

# Forum

PIA RUDACK, LOTHAR THORWESTEN & KLAUS VÖLKER

## Fitnessstraining – Aktuelle sportmedizinische Untersuchungen

Die positive Wirkung des Ausdauertrainings auf fitness- und gesundheitsrelevante Faktoren ist hinlänglich bekannt (Ballor & Kessey, 1991; Haskell, 1985; ACSM, 1990). Entscheidend für die Effektivität ist neben der Art der Belastung die Intensität und Dauer. Ein dreimal wöchentlich mindestens zwanzigminütiges Ausdauertraining bei etwa 50 bis 85% der maximalen Sauerstoffaufnahme führt in Abhängigkeit vom Fitnesszustand des Trainierenden zu einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Hingegen reichen für die Beeinflussung gesundheitsrelevanter Faktoren häufig niedrigere Belastungsintensitäten aus, wobei allerdings die Trainingsfrequenz zunehmen sollte (ACSM 1993 und 1998).

Als Alternative zu den bekannten Ausdauersportarten wie Laufen, Radfahren und Schwimmen werden seit einigen Jahren innovative Fitnesssportarten und entsprechende Geräte angeboten. Versprochen wird meist ein Ganzkörpertraining und eine höhere Effektivität, was zu einer Stärkung des Herzkreislauf-Systems und des Bewegungsapparates führen soll. Fraglich bleibt jedoch, ob ein Training auf diesen Geräten zu ähnlichen Trainingseffekten wie bei den herkömmlichen Ausdauersportarten führt. Die nachfolgenden Untersuchungen stellen anhand von hämodynamischen und metabolischen Belastungsparametern die Belastungsstruktur des Trainings auf verschiedenen Ausdauertrainingsgeräten (vgl. Abb. 1) im Vergleich zum Laufband und Fahrradergometer dar.



Abb. 1. Cardiofitnessgeräte Moonwalker (Fa. Bremshey<sup>1</sup>), Crosstrainer („Orbit“, Fa. Bremshey) und Minitrampolin

### Cardiofitnessgerät Moonwalker

Das Heimtrainingsgerät Moonwalker besteht aus zwei Schwungelementen, die eine freischwebenden Vor- und Rückwärtsbewegung ermöglichen. Eine Belastungssteigerung kann über die Zunahme der Bewegungsfrequenz sowie der Bewegungsamplitude erreicht werden.

Innerhalb eines Stufentests wurden die hämodynamischen und metabolischen Reaktionen auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz mit denen auf dem Laufband bei gleicher Bewegungsfrequenz und annähernd gleicher Belastung verglichen (vgl. Tab. 1). Es fand eine kontinuierliche Aufzeichnung der spirometrischen Parameter sowie der Herzfrequenz statt, Laktat wurde am Ende der jeweiligen Belastungsstufe bestimmt.

Tab. 1. Belastungsstufen auf dem Moonwalker und Laufband. Dargestellt sind die jeweilige Bewegungsfrequenz [ $S \text{ min}^{-1}$ ] sowie die korrespondierende Laufbandgeschwindigkeit [ $m \text{ s}^{-1}$ ] bei einer Bewegungsamplitude von 60 cm auf dem Moonwalker.

	Belastungsstufe					
Taktfrequenz [ $S \text{ min}^{-1}$ ]	108	120	132	144	160	176
Geschwindigkeit [ $m \text{ s}^{-1}$ ]	1,18	1,32	1,45	1,58	176	1,93

Beim Vergleich der drei Geräte konnten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktat ermittelt werden. Dabei zeigten alle drei Parameter bei der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz die höchsten Werte. Insgesamt konnten folgende Werte ermittelt werden: Sauerstoffaufnahme zwischen 28 und 75% der  $VO_{2 \text{ max}}$ , Herzfrequenz zwischen 50 und 79% der  $Hf_{\text{max}}$  und Laktat zwischen 1,01 und 2,78  $\text{mmol l}^{-1}$  (vgl. Abb. 2).

Anhand der vorliegenden hämodynamischen und metabolischen Werte kann die Belastung auf dem Moonwalker mit einer forcierten Gehbewegung verglichen werden. Insgesamt ist das Belastungsspektrum auf dem Moonwalker als leicht bis moderat einzustufen (Bouchard, 1990; ACSM, 1998). Der Intensitätssprung bei höherer Bewegungsfrequenz ist in erster Linie durch hohe koordinative Anforderungen bestimmt (McArdle, Katch & Katch, 1994; Hollmann & Hettinger, 1990) und kann nur kurzzeitig oder gar nicht von den Trainierenden geleistet werden kann. Der verfügbare Intensitätsbereich liegt für Trainingsadaptationen zu niedrig und selbst für gesundheitliche Anpassungen am unteren Rand der Effektivität. Zusätzlich ist die Belastungsabstufung nur eingeschränkt möglich. Adaptation im fitness- und gesundheitsorientierten Bereich sind nur bei leistungsschwachen bzw. älteren Trainierenden erwarten.

### Cardiofitnessgerät Crosstrainer

Der Crosstrainer wird als Heimtrainings- und Fitnessstudiotrainingsgerät angeboten. Mittlerweile findet man auch Kursprogramme ähnlich dem Indoor-Cycling. Die

