

**Nordic Walking zur Prävention und
Rehabilitation
– Anthropometrie, Herz-Kreislauf, Atmung- und
Stoffwechsel im Verlauf eines 3 - monatigen
Nordic Walking-Trainings –**

**Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus - Liebig - Universität Gießen**

vorgelegt von Christoph Nöchel

aus Bad Wildungen

Gießen 2009

**Aus der Professur für Sportmedizin
INSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT
MEDIZINISCHES ZENTRUM FÜR INNERE MEDIZIN**

**des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH,
Standort Gießen**

Gutachter: Prof. Dr. med. P.E. Nowacki

Gutachter: Prof. Dr. med. O. Kilian

Tag der Disputation: 11.01.2010

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	6
2	METHODIK	11
2.2	Untersuchungsbedingungen	13
2.2.1	Klinisch-Sportmedizinische Untersuchung	13
2.2.2	Sportmedizinische Leistungsdiagnostik	14
2.2.2.1	Der spiroergometrische Stufenbelastungstest auf dem Laufband	14
2.3	Apparative Diagnostik	15
2.4	Messgrößen	19
2.4.1	Anthropometrische Messgrößen	19
2.4.1.1	Alter	19
2.4.1.2	Körpergröße	19
2.4.1.3	Körpergewicht	19
2.4.1.4	BMI	19
2.4.1.5	Körperfett	19
2.4.1.6	Fettfreie Masse	19
2.4.1.7	Muskulatur	19
2.4.1.8	Körperwasser	19
2.4.2	Belastungsmessgrößen	19
2.4.2.1	Belastungszeit	19
2.4.2.2	Gesamtarbeit	19
2.4.2.3	Absolute Wattstufe	19
2.4.2.4	Relative Wattstufe	19
2.4.3	Kardiozirkulatorische Messgrößen	19
2.4.3.1	Herzfrequenz	19
2.4.3.2	Blutdruck	19
2.4.4	Respiratorische Messgrößen	19
2.4.4.1	Vitalkapazität	19
2.4.4.2	Forcierte Expirationsvolumen	19
2.4.4.3	Atemminutenvolumen	20
2.4.4.4	Atemfrequenz	20
2.4.4.5	Atemzugvolumen	20

2.4.5	Kardiorespiratorische Messgrößen	20
2.4.5.1	Absolute Sauerstoffaufnahme	20
2.4.5.2	Absolute Kohlendioxydabgabe	20
2.4.5.3	Relative Sauerstoffaufnahme	20
2.4.6	Kardiorespiratorische Quotienten	20
2.4.6.1	Sauerstoffpuls	20
2.4.6.2	Atemäquivalent	20
2.4.6.3	Ventilations-Respiratorischer Quotient	21
2.4.7	Metabolische Messgrößen	21
2.4.7.1	Laktat	21
2.4.8	Indirekte Kalorimetrie	21
2.4.8.1	Kohlenhydratverbrennung	21
2.4.8.2	Kalorisches Äquivalent Glucose	21
2.4.8.3	Fettverbrennung	21
2.4.8.4	Kalorisches Äquivalent Tripalmitin	21
2.5	Statistik	22
2.6	Kritik an der Untersuchungsmethode	24
3	ERGEBNISSE	26
3.1	Anthropometrische Daten	26
3.2	Belastungszeit	28
3.3	Gesamtarbeit	29
3.4	Absolute Wattstufe	30
3.5	Relative Wattstufe	31
3.6	Herzfrequenz	32
3.7	Blutdruck	34
3.8	Vitalkapazität und forciertes Expirationsvolumen	37
3.9	Atemminutenvolumen	39
3.10	Atemfrequenz	41
3.11	Atemzugvolumen	43
3.12	Absolute Sauerstoffaufnahme	45

3.13	Relative Sauerstoffaufnahme	47
3.14	Sauerstoffpuls	49
3.15	Atemäquivalent	51
3.16	Ventilations-Respiratorischer Quotient	53
3.17	Laktat	55
3.18	Indirekte Kalorimetrie	57
4	DISKUSSION	61
4.1.	Anthropometrie	61
4.2	Körperliche Leistungsfähigkeit	66
4.2.1	Belastungszeit	67
4.2.2	Gesamtarbeit	67
4.2.3	Absolute und Relative Wattstufe	68
4.3	Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit	72
4.4	Respiratorische Leistungsfähigkeit	83
4.5	Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit	88
4.6	Metabolische Leistungsfähigkeit	107
5	Zusammenfassung	112
	Summary	119
6	Literaturverzeichnis	125
7	Anhang	182

1 Einleitung und Fragestellung

Eine zentrale Aufgabe der Sportmedizin ist die allgemeine und sportartspezifische Leistungsdiagnostik zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit, die anhand kardiozirkulatorischer, kardiorespiratorischer und metabolischer Parameter verifiziert wird.

So sind erste arbeitsphysiologische Studien Ende des 19. Jahrhunderts von SPECK 1889 als Drehkurbelarbeit und ZUNTZ, GEPPERT 1889, die ein Laufband konstruierten, dokumentiert. Die Spiroergometrie wurde 1925 durch KNIPPING in Deutschland etabliert. Die ersten Versuche jedoch während körperlicher Arbeit den Gasstoffwechsel zu messen, gehen auf LAVOISIER und SEGUIN im Jahre 1789 zurück. Auf englischer Seite wurden 1813 durch den Arzt PROUT erste Anstrengungen unternommen den Gasstoffwechsel bei Fußmärschen aufzuzeichnen. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts gelang dem Physiologen ZUNTZ u. Mitarb. 1889 in Berlin die Entwicklung des ersten Laufbandes der Welt. Doch nicht nur auf diesem Gebiet forschte und entwickelte ZUNTZ erfolgreich, sondern auch auf dem Gebiet des Gasstoffwechsels.

Verdienste für die Weiterentwicklung der Spiroergometrie erwarben sich BRAUER, WOLF 1940, indem sie die Methode zur Messung kardiopulmonaler Funktionsparameter vorstellten.

In den 60er und 70er Jahren trugen die leistungsphysiologischen Forschungsarbeiten von MELLEROWICZ, NOWACKI 1962,1975,1979 mit dem offenen Spiroergometriesystem wesentlich dazu bei, dass sich dieses Verfahren in der deutschen Sportmedizin und im Spitzensport durchsetzte. Die hier gelegten leistungsphysiologischen Erkenntnisse machten Erfolge wie den **Olympiasieg der Ruderer des Deutschlandachters in Mexico-City (1968)** erst möglich. Aber auch Erfolge wie die **Fußballweltmeisterschaft 1974**, aus deutscher Sicht, fußten nicht zuletzt auf leistungsmedizinischer Diagnostik durch betreuende Ärzte wie Prof. Dr. P. E. NOWACKI, die eine **objektive** Auswahl der leistungsstärksten Spieler Dank modernster Technologie ermöglichten.

Unter MELLEROWICZ 1979 wurde die Spiroergometrie als objektive Messmethode anhand der Testgütekriterien Reliabilität, Validität und Objektivität verifiziert.

Im weiteren Verlauf wurden pneumotachygraphische spirometrische Leistungsmessungen auf sportartspezifischer Basis zur Leistungsdiagnostik eingesetzt (DAL MONTE 1989, NOWACKI 1994, NEUMANN, SCHÜLER 1994).

In der Folgezeit wurden zahlreiche Untersuchungen zur körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen, Gesunden, Patienten mit Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, Untrainierten, Trainierten und Hochleistungssportlern mittels der Spiroergometrie durchgeführt, u.a. von NOWACKI 1974, RIECKERT 1981, SZÖGY u. Mitarb. 1984, REINDELL u. Mitarb. 1988, MEDAU, NOWACKI 1992, SHEPHARD, ÅSTRAND 1993, NEUMANN, SCHÜLER 1989, BADTKE 1995, HOLLMANN, HETTINGER 2000.

In den vergangenen Jahren hat sich das **Nordic Walking** zu einer **Trendsportart** für den **Fitness- und Gesundheitssport** entwickelt, die sich zunehmender Beliebtheit erfreut. Ursprünglich wurde das Geh- und Lauftraining mit Skilanglaufstöcken von Spitzenathleten aus den Wintersportdisziplinen Skilanglauf, Biathlon und Nordische Kombination während der Sommermonate betrieben, um in der schneefreien Übergangsperiode die Bewegungsmuster und die Funktionsmuskulatur zu erhalten. Die Beliebtheit des Nordic Walking basiert auf einem sehr einfachen Bewegungsablauf und der Mobilisation eines hohen Muskelanteils im Vergleich zum Walking respektive Jogging.

Nordic Walking wurde in Zusammenarbeit mit einem renommierten Carbonstock-Hersteller 1997 in Finnland erstmals präsentiert. Heutzutage wird die Zahl der Nordic Walker allein in Skandinavien auf eine Millionen Menschen geschätzt. Von dort breitete sich die neue Trendsportart über die USA, Japan und Mitteleuropa aus (VATER 2005). 2001 wurde die Internationale Nordic Walking Association gegründet. National ist Nordic Walking in der Nordic Walking Union Deutschland e.V. und in dem Deutschen Nordic Walking und Blading Verband e.V. organisiert.

Das Nordic Walking kommt der Alltagsmotorik sehr nahe, bei der ein sehr einfacher Bewegungsablauf zu Grunde liegt. Dennoch weist das Nordic Walking eine **große Effizienz** auf, da fast alle Muskelgruppen im menschlichen Körper aktiv an der Bewegung beteiligt sind. Orientierend werden ca. **80-90 %** der gesamten Muskulatur mobilisiert, während beim klassischen Walking oder Jogging **ohne Stockeinsatz** lediglich ca. **60 %** aller Muskeln beansprucht werden. Infolge der zusätzlichen

Stockführung ist die kardiorespiratorische und metabolische Beanspruchung im submaximalen Bereich der aerob extensiven Ausdauerbelastungen größer als vergleichsweise beim reinen Walking respektive Jogging in diesem Intensitätsbereich.

Laut dem **Cooper Institut (USA)** werden beim **Nordic Walking** bis zu **46 % mehr Kalorien** verbrannt als beim **Walking** mit gleicher Geschwindigkeit. Dabei liegt beim konventionellen Walking der Energieverbrauch je nach Intensität zwischen 250 bis 300 kcal/h, während beim Nordic Walking eine Verbrennung von über 400 kcal/h möglich ist.

Bei Studien mit Rehabilitationspatienten am Institut für Prävention und Sportmedizin in der Klinik am Homberg wurden diese Ergebnisse durch VATER 2004 verifiziert. Bei einem Nordic Walking Stufenbelastungstest auf dem Laufband ergab sich bei einer Geschwindigkeit von 5 km/h ein **durchschnittlicher Energieverbrauch** von 415 ± 62 kcal/h. Über die indirekte Kalorimetrie wurde für die Fettverbrennung ein durchschnittlicher Wert von 153 ± 64 kcal/h nachgewiesen. Hinsichtlich der durchschnittlichen relativen Sauerstoffaufnahme wurden $21,3 \pm 2,4$ ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD ermittelt. Dieser Mittelwert entsprach ca. 61 % der relativen VO₂max von $35,3 \pm 7,7$ ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD bei erschöpfender Vita maxima-Ausbelastung auf dem Laufband.

Im Swiss Medical Center zeigte RIST 2005, dass sich nach Achillessehnenverletzungen und -operationen Nordic Walking hervorragend dazu eignet, einen frühen und sportnahen Aufbau von Muskulatur und körperlicher Leistungsfähigkeit herbeizuführen. Biomechanische Untersuchungen konnten zeigen, dass die **geringen Abstoßungskräfte** maßgeblich dazu beitragen, dass die Patienten kurze Zeit nach Verletzung bzw. Operation von der Heranführung an die Sportart profitieren.

Bei dem von RUDACK u. Mitarb. 2005 erhobenen Vergleich mit 31 Probanden am Institut für Sportmedizin der Universität Münster konnte festgestellt werden, dass sich Nordic Walking im Vergleich zu reinem Walking, besser eignet. Bei **geringerer Geschwindigkeit**, gleicher Herzfrequenz und ähnlichem subjektiven Belastungsempfinden sei Nordic Walking für das kardiopulmonale Ausdauertraining **vorzuziehen**.

VÖLKER 2005 wies mit einer Längsschnittstudie von 32 untrainierten Personen nach, dass ein **8 wöchiges Nordic Walking** Training eine signifikante Steigerung der Maximalkraft der Rückenextensoren ergab. Ebenfalls konnte eine **Verbesserung**

der kardio-pulmonalen Ausdauerleistungsfähigkeit und der Kraftausdauerfähigkeit von Rumpf- und Armmuskulatur aufgezeigt werden.

In einer vergleichenden Studie der Belastungsparameter zwischen Walking und Nordic Walking zeigte HOLTKE 2005 in der Abteilung für Sportmedizin des Krankenhauses für Sportverletzte in Lüdenscheid-Hellersen auf, dass Nordic Walking mit einer höheren VO_2 -Aufnahme, leicht erhöhter Herzfrequenz und tendenziell geringerem Laktatwert im Vergleich zum reinen Walking einhergeht. Infolge dessen besitzt Nordic Walking im Vergleich zum Walking einen **höheren Benefit als präventives Gesundheitstraining**.

WÜPPER 2005 verglich unter 14 Versuchspersonen mittels indirekter Kalorimetrie den Energieumsatz zwischen Walking und Nordic Walking. Er kam zu dem Schluss, dass die energetischen Beanspruchungen beider Bewegungsformen in engem Zusammenhang bezüglich biomechanischer und neurophysiologischer Gesetzmäßigkeiten stehen, die allerdings eine große individuelle Variabilität aufweisen.

Dem zufolge kann aus der vorliegenden Literatur resümierend postuliert werden, dass Nordic Walking als eine **geeignete Sportart** für die **Prävention und Rehabilitation** sowie für den **Gesundheitssport** anzusehen ist.

Aufgrund der **muskulären Effizienz**, der **Beanspruchung des kardiorespiratorischen Systems** und der benötigten Stoffwechselleistung bei gleichzeitig **reduzierter Gelenkbelastung** wird das Nordic Walking in der vorliegenden Literatur bewusst propagiert.

Um diesen Sachverhalt zu verifizieren, wurde die vorliegende Studie unter Leitung des Ärztlichen Leiters Herrn Dr. med. Dr. sportwiss. H.-H. Vater am Institut für Prävention und Sportmedizin in der Klinik am Homberg in Zusammenarbeit mit dem Zentralverband der Deutschen Physiotherapeuten/Krankengymnasten erarbeitet.

In der vorliegenden experimentellen sportmedizinischen Dissertation über:

„Auswirkungen eines 3-monatigen Nordic Walking-Trainings auf anthropometrische, kardiorespiratorische und metabolische Parameter untrainierter Frauen und Männer“, sollen folgende Fragestellungen geklärt werden:

- 1. Wie stellt sich die körperliche Leistungsfähigkeit von Gesundheitssportlern vor und nach einem 10-wöchigen, pulsgesteuerten und angeleiteten Nordic Walking-Training im spiroergometrischen Stufenbelastungstest auf dem Laufband dar?**
- 2. Ergeben sich signifikante Differenzen bezüglich der anthropometrischen und metabolischen Messgrößen, der körperlichen, kardiozirkulatorischen und kardio-respiratorischen Leistungsfähigkeit, sowie der kalorischen Daten zwischen Eingangs- und Ausgangstest ?**

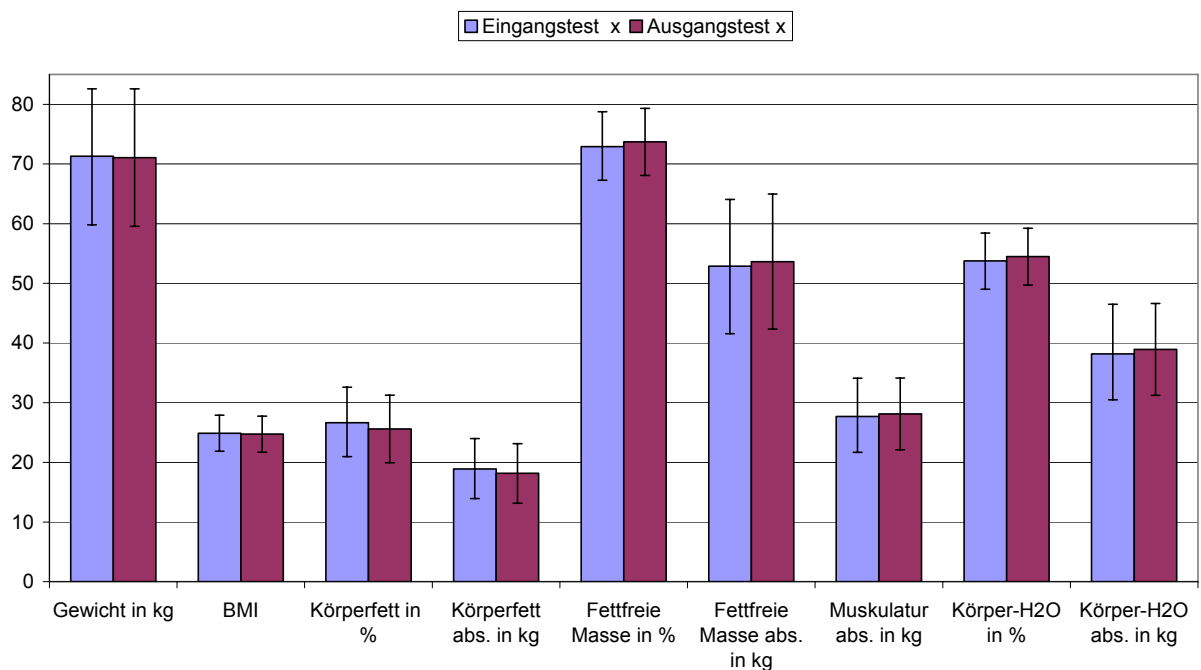
2 METHODIK

2.1 Untersuchungsgut

Bei allen an der vorliegenden Studie beteiligten Probanden handelte es sich um **Freizeitsportler**. Insgesamt nahmen **35 Probanden** an der Nordic Walking-Studie teil. Das Studienkollektiv bestand aus **25 weiblichen** und **10 männlichen Probanden** mit einem durchschnittlichen **Alter** von **47,7 ± 12,7 Jahren**. Die **Körpergrösse** betrug **169,3 ± 9,0 cm**.

Alle 35 Probanden absolvierten den Nordic Walking-Test auf dem Laufband. Die Untersuchungen fanden in dem Zeitraum von **Mai 2005** bis **August 2005** statt.

Anthropometrische Parameter - Eingangs- vs. Ausgangstest



	Gewicht in kg	BMI	Körperfett in %	Körperfett abs. in kg	Fettfreie Masse in %	Fettfreie Masse abs. in kg	Muskel abs. in kg	Körper-H2O in %	Körper-H2O abs. in kg
Eingangstest x	71,31	24,89	26,62	18,92	72,9	52,88	27,67	53,77	38,18
Eingangstest s	11,31	3,02	6	5,09	5,85	11,19	6,43	4,66	8,32
Ausgangstest x	71,07	24,73	25,6	18,15	73,71	53,65	28,12	54,48	38,91
Ausgangstest s	11,53	3,02	5,66	4,99	5,61	11,33	6,01	4,76	7,7

Abb. 1: Anthropometrische Parameter der Probandengruppe der Nordic Walking Studie

2.2 Untersuchungsbedingungen

Die durchgeführte Untersuchung bestand aus einem **Eingangs- und einem Ausgangstest**. Diese Untersuchungen wurden unter der Leitung des Ärztlichen Leiters am Institut für Prävention und Sportmedizin der Klinik am Homberg in Bad Wildungen, Herrn Dr. med. Dr. sportwiss. H.-H. VATER, durchgeführt. Die Untersuchungen fanden in den sportmedizinischen Labors am Institut für Prävention und Sportmedizin, Klinik am Homberg, Herzog-Georg-Weg 2, 34537 Bad Wildungen, statt.

Eingangs wurde von allen Versuchspersonen eine **allgemeine** und **sportmedizinische Anamnese** erhoben. Im Anschluss an die Anamneseerhebung folgte eine **allgemeinmedizinisch-internistische und sportorthopädisch** orientierte **klinische Untersuchung**. Daran schlossen sich die **Lungenfunktionsprüfung** und die **Bioimpedanzmessung** durch den Versuchsleiter oder einen Assistenzarzt an.

Im Anschluss an die klinische Untersuchung absolvierten alle Probanden einen **spiroergometrischen Stufenbelastungstest auf dem Laufband**.

Die begleitende Diagnostik bei den Laufbandbelastungen bestand aus der Registrierung des **EKGs** über die Brustwandableitungen $V_1 - V_6$ nach Wilson, sowie den peripheren Extremitätenableitungen I, II, III, aVR, aVL, aVF. Weiterhin wurden die kardiorespiratorischen Basis-Funktionsparameter Atemzugvolumen, Atemfrequenz, Sauerstoff- und Kohlendioxydkonzentration als Differenz der Ein- und Ausatemluft über einen O_2 -Analyzer nach E. JAEGER (Würzburg) registriert. Nach jeder Belastungsstufe erfolgte die Blutabnahme aus dem zuvor hyperämisierten Ohrläppchen für die anschließende Laktatbestimmung.

2.2.1 Klinisch-Sportmedizinische Untersuchung

Vor der Laufbandbelastung wurde bei jedem Probanden eine ausführliche **Sport-, Trainings- und Leistungsanamnese** vorangestellt. Nachfolgend fand die schon oben näher beschriebene allgemeine körperliche Untersuchung statt.

Die Probanden waren klinisch gesund und infolgedessen voll belastbar für die **maximale individuelle Ausbelastung**. Die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit, des Trainingszustandes und der Sporttauglichkeit erfolgte auf der Basis des **klinischen Befundes**, der **Lungenfunktionsprüfung**, der **Bioimpedanzmessung** und der **spiroergometrischen Untersuchung**.

2.2.2 Sportmedizinische Leistungsdiagnostik

2.2.2.1 Der spiroergometrische Stufenbelastungstest auf dem Laufband

Alle Probanden unterzogen sich dem **spiroergometrischen Stufenbelastungstest** auf dem **Laufband**. Die Geschwindigkeit wurde in 1-Stundenkilometer-Schritten von **4 km/h** bis auf maximal **10 km/h** erhöht. Im Untersuchungsverlauf wurden intermittierende Blutdruck- und Laktatmessungen durchgeführt.

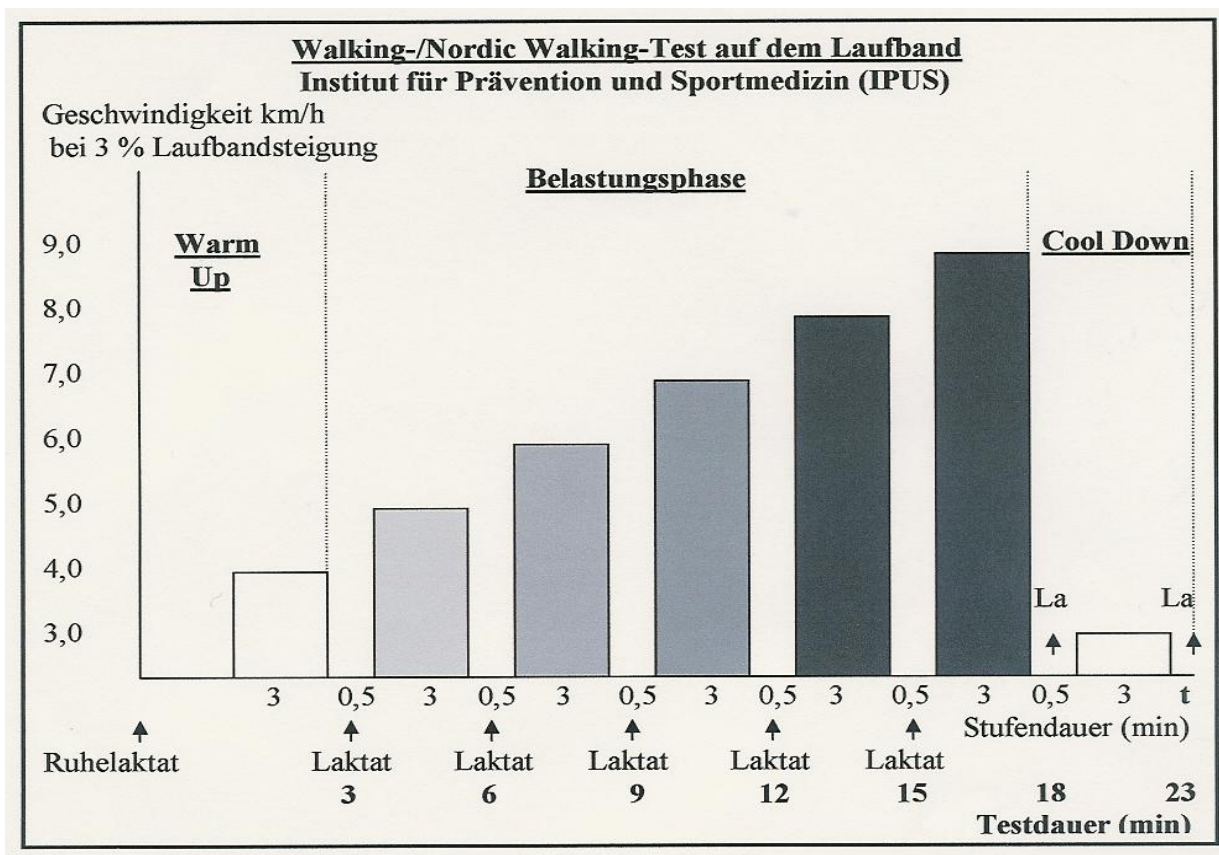


Abb. 2: Graphische Darstellung des Nordic Walking Stufenbelastungstests auf dem Laufband. Das Schema findet Verwendung bei der Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Beurteilung des Trainingszustandes.

Nachdem die Voruntersuchungen wie oben beschrieben durchgeführt wurden, unterzogen sich die Probanden einer **Ruhelaktatabnahme**. Es folgte ein 3-minütiges Warm-up, bei 4 km/h. Im Anschluss stoppte das Laufband für 30 Sekunden, es wurde der **Blutdruck** gemessen und eine **Laktatprobe** am hyperämisierten Ohrfläppchen entnommen. Das Laufband startete erneut mit einer

um 1 km/h gesteigerten Geschwindigkeit für weitere 3 Minuten. Dieses Prozedere wiederholte sich bis zum individuellen Abbruch, maximal jedoch bis zu einer Geschwindigkeit von 10 km/h. Nach Abbruch der Belastung folgte ein 3-minütiges Ausgehen bei 3 km/h zur Vermeidung orthostatischer Dysregulationen. Nach dem Ausgehen erfolgte eine **Laktatabnahme**. Nun mussten die Probanden noch 2 Minuten stehend auf dem Laufband verbringen, bis ihnen abschließend in der 5. Erholungsminute der Blutdruck gemessen und eine **abschließende Laktatprobe** entnommen wurde.

Diese **Nordic Walking Laufbandergometrie** inklusive der oben beschriebenen Voruntersuchungen wurde mit den Probanden jeweils als **Eingangstest** im **Mai** und **10 Wochen später** im **August 2005** als **Ausgangstest** durchgeführt. In der Zwischenzeit wurde **einmal pro Woche** ein **90-minütiges Technik- und Ausdauertraining** durch einen qualifizierten Nordic Walking-Instructor abgehalten. Sämtliche Trainingseinheiten wurden über Herzfrequenzmesser gesteuert und protokolliert.

Zur Verifizierung der Labortests wurde weiterhin für alle Probanden eine Laktatmessung im Feldversuch durchgeführt.

Ergänzend zum 1 x pro Woche angeleiteten Training **trainierten** die Probanden pulskontrolliert mindestens **2 x 1 Stunde pro Woche selbständig**, was im Belastungsprotokoll mit Belastungsdauer, -umfang, -intensität und -häufigkeit registriert wurde.

2.3 Apparative Diagnostik

Zur Aufzeichnung des **Ruhe-EKGs** im Rahmen der Voruntersuchungen wurde das **12-Kanal-EKG Cardiovit AT-102** der Firma Schiller verwendet. Die **Lungenfunktionsdiagnostik** wurde mit dem **Oxycon alpha** der Firma E. Jäger (Würzburg) durchgeführt, mit der ebenfalls die spiroergometrischen Daten der Laufbandergometrie erfasst wurden.

Die **Körperbauanalyse** erfolgte mittels des **Bioimpedance Analyzer** Modell BIA 101 der Firma AKERN Srl..

Der Nordic Walking-Test fand auf dem **Laufbandergometer** LE 600 CE 250/75R der Firma E. Jaeger statt.

Die **Laktatproben** wurden mit der Super GL ambulance der Firma Dr. Müller Gerätebau GmbH ermittelt. Das Gerät arbeitet nach dem elektrochemischen Messprinzip mit einem Biosensors.

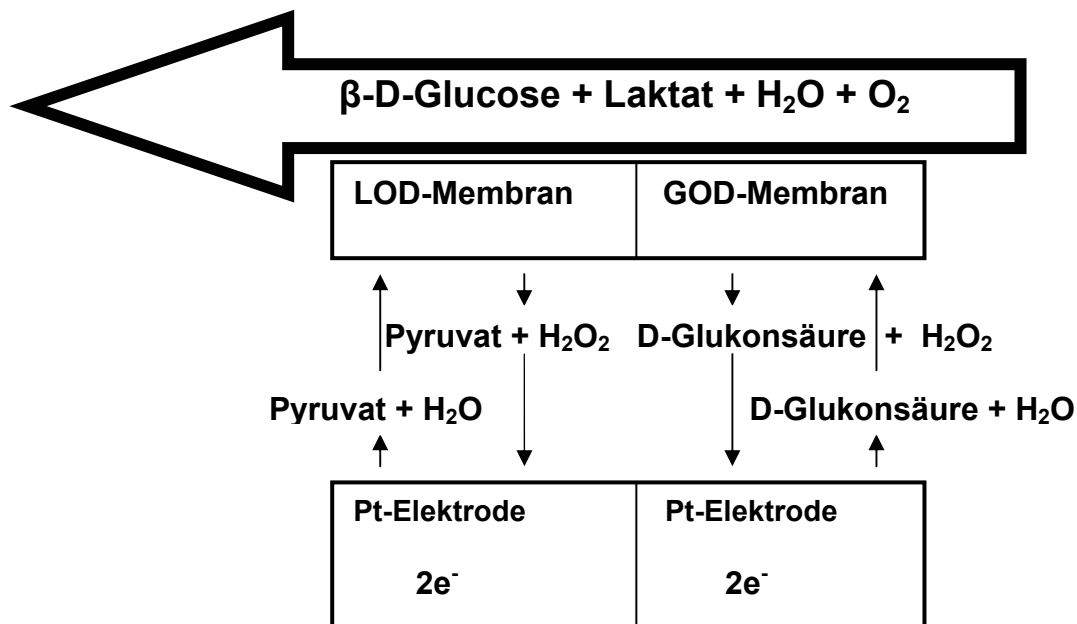


Abb. 3: Schematische Darstellung des Wirkprinzips

Für die **Blutdruckmessung** nach RIVA/ROCCI war ein handelsübliches manuell zu bedienendes Blutdruckmanometer der Fa. Speidel & Keller im Einsatz.



Abb. 4:
Laktatmessgerät
Super GL alpha Ambulance
Fa. Dr. Müller Geräte Bau GmbH



Abb. 5:
Modernster
Spiroergometriemessplatz
„Oxycon“ der Firma E. Jaeger
im Institut für Prävention
und Sportmedizin (IPUS),
Bad Wildungen



Abb. 6:
Laufbandspiroergometrie mit
Maskenatmung einer Probandin
auf dem Laufband während des
Nordic Walking Tests



Abb. 7:
Bioimpedanz- und Ruhe-EKG
Registrierung eines Probanden mit
dem Bioimpedance Analyzer Modell
BIA 101 der Firma AKERN Srl.
Sowie dem 12-Kanal-EKG Cardiovit
AT-102 der Firma Schiller

2.4 Messgrößen

2.4.1 Anthropometrische Parameter

- 2.4.1.1 Alter in Jahren
- 2.4.1.2 Körpergröße in cm
- 2.4.1.3 Körpergewicht in kg
- 2.4.1.4 BMI in kg/m
- 2.4.1.5 Körperfett in % und kg
- 2.4.1.6 Fettfreie Masse in %
- 2.4.1.7 Muskulatur absolut in kg
- 2.4.1.8 Körperwasser in % und kg

2.4.2 Belastungsmessgrößen

- 2.4.2.1 Belastungszeit (t): Minuten (min) und Sekunden (s)
- 2.4.2.2 Gesamtarbeit (Wattminuten): Summe der gelaufenen Wattstufen
- 2.4.2.3 Absolute Wattstufe (W)
- 2.4.2.4 Relative Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1}$ KG)

2.4.3 Kardiozirkulatorische Messgrößen

- 2.4.3.1 Herzfrequenz ($\text{HF} \cdot \text{min}^{-1}$).
- 2.4.3.2 Blutdruck (RR mmHg).

2.4.4 Respiratorische Messgrößen

- 2.4.4.1 Vitalkapazität (VK l)
- 2.4.4.2 Forciertes Expirationsvolumen in 1 Sekunde (FEV₁ l)

- 2.4.4.3 **Atemminutenvolumen (AMV | BTPS)**
 $AMV \text{ | STPD} = AMV \text{ | BTPS} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{Faktor}$
- 2.4.4.4 **Atemfrequenz (AF * min⁻¹)**
- 2.4.4.5 **Atemzugvolumen (AZV |)**

2.4.5 Kardiorespiratorische Messgrößen

- 2.4.5.1 **Absolute Sauerstoffaufnahme (VO₂ ml STPD):**

$$VO_2 \text{ ml STPD} = AMV \text{ ml STPD} \cdot \Delta \text{ Vol\% O}_2$$

(=Differenz In- zu Expirationsluft)

- 2.4.5.2 **Absolute Kohlendioxydabgabe (VCO₂ ml STPD):**

$$VCO_2 \text{ ml STPD} = AMV \text{ ml STPD} \cdot \Delta \text{ Vol\% CO}_2$$

(=Differenz In- zu Expirationsluft)

- 2.4.5.3 **Relative Sauerstoffaufnahme (VO₂ ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹):**

$$VO_2 \text{ STPD} = \frac{\text{VO}_2\text{-Aufnahme ml STPD}}{\text{Körpergewicht KG}} \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$$

2.4.6 Kardiorespiratorische Quotienten

- 2.4.6.1 **Sauerstoffpuls (VO₂ ml * Hf⁻¹)**

$$VO_2 \cdot Hf^{-1} = \frac{VO_2 - \text{Aufnahme}}{\text{Herzfrequenz Hf}} \text{ ml STPD}$$

- 2.4.6.2 **Atemäquivalent (AÄ)**

$$A\ddot{A} = \frac{AMV \text{ | BTPS}}{\text{Absolute VO}_2\text{-Aufnahme ml STPD}}$$

2.4.6.3 Ventilations-Respiratorischer Quotient (VRQ)

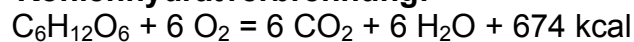
$$\text{VRQ} = \frac{\text{VCO}_2 - \text{Ausscheidung cm}^3 \text{ STPD}}{\text{VO}_2 - \text{Aufnahme cm}^3 \text{ STPD}}$$

2.4.7 Metabolische Messgrößen

2.4.7.1 Laktat (LA mmol · l⁻¹)

2.4.8 Indirekte Kalorimetrie

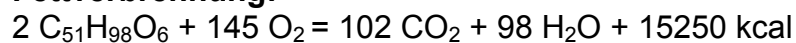
2.4.8.1 Kohlenhydratverbrennung:



2.4.8.2 Kalorisches Äquivalent (A_{GI}) des Sauerstoffs für Glucose (kcal/O₂)

$$A_{\text{GI}} = \frac{674 \text{ kcal}}{134,4 \text{ l O}_2} = 5,01 \text{ kcal/l O}_2$$

2.4.8.3 Fettverbrennung:



2.4.8.4 Kalorisches Äquivalent (A_F) des Sauerstoffs für die Tripalmitinverbrennung (kcal/O₂)

$$A_{\text{F}} = \frac{15250 \text{ kcal}}{145 \cdot 22,4 \text{ l O}_2} = 4,69 \text{ kcal/l O}_2$$

2.5 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte auf einem **Hewlett Packard Personal Computer** mit einem **Pentium IV Prozessor**, der mit 1.400 MHz taktete.

Die Statistik-Software bestand aus dem SPSSWIN-Package. Zum Einsatz kam die Version **SPSS Release 6.01 1995**, SPSS for Windows, SPSS Inc. 1989 – 1995.

Das erhobene Datenmaterial ließ sich auf dem Intervall- bzw. Rationalskalenniveau bearbeiten.

Die Anwendungsvoraussetzungen für die statistischen Prozeduren wie die Normalverteilung der Variablen und die Homogenität der Varianzen wurden geprüft und für das vorliegende Skalenniveau bestätigt.

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden der **Mittelwert (x)**, die **Standardabweichung (s)**, die **Varianz (s²)**, die **Streuungsbreite (S)** sowie **Minimum (Min)** und **Maximum (Max)** ermittelt.

Für den Vergleich zweier voneinander abhängiger Stichproben, wie beispielsweise der körperlichen Leistungsfähigkeit im Eingangs- und Ausgangsstufenbelastungstest auf dem Laufband, fand der **t-Test für abhängige Stichproben** Verwendung.

Im Rahmen der analytischen Statistik wurde die Größe des Zusammenhangs zwischen den Messgrößen mit Hilfe des **Korrelationskoeffizienten** nach **PEARSON** ermittelt.

Tab. 1: Testverfahren für die intervallskalierten, normalverteilten Daten

Anzahl der Stichproben, die verglichen werden sollen	Daten-Abhängigkeit	verwendetes statistisches Testverfahren
2	unabhängig	t-Test nach Student
2	abhängig	t-Test für abhängige Stichproben
> 2	unabhängig	einfache Varianzanalyse
> 2	abhängig	einfache Varianzanalyse mit Messwiederholungen

Um die Art des Zusammenhanges aufzudecken bzw. die Möglichkeit, den Wert einer abhängigen Variablen aufgrund einer Unabhängigen vorauszusagen, dienen die **einfache lineare** und die **multiple lineare Regressionsanalyse** zur weiteren Berechnung.

Für die Verfahren der Prüfstatistik gilt folgende Bedeutung der Irrtumswahrscheinlichkeit:

Tab. 2: Irrtumswahrscheinlichkeit (p)

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbolisierung
$p > 0.05$	nicht signifikant	ns
$p \leq 0.05$	signifikant	*
$p \leq 0.01$	sehr signifikant	**
$p \leq 0.001$	höchst signifikant	***

2.6 Kritik an der Untersuchungsmethode

Die vorliegende Studie zu kardiorespiratorischen und metabolischen Messgrößen bei Freizeit- und Gesundheitssportlern erstreckt sich über einen Untersuchungszeitraum von 10 Wochen. Die Auswertung wurde ausschließlich durch den Untersuchenden vorgenommen. Damit sollten Fehlerquellen über den gesamten Untersuchungszeitraum minimiert werden.

Als weiterer Einwand könnte angeführt werden, dass die körperliche Leistungsfähigkeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahresverlauf erfasst worden ist. Durch die Streuung der Untersuchungstermine könnte die Aussagekraft der Ergebnisse gemindert sein. Unter Berücksichtigung der Probandenzahl, des Zeitaufwandes der Eingangs- und Ausgangstests, sowie der individuellen Terminpläne war es nicht möglich, alle Tests in der gleichen Woche und der jeweils gleichen Tageszeit durchzuführen.

Auch die unterschiedlichen Trainingsumfänge, -intensitäten und -inhalte der verschiedenen Sportler erschwerten die Vergleichbarkeit. Die zu untersuchende Gruppe zeichnete sich nicht nur durch eine große Heterogenität im Hinblick auf Alter und Geschlecht, sondern auch durch unterschiedliche körperliche Leistungsfähigkeit aus.

Des Weiteren lagen zum Teil beträchtliche anthropometrische Differenzen hinsichtlich der Körpergröße, Körpergewichtes und des BMI vor.

Darüber hinaus bestehen zwischen den Ergebnissen einer erschöpfenden Laufbandspiroergometrie und der Outdoor- Sportart Differenzen beim Abdruck des Standbeines und beim Luftwiderstand. Im Vergleich zwischen Laufbandspiroergometrie vs. Fahrradspiroergometrie können unter erschöpfender Ausbelastung bei der Laufbanduntersuchung 5 – 10 % höhere kardiorespiratorische Maximalwerte erzielt werden (vgl. ROSENTHAL, VÖLPEL 1980, STAADEN 1980, WETTICH 1980, NOWACKI 1981, ZIMMER 1982).

Leider konnte der Laktat-Feldtest nicht spirometrisch erfasst werden.

Die in den Laborversuchen ermittelte körperliche Leistungsfähigkeit lässt sich nicht ohne weiteres auf die Leistungsfähigkeit unter veränderten Temperatur- und Geländebedingungen wie beim Nordic Walking in „freier Natur“ übertragen.

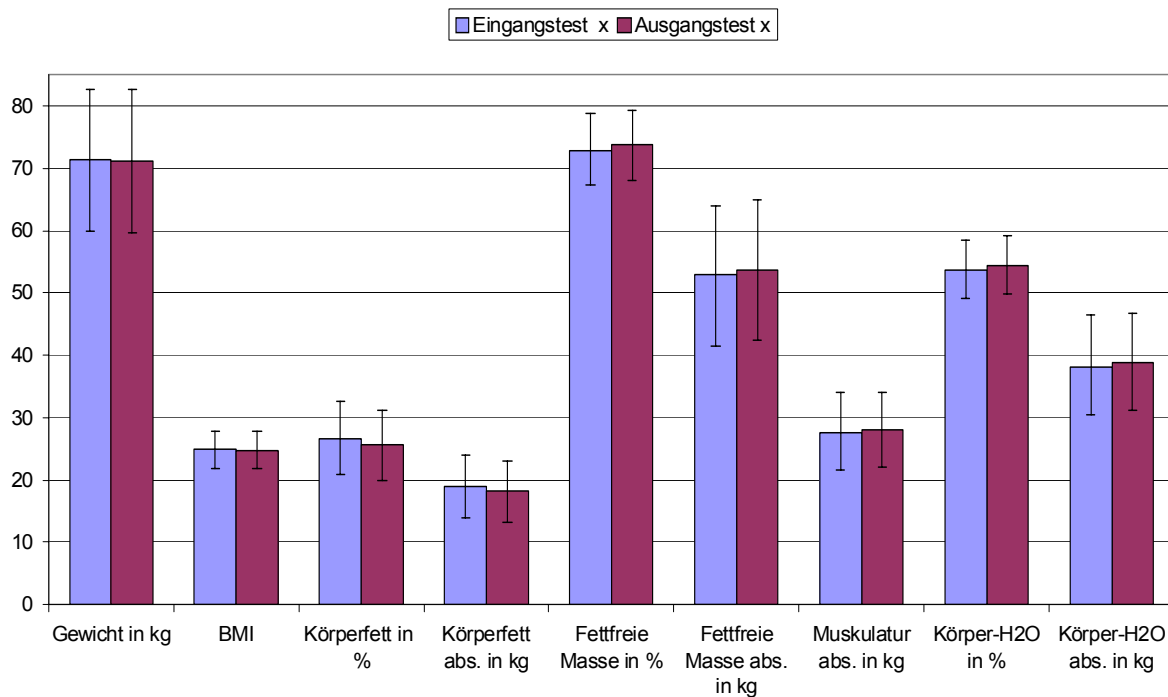
Die Motivation aller Sportler war vorhanden, wodurch jeweils eine maximale subjektive Ausbelastung und altersentsprechende maximale Herzfrequenzen registriert werden konnten. Trotz vorheriger Information und Aufklärung war im Vorstartstadium durchgängig eine Nervosität zu registrieren, was vermutlich in dieser Phase zu erhöhten kardiozirkulatorischen und respiratorischen Messwerten führte. Mit Beginn der Belastung passten sich aber die kardiorespiratorischen Reaktionen sehr rasch den Erfordernissen der physikalischen Leistung an.

3 ERGEBNISSE

3.1 Anthropometrische Parameter

Die anthropometrischen Daten des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie sind in der Abb. 8 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

Anthropometrische Parameter - Eingangs- vs. Ausgangstest



	Gewicht in kg	BMI	Körperfett in %	Körperfett abs. in kg	Fettfreie Masse in %	Fettfreie Masse abs. in kg	Muskel abs. in kg	Körper-H2O in %	Körper-H2O abs. in kg
Eingangstest x	71,31	24,89	26,62	18,92	72,9	52,88	27,67	53,77	38,18
Eingangstest s	11,31	3,02	6	5,09	5,85	11,19	6,43	4,66	8,32
Ausgangstest x	71,07	24,73	25,6	18,15	73,71	53,65	28,12	54,48	38,91
Ausgangstest s	11,53	3,02	5,66	4,99	5,61	11,33	6,01	4,76	7,7

Abb. 8: Mittelwerte ($x \pm s$) des Körpergewichts (kg), des BMI, des Körperfetts (% und kg), der fettfreien Masse (% und kg), der Muskulatur (kg) und des Körperwassers (% und kg) des Eingangs- und des Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Das Körpergewicht der Sportler stellte sich nach der **10-wöchigen Trainingsphase** mit **71,07 ± 11,53 kg** annähernd gleich dem **Ausgangswert** von **71,31 ± 11,53 kg** dar. Der **Mittelwertsunterschied** des Körpergewichts zwischen Eingangs- und Ausgangstest stellt sich mit **p=0,018 als signifikant** dar.

Der **Bodymassindex (BMI)** hat sich mit **24,73 ± 3,02** vs. **24,89 ± 3,02** ebenfalls nur in geringem Maße verändert. Analog zum Körpergewicht verhält es sich mit der statistischen Signifikanz der Mittelwertsunterschiede des Bodymassindex (BMI). Hier ergibt sich ein **statistisch signifikanter Mittelwertsunterschied (p=0,018)**.

Das **Körperfett** nahm prozentual von **26,62 ± 6 %** bzw. absolut von **18,92 ± 5,09 kg** auf **25,6 ± 5,66 %** bzw. **18,15 ± 4,99 kg** ab. Der **absolute Körperfettanteil** der Sportler der Nordic Walking Studie des Eingangs- und Ausgangstests stellt sich im Mittelwertsunterschied mit einem Wert von **p=0,009** ebenfalls als **statistisch signifikant** dar.

Zeitgleich nahm die **fettfreie Masse** von **prozentual 72,9 ± 5,85 %** bzw. **absolut 52,88 ± 11,19 kg** auf **73,71 ± 5,61 %** bzw. **53,65 ± 11,33 kg** zu. Ähnlich verhielt es sich mit der **Muskulatur**, deren **Masse** von **27,67 ± 6,43 kg** auf **28,12 ± 6,01 kg** **anstieg**.

Mit der **Verminderung des Körperfetts** und dem **Zuwachs an fettfreier Masse** sowie **Muskulatur** vollzog sich gleichzeitig ein **Anstieg des Gehalts an Körperwasser**. Das Wasser nahm von **53,77 ± 4,66 %** bzw. **38,18 ± 8,32 kg** auf **54,48 ± 4,76 %** bzw. **38,91 ± 7,7** zu.

