluss der CVI auf das Leistungsvermögen und den Laktatspiegel einerseits und zum anderen einen messbaren therapeutischen Effekt von MKS. Letzterer schien, durch ältere und neuere Ergebnisse auf dem Gebiet der Phlebologie gestützt, beinahe selbstverständlich zu sein. So zeigte sich in Untersuchungen eine verbesserte venöse Drainage durch physikalische Therapie, Gefäßtraining und medizinische Kompressionsstrümpfe (Steins et al., 2000; Werner, 2001). Auch war die Morbidität bei trainierten Patienten mit CVI signifikant niedriger als bei Untrainierten (Bringmann, 1986). Es wurde vermutet, dass das Tragen medizinischer Kompressionsstrümpfe zu einer Reduktion des venösen Poolings und zur verbesserten Oxygenierung des tieferen Gewebes führen könnte (Agu et al., 2004). Zudem gibt es die generelle Empfehlung, bei CVI während sportlicher Belastungen eine Kompressionstherapie durchzuführen (Weidinger et al., 1987; Klyszcz et al., 1996; Strölin et al., 2004). Kompressionstherapie im Allgemeinen und MKS im Speziellen schienen also durchaus dazu geeignet, bei Sportlern mit CVI einen Einfluss auf deren sportliche Leistungsfähigkeit zu haben. Es war sogar zu hoffen, dass dieser Einfluss eher positiv als negativ sein würde, da erwartet wurde mit der Kompressionstherapie die physiologische Venensituation wieder herzustellen. Bisher gibt es jedoch keine Untersuchungen zu Kompressionsstrümpfen in Verbindung mit der sportlichen Leistungsfähigkeit von Radsportlern mit CVI. Daher war das Ergebnis der Studie letztlich völlig offen.

Die Ergebnisse zeigen, dass weder für den Akuteffekt noch den mittelfristigen Effekt der Kompressionstherapie ein signifikanter Einfluss auf die Ausdauerleistung, den Laktatwert und die Herzfrequenz festgestellt werden konnte. Auch gibt es keine Abhängigkeit zwischen den untersuchten Parametern und der venösen Wiederauffüllzeit  $t_0$ . In der Literatur bezeichnet *Gerlach* die venöse Wiederauffüllzeit  $t_0$ , die im Rahmen der digitalen Photoplethysmographie ermittelt werden kann, neben der sogenannten halben Wiederauffüllzeit als den „[...] einzigen halbwegs reproduzierbaren [...] Messparameter [...]“ (Rabe et al., 2000). *May* hingegen sieht darin einen „weichen Messparameter“, der stark von der Haut- und Außentemperatur

abhängt (Rabe et al., 2000). Wird  $t_0$  als Anhalt für den Funktionszustand der Venen genommen, so stellen die Ergebnisse in nahezu allen Fällen einen Normalbefund dar. Lediglich bei 8 von 36 untersuchten Beinen ergab sich eine venöse Funktionsstörung im Sinne einer pathologisch verkürzten venösen Wiederauffüllzeit  $t_0$ . Es stellt sich die Frage, aufgrund welcher Faktoren weder für den Akut- noch den mittelfristigen Effekt ein signifikanter Einfluss der Kompressionsstrümpfe festgestellt werden konnte? Dazu sollen die Bereiche ‚Probandenkollektiv‘ und ‚Methodik‘ näher betrachtet werden.

#### **4.1.1 Probandenkollektiv**

Bedingt durch die Vielfalt der zur Probandenrekrutierung verwendeten Medien und der großen Menge der dadurch angesprochenen Radsportler lag ein breites und unselektiertes Kollektiv vor. Das Durchschnittsalter von 38.1 Jahren lag zentral in der vorgegebenen Altersspanne von 18 bis 55 Jahren und die durchschnittliche wöchentliche Trainingsstrecke von 237.2 km deutlich über den geforderten 120 Kilometern pro Woche. Sie deutete auf ein eher hohes Leistungsniveau, wenngleich der Trainingsumfang nicht mit der sportlichen Leistungsfähigkeit korrelieren muss. In diesem Zusammenhang sind ebenso die Trainingsintensität und die Art des Trainings von Bedeutung. Es konnte in Studien gezeigt werden, dass mehrwöchiges reines Lauftraining bzw. kombiniertes Lauf- und Radtraining die aerobe Kapazität und die Laufleistung signifikant verbesserte (Mutton et al., 1993) und dass selbst bei hoch trainierten Ausdauerfahrern durch mehrwöchiges intensives Intervalltraining die sportliche Leistung verbessert wurde (Lindsay et al., 1996; Laursen et al., 2002). In Bezug auf das Training wurde den Probanden neben dem wöchentlichen Trainingsumfang keine Vorgaben gemacht. Wie sich während der Studie zeigte waren sie den körperlichen Anforderungen einer sportmedizinischen Belastungsuntersuchung durchaus gewachsen und in der Lage, auch höhere Belastungsintensitäten zu bewältigen. Aus sportmedizinischer Sicht war das ‚Probandenkollektiv‘ richtig gewählt. Aufgrund

der Fragestellung sollten die Probanden eine „Klappeninsuffizienz der Hautstammvenen“ aufweisen. Als Stammvenen werden die V. saphena magna und V. saphena parva bezeichnet und ihre Insuffizienzen dopplersonographisch mit der ‚Stadieneinteilung nach Hach‘ klassifiziert (Rabe et al., 2000; Grotewohl, 2002). Die ‚CEAP-Klassifikation‘ berücksichtigt klinische Zeichen, Ätiologie, Anatomie und Pathophysiologie. Dopplersonographisch konnte gemäß der ‚Stadieneinteilung nach Hach‘ 11 mal eine Insuffizienz der V. saphena magna und 5 mal eine Insuffizienz der V. saphena parva nachgewiesen werden. In der überwiegenden Mehrzahl lag eine inkomplette Insuffizienz der V. saphena magna (16 mal) sowie Insuffizienzen der Vv. perforantes (16 mal) und der Seitenäste (19 mal) vor. Im Einklang mit der Indikation für medizinische Kompressionsstrümpfe wurde allerdings ein Effekt der MKS auf alle insuffizienten Venen im Kompressionsbereich erwartet (Rabe et al., 2000; Rabe, 2003 a). Bezüglich der ‚CEAP-Klassifikation‘ erfüllten die Probanden die Einschlusskriterien („mindestens Stadium C2“). 14 Probanden waren im Stadium C2 und 4 Probanden im Stadium C3. Bei allen 18 Probanden konnte ein pathologischer Reflux festgestellt werden. Jedoch nur bei 8 von 36 untersuchten Beinen war bereits eine pathologische Venenfunktion im Sinn einer verkürzten venösen Wiederauffüllzeit  $t_0$  nachzuweisen. Die CVI-typischen Beschwerden ‚Schmerz‘, und ‚Spannung‘ wurden in der Mehrzahl der Fälle mit „fehlt“ angegeben, wobei ‚Spannung‘ häufiger als ‚Schmerz‘ genannt wurde. Lediglich das Symptom ‚Ödem‘ wurde von der Hälfte der Probanden angegeben.

## **Zusammenfassung**

Die Probanden erfüllten die sportlichen Voraussetzungen zwar vollkommen, befanden sich jedoch aus phlebologischer Sicht noch in einem kompensierten pathologischen Stadium. Möglicherweise hätte sich ein signifikanter Effekt der Kompressionstherapie bei schlechteren venösen Ausgangsvoraussetzungen messen lassen.

#### **4.1.2 Methodik**

##### **Phlebologische Diagnostik**

Zum Einsatz kamen in der phlebologischen Diagnostik CW-Dopplersonographie, digitale Photoplethysmographie (DPPG) und farbkodierte Duplexsonographie. Letztere stellt den Goldstandard in der Diagnostik venöser Insuffizienz dar und wird als Referenzmethode verwendet (Bays et al., 1994; Stiegler et al., 1994; Campbell et al., 1996; Schultheiss et al., 1997; Wills et al., 1998). Ebenso ist die DPPG ein akzeptiertes Verfahren (Weiss, 1993; Graham, 1996; Schultz-Ehrenburg et al., 2001) mit hoher Sensitivität bei geringer Spezifität und sollte deshalb mit anderen Diagnostikverfahren kombiniert werden (McMullin, 1992; Somjen et al., 1993; Mosti et al., 2000). Diesem Umstand wurde Rechnung getragen indem die DPPG mit zwei weiteren Diagnoseverfahren kombiniert wurde. Die CW-Dopplersonographie ist eine validierte Screeningmethode zur Refluxdiagnostik vor allem der oberflächlichen Venen (McMullin, 1992; Grotewohl, 2002; Rabe, 2003 a) sowie ein Verfahren zum Ausschluss einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (Bernstein et al., 1982; Lepantalo et al., 1983; Johnston et al., 1987; Ruff, 2003). Sämtliche Untersuchungen wurden von speziell geschultem Personal während des Routineablaufs in der angiologischen Ambulanz der Universitätshautklinik durchgeführt. Sowohl die apparativen Verfahren der phlebologischen Diagnostik als auch deren Anwendung waren für den Zweck dieser Studie sehr gut geeignet.