1 Bremshey Vertriebs GmbH Solingen, Deutschland.

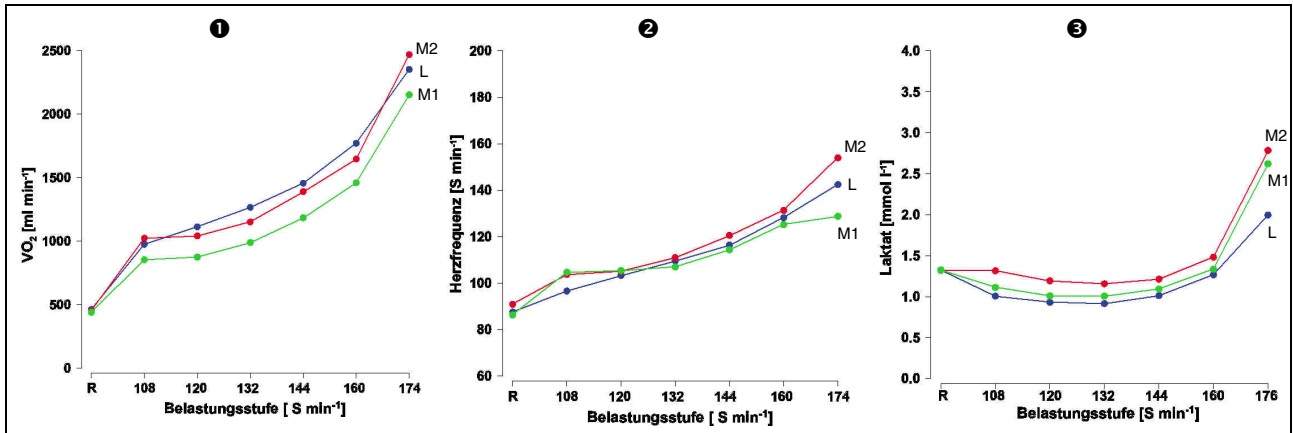


Abb. 2. Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktat der jeweiligen Belastungsstufen auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Laufband. Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte von Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktat bei den unterschiedlichen Belastungen [M1: Moonwalker ohne Armeinsatz; M2: Moonwalker mit Armeinsatz; L: Laufband]

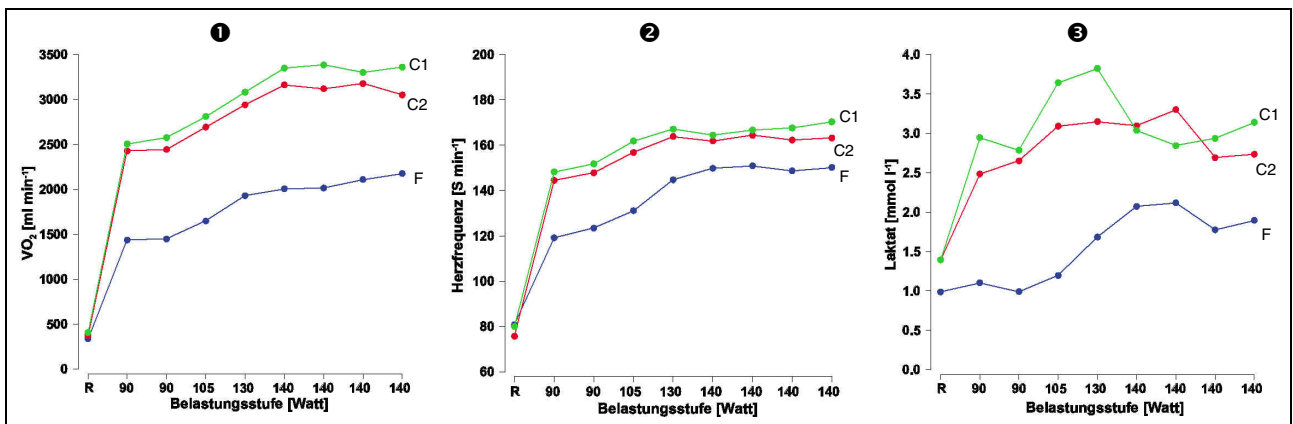


Abb. 3. Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktat der jeweiligen Belastungsstufen auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Fahrradergometer. Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte von Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktat bei den unterschiedlichen Belastungen [C1: Crosstrainer ohne Armeinsatz; C2: Crosstrainer mit Armeinsatz; F: Fahrradergometer]

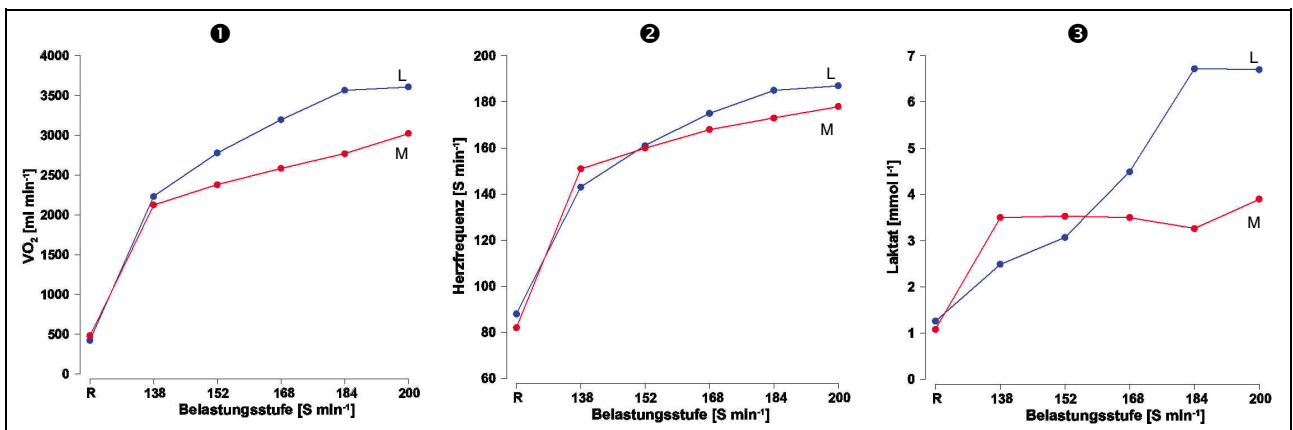


Abb. 4. Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktat der jeweiligen Belastungsstufen auf dem Minitrampolin und Laufband. Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte von Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktat bei den unterschiedlichen Belastungen [M: Minitrampolin; L: Laufband]

Bewegung der Beine folgt einer elliptischen Bahn und kann durch den Einsatz der Arme unterstützt werden. Die Belastungsabstufung erfolgt über eine Magnetbremse, es stehen acht Einstellungen zur Verfügung.

In Anlehnung an die vorgegebenen Stufen des Crosstrainers wurden ein Stufentest ohne und mit Armeinsatz sowie ein Fahrradstufentest bei gleicher Leistung vorge-

nommen. Hierbei zeigte sich, dass sich bei dem untersuchten Gerätetyp die Stufen 1 und 2 und 5 bis 8 nicht unterschieden, so dass aus den eigentlich acht vorhandenen Stufen letztlich nur vier Stufen eine Belastungsänderung aufwiesen (vgl. Tab. 2). Die Parameter Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz wurden kontinuierlich aufgezeichnet, die Laktatabnahme erfolgte am Ende jeder Belastungsstufe.