3.2 Belastungszeit

Die **Belastungszeiten** ($t \cdot \text{min}$) des **Eingangs-** und **Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** sind in Abb. 9 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

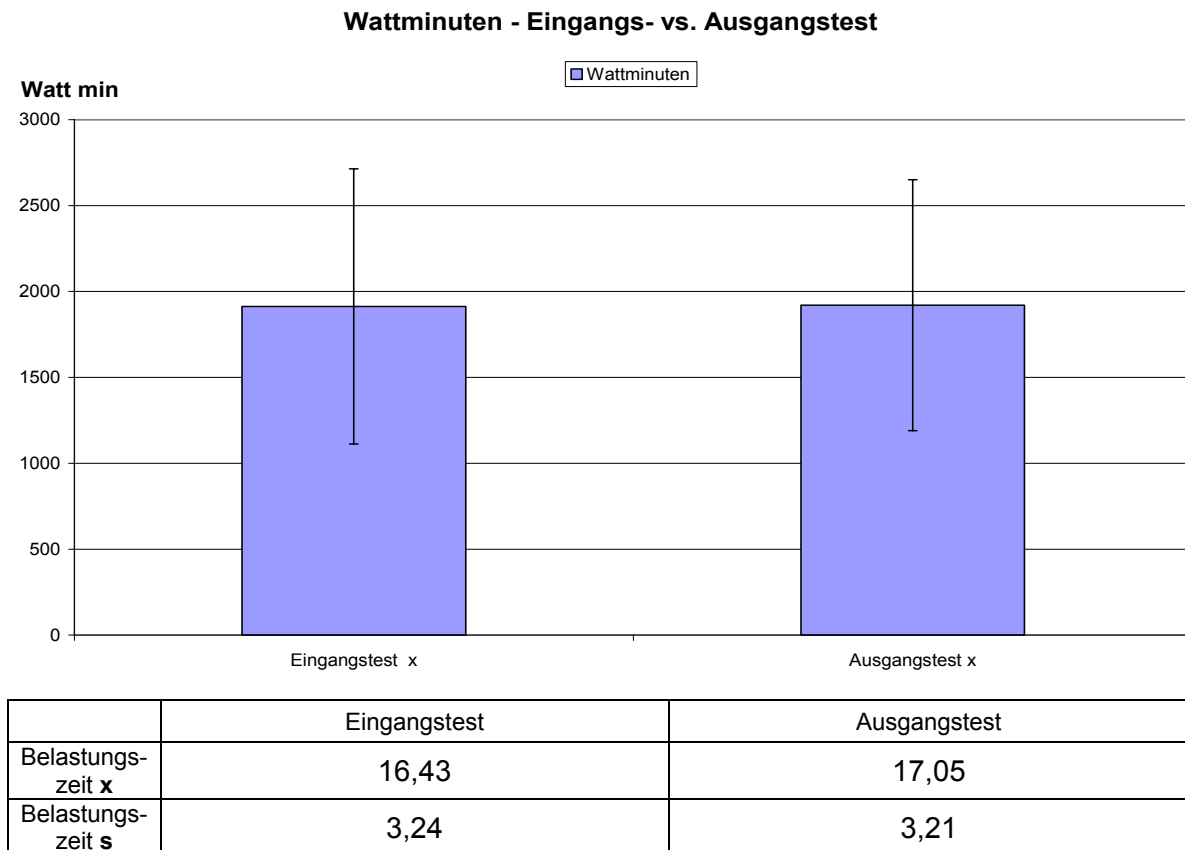


Abb. 9: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Belastungszeit ($t \cdot \text{min}$) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die Belastungszeit stellt den Zeitabschnitt dar, den die Probanden im Mittel während des Eingangs- und Ausgangstest unter körperlicher Belastung von 4- bis maximal 10 km/h auf dem Laufband verbrachten. Die Zeit des **Eingangstests** mit **16,43 ± 3,24** min lag mit ca. einer halben Minute unter der des **Ausgangstests**. Hier konnten die Sportler ihre Belastungszeit um **22 Sekunden** auf **17,05 ± 3,21** min erhöhen. Diese Zeitdifferenz ist als nicht signifikant zu werten.

3.3 Gesamtarbeit

Die verrichtete **Gesamtarbeit (Wattminuten)** des **Eingangstests** und **Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** ist in Abb.10 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

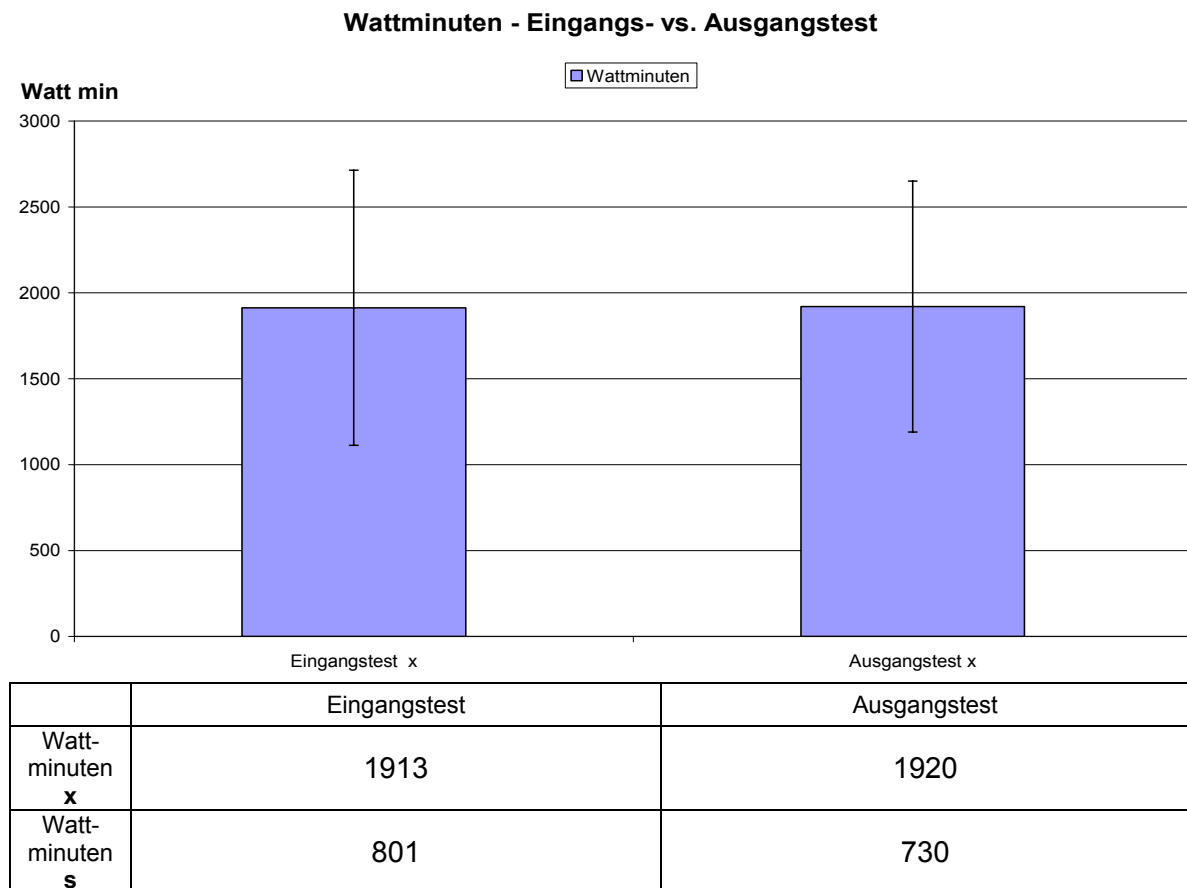


Abb. 10: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Gesamtarbeit (Wattminuten) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die geleistete Gesamtarbeit stellt sich im **Eingangstest** mit **1913 ± 801 Wattminuten** dar. Im **Ausgangstest** konnten die Sportler ihre Leistung um **7 Wattminuten** auf **1920 ± 730 Wattminuten** steigern.

3.4 Absolute Wattstufe

Die absolvierte maximale **absolute Wattstufe** des **Eingangstests**- vs. **Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** ist in Abb. 11 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

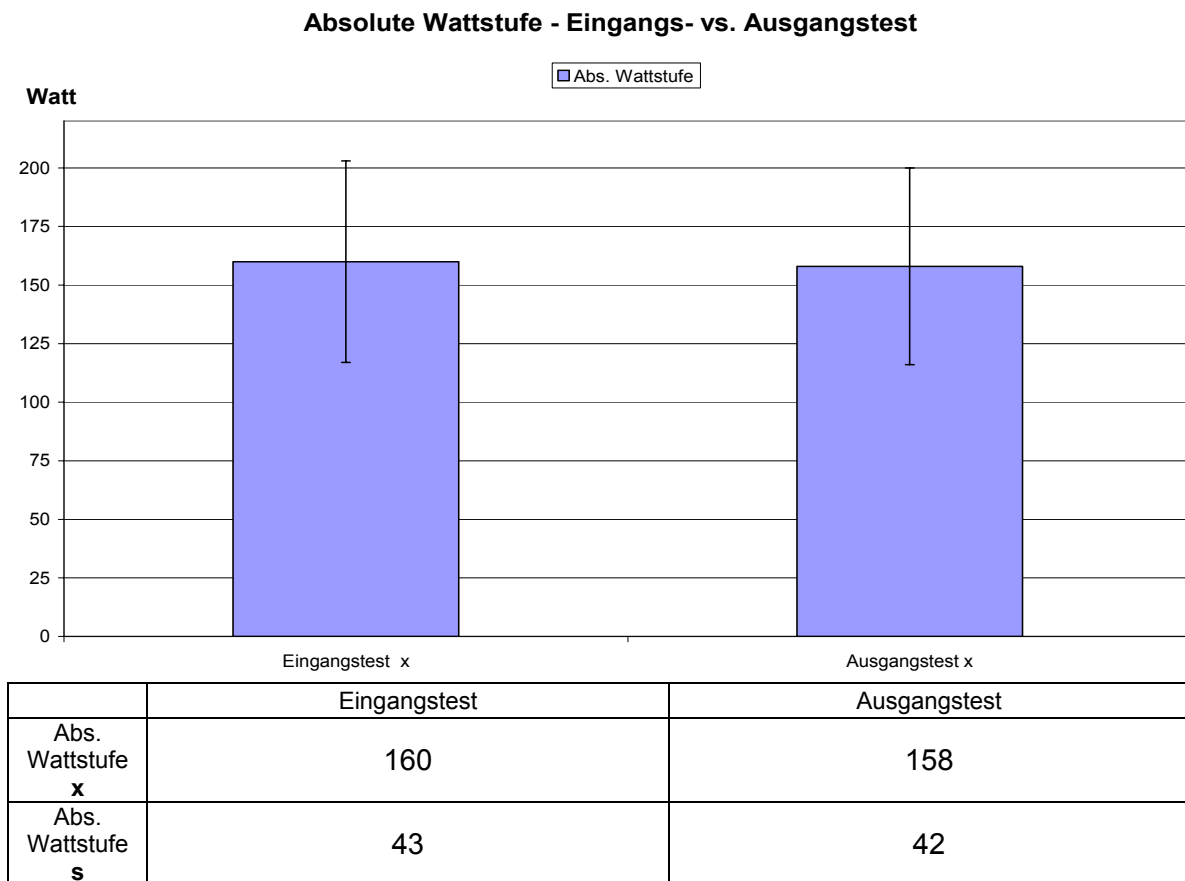


Abb. 11: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der absoluten maximalen Wattstufe (Watt) des Eingangstests- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die absolute maximale Wattstufe (Watt) auf dem Laufband für die Nordic Walking Studie liegt für den **Eingangstest** bei 160 ± 43 Watt. Im **Ausgangstest** wurde im Mittel eine absolute maximale Wattstufe von 158 ± 42 Watt durch die Sportler erreicht.

3.5 Relative Wattstufe

Die absolvierte **relative Wattstufe** ($W \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$) des **Eingangstests**- vs. **Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** sind in Abb. 12 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

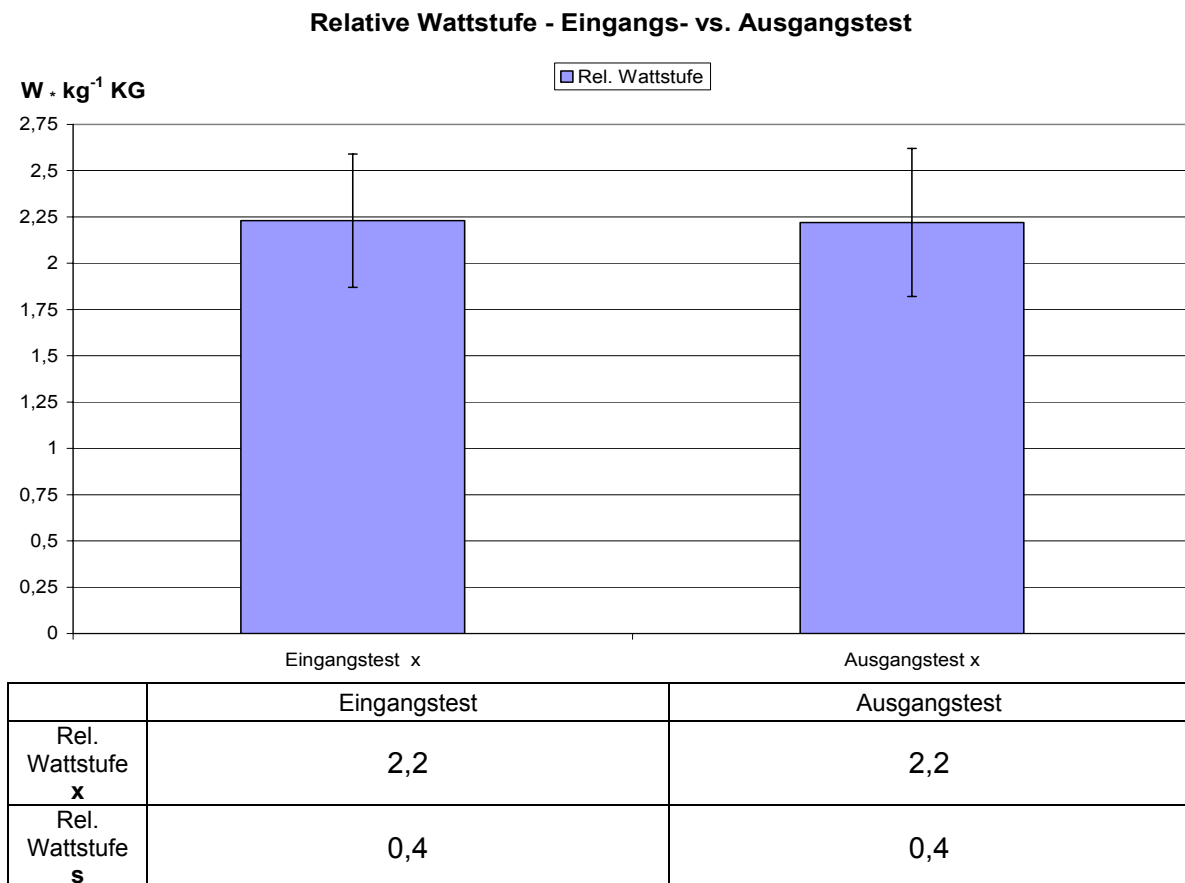


Abb. 12: Mittelwerte ($x \pm s$) der relativen Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$) des Eingangstests- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die maximale relative Wattstufe liegt in der Nordic Walking Studie im **Eingangstest** bei $2,2 \pm 0,4 W \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$. Der von den Walkern erzielte Wert des **Ausgangstest** liegt bei $2,2 \pm 0,4 W \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$.

3.6 Herzfrequenz

Das durchschnittliche Verhalten der **Herzfrequenz** des **Eingangs- und Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** ist in Abb. 13 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

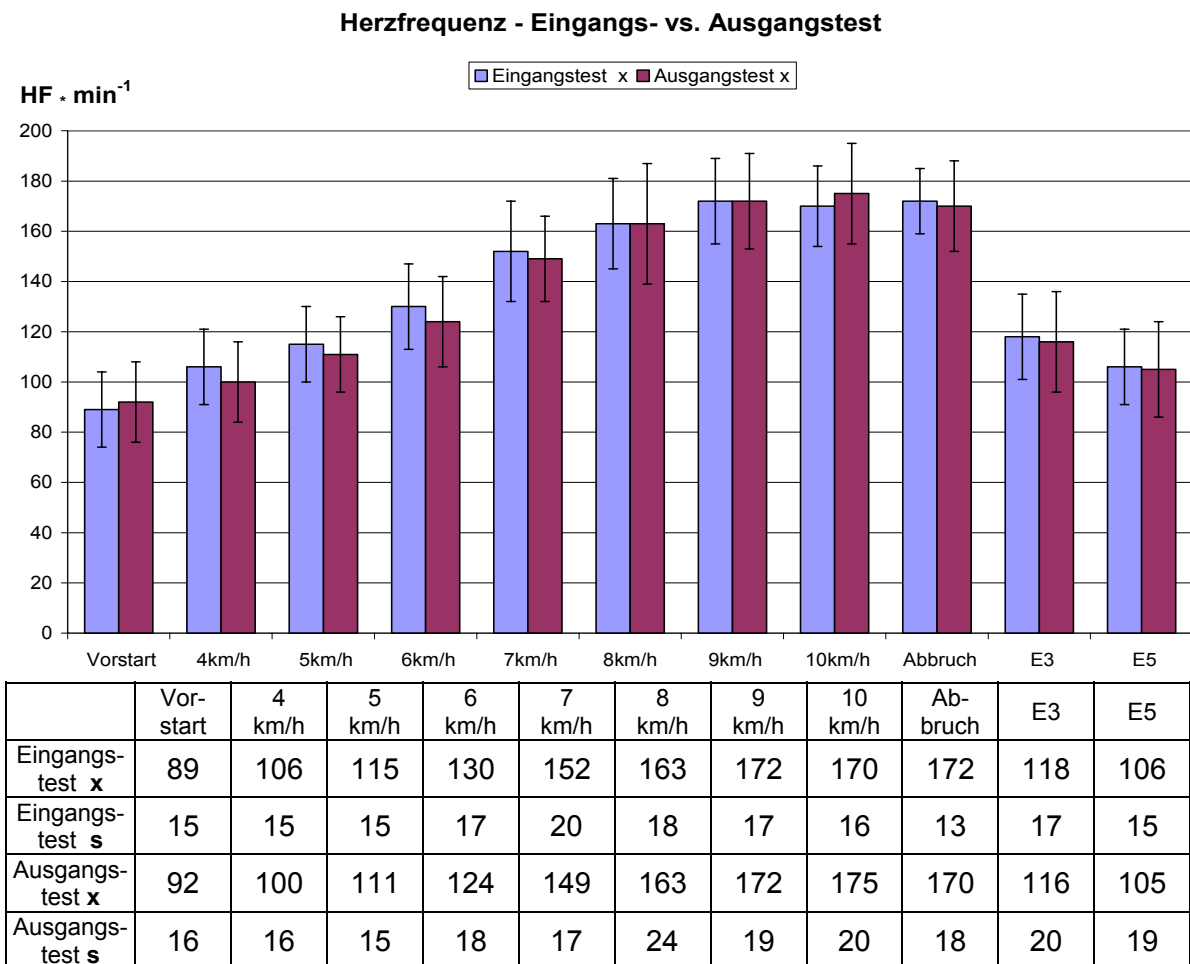


Abb. 13: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Herzfrequenz ($HF \cdot \text{min}^{-1}$) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle zum Vorstart während der verschiedenen Belastungsstufen und nach dem Stufenbelastungstest auf dem Laufband.

Die mittlere Herzfrequenz aller Probanden unter **Vorstartbedingungen** stehend auf dem Laufband beträgt **$89 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$** im **Eingangstest** und **$92 \pm 16 \cdot \text{min}^{-1}$** im **Ausgangstest**. Während der Belastung steigt die Herzfrequenz kontinuierlich sowohl im **Eingangs-** als auch im **Ausgangstest** bis auf **maximal $172 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$** bei **9 km/h** an.

Bei **10km/h** findet sich eine **Vita maxima Herzfrequenz** von **$170 \pm 16 \cdot \text{min}^{-1}$** im **Eingangs-** vs. **$175 \pm 20 \cdot \text{min}^{-1}$** im **Ausgangstest**.

Im **submaximalen Belastungsbereich** der Probanden, also zwischen **4 km/h** und **7 km/h**, ist eine **Frequenzsenkung** zwischen **Eingangs-** und **Ausgangstest** zu beobachten. Bei **4 km/h** beträgt die Frequenz im **Eingangstest** **$106 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$** , im **Ausgangstest** jedoch nur noch **$100 \pm 16 \cdot \text{min}^{-1}$** . Bei **5, 6 und 7 km/h** schlägt das Herz im **Eingangstest** mit **$115 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$** , **$130 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$** und **$152 \pm 20 \cdot \text{min}^{-1}$** höher als im Ausgangstest mit **$111 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$** , **$124 \pm 18 \cdot \text{min}^{-1}$** und **$149 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$** .

So konnten im Haupttrainingsbereich des Nordic Walkings von 4, 5, 6, und 7 km/h **deutliche Mittelwertsunterschiede** festgestellt werden, die bei **4 und 5 km/h** hoch signifikant ($p=0,003$) waren. Im Hauptbelastungsbereich des Nordic Walking bei **6 km/h** ergibt sich sogar eine **höchstsignifikante Mittelwertsdifferenz** mit **$p<0,001$** . Im Belastungsbereich von **7 km/h** ist der Mittelwertsunterschied mit **$p=0,017$** **signifikant**.

Bei einer Geschwindigkeit von **8 km/h und 9 km/h** sind keine Unterschiede der Herzfrequenz zwischen Eingangs- und Ausgangstest zu verzeichnen.

Der **Sofortwert bei Belastungsabbruch** hat sich im **Vergleich Eingangs-** vs. **Ausgangstest** um 2 Herzaktionen $\cdot \text{min}^{-1}$ verringert (**$172 \pm 13 \cdot \text{min}^{-1}$** vs. **$170 \pm 18 \cdot \text{min}^{-1}$**). Diese Tendenz zeigt sich auch während der Erholungsphase im Messzeitpunkt der 3. und 5. Erholungsminute.

3.7 Blutdruck

Das durchschnittliche Verhalten der **systolischen** und **diastolischen Blutdruckwerte** (RR in mmHg) des **Eingangs- und Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** sind in Abb. 14 und Abb. 15 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

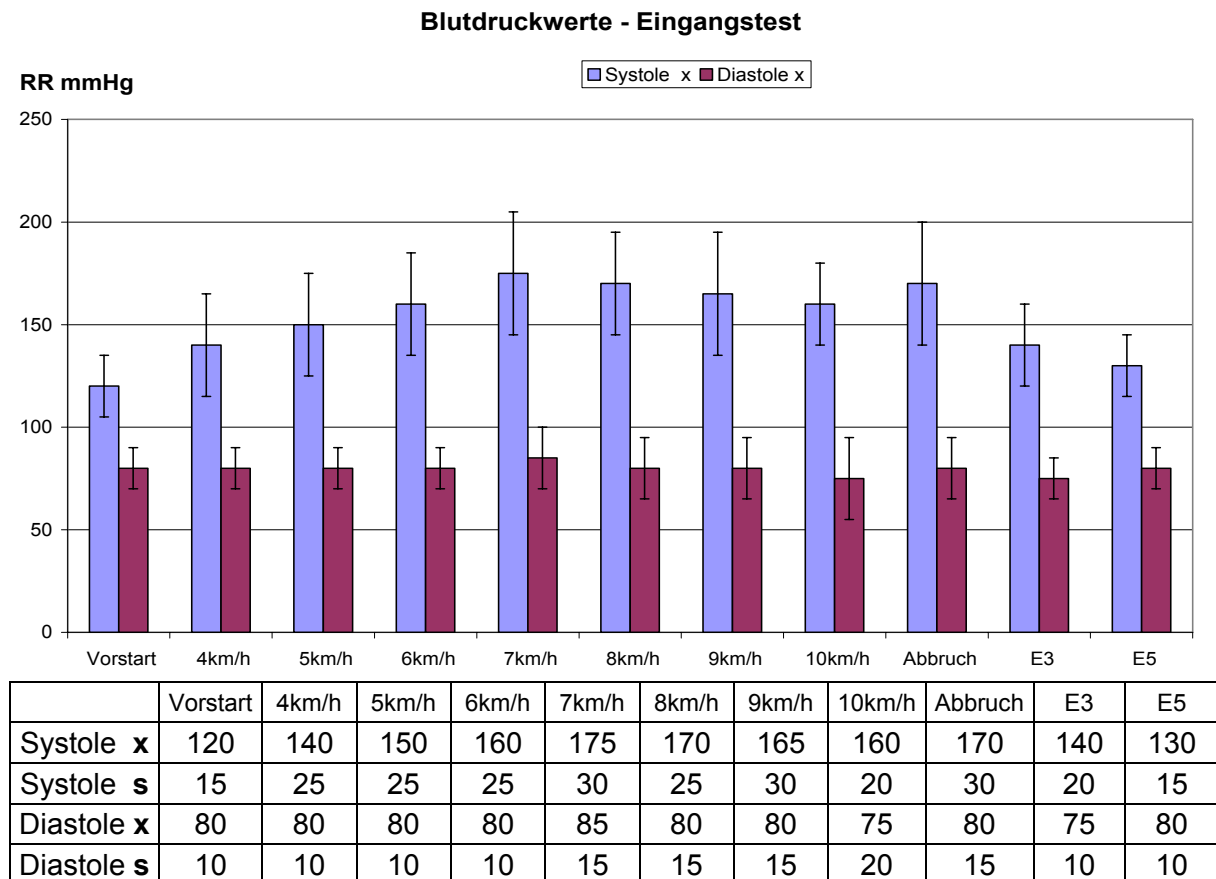
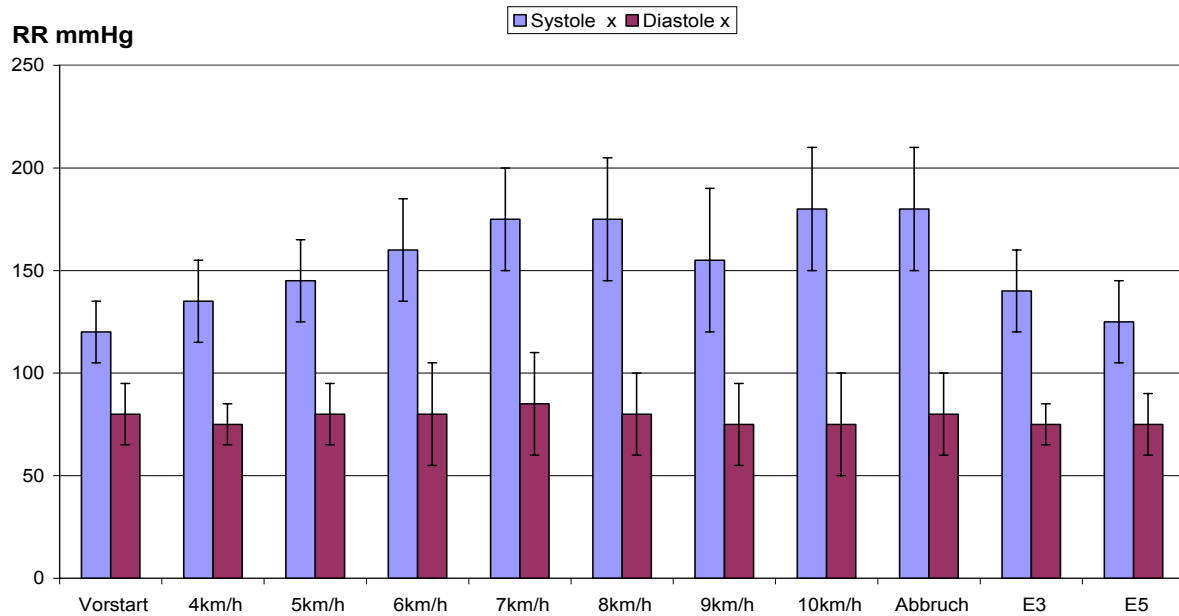


Abb. 14: Mittelwerte ($x \pm s$) der systolischen und diastolischen Blutdruckwerte (RR in mmHg) des Eingangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Blutdruckwerte - Ausgangstest



	Vorstart	4km/h	5km/h	6km/h	7km/h	8km/h	9km/h	10-km/h	Abbruch	E3	E5
Systole x	120	135	145	160	175	175	155	180	180	140	125
Systole s	15	20	20	25	25	30	35	30	30	20	20
Diastole x	80	75	80	80	85	80	75	75	80	75	75
Diastole s	15	10	15	25	25	20	20	25	20	10	15

Abb. 15: Mittelwerte ($x \pm s$) der systolischen und diastolischen Blutdruckwerte (RR in mmHg) des Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Die Mittelwerte des systolischen und des diastolischen Blutdruckes im **Eingangstest** steigen von $120 \pm 15 / 80 \pm 10$ mmHg unter **Ruhebedingungen** auf $160 \pm 25 / 75 \pm 20$ mmHg bei **10 km/h an**. Vor dem **Ausgangstests** misst man unter **Ruhebedingungen** ebenfalls $120 \pm 15 / 80 \pm 15$ mmHg, bei **10 km/h** findet man jedoch mit $180 \pm 30 / 75 \pm 20$ mmHg andere Werte als im Eingangstest.

Im **submaximalen Belastungsbereich** des Nordic Walking, also bei **4 km/h** und **5 km/h**, kann man einen Abfall der systolischen Messwerte im Vergleich zwischen Eingangs- vs. Ausgangstest beobachten.

Der **Mittelwertsunterschied** des **diastolischen Blutdrucks** bei **4 km/h** zeigt sich **statistisch hoch signifikant** ($p=0,008$).

Bei der systolischen Blutdruckregulation ergeben sich ebenfalls statistische Mittelwertsdifferenzen. So ist der Mittelwertsunterschied zwischen Eingangs- und Ausgangstest bei **5 km/h** ($p=0,013$) als signifikant einzustufen.

Bei Belastungsabbruch nach der erschöpfenden Vita maxima-Ausbelastung ergibt sich im Vergleich Eingangs- zu Ausgangstest ($80 \pm 15 / 170 \pm 30$ mmHg vs. $80 \pm 20 / 180 \pm 30$ mmHg) ebenfalls ein signifikanter ($p=0,042$) Mittelwertsunterschied für die systolischen Werte.

Grundsätzlich wurde unter den Testbedingungen ein normotones Blutdruckverhalten registriert.

3.8 Vitalkapazität und forciertes Expirationsvolumen

Die Vitalkapazität (VC in l) und die 1-Sekundenkapazität (FEV₁ % VC in) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie sind in Abb. 15 und Abb. 17 mit den dazugehörigen Wertetabellen dargestellt.

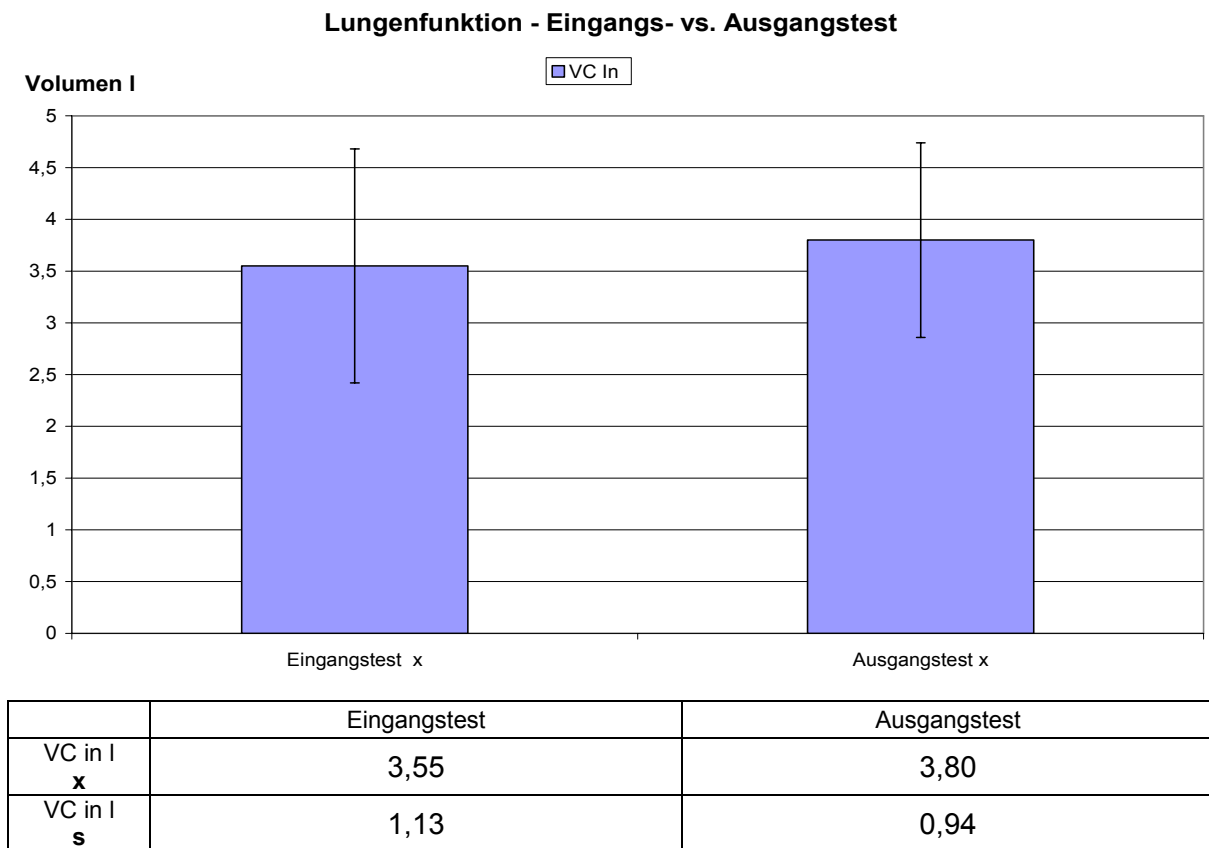
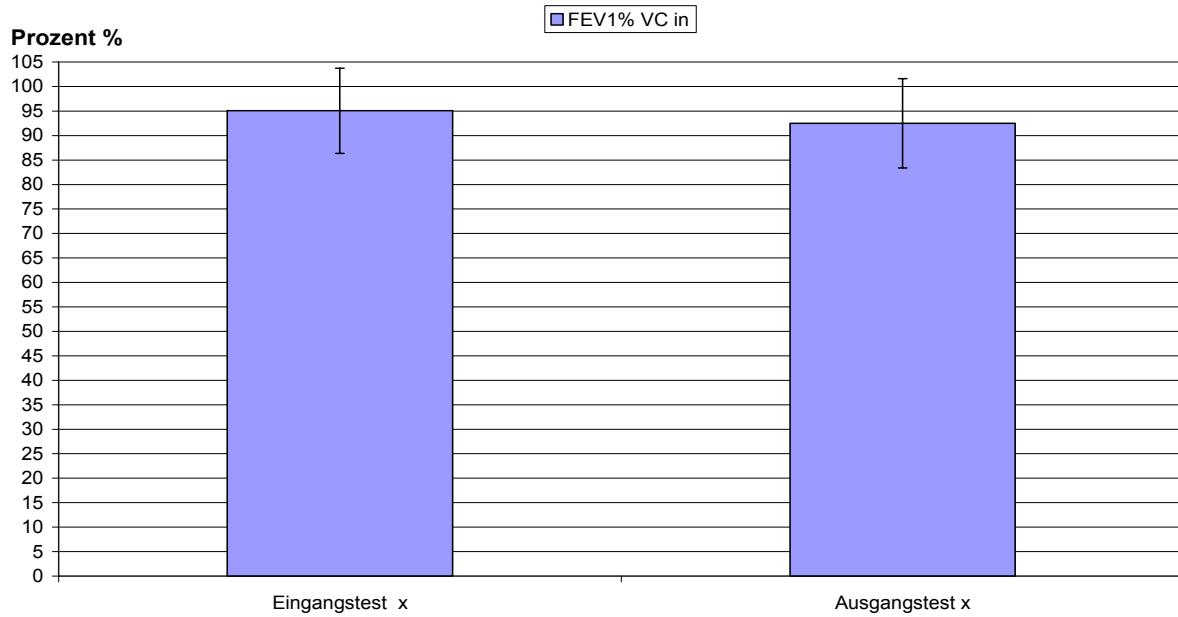


Abb. 16: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Vitalkapazität (VC in l) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Lungenfunktion - Eingangs- vs. Ausgangstest



	Eingangstest	Ausgangstest
FEV ₁ % VC in x	95	93
FEV ₁ % VC in s	9	9

Abb. 17: Mittelwerte ($x \pm s$) des forcierten Expirationsvolumen in 1 Sekunde (FEV₁ % VC in) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Vitalkapazität der Sportler** ist um 0,25 l von $3,55 \pm 1,13$ l im **Eingangstest** auf $3,8 \pm 0,94$ im **Ausgangstest** gestiegen. Die **1-Sekunden Kapazität** verringerte sich von 95 ± 9 % auf 93 ± 9 %.

3.9 Atemminutenvolumen

Die Atemminutenvolumina (AMV | BTPS * min⁻¹) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie sind in Abb. 18 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

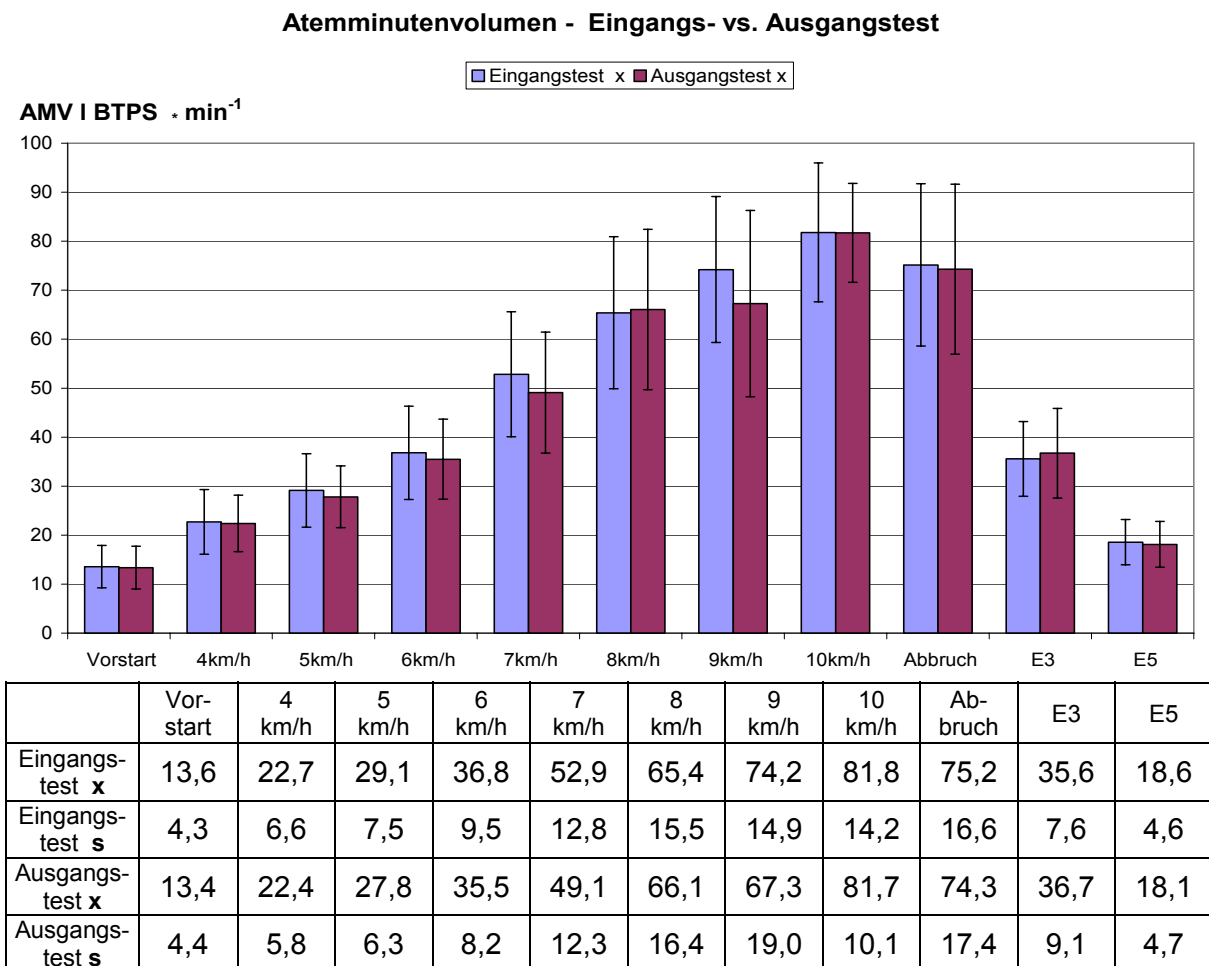


Abb. 18: Mittelwerte (x ± s) der Atemminutenvolumina (AMV | BTPS * min⁻¹) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Die respiratorische Messgröße des Atemminutenvolumens wird unter Vorstartbedingungen stehend auf dem Laufband sowohl im Eingangs- als auch im Ausgangstest im erhöhten Normbereich registriert (Werte: 13,6 ± 4,3 | BTPS * min⁻¹ vs. 13,4 ± 4,4 | BTPS * min⁻¹). Im **Eingangstest** steigt das Atemminutenvolumen von 22,7 ± 6,6 | BTPS * min⁻¹ bei 4 km/h kontinuierlich auf 81,8 ± 14,2 | BTPS * min⁻¹ bei

10 km/h an. Ebenfalls ansteigend stellen sich die Atemminutenvolumina im **Ausgangstest** dar, allerdings zumeist auf niedrigerem Niveau. So beträgt der Wert des AMV im **Ausgangstest bei 4 km/h** $22,4 \pm 5,8 \text{ l BTPS} \cdot \text{min}^{-1}$, was niedriger als im Eingangstest ist. In den submaximalen Belastungsstufen von **5, 6 und 7 km/h** stellen sich die Messwerte ebenfalls niedriger da. Das Atemminutenvolumen der Sportler unterscheidet sich bezüglich der **Mittelwertsunterschiede** in den **Belastungsstufen** von **7 km/h** mit $p=0,015$ und **9 km/h** mit $p=0,05$ signifikant.

Bei **10 km/h** liegt das Atemminutenvolumen mit $81,7 \pm 10,1 \text{ l BTPS} \cdot \text{min}^{-1}$ nun auf gleichem Niveau mit dem Eingangstest. Während der **Erholungsphase** kommt es zu einer sukzessiven Abnahme des Atemminutenvolumens bis auf Werte von $18,6 \pm 4,6 \text{ l BTPS} \cdot \text{min}^{-1}$ im **Eingangstest** bzw. $18,1 \pm 4,7 \text{ l BTPS} \cdot \text{min}^{-1}$ im **Ausgangstest** in der **5. Erholungsminute (E5)**.

3.10 Atemfrequenz

Die Atemfrequenzwerte ($AF \cdot \text{min}^{-1}$) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie sind in Abb. 19 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

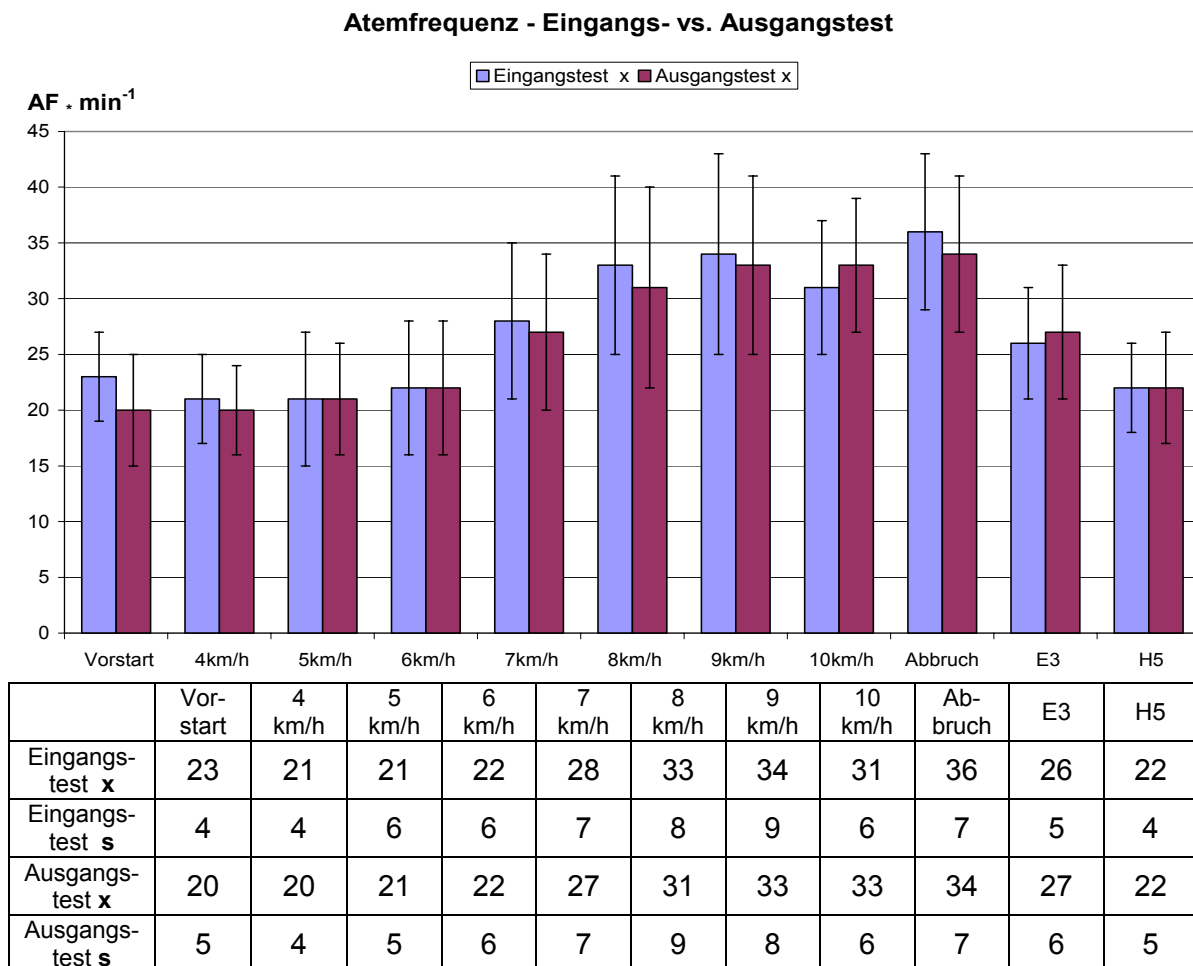


Abb. 19: Mittelwerte ($x \pm s$) der Atemfrequenz ($AF \cdot \text{min}^{-1}$) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle während der verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Die Atemfrequenz stellt sich ähnlich wie das Atemminutenvolumen unter Vorstartbedingungen im oberen erhöhten Normbereich dar. Die Anzahl der Atemzüge beträgt $23 \pm 4 \cdot \text{min}^{-1}$ im Eingangstest vs. $20 \pm 5 \cdot \text{min}^{-1}$ im Ausgangstest. Im Vergleich zwischen Eingangstest und Ausgangstest ergeben sich

unter **Vorstartbedingungen** statistisch hochsignifikante Mittelwertsunterschiede ($p=0,002$).