##### **Leistungsdiagnostik**

Zur Ermittlung der sportlichen Leistungsfähigkeit wurden stufenförmige Belastungstests auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Das Belastungsschema entsprach den Empfehlungen des ‚Bundesausschuss Leistungssport (BAL)‘, welches häufig eingesetzt wird (Löllgen, 1995; Schwarz,

2001; de Marées, 2002; Boldt, 2002). Zur Verifizierung der körperlichen Leistungsfähigkeit wurde ein laktatbasiertes Schwellenkonzept verwendet, wobei zur Laktatkonzentration an der ‚aeroben Schwelle‘ (AS) 1.0 mmol/l (Röcker et al., 2003) addiert wurden, um die ‚individuelle anaerobe Schwelle‘ (IAS) festzulegen. Das Konzept der Leistungsdiagnostik mit Hilfe der IAS findet häufig Anwendung, ist objektiv, validiert und bestätigt (Röcker et al., 1995; Röcker et al., 1997; Röcker et al., 1998; Coen et al., 2001; Röcker et al., 2002). Weder für den Akut- noch den mittelfristigen Effekt der Kompressionstherapie konnte jedoch ein signifikanter Einfluss auf die Parameter Ausdauerleistung, Laktatwert und Herzfrequenz festgestellt werden. Es stellt sich die Frage, ob Laktatwert und Herzfrequenz ausreichend sensitive Kriterien sind, einen Effekt der Kompressionstherapie auf die Leistungsfähigkeit bei Sportlern mit CVI zu objektivieren?

### **Laktatwert, Herzfrequenz und Kompressionstherapie**

Bereits 1987 wurde von *Berry et al.* gezeigt, dass die Laktatwerte in der Erholungsphase nach erschöpfender körperlicher Belastung auf dem Fahrradergometer durch den Gebrauch von Kompressionsstrümpfen während und nach der Belastung signifikant niedriger waren als in den Kontrollgruppen. Diese Beobachtung wurde auf eine Speicherung des Laktats im Muskelbett durch die Kompressionsstrümpfe zurückgeführt (Berry et al., 1987). Im Jahr 1990 hingegen konnte von der gleichen Arbeitsgruppe kein signifikanter Effekt von Kompressionsstrumpfhosen auf den Laktatwert in der Erholungsphase nach einer Laufbandbelastung festgestellt werden (Berry et al., 1990). Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen in der vorliegenden Arbeit, da auch hier kein signifikanter Einfluss der Kompressionstherapie auf den Laktatwert festgestellt werden konnte. Inwieweit ist nun aber der Laktatwert als Messparameter geeignet?

In der Literatur wird Laktat als ein sensitiver Parameter zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit und als Ausbelastungskriterium beim Maximaltest beschrieben. Allerdings unterliegt der Laktatwert zahlreichen Einflussfaktoren wie dem Belastungsschema, dem muskulären Glykogen depot und einer Tagesvariabilität (de Marées, 2002). Deshalb wird für eine komplexe Ausdauerleistungsdiagnostik gefordert, neben dem Laktat die Sauerstoffaufnahme  $VO_2$  als direktes Maß für den aeroben Energiestoffwechsel zu bestimmen (Platen, 2001; de Marées, 2002). Im unmittelbaren Vergleich von Laktat- oder atembasierten Konzepten ergeben sich allerdings Unterschiede bei den ermittelten Schwellenwerten bzw. den Belastungsintensitäten an diesen Schwellen, auch in Abhängigkeit der angewandten Methoden und Protokolle (Cheng et al., 1992; Loat et al., 1993; Chicharro et al., 1997). Die Reproduzierbarkeit ist sowohl für die laktatabhängigen als auch die atmungsabhängigen Schwellen ähnlich und hoch (Dickhuth et al., 1999). Andere Parameter, wie zum Beispiel den Katecholaminspiegel, den Schwellen zu Grunde zu legen, erscheint hingegen nicht sinnvoll, da sie diese Reproduzierbarkeit nicht zeigen und Unklarheit darüber herrscht, in wie weit Katecholaminspiegel und Laktatschwelle voneinander abhängen (Schneider et al., 1992; Dickhuth et al., 1999).

Wie schon beim Laktatwert konnte auch beim Parameter ‚Herzfrequenz‘ kein signifikanter Einfluss der Kompressionstherapie bei Radsportlern festgestellt werden. Die Herzfrequenz wird in der Regel zur Intensitätssteuerung beim Sport verwendet, scheint aber starken Schwankungen zu unterliegen. Dies gilt sowohl für die interindividuelle Variation (de Marées, 2002) als auch individuelle Unterschiede in Abhängigkeit von der zirkadianen Rhythmik, der vegetativen Nervenlage, Trainingsbelastung und dem Alter. Dabei kann diese Variabilität bei Ausdauertrainierten noch stärker sein als bei Untrainierten (Platen, 2001). Daher wird empfohlen, die ‚Herzfrequenz‘ im Kontext einer ‚Laktat-Leistungs-Kurve‘ zu verwenden (de Marées, 2002), da eine isolierte Betrachtung nicht sinnvoll scheint.

Eine Vielzahl von Faktoren wie individuelle Unterschiede und die Abhängigkeit von Messmethoden und Protokollen spielen in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik eine Rolle. Schon bei der Ermittlung der körperlichen Leistungsfähigkeit, unabhängig von einer CVI oder Kompressionstherapie, stellt sich ein hoch komplexes Geschehen dar, in dem nie allen Parametern ausreichend Rechnung getragen werden kann. Um einen Einfluss der Kompressionstherapie messen zu wollen, scheint die Betrachtung des Leistungsvermögens in Form von AS und IAS, des Laktatspiegels und der Herzfrequenz im Ansatz zwar richtig, jedoch kann sie auf keinen Fall der Komplexität der Vorgänge gerecht werden. Es ist möglich, dass ein Einfluss der Kompressionstherapie einfach übersehen wurde, da der entsprechende Messparameter nicht erfasst wurde. Es ist zudem denkbar, dass der Einbezug spirometrischer Werte weitere Erkenntnisse liefern würde. Allerdings sollte die Bedeutung von Einzelparametern nicht überbewertet werden, da letztlich die Gesamtleistungsfähigkeit von Interesse ist.

### **Therapiedauer und Training**

Hinsichtlich der Therapiedauer mit MKS sind die Angaben sehr unterschiedlich. Die Indikationen liegen bei einer CVI eindeutig auf einer Langzeit- bzw. Dauerbehandlung (de Marées, 2002) mit Kompressionsstrümpfen. Jedoch werden bezüglich des klassischen CVI-Symptoms ‚Ödem‘ einerseits Zeiträume von 2 – 12 Wochen beschrieben, in denen eine Ödemreduktion durch das Tragen von MKS beobachtet wurde (Diehm et al., 1996; Vayssairat et al., 2000; Onorati et al., 2003). Auf der anderen Seite tritt jedoch bereits während eines Langstreckenfluges ein ödemprotektiver Effekt auf (Belcaro et al., 2002; Wienert et al., 2004 b). Diese teilweise widersprüchlichen Angaben beruhen auf unterschiedlichen Ausgangsvoraussetzungen bezüglich des venösen Status und der Neigung, ein Ödem zu entwickeln. Sowohl für die kurzfristige Anwendung als auch die Dauertherapie konnte in Studien ein protektiver Effekt bezüglich der Ödembildung festgestellt werden. In vorliegender Arbeit konnte

kein signifikanter Effekt auf die körperliche Leistungsfähigkeit durch die Therapie mit MKS festgestellt werden. Möglicherweise würde erst ein verlängertes Messintervall einen solchen Effekt zeigen. So wäre es von Interesse, die Probanden nach einem Zeitraum von 6 bis 12 Monaten erneut sportmedizinisch zu untersuchen. Allerdings sind mit zunehmendem Zeitintervall Einfluss- und Störgrößen, wie beispielsweise der Trainingseffekt, kaum kontrollierbar. Im Verlauf der Studie wurden Trainingsintensität und –umfang von den Radsportlern im Mittel nicht gesteigert. Es kann dabei keine Aussage über die individuelle Trainingsgestaltung gemacht werden. Die immer im Anschluss an die Belastungsuntersuchungen gegebenen Trainingsempfehlungen können als Einflussgröße gesehen werden.

## **Zusammenfassung**

Weder kurz- noch mittelfristig zeigte sich in vorliegender Arbeit ein signifikanter Einfluss der Kompressionstherapie bei Radsportlern mit CVI auf die Messparameter ‚Laktatwert‘, ‚Herzfrequenz‘ und ‚Leistung‘. Unter Kenntnis dieser Ergebnisse kann gesagt werden, dass auf Basis der heute angewandten sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und Schwellenkonzepte, eine Reduktion von Laktatwert und Herzfrequenz sowie eine Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch unmittelbare oder mittelfristige Therapie mit MKS bei CVI nicht zu erwarten ist. Vor dem Hintergrund jedoch, dass Patienten mit CVI während sportlicher Aktivität eine Kompressionstherapie betreiben sollten, können die Ergebnisse anders interpretiert werden: Da auch keine objektive Verschlechterung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch das Tragen von MKS festgestellt werden konnte, eignen sich MKS nicht nur generell zum Einsatz bei körperlicher Aktivität, sondern auch für den hochleistungsorientierten Radsportler. MKS stellen eine wirksame konservative Therapieform der CVI dar, ohne den Sportler in seiner Leistungsfähigkeit einzuschränken.