Tab. 2. Belastungsstufen auf dem Crosstrainer „Orbit“ und Fahrradergometer. Dargestellt ist die jeweilige Leistung [W] auf den einzelnen Belastungsstufen.

Belastungsstufen [Watt]							
90	90	105	130	140	140	140	140

Während zwischen der Belastung ohne und mit Armeinsatz keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktat festgestellt werden konnte, zeigten sich beim Vergleich mit dem Fahrradergometer auf allen Belastungsstufen signifikante Mittelwertunterschiede. Die Belastung auf dem Crosstrainer lag zwischen 60 und 75% der  $VO_2\text{max}$  und 74 und 87% der  $Hf_{\text{max}}$ , die Laktatwerte bewegten sich zwischen 2,95 und 4,10 mmol l<sup>-1</sup>. Deutlich niedrigere Werte ließen sich bei allen Parametern auf dem Fahrradergometer erkennen.

Das Belastungsniveau auf dem Crosstrainer bewegt sich zwischen moderat und schwer (Bouchard, 1990; ACSM, 1998). Obwohl die Belastung mit Armeinsatz leicht niedrigere Werte erkennen lässt, ist sie in Hinblick auf die Involvierung einer möglichst großen Muskelmasse diese Variante vorzuziehen. Der zu erwartende deutliche Unterschied zur Belastung auf dem Fahrradergometer ergibt sich aus den verschiedenen Körperpositionen (stehend und sitzend) und des daraus resultierenden muskulären Beanspruchungsprofil (Li & Caldwell, 1998; Tanaka et al., 1996). Ebenso ist aber auch ein Einfluss der elliptischen Laufbahn denkbar, hierzu konnte jedoch keine Bestätigung in der Literatur gefunden werden. Die erreichten hämodynamischen und metabolischen Belastungswerte deuten darauf hin, dass beim Crosstrainer-Training sowohl gesundheits- als auch fitnessrelevante Adaptationen möglich sind. Diese Art von Fitnessstraining kann also als Alternative zu klassischen Ausdauersportarten betrachtet werden. Aufgrund der wenig differenzierten Abstufbarkeit des im Test benutzten Gerätes, scheint dies für Untrainierte eher ungeeignet ist. Technisch höherwertige Geräte, wie Sie etwa im Fitnessstudiobereich Anwendung finden, scheinen dieser Einschränkung nicht zu unterliegen.

**Cardiofitnessgerät Minitrampolin (Rebounding)**

Das Minitrampolin wird sowohl als Heimtrainingsgerät als auch innerhalb von Bewegungsprogrammen im Fitnessstudio verwendet. Eine Leistungssteigerung kann bei diesem Gerät zum einen über die Bewegungsamplitude (kleiner oder großer Kniewinkel) zum anderen über die Bewegungsfrequenz erfolgen.

Innerhalb der vorliegenden Untersuchung wurde die Leistungssteigerung auf dem Minitrampolin und dem Vergleichsgerät Laufband über die Steigerung der Bewegungsfrequenz erreicht (vgl. Tab. 3). Der Kniewinkel orientierte sich an dem der Laufbewegung und wurde auf dem Minitrampolin auf allen Stufen konstant gehalten. Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz wurden kontinuierlich aufgezeichnet, die Laktatabnahme erfolgte am Ende jeder Belastungsstufe.

Tab. 3. Belastungsstufen auf dem Minitrampolin und Laufband. Dargestellt ist die Bewegungsfrequenz [S min<sup>-1</sup>] auf den einzelnen Belastungsstufen.

Belastungsstufen [S min <sup>-1</sup> ]				
138	152	168	184	200

Auf den höheren Belastungsstufen ließen sich signifikant höhere Belastungswerte auf dem Laufband erkennen. Die Sauerstoffaufnahme lag dabei zwischen 2.125 und 3.608 ml min<sup>-1</sup>, die Herzfrequenz zwischen 143 und 187 S min<sup>-1</sup> und die Laktatwerte zwischen 2,49 und 6,72 mmol l<sup>-1</sup>.

Bei mittlerer Bewegungsfrequenz ist die Belastung auf dem Minitrampolin mit der auf dem Laufband durchaus vergleichbar. Unterschiede finden sich hingegen bei niedrigen und höheren Intensitäten. Es zeigt sich, dass niedrige Tretfrequenzen auf dem Minitrampolin eine höhere energetische Beanspruchung nach sich ziehen, während bei höheren Tretfrequenzen offensichtlich die Federung des Trampolins die Bewegung derart unterstützt, dass die physiologische Beanspruchung reduziert ist (Jaskolska et al., 1999).

**Literatur**

American College of Sports Medicine (ACSM; 1990). The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 22, 265-274.

American College of Sports Medicine (ACSM; 1993). Physical activity, physical fitness, and hypertension. *Med Sci Sports Exerc*, 25, i-x.

American College of Sports Medicine (ACSM; 1998). The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 30, 975-991.

Ballor, D.L. & Kessey, R.E. (1991). A meta-analysis of the factors affecting exercise-induced changes in body mass, fat mass, and fat-free mass in males and females. *Int J Obes*, 15, 715-726.

Bouchard, C. (1990). *Exercise, fitness, and health: a consensus of current knowledge*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Haskell, W.L. (1985). Physical activity and health: need to define the required stimulus. *Am J Cardiol*, 55, 4D-9D

Hollmann, W. & Hettinger, T. (1990). *Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsgrundlagen* (4. Aufl.). Stuttgart: Schattauer.

Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskolski, A. & Skinner, J.S. (1999). Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. *Int J Sports Med*, 20, 192-197.

Li, L. & Caldwell, G.E. (1998). Muscle coordination in cycling: effect of surface incline and posture. *J Appl Physiol*, 85, 927-934.

McArdle, W.D, Katch, F.I. & Katch, V.L. (1994). *Essentials of exercise physiology*. Philadelphia: Lea & Febiger.