Der **Eingangstest** zeigt bei **4 km/h** eine Frequenz von $21 \pm 4 \cdot \text{min}^{-1}$ auf, der **Ausgangstest** von $20 \pm 4 \cdot \text{min}^{-1}$. Die Geschwindigkeitsbereiche **5 und 6 km/h** stellen sich mit $21 \cdot \text{min}^{-1}$ bzw. $22 \cdot \text{min}^{-1}$ unwesentlich verändert zu 4 km/h dar. Bei den nun folgenden Geschwindigkeiten von **7, 8 und 9 km/h** steigt die Atemfrequenz kontinuierlich bis auf Werte von $34 \pm 9 \cdot \text{min}^{-1}$ im **Eingangstest** bzw. $33 \pm 8 \cdot \text{min}^{-1}$ im **Ausgangstest** an. Im Bereich von **10 km/h** wird im **Eingangstest** nun ein Abfall auf $31 \pm 6 \cdot \text{min}^{-1}$ verzeichnet, während sich die Frequenz im **Ausgangstest** mit $33 \pm 6 \cdot \text{min}^{-1}$ identisch dem 9 km/h Wert zeigt. Die **Erholungsphase** ist durch einen zu erwartenden Frequenzabfall gekennzeichnet. Die Werte für **E5** liegen bei $22 \pm 4 \cdot \text{min}^{-1}$ im **Eingangstest**, der **Ausgangstest** stellt sich mit $22 \pm 5 \cdot \text{min}^{-1}$ identisch dar.

3.11 Atemzugvolumen

Das **Atemzugvolumen (AZV I)** des **Eingangstests** und **Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** sind in Abb. 20 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

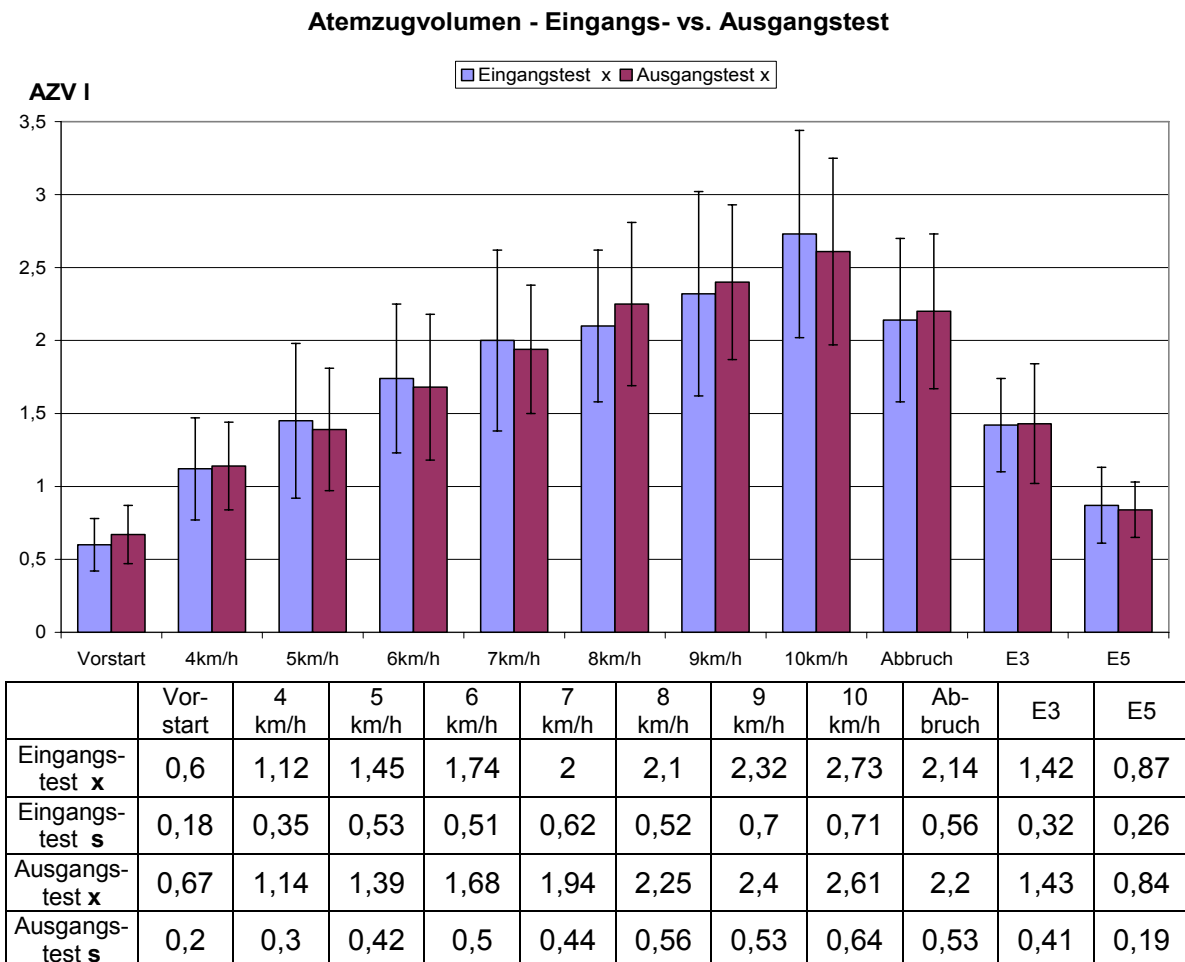


Abb. 20: Mittelwerte ($x \pm s$) des Atemzugvolumens (AZV I) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Die Atemzugvolumina erhöhen sich mit steigender Belastungsstufe bis zu ihren maximalen Werten $2,73 \pm 0,71$ l und $2,61 \pm 0,64$ l bei 10 km/h. Die **Vorstartvolumina** der beiden Tests sind mit $0,6 \pm 0,18$ l vs. $0,67 \pm 0,2$ l nahezu identisch. Nun folgt ein **Anstieg** auf $2,73 \pm 0,71$ l im **Eingangstest** vs. $2,61 \pm 0,64$ l im **Ausgangstest**.

In den Bereichen von **5, 6 und 7 km/h** sind die ansteigenden Atemzugvolumina des **Eingangstests** mit $1,45 \pm 0,53$ l, $1,74 \pm 0,51$ l und $2 \pm 0,62$ l **höher** als die des **Ausgangstests** mit $1,39 \pm 0,42$ l, $1,68 \pm 0,5$ l und $1,94 \pm 0,44$ l. Dieser Sachverhalt kehrt sich bei den Geschwindigkeitsstufen von **8 und 9 km/h** um. Hier liegen die Werte bei $2,1 \pm 0,52$ l bzw. $2,32 \pm 0,7$ l für den **Eingangstest**, und bei $2,25 \pm 0,56$ l bzw. $2,4 \pm 0,53$ für den **Ausgangstest**.

Das **maximale Atemzugvolumen** ist bei **10 km/h** im **Eingangstest** mit $2,73 \pm 0,71$ l und im **Ausgangstest** mit $2,61 \pm 0,64$ l erreicht. Erwartungsgemäß fällt das Atemzugvolumen in der **Erholungsphase (E5)** auf $0,87 \pm 0,26$ l im **Eingangstest** und auf $0,84 \pm 0,19$ l im **Ausgangstest** ab.

3.12 Absolute Sauerstoffaufnahme

Die absolute Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1}$) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie ist in Abb. 21 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

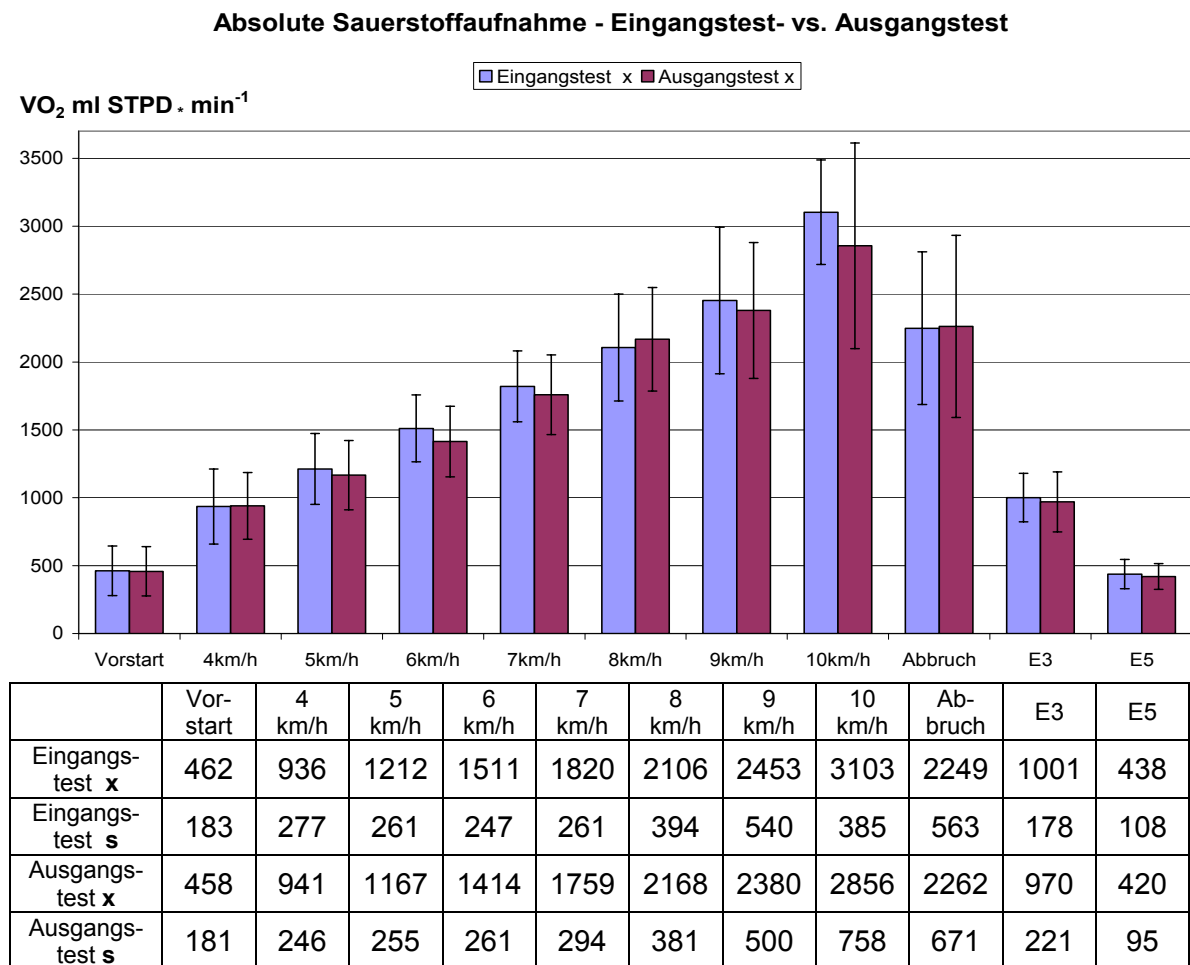


Abb. 21: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1}$) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Die absolute Sauerstoffaufnahme der Nordic Walking Studie beträgt in der Vorstartphase $462 \pm 183 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1}$ für den Eingangstest vs. $458 \pm 181 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1}$ im Ausgangstest. Die Volumina der absoluten Sauerstoffaufnahme steigen bis in den submaximalen Bereich in beiden Tests kontinuierlich an und

betragen im **Vita maxima-Bereich** 3103 ± 385 ml STPD \cdot min⁻¹ für den **Eingangstest** bzw. 2856 ± 758 ml STPD \cdot min⁻¹ im **Ausgangstest**.

Die Mittelwertsunterschiede der absoluten Sauerstoffaufnahme zeigen für die Belastungsstufen 6 km/h (Eingangs- vs. Ausgangstest = 1511 ± 247 ml STPD \cdot min⁻¹ vs. 1414 ± 261 ml STPD \cdot min⁻¹) und 9 km/h (Eingangs- vs. Ausgangstest = 2453 ± 540 ml STPD \cdot min⁻¹ vs. 2380 ± 500 ml STPD \cdot min⁻¹) Differenzen auf. Der Mittelwertsunterschied im Haupttrainingsbereich des Nordic Walking bei 6 km/h ist mit $p=0,003$ hoch signifikant. Bei 9 km/h ergibt sich mit $p=0,035$ ebenfalls eine Signifikanz.

Während der **Erholungsphasen** am Messzeitpunkt **E3** und **E5** fällt die absolute Sauerstoffaufnahme wie erwartet ab und beträgt so für **E3** im **Eingangstest** 438 ± 108 ml STPD \cdot min⁻¹ vs. 420 ± 95 ml STPD \cdot min⁻¹ im **Ausgangstest**. Diese Werte für E3 entsprechen nahezu den Vorstartwerten.

3.13 Relative Sauerstoffaufnahme

Die relative Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) des **Eingangstests** und **Ausgangstests** der Nordic Walking Studie ist in Abb. 22 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

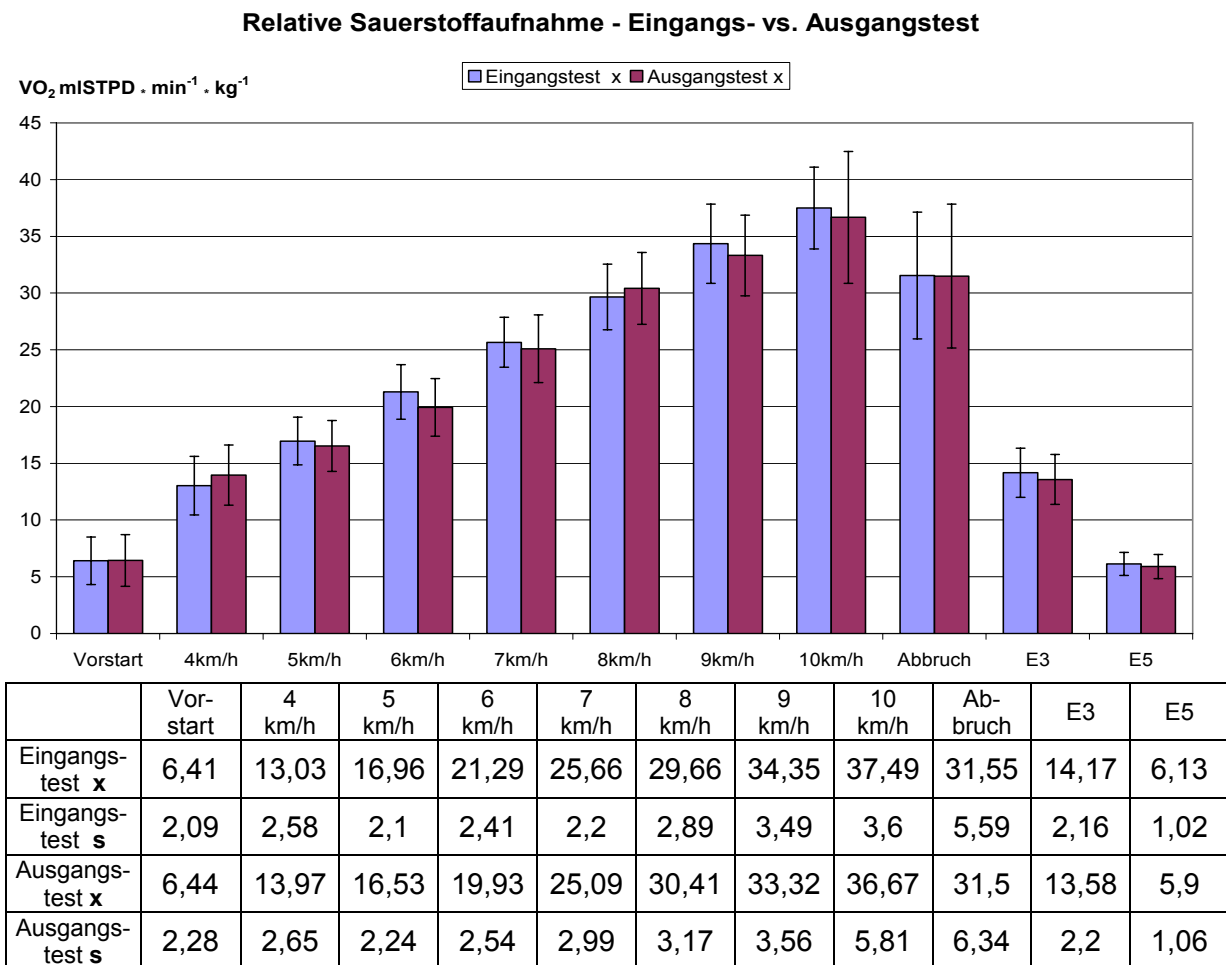


Abb. 22: Mittelwerte ($x \pm s$) der relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) des **Eingangstests** und **Ausgangstests** der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Die relative Sauerstoffaufnahme der Nordic Walking Studie Vorstart beträgt $6,41 \pm 2,09 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ für den **Eingangstest** vs. $6,44 \pm 2,28 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ im **Ausgangstest**. Die relative Sauerstoffaufnahme steigt bis in den

submaximalen Bereich in beiden Tests kontinuierlich an. Für **4 km/h**, **5 km/h** sowie **6 km/h** ergibt sich im **Eingangstest** ein zunehmender Anstieg der relativen Sauerstoffaufnahme von $13,3 \pm 2,58 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, $16,96 \pm 2,1 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ und $21,29 \pm 2,41 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Für diese Belastungsstufen werden im **Ausgangstest** $13,97 \pm 2,65 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, $16,53 \pm 2,24 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ und $19,93 \pm 2,54 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ registriert. Die relative Sauerstoffaufnahme im Eingangs- und Ausgangstest unterscheidet sich bezüglich der **Mittelwertsdifferenzen** bei **6 km/h** mit $p=0,004$ **hochsignifikant**.

Bei **9 km/h** liegt die relative Sauerstoffaufnahme im **Ausgangstest** mit $33,32 \pm 3,56 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ niedriger als im **Eingangstest** mit $34,35 \pm 3,49 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, wobei der **Mittelwertsunterschied** mit $p=0,029$ **statistisch signifikant** ist.

Unter **erschöpfender Ausbelastung** werden $37,49 \pm 3,6 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ für den **Eingangstest** bzw. $36,67 \pm 5,81 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ im **Ausgangstest** registriert.

Während der **Erholung** fällt die relative Sauerstoffaufnahme wie erwartet in **E3** und **E5** ab und beträgt so für **E3** im Eingangstest $6,13 \pm 1,02 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ vs. $5,9 \pm 1,06 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ im Ausgangstest. Diese Werte für E3 entsprechen nahezu den Vorstartwerten.

3.14 Sauerstoffpuls

Die Sauerstoffpulswerte ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$) des **Eingangstests** und **Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** sind in Abb. 23 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

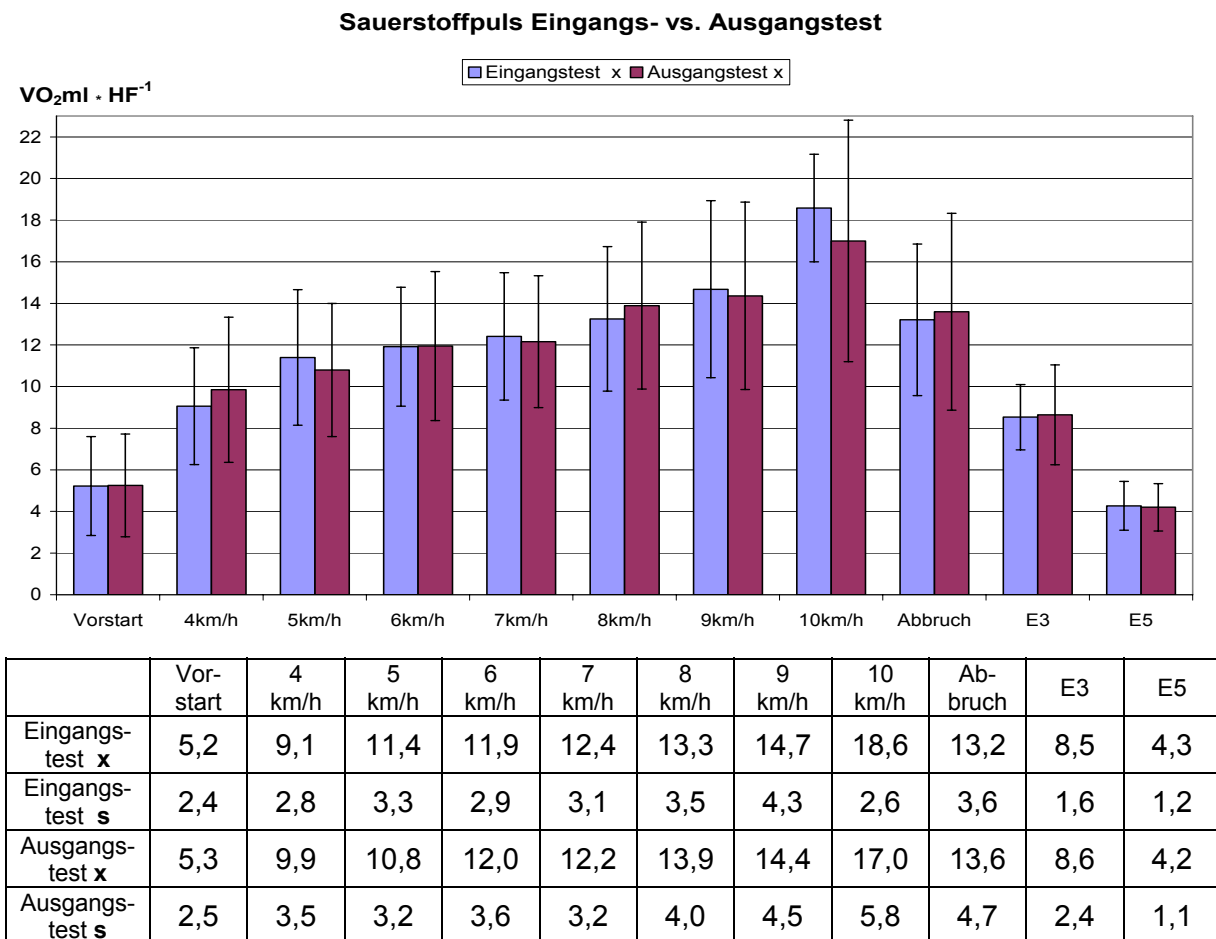


Abb. 23: Mittelwerte ($x \pm s$) des Sauerstoffpulses ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$) des **Eingangstests** und **Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Der Sauerstoffpuls steigt ausgehend von den **Vorstartbedingungen** mit $5,2 \pm 2,4$ $\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$ im **Eingangstest** bzw. $5,3 \pm 2,5$ $\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$ im **Ausgangstest** über die Belastungsstufen von **4 km/h** und **5 km/h** linear an. Der Sauerstoffpuls der Nordic Walker zeigt in den submaximalen Belastungsstufen von 4

km/h signifikante Mittelwertsdifferenzen ($p=0,044$, Eingangstest $9,1 \pm 2,8 \text{ VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$ vs. Ausgangstest $9,9 \pm 3,5 \text{ VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$) auf.

In den nun folgenden Stufen von **6 km/h** und **7 km/h** zeigt sich eine Abflachung des Sauerstoffpulsverlaufes. Für die Belastungsstufe **9 km/h** ergibt sich im Vergleich Eingangstest ($14,7 \pm 4,3 \text{ VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$) vs. Ausgangstest ($14,4 \pm 4,5 \text{ VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$) eine signifikante Mittelwertsdifferenz ($p=0,038$).

Die sich anschließende **Erholungsphase** zeichnet sich durch einen Abfall der Kurve aus. In **E5** liegen die Werte bei $4,3 \pm 1,2 \text{ VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$ für den **Eingangstest** und $4,2 \pm 1,1 \text{ VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{HF}^{-1}$ für den **Ausgangstest** und somit unter den Vorstartwerten.

3.15 Atemäquivalent

Das Atemäquivalent (AÄ) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie ist in Abb. 24 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

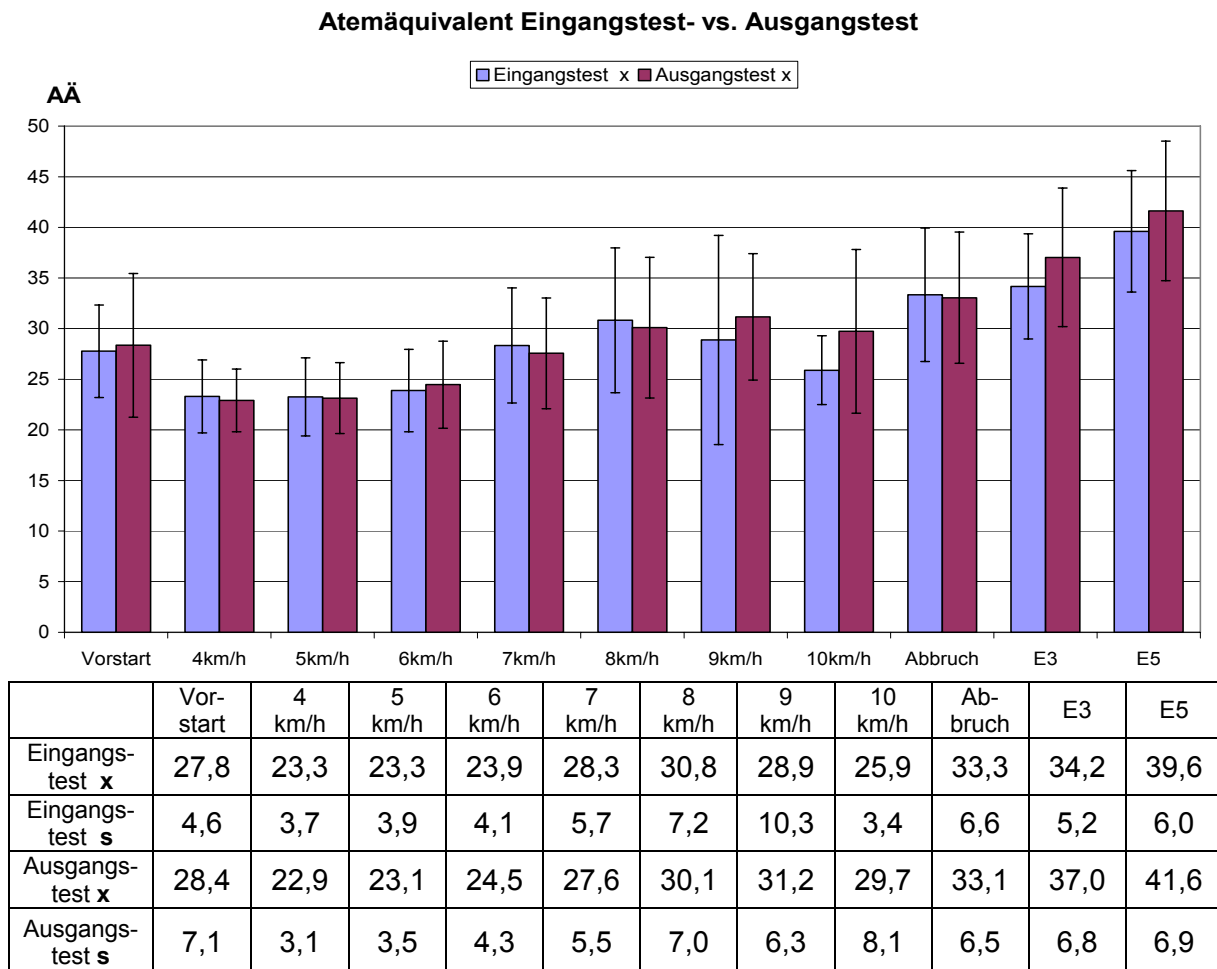


Abb. 24: Mittelwerte ($x \pm s$) des Atemäquivalentes (AÄ) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle während der verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Bei der Betrachtung des Diagramms imponiert ein gleichartiger Verlauf. Die unter Vorstartbedingungen im **Eingangstest** vs. **Ausgangstest** erhobene Werte liegen mit $27,8 \pm 4,6$ bzw. $28,4 \pm 7,1$ über denen der ersten Belastungsstufe auf dem Laufband von $23,3 \pm 3,6$ und $22,9 \pm 3,1$. Steigert man die Belastung, so verzeichnet man einen Anstieg auf $30,8 \pm 7,2$ für den **Eingangstest** bzw. $30,1 \pm 7,0$ im **Ausgangstest**. Während der ersten Erholungsminute verschlechtert sich die Ökonomisierung der

Ventilation wobei das Atemäquivalent in der 5. Erholungsminute mit $39,6 \pm 6,0$ im Eingangstest und $41,6 \pm 6,9$ im Ausgangstest seinen höchsten Wert aufweist.

Die Werte des Atemäquivalentes zeigen im Bereich der 3. Erholungsminute (E3) eine hochsignifikante Mittelwertsdifferenz ($p=0,002$) zwischen Eingangs- und Ausgangstest.

3.16 Ventilations - Respiratorischer Quotient

Der **Ventilations-Respiratorische Quotient (VRQ)** des **Eingangs- und Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** ist in Abb. 25 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

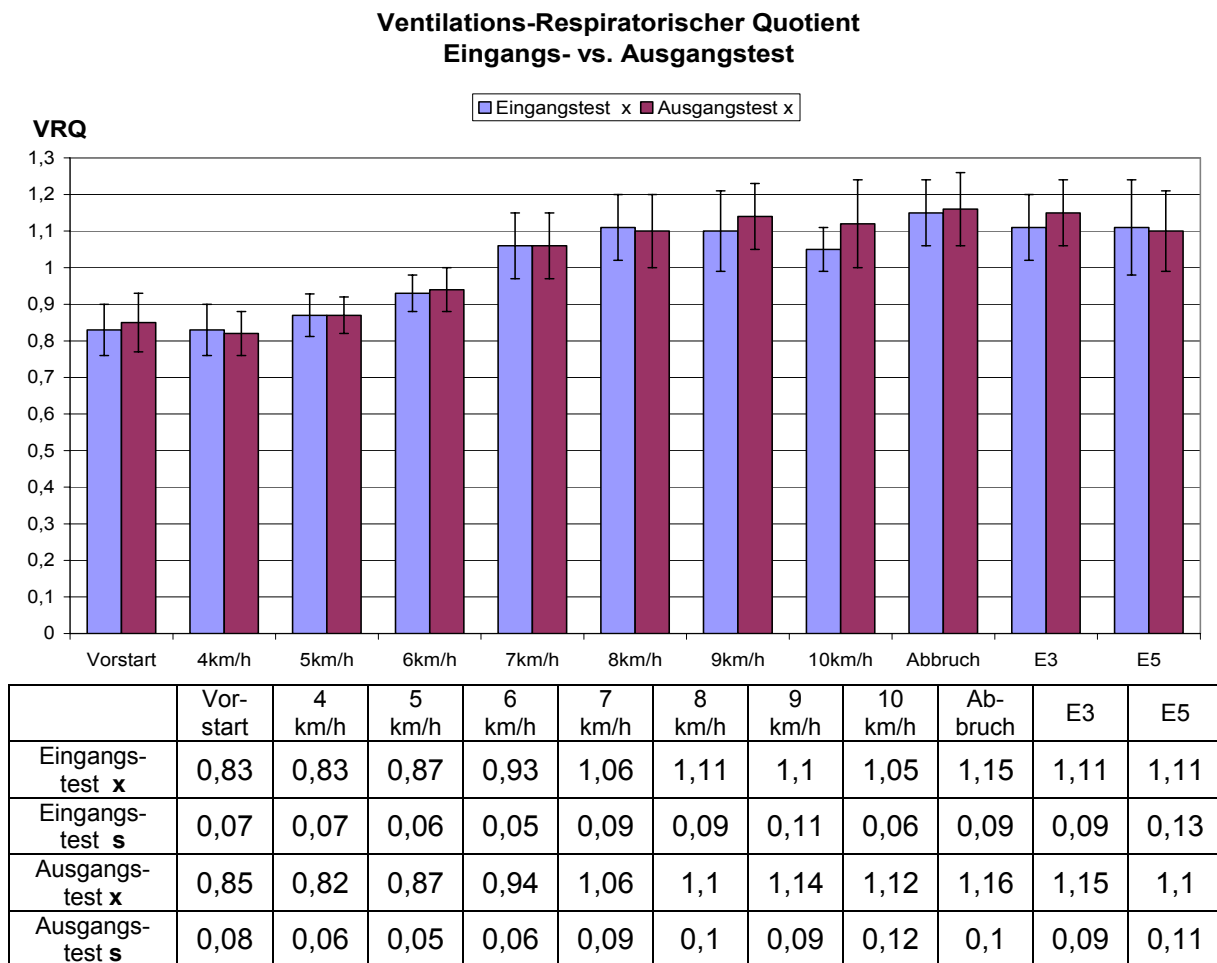


Abb. 25: Mittelwerte ($x \pm s$) des Ventilations-Respiratorischen Quotienten (VRQ) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Der Kurvenverlauf des Ventilations-Respiratorischen Quotienten verläuft parallel zum Atemäquivalent.

Der mittlere VRQ liegt unter Vorstartbedingungen bei $0,83 \pm 0,07$ im **Eingangstest** vs. $0,85 \pm 0,08$ im **Ausgangstest**. Im Belastungsbereich zwischen 6 km/h und 7

km/h steigt der VRQ von < 1.0 auf > 1.0 . Hieran ist zu sehen, dass sich die Probanden am Übergang von aerober zu anaerober Leistung befinden.

Im Belastungsbereich von **9 km/h** ist der betragsmäßig größte VRQ mit $1,1 \pm 0,09$ im **Eingangstest** messbar. Der höchste VRQ Wert des **Ausgangstest** findet sich mit $1,14 \pm 0,09$ ebenfalls bei 9 km/h.

Der Mittelwertsunterschied zwischen **Eingangs-** und **Ausgangstest** in der **3. Erholungsminute** ($1,11 \pm 0,09$ vs. $1,15 \pm 0,09$) ist mit $p=0,002$ statistisch hochsignifikant.

In der **5. Erholungsminute** misst man $1,11 \pm 0,13$ für den **Eingangstest** und $1,1 \pm 0,11$ für den **Ausgangstest**.

3.17 Laktat

Die Laktatwerte ($\text{LA mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) des **Eingangs-** und **Ausgangstests** der **Nordic Walking Studie** sind in Abb. 26 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

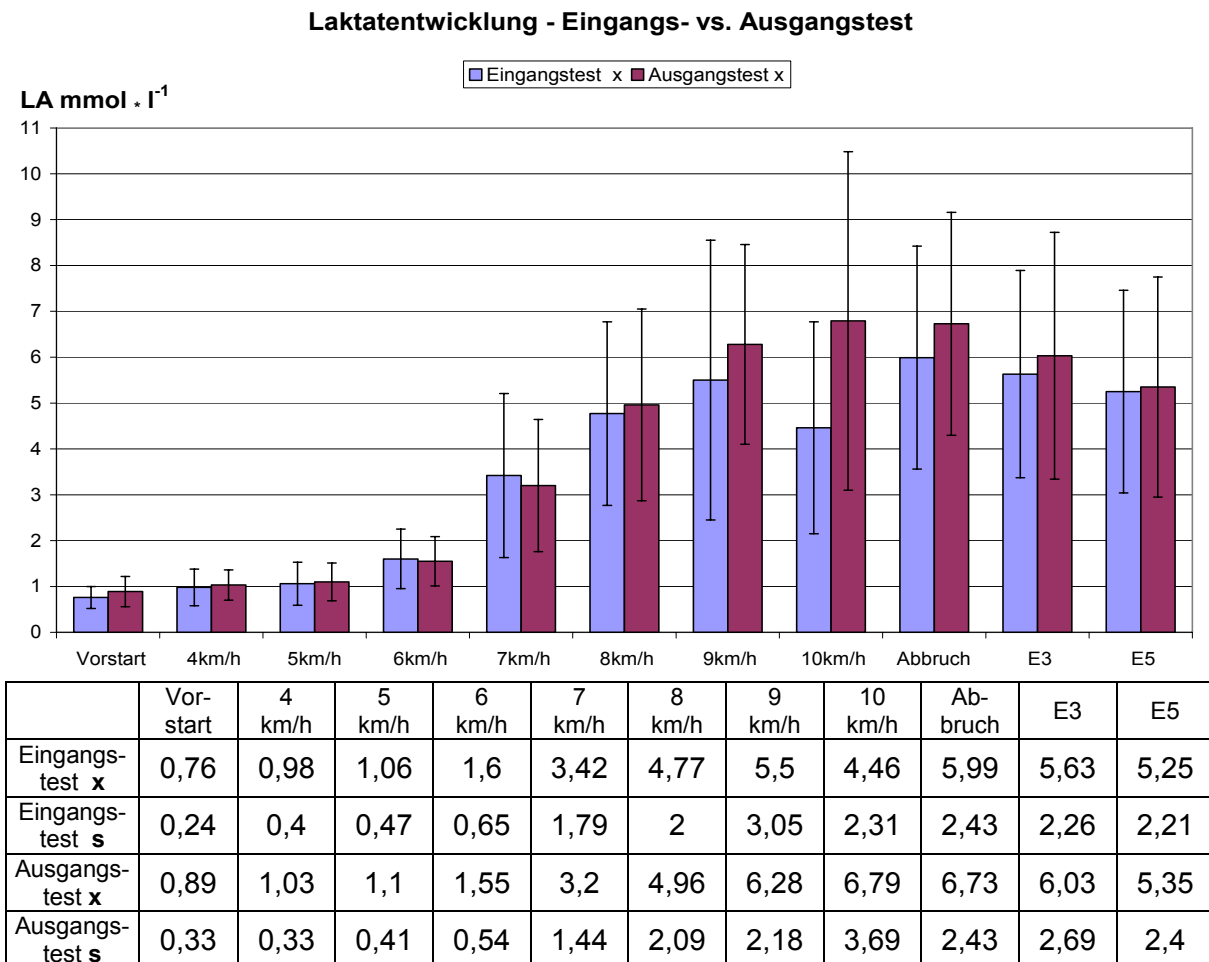


Abb. 26: Mittelwerte ($x \pm s$) der Laktatkonzentration ($\text{LA mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Die mittleren Laktatwerte der Nordic Walking Studie liegen bei $0,76 \pm 0,24 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und $0,89 \pm 0,33 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ im Eingangs- vs. Ausgangstest.

In den unteren Belastungsstufen von **4 km/h bis 7 km/h** liegt eine **aerobe Stoffwechsellage** mit Werten $< 3,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ vor. **Nach der Belastungsstufe 6 km/h** steigt die Laktatkonzentration im Blut kontinuierlich an. Für die **Belastungsstufe 7 km/h** ergibt sich eine **signifikante Mittelwertsdifferenz**

(**p =0,017**) zwischen Eingangstest und Ausgangstest ($3,42 \pm 1,79 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ vs. $3,2 \pm 1,44 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$).

Im **Eingangstest** ergibt sich der **Maximalwert** mit $5,5 \pm 3,05 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ bei **9 km/h**.

Der höchste Wert des **Ausgangstests** wird bei **10 km/h** mit $6,79 \pm 3,69 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ gemessen.

In der **Erholungsphase** fallen die Laktatwerte ab und erreichen in **E5** schließlich Werte von $5,25 \pm 2,21 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und $5,35 \pm 2,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ für **Eingangstest**- vs. **Ausgangstest**.

3.18 Indirekte Kalorimetrie

Die verstoffwechselten Kohlenhydrate, Fette und Gesamtkalorien der **Nordic Walking Studie** sind in Abb. 27, 28 und 29 mit den dazugehörigen Wertetabellen dargestellt.

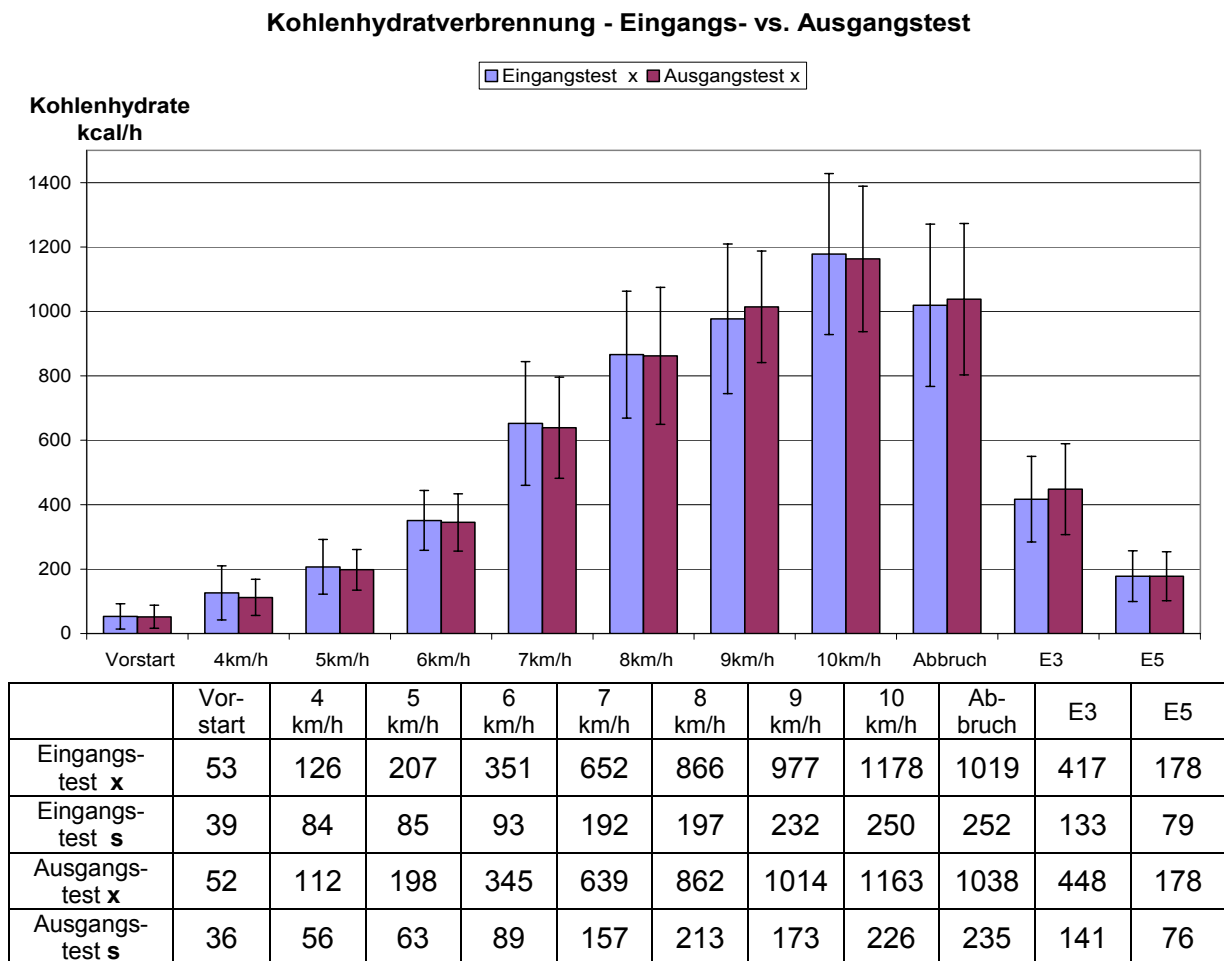


Abb. 27: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der verstoffwechselten Kohlenhydrate (kcal/h) des Eingangstests und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Die Kohlenhydratverbrennung in der Nordic Walking Studie steigt über den gesamten Stufenbelastungstest kontinuierlich an. Ausgehend von 53 ± 39 kcal/h im **Eingangstest** vs. 52 ± 36 kcal/h im **Ausgangstest** unter **Vorstartbedingungen** erreichen die Sportler im **Vita maxima-Bereich** 1178 ± 250 kcal/h vs. 1038 ± 226 kcal/h. Im Erholungsbereich von E3 und E5 fällt der Kohlenhydratumsatz ab, bleibt

aber in der 5. Erholungsminute mit 178 ± 79 kcal/h bzw. 178 ± 76 kcal/h in Eingangs- und Ausgangstest über den Vorstartwerten.

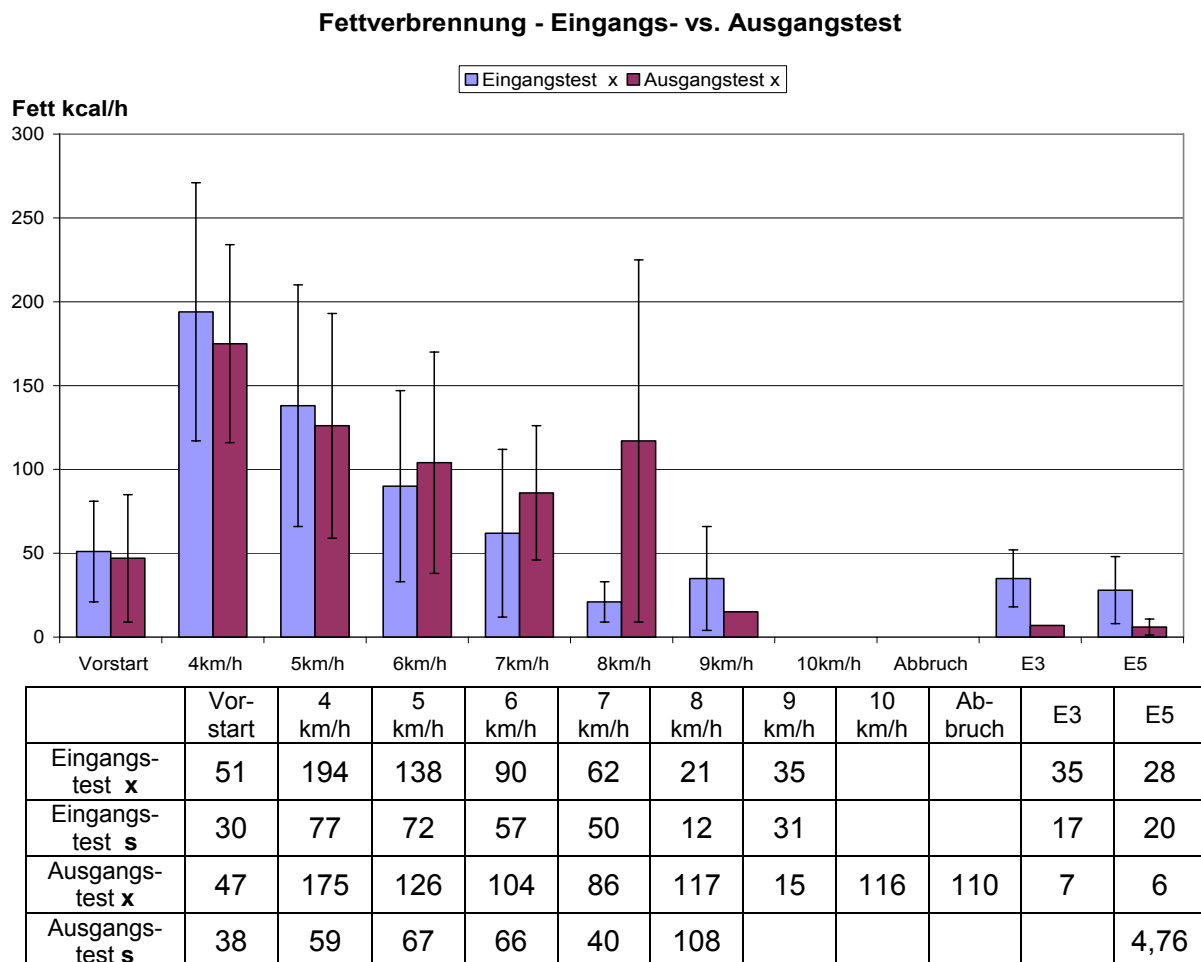


Abb. 28: Mittelwerte ($x \pm s$) der verstoffwechselten Fette (kcal/h) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Bei Fettverbrennung steigt der Energieumsatz ausgehend von Vorstartbedingungen zunächst stark an. So setzen die Sportler im **Eingangstest** unter **Vorstartbedingungen** 51 ± 30 kcal/h um. Ähnliche Werte finden sich mit 47 ± 38 kcal/h für den **Ausgangstest**. In der Belastungsstufe von **4 km/h** erreicht die Verbrennung der Fette mit 194 ± 77 kcal/h für den **Eingangstest** und 175 ± 59 kcal/h für den **Ausgangstest** ihren **Maximalwert**. Im weiteren Testverlauf kann ein zunehmend geringerer Anteil der Fettverbrennung beobachtet werden, bis schließlich

im **maximalen Belastungsbereich** bei **10 km/h** im **Eingangstest** ein vollständiges Erliegen der Fettverbrennung beobachtet werden kann.