## 4.2 Fragebogen

Datenerhebungen mittels eines Fragebogens können prinzipiell Probleme mit sich bringen. Neben der bereits erwähnten Subjektivität kann der Wahrheitsgehalt der Antworten nicht überprüft werden. Möglicherweise erahnen die Probanden auch die Hypothesen und antworten deshalb entsprechend anders (Hawthorne-Effekt). Im verwendeten Fragebogen kommen zudem retrospektive Elemente vor.

### 4.2.1 Beschwerden

Zunächst wurden die Radsportler nach ihren CVI-typischen Beschwerden im Alltag und nach dem Training gefragt. Anhand von mittleren Differenzen wurde ein Vergleich der Werte mit und ohne Kompressionstherapie gemacht. In Erwartung eines positiven Effekts der Therapie mit MKS wurden zwei Thesen aufgestellt:

**These 3:** Eine Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen reduziert die bei einer CVI typischen Beschwerden im Alltag des Radfahrers.

**These 4:** Eine Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen reduziert die bei einer CVI typischen Beschwerden nach dem Radtraining.

In der vorliegenden Studie kam es bei 6 von insgesamt 28 mittleren Differenzen zu einer signifikanten Reduktion der subjektiven Beschwerden. Im Alltag waren dies ‚müde Beine‘, ‚Schweregefühl in den Beinen‘, ‚Schwellungen der Beine‘ und ‚Spannungsgefühl in den Beinen‘. Nach dem Training wurde ein Rückgang von ‚Schweregefühl in den Beinen‘ und ‚Spannungsgefühl in den Beinen‘ verzeichnet.

Zunächst stellt sich die Frage, weshalb es gerade bei den genannten Symptomen zu einer Beschwerdereduktion kam. Darüber hinaus muss aber der Blick weg vom Einzelsymptom hin zur Gesamtsituation gelenkt werden. *Grotewohl* nimmt eine beschwerdenorientierte Stadieneinteilung der CVI vor (*Grotewohl*, 2002). Stadium 1 entspricht der ‚Beschwerdefreiheit‘ und Stadium 4 ‚Schmerzen‘ und ‚Claudicatio venosa‘. Im Stadium 2 kommen ‚Schweregefühl‘ und ‚Spannungsgefühl‘, im Stadium 3 ‚Hitzegefühl‘, ‚Juckreiz‘ und ‚Schwellung‘ vor. Die signifikanten Ergebnisse dieser Arbeit liegen innerhalb der Stadien 2 und 3 nach *Grotewohl*, werden einmal ‚müde Beine‘ dem Symptom ‚Schweregefühl‘ zugeordnet. Auch *Altenkämper* nennt bei Venenerkrankungen ‚Spannungs- und Schwellungsgefühl‘ sowie parallel dazu entstehende ‚Ödeme‘ (*Altenkämper et al.*, 1991). Im Rahmen einer CVI können sich jedoch sämtliche abgefragten Symptome entwickeln. Bei den im Ergebnis signifikanten Symptomen scheint es sich allerdings um häufige und führende Beschwerden zu handeln. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich gerade dort ein positiver signifikanter Effekt der Kompressionstherapie zeigte. Es ist gut vorstellbar, dass aufgrund verbesserter hämodynamischer und physikalischer Bedingungen (*Weidinger et al.*, 1987; *Stöberl et al.*, 1989; *Jünger et al.*, 1998) ein Rückgang der Beschwerden eingetreten ist. Interessanterweise kommen auch bei Venengesunden Beinödeme und unangenehme Gefühle in den Beinen vor (*Jonker et al.*, 2001). Jedoch sind diese bei Patienten mit venösem Reflux häufiger und stärker ausgeprägt (*Jantet*, 2002). Weshalb nur 6 der 28 untersuchten mittleren Differenzen Signifikanzniveau erreichten, kann nicht vollständig geklärt werden. Naheliegender ist, dass die übrigen abgefragten Beschwerden nicht so stark ausgeprägt waren, um eine signifikante Reduktion unter Kompressionstherapie zu zeigen. Die Probanden wiesen objektiv und subjektiv eine eher mäßig stark ausgeprägte CVI auf.

Wie die Analyse aller mittlerer Differenzen zeigt, ergaben sich sowohl für die Kriterien im ‚Alltag‘ als auch nach ‚Training‘ und für die ‚Gesamtsituation‘ signifikante mittlere Differenzen, im Sinn einer Reduktion der Beschwerden durch die Behandlung mit MKS. Mit diesem Ergebnis kann die Wirksamkeit von

MKS auf Basis subjektiver Einschätzungen von Radsportlern mit CVI bestätigt werden.

#### **4.2.2 Compliance**

Aufgrund eventueller Vorbehalte gegenüber des Tragens medizinischer Kompressionsstrümpfe während sportlicher Betätigung, wurde eine negative Auswirkung auf die Compliance der Radfahrer erwartet und folgende These formuliert:

**These 5:** Die Compliance bezüglich der Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen bei Radfahrern mit CVI ist gering.

Während der Studie trugen 7 von 17 Probanden die Stümpfe „immer“, 6 „häufig“ und 4 „regelmäßig“. Die Angaben „selten“ und „nie“ wurden nicht gemacht. Die Compliance hinsichtlich der Therapie mit MKS bei Radfahrern mit CVI war sehr hoch. In der Literatur finden sich hierzu keine Berichte. Die vorhandenen Daten beziehen sich auf die Compliance von Patienten mit CVI, venösen Ulcera und tiefer Bein- bzw. Beckenvenenthrombose. In diesen Kollektiven liegt die Compliance bezüglich der Therapie mit Kompressionsstrümpfen sowohl für mehrwöchige als auch jahrelange Therapiedauer mit bis zu 97% sehr hoch (Mayberry et al., 1991; Vayssairat et al., 2000; Blättler et al., 2001; Kahn et al., 2003). Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit unterstreicht die bisherigen Erkenntnisse bezüglich der Compliance bei einer Therapie mit MKS. Allerdings ist eine höhere Ausgangsmotivation bei leistungsorientierten Teilnehmern an einer wissenschaftlichen Studie zu erwarten. Hinzu kommt die relativ kurze Therapiedauer von vier Wochen. Interessant wäre zu untersuchen, ob die Probanden langfristig, auch beispielsweise während der heißen Sommermonate, in dieser Form motiviert wären.

Das Ergebnis ist ein positives Votum der untersuchten Radfahrer mit CVI für die Therapie mit MKS, einer Therapieform, welche die Mitarbeit und Eigeninitiative der Betroffenen in hohem Maße voraussetzt.

#### **4.2.3 Kompressionsstrümpfe**

Von Interesse war in der durchgeführten Studie nicht nur die Therapie mit MKS bei Radsportlern mit CVI im allgemeinen, sondern auch der medizinische Kompressionsstrumpf ‚Venotrain® champion‘ der Firma Bauerfeind im speziellen. Daraus ergab sich folgende These:

**These 6:** Der Kompressionsstrumpf Venotrain® champion der Firma Bauerfeind eignet sich für den Einsatz im Radsport.

Der MKS ‚Venotrain® champion‘ war bisher noch nicht Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Insgesamt 13 Kriterien, von denen angenommen wurde sie könnten maßgeblich im Zusammenhang mit dem subjektiven Tragekomfort des Kompressionsstrumpfes stehen, wurden abgefragt. Unterschieden wurde zwischen dem Tragekomfort im Alltag und beim Training. Neun Kriterien gaben eher negative Eigenschaften und vier Kriterien eher positive Eigenschaften wieder. Die Probanden empfanden sowohl im Alltag als auch beim Training die negativen Eigenschaften im Mittel „etwas“ bis „gar nicht“ und die positiven Eigenschaften „ziemlich“ bis „stark“. Dies bestätigt die aufgestellte These nicht nur, sondern erweitert sie noch. Neben dem Radsport kann der Kompressionsstrumpf ‚Venotrain® champion‘ auch im Alltag von Radfahrern eingesetzt werden und einen subjektiv hohen Tragekomfort erzeugen. Bezüglich der Verträglichkeit von MKS liegen bisher keine Untersuchungen vor (Wienert et al., 2004 b). In vorliegender Studie konnte gezeigt werden, dass die Verträglichkeit des verwendeten Strumpfes hoch war. Lediglich bezüglich des Symptoms ‚Schwitzen beim Training‘ zeichnete sich eine geringfügige Einschränkung im Tragekomfort ab.

Möglicherweise kann durch Training unter höheren Umgebungstemperaturen, wie sie beispielsweise im Sommer auftreten, diese negative Tendenz verstärkt werden. Positiv fällt auf, dass der MKS dem Radsportler ‚Halt‘ gab und ein ‚Sicherheitsgefühl‘ erzeugte, ohne ‚zu eng‘ zu sein oder ‚einzuschnüren‘. Auch schränkte er die ‚Bewegung‘ nicht ein. Diese Eigenschaften des Strumpfes sind gerade für Sportler wichtig. Voraussetzung für das insgesamt sehr positive Ergebnis ist jedoch nicht zuletzt die optimale individuelle Anpassung des MKS durch geschultes Personal.