Tanaka, H., Bassett, D.R., Best, S.K. & Baker, K.R. (1996). Seated versus standing cycling in competitive road cycling: uphill climbing and maximal oxygen uptake. *Can J Appl Physiol*, 21, 146-154.

Dr. Pia Rudack  
 PD Dr. Lothar Thorwesten  
 Prof. Dr. Klaus Völker  
 Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
 Universitätsklinikum  
 Institut für Sportmedizin  
 Horstmarer Landweg 39  
 48149 Münster  
 eMail: pia.rudack@uni-muenster.de

KUNO HOTTEHROTT

## Herzfrequenzvariabilität im Sport

Bericht vom Symposium am 8. Dezember 2001 in Marburg

Auf Einladung des Bereichs Sportmedizin der Philipps-Universität Marburg und Polar Electro GmbH Deutschland fanden sich am 8. Dezember 2001 in Marburg über 350 Teilnehmer zum Symposium Herzfrequenzvariabilität im Sport und deren Bedeutung für Prävention, Rehabilitation und Training ein.

Tagungsleiter Kuno HOTTEHROTT (Institut für Sportwissenschaft und Motologie, Bereich Sportmedizin der Philipps-Universität Marburg) gab mit seinem Einführungsvortrag „Grundlagen der Herzfrequenzvariabilität und Anwendungsmöglichkeiten im Sport“ einen Überblick zur Thematik. Im ersten Teil des Vortrages wurden physiologische Grundlagen zur Herzfrequenzvariabilität (HRV) vermittelt und vielfältige Anwendungsfelder in Sport und Medizin aufgezeigt. Der zweite Teil setzte sich mit den verschiedenen HRV-Parameter der Zeitbereichs- und Frequenzanalyse sowie deren mathematisch-statistischen Bearbeitung auseinander. Hieraus ging hervor, dass derzeit sehr unterschiedliche frequenzanalytische Methoden (modulierte autoregressive Verfahren) verwendet werden, so dass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse oft nicht gegeben ist. HOTTEHROTT schlägt vor, neuere Analyseverfahren (z.B. Wavelet-Analysen) zur HRV-Auswertung heranzuziehen, um den Zeitbezug verstärkt herauszustellen. Es werden Verfahren benötigt, die eine Stationarität des Signals und zeitäquidistante Abstände nicht voraussetzen. Abschließend stellt HOTTEHROTT heraus, dass die Standards zur HRV, die die Task Force of the European Society and North American Society of Pacing and Electrophysiology für den klinischen Bereich erarbeitet haben, für sportwissenschaftliche Fragestellungen unzureichend sind. Es fehlen vor allem Standardisierungen zur Datenerfassung und -auswertung bei Belastungsuntersuchungen sowie zur Definition und Bezeichnung der einzelnen HRV-Parameter.

A. BERBALK und G. NEUMANN (Institut für angewandte Trainingswissenschaft, Leipzig) untersuchten die diagnostische Aussage der Herzfrequenzvariabilität bei standardisierter Fahrradergometrie. Im Vordergrund stand dabei die Fragestellung, ob ein Zusammenhang zwischen der HRV und praxisrelevanten leistungsdiagnostischen Parametern besteht und inwieweit die HRV für die Ableitung individueller Trainingsbereiche genutzt werden kann.

Die HRV verringert sich mit zunehmender körperlicher Belastung. Diese Abnahme spiegelt Veränderungen der vegetativen Steuerung der Herzrhythmickeit (Abnahme des Vagotonus und Zunahme des Sympathikotonus) wider.

Die HRV-Parameter des Streudiagramms (stda, stdb), der Zeitbereichsanalyse (SD, rMSSD) und der Frequenzanalyse (TP, LF, HF) zeigen unter Belastung einen charakteristischen Verlauf. Nach einem Steilabfall der HRV zu Beginn der Belastung folgt eine weitere langsame Abnahme im mittleren Intensitätsbereich. An diese Phase schließt sich bei den Kurzzeitvariabilitätsparametern (stdb, rMSSD, HF), die Veränderungen des Vagotonus repräsentieren, eine Plateaubildung mit ei-

nem geringen Wiederanstieg zum Belastungsende hin an, während die Langzeitvariabilitätsparameter (stda, SD, TP, LF) eine kontinuierliche Abnahme bis zum Belastungsabbruch aufweisen.

Es wurde die Dynamik der HRV bei standardisierter Fahrradergometrie in Relation zu kardiopulmonalen und metabolen Funktionsgrößen untersucht. Bei allen Sportlern fand sich eine signifikante Abnahme der HRV. Die Plateaubildung der Kurzzeitvariabilitätsparameter begann bei durchschnittlich 1,5 mmol/l Lactat (55% Pmax, 70% Hfmax, 55% VO<sub>2</sub>max). Das individuelle Minimum der Kurzzeitvariabilitätsparameter wurde als HRV-Schwelle definiert und lag bei durchschnittlich 2,4 mmol/l Lactat (67% Pmax, 80% Hfmax, 67% VO<sub>2</sub>max). Die HRV-Schwelle verschiebt sich analog zu metabolen und ventilatorischen Schwellen in Abhängigkeit von der Ausdauerleistungsfähigkeit. Die HRV-Schwelle lag bei den Sportlern im Durchschnitt knapp 10% unter der Leistung der individuellen anaeroben Schwelle (Basislaktat + 1,5 mmol/l). In der untersuchten Sportlerpopulation konnte eine gute Übereinstimmung zwischen der HRV-Schwelle und trainingsrelevanten Belastungsintensitäten im aerob-anaeroben Stoffwechselbereich nachgewiesen werden.

A. HORN, N. KIRSTEIN, H. SCHULZ und H. HECK (Lehrstuhl für Sportmedizin, Ruhr-Universität Bochum) referierten über das Verhalten der Herzfrequenzvariabilität bei Fahrradergometer-Dauerbelastungen unterschiedlicher Intensität in Relation zum maximalen Laktat-Steady-state (maxLass).