Im **Ausgangstest** hingegen ist mit einer Verbrennung von 116 kcal/h bei einem einzelnen Sportler kein Sistieren der Fettverbrennung bei 10 km/h zu beobachten.

Im **Erholungsbereich E3** und **E5** registriert man wieder eine Fettverbrennung, die allerdings unter den Werten des Vorstarts liegt. So beträgt die Fettverbrennung 28 ± 20 kcal/h im **Eingangstest** vs. $6 \text{ kcal/h} \pm 4,76 \text{ kcal/h}$ im **Ausgangstest**.

Gesamtverbrennung - Eingangs- vs. Ausgangstest

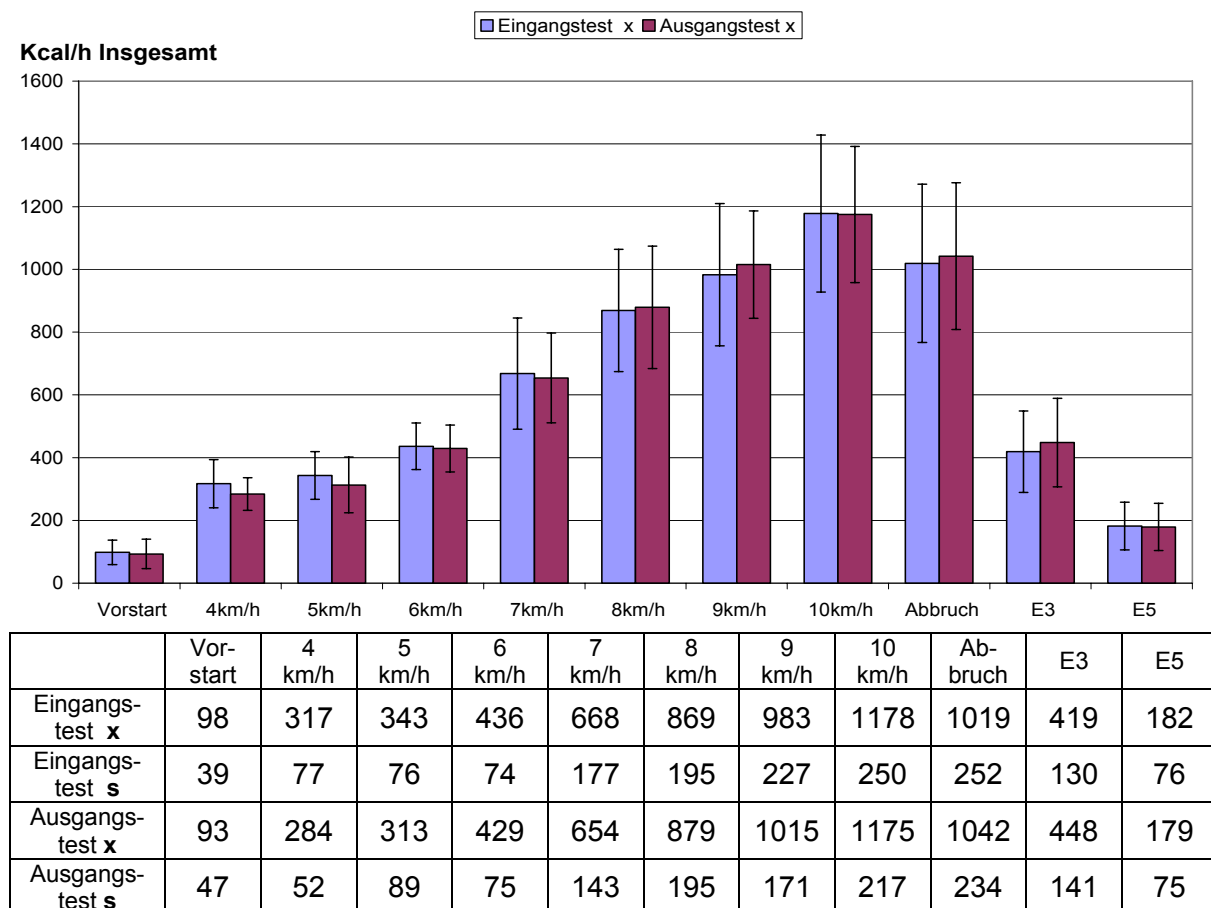


Abb. 29: Mittelwerte ($x \pm s$) des gesamten Energieumsatzes (kcal/h) des Eingangs- und Ausgangstests der Nordic Walking Studie mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach den verschiedenen Belastungsstufen auf dem Laufband.

Bei der Betrachtung der Mittelwerte des gesamten Energieumsatzes fällt ein durchgängiger Anstieg auf. So betragen die Werte für den **Vorstart** 96 ± 39 kcal/h vs. 93 ± 47 kcal/h für **Ein- und Ausgangstest**.

Ihren **Maximalwert** erreichen die Verbrennungswerte der Sportler bei 10 km/h mit 1178 ± 252 kcal/h im **Eingangstest** und 1175 ± 217 kcal/h im **Ausgangstest**.

Der Verlauf des Diagramms zeigt, dass der Kilokalorienbedarf in den Belastungsbereichen von **4, 5, 6 und 7 km/h** im **Eingangs-** über dem Bedarf des **Ausgangstests** liegt. Signifikante Unterschiede des Mittelwertes ergeben sich für den Bereich der Gesamtverbrennung an Kalorien. Höchst signifikant stellt sich eine Änderung im Bereich von 4 km/h dar ($p=0,001$). Im darauf folgenden Belastungsbereich von 5 km/h liegt ein signifikanter Mittelwertsunterschied ($p=0,034$) im Gesamtkalorienbedarf vor.

Im Erholungsbereich beobachtet man einen Abfall der Energieumsatzes, der auch noch in der 5. Erholungsminute mit 182 ± 76 kcal/h vs. 179 ± 75 kcal/h im **Ein- und Ausgangstest** deutlich über den Werten des Vorstarts liegt.

4 Diskussion

4.1 Anthropometrie

Bestimmungen des Körperdepotfettes werden regelmäßig an Sportlern durchgeführt. Sie gestatten es dem Untersucher, Körperfett und fettfreie Masse anteilmäßig zu beurteilen und den Bezug zum Trainings-, Gesundheits- und Ernährungszustand herzustellen.

Das **Depot an Körperfett** stellt nicht nur eine in den Medien oft suggerierte Ballastsubstanz dar, die es mit allen Mitteln zu bekämpfen gilt, sondern auch eine für den Organismus **wichtige aerobe Energiequelle**. Der Anteil der benötigten Fettmasse kann je nach Sportart sehr unterschiedlich ausfallen. Logisch erscheint die Wichtigkeit des richtigen Verhältnisses von Muskel- zu Gesamtkörpermasse. Als extremes Beispiel wären da die japanischen Sumoringer zu nennen, die für ihre sportlichen Erfolge ein anderes Verhältnis von Depotfett zu Gesamtkörpermasse aufweisen müssen als die äthiopischen Marathonläufer (HOLLMANN, HETTINGER 2000)

Nichts desto trotz lässt die Höhe des Fettdepots **Rückschlüsse** auf **die Ernährungsgewohnheiten, den Gesundheitszustand und die sportliche Leistungsfähigkeit** zu (BERGMANN, MENSINK 1999, FLEGAL et al. 2002).

Durch die Bestimmung des Körperfettanteils lassen sich Rückschlüsse auf die aktiven Körpersubstanzen wie Muskulatur und Knochengerst ziehen. Die Bestimmung der einzelnen Teilkörpermassen gestattet einen differenzierteren Blick auf den Organismus als die reine Betrachtung der Körperbauindizes wie der **Body Mass Index** (BMI), der **BROCA** - oder der **ROHRER - Index**. Diese Methoden stützen sich lediglich auf die Relation von Körpergröße zur Körpermasse (NOWACKI 2005). Dies lässt leicht erahnen, dass diese Berechnungsgrundlage einem großgewachsenen Athleten mit einem hohen Muskelmassenanteil einen hohen **Body Mass Index** (BMI) bescheren würde. Aus diesen Gründen wurden diffizilere Methoden der Körperbaubestimmung entwickelt.

In der Sportmedizin gibt es **drei Methodenbereiche**, mit denen man sich auf unterschiedliche Weise der Körperfettbestimmung nähern kann. Zum einen wären da die **Anthropometrischen Verfahren** zu nennen.

Mit einem dieser Anthropometrischen Verfahren, der **Kalipermetrie**, lässt sich der Anteil des Körperfettes mit Hilfe eines Kalipers bestimmen. Hierzu ist lediglich das Ausmessen von 15 Hautfalten an bestimmten Körperstellen nötig. Die Genauigkeit dieses Verfahrens wird mit 3 % angegeben. Es ist kostengünstig, überall einsetzbar und zudem noch einfach in der Handhabung (DURNIN, WOMERSLY 1976, HERM 1996).

Als weitere Anthropometrische Verfahren sind **Weichteilröntgenografie**, **Computertomografie**, **Magnetresonanztomografie** sowie die **Sonografie** zu nennen. Allen gemein ist die hohe Genauigkeit, jedoch steht die in keinem Verhältnis zu den hohen Anschaffungskosten und dem personellen Aufwand an hochqualifiziertem Fachpersonal.

Als nächstes wären die **klassischen Labormethoden** zu nennen. Bei der **Densitometrie** werden durch den Bezug von Körpermasse zu -volumen Fett- und fettfreie-Masse bestimmt. Des Weiteren wäre noch die **Hydrometrie** zu nennen, die auf dem Verdünnungsprinzip von Flüssigkeiten, in dem Fall von Blut, beruht. Diese beiden aufgezeigten Methoden haben den Nachteil, nur in eigens dafür ausgestatteten Labors mit hohem monetärem und personellem Aufwand durchgeführt werden zu können.

Zu den **neueren Methoden** gehört die in der vorgelegten **Nordic Walking-Studie** angewendete **Impedanzmessung**. Dieses Verfahren stützt sich darauf, dass die verschiedenen Körpergewebe unterschiedliche elektrische Leitfähigkeiten besitzen. So haben die Kompartimente mit einem höheren Anteil an Flüssigkeit und Elektrolyten, wie z.B. Muskelgewebe, eine größere elektrische Leitfähigkeit als das Fettgewebe. Auf diese Tatsache und den gemessenen Widerständen im Organismus begründen sich die Rückschlüsse des Körperbaus.

Vorteile, die für die **Impedanzmessung** sprechen, sind die **einfache Handhabung**, die kurze Untersuchungsdauer (ca. 3 min), die gute Genauigkeit (ca. 2,7 %) und die moderaten Anschaffungskosten (HERM 2003).

Unter dem Aspekt der **Prävention von Stoffwechselerkrankungen** unter besonderer Berücksichtigung der **Adipositas** ist die durchgeführte Nordic Walking-Studie zu betrachten.

Die Reduktion des Körperfettanteils von Ausdauertrainierenden im Vergleich zu Krafttrainierenden zeigte SCHULZ 2007 in seinen Untersuchungen auf.

Die Bevölkerung der Industrienationen wird in der Summe mobiler (Auto, Flugzeug, Bahn) und legt größere Entfernungen in kürzerer Zeit zurück. Gleichzeitig jedoch sinkt der Anteil an körperlich aktiver Bewegung. Diese Entwicklung trägt unter anderem dazu bei, dass immer größere Anteile der erwachsenen Bevölkerung (15-20 %) unter Stoffwechselerkrankungen wie **Adipositas, Metabolischem Syndrom, Diabetes mellitus** etc. leiden (NOWACKI, ALEFELD 1985, ELMADFA, LEITZMANN 1990, ANDERSON et al. 1999, HOLLMANN, HETTINGER 2000, KASPER 2000, SCHAUDER, OLLENSCHLÄGER 2003, LEVINE, KOTZ 2005).

Nicht nur in der erwachsenen Bevölkerung sieht man eine drastische Zunahme von Übergewicht und Adipositas, sondern auch unter Schülern und Jugendlichen.

Eine am Institut für Sportwissenschaften (Abt. Sportmedizin) der Johann-Wolfgang-Goethe Universität durchgeführte Studie kommt zu dem Schluss, dass es aus präventivmedizinischer Sicht eine klare Forderung nach **aktiver Freizeitgestaltung** sowie einem Entgegenwirken einer zunehmenden Fehlernährung gibt (BRETTMANN, BANZER, VOGT 2005).

Vom **Metabolischen Syndrom** spricht man, sobald **3 der 5** im Folgenden aufgeführten Diagnosen gestellt werden können: **Hypertriglyceridämie, Hypercholesterinämie, Hyperinsulinämie, Hypertonie** und **abdominelle Adipositas** (WÜSTEN 1990).

Es gilt als erwiesen, dass körperliche Freizeitaktivität mit einem **wöchentlichen Energieumsatz** von ca. **2500-3000 kcal** erzielt durch **30-40 minütige** Trainingseinheiten an **3-4 Tagen** pro Woche den Lipoproteinstoffwechsel günstig beeinflussen (NOWACKI 1980, NOWACKI, ALEFELD 1985, PAVLOU et al. 1989, ANDERSEN et al. 1999, STICH et al. 1999, HOLLMANN, HETTINGER 2000, JAKICIC et al. 2003, JEFFERY et al. 2003).

Bei Untersuchungen im Rahmen der NHANES III Studie an annähernd 17.000 Personen wurde verdeutlicht, dass bei Vorliegen einer Adipositas (BMI 30-30,9 kg/m²) die Prävalenz des Typ II Diabetes **verfünffacht**, des Hypertonus **mehr als verdoppelt** und der Dyslipoproteinämie um **mehr als 30 %** im Vergleich zum Normalgewichtigen (BMI 18,5-24,9 kg/m²) erhöht ist.

Darüber hinaus wird das Verhältnis von Muskel- zu Fettmasse in günstiger Weise beeinflusst. Gerade im Alter beugt regelmäßige Bewegung den Abbau der Muskulatur vor, was wiederum das **Gleichgewicht** von **pro- und antiatherogenen** sowie **entzündungshemmenden und -fördernden** Faktoren positiv verändert.

Regelmäßige Bewegung in oben beschriebenen Umfängen beeinflusst den Lipoproteinstoffwechsel dahingehend, dass sich die Aktivität von Lipasen und Lipidtransferproteinen ändert. Dies bewirkt eine Reduktion der Fettdepots über eine optimierte Lipolyse mit gleichzeitig vermehrter Nutzung von freien Fettsäuren in der beanspruchten Muskulatur (BERG, KÖNIG 2005).

Gesamt- und LDL-Cholesterin werden eher gering beeinflusst. Allerdings ändert sich die Zusammensetzung der LDL-Partikel. So werden z.B. die atherogenen LDL-Partikel hoher Dichte (small-dense-LDL-Partikel) in ihrer Anzahl verringert. Gerade bei Patienten, die von dem **metabolischen Syndrom** betroffen sind, scheint dieser Effekt stärker ausgeprägt als bei gesunden Erwachsenen. Ausgehend von dem BMI konnte HALLE 1995 bei einem BMI von 27 kg/m² eine **Verdoppelung des Anteils der small-dense-LDL-Partikel** nachweisen. 1997 zeigte HALLE, dass sich im Vergleich von Trainierten zu Untrainierten weniger das Gesamtcholesterin verringert als vielmehr die Konzentration der atherogenen small-dense-LDL-Partikel.

Im Rahmen körperlicher Aktivitätsprogramme wies ALEXANDER 2003 einen Anstieg des HDL-Cholesterins zwischen 4 % und 29 % nach. Jedoch scheint die Anhebung des HDL-Cholesterins nicht zwangsläufig mit einer Reduktion des BMI einherzugehen, jedoch profitiert der Adipöse mit **metabolischen Syndrom überdurchschnittlich hoch** von durchgeführten Bewegungsprogrammen (KATZMARZYK 2003).

Konzentration und Zusammensetzung der HDL-Partikel sind eng mit den Stoffwechselwegen der Triglyceride verbunden. Bei Erhöhung der körperlichen Bewegung steigt die Aktivität der Lipoproteinlipase, was gleichzeitig bei reduzierter Aktivität der hepatischen Lipase (HL) zur **Verminderung der Triglyceridfraktion** zwischen 4 % und 37 % führt (ALEXANDER 2003).

Zusammenfassend lässt sich resümieren, dass **körperliche Bewegung** das **metabolische Syndrom** mit seinen typischen atherogenen Dyslipoproteinämien in günstiger Weise beeinflusst. Die unten dargestellten Ergebnisse untermauern die **Bedeutung des Nordic Walking** für die **Bewegungs- und Sporttherapie** zur Steigerung der körperlichen Aktivität (RYAN 2000, BALDI, SNOWLING 2003, JAKICIC et al. 2003, JEFFERY et al. 2003, BLAIR et al. 2004, KULAPUTANA et al. 2005, BRUCE et al. 2006, SCHULZ 2007).

In der **Nordic Walking-Studie** ließen sich einige Unterschiede zwischen Eingangstest und Ausgangstest in Bezug auf die Anthropometrischen Daten feststellen. So **reduzierte** sich innerhalb des Trainingszeitraums das **Körpergewicht** der Probanden von **71,31 ± 11,31 kg** im Eingangstest auf **71,07 ± 11,53 kg** im Ausgangstest. Dieser **Mittelwertsunterschied** ist mit **p=0,018** als **signifikant** einzustufen. Der **Body Mass Index (BMI)** verminderte sich ebenfalls von **24,89 ± 3,02** im Eingangstest auf **24,73 ± 3,02** im Ausgangstest. Die hier zu verzeichnende **Mittelwertsdifferenz (p=0,018)** ist ebenfalls als **signifikant** einzustufen. Der nächste Anthropometrische Parameter, der sich zu Gunsten der Studienteilnehmer durch das **Nordic Walking-Training** verbessert hat, ist der **absolute Anteil des Körperfetts**. Die Fettdepots der Probanden **reduzierten** sich von **18,92 ± 5,09 kg** (Eingangstest) auf **18,15 ± 4,99 kg** (Ausgangstest) um knapp **1 kg**. Der Mittelwertsunterschied ist mit **p= 0,009** als **hoch signifikant** anzusehen.

4.2 Körperliche Leistungsfähigkeit

Zur Beurteilung der **körperlichen Leistungsfähigkeit** unter Laborbedingungen ist die **Spiroergometrie auf dem Laufband** ein **objektives, reliables** und **valides** Verfahren, um Kranke und Gesunde, Frauen und Männer, Erwachsene und Kinder sowie Untrainierte und Trainierte zu untersuchen (HOLLMANN 1963, 1971, 1992, NOWACKI 1971, 1973, 1975, 1981, MELLEROWICZ 1979, 1983, KINDERMANN 1987).

Die Laufbandergometrie bietet neben der **Realisierung** der **Testgütekriterien Objektivität, Reliabilität** und **Validität**, eine exakte Dosierbarkeit der physikalischen Leistung. Zudem ist unter der Voraussetzung eines standardisierten Belastungsverfahrens die Vergleichbarkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit gewährleistet (NOWACKI 1981).

Ebenfalls sind die Umgebungsbedingungen wie **Temperatur, Wind** und **Bodenbeschaffenheit kontrollierbar** sowie das **Tempo** des Läufers durch die vorgegebene Laufbandgeschwindigkeit **konstant**.

Zu den weiteren Vorzügen der Laufbandergometrie zählt die exakte Bestimmung der Herzfrequenzbereiche für das Training. Somit lässt sich mit Hilfe der Laufbandergometrie die **Basis** für ein **effizientes Grundlagenausdauertraining** legen, das zum Ziel hat, die aerobe Leistungsfähigkeit des Sportlers zu verbessern und zu vervollkommen.

Defizite im aeroben Grundlagenausdauerbereich offenbaren sich im Stufenbelastungstest unmittelbar. Auf diese Weise können Trainingsfehler durch zu hohe Belastungs- und Intensitätsbereiche vermieden werden. Dieses Verfahren eignet sich zudem zum Vergleich mit vorangegangenen Tests, um die Trainingseffizienz zu verifizieren (HOLLMANN 1975, LIESEN 1985).

Bei der **Fahrradergometrie** bieten körperrgewichtbezogene Belastungsverfahren wie die 1 W/kg KG-Methode nach NOWACKI 1974 den Vorteil anthropometrisch adaptierter Anfangs- und Steigerungsstufen. Dies trägt der individuellen Konstitution Rechnung und gleicht Differenzen infolge von Retardierung oder Akzeleration aus (MATZDORF 1984, NOWACKI, SCHÄFER 1984, NOWACKI 1987, KELLER-KREUZER 1993, NOWACKI N.S. 1998, MOHAMMED 1999, KREUTER 2007, NECKOV 2008).

In den standardisierten Belastungsverfahren haben sich die „**Belastungszeit** (min und/oder s)“, die „**Gesamtarbeit** (Wattminuten)“ sowie die „**absolute maximale Wattstufe** (W)“ und die „**relative maximale Wattstufe** ($W \cdot kg^{-1}$)“ als **leistungsdiagnostische Kenngrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit** durchgesetzt (MELLEROWICZ, FRANZ 1983, NOWACKI 1992, NOWACKI N.S. 1998).

4.2.1 Belastungszeit

Eine **Beurteilung des Trainingszustandes ausschließlich** über die „**geleistete Gesamtarbeit**“ in Wattminuten sowie die „**absolute**“ und „**relative maximale Wattstufe**“ in Watt und $W \cdot kg^{-1} \cdot KG$ ist **nicht möglich**. Gerade im wichtigen Übergangsbereich zwischen den Belastungsstufen 6 km/h bis 8 km/h ist eine exakte Differenzierung nur über eine zusätzliche Zeitangabe, d.h. die **Belastungszeit**, möglich: „Wie lange wurde die maximale Geschwindigkeit tatsächlich gewalkt bzw. gelaufen?“

Auf der Grundlage des Giessener Modells ist eine ausschließliche Belastungsdauer über die Wattstufe $1 W/kg/KG$ im pathologischen Bereich einzustufen. Mit zunehmender Belastungszeit ergibt sich ein ausreichender, befriedigender oder guter Trainingszustand.

Die **mittlere Belastungszeit** der vorliegenden Nordic Walking-Studie beträgt für den Eingangstest **$16,43 \pm 3,24$ min** und für den Ausgangstest **$17,05 \pm 3,21$ min**.

4.2.2 Gesamtarbeit

Die **Gesamtarbeit in Wattminuten** stellt einen sehr aufschlussreichen Parameter zur Beurteilung des körperlichen Leistungsvermögens dar. Im Rahmen von Vergleichsuntersuchungen setzt das ein einheitliches ergometrisches Belastungsverfahren voraus (NOWACKI 1980, DAL MONTE 1988, BURGER, NOWACKI 1989, ZHAO 1995, KIM 1994).

Nach MELLEROWICZ 1979 besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Gesamtarbeit in Wattminuten unter Berücksichtigung der einzelnen Belastungsstufen und –zeiten und der körperlichen Leistungsfähigkeit.

In der sportmedizinischen Literatur lassen sich nur wenige Vergleichswerte über die Gesamtarbeit in Wattminuten ermitteln, da die Gesamtarbeit ein einheitliches ergometrisches Belastungsprofil voraussetzt (ELGOHARI 2003).

In der vorliegenden Studie wurde im Stufenbelastungstest eine **Stufendauer von 3 Minuten** je Belastungsstufe gewählt. Die Gesamtarbeit in Wattminuten ergibt sich somit als Summe aus dem Produkt Wattstufe bei Geschwindigkeit multipliziert mit der Stufendauer.

4.2.3 Absolute und relative Wattstufe

Die **absolute maximale Wattstufe**, die unter Vita maxima-Bedingungen bei einer erschöpfenden Spiroergometrie geleistet werden kann, bestimmt im wesentlichen die Maximalwerte der kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und metabolischen leistungsdiagnostischen Kenngrößen (MELLEROWICZ, NOWACKI 1961, NOWACKI 1977, KINDERMANN 1987, ZHAO 1995).

Trainierte aus verschiedenen Sportarten im Alter von 20 bis 30 Jahren erreichen **absolute maximale Wattstufen zwischen 250 – 400 Watt**.

Hochleistungssportler aus den Kraft-Ausdauersportarten konnten von NOWACKI bis zu maximalen Wattstufen von 500 Watt erschöpfend ausbelastet werden (NOWACKI 1971).

Die **absolute „submaximale“ Wattstufe** auf dem Laufbandergometer liegt für die Nordic Walking-Studie im Stufenbelastungstest bei **160 ± 43 W im Eingangstest** und **158 ± 42 im Ausgangstest**.

ZHAO 1995 führte für die Fahrradergometrie vergleichende Studien zwischen den fünf meist praktizierten Belastungsmethoden in Deutschland durch. Dabei wurden der **HOLLMANN-TEST**, der **BAL-TEST (Bundesausschuss für Leistungssport)**, der **KNIPPING-TEST**, das **½- W/kg KG-Verfahren** und das **1-W/kg KG-Verfahren nach NOWACKI** an **15 sehr gut trainierten Sportlern** getestet. Die **höchsten absoluten maximalen Wattstufen** wurden mit **393 ± 61 W** bei dem 1 W/kg KG-

Verfahren getreten. Im Vergleich zum 1 W/kg KG-Verfahren lagen die übrigen Belastungsschemata nach ZHAO 1995 hoch signifikant niedriger, wobei beim $\frac{1}{2}$ W/kg KG-Verfahren 342 ± 55 W, beim BAL-Test 333 ± 52 W, beim HOLLMANN-TEST 323 ± 42 W und beim KNIPPING-TEST 316 ± 44 W getreten wurden.

MOHAMMED 1999 untersuchte **Fußballspieler im Altersgang** und beschreibt für die A-Jugend und die Seniorenklassen gleiche absolute Wattstufen von 285 ± 48 W sowie 297 ± 54 W. Bei deutschen Fußball-Nationalspielern registrierten NOWACKI u. Mitarb. 1997 in Einzelfallstudien absolute maximale Wattstufen bis 425 W.

NOWACKI N.S. 1998 beschreibt bei **erwachsenen Skilangläufern** (18,0 – 25,0 Jahre, 179 ± 6 cm, 73 ± 5 kg) durchschnittliche absolute maximale Wattstufen von 416 ± 44 W auf dem Laufband und 343 ± 44 W auf dem Fahrradergometer.

Die durchschnittlich höchsten absoluten maximalen Wattstufen sind von NOWACKI, KRAUSE, ADAM, RULFFS 1971 mit **Spitzenrudern** erzielt worden. In der speziell für Ruderer konzipierten Belastungsmethode wurde mit 250 Watt begonnen und alle 2 Minuten um 50 W gesteigert. Bei diesem Belastungsschema wurden von Olympiasiegern und Weltmeistern aus der erfolgreichen Ära des Rudertrainers Karl Adam absolute maximale Wattstufen von **500 bis 550 W** erreicht.

Zur Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit ist die **relative maximale Wattstufe ($W \cdot kg^{-1}$ KG)** für die Leistungsdiagnostik eine der bedeutendsten Kenngrößen (MELLEROWICZ, NOWACKI 1961, NOWACKI 1977, KLEMT, ROST 1986, KINDERMANN 1987, NOWACKI 1987, ZHAO 1995, APPEL 1996, MOHAMMED 1999, SAWELLION 2001, TENIAKOS 2001, HENNE 2001, KREUTER 2007).

Die relative maximale Wattstufe wird als Quotient aus Leistung und Körpergewicht errechnet. Allerdings sollte der **Vita maxima-Erschöpfungspunkt** bei der Ergometrie nach MELLEROWICZ und ZHAO 1995 in einem **Zeitraum** von **mindestens 6** und **maximal 12** Minuten erreicht werden, da bei länger dauernden Ergometriebelastungszeiten **ansonsten keine so hohen maximalen absoluten Wattstufen** wie **bei Belastungszeiten von 10 ± 3 Minuten** erreicht werden können. Körpergewichtsbezogene Belastungsverfahren erfüllen die gestellten Anforderungen und erlauben eine **sofortige Beurteilung des Trainingszustandes**. Ein **gewisser Nachteil** für die Beurteilungsgrundlage ergibt sich aus der Tatsache, dass **im Übergangsbereich zwischen 3 und 4 W/kg KG** die maximal erreichte relative

Wattstufe als alleiniges Beurteilungskriterium nicht ausreicht. Eine exakte Beurteilung ist nur unter Berücksichtigung der Belastungszeit möglich. Unter **Berücksichtigung der Belastungszeit** ist die in Tabelle 3 **dargestellte Beurteilung** für die **Fahrradergometrie** verifiziert (NOWACKI 1978).

Tab. 3: Beurteilung des Leistungs- und Trainingszustandes nach erschöpfender Fahrradergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode nach NOWACKI 1974

Gesamtbelastungszeit	Stufenbelastungszeit der maximalen relativen Wattstufe	Sportmedizinische Beurteilung
min	min	
< 2	< 2 min 1 W/kg KG	pathologisch
- 3	1 min 2 W/kg KG	untrainiert, leistungsschwach
- 4	2 min	untrainiert, leistungsbeeinträchtigt
- 5	1 min 3 W/kg KG	untrainiert, ausreichend
- 6	2 min	untrainiert, normal
- 7	1 min 4 W/kg KG	befriedigend trainiert
- 8	2 min	gut trainiert
- 9	1 min 5 W/kg KG	sehr gut trainiert
- 10	2 min	sehr gut trainiert
- 11	1 min 6 W/kg KG	Hochleistungstrainingszustand
- 12	2 min 6 W/kg KG	Hochleistungstrainingszustand
- 13	1 min 7 W/kg KG	einzelne Weltklasseathleten in den
- 14	2 min 7 W/kg KG	Kraft-Ausdauer-Sportarten

Aufgrund der vorliegenden Studie ergibt sich für die **Walking-Belastung** im **Gesundheitssport** folgende **Bewertung**:

Tab. 4: Beurteilung des Leistungs- und Trainingszustandes anhand der mittleren Wattstufe nach einem Walking-Stufenbelastungstest auf dem Laufband

Mittlere Wattstufe:	Sportmedizinische Beurteilung:
< 98 W	leistungsschwach
-110 W	ausreichend trainiert
-122 W	befriedigend trainiert
-134 W	gut trainiert
> 135 W	sehr gut trainiert

Im Bezug auf das **Nordic Walking** und die vorliegende Studie stellt sich die Frage, in welcher **Intensität** und in welchem **Umfang** sich ein solches Training unter dem Aspekt des effektiven Gesundheitssports bewegen soll?

Die Vorgaben des AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE 1995 sehen vor, das mindestens mit einer Intensität von 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme trainiert werden sollte, um messbare Anpassungen des Stoffwechsel und Herz-Kreislaufsystems auszulösen.

Laut SCHWARZ 2002 erreichen Gesundheitssportler, die eine maximale Leistungsfähigkeit **2,5 Watt/kg KG** besitzen, bei einem Walkingtraining im Geschwindigkeitsbereich von **6,5 – 8 km/h** ca. **60 % der maximalen O₂-Aufnahme bzw. 70 % der maximalen Herzfrequenz** (max. HF = 220 – Lebensalter). Selbst beim besser trainierten Freizeitsportler, der eine maximale Leistungsfähigkeit von **4 Watt/kg KG** besitzt, ist dieser Intensitätsbereich oberhalb einer Geschwindigkeit von 8 km/h möglich.

Die Probanden der Nordic Walking-Studie bewegen sich laut SCHWARZ 2002 mit Trainingsgeschwindigkeiten von 6,5 – 8 km/h genau in dem Bereich, in dem positive messbare Effekte für den Stoffwechsel und das Herz-Kreislaufsystem nachweisbar sind.

Die **relative maximale Wattstufe** unter Berücksichtigung des Körpergewichtes liegt für die **Nordic Walking-Studie** auf dem Laufbandergometer bei **2,2 ± 0,4 W * kg⁻¹ KG** im **Eingangstest** bzw. **2,2 ± 0,4 W * kg⁻¹ KG** im **Ausgangstest**.

4.3 Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit

Die **Herzfrequenz** stellt sich als wichtigste Kenngröße zur **Beurteilung der kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit** (MELLEROWICZ 1956, HOLLMANN 1959, REINDELL u. Mitarb. 1960, ISRAEL 1968, NOWACKI 1977, NÖCKER 1980, RIECKERT 1992, HENNE 2002, SCHMIDT 2007) dar.

Schon im Jahr 1931 erkannte CHRISTENSEN die besondere Aussagekraft der Herzfrequenz-Registrierung im Zusammenhang mit schwerer körperlicher Arbeit.

Aufgrund ihrer großen Bedeutung gibt es eine Vielzahl von Veröffentlichungen zum Thema „Herzfrequenz und körperliche Leistungsfähigkeit“. Grosse Wichtigkeit besitzt die Herzfrequenz für die **tägliche Trainingspraxis** hinsichtlich der Trainingssteuerung (Leistungs-, Anpassungs- und Ermüdungsdiagnostik).

Aber auch die Intensität einer Trainingseinheit kann mit Hilfe der Pulsfrequenz ermittelt werden. Die Kenntnis der **maximalen Herzfrequenz** und der **Pulsfrequenz** an der **aerob/anaeroben Schwelle** zeigt dem Sportler seine individuelle Belastbarkeit auf (KINDERMANN 1987).

So gelten für die Belastungsempfehlungen vier Bereiche: **Regenerationstraining** soll der Sportler mit **50-60 %** der maximalen Herzfrequenz absolvieren. Ein **aerob extensives Grundlagenausdauertraining** (GA1) hat eine Intensität von **60-70 %** der maximalen Herzfrequenz, wohingegen ein **intensives Grundlagenausdauertraining** (GA2) mit **70-80 %iger** Intensität absolviert wird. Die **aerob/anaerobe Schwelle** liegt bei **ca. 80-85 %** der maximalen Herzfrequenz (KINDERMANN 2004).

Für das Radfahren gelten **ca. 6-8 % niedrigere Werte**. Gesundheitssportlern wird generell empfohlen, im GA1-Bereich zu trainieren. Für Diabetiker sollten noch einmal **10 % niedrigere** Werte im GA1-Bereich angenommen werden (SCHOLL 2004).

Was die Trainingsintensität anbelangt, so kann man sich laut SCHOLL 2004 auch der **Karvonen-Formel** bedienen, um sich an das individuelle Limit heranzutasten.

$$HF_{\text{Training}} = (HF_{\text{max}} - HF_{\text{Ruhe}}) \cdot f + HF_{\text{Ruhe}}$$

In der oben gezeigten **Karvonen-Formel** ist f der Faktor der Trainingsbelastung (KARVONEN u. Mitarb. 1957). Bei Belastungen im mittleren Ausdauerbereich GA1 (70-80 % der Maximalbelastung) nimmt man für f=0,7 oder 0,8 an. Generell gilt, dass

die Belastungswerte, die bei der Fahrradergometrie gemessen werden, um 10-16 Schläge aufaddiert werden müssen, um adäquate Laufpulse zu bekommen.

Doch nicht nur im Leistungs- und Freizeitsport hat die Messung der Herzfrequenz ihre Daseinsberechtigung, sondern sie erlangt auch immer größere Wichtigkeit im Bezug auf den Breiten- und Gesundheitssport (RIPPE et al. 1988).

Besonders erwähnenswert wären die Herzfrequenzvorgaben für ein Ausdauertraining bei Herzpatienten, da ein **gezieltes**, an die körperlichen Einschränkungen (KHK, Herzinsuffizienz, Kardiomyopathien, Aortenstenose, massive Arrhythmien, etc.) angepasstes Training, maßgeblich zur **Rehabilitation** und **Lebensqualitätsverbesserung** beitragen kann, wie dies WU 2007 nach Auswertung der 30 jährigen Trainings- und leistungsmedizinischen Untersuchungsergebnisse bei der von NOWACKI und Mitarb. im Frühjahr 1976 gegründeten Universitäts-Herzsportgruppe eindrucksvoll bestätigen konnte.

Es zeigt sich eine verminderte Anzahl an Todesfällen sowie eine Verbesserung der linksventrikulären Funktion bei KHK-Patienten nach einem **individuell gesteuerten Training**. Nach der Prüfung eventueller Kontraindikationen gilt es, den **Trainingspuls** zu ermitteln, der maßgeblich zur **Effizienz** und **Patientensicherheit** des Trainings beiträgt. Die Individuelle Medikation der Patienten gilt es zu berücksichtigen (Beta-Blocker > Bradykardie, Vasodilatoren > ReflEXTachykardie). So bewegen sich die Trainingsvorgaben zwischen 70 % und 40 % der **HF-Reserve**:

(max. Frequenz – Ruhefrequenz) * 40 % bis 60 % plus Ruheherzfrequenz.

Die Trainingshäufigkeiten belaufen sich auf 5-mal wöchentlich 30-40 Minuten, minimal 3-5-mal wöchentlich a 10 Minuten und/oder Intervallmethode. Diese Trainingsvorgaben richten sich ganz nach der **individuellen Leistungsfähigkeit** des Patienten (Leistung, Sauerstoffaufnahme, LV-Funktion) (FLETCHER et al. 2001, STILGENBAUER und Mitarb. 2004).

Die **Herzfrequenzmessung** bietet im Breiten- wie auch im Leistungssport die Vorteile, nicht-invasiv, einfach zu messen sowie ortsunabhängig und sofort auswertbar zu sein. Die gemessene Herzfrequenz bei definierter Leistung erlaubt einen direkten Rückschluss auf die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems des Sportlers (NOWACKI 1992). Diesen Umstand haben sich industrielle Hersteller von

Pulsmessgeräten zu Nutze gemacht und die technische Entwicklung dieser Geräte und deren Vermarktung vorangetrieben, sodass heutzutage dem Gesundheits- und Breitensportler eine breite Palette an Pulsmessgeräten in Uhrenform zur Verfügung steht. Diese sind nicht nur leicht zu bedienen, sondern bieten auch noch eine Vielzahl an Funktionen bis hin zur Auswertung am PC.

Die **Ausdauerleistungsfähigkeit** (HOLLMANN, HETTINGER 2000) sowie die **Leistungsfähigkeit des Herzkreislaufsystems** stehen im Zusammenhang mit dem Herzfrequenzverhalten in körperlicher Ruhe, bei submaximalen Belastungen, bei erschöpfender körperlicher Vita maxima-Ausbelastung und während der Erholungsphasen (ISRAEL u. Mitarb. 1974).

Nach den Untersuchungen über die Herzfrequenzverläufe von MELLEROWICZ, LERCHE 1959, REINDELL u. Mitarb. 1962 und NOWACKI 1975 beträgt diese in körperlicher Ruhe bei **nicht sporttreibenden** gesunden Erwachsenen **70 – 80 * min⁻¹**. Die durchschnittliche Ruhepulsfrequenz **ausdauertrainierter** Sportler ist mit bis zu **20 * min⁻¹** und mehr Schlägen niedriger anzusiedeln. Spitzenathleten im Hochleistungsbereich können Ruhepulsfrequenzen um **40 * min⁻¹** aufweisen.

Bei Unkenntnis dieser Zusammenhänge durch ÄrztInnen, die über keine sportmedizinische Ausbildung und Erfahrung verfügen, wurde schon häufig ein „Sportverbot“ mit nachteiligen gesundheitlichen Folgen für die Betroffenen ausgesprochen (REINDELL, ROSKAMM 1977). Es wird von Fällen berichtet, wo Athleten aus extremen Ausdauer- und Kraftausdauersportarten wie z.B. Marathonlauf, Straßenradrennfahren, Skilanglauf, Triathlon, Langstreckenschwimmen etc. morgendliche Ruhepulswerte von 32 bis 28 Schlägen * min⁻¹ aufweisen (ISRAEL 1968, NOWACKI 1973, HOLLMANN, HETTINGER 2000). Diese als niedrig zu interpretierenden Werte liegen unterhalb der Eigenfrequenz des Ashoff-Tawara-Knotens (**40 * min⁻¹**), was sich elektrokardiographisch als Blockbild zeigt.

Für MELLEROWICZ 1956 stellt die **Sinusbradykardie** eine „Ökonomisierung der Kreislaufregulation“ und eine „Vermehrung der kardialen Reservekräfte“ dar. Die **myokardiale Sauerstoffversorgung** des Herzmuskels wird durch eine verlängerte Diastolendauer erreicht, was unmittelbar auf die Sinusbradykardie zurückzuführen ist.

Dieser Effekt der erniedrigten Ruheherzfrequenz kann nach MELLEROWICZ 1956 durch einen Trainingsumfang von 2 - 3 Trainingseinheiten a 30 Minuten Dauer pro Woche erzielt werden und ist als prognostisch günstig für eine längere Lebenserwartung zu interpretieren (ISRAEL 1982). Aber von Bedeutung ist nicht nur die längere Lebenserwartung, sondern auch die Forderung nach mehr Lebensqualität im Alter.

Endo- und exogene Faktoren nehmen auf die Ruhfrequenz als sensiblen Parameter Einfluss. So können z.B. eine überhöhte Ruheherzfrequenz auf ein sympathikotones Übertraining, beginnende Infektionskrankheiten oder eine unzureichende muskuläre Regeneration schließen lassen.

Körperliche Belastung lässt die Pulsfrequenz unter Sinusknotenführung auf leistungsadäquate Werte ansteigen (REINDELL u. Mitarb. 1967, 1988).

Die **submaximale Leistungsfähigkeit**, die im energetischen Steady state liegt, ist für die kardiozirkulatorische Funktions- und Leistungsdiagnostik ein wichtiger Herzfrequenzbereich. Durch NOWACKI 1977 wurde die **submaximale Herzschlagfrequenz** zwischen **100 bis 160 Herzaktionen $\cdot \text{min}^{-1}$** definiert.

Den submaximalen Herzfrequenzbereich gibt ISRAEL 1982 für den **Herzschlagfrequenzbereich von 120 bis 170 min^{-1} an**. Im **submaximalen Herzschlagfrequenzbereich** ergibt sich eine **lineare Beziehung** zwischen **Herzfrequenzanstieg** und zunehmender **Belastung**.

Die submaximale Herzfrequenz ist die kardiozirkulatorische Reaktion auf einen definierten unter-schweligen Belastungsreiz. Langfristig gesteuerte körperliche Trainingseinheiten führen zu einem **Abfall der submaximalen Herzfrequenz** bei gleichen Leistungswerten. Dies ist als Anpassungsreaktion des Organismus auf den Belastungsreiz zu verstehen und somit als positiv zu bewerten (ISRAEL 1982, ROST 1982 und 1995, MELLEROWICZ 1983, HOLLMANN 2000)

Die Studie konnte aufzeigen, dass in den Herzfrequenzbereichen von 4, 5, 6 und 7 km/h sich zum Teil höchst signifikante Mittelwertsunterschiede in Bezug auf die Abnahme der Herzfrequenz ergeben haben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den **Haupttrainingsbereichen** des Nordic Walking eine **Ökonomisierung der Herzkreislaufarbeit** stattgefunden hat.

Bei gleicher Belastungsintensität kann die Leistungsherzschlagfrequenz des Trainierten bis zu **30 Schlägen $\cdot \text{min}^{-1}$** unter der des Untrainierten liegen. Niedrigere

submaximale Herzfrequenzen sind Spiegelbild eines besseren Funktionszustandes des Herzkreislaufsystems und zeigen eine höhere körperliche Leistungsfähigkeit auf. Hingegen ist der Anstieg der **submaximalen Herzfrequenz** als **prognostisch** ungünstig auszulegen.

Für MOHAMMED 1999 ist die submaximale Herzschlagfrequenz als individueller Parameter zur Trainingssteuerung und zur Einschätzung interpersoneller Leistungsdifferenzen besser geeignet als die maximal zu erreichende Herzfrequenz. Die Bedeutung der Einhaltung **konstanter Belastungsbedingungen** wurde durch MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 eindrucksvoll bewiesen. Bei gleicher Wattstufe von 100 W ergaben sich bei 36 untrainierten Männern zwischen 20 und 40 Jahren signifikant höhere submaximale Herzfrequenzwerte bei der Handkurbelarbeit im Stehen ($131 \pm 14 \cdot \text{min}^{-1}$) im Vergleich zur Fußkurbelarbeit im Sitzen ($120 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$) und im Liegen ($116 \pm 13 \cdot \text{min}^{-1}$).

Während der Fahrradergometrieuntersuchung entsprechend dem Stufenbelastungsschema des 1 W/kg KG-Verfahrens nach NOWACKI 1974 wird die **submaximale Herzfrequenz am Ende der 4. Belastungsminute bei 2 W/kg KG** bestimmt. Dies entspricht bei 3 % Steigung auf dem Laufband einer Geschwindigkeit von 4 – 7 km/h. Hier ergab sich eine submaximale HF von $152 \pm 20 \cdot \text{min}^{-1}$ im Eingangstest vs. $149 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$ für den Ausgangstest.

MOHAMMED 1999 zeigte bei Fußballspielern eine submaximale Herzfrequenz von $140 \pm 16 \cdot \text{min}^{-1}$ auf. NOWACKI, PREUHS 1993 erzielten durch ein zusätzliches, speziell konzipiertes Ausdauertraining über den Zeitraum von einem halben Jahr einen signifikanten Abfall der submaximalen Herzfrequenz einer Fußball-Oberligamannschaft von $145 \cdot \text{min}^{-1}$ auf $136 \cdot \text{min}^{-1}$. REUBER 1994 ermittelte bei fortgeschrittenen Tauchern eine submaximale Herzfrequenz von $141 \pm 16 \cdot \text{min}^{-1}$.

Für die vorliegende Nordic Walking-Studie ergibt sich eine durchschnittliche **maximale Herzfrequenz** von $172 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$ am Ende der 18. Belastungsminute (Eingangstest). Der Ausgangstest zeigte Werte von $172 \pm 19 \cdot \text{min}^{-1}$ auf. In den Belastungsbereichen von 4, 5, 6 und 7 km/h steigt die Herzfrequenz sowohl im Eingangs- als auch im Ausgangstest kontinuierlich an, jedoch im Ausgangstest auf niedrigerem Frequenzniveau. So beträgt die submaximale Herzfrequenz am Ende der 6 km/h Belastungsstufe $130 \pm 20 \cdot \text{min}^{-1}$ für den Eingangstest vs. $124 \pm 18 \cdot \text{min}^{-1}$

im Ausgangstest. Diese Pulswerte der Nordic Walker nach submaximaler Belastung lassen auf ein befriedigend trainiertes Probandenkollektiv schließen.