#### **4.2.4 Lebensqualität**

Im Rahmen des Fragebogens wurden die Probanden auch nach ihrer ‚Lebensqualität‘ unter Therapie mit dem MKS gefragt. Wie die Ergebnisse zeigen, konnten sie ihre Beschwerden gut ‚beeinflussen‘, fühlten sich im Alltag durch ihre Beschwerden kaum ‚behindert‘ und ‚kümmerten‘ sich auch wenig um ihre Beschwerden. Alles in allem schätzten sie ihren ‚Gesundheitszustand‘ und ihre ‚Lebensqualität‘ sehr hoch ein. Die häufigere Nennung des Kriteriums ‚Sorgen‘ ist wahrscheinlich auf einen systematischen Fehler im Fragebogen zurückzuführen. Entsprachen bei allen anderen Kriterien die linken Felder auf einer visuellen Analogskala einer eher positiven Einschätzung, so war dies beim Kriterium ‚Sorgen‘ umgekehrt. Möglicherweise haben nicht alle Probanden beim Ausfüllen des Fragebogens diese Veränderung bemerkt. Anders ist die im Mittel stärkere Bewertung des Kriteriums ‚Sorgen‘ im Kontext der ansonsten insgesamt sehr positiven Einschätzungen nicht zu erklären. In der Literatur gibt es zahlreiche Untersuchungen zur Lebensqualität bei Patienten mit venösen Krankheitsbildern. So liegt bei Venenerkrankungen eine eher niedrige Lebensqualität vor (van Korlaar et al., 2003), die sich aber unter Kompressionstherapie verbessert (Ivkov-Simic et al., 2001). Bei Patienten mit einem Krampfaderleiden sollte die Lebensqualität allerdings nur unter Beachtung der begleitenden Venenerkrankung beurteilt werden (Kurz et al., 2001). Mit Hilfe der CEAP-Klassifikation kann eine Vorhersage der

Lebensqualität gemacht werden. Sie sinkt mit steigender CEAP-Klassifikation (Kahn et al., 2004). Vor dem Hintergrund dieser Studien kann das vorliegende Ergebnis einer hohen Lebensqualität wie folgt interpretiert werden: Zum einen spielt bis zu einem gewissen Grad der Einfluss der Kompressionstherapie eine Rolle. Es konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass die Therapie mit MKS zu einer signifikanten Reduktion CVI-typischer Beschwerden führt. Eine Steigerung der Lebensqualität der Probanden ist also zu erwarten. Jedoch galten die spezifischen Fragen zur Lebensqualität nur der Zeit mit Kompressionsstrümpfen. Somit kann kein ‚Vorher-Nacher-Vergleich‘ angestellt werden. Auch befanden sich die Radsportler bereits vor der Studie in einer guten Verfassung. So kamen nur die Stadien C2 und C3 der CEAP-Klassifikation vor, und die Anamnese bezüglich ‚Schmerz‘ und ‚Spannung‘ war in der Mehrzahl der Fälle negativ. Mit der hohen Lebensqualität gehen auch die Angaben der Probanden zur ‚Zufriedenheit‘ einher. So fühlten sie sich durch den ‚Zeitaufwand der Behandlung‘ „gar nicht“ und die ‚Beschwerden im Alltag‘ „etwas“ belastet. Sie waren mit dem ‚Zustand ihrer Beine‘ und dem ‚Venenzustand‘ „ziemlich“ zufrieden und konnten auch „ziemlich“ mit ihrem ‚Erscheinungsbild‘ umgehen. Ohne Kenntnis der abschließenden Messergebnisse schätzten sie die ‚Leistungssteigerung durch den Strumpf‘ als „mäßig“ ein. Insgesamt waren sie mit der ‚Wirkung des Strumpfes‘ „ziemlich“ und der ‚ärztlichen Betreuung‘ „sehr“ zufrieden. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Beschwerden der Probanden und die Beeinträchtigung durch das venöse Krankheitsbild ihrer eigenen Einschätzung nach eher niedrig einzuordnen sind. Die subjektiv empfundene „mäßige“ Leistungssteigerung durch den Strumpf konnte zwar nicht objektiviert werden, darf aber dennoch nicht unterschätzt werden. Eine positive Einschätzung der Therapie kann ihrerseits die Lebensqualität und die Compliance der Betroffenen erhöhen. Auch zeigt das Ergebnis eine geringe Einschätzung des Zeitaufwandes bei hoher Zufriedenheit mit der Therapie. In diesem Kontext finden sich ähnliche Resultate in der Literatur, in welchen eine hohe Zufriedenheit mit der Kompressionstherapie bei gleichzeitig sehr einfacher Machbarkeit beschrieben werden (Klüken et al., 1999; Blättler et al., 2001).

Die dargestellten Ergebnisse bei Radfahrern decken sich nahezu mit den Ergebnissen einer parallel durchgeführten Untersuchung an Läufern mit CVI (Kemmler, 2005). So kam es auch bei Läufern zu keiner signifikanten Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit durch das kurz- oder mittelfristige Anlegen medizinischer Kompressionsstrümpfe. Allerdings zeigte sich eine signifikante Reduktion CVI-typischer Beschwerden im Alltag und während bzw. nach sportlicher Aktivität. Daneben hatten die Läufer ebenso wie die Radfahrer eine sehr gute Compliance und sprachen sich positiv für den verwendeten Kompressionsstrumpf aus (Kemmler, 2005).

Diese Übereinstimmung in beiden Sportlergruppen unterstreicht die Bedeutung der jeweiligen Untersuchungsergebnisse und lässt die Vermutung zu, dass nicht nur Radfahrer und Läufer, sondern auch Sportler anderer Disziplinen von der Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen profitieren könnten.

### **4.3 Schlussfolgerungen**

1. Das Anlegen eines medizinischen Kompressionstrumpfes hat keinen signifikanten unmittelbaren und mittelfristigen Einfluss auf die sportliche Leistungsfähigkeit von Radfahrern mit einer chronischen venösen Insuffizienz.
2. Die Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen schränkt die sportliche Leistungsfähigkeit bei Radfahrern mit CVI nicht ein und kann empfohlen werden.
3. Die Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen reduziert die bei einer CVI typischen Beschwerden im Alltag des Radfahrers und nach dem Radtraining.
4. Die Compliance bezüglich der Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen bei Radfahrern mit CVI ist hoch.
5. Der Kompressionsstrumpf ‚Venotrain® champion‘ der Firma Bauerfeind eignet sich für den Alltagsgebrauch und den Einsatz im Radsport.
6. Die Therapie mit medizinischen Kompressionsstrümpfen benötigt einen geringen Zeitaufwand bei hoher Zufriedenheit der Betroffenen.

## 5 Zusammenfassung

Die chronische venöse Insuffizienz (CVI) ist ein häufiges Krankheitsbild und führt in Abhängigkeit ihres Schweregrades zu typischen Symptomen. Von diagnostischer Bedeutung sind die Dopplersonographie, die digitale Photoplethysmographie (DPPG) und die farbkodierte Duplexsonographie (FKDS). Die physikalische Intervention in Form von medizinischen Kompressionsstrümpfen (MKS) ist ein probates Mittel zur Behandlung einer CVI. Durch externe Kompression insuffizienter oberflächlicher Venen werden die Hämodynamik verbessert und dadurch Beschwerden reduziert. Sportliche Aktivität wie intensives Radfahren kann zu einer Verschlechterung der Symptomatik führen. Deshalb sollte während des Sports eine Kompressionstherapie mit MKS durchgeführt werden. Gegenstand dieser Studie war die Frage, ob die Therapie mit MKS einen Einfluss auf die sportliche Leistungsfähigkeit von Radsportlern mit CVI hat. Dazu wurden bei insgesamt 18 männlichen und weiblichen Radfahrer mit CVI sportmedizinische Leistungsmessungen auf dem Fahrradergometer durchgeführt, wobei sowohl der akute als auch der mittelfristige Effekt einer Therapie mit MKS untersucht wurde. Mittels eines Fragebogens wurden subjektive Einschätzungen der Probanden bezüglich des Verhaltens CVI-typischer Beschwerden während des Alltags und nach dem Training, der Compliance, der Eignung des MKS ‚Venotrain® champion‘ der Firma Bauerfeind und allgemein der Lebensqualität abgefragt. Die Auswertung der sportmedizinischen Daten zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich der Parameter ‚Leistung‘, ‚Laktatwert‘ und ‚Herzfrequenz‘ an der aeroben Schwelle (AS) und der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) im Vergleich der Messungen mit und ohne MKS. Auch wurde kein signifikanter Einfluss der venösen Auffüllzeit  $t_0$  auf diese Parameter festgestellt. Die Analyse des Fragebogens ergab eine signifikante Reduktion CVI-typischer Beschwerden im Alltag und nach dem Training. Die Compliance bezüglich der Tragehäufigkeit der MKS war sehr hoch, und es wurde festgestellt, dass sich der verwendete MKS ‚Venotrain® champion‘ der Firma Bauerfeind sowohl für den Alltagsgebrauch als auch den

Einsatz im Radsport sehr gut eignet. Auch wiesen die Probanden unter Therapie eine hohe Lebensqualität auf. Es ist nicht vollständig zu klären, warum kein signifikanter Einfluss der Kompressionstherapie auf die sportliche Leistungsfähigkeit gemessen werden konnte. Fest steht jedoch, dass MKS für Radsportler mit CVI keinen Leistungsnachteil darstellen und unter dem Gesichtspunkt der Venenprotektion während sportlicher Belastung empfohlen werden sollten. Die hohe Compliance bei Radfahrern mit CVI unterstreicht bisher vorhandene Ergebnisse von Untersuchungen an anderen Patientenkollektiven und steht in Zusammenhang mit einer hohen Therapiezufriedenheit und Lebensqualität bei geringem Zeitaufwand. Die Ergebnisse der Untersuchungen decken sich weitgehend mit einer parallel durchgeführten Studie an Läufern. Es ist anzunehmen, dass nicht nur Radfahrer und Läufer, sondern auch Sportler anderer Disziplinen von der Therapie mit MKS profitieren könnten.