Mittels eines Fahrradergometer-Dauertests wurde festgestellt, dass bei zunehmender Intensität bis ca. 60-65% PmaxLass die HRV-Parameter SO<sub>W</sub>, SO<sub>L</sub>, und RR<sub>SD</sub> exponentiell abfallen. Im Gegensatz zu SO<sub>W</sub> und RR<sub>SD</sub> stieg SO<sub>L</sub> im Mittel bei 93% PmaxLass (191±36 Watt; 72% Pmax) wieder signifikant an, wobei die individuelle Leistung im SO<sub>L</sub>-Minimum signifikant mit PmaxLass (206±41 Watt, 78% Pmax) korrelierte (r=0.94). Die zeitabhängigen Effekte waren für alle HRV-Parameter isoliert betrachtet nicht signifikant. Jedoch stiegen mit Erreichen der PmaxLass besonders SO<sub>L</sub>/SO<sub>W</sub>, SO<sub>L</sub>/RR<sub>MW</sub> deutlich mit der Aktivitätsdauer (p<0,05).

Desweiteren wurde gezeigt, dass die HRV v.a. über den Anstieg spontaner Fluktuationen (SO<sub>L</sub>) ein Indikator für partiell einsetzender anaerober Energiebereitstellung ist. Insbesondere, wenn SO<sub>L</sub> im Verhältnis zu der Gesamtvariabilität sowie der Basis Herzfrequenz betrachtet wird, zeigt die HRV ansteigende Ermüdung während längerer intensiver Beanspruchung an. Online erfasst, könnte somit die HRV kombiniert mit dem traditionellen Herzfrequenzmonitoring für die akute Trainingssteuerung eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

U. BÖHM, K. HOTTEHROTT und H.-M. SOMMER (Institut für Sportwissenschaft und Motologie, Bereich Sportmedizin der Philipps-Universität Marburg) gingen der Frage der Bestimmbarkeit individueller Trainingszonen auf der Basis der Herzfrequenzvariabilität nach.

Da die individuelle Belastungssteuerung im Ausdauer-sport eine zentrale Rolle einnimmt, überprüften sie, inwieweit die Herzfrequenzvariabilität bzw. Parameter der HRV für die Bestimmung individueller Trainingszonen geeignet sind, so dass Informationen darüber ein Optimum in der Belastungssteuerung gewährleisten können.

Bei einem ersten Stufentest auf dem Laufband (Beginn 8-10 km/h, 2 km/h Steigerung) wurde die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) (Basislaktat +1,5 mmol/l) bei  $3,1 \pm 0,5$  mmol/l Laktat,  $86,8 \pm 2,5$  % der Hfmax und  $79,9 \pm 7,6$  % der  $VO_2$ max erreicht. Im Stufentest II wurde für die OWN-ZONE-Low ein Herzfrequenzbereich von  $120,1 \pm 8,3$  bis  $140,1 \pm 8,3$  Schlägen/min bestimmt, was  $62,7 \pm 5,0$  % bis  $73,5 \pm 4,8$  % der individuell bestimmten maximalen Herzfrequenz entspricht. An der oberen Grenze der OWN-ZONE-High betrug die Herzfrequenz  $160,1 \pm 8,3$  Schläge/min ( $83,6 \pm 4,9$  %Hfmax). Die HRV im Stufentest II sank auf den ersten Belastungsstufen bis zu einer Sauerstoffaufnahme von  $61,3 \pm 2,6$  % der  $VO_2$ max signifikant und im weiteren Verlauf tendenziell gegen Null. Anders stellte sich der Verlauf beim Kurzzeitvariabilitätsparameter „stdb“ (=SD1) dar. Die Werte nahmen ebenso auf den ersten Belastungsstufen signifikant ab und erreichten bei 78 % der maximalen Herzfrequenz bzw. 66 % der  $VO_2$ max ein absolutes Minimum (vgl. HRV-Schwelle bei BERBALK & NEUMANN). Auf den folgenden intensiveren Belastungsstufen stieg der SD1-Wert wieder an.

Der Intensitätsbereich von 66 % der  $VO_2$ max kennzeichnet ein reizwirksames Training in primär aerober Stoffwechsellage und wäre damit ein äußerst interessanter Wert für das Ausdauertraining. Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme lagen bei diesem SD1-Minimum signifikant unter der individuellen anaeroben Schwelle.

H. SCHULZ, A. HORN, G. LINOWSKI, A. PLOGMAKER und H. HECK (Lehrstuhl für Sportmedizin, Ruhr-Universität Bochum) untersuchten den Einfluss eines Ausdauertrainings auf die Herzfrequenzvariabilität bei Untrainierten. Eine größere Herzfrequenzvariabilität ist mit einer geringeren Herzkreislaufmortalität verbunden. Ausdauertrainierte weisen sowohl geringere Ruheherzfrequenzwerte als auch eine höhere Herzfrequenzvariabilität im Vergleich zu Untrainierten auf. Es sollte überprüft werden, ob die trainingsbedingte Zunahme der HRV auf die Herzfrequenzabnahme oder die veränderte Ausdauerleistungsfähigkeit zurückzuführen ist. Es wurde festgestellt, dass die Zunahme der HRV durch ein Ausdauertraining möglicherweise durch metabolische Veränderungen in der trainierten Muskulatur mit beeinflusst werde. Des weiteren sei eine mögliche Brauchbarkeit von  $SO_Q$  als Indikator für Trainingsanpassungen wahrscheinlich durch die große intraindividuelle Variabilität der HRV-Parameter eingeschränkt.