Die Europäische Gesellschaft für Kardiologie schlägt vor, dass während einer **erschöpfenden Vita maxima-Ausbelastung** altersabhängig **maximale Herzfrequenzen zwischen 170 und 190 * min⁻¹** erreicht werden sollen. Nach ISRAEL 1970 und MELLEROWICZ 1979 zeigt sich eine **kardiozirkulatorische Ausbelastung** bei einer **maximalen Herzfrequenz von 180 – 200 Schlägen * min⁻¹**. Herzfrequenzen **unter 160 * min⁻¹** gelten nicht als eine kardiozirkulatorische Ausbelastung (MELLEROWICZ 1979). Ab einer Frequenz von **170 * min⁻¹** spricht ISRAEL 1970 von einer **intensiven Belastung**. In diesem Herzfrequenzbereich sind **lineare Beziehungen** zwischen Belastungsanstieg und Herzfrequenzerhöhung aufgehoben. Der Endphasenverlauf einer Belastung ist dadurch gekennzeichnet, dass die **Leistungsherzschlagfrequenz > 170 * min⁻¹** einen **sigmoidalen Verlauf** annimmt.

Zwischen dem 20. und dem 40. Lebensjahr ist die maximale Herzschlagfrequenz zwischen Ausdauertrainierten und Untrainierten im gleichen Frequenzbereich anzusiedeln. Sie wird in der sportmedizinischen Literatur mit Frequenzen zwischen 180 bis 200 * min⁻¹ beschrieben. Herzfrequenzen über 200 * min⁻¹ gelten hinsichtlich der Herzarbeit nach ISRAEL 1968, NÖCKER 1980, PROKOP 1986, REINDELL u. Mitarb. 1988 als unökonomisch. NOWACKI 2002 ermittelte bei mehr als 25.000 leistungsphysiologischen Untersuchungen maximale Herzschlagfrequenzen zwischen 170 bis 190 * min⁻¹.

Ab der 4. Lebensdekade sinkt die **maximale Herzschlagfrequenz** mit zunehmendem Alter. So zeigte HOLLMANN 1986, dass sich die maximale Herzfrequenz bereits nach der Pubertät absenkt.

Nach KEUL u. Mitarb. 1988 weisen **SportlerInnen** mit einem leistungsstarken Herzkreislaufsystem **niedrigere maximale Herzfrequenzen** auf. ISRAEL 1970 und NOWACKI N. S. 1998 beschreiben eine **Reduzierung der maximalen Herzfrequenz** bei einer stetig zunehmenden Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Eine **Herzvergrößerung** sowie eine **Ökonomisierung der Herzkreislaufarbeit** werden als Ursache dieser Entwicklung angesehen.

MOHAMMED 1999 beschreibt für Hochleistungssportler, besonders für Fußballspieler der Bundesliga mit mehr als 15 Trainingsjahren, maximale Herzfrequenzen von $170 \pm 5 \cdot \text{min}^{-1}$. NOWACKI et al. 1999 bezeichnet die **Pulsfrequenz von $180 \pm 5 \cdot \text{min}^{-1}$** als brauchbare **Richtzahl** für die **Ausbelastung von hochausdauertrainierten Athleten**.

1994 ermittelte REUBER bei fortgeschrittenen Tauchsportlern durchschnittliche maximale Herzfrequenzen von $180 \pm 16 \cdot \text{min}^{-1}$. NOWACKI N.S. 1998 wies in Langzeitstudien im Skilanglauf bei Athleten > 26 Jahre eine maximale Herzfrequenz von $178 \pm 8 \cdot \text{min}^{-1}$ nach. Unter Fußballspielern der Seniorenklasse zeigte MOHAMMED 1999, dass die maximale Ausbelastungsfrequenz bei 180 ± 10 Schläge $\cdot \text{min}^{-1}$ lag.

Gemäß HOLLMANN 1963, 1965 gilt als **allgemein anerkannte Formel** für das Erreichen der maximalen Herzschlagfrequenz:

$$\underline{\mathbf{Hf_{max} \cdot \text{min}^{-1} = 220 - \text{Lebensalter}}}$$

Die EUROPÄISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARDIOLOGIE legt niedrigere maximale Herzschlagfrequenzen für ihre Ausbelastungskriterien fest:

$$\underline{\mathbf{Hf_{max} \cdot \text{min}^{-1} = 200 - \text{Lebensalter}}}$$

Tab. 5: Ausbelastungskriterien der maximalen Herzschlagfrequenz Formel nach HOLLMANN vs. Empfehlungen der EUROPÄISCHEN GESELLSCHAFT FÜR KARDIOLOGIE

ALTER	MAXIMALE HERZSCHLAGFREQUENZ		
	HOLLMANN 1963, 1965	EUROPÄISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARDIOLOGIE	
20 – 29 ¹¹ / ₁₂	190	170	$\mathbf{Hf_{max} \cdot \text{min}^{-1}}$
30 – 39 ¹¹ / ₁₂	180	160	$\mathbf{Hf_{max} \cdot \text{min}^{-1}}$
40 – 49 ¹¹ / ₁₂	170	150	$\mathbf{Hf_{max} \cdot \text{min}^{-1}}$
50 – 59 ¹¹ / ₁₂	160	140	$\mathbf{Hf_{max} \cdot \text{min}^{-1}}$
60 – 69 ¹¹ / ₁₂	150	130	$\mathbf{Hf_{max} \cdot \text{min}^{-1}}$
> 70	140 – 110	120	$\mathbf{Hf_{max} \cdot \text{min}^{-1}}$

In der vorliegenden Nordic Walking-Studie ergibt sich bei einem durchschnittlichen biologischen Alter von $47,7 \pm 12,7$ Jahren eine durchschnittliche **maximale Herzfrequenz** von $170 \pm 16 \cdot \text{min}^{-1}$ im Eingangstest vs. $175 \pm 20 \cdot \text{min}^{-1}$ für den Ausgangstest. Somit kann nach den Kriterien von HOLLMANN 1963, 1965 von einer **Ausbelastung** gesprochen werden.

Als weiterer aussagekräftiger Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit dient der Verlauf der Erholungsschlagfrequenz (NOWACKI 1975, ISRAEL 1968). Die wissenschaftlichen Untersuchungen von REINDELL u. Mitarb. 1962 und MELLEROWICZ 1979 zeigten, dass die Beruhigung der Herzfrequenz nach einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung umso schneller verläuft, je besser der Trainingszustand des Probanden ist.

Allgemein anerkannte Beurteilungskriterien der kardiozirkulatorischen Erholungszeit von Trainierten nach einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung wurden von NOWACKI 1975, 1977, 1984, 1987, 1988 erstellt.

Die Zeitspanne, die nach einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung vergeht, **bis eine Herzfrequenz von $100 \cdot \text{min}^{-1}$** unterschritten wird, ist nach NOWACKI 1975 als **Herzkreislauf-Erholungszeit** definiert. Für die meisten Sportler ist die Messung der Erholungszeit im Labor zu zeitaufwendig, da oft mehr als 10 Minuten vergehen, bis nach einer erschöpfenden Ausbelastung eine Herzfrequenz von $100 \cdot \text{min}^{-1}$ unterschritten wird. NOWACKI 1973 führte aus diesem Grund die **5 Minuten-Erholungs-Herzfrequenz** zur Beurteilung der kardio-zirkulatorischen Erholungsfähigkeit ein.

Bei untrainierten, aber auch bei Kindern, wird eine schlechtere kardiozirkulatorische Erholungsfähigkeit mit Verdacht auf pathologische Veränderungen erst ab einer $H_f > 140 \cdot \text{min}^{-1}$ diagnostiziert. Entsprechend höher liegen auch die H_f -Werte für die dann folgenden Beurteilungskriterien nach NOWACKI.

Dieses Konzept hat sich im Folgenden durchgesetzt und bewährt.

Tab. 6: Beurteilung der kardiozirkulatorischen Erholungsfähigkeit nach einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung bei sportlich aktiven Männern und Frauen nach NOWACKI 1987

<u>Herzfrequenz $\cdot \text{min}^{-1}$ nach einer 5minütigen Erholungszeit</u>
$> 130 \cdot \text{min}^{-1}$: schlechte kardiozirkulatorische Erholungsfähigkeit
$120-130 \cdot \text{min}^{-1}$: ausreichende
$115-120 \cdot \text{min}^{-1}$: befriedigende
$105-115 \cdot \text{min}^{-1}$: gute
$100-105 \cdot \text{min}^{-1}$: sehr gut
$< 100 \cdot \text{min}^{-1}$: Höchstleistung

In der vorliegenden Nordic Walking-Studie konnte eine durchschnittliche Herzfrequenz von $106 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$ im Eingangstest bzw. $105 \pm 19 \cdot \text{min}^{-1}$ im Ausgangstest am **Ende der 5. Erholungsminute** registriert werden. Nach den allgemein anerkannten Beurteilungskriterien entspricht diese Erholungsfrequenz einer **guten kardiozirkulatorischen Erholungsfähigkeit**. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass in Bezug auf Herzkreislauf- und Skeletterkrankungen ein heterogenes Klientel vorlag.

Grundsätzlich bestätigen die vorliegenden Ergebnisse die Arbeiten von MELLEROWICZ 1979, die einen Zusammenhang von schnellerer Herzfrequenzberuhigung bei einem verbesserten Trainingszustand aufzeigen.

Die Registrierung der **systolischen** und **diastolischen Blutdruckwerte** vor, während und nach der Laufbandspiroergometrie diene in erster Linie der gesundheitlichen Vorsorge. Im Vordergrund steht dabei die **Erkennung einer hypertonen Regulationsstörung** unter Ruhe- und unter Belastungsbedingungen. **Normalerweise** sind bei einem gesunden Menschen zwischen dem 20sten und dem 40sten Lebensjahr **normotone Blutdruckwerte von 130/85 mmHg** zu erwarten.

Entsprechend dem peripheren Widerstand bei dynamisch verrichteter Arbeit steigt der **systolische Blutdruck** an. In welche Bereiche sich der **diastolische Blutdruck** bewegt, hängt von der Art der verrichteten Belastung ab. Ein ansteigender Muskeltonus bei hohen Intensitäten lässt den diastolischen Blutdruck ansteigen. Bei geringeren Kraftintensitäten und dynamisch alternierender Arbeitsweise der Muskulatur hingegen bleibt der diastolische Blutdruck nahezu unverändert (KELLEY 1997, LEITNER 2007).

Ausdauertrainierte Sportler zeigen neben der trophotropen Beeinflussung der Herzfrequenz auch eine **Kreislaufökonomisierung** mit **Abnahme der systolischen Ruhe-Blutdruckwerte** (HÖRTNAGEL 2004).

MELLEROWICZ definierte dies 1956 als „Ökonomieprinzip des trainierten Herz-Kreislauf-Systems“ vor allem bei Ausdauersportlern. Ursächlich dafür wird eine **Reduktion der Kontraktilitätskraft des Myokards** und eine **Verminderung des Herzzeitvolumens** angesehen (MELLEROWICZ 1956, NÖCKER 1976, HOLLMANN, HETTINGER 2000). HECK 1990 vertritt hingegen die Auffassung, dass der Einfluss der Ausdauerleistungsfähigkeit auf das systolische Blutdruckverhalten unter Belastung nur von geringer Bedeutung ist.

In der vorliegenden Studie stellte die Erhöhung der Belastung im Nordic Walking-Stufenbelastungstest auf dem Laufbandergometer hinsichtlich des Kraffteinsatzes eine mittlere Belastung dar.

Das 8-wöchige Training hat sich bei den Probanden bezüglich der **diastolischen** und **systolischen Blutdruckwerte** bemerkbar gemacht. So zeigen sich **signifikante Unterschiede** zwischen **Eingangs- und Ausgangstest**. Im Belastungsbereich von 5 km/h liegt der systolische Blutdruck im **Ausgangstest** mit 145 ± 20 mmHg unter dem des **Eingangstests** mit 150 ± 25 mmHg, wobei dieser Mittelwertsunterschied mit $p=0,013$ als signifikant einzustufen ist. Im diastolischen Bereich ergeben sich bei 4 km/h mit 80 ± 10 mmHg im **Eingangstest** vs. 75 ± 10 mmHg im **Ausgangstest** mit $p=0,008$ hoch signifikante Unterschiede. Insgesamt kann man somit von einer

Kreislaufökonomisierung im submaximalen Belastungsbereich durch Nordic Walking sprechen.

4.4 Respiratorische Leistungsfähigkeit

Die **respiratorische Leistungsfähigkeit** wird durch das **maximale Atemminutenvolumen (AMV I BTPS)** als **Produkt** der **Atemfrequenz (AF * min⁻¹)** und des **Atemzugvolumens (AZV ml BTPS)** definiert (HOLLMANN 1959, 1961, 1963, 1965, 1977, Mc ARDLE, F. KATCH, V. KATCH 1996, ELGOHARI 2003). Das Atemminutenvolumen gilt als **Basismessgröße** der Spiroergometrie.

Das maximale Atemminutenvolumen gilt für die Prognose der körperlichen Leistungsfähigkeit als **nicht aussagekräftig**. So ergibt sich für den Parameter des maximalen Atemvolumens im Vergleich zu anderen leistungsdiagnostischen Kenngrößen lediglich nur ein orientierender Charakter. Heck 1990 sieht die **Variabilität des AMV** als **sehr groß** an und stuft infolgedessen das AMV als einen **Leistungsindikator** mit **geringer Validität** ein.

NÖCKER 1980 und HOLLMANN, HETTINGER 2000 sehen das **Atemminutenvolumen ebenfalls nicht als limitierenden Faktor** der körperlichen Leistungsfähigkeit an. KRAUSE 1971 und der Arbeitskreis um NOWACKI 1977 konnten jedoch **Ausnahmen bei Hochleistungsrudern** aufzeigen. Bei Weltklasseathleten in der **Kraftausdauersportart Rudern** (Deutschland-Achter mit Steuermann vor dem Olympiasieg 1968 in Mexico City) wurden von KRAUSE 1971 **maximale Atemminutenvolumina zwischen 200 – 240 l BTPS** erstmals pneumotachographisch in Zusammenarbeit mit NOWACKI u. Mitarb. 1971 registriert. **Geringfügige** und **nicht signifikante Unterschiede** bei **maximalen Atemminutenvolumina**, die mit zunehmender Leistung größer wurden, zeigten KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 bei gleicher ergometrischer Leistung zwischen Trainierten und Untrainierten auf. Die Differenzen zeigten sich zugunsten der Trainierten im oberen Leistungsbereich. Dieser verzeichnete Unterschied wurde von den Untersuchern als **trainingsadaptierte verbesserte Atmungsökonomie** interpretiert. Auch NOWACKI 2002 hält nach seinen knapp 45jährigen Erfahrungen bei spiroergometrischen Vita maxima-Untersuchungen von AthletenInnen aus unterschiedlichen Sportarten, das **maximale Atemminutenvolumen nicht** für einen **entscheidenden leistungsbegrenzenden und klassifizierenden Faktor**. Jedoch gestatten die folgenden **Einteilungskriterien** für das maximale **AMV I BTPS** eine **orientierende Klassifizierung** des Trainingszustandes eines Sportlers.

In Tabelle 7 sind die geltenden Richtlinien des maximalen Atemminutenvolumens modifiziert nach NOWACKI N. S. 1998, MOHAMMED 1999 und nach NOWACKI 2002 dargestellt.

Tab. 7: Klassifizierung des maximalen Atemminutenvolumens (AMV I BTPS) modifiziert nach NOWACKI N. S. 1998, MOHAMMED 1999 und nach NOWACKI 2002

> 200 AMV I BTPS	Absoluter Hochleistungsbereich mit einer Körpergröße > 195 cm und schwerer > 95 kg Körpergewicht
150 – 199 AMV I BTPS	Sehr gut trainierter Bereich/Übergang Hochleistungsbereich
130 – 149 AMV I BTPS	Sehr gut trainierter Bereich
110 – 129 AMV I BTPS	Gut trainierter Bereich
90 – 109 AMV I BTPS	Befriedigend trainierter Bereich
90 AMV I BTPS	Übergang untrainierter/trainierter Bereich für einen gesunden leistungsfähigen Mann
70 – 90 AMV I BTPS	Untrainierter Bereich für einen gesunden leistungsfähigen Mann
Die vergleichbaren Werte vom 16. – 40. Lebensjahr für gesunde leistungsfähige Frauen liegen ~ 30 % unter den für gesunde leistungsfähige Männer dargestellten Werten	

Mit Beginn der körperlichen Aktivität beschreiben HOLLMANN 1959, MELLEROWICZ 1979, NÖCKER 1980 einen **Anstieg des AMV proportional zum Sauerstoffbedarf** bis zum maximalen „**Steady state: O₂-Aufnahme = O₂-Verbrauch.**“ Steigende Belastungsintensität und zunehmende O₂-Schuld führen zu einer **Arbeitshyperventilation**, die wiederum zu einem **unproportionalen Anstieg des Atemminutenvolumens** führt. Der **überproportionale Anstieg des AMV** oberhalb des Steady state ist auf die verstärkte Abatmung des in der Arbeitsmuskulatur anfallenden **CO₂** zurückzuführen, um einen **pH-Abfall** und die damit verbundene **Azidose** hinaus zu zögern (NOWACKI 1977, NICKEL 1992).

Die **Wirkung von Ausdauertrainingsreizen** besteht nach DRESSLER, MELLEROWICZ 1961, KÖNIG u. Mitarb. 1961, NÖCKER 1980 und HOLLMANN, HETTINGER 2000 darin, dass das **ventilierte AMV** im Bereich **der submaximalen Belastungsstufen geringer** ausfällt, d.h. dass die Atmung im submaximalen Leistungsbereich **ökonomischer** und die **Sauerstoffausnutzung effizienter** wird. Das **Steady state** wird auf ein **höheres Belastungsstufenniveau** gehoben als es vor dem Ausdauertraining der Fall war (BARTELS 1973, MELLEROWICZ 1979, NÖCKER 1980, HOLLMANN, HETTINGER 2000).

So ist ein **geringeres Atemminutenvolumen** für NOWACKI 1979, NICKEL 1992 bei gegebener Belastungsstufe ein Ausdruck der **verbesserten Atemökonomie**.

Als **Einflussgrößen** auf die **Atemfrequenz** und demzufolge auch auf das **Atemminutenvolumen** sind das **Alter**, das **Geschlecht**, der **Trainingszustand**, die **Umgebungstemperatur** und der **Sauerstoffpartialdruck** zu nennen.

Als weitere wichtige Einflussgröße sieht HOLLMANN 1990 die **Leistungsfähigkeit der Atemmuskulatur** an, die durch Training erhöht werden kann.

NOWACKI 1977 konnte an einem großen Probandenkollektiv nachweisen, dass **Untrainierte im Alter zwischen 20 – 40 Jahren** ein maximales **AMV von $80,0 \pm 10,0$ l BTPS** erreichen, was überwiegend auf die Verdoppelung der **Atemfrequenz** (ca. $30 \cdot \text{min}^{-1}$) zurückzuführen war. Im Gegensatz hierzu steigern **Trainierte** ihre **Atemfrequenz** auf **40 – 50 Atemzüge $\cdot \text{min}^{-1}$** bei gleichzeitig erhöhtem **Atemzugvolumen** im Vergleich zu Untrainierten. Auf diese Weise konnten die **Trainierten** während Vita maxima-Belastungen noch **40 – 50 % ihrer Vitalkapazität** als Atemzugvolumen einsetzen.

NOWACKI 1978 zeigte somit Verbindungen zwischen der **respiratorischen Leistungsfähigkeit** und der **Atmungsökonomie** in Abhängigkeit von der durchgeführten Sportart und den damit verbundenen körperlichen Anpassungen auf. Bestätigung fanden diese Ergebnisse in Studien anhand des sportmedizinischen Leistungsprofils mit SkilangläuferInnen, die von NOWACKI N. S. 1998 durchgeführt wurden. Bereits bei SchülerInnen und Jugendlichen konnte diese frühzeitige Adaptation durch NOWACKI 1978 wie auch NOWACKI N. S. 1998 nachgewiesen werden. So beschreibt NOWACKI N. S. 1998 bei **12jährigen SchülerInnen** maximale **Atemminutenvolumina von $80,0 \pm 16,8$ l BTPS bzw. $70,0 \pm 12,6$ l BTPS**, die den Werten untrainierter Erwachsener entsprechen. Mit zunehmendem Alter erhöhen sich diese Werte bei den SchülerInnen und Jugendlichen deutlich.

So zeigt ÅSTRAND 1952 für Kinder und Jugendliche eine nahezu **gewichtsproportionale Vergrößerung** des maximalen **Atemminutenvolumens** mit zunehmendem Alter.

Seit den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts werden in der sportmedizinischen Literatur **geschlechtsspezifische Unterschiede** (ÅSTRAND 1952, HANSEN 1975, NOWACKI 1983, BACHL 1986, HOLLMANN 1986, NOWACKI N. S. 1998) bezüglich der respiratorischen Leistungsfähigkeit beschrieben. In diversen Studien konnte übereinstimmend gezeigt werden, dass bei **Frauen ca. 30% geringere Werte** gemessen werden. NOWACKI N. S. 1998 konnte zeigen, dass diese Differenzen mit Beginn der **Adoleszenz ab dem 16. Lebensjahr als statistisch signifikant** zu betrachten sind. So konnte von einer 19jährigen Skilangläuferin mit $115,0 \pm 15,0$ l BTPS das höchste maximale AMV erbracht werden. Das im Durchschnitt gemessene maximale AMV bei 20jährigen Skilangläufern lag bei $141,0 \pm 23,0$ l BTPS.

Für die **Trainingspraxis** des **Nordic Walking** sowie des **Gesundheitssports** ist im Allgemeinen die Kenntnis des **maximalen Atemminutenvolumens** als Information ausreichend um auszuschließen, dass **restriktive** oder **obstruktive Veränderungen** einen leistungslimitierenden oder gar gesundheitsschädigenden Charakter annehmen.

Das mittlere Atemminutenvolumen der Nordic Walking-Studie liegt in der Vorstartphase beim Stufenbelastungstest auf dem Laufband bei $13,6 \pm 4,3$ l BTPS im **Eingangstest** bzw. $13,4 \pm 4,4$ l BTPS für den **Ausgangstest**. Das **AMV** ist in der Vorstartphase **höher als der** von NOWACKI 1977 und NÖCKER 1980 dargelegte **Ruhewert von $8,0 \pm 1,0$ l BTPS**. Ursächlich ist in der **Vorstartphase** der Tests eine **erhöhte Atemfrequenz** (Eingangstest: $AF 23,0 \pm 4,0 \cdot \text{min}^{-1}$; Ausgangstest: $AF 20 \pm 5 \cdot \text{min}^{-1}$) **mit 20 bis 23 Atemzügen $\cdot \text{min}^{-1}$ über dem Normbereich von 12 bis 15 Atemzügen $\cdot \text{min}^{-1}$** . Vermutlich sind die **erhöhten Ausgangswerte** auf eine **psychische Anspannung** zurück zu führen, die in dieser Phase die erhöhten kardiozirkulatorischen und respiratorischen Messwerte bedingte. Die **respiratorischen Funktionsgrößen** passten sich jedoch mit Beginn der Belastung rasch an die Erfordernisse der physikalisch abverlangten Leistung an.

Mit zunehmender Leistung reagiert der Organismus mit einer **Steigerung** der **Atemfrequenz** sowie über eine **Erhöhung des Atemzugvolumens**. KÖNIG und Mitarb. 1961 konnten nachweisen, dass ein untrainierter Organismus auf körperliche

Leistungssteigerungen mit einem Anstieg der Atemfrequenz antwortet, wohingegen der trainierte Sportler sein Atemzugvolumen steigert.

Beim Stufenbelastungstest auf dem Laufband ergibt sich für die Nordic Walking-Studie im Bereich von 7 km/h ein **mittleres AMV** von **52,9 ± 12,8 l BTPS** im Eingangstest bzw. **49,1 ± 12,4 l BTPS** für den Ausgangstest. In diesem Fall liegt ein **signifikanter Mittelwertsunterschied** von **p=0,015** vor. Die Belastungsstufen 5 km/h und 6 km/h zeigen die gleiche Tendenz ohne signifikante Mittelwertsdifferenzen. Bei einer Belastung von 9 km/h ergeben sich mit **p=0,05** signifikante Mittelwertsunterschiede. In dieser Belastungsstufe liegt der Wert des **AMV** mit **74,2 ± 14,9 l BTPS** im **Eingangstest** um ca. **7,0 l BTPS** höher als im **Ausgangstest** mit **67,3 ± 19,0 l BTPS**. Dieses **höhere Atemminutenvolumen** im **Eingangstest** ist darauf zurückzuführen, dass über ein **kontinuierliches Training** eine **Verbesserung der Atmungsökonomie** bewirkt wurde, was **niedrigere Werte** im **Ausgangstest** zur Folge hat.

4.5 Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit

Als entscheidende Basismessgrößen der sportmedizinischen Funktionsdiagnostik gelten die **maximale absolute Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ I STPD} \cdot \text{min}^{-1}$)** und die Verlaufskurve bis zum Erreichen derselben im Vita Maxima-Bereich. Dementsprechend umfangreich ist die sportmedizinische Literatur zum Themengebiet der maximalen Sauerstoffaufnahme (ÅSTRAND 1952, KIRCHHOFF u. Mitarb. 1956, HOLLMANN 1959, 1963, 1990, ÅSTRAND, SALTIN 1961, ISRAEL 1968, KEUL, DOLL, KEPPLER 1969, HOLLMANN u. Mitarb. 1971, NOWACKI u. Mitarb. 1971, KRAUSE 1971, NOWACKI 1977, NÖCKER 1980, QIU 1982, BAROR 1996, NOWACKI N. S. 1998, MOHAMMED 1999, HENNE 2001, ELGOHARI 2003, SCHLEVOIGT 2004).

Übereinstimmung besteht darin, dass die **maximale Sauerstoffaufnahme** die entscheidende diagnostische Kenngröße ist, um die Leistungsfähigkeit von Lunge und Herz-Kreislaufsystem beurteilen zu können. KRAUSE 1971 beschreibt bei Sportlern eine bis zu **100 % höhere maximale Sauerstoffaufnahme** im Vergleich zu untrainierten Normalpersonen. Er zieht aufgrund der **Größe der maximalen Sauerstoffaufnahme Rückschlüsse auf die ausgeübte Sportart**. Fast unerschöpflich scheint das Gebiet der in der sportmedizinischen Literatur beschriebenen Überlegenheit der kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit von sportlich aktiven Jugendlichen (ERIKSSON 1972, BASTIAN, KUNZE, SATTLER 1972, SOMMER u. Mitarb. 1980, ROST 1981, NOWACKI 1987).

Nach HOLLMANN 1963 wird die maximale Sauerstoffaufnahme gegen Belastungsende während der vorletzten oder letzten Belastungsstufe einer Fahrradspiroergometrie erreicht.

Für HOLLMANN 1963 und NOWACKI 1973 steht fest, dass die **Abhängigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme** von **internen** und **externen Faktoren** abhängt.

Zu den **externen Faktoren** zählen **Alter, Geschlecht, Trainingszustand, Trainingsdauer** in Jahren, die **Trainingsquantität** und **-qualität**, die **Art der Trainingsbelastung** sowie diverse **Umweltfaktoren** wie die Höhe über NN, die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit.

Zu den **internen Faktoren** werden gezählt: die **Ventilation**, die **alveolo-kapilläre O₂-Diffusion**, das **Herz-Zeit-Volumen** ($\text{HZV} = \text{SV} \cdot \text{HF}$), die **O₂-Transportkapazität**

des Blutes (Blutvolumen, Erythrozytenzahl, Total-hämoglobingehalt), die **periphere arterio-venöse Differenz**, der **Anteil der arbeitenden Muskulatur** und der **Muskelfasertyp der eingesetzten Arbeitsmuskulatur** sowie deren **Stoffwechselleistung**.

Für HOLLMANN 1986 ist die unter **Vita maxima-Bedingungen** gemessene **maximale absolute Sauerstoffaufnahme** das „**Bruttokriterium der kardiopulmonalen aeroben Kapazität**“. NOWACKI 1977, 1987 definiert dem gegenüber die **maximale absolute** und **relative Sauerstoffaufnahme** als **„integralen Wert“** der **aeroben und anaeroben Kapazität**.

Damit die maximale absolute Sauerstoffaufnahme unter Vita maxima-Bedingungen ermittelt werden kann, wird der Proband in eine „Sauerstoffschuld“ gebracht und dadurch eine azidotische Stoffwechselsituation mit pH-Abfall und Laktatakkumulation herbeigeführt. Nach LIESEN u. Mitarb. 1985 und NEUMANN 1990 kann man den **aeroben** und den **anaeroben Anteil** über die Laktatleistungskurve differenzieren. Hierzu hat der ägyptische Gastwissenschaftler ELGOHARI 2003 am Institut für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität eine umfassende quantitative kardiorespiratorische Studie an unterschiedlich hoch trainierten Athleten über die aeroben und anaeroben Anteile der Sauerstoffaufnahme während einer erschöpfenden ergometrischen Leistungsperiode in Abhängigkeit von unterschiedlichen Methoden, z.B. 1 W/kg KG-Verfahren versus HOLLMANN-Verfahren vorgelegt.

Nicht in Abhängigkeit stehend von der körperlichen Leistungsfähigkeit liegt die **Sauerstoffaufnahme in Ruhe** bei ca. **0,2 bis 0,3 l STPD * min⁻¹**. In Abhängigkeit vom Körpergewicht wird an **O₂** ca. **3 - 4 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** für den **Ruhestoffwechsel** benötigt. Bei **gesunden untrainierten Männern** konnten DRANSFELD 1975, HOLLMANN, HETTINGER 1980 maximale Sauerstoffaufnahmen zwischen **2,0 bis 3,0 l STPD * min⁻¹** messen. Ähnliche Werte fanden NOWACKI, KRAUSE, RITTER 1971 bei **untrainierten, normalgewichtigen Männern**. Diese lagen für die maximale Sauerstoffaufnahme zwischen **2,5 und 3,0 l STPD * min⁻¹**. Von einer trainingsbedingten Adaptation spricht NOWACKI 1973 bei einer **maximalen Sauerstoffaufnahme über 3,0 l STPD * min⁻¹**.

Sportler können durch gezieltes **Ausdauertraining** die maximale Sauerstoffaufnahme auf über **4,0 l STPD * min⁻¹** steigern. Die **maximale**

Sauerstoffaufnahme kann bei hochleistungstrainierten Kraftausdauersportlern um bis zu **100 %** gesteigert werden. So konnte NOWACKI 1977 bei **Weltklasseruderern** des Ratzeburger Achters von 1972 Mittelwerte der maximalen Sauerstoffaufnahme von **$6,7 \pm 0,45 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$** aufzeigen.

Die folgende Tabelle 8 zeigt nach NOWACKI 1977 die **Beurteilungskriterien der maximalen absoluten Sauerstoffaufnahme** für 20 bis 40jährige Männer mit einem Durchschnittsgewicht von 75 kg.

Tab. 8: Beurteilungskriterien für die maximale absolute Sauerstoffaufnahme nach NOWACKI 1977 für Männer mit einem mittleren Körpergewicht von $80 \pm 5 \text{ kg}$

VO₂ l STPD · min⁻¹	
> 6,0	Hochleistungszustand
5,0 - 6,0	sehr gut trainierte Leistungsfähigkeit
4,0 - 5,0	gut trainierte Leistungsfähigkeit
3,5 - 4,0	befriedigend trainierte Leistungsfähigkeit
3,0 - 3,5	leicht trainierte Leistungsfähigkeit
2,5 - 3,0	normal untrainierte Leistungsfähigkeit
1,5 - 2,5	ausreichend untrainierte Leistungsfähigkeit
1,0 - 1,5	leistungsschwach
< 1,0	pathologisch

Bei Frauen findet sich durchschnittlich eine um **0,5 – 1,0 l STPD · min⁻¹** niedrigere VO₂ l STPD · min⁻¹ bei einem mittleren Körpergewicht von **60 ± 5 kg**.

NOWACKI N. S. 1998 registrierte bei **Skilangläuferinnen ab dem 16. Lebensjahr** maximale Sauerstoffaufnahmen deutlich **über 3,0 l STPD * min⁻¹**. Diese Ergebnisse verdeutlichen nicht nur ein hohes Leistungsniveau, sondern auch die Anpassung des kardiorespiratorischen Systems an ein mehrjähriges Ausdauertraining.

Bei **Frauen** findet sich eine **durchschnittlich um 0,5 bis 1,0 l STPD * min⁻¹ niedrigere absolute Sauerstoffaufnahme**, die bei den meisten **Sportlerinnen zwischen 2,0 und 3,0 l VO₂ STPD * min⁻¹** liegt. 1992 zeigten NOWACKI und MEDAU, dass höhere Werte zwischen **4,0 bis 5,0 l VO₂ STPD * min⁻¹** allein Spitzenathletinnen in den Kraftausdauer-Sportarten, z.B. Rudern, vorbehalten sind.

HOLLMANN, BOUCHARD 1970 und NOWACKI N. S. 1998 zeigen anhand weitläufiger Studien auf, dass während der **Pubeszenz** und der **Adoleszenz** eine **enge Korrelation** zwischen **biologischem Alter** und **maximaler Sauerstoffaufnahme** besteht.

Die **absolute Sauerstoffaufnahme** (VO₂ l STPD * min⁻¹) der **Nordic Walking-Studie** beträgt **vor dem Stufenbelastungstest auf dem Laufband 0,46 ± 0,18 l STPD * min⁻¹** für den **Eingangstest** bzw. **0,45 ± 0,18 l STPD * min⁻¹** im **Ausgangstest**. Im **submaximalen Bereich** bei 7 km/h ist die absolute O₂-Aufnahme auf **1,8 ± 0,26 l STPD * min⁻¹** (Eingangstest) bzw. **1,7 ± 0,29 l STPD * min⁻¹** (Ausgangstest) gefallen.

Bei der **erschöpfenden Ausbelastung** der Nordic Walker wurde bei 10 km/h eine durchschnittliche **absolute maximale Sauerstoffaufnahme** für den Eingangs- und Ausgangstest von **3,1 ± 0,38 l STPD * min⁻¹** vs. **2,9 ± 0,76 l STPD * min⁻¹** registriert.

Im Belastungsbereich von 6 km/h liegt die **absolute Sauerstoffaufnahme** im **Eingangstests** höchst signifikant über der des **Ausgangstests** (**1,5 ± 0,24 l STPD * min⁻¹** vs. **1,4 ± 0,26 l STPD * min⁻¹**; **p=0,003**). Bei einer Belastung von 9 km/h liegt die absolute Sauerstoffaufnahme im Eingangstest ebenfalls signifikant (**p=0,03**) über der des Ausgangstests. Dieser Sachverhalt, im Haupttrainingsbereich des Nordic Walking (6 km/h), lässt sich auf eine trainingsbedingte **Ökonomisierung der Atmung, der O₂-Aufnahme und eine bessere periphere O₂-Ausnutzung** zurückführen.

Insgesamt lässt sich für das Probandenkollektiv eine maximale absolute Sauerstoffaufnahme registrieren, die minimal **höhere Werte** aufweist, als die

Durchschnittswerte untrainierter Männer im Alter von 18 bis 40 Jahren mit einer VO_2 von $2,8 \pm 0,3 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$ nach NOWACKI 1977 und HOLLMANN, HETTINGER 1980 mit $2,5 - 3,0 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$.

Um dieses Ergebnis richtig interpretieren zu können, ist zu berücksichtigen, dass das Probandenkollektiv zu knapp 2/3 aus Frauen bestand und das durchschnittliche Alter bei $47,7 \pm 12,7$ Jahren lag.

Somit ist zu resümieren, dass nach den von NOWACKI 1977 **postulierten Beurteilungskriterien** der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme die Gesundheitssportler der Nordic Walking-Studie über ein **altersentsprechend befriedigendes bis gut trainiertes körperliches Leistungsvermögen** verfügen.

Da eine **maximale Sauerstoffaufnahme** von $4,0$ bis $5,0 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$ nach REINDELL, KIRCHHOFF 1956, REINDELL u. Mitarb. 1956, 1960, REINDELL, KÖNIG, ROSKAMM 1967, AVENHAUS, MEDAU, NOWACKI 1988 sowie REINDELL, BUBENHEIMER, DICKHUTH, GÖRNANDT 1988 **eng** mit dem **Herzvolumen** (950 ml bis 1100 ml) und der **Leistungsfähigkeit des Herzens** (HZV 25 bis 30 l) korreliert ist, kann man davon ausgehen, dass ein moderat betriebener Gesundheitssport wie das Nordic Walking mit deutlich geringeren maximalen Sauerstoffaufnahmen (**bis $3,1 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$**) zu einer **positiven Adaptation** des Herz-Kreislauf-Systems führt.

Die **maximale relative Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)** ist eine äußerst bedeutsame Kenngröße. NOWACKI 1992 definierte sie als „**integralen Wert**“ der **aeroben** und **anaeroben Kapazität** und hält sie für die **wichtigste Kenngröße** im modernen Hochleistungssport, wenn es um die zusammenfassende konditionelle Beurteilung eines Athleten geht.

Ebenso hat man in den USA die maximale **relative Sauerstoffaufnahme** als eine sehr bedeutende „biologische Talentgröße“ erkannt (Mc ARDLE, F. KATCH, V. KATCH 1996).

Berechnet man die **maximale relative Sauerstoffaufnahme**, lässt sich die körperliche Leistungsfähigkeit von Sportlern mit unterschiedlichem Körpergewicht aussagekräftiger und eindeutiger darstellen (NOWACKI 1978). HOLLMANN 1986 fand heraus, dass sich bezüglich der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** keine wesentlichen Unterschiede zwischen Kindern, Jugendlichen und untrainierten Männern und Frauen ergeben. Er schloss daraus, dass sich die **maximale relative**

Sauerstoffaufnahme somit hervorragend als Parameter zur **Verlaufskontrolle und Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit** eignet.

Laut NOWACKI N. S. 1998 wird dieses Wissen um die Bedeutung der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** in den USA zielgerichtet als **diagnostische Kenngröße** in der **Talentsichtung und -förderung** genutzt. NOWACKI 1975 zeigte bei Untersuchungen an Schülern, dass vereinzelt erhöhte Werte der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme von über $50 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ möglich sind, ohne dass diese im Vorfeld ein spezifisches Ausdauertraining absolviert haben. Hierdurch hob NOWACKI 1975 die Bedeutung der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme als diagnostische **Kenngröße** zur **Talentsichtung** hervor.

Die sportmedizinische Literatur beschreibt bei **Untrainierten relative maximale Sauerstoffaufnahmen von 30 – 40 ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹**. Alters- und geschlechtsunabhängig beginnt der **trainierte Bereich** oberhalb einer maximalen relativen Sauerstoffaufnahme von **40 ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹**.

Durch Weltklasseathleten im **Hochleistungsausdauertrainingszustand** können maximale relative Sauerstoffaufnahmen **zwischen 80 und 90 ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹** (NOWACKI 1987) erzielt werden. **Ausdauertrainierte Frauen** liegen nach NOWACKI 1983 mit ihren Werten **ca. 15 - 20 % unter den Ergebnissen trainierter Männer**.

Bei der portugiesischen Marathon-Olympiasiegerin in Seoul 1988, *M. Motta*, registrierten NOWACKI und sein Team während der Vorbereitungsphase in Lissabon/Portugal den bis dahin höchsten Wert der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme mit **78 ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹** bei einer Athletin (NOWACKI, ALEFELD 1985).

In Tabelle 9 sind die Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme nach NOWACKI 1987 dargestellt.

Tab. 9: Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme nach NOWACKI 1987

VO₂ ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹	
81 – 90	Weltklasseathleten in Ausdauer- und Kraftausdauer-Sportarten, z.B. Skilanglauf
71 – 80	Hochleistungstrainingszustand in Kraftausdauer-sportarten, z.B. Radsport
61 – 70	Sehr gut trainiert
51 – 60	Gut trainiert
41 – 50	Befriedigend trainiert
31 – 40	Untrainierter Normalbereich (Männer, Frauen, Jugendliche beiderlei Geschlechts)
25 – 30	Leistungsschwach
< 24	Pathologisch
Nach NOWACKI 1983 liegen die Werte der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme für Frauen ca. 15 - 20 % unter den Werten der Männer.	

NOWACKI, N. S. 1998 überarbeitete die von NOWACKI 1987 postulierten **Beurteilungskriterien** für die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** und **differenzierte** die **VO₂ (ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹)** in **5 ml-Schritten** geschlechtsspezifisch wie in Tabelle 10 dargestellt.

Tab. 10: Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) von Männern und Frauen als Kriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit nach NOWACKI N. S. 1998, NOWACKI P.E. 2005

MÄNNER	$\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	FRAUEN
Weltklasse	81 – 90	„noch nicht erreicht“
Übergangsbereich	76 – 80	Weltklasse (+)
Hochtrainiert	71 – 75	Weltklasse (-)
Sehr gut trainiert (+)	66 – 70	Übergangsbereich
Sehr gut trainiert (-)	61 – 65	Hochtrainiert
Gut trainiert (+)	56 – 60	Übergangsbereich
Gut trainiert (-)	51 – 55	Sehr gut trainiert
Befriedigend trainiert (+)	46 – 50	Gut trainiert
Befriedigend trainiert (-)	41 – 45	Befriedigend trainiert
Untrainiert (+)	36 – 40	Übergangsbereich
Untrainiert (-)	31 – 35	Untrainiert (+)
Leistungsschwach (+)	26 – 30	Untrainiert (-)
Leistungsschwach (-)	21 – 25	Leistungsschwach
Pathologisch	11 – 20	Pathologisch

SALTIN, ÅSTRAND 1967 untersuchten schwedische Skilangläufer und fanden Werte von $85,0 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Bei der Olympiade in Mexiko-City wurde von denselben Autoren beim Olympiasieger über 1500 m, *K. Keino*, eine maximale relative VO_2 von $82,0 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ermittelt.

NOWACKI, KRAUSE, RITTER 1971 können für sich in Anspruch nehmen, den höchsten zu dieser Zeit in der internationalen Literatur mitgeteilten relativen VO_2 Wert gemessen zu haben. Dieser bei dem deutschen Skilangläufer *W. Demel* –

mehrfacher Deutscher Meister, Bronzemedaille WM 1970 über 30 km - registrierte Wert lag bei **90 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹**.

Die große Bedeutung der **labordiagnostisch** ermittelten **relativen maximalen Sauerstoffaufnahme** und ihre **enge Korrelation** zur **Ausdauerleistungsfähigkeit** der Sportler wird durch die **sportlichen Ergebnisse** bei nationalen und internationalen Wettkämpfen bestätigt. NOWACKI, ALEFELD 1985 ermittelten bei dem 10.000 m Weltrekordläufer *F. Mamede* eine relative maximale **VO₂ von 82,8 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹**.

Bei den Olympischen Spielen 1984 in Los Angeles konnte bei dem Bronzemedallengewinner im 5000 m Lauf *A. Leitão* eine relative maximale Sauerstoffaufnahme von **88,0 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** durch die oben genannten Autoren aufgezeigt werden.

Die Mittelwerte der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (VO₂ ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹)** der Gesundheitssportler der Nordic Walking-Studie erreichen bei der **erschöpfenden laufbandspiroergometrischen Belastung** für den **Eingangstest 37,4 ± 3,6 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** und für den **Ausgangstest 36,6 ± 5,8 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹**.

Ausgehend von den **Vorstartbedingungen** mit einer mittleren relativen Sauerstoffaufnahme von **6,4 ± 2,1 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** vs. **6,4 ± 2,3 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** für den Eingangs- vs. Ausgangstest steigen die Werte im **submaximalen Bereich** auf **25,7 ± 2,2 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** für den Eingangstest bzw. **25,1 ± 3,0 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** für den Ausgangstest an. Im submaximalen Belastungsbereich von 6 km/h ergibt sich für den Eingangstest mit **21,3 ± 2,4 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** ein höchstsignifikant höherer **VO₂-Betrag** als für den Ausgangstest mit **19,9 ± 2,5 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹**. Bei 9 km/h ergibt sich im Eingangstest ebenfalls ein signifikant höherer Wert (**34,4 ± 3,5 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** vs. **33,3 ± 3,6 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹**). Eine mögliche Begründung liegt in der effektiveren O₂-Auslastung im Vergleich zur Voruntersuchung.

Die Werte der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** liegen **absolut** betrachtet im **befriedigend trainierten Bereich**. Unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Lebensalters und des Geschlechts der Gesundheitssportler kann man in Bezug auf das Ergebnis von einer **altersentsprechend befriedigenden bis guten Leistung** sprechen.

Als weitere **bedeutende Kenngröße** für die sportmedizinische Leistungsdiagnostik ist der **Sauerstoffpuls** zu nennen, worauf besonders WAHLUND 1948, REINDELL u. Mitarb. 1967, SJÖSTRAND 1967, ISRAEL 1968 und NOWACKI 1973 hingewiesen haben. Eingeführt wurde der Begriff **Sauerstoffpuls** von ÅSTRAND 1958, wobei darunter diejenige Menge **Sauerstoff** verstanden wird, die **während einer Herzaktion in den Kreislauf aufgenommen werden kann**. Seine erste Erwähnung findet der Begriff Sauerstoffpuls in der medizinischen Literatur bereits im Jahr 1914 durch HENDERSON und PRINCE.

Als **Einflussgrößen** auf den Sauerstoffpuls sind die **Größe des Schlagvolumens** und die **Größe der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz** anzusehen. Einige Autoren (HOLLMANN 1965, ISRAEL 1968 und NÖCKER 1980) sehen den **Sauerstoffpuls** auch als **Gradmesser für die Ökonomie der Herzarbeit** an.

REINDELL u. Mitarb. 1957, NÖCKER, BÖHLAU 1958, REINDELL, KLEPZIG, MUSSHOF 1960 postulierten, dass der **Verlauf des Sauerstoffpulses** unter Vita maxima-Belastung Hinweise darauf liefert, in wie weit **der Mehrbedarf an Sauerstoff** des belasteten Organismus über eine **ökonomische Steigerung des Herzschlagvolumens** oder aber über eine **unökonomische Steigerung der Herzschlagfrequenz** gedeckt wird. Der Anstieg des Sauerstoffpulses ist nach REINDELL, KÖNIG, ROSKAMM 1967 belastungsadaptiert bis zu einer **Herzfrequenz von 120 bis 150 * min⁻¹** durch eine **Erhöhung des Herzschlagvolumens** und eine **Zunahme der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz** charakterisiert. NOWACKI 1977 fand heraus, dass das Schlagvolumen bei einem **Frequenzanstieg über 150 * min⁻¹ annähernd konstant** bleibt. Hieraus zieht NOWACKI 1977 den Schluss, dass eine weitere Steigerung des Sauerstoffpulses als „**integrale Funktion aller Faktoren, die im Vita maxima-Bereich die Höhe der Sauerstoffaufnahme bestimmen**“ anzusehen ist.