## 6 Anhang

### Tübinger Fragebogen zur Erfassung der Lebensqualität

#### 1. Frühere Beschwerden an den Beinen

Auf den folgenden Seiten wird Ihnen eine Liste von Beschwerden vorgegeben, die bei Ihrer Erkrankung oder im Laufe der Behandlung auftreten können. Sie betreffen Ihre Beine und Füße.

Bitte lesen Sie jede Beschwerde und entscheiden Sie zuerst, **ob Sie diese Beschwerde in den letzten sieben Tagen vor Beginn der Kompressionstherapie hatten oder nicht.**

**Wenn Sie eine Beschwerde in den letzten 7 Tagen vor Beginn der Kompressionstherapie nicht hatten, kreuzen Sie bitte "hatte ich nicht" an.**

Bitte beurteilen Sie für jede Beschwerde, die Sie in den letzten 7 Tagen vor Beginn der Kompressionstherapie hatten, **wie sehr Sie darunter gelitten haben.**

		hatte ich nicht	hatte ich in den letzten 7 Tagen, und ich litt darunter				
			gar nicht	etwas	ziemlich	stark	sehr stark
müde Beine	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Spannungsgefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schweregefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Brennen in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stechen in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Taubheitsgefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Überempfindlichkeit an den Beinen bei Berührung	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wärmegefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Sitzen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Auftreten	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Liegen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
schlechter Schlaf wegen meiner Beinbeschwerden	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schwellungen der Beine	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Steifigkeit in den Beingelenken	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					

## 2. Aktuelle Beschwerden

Bitte lesen Sie jede Beschwerde und entscheiden Sie zuerst, **ob Sie diese Beschwerde in den letzten sieben Tagen hatten oder nicht.**

**Wenn Sie eine Beschwerde in den letzten 7 Tagen nicht hatten, kreuzen Sie bitte "hatte ich nicht" an.**

Bitte beurteilen Sie für jede Beschwerde, die Sie in den letzten 7 Tagen hatten, **wie sehr Sie darunter gelitten haben.**

		hatte ich nicht	hatte ich in den letzten 7 Tagen, und ich litt darunter				
			gar nicht	etwas	ziemlich	stark	sehr stark
müde Beine	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Spannungsgefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	nach Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Schweregefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Brennen in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Stechen in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Taubheitsgefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Überempfindlichkeit an den Beinen bei Berührung	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Wärmegefühl in den Beinen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Sitzen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Auftreten	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schmerzen beim Liegen	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
schlechter Schlaf wegen meiner Beinbeschwerden	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Schwellungen der Beine	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					
Steifigkeit in den Beingelenken	im Alltag	<input type="radio"/>					
	nach Training	<input type="radio"/>					

**Bitte beurteilen Sie jetzt die folgende Aussagen für die letzten 7 Tage**

Ich konnte meine Beschwerden gut beeinflussen (Bewegung, Übungen,...)

Ich konnte nichts gegen meine Beschwerden tun

Ich war durch meine Beschwerden in meinem Alltag überhaupt nicht behindert

Ich war durch meine Beschwerden in meinem Alltag sehr behindert

Ich habe mich überhaupt nicht um meine Beschwerden gekümmert

Ich habe mich dauernd mit meinen Beschwerden beschäftigt

Ich habe mir Gedanken/Sorgen gemacht, dass sich meine Beschwerden verschlimmern können

Ich habe mir keine Gedanken darüber gemacht

**3. Globalurteile**

Wenn Sie jetzt noch einmal die letzten 7 Tage insgesamt betrachten, **wie schätzen Sie dann alles in allem Ihren Gesundheitszustand ein?**

**Gesundheitszustand alles in allem**

sehr gut

sehr schlecht

**Wie schätzen Sie in bezug auf die letzten 7 Tage Ihre Lebensqualität alles in allem ein?**

- Bitte beziehen Sie dabei mit ein,
- wie es Ihnen körperlich gegangen ist,
  - wie Ihr seelisches Befinden war,
  - wie Sie in Alltag und Beruf zurechtgekommen sind,
  - wie es Ihnen mit Ihrer Familie und Ihren Freunden ging.

**Lebensqualität alles in allem**

sehr gut

sehr schlecht

**4. Training**

Bitte vergleichen Sie jetzt Ihr Training der letzten 4 Wochen in Bezug auf den zeitlichen Umfang und die Intensität der Einheiten mit Ihrem Training 4 Wochen vor dem ersten Ausdauerleistungstest.

	<b>viel größer</b>	<b>wenig größer</b>	<b>gleich</b>	<b>wenig geringer</b>	<b>viel geringer</b>
Die Intensität der letzten 4 Wochen war	<input type="radio"/>				
Der Umfang der letzten 4 Wochen war	<input type="radio"/>				

Freier Kommentar (nur bei Veränderung des Trainings):

## 5. Beurteilung des Strumpfes

Zur besseren Beurteilung des Strumpfes Venotrain Champion beantworten Sie bitte nachfolgende Fragen:

		<b>gar nicht</b>	<b>etwas</b>	<b>ziemlich</b>	<b>stark</b>	<b>sehr stark</b>
Er gab Ihnen Halt	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er saß bequem	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er erzeugte ein Sicherheitsgefühl	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er ist strapazierfähig	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er war zu eng	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er schnürte die Haut ein	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er rutschte	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Es gab Reaktionen auf das Strumpfband	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				

Er schränkte die Bewegungsfreiheit ein (Faltenbildung an den Gelenken)	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Die Haut trocknete unter ihm aus	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Die Haut schwitzte unter ihm	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er erzeugte ein Kältegefühl	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				
Er störte mich	im Alltag	<input type="radio"/>				
	beim Training	<input type="radio"/>				

Wie häufig haben Sie Ihren Kompressionsstrumpf in den letzten 4 Wochen getragen?

<b>immer</b>	<b>häufig</b>	<b>regelmäßig</b>	<b>selten</b>	<b>nie</b>
<input type="radio"/>				

## 5. Zufriedenheit

Wie erleben Sie die folgenden Auswirkungen Ihrer Erkrankung?

	gar nicht	etwas	mäßig	ziemlich	sehr
Ich bin mit der ärztlichen Betreuung zufrieden	<input type="radio"/>				
Ich bin mit der Wirkung der medizinischen Maßnahmen (Medikamente, Strümpfe usw.) zufrieden	<input type="radio"/>				
Ich bin mit dem Zustand meiner Venenerkrankung zufrieden	<input type="radio"/>				
Ich kann damit umgehen, dass meine Beinerekrankung mein äußeres Erscheinungsbild beeinträchtigt	<input type="radio"/>				
Insgesamt bin ich mit meinen Beinen zufrieden	<input type="radio"/>				
Ich glaube, dass die Strümpfe meine Leistungsfähigkeit verbessern	<input type="radio"/>				
Mich belasten die Beschwerden meiner Beine in meinem Alltagsleben	<input type="radio"/>				

(im Beruf, im Haushalt, in der Freizeit, beim Training und in anderer Bereichen)					
Mich stört der Zeitaufwand, den ich für die Behandlung meiner Beinbeschwerden benötige	<input type="radio"/>				

Was möchten Sie sonst noch berichten?

## 7 Literaturverzeichnis

**Agu, O., Baker, D., Seifalian, A.M.** (2004)

Effect of graduated compression stockings on limb oxygenation and venous function during exercise in patients with venous insufficiency.