B.O. KÖNIG, Y.O. SCHUMACHER, A. SCHMIDT-TRUCKSÄSS und A. BERG (Med. Universitätsklinik Freiburg, Abt. Rehabilitative & Präventive Sportmedizin) widmeten sich den möglichen Unterschieden in der HFV zwischen Ausdauertrainierten, Kraftsportathleten sowie untrainierten Gesunden, um Anhalte und Einflussfaktoren über die autonome Kontrolle des kardiozirkulatorischen Systems in diesen Gruppen zu gewinnen. Ausdauertraining und sportliche Aktivität führt zu Anpassungsprozessen im Herzkreislaufsystem, welche eine erhöhte Leistungs-

fähigkeit dieser Einheit ermöglichen. Andererseits führen kardiovaskuläre Erkrankungen zu Funktionseinschränkungen dieses Systems. Neben mit bildgebenden Verfahren darstellbaren morphologischen Adaptationen kommt es zu Veränderungen im Einfluss des autonomen Nervensystems auf die kardiale Funktion. Die Herzfrequenzvariabilität stellt eine aktuelle, nichtinvasive Meßmethode zur Darstellung der Einflüsse von Sympathicus und Parasympathicus auf die autonome Kontrolle des Herzens dar. Die Referenten konnten mit einem standardisierten Lagewechsel-Test nachweisen, dass trainierte Sportler im Vergleich zu Normalpersonen eine signifikant höhere Vagusaktivität (Zeitdomäne: MeanNN, SDNN, CVNN, pNN50,  $p < 0,01$ ) sowie eine schnellere Regulierung der autonomen Kontrolle nach Lagewechsel zeigten. Es zeigten sich signifikanten Unterschiede bezüglich der sympatho-vagalen Balance in den Liegephasen. Im Vergleich der Sportarten untereinander zeigten sich signifikante Unterschiede vor allem zwischen den Biathlonathleten und den Gewichthebern im Bereich der Zeitdomäne.

Insgesamt zeigten Trainierte signifikante Unterschiede im Anpassungsverhalten ihrer autonomen kardialen Kontrolle im Vergleich zu Normalpersonen. Während Ausdauerathleten sich deutlich von Normalprobanden unterschieden und vor allem im Bereich der Zeitdomäne auch signifikante Unterschiede zu Kraftathleten aufwiesen, war dies zwischen Kraftathleten und Normalpersonen nicht in dieser Deutlichkeit gegeben. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass der Kraftsport mit einer höheren sympathischen Aktivität einher geht und die parasympathische Regulation in Ausdauersportarten eine größere Rolle spielt.

A. FROMME, C. GESCHWINDE, F.C. MOOREN, L. THORWESTEN und K. VÖLKER (Institut für Sportmedizin, Universitätsklinikum Münster) referierten über die Auswirkungen eines 10-wöchigen Ausdauertrainings auf die Herzfrequenzvariabilität bei Laufeinsteigern. Sie untersuchten, ob sich Änderungen des sympathiko-vagalen Gleichgewichts an Hand der Parameter der Herzfrequenzvariabilität schon bei geringen Trainingsumfängen im freizeitsportlichen Bereich nachweisen lassen. Es konnten signifikante Veränderungen im Trainingsverlauf für die Parameter  $RR_{MW}$ ,  $\Delta RR_{MW}$ ,  $RR_{SD}$ ,  $r$ -MSSD,  $D_L$ ,  $D_Q$ ,  $SO_L$  und  $SO_Q$ , festgestellt werden, während für  $\Delta RR_{SD}$ ,  $SA_{rel}$ , pNN50 und pNN6,25 ein Unterschied statistisch nicht zu sichern war. Es wurde nachgewiesen, dass sich im Rahmen eines Ausdauertrainings bei untrainierten Personen schon in relativ kurzer Zeit signifikante Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität ergeben.

P. PLATEN, S. NÜSSER, M. KRÜGER, R. WOESTMANN, H. SCHULZ, U. HARTMANN, U. BARTMUS, V. GRABOW und H. HECK (Arbeitsgruppe Regeneration; DSHS Köln, Uni Bochum, Uni Dortmund, TU München) gingen auf die Langzeitverläufe der morgendlichen Herzfrequenzvariabilität von Triathleten und mögliche Zusammenhänge mit dem Training ein. Sie konstatierten, dass Parameter der Herzfrequenzvariabilität möglicherweise im Hochleistungstraining zur Beurteilung des vegetativen Funktionszustandes in Training und Regeneration und somit zur Verhinderung trainingsbedingter Überlastungsreaktionen beitragen könne. Jeder der drei untersuchten Probanden wies eine individuelle Charakteristik in der Funktion der Spektralanalyse auf. Die exakten LF- und

HF-Positionen variierten bei allen drei Athleten deutlich um bis zu 100% im Saisonverlauf. Ebenfalls wiesen die maximalen Spektraldichten im LF- und HF-Bereich erhebliche Schwankungen über den Zeitverlauf auf. Gleiches gilt für die RR-Intervalle resp. die morgendlichen Ruhe-Herzfrequenzen. Es wurde eine nicht immer einheitliche Tendenz festgestellt, dass hohe Trainingsbelastungen (Umfänge und/oder Intensitäten) tendenziell zu einer Zunahme der LF-Power, regenerative Belastungen zu einer Zunahme der HF-Power führten. Die Effekte waren zwischen 1-3 Tagen nach der Trainingsbelastung in den Tachogrammen sichtbar. Ähnliche tendenzielle Zusammenhänge zum durchgeführten Training waren bei den RR-Intervallen resp. der Ruheherzfrequenz nicht zu erkennen. Die Arbeitsgruppe stellte klar, dass die Beurteilung der Parameter der Herzfrequenzvariabilität individuell erfolgen müsse. Bei insgesamt sehr hoher inter- und intra-individueller Variation scheinen sich Trainingsmaßnahmen teilweise in den LF- und HF-Spektraldichten, bei der hier durchgeführten Untersuchung nicht jedoch in ähnlicher Weise in den Ruheherzfrequenzen abzubilden. Eine Nutzung der individuellen Herzfrequenzvariabilität in der Trainingssteuerung sei denkbar, jedoch seien noch viele Zusammenhänge unklar.

G. JANSHOFF\*, H. MÜCK\* und M. MÜCK-WEYMANN\*\* (\*Köln; \*\*Institut für Physiologie & Kardiologie, Universität Erlangen-Nürnberg) beschäftigten sich mit der Frage, ob Stretching die autonome Steuerung des Herzens und somit auch die HRV beeinflusst. Quantifizierungen der Herzfrequenzvariabilität erlauben eine Beurteilung sympathischer und parasympathischer Einflüsse. Stretching („Muskeldehnung“) ist eine nebenwirkungsarme, preiswerte und überall durchführbare Maßnahme, die für viele Risikopatienten geeignet ist. Neben einem Trend zu verbesserter Befindlichkeit, verzeichneten v.a. vagale Indikatoren der HRV im Verlauf des 20-Tage-Programms einen signifikanten ( $p < 0.01$ ) Anstieg. Über diesen globalen Befund hinaus konnten sie unabhängig vom „Dehnungserfolg“ Zusammenhänge zwischen HRV-Steigerungen und Lebensalter nachweisen: Bei „Älteren“ stieg die HRV deutlich stärker an. Die untersuchten Parameter haben sich im Verlauf des Stretchingprogramms eindeutig im Sinne einer (wünschenswerten) vermehrten parasympathischen Aktivierung verändert. Das Ausmaß ähnelt dem therapeutischer Interventionen (Medikamente, Sport, Psychotherapie). Die Effekte waren vom Stretching-Erfolg unabhängig. „Ältere“ Studienteilnehmer erzielten einen geringeren Dehnungszuwachs, waren aber weitaus „vagotoner“ als die muskulär flexibler gewordenen jüngeren Teilnehmer. Sie kamen zu dem Schluss, dass Stretching besonders bei „älteren“ Männern günstige Effekte auf Herzfunktion und autonomes Nervensystem ausübt. Möglicherweise können auch Leistungssportler Stretching mit Gewinn zur Stabilisierung der „autonomen Balance“ nutzen. Über noch zu untersuchende „Vernetzungen“ scheinen Herz und psychisches Befinden günstig mitzureagieren. Sollten sich die angedeuteten Zusammenhänge bestätigen, würden sich damit – z.B. via Stressreduktion und kardiorespiratorische Ökonomisierung – interessante neue Ansätze für präventivmedizinische Maßnahmen und innovative Behandlungsansätze von Krankheiten eröffnen.

K. VESTWEBER und K. HOTTENROTT (Institut für Sportwissenschaft und Motologie, Bereich Sportmedizin, Philipps-Universität Marburg) referierten über den Einfluss

einer speziellen Entspannungs- und Konzentrations-technik (Freeze-Frame®) auf Parameter der Herzfrequenzvariabilität. Mit dieser Technik soll auftauchender Stress unmittelbar abgebaut werden können. Die Anwendung dieser Technik bewirkt bei allen Probanden und bei allen Messungen sichtbare Veränderungen im RR-Intervall-Tachogramm in Form eines zunehmend sinusförmigen Verlaufs. Die deutlichsten Veränderungen ergaben sich bei den Frequenzparametern in Form einer Verschiebung des prozentualen Anteils in den LF-Bereich (0,04-0,15 Hz). Sie konnten insgesamt nachweisen, dass sich mit einer speziellen Entspannungs- und Konzentrationstechnik deutliche Änderungen der HRV bei gleicher Hf ergeben. Damit stellt die HRV-Messung eine mögliches Biofeedbackverfahren beim Erlernen dieser Techniken dar.

M. BETZ und S. BRAND (Institut für Gesundheitsförderung und -forschung) untersuchten, welche Parameter sich zur Objektivierung von Entspannungszuständen, insbesondere für die tägliche Arbeit in der therapeutischen Praxis eignen. Untersuchungsgegenstand waren die Wirkungen einer mentalen sowie einer körperorientierten Entspannungstechnik.

Ein gesundes Herz zeichnet sich im entspannten Zustand durch eine hohe Variation der Herzschlagfrequenz aus, wobei das Maß der Variation von Individuum zu Individuum stark schwanken kann. Aus diesem Grund sind Vergleiche zwischen Personen nur begrenzt möglich, sinnvoller sind intraindividuelle Vergleiche (vorher/ nachher). Tendenziell gilt jedoch: Je höher die Herzfrequenzvariation, desto höher die Entspannungsrate, desto größer ist die körperliche und mentale Entspannung. Umgekehrt heißt das, je geringer Herzfrequenzvariation bzw. Entspannungsrate (RLX-Wert), desto größer ist das körperliche und mentale Stressniveau. Sie stellten klar, dass Blutdruck und Hf nur bedingt zur Darstellung von entspannungsbedingten Veränderungen des vegetativen Funktionszustands geeignet sind, wohingegen sich die relativ leicht bestimmbare Herzfrequenzvariabilität (RLX-Wert) für den schnellen und unproblematischen Einsatz in der Praxis zur Objektivierung von Entspannungseffekten anbietet.

H. SCHULZ, A. HORN, P. SENGE und H. HECK (Lehrstuhl für Sportmedizin, Ruhr-Universität Bochum) sprachen über die intraindividuelle Variabilität von Parametern der Herzfrequenzvariabilität. Mit Hilfe der Herzfrequenzvariabilität kann die sympatho-vagale Gleichgewichtslage beurteilt werden. Dies macht die HRV-Parameter u.a. für die Diagnostik von Überlastungszuständen bzw. nicht ausreichender Regeneration im Leistungstraining interessant. Für die praktische Anwendung sind jedoch Kenntnisse der intraindividuellen Variation dieser Parameter ohne Trainingseinfluss notwendig. Ziel der Untersuchung war es, sowohl die Variabilität von HRV-Parametern innerhalb einer Messung als auch die Variabilität bei Messungen an verschiedenen Tagen zu überprüfen.

Sie stellten fest, dass die intraindividuelle Variation der HRV deutlich größer ist als die Variation der Herzfrequenz. Die aufgetretene von-Tag-zu-Tag-Variation ließ sich im wesentlichen durch die Variation in Serie erklären, wobei unter dieser Versuchsbedingung von einer Stabilität der vegetativen Reaktionslage auszugehen war. Aufgrund der großen Variation sei allerdings eine

Brauchbarkeit der HRV-Parameter zur Beurteilung der autonomen Reaktionslage bei Längsschnittuntersuchungen limitiert.

C. MAHLKE, R. RAUH, R.-D. BAUER und M. MÜCK-WEYMANN (Institut für Physiologie und Kardiologie, Universität Erlangen-Nürnberg) beschäftigten sich mit der Validierung des Polar Advantage für die standardisierte HRV-Bestimmung. Die Herzfrequenzvariabilität wird heute in vielen Bereichen der Medizin und der Psychologie zu wissenschaftlichen bzw. diagnostischen Zwecken eingesetzt. Neben einer Beurteilung der bio-psycho-sozialen Fitness in Feldstudien wurde das HRV-Paradigma auch für psychopharmakologische Untersuchungen bei Patienten (z.B. um anticholinerge Effekte von Psychopharmaka zu kontrollieren) genutzt. Leider seien die mit unterschiedlichen Geräten ermittelten Werte nicht unbedingt vergleichbar, was zu vielfältigen Missverständnissen geführt habe und führe. Folglich sollten die neuen Gerätschaften vor ihrem klinischen Einsatz validiert werden. Sie fanden heraus, dass für die beiden Geräte die simultan bestimmten HRV-Parameter des Zeitbereichs gut bis sehr gut ( $0,8 < r^2 < 0,98$ ), die des Frequenzbereichs mäßig bis gut ( $0,6 < r^2 < 0,85$ ) korrelierten. Sie schlussfolgern aus ihren Ergebnissen, dass die zeitabhängigen Parameter des Polar Advantage gerade aus Kostengründen und der einfachen Applikationsform wegen für das HRV-Screening im Labor und im Felde geeignet ist.

A. HORN, H. SCHULZ und H. HECK (Lehrstuhl für Sportmedizin, Ruhr-Universität Bochum) stellten einen Vortrag zum Thema „Simulation zum Einfluss der Höhe der Herzfrequenz auf HRV-Parameter im Zeit- und Frequenzbereich“ vor. In Ruhe weist das HRV-Powerspektrum zwei charakteristische Peaks um 0.1 und 0.3 Hz (low-, highfrequency; LF, HF) auf. Unter körperlicher Belastung unterliegt das Spektrum qualitativer und quantitativer Veränderungen, wobei sich der LF-Peak in Richtung langsamerer und der HF-Peak atmungssynchron in Richtung schnellerer Frequenzen verlagert. Die HRV ist mit geringerem Aufwand im Zeitbereich (time-domain = TD) deskriptiv-statistisch und mittels quantitativer Analysen von Pointcaré Plots zu beschreiben. Befunde zum qualitativen Zusammenhang zwischen TD- und Frequenzparametern lagen bereits vor. Ungeklärt war bislang, wie im TD die HRV-Parameter quantitativ Änderungen der LF- und HF-Power (LFP, HFP) abbilden und ob unabhängig von der biologischen zusätzlich mathematisch-methodische Komponenten die Absolutwerte beeinflussen. Besonders gilt dies für die physiologische Wechselwirkung variierender HR. Zur Umgehung physiologischer Effekte auf das Spektrum boten sich Analysen generierter RR-Signale mit Simulation systematisch variierender Schwingungsniveaus und Amplitudenmodulationen an. Sie stellten klar, dass die Hf quantitativ die Höhe der HRV-Parameter in unterschiedlichem Maße beeinflusste und zu qualitativen Verschiebungen der Korrelationen im Frequenzspektrum für  $RR_{SD}$  und  $SO_W$  führte.

A. BERBALK, S. BAUER und G. ROMBACH (Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig) referierten über „Monitoring der Herzfrequenzvariabilität zur Belastbarkeitsdiagnostik“. Sie überprüften in einer Langzeitstudie die diagnostische Aussage des RLX-Wertes, der als modifizierte Standardabweichung auf dem Display des

Sporttesters erscheint und alle fünf Sekunden aktualisiert wird. Zwischen den während der fünfminütigen Messung abgelesenen RLX-Werten (höchster und niedrigster Wert) und den Kurzzeitvariabilitätsparametern konnten hochsignifikante Korrelationen ( $p < 0,01$ ) nachgewiesen werden. Der RLX-Wert erweist sich also für die tägliche Trainingssteuerung als geeignet, um Aussagen bezüglich der augenblicklichen Belastungsverträglichkeit zu treffen. Sie ließen keinen Zweifel, dass die HRV für die Trainingspraxis einen aussagekräftigen Parameter darstellt, da mit der HRV komplexe Zusammenhänge vegetativer Regulationen erfasst werden können. Durch eine regelmäßige Kontrolle der Hf und HRV ließen sich sowohl funktionelle Umstellungen und Anpassungen infolge positiver Belastungsverarbeitung, als auch vegetative Dysbalancen auf Grund zu hoher Gesamtbelastung (physisch und/oder psychisch) oder gesundheitlicher Beeinträchtigungen nachweisen.

Abschließend berichtete G. ROMBACH aus Ladenburg über mobile Belastungsdiagnostik und daraus resultierende optimierte Regenerations- und Trainingssteuerung.

Bei diesem Beitrag handelte es sich um keine Forschungsarbeit im üblichen Sinne, sondern vielmehr um die Erfahrungen eines Athleten in einem 4 Jahre andauernden Selbstversuch. Rombach berichtete über seine Erfahrungen mit konsequenter Belastungsdiagnostik unter Einbeziehung aller auf den Athleten einwirkenden Stressoren. Neben den trainingsphysiologischen Stressoren behandelte der Beitrag anhand praktischer Beispiele die auf den Athleten einwirkenden psychologischen Stressoren wie Familie, Beruf, Verein und Gesundheit. Er zeigte auf, wie aus den Messergebnissen des Polar Vantage NV resultierend die Regenerationsphase des Athleten optimiert werde und die aktuellen Parameter in die tägliche Trainingssteuerung für einen höchstmöglichen Trainingswirkungsgrad genutzt werden könne.

PD. Dr. Kuno Hottenrott  
Philipps-Universität Marburg  
Institut für Sportwissenschaft und Motologie  
Abt. Sportmedizin  
35037 Marburg  
eMail: k.hottenrott@t-online.de

#### Hinweis:

Die Beiträge des Symposiums erscheinen in voller Länge und in überarbeiteter Form in einem Sammelband in der dvs-Schriftenreihe.

#### K. HOTTENROTT (Hrsg.):

##### Herzfrequenzvariabilität im Sport.

##### Prävention, Rehabilitation und Training.

Hamburg: Czwalina 2002.

ca. 280 S. ca. 25,00 €. ISBN 3-88020-401-2.

Erscheint Sommer 2002.

#### Richten Sie Ihre Vorbestellungen an:

dvs-Geschäftsstelle

Postfach 73 02 29 · D-22122 Hamburg

Tel.: (040) 67941212 · Fax: (040) 67941213

eMail: dvs.Hamburg@t-online.de