In der Entwicklung untrainierter weiblicher und männlicher Versuchspersonen vollzieht sich laut REINDELL u. Mitarb. 1967 **ein altersabhängiger Anstieg des Sauerstoffpulses**. Weibliche und männliche Schüler liegen **präpubertär** mit ihren Werten nach REINDELL, KÖNIG, ROSKAMM 1967 im 10. und 11. Lebensjahr bei **7,2 ml STPD * Hf⁻¹** und **6,0 ml STPD * Hf⁻¹**. Nach der **Pubeszenz** wurden Mittelwerte von **8,9 ml STPD * Hf⁻¹** für die weiblichen und **10,8 ml STPD * Hf⁻¹** für männlichen Jugendlichen ermittelt. Die maximalen Sauerstoffpulswerte steigen bis zum Abschluss der **Adoleszenz** auf **16,1 ml STPD * Hf⁻¹** bei Männern und **9,4 ml STPD ***

Hf¹ bei Frauen an. REINDELL u. Mitarb. 1967 konnten bei **untrainierten Männern und Frauen** zwischen dem **20. und 29. Lebensjahr** maximale Sauerstoffpulswerte von **19,7 ml STPD * Hf¹** und **11,4 ml STPD * Hf¹** registrieren.

Diese Ergebnisse entsprechen denen von NÖCKER, BÖHLAU 1958 erhobenen Studien, die während der Pubeszenz und der Adoleszenz bei beiden Geschlechtern einen signifikanten Anstieg der Sauerstoffpulswerte registrieren. **Geschlechtsspezifische Unterschiede** treten nach SCHÖLL 1995 ab dem **15. Lebensjahr** auf. Ursächlich für diese Entwicklung ist laut ÅSTRAND 1952 und SCHÖLL 1995 die überproportionale Zunahme der maximalen aeroben Kapazität sowie die Trainingsadaptationen mit Beginn der Pubertät bei männlichen Sportlern.

Die hohen maximalen Sauerstoffwerte sah ISRAEL 1968 als Hinweis auf eine **hervorragende Herz-Kreislauf-Ökonomie** im Zusammenhang mit einer **erhöhten peripheren Sauerstoffausnutzung** bei gleichzeitiger Zunahme des Herzschlag- und des Herzzeitvolumens.

Durch ein zielgerichtetes Ausdauertraining lässt sich der maximale Sauerstoffpulswert erheblich steigern, was an 905 Sportlern und 286 Sportlerinnen durch SCHÖLL 1995 in seiner eindrucksvollen und weltweit umfassendsten Studie „*Der Sauerstoffpuls als Sportmedizinische Leistungsgröße*“ über die Abhängigkeit des submaximalen und maximalen Sauerstoffpulses vom Alter, vom Geschlecht, von der Sportart und von dem Trainingszustand nachgewiesen werden konnte. Der deutschstämmige Arzt Schöll hatte zuvor in der damaligen UdSSR ein großes sportmedizinisches Zentrum vor seiner Übersiedlung in die BRD geleitet.

Die Grundlage für diese am Institut für Sportmedizin der JLU entstandene Dissertation bildeten die seit 1968 und in Giessen seit 1973 umfassenden Studien von Prof. Dr. Nowacki und seinen MitarbeiterInnen.

Die Sportler, die über ein Höchstmaß an Leistungsfähigkeit verfügen, besitzen, wie in der sportmedizinischen Literatur aufgezeigt, häufig den höchsten O₂-Puls. REINDELL u. Mitarb. 1960 sowie HOLLMANN u. Mitarb. 1961 beschreiben bei Berufsradsrennfahrern maximale Sauerstoffpulse von 29 bis 31 ml STPD * Hf¹. Bei Weltklasse-Straßenradsrennfahrern wurden maximale O₂-Pulse von 32 – 35 ml STPD * Hf¹ registriert (ISRAEL 1968). Maximale Sauerstoffpulswerte von **40 ml STPD * Hf¹** ermittelte NOWACKI 1977 bei Weltklasseruderern. Sowohl ISRAEL 1968 wie auch

NOWACKI 1977 zeigten die eng verwobenen Zusammenhänge von **maximalem Sauerstoffpuls** und der **Ausbildung eines Sportherzens** auf. Herzvolumina von über 1.130 ml wies ISRAEL 1968 nach, NOWACKI 1977 hingegen beschrieb Sportherzen über 1.250 ml. NOWACKI N.S. 1998 registrierte bei Untersuchungen von SkilangläuferInnen maximale Sauerstoffpulse von 30,1 ml STPD * Hf¹ bei den Männern und 20,2 ml STPD * Hf¹ bei den Frauen. Diese Ergebnisse zeigten, dass die Werte in etwa doppelt so hoch waren wie die von untrainierten Altersgenossen beiderlei Geschlechts aus den Untersuchungen von REINDELL u. Mitarb. 1967.

In der vorliegenden Nordic Walking-Studie steigt der **Sauerstoffpuls (VO₂ ml STPD * Hf¹)** ausgehend von den **Vorstartbedingungen** mit **5,2 ± 2,4 ml STPD * Hf¹** im Eingangstest vs. **5,3 ± 2,5 ml STPD * Hf¹** im Ausgangstest in den unteren Belastungsstufen über den **submaximalen Belastungsbereich** mit **13,3 ± 3,5 ml STPD * Hf¹** vs. **13,9 ± 4,0 ml STPD * Hf¹** an. Dabei flacht sich die Anstiegskurve mit den zunehmenden Belastungsstufen ab. Der **durchschnittliche Maximalwert des Sauerstoffpulses** wird bei der erschöpfenden laufbandspiroergometrischen Ausbelastung von 10 km/h mit **18,6 ± 2,6 ml STPD * Hf¹** vs. **17,6 ± 5,8 ml STPD * Hf¹** (Eingangs- und Ausgangstest) registriert.

Die in der vorliegenden Studie ermittelten Ergebnisse des Sauerstoffpulses liegen im Bereich der von HOLLMANN, HECK 1971 erhobenen Ergebnisse an untrainierten männlichen Versuchspersonen. Der zu Anfang beobachtete steile Anstieg mit der darauf folgenden Abflachung wurde von HOLLMANN, HECK 1971 in ihren Untersuchungen beschrieben und deckt sich mit den vorliegenden Ergebnissen.

Durchschnittlich ausdauerleistungsfähige Männer weisen laut HECK 1990 unter **dynamischer Vita maxima-Belastung** Werte zwischen **15 bis 20 ml STPD * Hf¹** auf. Bei den Untersuchungen von NOWACKI 1977 zeigten untrainierte gesunde junge Männer im Alter von 20 bis 40 Jahren mit **15 ± 1 ml STPD * Hf¹** einen enger begrenzten Bereich für den maximalen O₂-Puls.

Der Sportarzt und der Trainer haben mit den **kardiorespiratorischen Quotienten Atemäquivalent (AÄ)** und **Ventilations-Respiratorischer Quotient (VRQ)** ein probates Mittel, um die biologische Leistungsfähigkeit von Sportlern und ihren Erschöpfungsgrad bei einer maximalen Spiroergometrie beurteilen zu können.

MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 zogen zur **Beurteilung der Belastungssituation** des Sportlers das **Atemäquivalent (AÄ)** als wesentliches **Kriterium** für die **Beurteilung des Sportlers** bei der spiroergometrischen Untersuchung heran. Das AÄ bietet dem Untersucher einen guten Einblick in die **Atmungsökonomie**, die **Belastbarkeit** und die **Erholungsfähigkeit des menschlichen Organismus**.

Das AÄ als dimensionsloser Parameter gibt an, wie viel **Milliliter Atemluft (ml BTPS)** durch den Sportler ventiliert werden müssen, um einen **Milliliter Sauerstoff (ml STPD)** aufzunehmen. Die Atemarbeit gilt als umso ökonomischer, je niedriger das Atemäquivalent ist. Für NOWACKI 1979 steht das Atemäquivalent in Abhängigkeit von der Morphologie des Atemapparates, dem Alter, dem Geschlecht und der Ventilationsökonomie der zu testenden Person.

Der **Ruhewert des Atemäquivalentes** liegt laut NOWACKI 1979 bei **27 ± 2**. Der Wert des Atemäquivalents fällt bei Arbeitsbeginn zunächst auf einen Minimalwert ab (NOWACKI 1962, KRAUSE 1971). Werden dem Sportler geringe Belastungen abverlangt, so bleibt das Atemäquivalent ökonomisch. Steigt die Belastung hingegen progressiv an, tritt eine Verschlechterung der Ventilationsökonomie gepaart mit einem Anstieg des AÄ ein. Die **niedrigsten Werte** für das Atemäquivalent werden laut KNIPPING, HOLLMANN 1964 bei **Pulsfrequenzen von ca. 120 – 130 * min⁻¹** erreicht.

Wird nun die Arbeit in zunehmendem Maße forciert, so steigt mit ihr das Atemäquivalent. Für HOLLMANN 1965 stellt ein Atemäquivalent von **25 bis 26** einen „**Kritischen Wert**“ dar, da ab diesem Punkt das Atemminutenvolumen unproportional zur Sauerstoffaufnahme ansteigt. Ist dieser Wert erreicht, so brechen laut den Untersuchungen von KRAUSE 1971 75 % aller Untrainierten eine körperliche Belastung ab. Untersuchungen konnten zeigen, dass bei körperlichen Belastungen im Vita maxima Bereich die Atmungsökonomie stark abnimmt.

NOWACKI 1979, HOLLMANN, HETTINGER 1980, 2000 konnten aufzeigen, dass je nach Alter, Geschlecht sowie Trainingszustand die Probanden bei **Werten von 30 – 35 im Grenzbereich** ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit sind. Werden Messwerte von 40 und mehr erreicht, so spricht das für eine totale respiratorische Erschöpfung eines ausdauertrainierten Athleten.

Bei Lungen- und Kreislaufkranken werden teilweise AÄ-Werte über 50 als Ausdruck der schlechten Atemökonomie bzw. der zu geringen O₂-Aufnahme beobachtet (MELLEROWICZ 1983, WU 2007).

Ausdauertrainierte Athleten, wie Skilangläufer, tolerieren Atemäquivalente bis knapp **über 30** problemlos (KRAUSE 1971). Vor seinem Olympiasieg 1968 konnten beim Mexiko-Achter des Deutschen Ruderverbandes unter Vita maxima-Belastung Atemäquivalente von 36 registriert werden (NOWACKI u. Mitarb. 1971).

Den **Maximalwert** des AÄ und damit die schlechteste Ventilationsökonomie wird in der **Erholungsphase** nach Belastungsabbruch registriert. KRAUSE 1971 forderte hinsichtlich einer als **ausreichend** zu bezeichnenden **kardiorespiratorischen Erholungsfähigkeit** für die **10-minütige Erholungszeit** nach einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung eines Hochleistungssportler **ein Atemäquivalent von unter 40**.

Der von KNIPPING, MONCRIEFF 1932 eingeführte **kardiorespiratorische Quotient aus Atemminutenvolumen ml BTPS/Absolute Sauerstoffaufnahme ml STPD** ist bei den Probanden der Nordic Walking-Studie in der Vorstartphase erhöht. Der unter **Vorstartbedingungen** erhobene **Anfangswert** des Atemäquivalentes liegt beim **Stufenbelastungstest auf dem Laufband** von **27,8 ± 4,6** vs. **28,35 ± 7,1** für **Eingangs- und Ausgangstest** und somit **über** den Werten der unteren Belastungsstufen (Eingangstest 4, 5 und 6 km/h: 23,3 ± 3,6, 23,3 ± 3,9, 23,9 ± 4,1; Ausgangstest 4, 5 und 6 km/h: 22,9 ± 3,1, 23,1 ± 3,5, 24,5 ± 4,3). Dies dokumentiert die von NOWACKI 1979 beschriebene Hyperventilation infolge der psychischen Erregung in der Vorstartphase. Für den **submaximalen Bereich** von 4, 5 und 6 km/h ergibt sich mit den oben aufgeführten Werten **die beste Ventilationsökonomie**. Bei steigender Belastung erhöhen sich die Werte des Atemäquivalents über den Belastungsbereich von 7 und 8 km/h kontinuierlich bis auf **30,8 ± 7,2** im **Eingangstest** bzw. **30,1 ± 7,0** im **Ausgangstest**. Während der **ersten Erholungsminuten** wird die **Ventilation unökonomischer** und das Atemäquivalent erreicht in der **5. Erholungsminute** sowohl im Eingangs- wie auch im Ausgangstest mit 39,6 ± 6,0 vs. 41,6 ± 6,9 seine **höchsten Werte**. Der AÄ-Wert der 5. Erholungsminute des **Eingangstests** liegt unter dem Bereich des von KRAUSE 1971 postulierten 10-minütigen AÄ-Erholungswerts < 40. Das Atemäquivalent des Ausgangstests liegt in der 3. Erholungsminute höchst signifikant über dem Wert des Eingangstest. Dies bedeutet eine stärkere kardiorespiratorische Ausbelastung der Probanden im II. Test, was auf eine verbesserte Leistungsfähigkeit zurück zu führen ist.

Die für das Atemäquivalent ermittelten Werte der Nordic Walking-Studie zeigen einen normalen Verlauf. Die höhere kardiorespiratorische Ausbelastung lässt darauf schließen, dass ein suffizientes Ausdauertraining im Grundlagenausdauerbereich durchgeführt wurde. Demzufolge ist Nordic Walking als probates Mittel zur Verbesserung der Grundlagenausdauer geeignet. Mit einem Atemäquivalent von über 30 im Eingangs- und Ausgangstest kann man von einer **erschöpfenden Ausbelastung** sprechen. Auch die Erholungsfähigkeit zeigt nach 5 Minuten ($39,6 \pm 6$ vs. $41,6 \pm 6,9$) eine suffiziente Erholung des kardiorespiratorischen Quotienten AÄ.

Der **Ventilations-Respiratorische Quotient (VRQ)** ist nach NOWACKI 1965 der Quotient aus der **Kohlendioxydausscheidung cm^3 STPD** dividiert durch die **Sauerstoffaufnahme cm^3 STPD**:

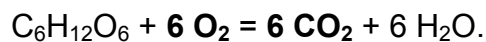
$$\text{Ventilations-Respiratorischer Quotient VRQ} = \frac{\text{CO}_2\text{-Ausscheidung cm}^3 \text{ STPD}}{\text{O}_2\text{-Aufnahme cm}^3 \text{ STPD.}}$$

Der VRQ wird als wichtiger Parameter herangezogen, um den Ausbelastungsgrad des zu testenden Sportlers zu beurteilen (MELLEROWICZ, NOWACKI 1961, NOWACKI 1971, HOLLMANN, HETTINGER 1990, HECK 1990). Als dimensionslose Größe hat der VRQ eine **leistungsdiagnostische Bedeutung** für die Bestimmung des **aerob-anaeroben Überganges**.

Im Gegensatz zum „**Metabolisch-Respiratorischen-Quotienten (MRQ)**“, der sich als Quotient aus der Kohlendioxydproduktion und dem Sauerstoffverbrauch des Organismus definiert, gibt der Zusatz „**Ventilation**“ an, dass die Messung des **VRQ nicht unter Grundumsatzbedingungen** statt fand. Für NOWACKI 1971 stand fest, dass nur unter **Grundumsatzbedingungen**, d.h. in **völliger Körperruhe, Nüchternheit, Indifferenztemperatur**, etc. davon ausgegangen werden kann, dass die CO_2 -Ausscheidung in der Expirationsluft der gesamten CO_2 -Produktion entspricht und dass die O_2 -Aufnahme den tatsächlichen O_2 -Verbrauch deckt. Per Definition kommt dies dem **Metabolisch-Respiratorischen Quotienten** gleich:

$$\text{Metabolisch-Respiratorischer Quotient MRQ} = \frac{\text{CO}_2\text{-Produktion cm}^3 \text{ STPD}}{\text{O}_2\text{-Verbrauch cm}^3 \text{ STPD.}}$$

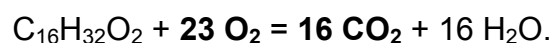
Die Größe des VRQ beträgt unter **Grundumsatzbedingungen** je nach Stoffwechselsituation und der vorherrschenden Substratverbrennung zwischen **0,7 und 1,0**. Das kalorische Äquivalent des Sauerstoffs ist laut STEGEMANN 1984 nicht als konstante Größe zu betrachten, sondern hängt vielmehr von der Art und Zusammensetzung der verbrannten Nährstoffe ab. Werden z.B. **Kohlenhydrate** (z.B. $C_6H_{12}O_6$) in der Glykolyse verstoffwechselt, ist das verbrauchte Volumen an Sauerstoff dem durch Verbrennung gewonnenen Volumen an Kohlendioxyd gleich:



Somit ergibt sich für den Quotienten aus CO_2/O_2 ein **VRQ von 1,0**.

Fettmoleküle enthalten in ihrer Zusammensetzung eine geringere Anzahl an Sauerstoffmolekülen als Kohlenhydrate, was am Beispiel der Palmitinsäure verdeutlicht werden soll: $C_{16}H_{32}O_2$.

Damit das Fettmolekül durch den Organismus vollständig im Rahmen der beta-Oxidation zu Kohlendioxyd und Wasser verbrannt werden kann, wird eine größere Menge Sauerstoff benötigt:



Anhand der Reaktionsgleichung wird deutlich, dass der Sauerstoffbedarf den Wert der Kohlendioxidabgabe übersteigt, wodurch der Wert des **VRQ bei 0,71** liegt.

Die metabolischen Prozesse des menschlichen Organismus lassen neben der Kohlenhydrat- und Fettverbrennung auch die **Eiweißverbrennung** zu. Dieser Stoffwechselprozess ist dadurch gekennzeichnet, dass neben Kohlendioxyd und Wasser der Harnstoff als „Abfallprodukt“ entsteht. Nach LANG, RANKE 1950 ergibt sich für die Metabolisierung von Eiweiß ein **VRQ von 0,80**. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Verbrennung der Eiweiße außerhalb von Hungerperioden und Dauerbelastungen von über 60 Minuten zu vernachlässigen sind (DIEM 1968). Eine Abschätzung der Eiweißverbrennung am Energieumsatz ist jedoch durch die Bestimmung von Harnstoff im Urin möglich. Misst man nun den VRQ in **körperlicher Ruhe**, eine Zufuhr von normaler aus allen drei Anteilen bestehender gemischter Kost vorausgesetzt, so wird sich ein **VRQ zwischen 0,8 und 0,9** ergeben.

In der sportmedizinischen Praxis muss laut SNYDER 1995 berücksichtigt werden, dass sowohl die Ernährung wie auch die körperliche Belastung im Vorfeld Auswirkungen auf den zu messenden VRQ-Verlauf hat. Nach kohlenhydratreicher Kost oder belastungsbedingter Entleerung der Glykogenspeicher ist mit gesteigerter Verbrennung von Fettsäuren sowie mit geringer Blutlaktatkonzentration zu rechnen. Dies hat zur Folge, dass Messungen des VRQ's entsprechend niedrig ausfallen. Praktisch gilt es zu schlussfolgern, dass Belastung und Ernährung vor entsprechenden Tests angepasst sein sollten.

Nach beginnender **körperlicher Belastung** kommt es zu einem typischen Abfall des Ventilations-Respiratorischen-Quotienten, was durch eine **erhöhte arterio-venöse Sauerstoffdifferenz bedingt ist**. Diese lässt die **Sauerstoffaufnahme stärker ansteigen** als die **Kohlendioxidabgabe** (KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 und NOWACKI 1965). Rückschlüsse auf eventuell vorhandene Leistungsreserven können während einer spiroergometrischen Untersuchung aufgrund des Verlaufs des VRQ gezogen werden. Wird der **aerob-anaerobe Stoffwechselübergang** erreicht, so steigt der Wert nach NOWACKI 1984 auf **0,94 bis 0,96** an.

WASSERMANN 1973 beschreibt vor Erreichen der ventilatorischen Schwelle einen überproportionalen Anstieg des VRQ's. Diesen unter Belastung stattfindenden Anstieg erklärt WASSERMANN 1973 so, dass die durch Laktatbildung anfallenden Protonen durch Bicarbonat gepuffert werden und somit weiteres CO₂ entsteht, was als sogenanntes „**excess CO₂**“ abgeatmet wird.

Erkennen, dass sich der Sportler unmittelbar vor dem Erschöpfungspunkt befindet, kann man laut KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 sowie NOWACKI 1965 daran, dass es zu einem Anstieg des **Ventilations-Respiratorischen-Quotienten** auf einen Wert von **1,0** kommt. Als beweisend für die Richtigkeit dieser Annahme sind die Untersuchungen von KRAUSE 1971 an Ruderern, Skilangläufern, Handball- und Hockeyspielern anzuführen, in denen 40 % aller Versuchspersonen bei einem VRQ von 1,00 bis 1,07 die Belastung abbrachen. Für KIRCHHOFF u. Mitarb. 1956, MELLEROWICZ, NOWACKI 1961, 1977 liegen die **Ausbelastungswerte** des **VRQ**, je nach Trainingszustand, **zwischen 1,0 und 1,25**. MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 postulieren für eine **erschöpfende Vita maxima-Ausbelastung** einen **VRQ von wenigstens 1,0**.

Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass die **Azidosetoleranz** des Sportlers je nach durchgeführtem Training (aerob oder anaerob) sich unterschiedlich zeigt. Je ausdauerorientierter das Training ist, desto geringer fällt der maximal erreichbare VRQ aus. Ursache dafür ist, dass die Azidosetoleranz infolge umfangreicher aerober Trainingseinheiten sinkt (FRAYN 1983).

Die Autoren KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 und MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 beschreiben für die ersten **Erholungsminuten** einen weiteren **Anstieg des VRQ-Kurvenverlaufs**. Dieses begründet sich darin, dass die bei Belastung anfallenden sauren Stoffwechselprodukte (z.B. Laktat) in der Erholungsphase verstärkt aus den Bicarbonaten CO_2 abgeben.

Im Fall eines zweifachen Ruder-Olympiasiegers beschreibt KRAUSE 1971 einen Belastungsabbruch bei einem VRQ von 1,15. In der 3. Erholungsminute konnte bei steigendem Kurvenverlauf ein maximaler VRQ-Wert von 2,00 gemessen werden. Dieser Kurvenverlauf wird nach MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 dahingehend interpretiert, dass in der Nachbelastungsphase eine relativ verminderte Sauerstoffaufnahme einer verstärkten Kohlensäureelimination gegenübersteht. Aus diesem Grunde wird erst nach längerer Zeit der Ausgangswert des VRQ erreicht.

In der vorliegenden Nordic Walking-Studie zeigt der **VRQ** sowohl im Eingangs- als auch im Ausgangstest den in der Literatur beschriebenen Kurvenverlauf.

Während der ersten **submaximalen Belastungsstufen** beim **Stufenbelastungstest auf dem Laufband** fällt der VRQ zunächst bei **5 km/h** auf einen **Minimalwert im Ausgangstest** von **$0,82 \pm 0,06$** ab. Im **submaximalen Bereich** bei 6 km/h steigt der VRQ auf **$0,93 \pm 0,05$ vs. $0,94 \pm 0,06$** für Eingangs- und Ausgangstest an. Im aerob-anaeroben Schwellenbereich bei 6 km/h bis 7 km/h steigt der VRQ **von $< 1,0$ auf $> 1,0$ an**. Dies zeigt dem Untersucher den Übergang in den **anaerob-laktaziden Bereich** der Energiebereitstellung. Gegen Ende der 8 km/h Belastungsstufe wird ein VRQ von **$1,11 \pm 0,09$ im Eingangstest bzw. $1,1 \pm 0,1$ im Ausgangstest** registriert. Dabei liegt eine **mittlere Laktatkonzentration** von **$4,77 \pm 2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ im Eingangstest bzw. $4,96 \pm 2,09 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ im Ausgangstest** vor.

Im Folgenden zeigt sich ein Anstieg des VRQ-Kurvenverlaufes bis auf **$1,15 \pm 0,09$ vs. $1,16 \pm 0,1$** für **Eingangs- und Ausgangstest** bei Belastungsabbruch. Bis zu der **5. Erholungsminute** fällt der VRQ bis auf Werte von **$1,11 \pm 0,13$ vs. $1,1 \pm 0,11$** für Eingangs- und Ausgangstest ab.

Der VRQ-Wert der 3. Erholungsminute des Eingangstests unterscheidet sich hoch signifikant ($p=0,002$) von dem Wert des Ausgangstest, da im Vorfeld eine erschöpfendere kardiorespiratorische Belastung stattfand.

Für die laufbandergometrische Belastung beider Tests kann mit einem **VRQ-Sofortwert** von **$1,15 \pm 0,09$ (Eingangstest)** bzw. **$1,16 \pm 0,09$ (Ausgangstest)** eine **erschöpfende Vita maxima-Ausbelastung angenommen** werden. Aufgrund der erschöpfenden körperlichen Belastung und der dadurch konsekutiv bedingten **anaerob-laktaziden** Stoffwechselleistung ist die **Kohlendioxidabgabe überproportional zur Sauerstoffaufnahme erhöht**.

Die Studie zeigt, das im Gegensatz zu den Ergebnissen von KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 sowie NOWACKI 1971 der **VRQ von 1,0 nicht unmittelbar vor dem Erschöpfungspunkt** der Sportler liegt.

Ein Grund dafür ist die Adaptation der Muskulatur an **anaerob-laktazide Beanspruchungen**.

Bei meinen Untersuchungen wird zwischen der 9. und 12. Belastungsminute ein durchschnittlicher Ventilations-Respiratorischer Quotient im Übergangsbereich **$< 1,0$** < registriert. Die **mittlere Belastungszeit** hingegen liegt mit **$16,43 \pm 3,24$** bzw. **$17,05 \pm 3,21$** Minuten für den **Eingangs- und Ausgangstest** mindestens **5 min** über dem **leistungslimitierenden VRQ von 1,0**.

Bei der **indirekten Kalorimetrie** dient der **VRQ** zu einer präzisen Bestimmung des verwendeten **kalorischen Äquivalents**. Je nach der Art des oxidierten Substrats schwankt das **kalorische Äquivalent**. Für die **Fettverbrennung** nimmt man **4,69 kcal/l O₂** bzw. **19,6 kJ/l O₂** an. Bei der **Kohlenhydratverbrennung** liegt der Wert bei **5,05 kcal/l O₂** bzw. **21,1 kJ/l O₂** (DIEM 1968). Um nun den Energieverbrauch zu bestimmen, werden diese Werte mit der Sauerstoffaufnahme multipliziert. Der Einfachheit halber wird jedoch häufig ein mittlerer Wert von **4,85 kcal/l O₂** bzw. **20,3 kJ/O₂** angenommen, der mit einer Ungenauigkeit von **4 %** für die meisten Fragestellungen als ausreichend erscheint.

Was die **Verbrennung von Fetten** angeht, so ergeben sich für die Nordic Walking-Studie im Vergleich Eingangs- vs. Ausgangstest Unterschiede im Bereich von 6 und

7 km/h. Es liegt in den angegebenen Geschwindigkeitsbereichen eine höhere Fettverbrennung im Ausgangstest vor, die jedoch statistisch **nicht** signifikant ist.

4.6 Metabolische Leistungsfähigkeit

Die während erschöpfender Vita maxima-Ausbelastung erzielten **Serum-Laktatwerte** stellen zum einen ein **Kriterium für die Ausbelastung** des Probanden dar und zum anderen gestatten sie **Rückschlüsse auf die maximale individuelle anaerobe Kapazität**.

Eng verbunden mit der maximalen individuellen anaeroben Kapazität sind die molekularen Vorgänge auf zellulärer Ebene des Skelettmuskels. Der Skelettmuskel besitzt ein membranständiges Transportsystem, was den Transport des Laktats zwischen Zelle und Gewebe steuert. Dieser Transport von **Laktat und H⁺** im Verhältnis **1:1** ist von großer Bedeutung für die pH-Regulation im Muskel (GLADDEN 1996, JUEL et al. 1999).

Das membranständige Transportsystem erscheint in **zwei Isoformen**, Monocarboxylat Transporter Isoform 1 (MCT1) und Isoform 4 (MCT4) (WILSON et al. 1998, BROOKS et al. 1999). Die Dichte dieser Proteine in der Membran des Skelettmuskels ist veränderbar. Laut DUBOUCAUD et al. 2000 und JUEL 2004 ist erwiesen, dass Ausdauertraining die Dichte von MCT1 und MCT4 im Sarkolemm des Skelettmuskels ansteigen lässt und somit die Kapazität des Laktat/H⁺-Transports steigert. Im Bezug auf den Gesundheitssport scheint von Interesse zu sein, dass Typ II Diabetiker trotz **normaler körperlicher Aktivität** einen **verminderten Gehalt** an MCT1 im Vergleich zum Gesunden aufweisen (PILEGARD et al. 1999).

Durch Training konnte im Versuch diese Reduzierung der Membranproteine rückgängig gemacht werden (JUEL 2004).

Tierexperimente an fettleibigen Tieren zeigten ebenfalls eine **verminderte Expression** von MCT1 und MCT4 (PY 2001). Dieser Sachverhalt wurde jedoch am Menschen noch nicht untersucht.

Unterschiede im Laktatverhalten führen HOLLMANN, LIESEN 1973, MADER u. Mitarb. 1976 sowie KEUL, KINDERMANN, SIMON 1978 übereinstimmend auf

qualitative und quantitative Unterschiede bezüglich der **Arbeits- und Belastungsformen** zurück. **Intensität** und **Dauer der Belastung** stehen nach WASMUND, NOWACKI 1978 in engem Zusammenhang mit der totalen Ausschöpfung der **aeroben** und **anaeroben Kapazität**.

Laktatkonzentrationen nehmen bei Trainierten **signifikant höhere maximal erreichbare Werte** an als bei Untrainierten (HOLLMANN, LIESEN 1973). Es wird ursächlich eine **größere Glykogenreserve** in der Funktionsmuskulatur der Trainierten postuliert.

KEUL, DOLL, KEPPLER 1969 zeigten an umfangreichen Untersuchungen, dass die Höhe des Pyruvat- und Laktatgehaltes einen guten Anhaltspunkt für das Maß der glykolytischen Energiebereitstellung gibt. Die Endprodukte der anaeroben Glykolyse sind Laktat und Pyruvat. Diese stehen mit der Laktatdehydrogenase im Gleichgewicht.

Im Jahr 1967 zeigte HOLLOSZY, dass der Quotient Laktat/Pyruvat unter gleicher Belastungsintensität beim Trainierten niedriger ausfällt als beim Untrainierten.

MADER u. Mitarb. 1976 definieren auf der Basis empirischer Beobachtungen den **Laktatwert von 4 mmol/l** als „**Aerob-Anaerobe Schwelle**“. Bei diesen Autoren gilt die **Aerob-Anaerobe Schwelle** in Bezug auf die **sportartspezifische Ausdauerleistungsfähigkeit** als weitaus aussagekräftigerer Parameter als die absolute maximale Sauerstoffaufnahme oder das Herzzeitvolumen.

Gerade für den Gesundheitssport scheint der Bereich der „**Aerob-Anaeroben Schwelle**“ wie oben beschrieben von besonderer Bedeutung zu sein. ACHTEN 2002 postulierte, dass das **Maximum der Fettverbrennung** – absolut betrachtet – bei 55 – 72 % der maximalen VO_2 bzw. bei 68 – 79 % der **maximalen HF** liegt. Dies entspricht laut KINDERMANN 2004 dem Bereich des aerob – anaeroben Übergangs. Oberhalb dieser Schwelle ist die Verbrennung von Fetten deutlich reduziert. KINDERMANN 2004 folgert, dass ein Training mit einer Intensität von 90 % der Schwellenintensität zu einer maximalen Fettverbrennung führt.

Ein großer Vorteil der aerob - anaeroben Schwelle ist es, dass die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit ganz im Gegensatz zur VO_{2max} Bestimmung weitgehend **unabhängig** von der **Motivation** und **Ausbelastung** ist (MEYER 1999).

Der **Anstieg der Laktatleistungskurve** ausdauertrainierter Probanden verläuft im Wesentlichen **flacher** und erreicht erst bei größerer körperlicher Anstrengung den Schwellenwert zwischen aerob und anaeroben Übergang (BACHL 1980, 1981).

Training hat auf den menschlichen Körper den Effekt, dass die **Laktatkurve** nach **rechts** verschoben wird, was eine Leistungssteigerung des Sportlers bedeutet. Aufgrund der im Körper ablaufenden **Ökonomisierungsprozesse**, angestoßen durch körperliches Training, nimmt bei gleicher Leistung nach NEUMANN, SCHÜLER 1989 sowie COEN 2001 die **Laktatkonzentration** ab. Dies bedeutet gleichzeitig eine **gestiegene aerobe Leistungsfähigkeit**. Bei Anwendung verschiedenster Belastungsverfahren an Probanden wurden **Blutlaktatwerte von $7,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$** als Ausbelastungsgrenzwerte beschrieben (LEHMANN, KEUL 1980). Durch KINDERMANN 1978 werden mit **$9,7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$** Laktat höhere Werte vorgegeben.

MADER u. Mitarb. 1976 unterscheiden **anhand der Blutlaktatwerte vier Ausbelastungsgrade**. Unterhalb von $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ hat **keine Ausbelastung** stattgefunden. Zwischen 4 und $8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ wird ein **geringer**, zwischen 8 und $12 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ein **mittlerer** sowie oberhalb von $12 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ein **hoher** Ausbelastungsgrad beschrieben.

Die von MADER u. Mitarb. 1976 angegebenen Bereiche entsprechen der **Klassifizierung einer Azidose**, wie sie NOWACKI u. Mitarb. 1988 getroffen haben. Im Bereich von 2 bis $6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ Laktat liegt eine niedrige, von 6 bis $12 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ eine mittlere und über $12 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ eine hohe Azidose vor.

Im Ausbelastungsbereich sollen bei **stufenförmigen Belastungsschemata Laktatwerte von wenigstens $8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$** erreicht werden (HECK 1990).

HECK, SCHULZ 2002 differenzieren zwischen **laktazider Leistungsfähigkeit** und **laktazider Kapazität**. Die **laktazide Leistungsfähigkeit** zeigt sich begrenzt durch die maximale Glykolyserate, die **laktazide Kapazität** hingegen ist limitiert durch die maximal tolerierbare Azidose. Es ist nicht möglich, die maximale Laktatbildungsrate als Maß für die laktazide Leistungsfähigkeit direkt zu messen (MADER 1994). Es ist jedoch möglich, die **laktazide Leistungsfähigkeit** bzw. die **maximale Laktatbildungsrate** abzuschätzen, indem man den Ruhelaktatwert vom maximalen Nachbelastungslaktatwert substrahiert und durch die Belastungszeit abzüglich der fiktiven laktatfreien (=alaktaziden) Zeit dividiert. Dabei wird die laktatfreie (=alaktazide) Zeit bei Belastungszeiten von 10 s auf ca. 3 s , bei Belastungszeiten von 20 s auf ca. 4 s und bei Belastungszeiten von 50 bis 60 s auf ca. 8 s geschätzt.

Um nun die **laktazide Kapazität** diagnostizieren zu können, diskutieren HECK, SCHULZ 2002 die Messung der **Sauerstoffschuld**, die **Belastungsdauer** und das

maximale Nachbelastungslaktat. Der maximale Nachbelastungswert soll demnach der gebräuchlichste Parameter sein (unter Berücksichtigung von Diffusions- und Eliminationsprozessen), um das im Muskel gebildete Laktat zu bestimmen.

Blutlaktatwerte zwischen 15 bis 20 mmol * l⁻¹ sehen HECK, SCHULZ 2002 als Maximalwerte der Laktaziden Kapazität an, räumen aber ein, dass speziell trainierte Personen auch Werte bis zu 25 mmol * l⁻¹ erreichen können. Dies entspricht Muskelwerten von 30 bis 35 mmol/kg.

Für die Trainingspraxis des **extensiven Ausdauertrainings** (GA I) empfiehlt KINDERMANN 2004 je nach Sportart und Belastungsdauer eine Intensität von **70 – 80 %** der anaeroben Schwelle. **Intensives Ausdauertraining** (GA II) findet zwischen **90 – 100 %** der anaeroben Schwelle statt. Was den präventiven und rehabilitativen Sport, also den Gesundheitssport angeht, so orientieren sich die Empfehlungen ebenfalls laut KINDERMANN 2004 am **aerob – anaeroben Übergangsbereich**. Kürzere Trainingseinheiten können durchaus zwischen 90 – 100 % der aerob/anaeroben Schwellenintensität durchgeführt werden. Längere Einheiten hingegen sollten im Bereich der aeroben Schwelle absolviert werden (KINDERMANN 2004).

Die mittleren **Laktatwerte** der Nordic Walking-Studie liegen sofort nach **Belastungsabbruch** im Eingangstest bei **5,99 ± 2,43 mmol * l⁻¹** bzw. **6,73 ± 2,43 mmol * l⁻¹** im Ausgangstest. Entsprechend den von HECK 1990 postulierten „Beurteilungskriterien der Ausbelastung bei stufenförmigen Belastungsschemata“ kann man bei den vorliegenden Laktatkonzentrationen nicht von einer erschöpfenden metabolischen Ausbelastung sprechen. Allerdings ist das Alter der Probanden sowie die geschlechtsspezifische Differenzierung zu berücksichtigen.

In der **3. Erholungsminute** wurden für Eingangs- und Ausgangstest ein durchschnittlicher **Maximalwert von 5,63 ± 2,26 mmol * l⁻¹** vs. **6,03 ± 2,69 mmol * l⁻¹** Laktat gemessen.

Anhand der von MADER u. Mitarb. 1976 formulierten Beurteilungskriterien kann für die Nordic Walking-Studie ein niedriger bis mittlerer Ausbelastungsgrad attestiert werden.

Im Belastungsbereich von 7 km/h zeichnet sich ein signifikanter Mittelwertsunterschied ($p=0,016$) zwischen Eingangstest und Ausgangstest ab (**$3,42 \pm 1,79 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$** vs. **$3,2 \pm 1,44 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$**). Dieser im Haupttrainingsbereich des Nordic Walking gelegene Unterschied zugunsten des Ausgangstest ist auf eine **Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit** mit Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve zurückzuführen. Insofern kann über eine gezielte Nordic Walking Belastung eine **Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve** bewirkt werden.

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden **Nordic Walking-Studie** wurden 35 Freizeitsportler, davon 25 weibliche und 10 männliche, **zwei Stufenbelastungstests** auf dem **Laufband** unterzogen.

Das durchschnittliche **Alter** der Sportler lag bei **47,7 ± 12,7 Jahren** bei einem Eingangsgewicht von **71,3 ± 11,3 kg** und einem Ausgangsgewicht von **71,1 ± 11,3 kg**. Die **Körpergrösse** betrug **169,3 ± 9,0 cm**.

Der **Zeitraum** zwischen den **Belastungstests** betrug **10 Wochen** in denen sich die Probanden **einmal pro Woche** einem **angeleiteten Nordic Walking-Training** unterzogen, sowie selbstständig Trainingseinheiten durchführten.

Anthropometrie:

Die Untersuchung der Anthropometrischen Daten der Gesundheitssportler zeigte bei der Auswertung eine signifikante Reduktion des **Körpergewichts**, des **absoluten Anteils an Körperfett** sowie des **Body Mass Indexes (BMI)**.

Die Reduktion dieser drei Parameter unterstreicht den **gesundheitsförderlichen Aspekt** des **Nordic Walking** in Bezug auf die Prävention von Stoffwechselerkrankungen.

Körperliche Leistungsfähigkeit:

Belastungszeit:

Die **mittlere Belastungszeit** der vorliegenden Nordic Walking-Studie ist durch das 10-wöchige Training der Probanden **gesteigert** worden (**16,43 ± 3,24 min** Eingangstest vs. **17,05 ± 3,21 min**).

Absolute und relative Wattstufe:

In der Nordic Walking-Studie wurde ein leichter Rückgang der **absoluten Wattstufe** zwischen **Eingangs- und Ausgangstest** aufgezeichnet.

So beträgt im Stufenbelastungstest der Wert für den **Eingangstest** $160 \pm 43 \text{ W}$ vs. $158 \pm 42 \text{ W}$ für den **Ausgangstest**.

Für die **relative maximale Wattstufe** kann in der Studie ein gleichbleibendes Verhalten der Werte zwischen **Eingangs- und Ausgangstest** verzeichnet werden ($2,2 \pm 0,4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$ vs. $2,2 \pm 0,4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$).

Für die **Einteilung des Leistungs- und Trainingszustandes** der Nordic Walker ergibt sich anhand der mittleren Wattstufe folgendes Schema:

Beurteilung des Leistungs- und Trainingszustandes anhand der mittleren Wattstufe nach einer Nordic Walking-Belastung auf dem Laufband

Mittlere Wattstufe:	Sportmedizinische Beurteilung:
< 98 W	leistungsschwach
- 110 W	ausreichend trainiert
- 122 W	befriedigend trainiert
- 134 W	gut trainiert
> 135 W	sehr gut trainiert

Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit:

Herzfrequenz:

Die vorliegende Studie zeigt bei Betrachtung der **durchschnittlichen maximalen Herzfrequenz** im **Eingangstest** am Ende der 18. Belastungsminute Werte von **$172 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$** . Der **Ausgangstest** zeigt Werte von **$172 \pm 19 \cdot \text{min}^{-1}$** auf.

Die **submaximalen Werte** am Ende der **6 km/h** Belastungsstufe betragen für den **Eingangstest $130 \pm 20 \cdot \text{min}^{-1}$** . Der **Ausgangstest** zeigt mit **$124 \pm 18 \cdot \text{min}^{-1}$** niedrigere Werte.

Diese Werte der Nordic Walker nach submaximaler Belastung lassen auf ein **befriedigend** trainiertes Probandenkollektiv schließen.

Die Studie zeigte in den **Herzfrequenzbereichen** von **4, 5, 6 und 7 km/h** zum Teil **höchst signifikante Mittelwertsunterschiede** in Bezug auf die Abnahme der Herzfrequenz.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den **Haupttrainingsbereichen** des Nordic Walking eine **Ökonomisierung der Herzkreislaufarbeit** stattgefunden hat.

Die durchschnittliche Herzfrequenz der Nordic Walking-Studie lag bei **$106 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$** im **Eingangstest** bzw. **$105 \pm 19 \cdot \text{min}^{-1}$** im **Ausgangstest** am Ende der **5. Erholungsminute**.

Nach den allgemein anerkannten Beurteilungskriterien entspricht dies einer **guten kardiozirkulatorischen Erholungsfähigkeit**.

Blutdruckwerte:

In der durchgeführten Untersuchung zeigen sich **signifikante Unterschiede** zwischen **Eingangs- und Ausgangstest**.

Im **Belastungsbereich** von **5 km/h** liegt der **systolische Blutdruck** im **Ausgangstest** mit **$145 \pm 20 \text{ mmHg}$** unter dem des **Eingangstests** mit **$150 \pm 25 \text{ mmHg}$** . Dieser Mittelwertsunterschied ist mit $p=0,013$ als signifikant einzustufen.

Der **diastolische Blutdruck** betrug bei **4 km/h** **$80 \pm 10 \text{ mmHg}$** im **Eingangstest** vs. **$75 \pm 10 \text{ mmHg}$** im **Ausgangstest**.

Insgesamt kann man somit von einer **Kreislaufökonomisierung** im submaximalen Belastungsbereich **durch Nordic Walking** sprechen.

Respiratorische Leistungsfähigkeit:

Atemminutenvolumen:

Beim Stufenbelastungstest auf dem Laufband ergibt sich für die Nordic Walking-Studie im Bereich von 7 km/h ein **mittleres AMV** von **52,9 ± 12,8 l BTPS** im **Eingangstest** bzw. **49,1 ± 12,4 l BTPS** für den Ausgangstest. In diesem Fall liegt ein **signifikanter Mittelwertsunterschied** von **p=0,015** vor.

Die Belastungsstufen **5 km/h** und **6 km/h** zeigen die gleiche Tendenz ohne signifikante Mittelwertsdifferenzen.

Bei einer Belastung von 9 km/h ergeben sich mit **p=0,05** signifikante Mittelwertsunterschiede.

In dieser Belastungsstufe liegt der Wert des **AMV** mit **74,2 ± 14,9 l BTPS** im **Eingangstest** um ca. **7 l BTPS** höher als im **Ausgangstest** mit **67,3 ± 19,0 l BTPS**.

Dieses **niedrigere Atemminutenvolumen** im **Ausgangstest** ist darauf zurückzuführen, dass über ein **kontinuierliches Training** eine **Verbesserung der Atmungsökonomie** erreicht wird.

Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit:

Absolute Sauerstoffaufnahme:

Die **absolute Sauerstoffaufnahme** liegt im Belastungsbereich von **6 km/h** im **Eingangstest** höchst signifikant über der des **Ausgangstests** (**1,5 ± 0,24 l STPD * min⁻¹** vs. **1,4 ± 0,26 l STPD * min⁻¹**).

Im **submaximalen Bereich** bei **7 km/h** beträgt die absolute O₂-Aufnahme **1,8 ± 0,26 l STPD * min⁻¹** im **Eingangstest** bzw. **1,7 ± 0,29 l STPD * min⁻¹** im **Ausgangstest**.

Bei der **erschöpfenden Ausbelastung** der Nordic Walker wurde bei **10 km/h** eine durchschnittliche **absolute maximale Sauerstoffaufnahme** für den Eingangs- und Ausgangstest von **3,1 ± 0,38 l STPD * min⁻¹** vs. **2,9 ± 0,76 l STPD * min⁻¹** registriert.

Die oben aufgeführten Ergebnisse lassen darauf schließen, dass im Haupttrainingsbereich des Nordic Walking (5-7 km/h) sich eine trainingsbedingte **Ökonomisierung der Atmung, der O₂-Aufnahme und eine bessere periphere O₂-Ausnutzung** einstellt.

NOWACKI 1977 **postulierte Beurteilungskriterien** der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme, nach denen die **Gesundheitssportler der Nordic Walking-Studie** über ein **altersentsprechendes befriedigendes bis gutes körperliches Leistungsvermögen** verfügen.

Relative Sauerstoffaufnahme:

Die Mittelwerte der **relativen Sauerstoffaufnahme** erreichen im submaximalen Belastungsbereich von **6 km/h** im **Eingangstest** mit **21,3 ± 2,4 ml STPD · min⁻¹ · kg⁻¹** einen höchstsignifikant höheren **Betrag** als für den **Ausgangstest** mit **19,9 ± 2,5 ml STPD · min⁻¹ · kg⁻¹**.

Unter **Vita maxima-Belastung** steigen die Werte auf **37,4 ± 3,6 ml STPD · min⁻¹ · kg⁻¹** vs. **36,6 ± 5,8 ml STPD · min⁻¹ · kg⁻¹** an.

Die Verbesserung der **relativen Sauerstoffaufnahme** im submaximalen Belastungsbereich von 6 km/h ist auf eine **effektivere O₂-Auslastung** zurückzuführen.

Die Werte der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** liegen unter Berücksichtigung des **durchschnittlichen Lebensalters** und des **Geschlechts** der Gesundheitssportler in einem **befriedigend bis gut trainierten Bereich**.

Sauerstoffpuls:

Der **durchschnittliche Maximalwert des Sauerstoffpulses** der vorliegenden Studie wird bei der erschöpfenden laufbandspiroergometrischen Ausbelastung von **10 km/h** mit **18,6 ± 2,6 ml STPD · Hf⁻¹** vs. **17,6 ± 5,8 ml STPD · Hf⁻¹** (Eingangs- und Ausgangstest) registriert.

Diese Werte des **maximalen Sauerstoffpulses** unterstreichen ein **befriedigend trainiertes kardiorespiratorisches Leistungsvermögen**.

Atemäquivalent:

Die Probanden zeigen in der Vorstartphase einen erhöhten Wert für das **Atemäquivalent**, der über den Messwerten der unteren Belastungsstufen auf dem

Laufband liegt. Für den **submaximalen Bereich** von 4, 5 und 6 km/h ergibt sich **die beste Ventilationsökonomie**.

Bei ansteigender Belastung erhöhen sich die Werte des Atemäquivalents über den Belastungsbereich von 7 und 8 km/h kontinuierlich bis auf **30,8 ± 7,2** im **Eingangstest** bzw. **30,1 ± 7,0** im **Ausgangstest**. Während der **ersten Erholungsminuten** wird die **Ventilation unökonomischer**.

Das Atemäquivalent des **Ausgangstests** liegt in der 3. Erholungsminute höchst signifikant **über** dem Wert des **Eingangstest**. Dies bedeutet eine **stärkere kardiorespiratorische Ausbelastung** der Probanden im II. Test, was auf eine **verbesserte Leistungsfähigkeit** zurück zu führen ist.

Die für das Atemäquivalent ermittelten Werte der Nordic Walking-Studie zeigen einen normalen Verlauf. Die höhere kardiorespiratorische Ausbelastung lässt darauf schliessen, dass ein **suffizientes Ausdauertraining im Grundlagenausdauerbereich** durchgeführt wurde. Demzufolge ist das Nordic Walking als probates Mittel zur **Verbesserung der Grundlagenausdauer** geeignet.

Ventilations-Respiratorischer Quotient:

Im **aerob-anaeroben Schwellenbereich** bei 6 km/h bis 7 km/h steigt der VRQ **von < 1.0 auf > 1.0** an. Dies zeigt den Übergang in den **anaerob-laktaziden Bereich** der Energiebereitstellung.

Gegen Ende der **8 km/h** Belastungsstufe wird ein VRQ von **1,11 ± 0,09** im **Eingangstest** bzw. **1,10 ± 0,10** im **Ausgangstest** registriert.

Dabei liegt eine **mittlere Laktatkonzentration** von **4,77 ± 2,0 mmol · l⁻¹** im Eingangstest bzw. **4,96 ± 2,09 mmol · l⁻¹** im Ausgangstest vor.

Der **VRQ-Wert** der **3. Erholungsminute** des Eingangstests unterscheidet sich hoch signifikant (p=0,002) von dem Wert des Ausgangstests, da im Vorfeld eine **erschöpfendere kardiorespiratorische Belastung** stattfand.

Für die laufbandergometrische Belastung beider Tests kann mit einem **VRQ-Sofortwert** von **1,15 ± 0,09 (Eingangstest)** bzw. **1,16 ± 0,09 (Ausgangstest)** eine **erschöpfende Vita maxima-Ausbelastung** angenommen werden.

In der vorliegenden Studie liegt im Gegensatz zu den Ergebnissen von KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 sowie NOWACKI 1971 der **VRQ von 1,0 nicht unmittelbar vor dem Erschöpfungspunkt** der Sportler.

Ein Grund dafür ist die Adaptation der Muskulatur an die anaerob-laktazide Beanspruchung.

Metabolische Leistungsfähigkeit:

Laktatverhalten:

Die mittleren **Laktatwerte** liegen sofort nach **Belastungsabbruch** im **Eingangstest** bei $5,99 \pm 2,43 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ bzw. $6,73 \pm 2,43 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ im **Ausgangstest**.

Im Belastungsbereich von **7 km/h** zeichnet sich ein signifikanter Mittelwertsunterschied ($p=0,016$) zwischen Eingangs- und Ausgangstest ab ($3,42 \pm 1,79 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ vs. $3,20 \pm 1,44 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$).

Dieser im **Haupttrainingsbereich** des Nordic Walking gelegene Unterschied zugunsten des Ausgangstests ist auf eine **Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit mit Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve** zurück zu führen.

Insofern kann über eine gezielte Nordic Walking Belastung eine Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve bewirkt werden.

5 Summary

In this **Nordic Walking-Study** 35 voluntary sportsmen of different age were examined in to two stage load tests on the racevolume.

The age of the sportsmen was $47,7 \pm 12,7$ years with a weight of $71,3 \pm 11,3$ kg in the initial test and $71,1 \pm 11,3$ kg in the entry test. The probands were $169,3 \pm 9,0$ cm tall.

During the period of 10 weeks between the two load tests the probands had to undergo an instructed Nordic Walking training weekly. They also conducted training units on their own.

Anthropometric:

The analysis of the anthropometric dates of our sportsmen showed a **loss in the body's measure of index** (BMI) as well as the **portion of body fat**, during the evaluation. The reduction of these parameters proves the influence of Nordic Walking towards the improvement of health **generally**. In particular it shows that Nordic Walking **helps to prevent**. In my thesis I concentrated not only on avoiding metabolism diseases, but also on their treatment.

Physical capacity:

Load time:

In this Nordic Walking study it was proofed, that the average load time could be increased through the 10 weeks of training period of the probands. ($16,43 \pm 3,24$ min initial test vs. $17,05 \pm 3,21$ min entry test).

Absolute and relative watt stage:

In this Nordic Walking-Study an easy decrease of the **absolute watt stage** between **entry and initial test** was recorded.

In the stage load test the factor for the **entry test** 160 ± 43 W vs. 158 ± 42 W for the **initial test**.

For the **relative maximum watt stage** an easy decrease of the factors can also be noted in the study between **entry and initial test** ($2,2 \pm 0,4 \text{ W of KG} \cdot \text{kg}^{-1}$ vs. $2,2 \pm 0,4 \text{ W of} \cdot \text{kg}^{-1}$).

For the classification of the condition in performance and training of Nordic Walkers following scheme was assumed:

Kardiocirculation capacity:

Heart frequency:

The submitted thesis shows in consideration of the average maximum heart frequency in the **entry test** factors of $172 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$ at the end of the 18th load minute. The **initial test** shows factors of $172 \pm 19 \cdot \text{min}^{-1}$.

The result of the submaximum values at the end of the 6 k.p.h. load stage for the **entry test** are $130 \pm 20 \cdot \text{min}^{-1}$. The **initial test** shows lower results. They are $124 \pm 18 \cdot \text{min}^{-1}$. **This evaluation of the Nordic Walkers** leads to the conclusion that the collective of probands had performed their training well.

The average heart frequency of the Nordic Walking-Study was $106 \pm 15 \cdot \text{min}^{-1}$ in the **entry test and/or** $105 \pm 19 \cdot \text{min}^{-1}$ **in the initial test** at the end of the 5th minute of regeneration.

According to the generally acknowledged evaluation criteria this regeneration frequency proves a **good kardiocirculation regeneration ability** of the probands.

The evaluation could explain, that the heart frequency ranges of 4, 5, 6 and 7 k.p.h. **highly significant differences** were stated with respect to the decrease of the heart frequency. This is to be traced back to the fact, that in the main training of Nordic Walking the efficiency **of the heart circuit job has occurred**.

Blood pressure results:

During the 8-weeks lasting training a change in the **diastolic and systolic blood pressure values** of the probands could be observed. **Significant differences** between **entry and initial test** were found out. In the range of loads of 5 k.p.h. the systolic blood pressure lies in the **initial test** with $145 \pm 20 \text{ mmHg}$ under the one of the **entry test** with $150 \pm 25 \text{ mmHg}$. The difference in the average factor with $p=0,013$ is to be classified as significant. In the diastolic side the results at 4 k.p.h. with $80 \pm 10 \text{ mmHg}$ in the **entry test** vs. $75 \pm 10 \text{ mmHg}$ in the **initial test** with $p=0,008$ show highly significant differences. Summarizing these results one can speak of a blood pressure efficiency in the undermaximum range of loads through Nordic Walking.

Respiratory capability:

Breath minute volume:

During the stage load test on the raceband volume a **middle BMV of $52,85 \pm 12,77$ l of BTPS** is observed in the field for the **Nordic Walking-Study of 7 k.p.h.** in the entry test and/or **$49,09 \pm 12,43$ l of BTPS** in the initial test. In this case there is a **significant mean difference of $p=0,015$** . The load stages 5 k.p.h. and 6 k.p.h. show the same tendency without significant mean factor differences. At a load of 9 k.p.h. significant mean factor differences turn out with **$p=0,05$** . In this load stage the value of the BMV with **$74,21 \pm 14,91$ l of BTPS** in the **initial test** lies with around approx. **7 l of BTPS** more highly than in the **entry test** with **$67,26 \pm 19,01$ l of BTPS**. The **higher breath minute volume** in the **entry test** results from an improvement of the respiration economics due to continuous training.

Kardiorespiratory capacity:

Absolute oxygen intake:

The **absolute oxygen intake** ($l\ VO_2\ STPD \cdot min^{-1}$) of the **Nordic Walking-Study** before the stage load test on the raceband amounts to **$0,46 \pm 0,18$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** in the **entry test** and/or **$0,45 \pm 0,18$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** in the **initial test**. In the **undermaximum field** at 7 k.p.h. the absolute O_2 intake increase up to **$1,8 \pm 0,26$ l of $l\ STPD \cdot min^{-1}$** (Entry test) or **$1,8 \pm 0,29$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** (Initial test).

During the **exhausting load** of the Nordic Walker an average **absolute maximum oxygen intake** of **$3,1 \pm 0,38$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** vs. **$2,9 \pm 0,76$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** is observed.

At a load of 6 k.p.h. the **absolute oxygen intake** of the **entry tests** significantly exceeds that of the **initial test** (**$1,5 \pm 0,24$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** vs. **$1,4 \pm 0,26$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** ; **$p=0,003$**). At a load of 9 k.p.h. the absolute oxygen intake of the entry test (**$p=0,03$**) also exceeds that of the initial test. These results in the mean training side of Nordic Walking (6 k.p.h.) are due to the economisation of **respiration, of O_2 intake as well as an improved peripheral O_2 use** which are traced back to training. Summarizing the results the proband collective displays an absolute oxygen intake which is **slightly higher** than the average value of untrained men and women in the age between 18 and 40 years with **VO_2 of $2,8 \pm 0,3$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** after **NOWACKI 1977** and **HOLLMANN, HETTINGER 1980** with **$2,5 - 3,0$ l of $STPD \cdot min^{-1}$** .

To be able to interpret this result correctly it has to be considered, that the proband collective consisted of women with a portion of 2/3 while the average age lay at **$47,7 \pm 12,7$ years**.

According to the **evaluation criteria** of the absolute maximum oxygen intake postulated by **NOWACKI 1977** the sportsmen of the Nordic Walking-Study have an **age-corresponding** satisfying or good physical capacity.

Maximum relative oxygen intake:

The average values of the **maximum relative oxygen intake** ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) of the sportsmen of the Nordic Walking-Study to reach **$37,4 \pm 3,6 \text{ ml of STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** in the **entry test** and **$36,6 \pm 5,8 \text{ ml of STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** in the **initial test** during the exhausting spiroergometric load on the race band.

Proceeding from the conditions before start with a middle relative oxygen intake of **$6,4 \pm 2,1 \text{ ml of STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** vs. **$6,4 \pm 2,3 \text{ ml of STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** in the entry - vs. initial test the factor in the **undermaximum field** rise up to **$25,7 \pm 2,2 \text{ ml of STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** in the entry test and/or **$25,1 \pm 3,0 \text{ ml of STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** in the initial test. In the undermaximum range at loads of 6 k.p.h. a factor of **$21,3 \pm 2,4 \text{ ml of STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** is observed which is a significantly higher **VO_2 amount** than the one observed in the initial test (**$19,9 \pm 2,5 \text{ ml of min}^{-1} \text{ STPD} \cdot \text{kg}^{-1}$**). The same can be stated at **9 k.p.h.** (entry test **$34,4 \pm 3,5 \text{ ml of STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** vs. **$33,3 \pm 3,6 \text{ ml of min}^{-1} \cdot \text{STPD} \cdot \text{kg}^{-1}$** initial test). The effective O_2 -utilization in comparison to the preliminary investigation can be regarded as a possible reason.

The factors of the **maximum relative oxygen intake** are, considered absolutely in the **satisfying trained field**. Considering the average age and sex of the sportsmen one can speak of a satisfying result in consideration of age.

Oxygen pulse:

In this Nordic Walking-Study the **oxygen pulse increases** ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$) proceeding from the conditions before start from **$5,2 \pm 2,4 \text{ ml of STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$** in the entry test vs. **$5,3 \pm 2,5 \text{ ml of STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$** in the initial test. The graph flattens itself with the increase in load stages. The **average peak factor of the oxygen pulse** is being noted during the exhausting race band spiroergometric load of 10 k.p.h. with **$18,6 \pm 2,6 \text{ ml of STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$** vs. **$17,6 \pm 5,8 \text{ ml of STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$** (Entry and initial test).

Breath equivalent:

The probands of the Nordic Walking-Study show an increased value for that **BE** in the period before start. The **initial value** of the breath equivalent raised under prestart conditions on the **stage load test on the raceband** is **$27,8 \pm 4,6$ vs. $28,35 \pm 7,1$** for **entry and initial test** and thus above the factors of the under load stages (Entry test 4, 5 and 6 k.p.h.: $23,3 \pm 3,6$, $23,3 \pm 3,9$, $23,9 \pm 4,1$; Initial test 4, 5 and 6 k.p.h.: $22,9 \pm 3,1$, $23,1 \pm 3,5$, $24,5 \pm 4,3$). In terms of the **undermaximum field** of 4, 5 and 6 k.p.h. **the best economic of ventilation** can be obtained with the data listed

above. In the case of an increase of the factors of the breath equivalent increase continuously up to **30,8 ± 7,2** in the **entry test** and/or **30,1 ± 7,0** in the **initial test** above the range of loads from 7 and 8 k.p.h.. During the **first regeneration minutes** the **ventilation becomes more uneconomic** and the breath equivalent reaches in the **5th regeneration minute** both in the entry- as also in the initial test with **39,6 ± 6,0 vs. 41,6 ± 6,9** his **highest values**. In the 3rd regeneration minute the breath equivalent of the initial test lies **significantly high above** the factor of the entry test. This signifies a stronger kardiorespiratory load of the probands in the second Test which is due to an **improve in capability**.

The factors of the Nordic Walking-Study determined for the breath equivalent show a normal process. The increased kardiac respiratory load points to a **sufficient persistence training, carried out in the basic persistence field**. Nordic Walking is suitable for the improvement of the basispersistence.

Ventilation-Respiratory Quotient:

This Nordic Walking-Study displays for the VRQ in both, the entry- as well as in the initial test the curvature described in the literature .

During the first **undermaximum load stages** during the **stage load test on the raceband** the VRQ declines from **0,82 ± 0,06** at **5 k.p.h.** to a **minimum factor in the initial test**. In the **undermaximum field** at 6 k.p.h. the VRQ rises up to **0,93 ± 0,05 vs. 0,94 ± 0,06** in the entry as well as in the initial test. In the aerob-anaerobic threshold region at 6 k.p.h. to 7 k.p.h. the VRQ climbs up **of < 1.0 > 1.0 at**. This shows the examiner the crossing into the **anaerobic-laktate field** of the vigor appropriation. Against end of the 8 k.p.h. load stage is registered a VRQ of **1,11 ± 0,09** in the entry test and/or **1,1 ± 0,1** in the initial test. In this case we observe a **middle lactate concentration** of **4,77 ± 2 mmol · l⁻¹** in the entry test and/or **4,96 ± 2,09 mmol · l⁻¹** in the initial.

In the following a rise of the VRQ-curvature can be determined up to **1,15 ± 0,09. 1,16 ± 0,1** for the **entry and initial test** withload breaking off. Until **5th regeneration minute** the VRQ falls down to factors of **1,11 ± 0,13. 1,1 ± 0,11** in the entry and initial test.

The VRQ-factor of the 3rd regeneration minute of the entry test differs significantly ($p=0,002$) from the value of the initial test since a more exhausting kardiorespiratory load previously occurred.

For the ergometric run band load of both tests an **exhausting vita maxima-load can be picked up with a VRQ at once data by 1,15 ± 0,09 (Entry test) and/or 1,16 ± 0,09 (Initial test)**. Due to the exhausting physical load and the **anaerob-laktate**

metabolism service consecutively conditional through that the **carbon dioxide delivery disproportionately increased compared to the oxygen intake.**

Unlike the results of KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 as well as NOWACKI 1971 the **VRQ of 1,0** does not lie directly before the exhausting point of sportsmen.

The adaptation of the musculature onto **anaerobic-laktate** demands.

In this study is noticeable that between the 9th and 12th load minute an average Ventilation-Respiratory Quotient in the transition region of **< 1,0 <** is registered. The **middle load time** on the other hand exceeds the **service limiting VRQ of 1,0** with **16,43 ± 3,24** and/or **17,05 ± 3,21 for entry and initial test** by at least **5 min.**

Metabolic capability:

Lactate behavior:

The middle **lactate factors** of the Nordic Walking-Study to **load breaking off** surrend a factor of **5,99 ± 2,43 mmol · l⁻¹** in the entry test immediatly after the end of load and/or **6,73 ± 2,43 mmol · l⁻¹** in the initial test. According to the judgement of the work postulated by HECK 1990 one can not speak of an exhausting metabolic load considering to the lactate concentration. However, the age of the probands as well as the differences in terms of sex are to be considered.

In the **3rd regeneration minute** an average **peak value of 5,63 ± 2,26 mmol · l⁻¹** in the entry and initial test vs. **6,03 ± 2,69 mmol · l⁻¹** lactate were determined.

With the help of an evaluation criteria formulates by MADER et al. 1976 a low load degree to middle load degree can be certified for the Nordic Walking-Study.

In the range of loads of 7 k.p.h. a significant mean value difference (p=0,016) is determined between entry and initial test (**3,42 ± 1,79 mmol · l⁻¹** vs. **3,2 ± 1,44 mmol · l⁻¹**). This difference occuring in the **main training field** of Nordic Walking for the benefit of the initial test is due to an **improvement of the aerobic capability with right shift of the lactate service curve.**

In consideration of this an improvement in the **physical capability** can be achieved by **purposeful training** in Nordic Walking.

6 Literaturverzeichnis

ACTEN J, GLEESON M:

Determination of exercise intensity that elicits maximal fat oxidation.
Med Sci Sports Exerc 2002; 34: 92-97.

ADAM K, LENK H, NOWACKI PE, RULFFS M, SCHRÖDER W:

Rudertraining.
Bad Homburg: Limpert 1977

ALEXANDER D, REILLY JJ:

Health consequences of obesity.
Archives of disease in childhood 2003; 88 (9): 748-752.

AMANN E, ZIPF K:

Sportanthropologische Untersuchungen der weltbesten männlichen
alpinen Skirennläufer.
In: Gentz (Hrsg.): Leistung als Prinzip.
Festschrift für Berno Wischmann
Mainz: 1975; 41–54.

ANDERSEN RE, WADDEN TA, BARTLETT SJ, ZEMEL J, VERDE, TJ, FRANCHOWIAK SC:

Effects of lifestyle activity vs structured aerobic exercise in obese women:
a randomized trial.
JAMA 1999; 281: 335 – 340.

APPEL B:

Das adipöse Kind im Sportunterricht – Experimentelle sportmedizinische
und theoretische-sport-didaktische Aspekte
Wiss. Examensarbeit (Sportmedizin/Sportdidaktik) Justus-Liebig Universität;
Gießen: 1996.

APPELL HJ, BRÜGGEMANN GP:

Brennpunkte der Sportwissenschaft, Erfassen und Messen sportlicher Leistung

Deutsche Sporthochschule Köln: 1992: 6.

APPENZELLER O:

Sports Medicine.

Baltimore-München: Urban & Schwarzenberg Verlag 1988.

ASMUSSEN E, HEEBÖLL-NIELSEN KR:

A dimensional analysis of physical performance and growth in boys.

J.Appl. Physiol. 1955; 7: 593-603.

ÅSTRAND PO:

Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age.

Kopenhagen: Munksgaard Verlag 1952.

ÅSTRAND PO:

Sport, Alter und Geschlecht. Sportmed. Schriftenreihe.

Bern; 5: 1958.

ÅSTRAND PO:

Progress in Ergometry.

In: Mellerowicz H, Hansen G, (Hrsg.):

Kongressbericht I. Internationales Seminar für Ergometrie.

Berlin; 1965: 5-14.

ÅSTRAND PO, ÅSTRAND I:

Heart rate during muscular work in man exposed to prolonged hypoxia.

J.Appl. Physiol. 1958; 13: 75.

ÅSTRAND PO, SALTIN B:

Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity.

J.Appl..Physiol. 1961; 16: 977-981.

ÅSTRAND PO, RODAHL K:

Textbook of Work Physiology

New York: McGraw-Hill Verlag 1977; 2.

ASTRUP A, GRUNWALD GK, MELANSON EL, SARIS WHM, HILL JO:

The role of low-fat diets in body-weight control: a metaanalysis of ad libitum dietary intervention studies.

Int J Obes Relat Metab Disord 2000; 24: 1545–1552.

AVENHAUS, H., H. J. MEDAU, P. E. NOWACKI

Die Beurteilung des Sporthertzens im Wandel der Zeiten.

Medwelt 1988; 39: 13-23.

BACHL N:

Über Einflüsse auf den Laktatabbau.

In: Nowacki PE, Böhmer D (Hrsg.):

Sportmedizin – Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit.

Deutscher Sportärztekongress, Kongressband. Bad Nauheim 1978; 26.

Stuttgart New York: Thieme Verlag 1980: 461-598.

BACHL N:

Möglichkeiten zur Bestimmung individueller Ausdauerleistungsgrenzen anhand spiroergometrischer Parameter.

Österr. J. Sportmed. 11, 1981; Suppl1.

BACHL N:

Der aerob-anaerobe Übergang – eine leistungsphysiologische Standortbestimmung.

Österr. J. Sportmed. 1984; 11: 4-13.

BACHL N:

Grundlagen der Belastungsuntersuchung und Leistungsbeurteilung.

In: Aigner A (Hrsg.): Sportmedizin in der Praxis.

Wien: Brüder Hollinek Verlag 1985: 461-597.

BACHL N:

Leistungsdiagnostik im Kindes- und Jugendalter.

In: Prokop L, (Hrsg): Kinder-Sportmedizin.

Stuttgart: Fischer Verlag 1986: 95-126.

BADTKE G

Sportmedizinische Grundlagen.

Thun-Frankfurt/M. 1989; 2.

BADTKE G:

Lehrbuch der Sportmedizin.

Heidelberg-Leipzig; Johann Ambrosius Barth Verlag 1995; 3.

BAKER S, BARLOW S, COCHRAN W, FUCHS G, KLISH W,

KREBS N, STRAUSS R, TERSHAKOVEC A, UDALL J:

Overweight children and adolescents: a clinical report of the North American Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition.

J Pediatr Gastroenterol Nutr 2005; 40: 533–543.

BALDI JC, SNOWLING N:

Resistance training improves glycaemic control in obese type 2 diabetic men.

Int J Sports Med 2003; 24: 419–423.

BALLAR DL, KEESEY RE:

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 of Obes Relat Metab Disord 1991; 15:, 717–726.

BANZER W, BRETTMANN K, VOGT L:

Körperliche Aktivität und Anstrengung übergewichtiger Kinder und Jugendlicher.
In: Braumann K-M und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 211.
WWF, Greven

BAR-OR O:

Trainability of the prepubescent child.
Phys Sports Med. 1989; 17: 65-82.

BAR-OR O:

The child and Adolescent Athlete. Encyclopaedia of Sports Medicine.
Oxford: Blackwell Science Ltd.1996.

BARTELS H:

Der Gasstoffwechsel (Atmung).
In: Keidel W D (Hrsg.): Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie.
Stuttgart: Thieme Verlag 1970; 2: 39-72.
Stuttgart: Thieme Verlag 1973; 3: 42-75.

BARTELS H, BÜCHERL E, HERTZ CW, RODEWALD G, SCHWAB M:

Lungenfunktionsprüfungen.
Heidelberg: Springer Verlag 1958.

BASTIAN M, KUNZE M, SATTLER R:

Trainingsbedingte Anpassungsreaktion des kardiopulmonalen Systems bei jugendlichen Boxsportlern.
Med. u. Sport1972; 18: 189-192.

BAUER F:

Datenanalyse mit SPSS.

Berlin Heidelberg New York Tokio: Springer Verlag 1984.

BERG A, KÖNIG D:

Aspekte zur Prävention und Therapie von Fettstoffwechselstörungen unter besonderer Berücksichtigung des metabolischen Syndroms.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 74-82.

BLAIR SN, LA MONTE MJ, NICHAMAN MZ:

The evolution of physical activity recommendations: how much is enough?

Am J Clin Nutr 2004;79: 913–920.

BLUME DD:

Zur Stellung des sportmotorischen Tests im System der Kontrollmethoden im Sport.

In: Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.):

Leistungssport: Herausforderung für die Sportwissenschaft 1989; 72: 130-138.

BOSELLO O, ZAMBONI M:

Visceral obesity and metabolic syndrome.

Obes Rev 1 2000: 47–56.

BRAUER B, WOLF W:

Einführung in die Spirographie und Ergometrie.

Beitr. z. Klin. d. Tuberkulose 1940; 94: 504-519.

BRAUMANN KM, BUSSE M, MAASEN N:

Zur Interpretation von Laktat-Leistungskurven.

Leistungssport 1987; 4: 35–38.

BRINGMANN W:

Die Einschätzung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit für die Beurteilung der Sportfähigkeit und Trainingseffektivität.

Med u Sport 1980; 20: 104-113.

BROOKS GA:

Cardiac and skeletal muscle mitochondria have a monocarboxylate transporter MCT1.

J Appl Physiol 1999; 87: 1713-1718

BUENO M:

Die anaerobe Schwelle - Von der Euphorie zur Vertrauenskrise.

Leistungssport 1990; 1: 13–16.

BÜHL A, ZÖFEL P:

SPSS für Windows Version 6 - Praxisorientierte Einführung in die moderne Datenanalyse.

Bonn: Addison-Wesley Verlag 1994.

BURGER HJ:

Kardiorespiratorische und metabolische Belastbarkeit von Tanzsportlern unterschiedlicher Startklassen bei allgemeiner und sportartspezifischer Ergometrie und Leistungsdiagnostik.

Inaugural-Dissertation (Dr. phil.) Justus-Liebig Universität, Gießen 1991.

BURGER HJ, PE NOWACKI:

Physiologische und biomechanische Reaktionen bei sportartspezifischer Belastung von Tanzpaaren der hessischen Hauptklassen D-S.

In: Rieckert H (Hrsg.): Sportmedizin-Kursbestimmung.

Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo:

Springer Verlag 1987: 573-578.

BURGER HJ, NOWACKI PE, BUHL C, SCHNORR P:

Kardiorespiratorische und metabolische Belastbarkeit von Tanzsportlern unterschiedlicher Startklassen bei allgemeiner und sportartspezifischer Spiroergometrie.

In: Böning D, Braumann KM, BussE MW, Maasen N, Schmidt W (Hrsg.):

Sport -Rettung oder Risiko für die Gesundheit?

Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1989: 499-502.

BURMEISTER W, RUTZENFRANZ J, SRESNY W, RADNY HG:

Body cell mass and physical performance capacity (W170) of school children.

Int Z angew Physiol 1972; 31: 60-70.

CAI DY, NOWACKI PE, SCHÜLKE S:

Vergleichende Untersuchungen über den Wert der sportartspezifischen Leistungsdiagnostik im Feldtest und im Labor bei Skilangläufern der Deutschen Spitzenklasse.

In: Rieckert H (Hrsg.): Sportmedizin–Kursbestimmung.

Berlin Heidelberg: Springer 1987: 727–731.

CASSADY SL:

Validity of near infrared body composition analysis in children and adolescents.

Med Sci Sports Exerc 1993,; 25: 1185–1191.

CASSADY SL:

Reliability of near infrared body composition analysis.

Cardiopulm Phys Ther 1996; 7: 8–12.

CHRISTENSEN EH:

Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit.

Fünf Mitteilungen.

Die Pulsfrequenz während und unmittelbar nach schwerer körperlicher Arbeit.

Arbeitsphysiologie 1931; 4: 453-469

CLAUS G, EBNER K:

Statistik Band 1, Grundlagen

Thun und Frankfurt/M.: Harri Deutsch 1989.

COEN B, URHAUSEN A, KINDERMANN W:

Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assesment in running.

Int J Sports Med 2001;22: 8-16.

CRIELAARD JM, PIRNAY F:

Anaerobic and aerobic power of top athletes.

European Journal appl. Physiologie 1981; 47: 295-300.

DAL MONTE A:

Exercise Testing and ergometers.

In: Dirix A., Knuttgen HG, Tittel K (Hrsg.):

The Olympic Book of Sports Medicine, Vol I

Oxford-London-Boston-Melbourne:

Blackwell Scientific Publications 1988: 121-150.

**DE GLISEZINSKI I, CRAMPES F, HARANT I, BERLAN M, HEJNOVA J,
LANGIN D, RIVIÈRE D, STICH V:**

Endurance training changes in lipolytic responsivness of obese adipose tissue.

Am J Physiol Endocrinol Metab 1998; 275: 951–956.

**DE GLISEZINSKI I, MORO C, PILLARD F, MARION-LATARD F,
HARANT I, MESTE M, BERLAN M, CRAMPES F, RIVIÈRE D:**

Aerobic training improves exercise-induced lipolysis in SCAT and lipid utilization in overweight men.

Am J Physiol Endocrinol Metab 2003; 285: 984–990.

DIEM K, LENTNER C:

Wissenschaftliche Tabellen.

Documente Geigy.

Wehr 1968.

DITTER H, NOWACKI PE, SIMAI E, SIEGFRIED I:

Computergesteuerte spiroergometrische Funktionsdiagnostik bei national erfolgreichen Faustballspielerinnen.

Sportarzt u. Sportmed. 1977; 28: 227-230.

DITTER H, WINKLER U, NOWACKI PE:

Das Verhalten des Säure-Basen Haushaltes nach maximaler körperlicher Belastung bei trainierten und untrainierten Schülern im Vergleich zu Leistungssportlern verschiedener Disziplinen

Therapiewoche 1978; 28: 5430-5451.

DONAT K, KOEFFLER H:

Prinzipien und Ergebnisse der Frührehabilitation nach Herzinfarkt im Krankenhaus.

Verh Dtsch Ges Kreisl-Forsch 1971; 37: 214.

DONATH R, ROSEL G:

Untersuchungen zur Ausdauerentwicklung bei Schülern.

Med u Sport 1974; 11: 322-329.

DUBOUCHAUD H, BUTTERFIELD GE, WOLFEL EE, BERGMAN BC:

Endurancing training, expression, and physiology of LDH, MCT1, and MCT4 in human skeletal muscle.

Am J Physiol Endocrinol Metab 2000; 278: E571-E579.

DRANSFELD B, MELLEROWICZ H:

Untersuchungen der Leistungsfähigkeit und Herzschlagfrequenz von Untrainierten bei Maximalleistungen am Handkurbelergometer.

Intern Zschr Angew Physiol einschl Arbeitsphysiol 1958; 17: 207-217.

DRANSFELD B:

Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffpuls bei ergometrischer Belastung.

In: Mellerowicz H, Jokl E, Hansen G (Hrsg.):

Ergebnisse der Ergometrie. COR-Beiträge zur Kardiologie.

Erlangen: Perimed 1975; 125-145.

DRESSLER F, MELLEROWICZ H:

Das Atemminutenvolumen.

Zschr Kinderhk 1961; 85: 31.

DURNIN JVGA, WOMERSLY J:

Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged 16 to 72 years.

Br J Nutrition 1974; 32: 77-97.

DURNIN JVGA, WOMERSLY J, BODDY K, MAHOFFY M:

Influence of muscular development, obesity and age on the fat free mass of adults.

J Appl Physiol 1976; 41: 223-229.

EATON AW:

Comparison of four methods to assess body composition in women.

Europ J Clin Nutr, 1993; 47: 353–360.

ELGOHARI, YMAS:

Quantitative und qualitative Corporale, kardiozirkulatorische, kardiorespiratorische und metabolische Reaktionen von Männern bei/nach erschöpfender Spiroergometrie in Abhängigkeit vom Trainingszustand, der Sportart sowie unterschiedlichen Belastungsmethoden.

Inaugural Dissertation (Dr. phil.) Justus-Liebig Universität.

Giessen 2003.

ERIKSSON, PO:

Physical training, oxygen supply and muscle metabolism in 11-13 years old boys.

Acta Physiol Scand 1972; Suppl 384: 1-48.

ESPOSITO K, PONTILLO A, DI PALO C, GIUGLIANO G, MASELLA M, MARFELLA R, GIUGLIANO D:

Effect of weight loss and lifestyle changes on vascular inflammatory markers in obese women.

JAMA 2003; 289: 1799–1804.

EWBANK P, DARGA L, LUCAS C:

Physical activity as a predictor of weight maintenance in previously obese subjects.

Obes Res 1995; 3: 257–263.

FLEGAL KM, CAROLL MD, OGDEN CL, JOHNSON CL:

Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2000.

JAMA 2002; 288: 1723–1727.

FLECHTNER-MORS M, DITSCHUNEIT HH, JOHNSON TD, SUCHARD MA, ADLER G:

Metabolic and weight loss effects of long-term dietary intervention in obese patients: four-year results.

Obes Res 2000; 8: 399–402.

FLETCHER GF:

Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association.

Circulation 2001; 104: 1694-1740.

FONTAINE KR, REDDEN DT, WANG C, WESTFALL AO, ALLISON DB:

Years of life lost due to obesity.

JAMA 2003; 289: 187–201.

FRÖHLICH J, URHAUSEN A, SEUL U, KINDERMANN W:

Beeinflussung der individuell anaeroben Schwelle durch kohlehydratarme und -reiche Ernährung.

Leistungssport 1989; 4: 18-20.

FETZ F, KORNEXL E:

Sportmotorische Tests

Frankfurt a. M.: Bartels & Wernitz KG 1978.

GAMBKE B. MÜLLER C:

AccusportR: Evaluation of a new system for determining lactate in capillary blood:

In: Boehringer Mannheim (Hrsg.): Poster presented at the 33rd German Congress of Sports Medicine.

Paderborn 1993.

GLADDEN LB:

Lactat transport and Exchange during exercise.

Handbook of Physiology.

Rowell and Shepard 1996; 12.

GROSSER M, BRÜGGEMANN P, ZINTL F:

Leistungssteuerung im Training und Wettkampf.

München: BLV 1986.

GROSSER M, NEUMAIER A:

Kontrollverfahren zur Leistungsoptimierung, Studienbrief 17 der Trainerakademie Köln.

Schorndorf 1988.

GROSSER M, STARISCHKA S:

Konditionstests.

München: BLV 1981.

HALLE M, KEUL J, BERG A:

Stellenwert von körperlicher Mehraktivität in der ambulanten kardiovaskulären Prävention.

Clinical Research in Cardiology 1997; 87 (11).

HAMAR D:

Die Erfassung der maximalen alaktaziden Leistung der unteren Extremitäten.

Leistungssport 1990; 1:, 19–23.

HANSEN G:

Atemvolumen und Atemäquivalent bei ergometrischer Leistung.

In: Mellerowicz H., Jokl E, Hansen G (Hrsg.):

Ergebnisse der Ergometrie. COR-Beiträge zur Kardiologie.

Erlangen: Perimed 1975: 147-154.

HECK H:

Laktat in der Leistungsdiagnostik.

Schorndorf 1990.

HECK H:

Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik, Studienbrief der Trainerakademie Köln.

Schorndorf 1990.

HECK H, SCHULZ H:

Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik.

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2002; 53: 202-212.

HENDERSON Y, PRINCE AL:

The oxygen pulse and the systolic discharge.

Amer J Physiol 1914; 35: 106-115.

HENNE, C:

Sportartspezifische kardiorespiratorische und metabolische Leistungsdiagnostik sowie geschlechtsspezifische Besonderheiten in der spezifischen Leistungsfähigkeit im Triathlon.

Inaug. Diss. (Dr. med.): Justus-Liebig Universität.

Gießen 2001.

HERM KP:

Standards der Sportmedizin; Methoden der Körperfettbestimmung

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2003; 54: 153.

HOLLMANN W:

Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.

Darmstadt 1959.

HOLLMANN W:

Der Einfluß der Leibesübungen auf Muskulatur, Atemapparat, Blut, endokrines und vegetatives System in Bezug auf die Herzgesundheit.

In: Mellerowicz H (Hrsg.): Präventive Cardiologie.

Berlin: Medicus 1961.

HOLLMANN W:

Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers. Spiroergometrische Untersuchungen und Beurteilung von männlichen und weiblichen Personen des 1-8. Lebensjahrzehnts. Wissenschaftliche Schriftenreihe des DSB.

München: Barth 1963;5.

HOLLMANN, W:

Atmung und Stoffwechsel als leistungsbegrenzende Faktoren beim Mittel- und Langstreckenläufer und ihre Beeinflussung durch Training.

Berlin: Bartels & Wernitz Verlag 1965.

HOLLMANN W:

Kriterien der körperlichen, cardialen und pulmonalen Leistungsgrenzen.

In: Mellerowicz H, Hansen G (Hrsg.): Kongressbericht des 1. Internationalen Seminars für Ergometrie.

Berlin 1965: 186-188.

HOLLMANN W:

Körperliches Training als Prävention von Herz-Kreislaufkrankheiten.

Stuttgart: Hippokrates Verlag 1965.

HOLLMANN W:

Die Leistungsentwicklung und Belastbarkeit des Kindes und Jugendlichen nebst allgemeinen sportmedizinischen Aspekten.

In: Sportarzt und Sportmed 1966;11: 549-552.

HOLLMANN W:

Sport und körperliches Training als Mittel der Präventivmedizin in der Kardiologie.

In: Hollmann W (Hrsg.): Zentrale Themen der Sportmedizin.

Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag 1977; 2.

HOLLMANN W:

Lungenfunktion, Atmung und Stoffwechsel im Sport.

In: Hollmann W (Hrsg.): Zentrale Themen der Sportmedizin.

Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag 1977.

HOLLMANN W:

Lungenfunktion, Atmung, Gasstoffwechsel im Sport.

In: Hollmann W (Hrsg.): Zentrale Themen der Sportmedizin.

Berlin Heidelberg New York Tokio: Springer Verlag 1986; 3: 144-168.

HOLLMANN W:

Die Belastbarkeit und Trainierbarkeit der Haltungs- und Bewegungsorgane in den verschiedenen Alters- und Entwicklungsstufen.

In: Prokop L (Hrsg.): Kinder und Sportmedizin.

Stuttgart; Fischer Verlag 1986: 19-42.

HOLLMANN W:

Wissenschaftliche Fundierung der präventiven kardiologischen Bedeutung von Ausdauertraining.

In: Banzer W, Hoffmann G (HG.):

Präventive Sportmedizin. Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 36.

Erlangen: Perimed Verlag 1990: 98-108.

HOLLMANN W, VALENTIN H, VENRATH H, BONNEKOH A:

Untersuchungen zum Verhalten des Sauerstoffpulses unter verschiedenartiger körperlicher Belastung,
Sportarzt u Sportmed 1961; 12: 248-251.

HOLLMANN W, BOUCHARD C:

Untersuchungen über die Beziehung zwischen chronologischem und biologischem Alter zu spiroergometrischen Meßgrößen, Herzvolumen, anthropometrischen Daten und Skelettmuskelkraft bei 8 bis 18 Jährigen.

Dtsch Zschr Kreislaufforschg 1970; 59: 160-176.

HOLLMANN W, HECK H:

Herzleistungsfähigkeit und Sport.

Ärztl Fortbildung 1971; 1.

HOLLMANN W, HECK H, SCHMÜCKER B, STOLTE A, LIESEN H, FOTESCH MD, MATHUR DN, JONDRA KH:

Vergleichende spiroergometrische Untersuchungen über den Effekt und die Aussagekraft von Laufband- und Fahrradergometerbelastungen.

Sportarzt und Sportmedizin 1971; 22: 123-134.

HOLLMANN W, LIESEN H:

Über den Trainingseinfluß auf kardiopulmonale und metabolische Parameter

des älteren Menschen.

Sportarzt und Sportmedizin 1973; 24: 145-186.

HOLLMANN W, HETTINGER T:

Sportmedizin–Arbeits- und Trainingsgrundlagen.

Stuttgart New York: FK Schattauer Verlag 1980; 2.

Stuttgart New York: FK Schattauer Verlag 1990; 3.

Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin.

Stuttgart New York: FK Schattauer Verlag 2000; 4.

HOLLOSZY JO:

Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle.

J Biol Chem 1967; 242: 2278.

HOLLOSZY JO:

Biochemical adaptations in muscle.

J Biol Chem 1967; 242: 2278.

HÖLTKE V:

Walking vs. Nordic Walking II – Belastungsparameter im Vergleich.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 243.

HÖRTNAGEL H:

Blutdruck und komplexe Belastung.

J Hyperton 2004; 8 (S1): 4-7.

HÜBNER K:

Herzfrequenz-Telemetrie bei wettkampfspezifischem Schneetraining und sportmedizinisches Leistungsprofil des Hessischen Alpinen Ski-D-Kaders. Wissenschaftliche Examensarbeit Justus-Liebig Universität, Gießen 1981.

ISRAEL S:

Sport, Herzgröße und Herz-Kreislaufdynamik.
Leipzig: Barth 1968.

ISRAEL S:

Zur Problematik der maximalen Herzschlagfrequenz bei Sportlern.
Med. und Sport 1970; 10: 193-200.

ISRAEL S:

Sport und Herzschlagfrequenz. Sportmedizinische Schriftenreihe.
Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1982; 22.

ISRAEL S, KUPPARDT H, GOTTSCHALK G, NEUMANN P:

Die submaximale Herzfrequenz als leistungsdiagnostische Kenngröße.
Med und Sport 1974;14: 297-304.

ISRAEL S, BUHL B, PURKOP KH, WEIDNER A:

Körperliche Leistungsfähigkeit und organismische Funktionstüchtigkeit im Altersgang.
Med und Sport 1982; 22: 289-300, 322-326, 353-361.

JAKICIC JM, CLARK K, COLEMAN E, DONELLY JE, FOREYT J, MELANSON E, VOLEK J, VOLPE SL:

American College of Sports Medicine position stand. Appropriate intervention Strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults.
Med Sci Sports Exerc 2001; 33: 2145–2156.

JAKICIC JM, OTTO AD:

Physical activity considerations for the treatment and prevention of obesity.
Am Jour of Clin Nutr 2005.

JAKOB E, ARRATIBEL I, STOCKHAUSEN W, HUBER G, KEUL J:

Die Herzfrequenz als Kenngröße der Leistungsdiagnostik und
Trainingssteuerung.
Leistungssport 1988; 5: 23–25.

JUEL C:

Laktattransport im Skelettmuskel: Trainingsinduzierte Anpassung und
Bedeutung bei körperlicher Belastung.
In: Braumann K-M und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2004; 55: 157.

JUEL C, HALESTRAP AP:

Lactat transport in skeletal muscle – role and regulation of the monocarboxylate
transporter.
J Physiol 1999; 517: 633-642.

KARVONEN M, KENTALA K, MUSTALA O:

The effects of training heart rate: a longitudinal study.
Annales Medicinal Experimental et Biologiae Fenniae 1957; 35: 307-315.

KASPER H:

Ennährungsmedizin und Diätetik.
München: Urban & Fischer 2000; 8.

KATZMARZYK PT, LEON AS, WILMORES JH:

Targeting the metabolic Syndrom with Exercise: Evidence from the
HERITAGE Family Study
Med Sci Sports Exerc 2003; 35: 1703-1709.

KELLEY G:

Dynamic resistance exercise and resting blood pressure in adults.

J Appl Physiol 1997; 82 (5): 1559-1565.

KELLER-KREUZER H:

Anaerobe Belastbarkeit von Kindern mit unterschiedlicher sportlicher Aktivität im Alter von 6-14 Jahren unter besonderer Berücksichtigung des Laktatverhaltens.

Inaug. Diss. (Dr. phil.) Justus-Liebig Universität.

Gießen 1993.

KEUL J, DOLL E, KEPPLER D:

Muskelstoffwechsel. Die Energiebereitstellung im Skelettmuskel als Grundlage seiner Funktion.

München: Barth 1969.

KEUL J, KINDERMANN W, SIMON G:

Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik.

Leistungssport 1978; 8: 22-32.

KEUL J, DICKHUT A, BERG M, LEHMANN G:

Der Einfluß eines fünfjährigen Ausdauertrainings auf Kreislauf und Stoffwechsel bei Kindern.

Dtsch Zschr Sportmed 1982; 33: 264-270.

KEUL J, KINDERMANN W, SIMON G, REINDELL H:

Anpassungserscheinungen durch Schul- und Leistungssport im Kindesalter.

Sportwissenschaft 1988; 8: 222-234.

KÄHLER WM:

SPSS^x für Anfänger.

Braunschweig Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn 1986.

KIENS B, ESSEN-GUSTAVSSON B, CHRISTENSEN NJ, SALTIN B:

Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in men: effect of endurance training.

J Phys 1993: 469–475.

KILLICH C:

Anwendung und Bewertung ausgewählter Untersuchungsverfahren zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Biathlon-Nachwuchsbereich.

Dissertation (Dr. phil.) Justus-Liebig Universität.

Gießen 2001.

KIM JH:

Die PWC 170 im Kindes- und Jugendalter (7-18 Jahre) und ihre Bedeutung für den Schul- und Vereinssport.

Inaugural-Dissertation (Dr. phil.) Justus-Liebig Universität.

Gießen 1994.

KINDERMANN W:

Metabolische Acidose.

Fortschr Med 1978; 96: 221-226.

KINDERMANN W:

Zur Belastungs- und Anpassungsfähigkeit des Kindes im Breiten- und Leistungssport.

In: Nowacki PE, Böhmer D (Hrsg.):

Sportmedizin-Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit.

Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongreß, Bad Nauheim 1978.

Stuttgart New York: Thieme Verlag 1980: 46-56.

KINDERMANN W:

Ergometrie-Empfehlungen für die ärztliche Praxis, Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongreß.

Dtsch Zschr Sportmedizin 1987; 40: 244-268.

KINDERMANN W, HUBER G, KEUL J, REINDELL H:

Aerobe Kapazität bei Kindern und Jugendlichen in Beziehung zum Erwachsenen.
Sportarzt und Sportmed 1975;26: 112-115.

KIRCHHOFF H, REINDELL H, GEBAUER A:

Untersuchungen über die Sauerstoffaufnahme, Kohlensäureabgabe, das Atemminutenvolumen, Atemäquivalent und den respiratorischen Quotienten während körperlicher Belastung bei Normalpersonen und Hochleistungssportlern.
Dtsch Arch Klein Med 1956; 203: 423-447.

KINDERMANN W:

Kann körperliches Training den Blutdruck senken?
Cardiovasc 2003; 3 (4): 34-40.

KINDERMANN W:

Standards der Sportmedizin; Anaerobe Schwelle.
In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2004; 55: 161.

KLEMT U, ROST R:

Normalwerte kindlicher Leistungsfähigkeit.
In: Rost R, Starischka S (Hrsg.):
Das Kind im Zentrum interdisziplinärer sportwissenschaftlicher
Forschung.
Erlensee 1986; 193-203.

KLIMT F, VOIGT GB:

Investigation on the standardization of ergometry in children.
Acta paediat. Scan 1971; Suppl. 217: 35-36.

KLIMT F:

Zur Registrierung der Vital- und Sekundenkapazität bei Kindern.
Kinderarzt 1975; 6: 1307-1317.

KLIMT F:

Die sportliche Belastbarkeit bei Kindern und Jugendlichen aus internistischer Sicht.

Der Kassenarzt 1984; 24: 33-34.

KNIPPING HW:

Beitrag zur Technik der Gasstoffwechseluntersuchung.

Zschr f d ges exper Med 1925; 47: 1-3.

KNIPPING HW:

Die klinische Gasstoffwechseluntersuchung.

Shanghai:Tung-Chi, Med. Monatsschrift 1926; 2: 55-60.

KNIPPING HW:

Beitrag zur gasanalytischen Technik in der Medizin.

Zschr f d ges exper Med 1926; 53: 1-16.

KNIPPING HW:

Zur Technik der langdauernden experimentellen und klinischen Gasstoffwechseluntersuchungen.

Zschr f d ges exper Med 1927; 57: 433-439.

KNIPPING HW:

Ergebnisse der Stoffwechseluntersuchung für die Klinik.

Klin Wschr 1928; 17: 49-52.

KNIPPING HW:

Ergebnisse der Ergographie in der Klinik. Arbeitsinsuffizienz von Herz und Kreislauf.

Klin Wschr 1938; 17: 1457-1460.

KNIPPING HW, MONCRIEFF A:

The ventilatory equivalent für oxygen.

Quart J Med 1932; 1: 17.

KNIPPING HW, HOLLMANN W:

Beurteilung der menschlichen Leistungsfähigkeit.

In: Heiss F (Hrsg.):

Praktische Sportmedizin.

Stuttgart: Enke Verlag 1964.

KÖNIG K, REINDELL H, KEUL J, ROSKAMM H

Untersuchungen über das Verhalten von Atmung und Kreislauf im

Belastungsversuch bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 10-19 Jahren.

Int Z angew Physiol 1961; 18: 393-434.

KOMI PV:

Strength and Power in Sport.

Oxford: Blackwell Scientific Publikations 1992.

KOMI PV, BOSCO C:

Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women.

Medicine and Science in Sports 1978; 10: 261–265.

KOPP M:

Analyse der Sportmedizinischen Untersuchungssysteme in der Bundesrepublik Deutschland.

Dissertation (Dr. phil) Justus-Liebig Universität.

Gießen 1980.

KRAUSE R:

Die Maximale Sauerstoffaufnahme als Kriterium der cardiopulmonalen Leistungsfähigkeit.

Dissertation Medizinische Akademie.

Lübeck 1971.

KREUTER P:

Körperliches und kardiovaskuläres Leistungsvermögen von Schülern des 11. bis 15. Lebensjahres der hessischen Gesamtschule Busecker Tal in Abhängigkeit von der sportlichen Aktivität.

Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig Universität.
Gießen 2007.

**KULAPUTANA O, MACKO RF, GHIU I, PHARES DA, GOLDBERG AP,
HAGBERG JM:**

Human gender differences in fibrinolytic responses to exercise training and their determinants.

Exp Physiol 2005; 90: 881–887.

LANG K, RANKE O:

Stoffwechsel und Ernährung.

Berlin: Springer Verlag 1950.

LEHMANN M, KEUL J:

Katecholaminausscheidung und Katecholaminblutspiegel
bei verschiedenen Belastungen.

In: Nowacki PE, Böhmer D (Hrsg.):

Sportmedizin-Aufgaben und Bedeutung für den Menschen unserer
Zeit.

Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongress, Bad Nauheim 1978.

Stuttgart: Thieme Verlag 1980; 99-103.

LEITNER K:

Körperliche Aktivität beim kardiovaskulären Risikopatienten.

J Hyperton 2007; 11 (S1): 23-25.

LEVINE JA, KOTZ CM:

Role of non exercise activity thermogenesis in obesity.

Minnesota medicine 2005; 88 (9): 54-57.

LIESEN H:

Training konditioneller Fähigkeiten in der Vorbereitungsperiode.

Fußballtraining 1983; 1: 11-14.

LIESEN H, MADER A, HECK H, HOLLMANN W:

Die Ausdauerleistungsfähigkeit bei verschiedenen Sportarten unter besonderer Berücksichtigung des Metabolismus:

Zur Ermittlung optimaler Belastungsintensität im Training.

Leistungssport 1977; 9: 63-92.

LIESEN H, LUDEMANN E, SCHMENGLER D, FÖHRENBACH R, MADER A:

Trainingssteuerung im Hochleistungssport: Einige Aspekte und Beispiele.

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 1985; 36: 8-18.

LÜBS ED, HARTMANN U:

Vergleichende Untersuchungen über die Beeinflussung spiroergometrischer Parameter durch ein fünfwöchiges Ausdauertraining bei intra- und postpubertalen Jugendlichen.

In: Nowacki PE, Böhmer D (Hrsg.):

Sportmedizin - Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit.

Kongressbericht 26, Deutscher Sportärztekongreß Bad Nauheim 1978.

Stuttgart New York: Thieme Verlag 1980; 79-82.

LOWELL BB, SPIEGELMANN BM:

Towards a molecular understanding of adaptive thermogenesis.

Nature 2000; 404: 652-660.

MAES HH, NEALE MC, EAVES LJ:

Genetic and environmental factors in relative bodyweight and human adiposity.

Behaviour Genetics 1997; 27: 325-351.

**MALIK S, WONG ND, FRANKLIN SS, KAMATH TV, L´HALIEN GJ,
PIO JR, WILLIAMS GR:**

Impact of the metabolic syndrome on mortality from coronary heart disease,
cardiovascular disease and all causes in US adults.

Circulation 2004; 110: 1245–1250.

**MALENFANT P, TREMBLAY A, DOUCET É, IMBEAULT P,
SIMONEAU JA, JOANISSE DR:**

Elevated intramyocellular lipid concentration in obese subjects
is not reduced after diet and exercise training.

Am J Physiol Endocrinol Metab 2001; 280: 632–639.

McARDLE W, KATCH F, KATCH V:

Exercise Physiology.

Energy, Nutrition and Human Performance.

Baltimore: Williams & Williams 1996;4.

MADER A:

Eine Theorie zur Berechnung der Dynamik und des steady state von
Phosphorylierungszustand und Stoffwechselaktivität der Muskelzelle
als Folge des Energiebedarfs.

Habilitationsschrift Deutsche Sporthochschule.

Köln 1984.

MADER A:

Energiestoffwechselregulation, Erweiterungen des
theoretischen Konzepts und seiner Begründungen – Nachweis
der praktischen Nützlichkeit der Simulation des Energiestoffwechsels.

In: Mader AH (Hrsg): Computersimulation. Möglichkeiten
zur Theoriebildung und Ergebnisinterpretation.

Brennpunkte der Sportwissenschaft 1994; 8: 124-162.

**MADER A, LIESEN H, HECK H, PHILIPPI H, ROST R, SCHÜRCH P,
HOLLMANN W:**

Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor.
Sportarzt und Sportmedizin 1976; 27: 80-88 und 109-112.

MADER A, HECK H, FÖHRENBACH R, HOLLMANN W:

Das statische und dynamische Verhalten des Laktats und des
Säure-Basen-Status im Bereich niedriger bis maximaler Azidosen
bei 400- und 800-m-Läufern bei beiden Geschlechtern nach Belastungsabbruch.
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 1979; 30(8): 203-211 und 249-261.

MADER A, HECK H:

Möglichkeiten und Aufgaben in der Forschung und Praxis
der Humanleistungsphysiologie.
Spectrum der Wissenschaften 1991; 3: 5-54.

MALINA RM, BOUCHARD C:

Growth, Maturation and Physical Activity.
Champaign, Illinois: Human Kinetics Books 1991.

MATZDORFF P:

Untersuchung über die Entwicklung der maximalen kardiozirkulatorischen und
kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit von männlichen Schulsportlern,
Freizeitsportlern und Wettkampfsportlern im Alter von 14,0 – 17,9 Jahren.
Inaugural-Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität.
Gießen 1984.

Mc ARDLE W, KATCH F, KATCH V:

Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance.
Baltimore;Williams & Wilkins 1996; 4.

MEDAU HJ, NOWACKI PE:

Die ergometrische Belastung von Frauen.
Ein Modell zur besseren Leistungsbeurteilung.
Therapiewoche 1984; 34: 3873-3875.

MEDAU HJ, NOWACKI PE, AVENHAUS H:

Die Beurteilung des Sportherzens im Wandel der Zeiten.
Medwelt 1988; 39: 13-23.

MEDAU HJ, NOWACKI PE:

Frau und Sport IV
Die olympischen Disziplinen der Frau im Sport.
(Erstes gesamtdeutsches Sportmedizinisches Symposium in Coburg 1990).
Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 41.
Erlangen: Perimed 1992.

MELLEROWICZ H:

Herz- und Blutkreislauf beim Sport.
In: Arnold A. (Hrsg.): Lehrbuch der Sportmedizin.
Leipzig Barth 1956; 129-189.

MELLEROWICZ H:

Vergleichende Untersuchungen über das Ökonomieprinzip in
Arbeit und Leistung des trainierten Kreislaufs und seine
Bedeutung für die präventive und rehabilitative Medizin.
Arch Kreislauff 1956; 24: 70-176.

MELLEROWICZ H:

Ergometrie: Grundriss der medizinischen Leistungsmessung.
München Wien Berlin Baltimore: Urban & Schwarzenberg 1962; 1.
München Wien Berlin Baltimore: Urban & Schwarzenberg 1975; 2.
München Wien Berlin Baltimore: Urban & Schwarzenberg 1979; 3.

MELLEROWICZ H:

Trainingsmaß und Leistungszuwachs.

In: Hanekopf G (Hrsg.):

Kongressbericht des XVI. Weltkongreß für Sportmedizin.

Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1967.

MELLEROWICZ H:

Der Kreislauf des Jugendlichen bei Arbeit und Sport.

Basel München Paris: Karger 1981; 2..

MELLEROWICZ H:

Standardisierung in der Ergometrie.

In: Mellerowicz H, Franz IW (Hrsg.):

Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.

Erlangen: Perimed 1983; 81-86.

MELLEROWICZ H, LERCHE D:

Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung
der Leistungsfähigkeit Jugendlicher.

Int Z angew Physiol einschl Arbeitsphysiol 1959; 17: 459-468.

MELLEROWICZ H, NOWACKI PE:

Vergleichende Untersuchungen von Atem- und Kreislauffunktionen
bei physikalisch gleicher ergometrischer Arbeit im Stehen, Sitzen
und Liegen.

Z Kreislaufforschg 1961; 50: 1002-1014.

**MELLEROWICZ H, REINDELL H, HOLLMANN W, MIES H,
ROSKAMM H:**

Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistung.

Z Kreislaufforschg 1961; 50: 273-281.

MELLEROWICZ H, HANSEN G:

Sauerstoffkapazität und andere spiroergometrische Maximalwerte der Ruderolympiasieger im Vierer mit Steuermann vom Berliner Ruder-Club.

Sportarzt und Sportmed 1965; 16: 188-191.

MELLEROWICZ H, JOKL E, HANSEN G:

Ergebnisse der Ergometrie. COR – Beiträge zur Kardiologie.

Erlangen: Perimed 1975; 1.

Erlangen: Perimed 1983; 2.

MELLEROWICZ H, FRANZ IW:

Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.

Erlangen: Perimed 1983.

MELLEROWICZ H, WELLER W:

Training.

Berlin Heidelberg New York Tokyo: Springer Verlag 1984; 5.

MESTER J:

Zur sportartspezifischen Diagnostik im Bereich der Sinnesorgane unter besonderer Berücksichtigung des visuellen Systems – Dargestellt am Beispiel des Tennis, des Skilaufs und des Ruderns.

Habilitationsschrift Universität.

Bochum 1984.

MEYER T, GABRIEL HHW, KINDERMANN W:

Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂ max. HR max. adequate?

Med Sci Sports Exerc 1999; 31: 1342-1345.

MOHAMMED MFI:

Die Entwicklung des Sportmedizinischen Leistungsprofils
im Deutschen Fußballsport.

Dissertation (Dr. phil) Justus-Liebig-Universität.

Gießen 1999.

**MORO C, PILLARD F, DE GLISEZINSKI I, HARANT I, RIVIERE D,
STICH V, LAFONTAN M, CRAMPES F, BERLAN M:**

Training enhances ANP lipid-mobilizing action in adipose tissue of
overweight men.

Med Sci Sports Exerc 2005; 37: 1126 – 1132.

MEYER T:

Standards der Sportmedizin; Der Respiratorische Quotient (RQ).

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2003; 54: 29.

NEUMANN G:

Leistungsstruktur in den Ausdauersportarten aus sportmedizinischer
Sicht.

Leistungssport 1990; 20: 14-20.

NEUMANN G, SCHÜLER KP

Sportmedizinische Funktionsdiagnostik.

Leipzig Berlin Heidelberg: Barth 1989.

NEUMANN G, SCHÜLER KP:

Sportmedizinische Funktionsdiagnostik. Sportmedizinische Schriftenreihe, Bd. 29.

Barth, Leipzig Berlin Heidelberg, 2. Auflage, 1994.

NICKEL A:

Experimentelle Untersuchungen und kritische Analyse des Punktes der optimalen Wirkung der Atmung (POW) nach HOLLMANN und seine Beziehungen zur 4 mmol/l Laktatschwelle.

Inaug. Diss. (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität.
Gießen 1992.

Ning Wu:

Ambulante kardiale Rehabilitation in Deutschland unter Berücksichtigung der Langzeitergebnisse bei der Giessener Herzsportgruppe als Modell für die gesundheitspolitische Strategie zur Bekämpfung der Koronaren Herzkrankheit (KHK) in China

Inaugural Dissertation (Dr. phil.) Justus-Liebig-Universität.
Giessen 2007.

NÖCKER J:

Physiologie der Leibesübungen.

Stuttgart: Enke Verlag 1964; 1.

Stuttgart: Enke Verlag 1976; 3.

Stuttgart: Enke Verlag 1980; 4.

NOWACKI NS:

Entwicklung des sportmedizinischen Leistungsprofils beim Skilanglauf in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht.

Dissertation (Dr. med.) Christian-Albrechts-Universität.
Kiel 1998.

NOWACKI NS, NOWACKI PE, RIECKERT H, SCHNORR RP:

Development of aerobic capacity of children and youths engaged in high performance sports.

Int J Sports Med 1996; 17 Suppl 1: 50.

NOWACKI PE:

Die Bedeutung des Ventilations-RQ bei ergometrischer Leistung.

In: Mellerowicz H, Hansen G (Hrsg.):

I. Internationales Seminar der Ergometrie.

Berlin: Ergon Verlag 1965; 92-97.

NOWACKI PE:

Die Spiro-Ergometrie im neuen Untersuchungssystem
für den Spitzensport.

Leistungssport 1971; 2: 37-51.

NOWACKI PE:

Funktionsdiagnostik der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit.

Der Kassenarzt 1973; 13: 77-94.

NOWACKI PE:

Die Objektivierung der körperlichen und kardiopulmonalen
Leistungsfähigkeit mit einfachen und komplizierten Methoden.

Physiotherapie 1974; 65 (10): 1-12.

NOWACKI PE:

Möglichkeiten der medizinischen Leistungsdiagnostik.

In: DSB, Bundesausschuß Leistungssport (Hrsg.):

Informationen zum Training. Medizinische Betreuung des
Leistungssportlers in Training und Wettkampf.

Beiheft zum Leistungssport 1975; 3: 77-119.

NOWACKI PE:

Kardiopulmonale Leistungsprüfung.

In: DSB, Bundesausschuss Leistungssport (Hrsg.):

Informationen zum Training. Das sportmedizinische
Untersuchungssystem.

Beiheft zum Leistungssport 1975; 4: 65-85.

NOWACKI PE:

Die Bedeutung des Ventilations-RQ bei ergometrischer Leistung.

In: Mellerowicz H, Jokl E, Hansen G (Hrsg.):

Ergebnisse der Ergometrie.

Erlangen: Perimed 1975; 167-171.

NOWACKI PE:

Sportmedizinische und leistungsphysiologische Aspekte des Ruderns.

In: Adam K., Lenk H, Nowacki PE, Rulffs M, Schröder W (Hrsg.):

Rudertraining.

Bad Homburg v.d.H: Limpert 1977; 251-615.

NOWACKI PE:

Beurteilung körperlicher und biologischer Leistungsfähigkeit bei
Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher schulsportlicher Aktivität.

Therapiewoche 1978; 28: 5402-5424.

NOWACKI PE:

Luftdruck, Temperatur und sportliche Leistung.

Medizinische Aspekte des Höhentrainings.

Therapiewoche 1978; 29: 5479-5500.

NOWACKI PE:

Das Atemäquivalent bei ergometrischer Leistung.

In: Mellerowicz H (Hrsg.): Ergometrie: Grundriss der medizinischen
Leistungsmessung.

München Wien Baltimore: Urban & Schwarzenberger 1979; 3: 242-252.

NOWACKI PE:

CO₂ Bildung und respiratorischer Quotient bei ergometrischer Leistung.

In: Mellerowicz H (Hrsg.): Ergometrie: Grundriss der medizinischen
Leistungsmessung.

München Wien Baltimore: Urban & Schwarzenberger 1979; 3: 257-274.

NOWACKI PE:

Neue Aspekte der körpergewichtsbezogenen Fahrrad- und Laufbandergometrie für den Leistungs-, Breiten- und Rehabilitationssport. In: Kindermann W, Hort W (Hrsg.): Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport.

Gräfelfing: Demeter 1981; 255-267.

NOWACKI PE:

CO₂ production and respiratory quotient in ergometric performance.

In: Mellerowicz, H, Smodlaka VN, (Hrsg.): Ergometry.

Baltimore München: Urban & Schwarzenberg 1981; 229-242.

NOWACKI PE:

The ventilatory equivalent in ergometric performance.

In: Mellerowicz, H, Smodlaka VN, (Hrsg.): Ergometry.

Baltimore München: Urban & Schwarzenberg 1981; 243-258.

NOWACKI PE:

Frau und sportliche Leistung – begrenzende kardiale Faktoren.

In: Medau HJ., Nowacki PE, (Hrsg.): Frau und Sport. Die Bedeutung der Gymnastik – Sportmedizinische und sportwissenschaftliche Aspekte. Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 19.

Erlangen: Perimed 1983; 30-53.

NOWACKI PE:

Chronische Kreislauf-Krankheiten und Sport.

In: Lübs ED, (Hrsg.): Chronische Erkrankungen und Sport. Beiträge zur Sportmedizin Bd. 18.

Erlangen: Perimed 1983; 18: 26-51.

NOWACKI PE:

Zur Standardisierung der Laufbandergometrie.

In: Mellerowicz H, Franz IW (Hrsg.):

Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.

Erlangen: Perimed 1983; 259-278.

NOWACKI PE:

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik.
Therapiewoche 34; 25; 1984: 3829-3830.

NOWACKI PE:

Training und Sport als Mittel der präventiven Medizin in der technisierten Umwelt.
In: Franz IW, Mellerowicz H, Noack W, (HG.): Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt.
Berlin Heidelberg New York Tokio: Springer Verlag 1985; 28-41.

NOWACKI PE:

Unterschiede und Entwicklungen der maximalen biologischen Leistungsfähigkeit sport- und nicht sporttreibender Kinder und Jugendlicher.
In: Rieckert H. (Hrsg.): Sportmedizin-Kursbestimmung.
Berlin Heidelberg New York London Paris Tokio:
Springer Verlag 1987; 74-84.

NOWACKI PE:

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik.
In: Eberpächer (Hrsg.): Handlexikon Sportwissenschaft.
Reinbek: Rowohlt Verlag 1987; 1: 237-246.
Reinbek: Rowohlt Verlag 1989; 2: 237-246.

NOWACKI PE:

Trainingssteuerung.
In: Eberspächer (Hrsg.): Handlexikon Sportwissenschaft.
Reinbek: Rowohlt Verlag 1992; 2: 504-507.

NOWACKI PE:

Biologische Leistungsfähigkeit von Eliteruderern und sportmedizinische Testverfahren in der erfolgreichen Ära von Karl Adam.

In: Steinacker JM, (Hrsg.): Rudern. Sportmedizinische und sportwissenschaftliche Aspekte.

Berlin Heidelberg New York London Tokyo: Springer Verlag 1988; 128-132.

NOWACKI PE:

Festschrift. 75 Jahre Sportmedizin an der Universität Gießen. 35 Jahre erlebte und gestaltete Sportmedizin. Gießener Sportmedizinisches Symposium 1994.

„Stellenwert der Sportmedizin im Therapiekonzept innerer Erkrankungen“. 23./24.

September 1994, Lehrstuhl für Sportmedizin.

Justus-Liebig-Universität.

Gießen 1994.

NOWACKI PE, SCHMID E:

Über die sympathicoadrenale Reaktion im Training und Wettkampf bei verschiedenen Sportarten.

Med Welt 1970; 21: 1682-1688.

NOWACKI PE, ADAM K, KRAUSE R, RITTER U:

Die Spiro-Ergometrie im neuen Untersuchungssystem für den Spitzensport.

Leistungssport 1971; 1: 37-51.

NOWACKI PE, KRAUSE R, RITTER U:

Die Rolle der Spiroergometrie im neuen System der sportmedizinischen Untersuchungen für den Spitzensport im Bereich der Bundesrepublik Deutschland.

In: Börger, P, Deutscher Judo-Bund (Hrsg.): Intern. Sport-Ärzte-Kongreß 30.08.1971 während der Judo-Weltmeisterschaften in Ludwigshafen, Kongressbericht 1971; 1-19.

NOWACKI PE, KRAUSE R, ADAM K, RULFFS M:

Über die cardio-pulmonale Leistungsfähigkeit des Deutschlandachters vor seinem Olympiasieg 1968.
Sportarzt und Sportmed. 1971; 22: 227-229.

NOWACKI PE, ROSENTHAL P, VÖLPEL HJ:

Vergleichende kardiorespiratorische Funktionsprüfung bei erfolgreichen jugendlichen Handballspielerinnen und Wettkampfruderern bei maximaler Ausbelastung auf dem Laufband- und Fahrradergometer nach der W/kg-Methode.
In: Nowacki PE, Böhmer D, (Hrsg.): Sportmedizin – Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit.
Stuttgart New York: Thieme Verlag 1980; 479-481.

NOWACKI PE, DE CASTRO P:

Development of the biological performance of German National Teams (FRG; Juniors and Professionals).
In: Bachl, N., Prokop L, Suckert R, (Eds.): Current topics in Sports Medicine.
Wien München Baltimore: Urban & Schwarzenberg 1984; 560-575.

NOWACKI PE, HAFERMANN P, KERN A, MÜLLER GH:

Körperliche und biologische Leistungsfähigkeit von Sporttauchern.
Therapiewoche 1984; 25: 3908-3915.

NOWACKI PE, HAFERMANN P, PSIORZ P:

Sportmedizinisches Leistungsprofil einer Bundesligamannschaft.
Therapiewoche 1984; 34: 3893-3903.

NOWACKI PE, SCHÄFER D:

Die Physical Working Capacity (PWC 170) bei körpergewichtsbezogener Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und ihre Bedeutung als Leistungsparameter in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Sportart.
Therapiewoche 1984; 34: 3835-3853.

NOWACKI PE, BRAUN W, HAFERMANN P,

WASMUND-BODENSTEDT U:

Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit von 7 und 8 Jahre alten Jungen und Mädchen.

Therapiewoche 1984; 34; 3854-3867.

NOWACKI PE, ALEFELD G:

Training und Sport als Mittel der präventiven Medizin in der technisierten Umwelt.

Medwelt 1985; 36: 886-894.

NOWACKI PE, MEDAU HJ, BUHL C:

Der Stellenwert der nichtolympischen Sportarten für die Frau aus sportmedizinischer Sicht.

In: Medau HJ., Nowacki PE, (Hrsg.): Frau und Sport III. Die Bedeutung der nichtolympischen Disziplinen für die sporttreibende Frau. Beiträge zur Sportmedizin. Erlangen: Perimed 1988; 23: 76-107.

NOWACKI PE., CAI DY, BUHL C, KRÜMMELBEIN U:

Biological performance of german soccer players (Professionals and Juniors) tested by special ergometry and treadmill methods.

In: Reilly T, Lees A, Davids K, MURPHY WJ, (Eds.): Science and Football.

London New York: E.& F.N. Spon 1988; 145-157.

NOWACKI PE, SCHULZE I, NOWACKI NS:

Längsschnittuntersuchungen zur biologischen Entwicklung von Skilangläufern vom Schüler- bis zum Erwachsenenalter - eine kritische Zehnjahresstudie.

In: Bernett P, Jeschke D, (HG.): Sport und Medizin Pro und Contra. Kongressband 32. Deutscher Sportärztekongreß München 1990.

München Bern Wien San Francisco: Zuckschwert 1991; 629-634.

NOWACKI PE, SCHULZE I, NOWACKI NS:

Longitudinal Examination of Biological Development of Cross-Country Skiers. Ranking in Age from School Children to Adults – a Critical 10-Year Study.

Int J Sports Med 1991; 12: 108.

NOWACKI PE, KIRCHNER M, SCHNORR RP:

Sportmedizinisches Leistungsprofil von Squashspielern aus unterschiedlichen Spielklassen (Kreisklasse-Bundesliga) im Vergleich zu anderen Sportarten.

In: Bernett P, Jeschke D, (HG.): Sport und Medizin. Pro und Contra. 32. Deutscher Sportärztekongress München 1990.

München Bern Wien San Francisco: Zuckschwerdt 1991; 434-437.

NOWACKI PE, MEDAU HJ:

Olympische Disziplinen der Frau - Sportmedizinische Leistungsprofile.

In: Medau HJ, Nowacki PE, (Hrsg.): Frau und Sport IV .Die olympischen Disziplinen der Frau im Sport. (Erstes gesamtdeutsches Sportmedizinisches Symposium in Coburg 1990). Beiträge zur Sportmedizin.

Erlangen: Perimed 1992; 41: 37-83.

NOWACKI PE, KRÜMMELBEIN U, PREUSS M:

Laktatverhalten von Fußballspielern in Training und Wettkampf im Vergleich zur maximalen Laktatazidose bei der Fahrrad- und Laufbandspiroergometrie.

In: Kuhn W, Schmidt W, (Hrsg.): Analyse und Beobachtung in

Training und Wettkampf. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft.

Sankt Augustin: Academia 1992; 47: 33-55.

NOWACKI PE, PREUHS M:

The influence of a special endurance training on the aerobic and anaerobic capacity of soccer players tested by the soccer treadmill methods.

In: Reilly T, Clarys J, Stibbe A (ED.):

Science and Football II.

London: E & FN Spon 1993; 86-94.

NOWACKI PE, KELLER H, MEDAU HJ, NOWACKI NS, SCHÖLL J:

Maximal oxygen pulse in relation to age, gender, kind of sport and training. 9th European Congress of Sports Medicine Portugal 1997.
Program and Abstract Book, Porto 1997.

NOWACKI PE, VATER HH:

Die körperliche und koordinative Leistungsfähigkeit alpiner Skifahrer verschiedener Fertigkeiten-Niveaus.

In: Schoder G; (Hrsg.): Skilauf und Snowboard in Lehre und Forschung, Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Skilauf an Hochschulen.
Hamburg: Czwalina 1998; 12: 91-123.

NOWACKI PE, KELLER H, MOHAMMED MF, NOWACKI NS:

Biological development and physiological performance of German soccer players from F-youth (6.0-7.9 years) to senior league.
Fifth IOC World Congress Sydney, Australia, 1999.
Book of Abstracts 1999:13.

NOWACKI NS:

Entwicklung des sportmedizinischen Leistungsprofils bei Skilanglauf in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht
Inaugural Dissertation (Dr. med.) Christian-Albrechts-Universität,
Kiel 1998.

PAVLOU K, KREY S, STEFFEE W:

Exercise as an adjunct to weight loss and maintenance in moderately obese subjects.
Am J Clin Nutr 1989; 49: 1115-23.

PILEGAARD H:

Distribution of lactate/H⁺ transporter isoforms MCT1 and MCT4 in human skeletal muscle

Am J Physiol 1999; E843-E848

PIRNAY F, CRIELAARD JM:

Anaerobic and aerobic power of top athletes.

European Journal appl Physiologie 1981; 47: 295-300.

POLLOCK ML:

Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes.

J Appl Physiol 1987; 62, 2: 725 – 745.

PREUH M:

Die Bedeutung des sportspezifischen Ausdauertrainings für die aerobe und anaerobe Kapazität von Fußballspielern.

Inaugural Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität, Gießen 1990.

PROKOP L:

Einführung in die Sportmedizin.

Stuttgart New York: Fischer 1979.

PROKOP L:

Kinder-Sportmedizin.

Stuttgart New York: Fischer 1986.

PY G:

Impaired sarcolemmal vesicle lactate uptake and skeletal muscle MCT1 and MCT4 expression in obese Zucker rats.

Am J Physiol Endocrinol Metab 2001; 281: E1308-1315.

QIU M:

Sportmedizin

Beijing 1982

REINDELL H, KIRCHHOFF W:

Über kombinierte Funktionsprüfungen des Kreislaufes und der Atmung.

1. Mitteilung. Untersuchungen an Personen mit durchschnittlicher Leistungsbreite und Hochleistungssportlern.

Dtsch Med Wsch 1956; 81: 592.

REINDELL H, KIRCHHOFF KW, MUSSHOFF K, KLEPZIG H:

Das Sauerstoffäquivalent, ein Maßstab für die Beurteilung von Herz und Kreislauf.

Verh Dtsch Ges Kreisf-Forsch 1956; 22: 108.

REINDELL H, KIRCHHOFF KW:

Über kombinierte Funktionsprüfungen des Kreislaufs und der Atmung.

1. Mitteilung Untersuchungen an Personen mit durchschnittlicher Leistungsbreite und Hochleistungssportlern.

Dtsch Med Wschr 1956; 81: 592.

REINDELL H, KLEPZIG H, MUSSHOFF K, KIRCHHOFF HW,

STEIM H, MOSER F, FRISCH P:

Neuere Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Größe und Leistungsbreite des gesunden menschlichen Herzens, insbesondere des Sportherzens.

Dtsch. med. Wschr 1958; 82: 613-619.

REINDELL H, MUSSHOFF K, KLEPZIG H, STEIM H, FRISCH P, METZ G, KÖNIG

K:

Beitrag zur Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.

Münch Med Wschr 1958; 100: 765.

REINDELL H, KLEPZIG H, MUSSHOFF K:

Das Sporthertz.

In: Bergmann G. Frey W, Schwiek H; (Hrsg.): Handbuch der Inneren Medizin.
Berlin Göttingen Heidelberg: Springer 1960; 931-951.

REINDELL H, ROSKAMM H, GERSCHLER W:

Das Intervalltraining. Physiologische Grundlagen, praktische Anwendung und
Schädigungsmöglichkeiten. Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen
Sportbundes.

München: Barth; 4: 1962.

REINDELL H, MUSSHOFF K, KÖNIG K, GEBHARDT W, ROSKAMM H, KEUL J:

Volumen und Leistung des gesunden und des kranken Herzens.

Acta Med scand Suppl 1967; 472: 38.

REINDELL H, KÖNIG K, ROSKAMM H:

Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.

Stuttgart: Thieme Verlag 1967.

REINDELL H, ROSKAMM H:

Herzkrankheiten.

Berlin Heidelberg New York: Springer 1977.

REINDELL H, BUBENHEIMER P, DICKHUTH HH, GÖRNANDT L:

Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.

Stuttgart New York: Thieme Verlag 1988.

RIECKERT H:

Sport an der Grenze der menschlichen Leistungsfähigkeit.

Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo:

Springer Verlag 1981.

RIECKERT H:

Kreislauf.

In: Eberpächer H, (Hrsg.): Handlexikon Sportwissenschaft.

Reinbek: Rowohlt Verlag 1992; 204-218.

RIECKERT H, MARTEN B:

Prävention durch Kinder- und Jugendsport.

In: Banzer W, Hoffmann G (Hrsg.): Präventive Sportmedizin. Beiträge zur Sportmedizin.

Erlangen: Perimed 1990; 36: 135-153.

RIEST HJ:

Nordic Walking in der Rehabilitation nach Achillessehnenverletzungen- und Operationen.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 290.

RIPPE JM, WARD A, PORCARI DD, FREEDSON PS:

Walking for health and fitness.

JAMA 1988; 259: 2720-2724.

REUBER F:

Metabolische und kardiorespiratorische Reaktionen bei Gerätetauchern während maximaler Spiroergometrie und sportartspezifischer Tauchbelastung.

Dissertation (Dr. phil.) Justus-Liebig-Universität.

Gießen 1994.

ROBINSON S:

Experimental studies of physical fitness in relation to age.

Arbeitsphysiol 1938; 10: 251.

ROST R:

Hochleistung im Kindes- und Jugendalter aus kardiologischer Sicht.

In: Rieckert H. (Hrsg.):

Sport an der Grenze der menschlichen Leistungsfähigkeit.

Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo:

Springer Verlag 1981; 27-37.

ROST R, GERHARDUS H, HOLLMANN W:

Untersuchungen zur Frage eines Trainingseffektes bei Kindern im Alter von 8-10 Jahren im kardiopulmonalen System.

In: Nowacki PE, Böhmer D, (HG.): Sportmedizin-Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit

Stuttgart New York: Thieme Verlag 1980; 58-61.

ROST R, HOLLMANN W, HECK H, LIESEN H, MADER A:

Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen, Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren.

Stuttgart New York: Thieme Verlag 1982.

ROST R, HOLLMANN W:

Belastungsuntersuchung in der Praxis.

Stuttgart New York: Thieme Verlag 1982.

ROST R:

Sporttherapie bei Inneren Krankheiten.

Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1995.

RÖDER Y:

Metabolische und kardiale Parameter beim Alpinen Skilauf. Komparative Analysen zur Belastung von Freizeit-, Seniorenskiläufern und aktiven Skilehrern beim Feldtest mit differierenden Skitaillierungen und beim Labortest auf dem Abfahrtssimulator.

Aachen: Shaker 2002.

RUDACK P, MOOREN F, GRAFMEIER M, SULZER S, FROMME F, VÖLKER K:

Wertigkeit eines freigesteuerten Walkingtrainings in Bezug auf fitness- und gesundheitsrelevante Adaptationen.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 253.

RUDACK P:

Vergleich der kardiopulmonalen und metabolischen Belastungscharakteristik des Nordic Walking und Walkings – Konsequenzen für die Trainingssteuerung.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (HG.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 253.

RUTENFRANZ J, HETTINGER TH:

Untersuchungen über die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit von Lebensalter, Geschlecht und körperlicher Entwicklung.

Z Kinderheilk 1959; 83: 65-89.

SALE JE, McCARGER LJ, CRAWFORD SM, TAUNTON JE:

Effects of exercise modality on metabolic rate and body composition.

Clin J Sport Med 1995; 2: 88–107.

SALTIN B, ÅSTRAND PO:

Maximal oxygen uptake in Athletes

J of Appl Physiol 1967; 23: 353-358.

SAWELLION D:

Körperliches, Kardiozirkulatorisches, Kardiorespiratorisches und Metabolisches Leistungsvermögen von Kunstturnern im Vergleich zu anderen Sportarten.

Dissertation (Dr. phil). Justus-Liebig-Universität,

Gießen 2001.

SCHLEVOIGT ULD:

Sportmedizinisches Leistungsprofil von Handballspielerinnen der nationalen und internationalen Spitzenklasse.

Inaug. Diss. (Dr. med.), Justus-Liebig- Universität,
Gießen 2004.

SCHÖLL J:

Der Sauerstoffpuls als Sportmedizinische Leistungsgröße.

Inaugural Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität,
Gießen 1995.

SCHNORR RP:

Vergleichende allgemeine und sportartspezifische Leistungsdiagnostik von
StraßenradSportlern unter dem Aspekt der Leistungsprognose.

Inaugural Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität,
Gießen 1993.

SCHNORR RP, BRETZEL RG, MEDAU HJ, NOWACKI PE:

Neuroendokrine und sympathico-adrenerge Hormonregulation bei verschiedenen
Sportarten.

In: Medau HJ, Röthig P, Nowacki PE, (Hrsg.): Ganzheitlichkeit. Beiträge in Sport und
Gymnastik. Sportwissenschaftliche und sportmedizinische Aspekte.

Schorndorf: Hofmann 1996; 168-191.

SCHÖBER H, KRAFT W, WITTEKOPF G, SCHMIDT H:

Beitrag zum Einfluß verschiedener Dehnungsformen auf das muskuläre
Entspannungsverhalten des M. quadriceps femoris.

Med Sport 1990; 30(3): 88-91.

SCHULZ C:

Auswirkungen unterschiedlicher Trainingsformen –Kraft vs. Ausdauer- auf die Körper-Zusammensetzung und die körperlichen – kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit übergewichtiger Frauen.

Inaug. Diss. (Dr. med.), Justus-Liebig-Universität
Gießen 2007

SCHWARZ M, SCHWARZ L, UHRHAUSEN A, KINDERMANN W:

Standards der Sportmedizin; Walking.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 53: 292.

SHEPHARD RJ, ÅSTRAND PO(Hrsg.)

Ausdauer im Sport.

Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1993.

SJÖSTRAND T:

Clinical physiology.

Stockholm: Svenska Bokforlaget 1967.

SMODLAKA VN:

Use of the internal work capacity test in the evaluation of severely disabled patients.

J Chron Diseases 1972; 25; 345-352.

SMODLAKA VN, MELLEROWICZ H, HORAK J:

Revidierte Standardisierungsvorschläge für Ergometrie 1981. (Minimal- und Kompromissprogramm der Arbeitsgruppe für Ergometrie) ICSPE.

In: Mellerowicz HJ, FRANZ W (Hrsg.): Standardisierung, Kalibrierung und Methodik der Ergometrie.

Erlangen: Perimed 1983.

SNYDER AC, KAIPERS H, CHENG B, SERVAIS R, FRANSEN E:

Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen.

Med Sci Sports Exerc 1995; 27: 1063-1070.

SPECK CM:

Über den Einfluß der Muskeltätigkeit auf den Atemprozess.

Dtsch Arch klin Med 1889; 45: 461-528.

SPRING H, KUNZ HR, SCHNEIDER W, TRITSCHLER T, UNHOLD E:

Kraft, Theorie und Praxis.

Stuttgart: Thieme Verlag 1990.

STAADEN W:

Kardiozirkulatorische und pulmonale Reaktion trainierter und untrainierter Männer bei körpergewichtsbezogener Laufband- und Fahrrad-Ergometrie.

Inaugural-Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität,

Gießen 1980.

STEINHAUSEN D, ZÖRKENDÖRFER S:

Statistische Datenanalyse mit dem Programmsystem SPSS^x und SPSS/PC⁺.

München Wien: Oldenbourg 1990.

STEGEMANN J:

Leistungsphysiologie. Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports.

Stuttgart: Thieme Verlag 1991.

STEVENS J, CAI J, PAMUK ER, WILLIAMSON DF, THUN MJ,

WOOD JL:

The effect of age on the association between body-mass index and mortality.

N Engl J Med 1998; 338: 1 – 32.

STILGENBAUER S, REIßNECKER S, STEINACKER JM:

Standards der Sportmedizin; Herzfrequenzvorgaben für Ausdauertraining von Herzpatienten.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 54: 295.

STREICH N:

Plantare Druckverteilung im Nordic Walking.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 291.

SZÖGY A, BÖHMER D, AMBRUS P, LINZBACH B:

Fahrradergometrische Bestimmungen der anaeroben Kapazität bei jugendlichen Bahn-, Straßen- und Querfeldeinradrennfahrern.

Therapiewoche 1984; 34 (25): 3868-3870.

SZÖGY A, CHEREBETIU G:

Minutentest auf dem Fahrradergometer zur Bestimmung der anaeroben Kapazität, European Journal appl. Physiologie 1974; 33: 171-176.

THORWESTEN L:

Vergleichende plantare Druckverteilung beim Nordic Walking und Walking.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 215.

TINIAKOS GA:

Körperliche, kardiozirkulatorische und metabolische Leistungsfähigkeit

Von zypriotischen AthletenInnen verschiedener Sportarten im

Vergleich zu deutschen Sportlern.

Inaug: Diss. (Dr. phil.), Justus-Liebig-Universität.

Gießen 2001

TITTEL K:

Die Biotypologie und funktionelle Anatomie des Leistungssportlers.

Leipzig: Barth 1995.

TITTEL K, ARNDT KH, HOLLMANN W:

Sportmedizin gestern-heute-morgen. Sportmedizinische Schriftenreihe.

Leipzig Berlin Heidelberg: Barth 1993: 28.

VATER HH:

Das Konditionstraining jugendlicher alpiner Skirennläufer.
Diplomarbeit Deutsche Sporthochschule,
Köln 1986.

VATER HH:

Kardiorespiratorische und metabolische Parameter beim Alpinen Skilauf und beim
Tourenskilauf in einer kombinierten Labor- und Feldstudie.
In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 248.

VATER HH:

Präventions- und Rehabilitationssportart: Nordic Walking.
In: Buck G, (Hrsg.): Current congress, 111. Jahrestagung der Deutschen
Gesellschaft für Innere Medizin
Stuttgart: Thieme Verlag 2005; 4.

VATER HH:

Qualitative Untersuchungen der Schwungsteuerung im alpinen Skilauf auf
verschiedenen Qualifikationsniveaus. Ergebnisbericht.
Institut für Trainings- und Bewegungslehre, Deutsche Sporthochschule, Köln 1990.

VATER HH:

Qualitative und quantitative Untersuchungen zur Schwungsteuerung bei
Kurzschwüngen im alpinen Skilauf.
Dissertation (Dr. sportwiss.) Deutsche Sporthochschule,
Köln 1992.

VATER HH:

Quantitative und qualitative Analyse der Schwungsteuerung beim Alpinen Skilauf.
In: Schoder G, (Hrsg.): Skilauf und Snowboard in Lehre und Forschung.
Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Skilauf an Hochschulen.
Hamburg: Czwalina 1995;1 (11): 53-86.

VATER HH, RÖDER Y, VATER KU:

Skispezifischer Kraftausdauerterst auf dem Abfahrtssimulator.

In: Schoder G, (Hrsg.): Skilauf und Snowboard in Lehre und
Forschung. Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Skilauf an Hochschulen.

Hamburg: Czwalina 1995;1 (11): 125-141.

VÖLKER K:

Effekte eines 8-wöchigen Nordic Walking Trainings auf die Ausdauerleistungs- und
Krafftähigkeit Untrainierter.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 255.

WAHLUND H:

Determination of the physical working capacity. A physiological and clinical study
with reference to standardization of cardiopulmonary functional tests.

Acta med Scand Suppl 1948; 132: 5-78.

WASSERMANN K, WHIPP PJ, KOYL SN, WEAVER WL:

Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise.

J Appl Physiol 1973; 35: 236-243.

WASMUND U, NOWACKI PE:

Untersuchungen über Laktatkonzentrationen im Kindesalter bei verschiedenen
Belastungsformen.

Dtsch Zschr Sportmed 1978; 29: 66-75.

WASMUND-BODENSTEDT, U., NOWACKI PE, BRAUN W:

Zur Entwicklung der körperlichen und kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit bei
Mädchen und Jungen vom 7.-9. Lebensjahr.

Dtsch Zschr Sportmed 1983; 34: 375-384.

WETTICH P:

Kardiozirkulatorische und pulmonale Reaktion trainierter und untrainierter Männer bei körpergewichtsbezogener Laufband- und Fahrradergometrie.

Inaugural-Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität,
Gießen 1980.

WHITE AT, JOHNSON SC:

Physiological comparison of international, national and regional alpine Skiers.

International Journal of Sports Medicine 1991; 12: 374-378.

WILSON MC:

Lactic acid efflux from white skeletal muscle is catalyzed by the monocarboxylate transporter isoform MCT3.

J Biol Chem 1998; 273: 15920-15926.

WÜPPER C:

Energieumsatz beim Walking im Feld-Test –

Ein Vergleich zwischen Walking und Nordic Walking.

In: Braumann KM und Wissenschaftsrat der DGSP (Hrsg.):

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 56: 249.

WÜSTEN O:

Insulinresistenz im postprandialen Stoffwechsel bei metabolischem Syndrom.

Untersuchung der Glucosetoleranz nach oraler Fettaufnahme.

Inaugural Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität,

Giessen 1999

ZHAO Z:

Qualitative und quantitative kardiorespiratorische Reaktionen bei Trainierten in Abhängigkeit von international standardisierten fahrradspiroergometrischen Belastungsverfahren im Sitzen.

Inaugural Dissertation Johannes Gutenberg Universität,

Mainz 1995.

ZIMMER KR:

Vergleichende Fahrrad-Laufband-Spiroergometrie nach der 1 W/kg KG-Körpergewichts-Belastungsmethode.

Inaugural-Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität,
Gießen 1982.

ZUNTZ N, GEPPERT I:

Über die Regulation der Atmung.

Pflügers Arch Physiol 1889; 42.: 189-245.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.- Prof. Dr. med. P. E. Nowacki, der in Absprache mit Herrn Dr. med. Dr. sportwiss. H.-H. Vater, mir das Thema überlassen hat. Weiterhin danke ich für ihre wertvollen Hinweise bei der Abfassung der vorliegenden Dissertation und ihre stete Bereitschaft zum fachlichen Dialog.

Ebenso möchte ich mich herzlichst bei den sportmedizinischen Funktionsassistentinnen und Arzthelferinnen Frau Andrea Daude, Frau Andrea Reinbold und Frau Elif Ipek bedanken, die mich nicht nur bei der Durchführung sportmedizinischer Leistungstests tatkräftig unterstützten, sondern mich auch in das Team des Instituts für Prävention und Sportmedizin in der Klinik am Homberg um Dr. med. Dr. sportwiss. H.-H. Vater sehr zuvorkommend und in einem hohen Maß an Kollegialität eingebunden haben.

Bedanken möchte ich mich ebenso bei dem Geschäftsführer der Klinik am Homberg in Bad Wildungen, Herrn Michael Roth, so wie allen anderen Mitarbeitern, die diese Arbeit ermöglicht und unterstützt haben.

An dieser Stelle möchte ich auch dem freiwilligen Helfer an diesem Projekt, dem Vorsitzenden des Verbandes der Deutschen Physiotherapeuten und Physiotherapeut Herrn Frank Lehmann für die unverzichtbare tatkräftige praktische und theoretische Unterstützung bedanken.

Zu großem Dank bin ich auch dem Diplom-Mathematiker Herrn Prof. Dr. rer. nat. R. Matthes von der Studienakademie für Informatik-BA Nordhessen in Bad Wildungen für den exzellenten fachlichen Dialog und Beratung verpflichtet.

Zudem bin ich den Probanden, die sich an dieser Studie ehrgeizig und mit großem Einsatz beteiligt haben, und ohne die es nicht zur Realisierung dieses Projektes gekommen wäre, zu außerordentlichem Dank verpflichtet.

Löhlbach, August 2009

Christoph Nöchel

Ich erkläre:

„Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Christoph Nöchel