Vascular. 12(1): 69-76

**Altenkämper, H., Felix, A., Gericke, H.E., Hartmann, M.** (1991)

Phlebologie für die Praxis 5-133

Walter de Gruyter, Berlin

**Augustin, M., Amon, U., Bullinger, M., Gieler, U.** (2000)

Empfehlungen zur Erfassung von Lebensqualität in der Dermatologie

Dermatol Psychosom. 1: 76-82

**Bauerfeind Phlebologie GmbH & Co.KG** (2004)

**Bays, R.A., Healy, D.A., Atnip, R.G., Neumyer, M., Thiele, B.L.** (1994)

Validation of air plethysmography, photoplethysmography, and duplex ultrasonography in the evaluation of severe venous stasis

J Vasc Surg. 20(5): 721-7

**Belcaro, G., Cesarone, M.R., Shah, S.S., Nicolaides, A.N., Geroulakos, G., Ippolito, E., Winford, M., Lennox, A., Pellegrini, L., Brandolini, R., Myers, K.A., Simeone, E., Bavera, P., Dugall, M., Di Renzo, A., Moia, M.** (2002)

Prevention of edema, flight microangiopathy and venous thrombosis in long flights with elastic stockings. A randomized trial: The LONFLIT 4 Concorde Edema-SSL Study

Angiology. 53(6): 635-45

**Beneke, R., Leithäuser, R.M., Schwarz, V., Heck, H.** (2000)

Maximales Laktat-Steady-State bei Kindern und Erwachsenen

Dtsch Z Sportmed. 51(3): 100-04

**Bernstein, E.F., Fronek, A.** (1982)

Current status of noninvasive tests in the diagnosis of peripheral arterial disease

Surg Clin North Am. 62(3): 473-87

**Berry, M.J., McMurray, R.G.** (1987)

Effects of graduated compression stockings on blood lactate following an exhaustive bout of exercise

Am J Phys Med. 66(3): 121-32

**Berry, M.J., Bailey, S.P., Simpkins, L.S., TeWinkle, J.A.** (1990)

The effects of elastic tights on the post-exercise response

Can J Sport Sci. 15(4): 244-8

**Blättler, W., Blättler I.K. (2001)**

Methods of and compliance with leg compression for the treatment of symptoms of acute deep venous thrombosis – a feasibility study  
Phlebol. 30: 145-9

**Blickensdörfer, H. (1997)**

Tour de France. Mythos und Geschichte eines Radrennens  
Sigloch Edition, Künzelsau

**Boehringer Ingelheim Pharma KG, Vertriebslinie Thomae (2000)**

**Boldt, F., Berbalk, A., Halle, M., Hoffmann, G., Löllgen, H., Schmidt, A., Trucksäß, A., Urhausen, A., Völker, K., Zurstege, M. (Federführend: Löllgen, H.) (2002)**

Leitlinien zur Belastungsuntersuchung in der Sportmedizin  
Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (Deutscher Sportärztebund) e.V.

**Bringmann, W. (1986)**

Die kardiovaskuläre Adaptation für Prävention und Therapie  
Medizin und Sport 26: 162-7

**Bromen, K., Pannier-Fischer, F., Stang, A., Rabe, E., Bock, E., Jöckel, K.H. (2004)**

Lassen sich geschlechtsspezifische Unterschiede bei Venenerkrankungen durch Schwangerschaften und Hormoneinnahme erklären?  
Gesundheitswesen. 66, 170-4

**Busse, R. (2000)**

Gefäßsystem und Kreislaufregulation 498-560  
in: Schmidt, R., F., Thews, G., Lang, F. (Hrsg.): Physiologie des Menschen  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

**Campbell, W.B., Halim, A.S., Aertssen, A., Ridler, B.M., Thompson, J.F., Niblett, P.G. (1996)**

The place of duplex scanning for varicose veins and common venous problems  
Ann R Coll Surg Engl. 78(6): 490-3

**Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A.C., Keizer, H.A., Jeukendrup, A., Hesselink, M. (1992)**

A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds  
Int J Sports Med. 13(7): 518-22

**Chicharro, J.L., Perez, M., Vaquero, A.F., Lucia, A., Legido, J.C. (1997)**

Lactic threshold vs ventilatory threshold during a ramp test on a cycle ergometer  
J Sports Med Phys Fitness. 37(2): 117-21

- Coen, B., Urhausen, A., Kindermann, W. (2001)**  
Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running  
Int J Sports Med. 22(1): 8-16
- Dickhuth, H.H., Yin, L., Niess, A., Röcker, K., Mayer, F., Heitkamp, H.C., Horstmann, T. (1999)**  
Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility  
Int J Sports Med. 1999 Feb;20(2):122-7
- Dickhuth, H.H. (2000)**  
Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin 193-255  
Hofmann, Schorndorf
- Diehm, C., Trampisch, H.J., Lange, S., Schmidt, C. (1996)**  
Comparison of leg compression stocking and oral horse-chestnut seed extract therapy in patients with chronic venous insufficiency  
Lancet. 347(8997): 292-4
- Ebio® plus der Firma Eppendorf, Wesseling-Berzdorf, Deutschland**  
(Bedienungsanleitung )
- El-Sayed, M.S. (1998)**  
Effects of exercise and training on blood rheology  
Sports Med. 26(5): 281-92
- Ernst, E., Sturmvoll, M., Matrai, A. (1987)**  
Blutrheologie bei Ausdauertrainierten  
Dtsch Z Sportmed 38 (Sonderheft): 47-50
- Evans C.J., Fowkes F.G., Ruckley C.V., Lee A.J. (1999)**  
Prevalence of varicose veins and chronic venous insufficiency in men and women in the general population: Edinburgh Vein Study.  
J Epidemiol Community Health. 53(3):149-53
- Fischer, H. (Hrsg.) (1981)**  
Venenleiden – eine repräsentative Untersuchung in der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland (Tübinger Studie)  
Urban & Schwarzenberg, München
- Flügge, C., Hollmann, W., Hettinger, T., Rüter, E. (1971)**  
Über den Einfluß einer längeren Benutzung von Kompressionsstrümpfen auf die Kraft der Beinmuskulatur  
Sportarzt und Sportmedizin. 12: 287-90

**Flügge, C., Schramme, C., Hettinger, T., Hollmann, W. (1976)**  
Über den Trainingseinfluß auf die statische Kraft der Beinmuskulatur bei Tragen  
eines Kompressionsstrumpfes  
Phlebologie und Proktologie. 1: 6-13

**Föhrenbach, R., Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Vellage, E., Hollmann, W. (1984)**  
Wettkampf- und Trainingssteuerung von Marathonläuferinnen und -läufern  
mittels leistungsdiagnostischer Felduntersuchungen  
in: Franz, I.-W., Mellerovicz, H., Noack, W. (Hrsg.): Training und Sport zur  
Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt, Deutscher  
Sportärztekongress, Berlin, 27.-29. 09 1984  
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo

**Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D., Emrich, E., Coen, B. (2003)**  
Metabolische und kardiovaskuläre Beanspruchung bei spezifisch trainierten und  
untrainierten Männern im Kraftausdauertraining  
Dtsch Z Sportmed. 54(12): 355-60

**Gallenkemper, G., Bulling, B.J., Kahle, B., Klüken, N., Lehnert, W., Rabe, E., Schwahn-Schreiber, Chr. (1996)**  
Leitlinien zur Diagnostik und Therapie des Ulcus cruris venosum  
Phlebol. 25: 254-8

**Gallenkemper, G., Bulling, B.J., Gerlach, H., Jünger, M., Kahle, B., Klüken, N., Lehnert, W., Rabe, E., Schwahn-Schreiber, Chr. (2000)**  
Leitlinien zur Diagnostik und Therapie der Chronischen Venösen Insuffizienz  
(CVI). Aktualisierte Fassung  
Phlebol. 4: 102-5

**Gottschalk, K., Israel, S. (1986)**  
Die Bedeutung des Sports für die Prävention und Therapie von  
Venenerkrankungen  
Medizin und Sport 26: 140

**Graham, A.A. (1996)**  
Plethysmography: safety, effectiveness, and clinical utility in diagnosing  
vascular disease.  
Health Technol Assess (Rockv). 7: 1-46

**Grotewohl, J.H. (2002)**  
Angewandte Phlebologie: Lehr- und Handbuch für Praxis und Klinik 1-236  
Schattauer Verlag, Stuttgart, New York

**Harms, V. (1998)**  
Biomathematik, Statistik und Dokumentation 9-235  
Harms Verlag, Kiel-Mönkeberg

**Heck, H.** (1990)

Laktat in der Leistungsdiagnostik  
Hofmann Verlag, Schorndorf, Deutschland

**Hill, A.V., Lupton, H.** (1923)

Muscular exercise, lactic acid and the supply of and utilization of oxygen  
Quart J Med. 16: 135-71

**Hollmann W.** (1985)

Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966.  
Int J Sports Med. 6(3): 109-16

**Hollmann, W., Hettinger, T.** (2000)

unter Mitarbeit von Strüder, H.K.  
Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin 339-41  
Schattauer Verlag, Stuttgart, New York

**Ivkov-Simic, M., Duran, V., Matic, M., Gajinov, Z., Jovanovic, M., Matovic, L.** (2001)

Chronic venous insufficiency and compression therapy  
Med Pregl. 54(1-2): 69-74

**Jantet, G.** (2002)

Chronic venous insufficiency: worldwide results of the RELIEF study. Reflux assessment and quality of life improvement with micronized flavonoids  
Angiology. 53(3): 245-56

**Johnston, K.W., Hosang, M.Y., Andrews, D.F.** (1987)

Reproducibility of noninvasive vascular laboratory measurements of the peripheral circulation  
J Vasc Surg. 6(2): 147-51

**Jonker, M.J., Boer, E.M. de, Ader, H.J., Bezemer, P.D.** (2001)

The oedema-protective effect of Lycra support stockings  
Dermatology. 203(4): 294-8

**Jünger, M., Steins, A., Zuder, D., Klyscz, T.** (1998)

Physikalische Therapie bei Venenerkrankungen  
Vasa. 27: 73-9

**Jünger, M., Steins, A., Hahn, M., Häfner, H.M.** (2000)

Microcirculatory dysfunction in chronic venous insufficiency (CVI)  
Microcirculation. 7(6 Pt 2): 3-12

**Kahn, S.R., Elman, E., Rodger, M.A., Wells, P.S. (2003)**  
Use of elastic compression stockings after deep venous thrombosis: a comparison of practices and perceptions of thrombosis physicians and patients  
J Thromb Haemost. 1(3): 500-6

**Kahn, S.R., M'lan, C.E., Lamping, D.L., Kurz, X., Berard, A., Abenham, L.A.; VEINES Study Group. (2004)**  
Relationship between clinical classification of chronic venous disease and patient-reported quality of life: results from an international cohort study  
J Vasc Surg. 39(4): 823-8

**Kemmler, J.C. (2005)**  
Einfluss der Kompressionstherapie bei Läufern mit nachgewiesener Klappeninsuffizienz der Hautstammvenen auf Leistungsvermögen und Laktat Spiegel  
Med. Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen

**Keul, J. et al. (1979)**  
Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung  
Dtsch Z Sportmed. 7: 212-16

**Kindermann, W., Simon, G., Keul, J. (1979)**  
The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training.  
Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 42(1): 25-34

**Klews, P.M. (1993)**  
Einführung in die farbkodierte Duplexsonographie 1-13  
Physik und Technik der farbkodierten Duplexsonographie 248-95  
in: Wolf, K.J., Fobbe, F.: Farbkodierte Duplexsonographie : Grundlagen und klinische Anwendung  
Thieme Verlag, Stuttgart, New York

**Klüken, H., Voiß, P., Gallenkemper, G., Höller, T., Rabe, E. (1999)**  
Akzeptanz verschiedener Therapieformen in der Phlebologie  
Phlebol. 28: 169-74

**Klyscz, T., Jünger, M. (1996)**  
Aktiv gegen Venenleiden  
Falken, Niedernhausen/Ts, Deutschland

**Klyscz, T., Galler, S., Steins, A., Zuder, D., Rassner, G., Jünger, M. (1997 a)**  
Einfluß einer Kompressionstherapie auf die Mikrozirkulation der Haut bei Patienten mit chronisch venöser Veneninsuffizienz  
Hautarzt. 48: 806-11

**Klyscz, T., Jünger, M., Junger, I., Hahn, M., Steins, A., Zuder, D., Rassner, G.** (1997 b)

Gefäßsport zur ambulanten Therapie venöser Durchblutungsstörungen der Beine

Hautarzt. 48(6): 384-90

**Klyscz, T., Jünger, M., Schanz, S., Janz, M., Rassner, G., Kohnen, R.** (1998)

Quality of life in chronic venous insufficiency (CVI). Results of a study with the newly developed Tübingen Questionnaire for measuring quality of life of patients with chronic venous insufficiency

Hautarzt. 49(5): 372-81

**Koolman, J., Röhm, K.H.** (1997)

Taschenatlas der Biochemie 316-23

Thieme Verlag, Stuttgart, New York

**Korlaar, I. van, Vossen, C., Rosendaal, F., Cameron, L., Bovill, E., Kaptein, A.** (2003)

Quality of life in venous disease

Thromb Haemost. 90(1): 27-35

**Kügler, Ch., Strunk, M., Rudofsky, G.** (1999)

Bedeutung einer eingeschränkten Gelenkbeweglichkeit für den Blutabstrom aus gesunden Beinvenen

Phlebol. 28, 16-22

**Kurz, X., Lamping, D.L., Kahn, S.R., Baccaglini, U., Zuccarelli, F., Spreafico, G., Abenhaim, L.; VEINES Study Group.** (2001)

Do varicose veins affect quality of life? Results of an international population-based study

J Vasc Surg. 34(4): 641-8

**Laursen, P.B., Shing, C.M., Peake, J.M., Coombes, J.S., Jenkins, D.G.** (2002)

Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists

Med Sci Sports Exerc. 34(11): 1801-7

**Lepantalo, M., Lindfors, O., Pekkola, P.** (1983)

The ankle/arm systolic blood pressure ratio as a screening test for arterial insufficiency in the lower limb

Ann Chir Gynaecol. 72(2): 57-61

**Lindsay, F.H., Hawley, J.A., Myburgh, K.H., Schomer, H.H., Noakes, T.D., Dennis, S.C.** (1996)

Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training

Med Sci Sports Exerc. 28(11): 1427-34

- Loat, C.E., Rhodes, E.C.** (1993)  
Relationship between the lactate and ventilatory thresholds during prolonged exercise  
Sports Med. 15(2): 104-15
- Löffler, G.** (2000)  
Basiswissen Biochemie mit Pathobiochemie 643-61  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Löllgen, H.** (Hrsg.) (1995)  
Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis 33-427  
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- Mader et al.** (1976)  
Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor  
Sportarzt und Sportmedizin 27: 80-8; 109-12
- Marées, H. de** (2002)  
Bearb.: Heck, H., Bartmus, U.  
Sportphysiologie 437-83  
Sport und Buch Strauss, Köln
- Matic, M., Duran, V., Ivkov-Simic, M., Poljacki, M., Gajinov, Z., Begenisic, M.** (2000)  
Microcirculatory changes in chronic venous insufficiency  
Med Pregl. 53(11-12): 579-83
- Mayberry, J.C., Moneta, G.L., Taylor, L.M. Jr., Porter, J.M.** (1991)  
Fifteen-year results of ambulatory compression therapy for chronic venous ulcers  
Surgery. 109(5): 575-81
- McMullin, G.M., Coleridge-Smith, P.D.** (1992)  
An evaluation of Doppler ultrasound and photoplethysmography in the investigation of venous insufficiency  
Aust N Z J Surg. 62(4): 270-5
- Mieke, S., Schade, T.** (Hrsg.) (2002)  
Leitfaden zu messtechnischen Kontrollen von Medizinprodukten mit Messfunktion (LMKM) 2.1 Ausgabe, Teil 1  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Medizinische Messtechnik
- Mosti, G., Labichella, M.L., Picerni, P., De Marco, G.** (2000)  
Quantification of venous reflux by means of some duplex scanner and light reflection rheography parameters and its correlation with chronic venous insufficiency symptoms  
Minerva Cardioangiol. 48(11): 331-9

**Mutton, D.L., Loy, S.F., Rogers, D.M., Holland, G.J., Vincent, W.J., Heng, M.** (1993)

Effect of run vs combined cycle/run training on VO<sub>2</sub>max and running performance

Med Sci Sports Exerc. 25(12): 1393-7

**Onorati, D., Rossi, G.G., Idiazabal, G.** (2003)

Effect of elastic stockings on edema related to chronic venous insufficiency. Videocapillaroscopic assessment

J Mal Vasc. 28(1): 21-3

**Partsch, H.** (1985)

Pathogenesis of the venous leg ulcer

Hautarzt. 36(4):196-202

**Peschen, M., Thimm, C., Lüchtenberg, V., Keul, J., Vanscheidt, W.** (1996)

Varizen und Leistungssport

Phlebol. 25: 100-3

**Pfitzinger, P., Freedson, P.S.** (1998)

The reliability of lactate measurements during exercise

Int J Sports Med. 19(5): 349-57

**Platen, P.** (2001)

Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit 48-66

in: Rost, R. (Hrsg.): Lehrbuch der Sportmedizin

Dt. Ärzte-Verlag, Köln

**Pschyrembel** (1998)

Klinisches Wörterbuch; 258. neu bearbeitete Auflage

Walter de Gruyter, Berlin

**Rabe, E., Gerlach, H.E.** (Hrsg.) (2000)

Praktische Phlebologie : Empfehlungen zur differenzierten Diagnostik und Therapie phlebologischer Krankheitsbilder 1-119

Thieme Verlag, Stuttgart, New York

**Rabe, E.** (Hrsg.) (2003 a)

Grundlagen der Phlebologie 17-348

Viavital Verlag, Köln

**Rabe, E., Pannier-Fischer, F., Bromen, K., Schuldt, K., Stang, A., Poncar, Ch., Wittenhorst, M., Bock, E., Weber, S., Jöckel, K.H.** (2003 b)

Bonner Venenstudie der Deutschen Gesellschaft für Phlebologie

Phlebol.32, 1-14

- Recek C.** (2004)  
The venous reflux  
Angiology. 55(5): 541-8
- Röcker, K., Niess, A., Heitkamp, H.C., Horstmann, T., Mayer, F., Dickhuth, H.H.** (1995)  
Die Bestimmung der Dauerleistungsgrenze im Laufbandmehrstuftentest:  
Statistische Bewertung von Routineuntersuchungen  
in: Kindermann, W., Schwarz, K. (Hrsg.): Bewegung und Sport – eine  
Herausforderung für die Medizin  
Verlag Ciba-Geigy, Wehr
- Röcker, K., Schotte, O., Niess, A., Heitkamp, H.C., Dickhuth, H.H.** (1997)  
Laufbandtestdaten und Wettkampfprognosen für den Langstreckenlauf  
Dtsch Z Sportmed. 48: 315-23
- Röcker, K., Schotte, O., Niess, A.M., Horstmann, T., Dickhuth, H.H.** (1998)  
Predicting competition performance in long-distance running by means of a  
treadmill test  
Med Sci Sports Exerc. 30(10): 1552-7
- Röcker, K., Niess, A.M., Horstmann, T., Striegel, H., Mayer, F., Dickhuth, H.H.** (2002)  
Heart rate prescriptions from performance and anthropometrical characteristics  
Med Sci Sports Exerc. 34(5): 881-87
- Röcker, K., Striegel, H., Dickhuth, H.H.** (2003)  
Heart-Rate recommendations: Transfer between running and cycling exercise?  
Int J Sports Med. 24(3): 173-8
- Röcker, K.** (2004)  
Ergonizer© - Sportmedizinische Analysesoftware für Laktatleistungsdiagnostik  
Version 2.2.3  
www.ergonizer.de
- Ruff, D.** (2003)  
Doppler assessment: calculating an ankle brachial pressure index  
Nurs Times. 99(42): 62-5
- Sandor, T.** (2004)  
Pathomechanism of chronic venous insufficiency and leg ulcer  
Acta Physiol Hung. 91(2): 131-45
- Schall, K.** (2000)  
Validierung des Tübinger Lebensqualitätsfragebogens (TLQ-CVI-97) durch  
vergleichende Untersuchungen bei Patienten mit chronischer Veneninsuffizienz,  
Neurodermitis und Coxarthrose  
Univ. Diss., Universitätshautklinik Tübingen

- Schauer, J., Schleußing, G., Voigt, H. (1990)**  
Bewegungstherapie bei Herz-Kreislauf- und Lungenkrankheiten  
J. A. Barth, Leipzig, Deutschland
- Schneider, D.A., McGuiggin, M.E., Kamimori, G.H. (1992)**  
A comparison of the blood lactate and plasma catecholamine thresholds in untrained male subjects  
Int J Sports Med. 13(8): 562-6
- Schultheiss, R., Billeter, M., Bollinger, A., Franzeck, U.K. (1997)**  
Comparison between clinical examination, cw-Doppler ultrasound and colour-duplex sonography in the diagnosis of incompetent perforating vein  
Eur J Vasc Endovasc Surg. 13(2): 122-6
- Schultz-Ehrenburg, U., Blazek, V. (2001)**  
Value of quantitative photoplethysmography for functional vascular diagnostics. Current status and prospects  
Skin Pharmacol Appl Skin Physiol. 14(5): 316-23
- Schwarz, M., Schwarz, L., Urhausen, A., Ebersol, A., Kindermann, W. (2001)**  
Vergleich des Beanspruchungsprofils beim Walking, Jogging und bei der Fahrradergometrie bei unterschiedlich leistungsfähigen Personen  
Dtsch Z Sportmed. 52(4): 136-41
- Simon, G., Berg, A., Dickhuth, H.H., Simon-Alt, A., Keul, J. (1981)**  
Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit von Alter und von der Leistungsfähigkeit  
Dtsch Z Sportmed. 32: 7-14
- Sjodin, B., Jacobs, I. (1981)**  
Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance  
Int J Sports Med. 2(1): 23-6
- Somjen, G.M., Royle, J.P., Tong, Y., MacLellan, D.G. (1993)**  
Duplex scanning and light reflection rheography in the assessment of the severity of short saphenous vein incompetence  
J Dermatol Surg Oncol. 19(7): 635-8
- Stegmann, H., Kindermann, W., Schnabel, A. (1981)**  
Lactate kinetics and individual anaerobic threshold  
Int J Sports Med. 2: 160-65
- Steins, A., Jünger, M. (2000)**  
Physical therapy in patients with chronic venous insufficiency  
Phleb. 29: 48-53

**Sterry, W., Paus, R.** (1999)  
Checkliste Dermatologie 537-48  
Thieme Verlag, Stuttgart, New York

**Stiegler, H., Rotter, G., Standl, R., Mosavi, S., Kooten, H.J. von, Weichenhain, B., Baumann, G.** (1994)  
Value of color duplex ultrasound in diagnosis of insufficiency of perforant veins.  
A prospective study of 94 patients  
Vasa. 23(2): 109-13

**Stöberl, C., Gabler, S., Partsch, H.** (1989)  
Indikationsgerechte Bestrumpfung – Messung der venösen Pumpfunktion  
Vasa. 18: 35-9

**Strölin, A., Jünger, M.** (2004)  
Möglichkeiten der physikalischen Therapie bei Venenerkrankungen  
Phlebol. 33: 206-10

**Tan, K.H., De Cossart, L., Edwards, P.R.** (2000)  
Exercise training and peripheral vascular disease  
Br J Surg. 87(5): 553-62

**Thulesius, O.** (1996)  
The venous wall and valvular function in chronic venous insufficiency  
Int Angiol. 15(2):114-8

**Vayssairat, M., Ziani, E., Houot, B.** (2000)  
Placebo controlled efficacy of class 1 elastic stockings in chronic venous insufficiency of the lower limbs  
J Mal Vasc. 25(4): 256-62

**Venerando, A., Pellicia, A.** (1983)  
Physiological adaption of the venous system in sportsmen  
J Sports Medicine. 23(1): 1-7

**Wassermann, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N., Beaver, W.L.** (1973)  
The anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise  
J Appl Physiol. 35: 236-43

**Weidinger, P., Bachl, N.** (1987)  
Therapie der Venopathien durch Gefäßtraining  
Dtsch Z Sportmed. (Sonderheft) 38: 60-9

**Weiss, R.A.** (1993)  
Evaluation of the venous system by Doppler ultrasound and photoplethysmography or light reflection rheography before sclerotherapy  
Semin Dermatol. 12(2): 78-87

**Werner, E.** (2001)

Sporttherapie mit präventiven Venensportgruppen am Wohnort  
Dissertation, Heidelberg

**Wienert, V., Waldermann, F., Zabel, M., Rabe, E., Jünger, M.** (2004 a)

Leitlinie: Medizinischer Kompressionsstrumpf  
Phlebol. 33: 139-44

**Wienert, V., Waldermann, F., Zabel, M., Rabe, E., Jünger, M.** (2004 b)

Leitlinien zum Medizinischen Kompressionsstrumpf (MKS)  
AWMF Leitlinienregister Nr. 037/004 Entwicklungsstufe 1

**Wills, V., Moylan, D., Chambers, J.** (1998)

The use of routine duplex scanning in the assessment of varicose veins  
Aust N Z J Surg. 68(1): 41-4

**www.MTB-News.de** (2003)

**www.pero-system.de** (2004)

**Zintl, F., Eisenhut, A.** (2001)

Ausdauertraining – Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung 111-96  
BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich

## Danksagung

Herrn PD Dr. med. Matthias Möhrle möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas dieser Dissertation und die hilfreiche Unterstützung herzlichen Dank sagen.

Ich danke meinem Freund, Herrn cand. med. Johannes Kemmler, für die tolle Zusammenarbeit bei den vielen Aufgaben, die wir meistern mussten.

Frau PD. Dr. med. Anke Strölin, Herrn Dr. med. Hans-Martin Häfner, sowie allen Ärzten und Mitarbeitern der angiologischen Ambulanz der Hautklinik gilt mein Dank für ihre Hilfe, ohne die diese Dissertation nie entstanden wäre.

Dank sagen möchte ich Herrn Dr. med. Christian Venter und Herrn PD Dr. med. Hans-Christian Heitkamp für ihre kompetente und unkomplizierte Hilfe bei allen sportmedizinischen Fragen, ebenso allen Mitarbeitern der Abteilung Sportmedizin der Medizinischen Klinik für die Einarbeitung in die Praxis der Belastungsuntersuchungen und ihre große Geduld mit uns.

Für die Beratung bei der statistischen Auswertung herzlichen Dank an Herrn Dr. rer. nat. Dipl.-Biol. Martin Eichner und Herrn Dr. med. Hans-Martin Häfner.

Herzlichen Dank meiner Verlobten, Kathrin Buck, und meiner Mutter für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern für die großzügige Unterstützung während meines Studiums, die diese Dissertation erst ermöglichte.

Für die Übernahme der Zweitkorrektur danke ich Herrn Professor Dr. med. Andreas Nieß sehr herzlich.

## Lebenslauf

Matthias Rauschenbach

02.11.1979	geboren in Tübingen. Eltern Wolfgang Rauschenbach (Lehrer) und Dorothee Rauschenbach (Lehrerin)
1986-1990	Besuch der Freien Evangelischen Schule Reutlingen
1990-1999	Besuch des Isolde-Kurz-Gymnasiums Reutlingen
22.06.1999	Abitur
1999 - 2000	Zivildienst beim Deutschen Roten Kreuz in Tübingen und Ausbildung zum Rettungssanitäter
seit WS 00/01	Studium der Humanmedizin an der Eberhard Karls Universität Tübingen
16.09.2002	Ärztliche Vorprüfung
23.09.2003	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
2003 – 2005	Famulaturen auf den Gebieten Innere Medizin (Reutlingen), Allgemeinmedizin (Gomaringen), Chirurgie (Hechingen, Aira (Äthiopien))
13.09.2005	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
24.10.2005 – 24.09.2006	Student im Praktischen Jahr am Klinikum am Steinenberg Reutlingen
07.11.2006	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung