

**KARDIORESPIRATORISCHE UND METABOLISCHE
KENNGRÖSSEN
BEI ALPINEN SKILÄUFERN
WÄHREND
ERSCHÖPFENDER SPIROERGOMETRIE,
MAXIMALER SCHNELLIGKEITSAUSDAUER-
BELASTUNG
UND
SKISPEZIFISCHEM WINKELSPRUNGTEST**

**DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus – Liebig - Universität Gießen**

vorgelegt von

Diplom-Sportlehrer Dr. sportwiss.

Hans - Herbert Vater

aus

Bad Wildungen

Gießen 2003

**Aus der Professur für Sportmedizin
INSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT
MEDIZINISCHES ZENTRUM FÜR INNERE MEDIZIN
LEITER: Univ. - Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki**

des Universitätsklinikums Gießen

Gutachter: Univ. - Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki

Gutachter: PD Dr. med. Andreas Günther

Tag der Disputation: 13.10.2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung.....	S. 9
2	Methode.....	S. 12
2.1	Untersuchungsgut.....	S. 12
2.2	Untersuchungsbedingungen.....	S. 14
2.2.1	Klinisch-Sportmedizinische Untersuchung.....	S. 14
2.2.2	Sportmedizinische Leistungsdiagnostik.....	S. 15
2.2.2.1	Das 1 W/kg KG-Verfahren als Stufenbelastungstest.....	S. 15
2.2.2.2	Die erschöpfende Anaerobe Schnelligkeitsausdauerbelastung.....	S. 18
2.2.2.3	Die Fahrradspiroergometrie.....	S. 19
2.2.2.4	Der Skispezifische Winkelsprungtest auf Kontaktzeitmatten.....	S. 21
2.2.3	Messgrößen und Messmethoden.....	S. 24
2.2.3.1	Anthropometrische Messgrößen.....	S. 24
2.2.3.1.1	Alter.....	S. 24
2.2.3.1.2	Körpergröße.....	S. 24
2.2.3.1.3	Körpergewicht.....	S. 24
2.2.3.2	Kardiozirkulatorische Messgrößen.....	S. 24
2.2.3.2.1	Herzfrequenz.....	S. 24
2.2.3.2.2	Blutdruck.....	S. 24
2.2.3.3	Respiratorische Messgrößen.....	S. 24
2.2.3.3.1	Vitalkapazität.....	S. 24
2.2.3.3.2	Atemminutenvolumen.....	S. 24
2.2.3.3.3	Atemfrequenz.....	S. 24
2.2.3.3.4	Atemzugvolumen.....	S. 24
2.2.3.4	Kardiorespiratorische Kenngrößen.....	S. 25
2.2.3.4.1	Absolute Sauerstoffaufnahme.....	S. 25
2.2.3.4.2	Absolute Kohlendioxydabgabe.....	S. 25
2.2.3.4.3	Relative Sauerstoffaufnahme.....	S. 25

2.2.3.5 Kardiorespiratorische Quotienten	S. 25
2.2.3.5.1 Sauerstoffpuls.....	S. 25
2.2.3.5.2 Atemäquivalent.....	S. 25
2.2.3.5.3 Ventilations-Respiratorischer Quotient.....	S. 25
2.2.3.6 Metabolische Messgrößen	S. 25
2.2.3.6.1 Laktat.....	S. 25
2.2.3.7 Belastungsmessgrößen	S. 26
2.2.3.7.1 Belastungszeit.....	S. 26
2.2.3.7.2 Gesamtarbeit.....	S. 26
2.2.3.7.3 Absolute Wattstufe.....	S. 26
2.2.3.7.4 Relative Wattstufe.....	S. 26
2.2.3.7.5 Sprungfrequenz.....	S. 26
2.2.3.7.6 Kontaktzeit.....	S. 26
2.2.3.7.7 Sprungzeit.....	S. 26
2.2.3.7.8 Reaktivitätsindex.....	S. 26
2.3 Statistik	S. 27
2.4 Kritik an der Untersuchungsmethode	S. 29
3 Ergebnisse	S. 32
3.1 Vitalkapazität	S. 32
3.2 Ergebnisse des 1 W/kg KG–Verfahrens	S. 34
3.2.1 Herzfrequenz.....	S. 34
3.2.2 Blutdruck.....	S. 38
3.2.3 Atemminutenvolumen, Atemfrequenz und Atemzugvolumen.....	S. 39
3.2.4 Absolute Sauerstoffaufnahme.....	S. 43
3.2.5 Relative Sauerstoffaufnahme.....	S. 46
3.2.6 Sauerstoffpuls.....	S. 50
3.2.7 Atemäquivalent.....	S. 54
3.2.8 Ventilations-Respiratorischer Quotient.....	S. 56
3.2.9 Laktat.....	S. 58

3.2.10 Belastungszeit.....	S. 61
3.2.11 Gesamtarbeit.....	S. 63
3.2.12 Absolute und Relative Wattstufe.....	S. 65
3.3 Ergebnisse der erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Schnelligkeitsausdauerbelastung.....	S. 67
3.3.1 Herzfrequenz.....	S. 67
3.3.2 Atemminutenvolumen, Atemfrequenz und Atemzugvolumen.....	S. 70
3.3.3 Absolute Sauerstoffaufnahme.....	S. 73
3.3.4 Relative Sauerstoffaufnahme.....	S. 77
3.3.5 Sauerstoffpuls.....	S. 81
3.3.6 Atemäquivalent.....	S. 84
3.3.7 Ventilations-Respiratorischer Quotient.....	S. 86
3.3.8 Laktat.....	S. 88
3.3.9 Gesamtarbeit.....	S. 91
3.3.10 Absolute und Relative Wattstufe.....	S. 93
3.4 Ergebnisse der Skispezifischen Kontaktzeitmatten- diagnostik.....	S. 98
3.4.1 Herzfrequenz.....	S. 98
3.4.2 Laktat.....	S. 102
3.4.3 Gesamtsprungzahl und Sprungfrequenz.....	S. 104
3.4.4 Kontaktzeit.....	S. 107
3.4.5 Reaktivitätsindex.....	S. 110

4	Diskussion	S. 112
4.1	Körperliche Leistungsfähigkeit	S. 112
4.1.1	Belastungszeit	S. 114
4.1.2	Gesamtarbeit	S. 116
4.1.3	Absolute und Relative Wattstufe	S. 120
4.2	Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit	S. 124
4.3	Respiratorische Leistungsfähigkeit	S. 132
4.4	Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit	S. 138
4.5	Metabolische Leistungsfähigkeit	S. 161
5	Zusammenfassung	S. 166
6	Literaturverzeichnis	S. 176
7	Anhang	S. 203
	-Abkürzungen	S. 203
	-Verzeichnis der Abbildungen	S. 208
	-Verzeichnis der Tabellen	S. 216
	-Danksagung	S. 219
	-Lebenslauf	S. 221

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 etabliert. Verdienste für die Weiterentwicklung der Spiroergometrie erwarben sich BRAUER, WOLF 1940, indem sie die Methode zur Messung kardio-pulmonaler Funktionsparameter vorstellten. Unter MELLEROWICZ 1979 wurde die Spiroergometrie als objektive Messmethode anhand der Testgütekriterien Reliabilität, Validität und Objektivität verifiziert.

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, HOLLMANN, HETTINGER 1990, MEDAU, NOWACKI 1992, SHEPHARD, ASTRAND 1993, NEUMANN, SCHÜLER 1989, BADTKE 1995.

Die sportmedizinische Leistungsdiagnostik erstreckt sich auf das gesamte Spektrum der Sportarten, wobei Interessenschwerpunkte bei den populären Massensportarten zu finden sind. In den westeuropäischen Industrienationen findet der Alpine Skisport als Freizeit- und Breitensport große Akzeptanz. Schätzungsweise 15 Millionen Skisportler sind in Europa in den Wintermonaten aktiv. Die Zahl der bundesdeutschen Skisportler wird auf ca. 4 Millionen geschätzt.

Da die sportmedizinischen Etats an den Universitäten in der jüngsten Vergangenheit in unverantwortlicher Weise gekürzt wurden, beschränkt sich die überwiegende Zahl der wissenschaftlichen Publikationen zum Alpinen Skisport auf den Hochleistungssport. Die körperliche Leistungsfähigkeit alpiner Skirennläufer

wurde anhand sportmotorischer Tests erstmals von AMANN, ZIPF 1975 sowie KORNEXL 1977 umfassend charakterisiert. Stoffwechseluntersuchungen auf der Basis der Blutlaktatwerte führten ASTRAND, RODAHL 1977, ZINTL, GEBAUER 1985 sowie ZINTL 1989 durch. BOSCO 1991, SPRING, JORDAN 1994 leisteten Beiträge zur Maximal- und Schnellkraftbestimmung. HÜBNER 1981 führte Messungen zur kardiopulmonalen und kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit alpiner Skirennläufer auf dem Fahrradergometer und im Rahmen von Felduntersuchungen durch. BAUM, HOY, LAGES, LEYK, ESSFELD 1996 testeten die Leistungsfähigkeit auf einem Imitationsgerät.

Die Materialweiterentwicklung der Alpinskis in den letzten Jahren und die Innovation durch die Carving-Skis sowie die damit verbundenen Fertigungsveränderungen im Technikleitbild führten Mitte der 90ziger Jahre zu zum Teil schweren Skiunfällen. In diesem Zusammenhang wurde häufig die Frage der körperlichen Leistungsfähigkeit versus Materialentwicklung diskutiert.

Infolge dessen wurde am Sportmedizinischen Institut der Justus-Liebig-Universität Gießen auf der Basis der vorliegenden experimentellen ergometrischen und spiroergometrischen Untersuchungen auf dem Fahrradergometer im Sitzen eine Querschnittstudie zur allgemeinen und skispezifischen körperlichen Leistungsfähigkeit durchgeführt.

In der vorliegenden experimentellen Dissertation über die kardiorespiratorischen und metabolischen Kenngrößen bei alpinen Skifahrern während erschöpfender Spiroergometrie, maximaler Schnelligkeitsausdauerbelastung und skispezifischem Winkelsprungtest sollen folgende Fragen geklärt werden:

- 1. Wie verhält sich die körperliche, kardiozirkulatorische und kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit alpiner Skisportler im Vergleich zu anderen Sportarten bei erschöpfender ergometrischer und spiroergometrischer Ausbelastung nach dem Gießener 1 Watt/kg KG-Verfahren auf dem Fahrradergometer im Sitzen?*
- 2. Inwieweit beeinflusst die allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit, ermittelt nach dem Gießener 1 Watt/kg KG-Verfahren, die anaerobe Schnelligkeitsausdauerleistung in einem Wingate-Test nach SZÖGY 1984?*
- 3. Inwieweit beeinflusst die allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit die skispezifische Winkelsprungleistung bei einem Kontaktzeitmattentest?*
- 4. Ergeben sich signifikante Differenzen der körperlichen, kardiozirkulatorischen und kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit zwischen unterschiedlichen skispezifischen Fertigniveaus?*
- 5. Lassen sich signifikante altersbedingte Differenzen der körperlichen, kardiozirkulatorischen und kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit von Seniorenskisportlern im Vergleich zum Gesamtuntersuchungsgut nachweisen?*

2 Methode

2.1 Untersuchungsgut

Bei allen an der vorliegenden Studie beteiligten Probanden handelte es sich um alpine Skisportler. Insgesamt nahmen 57 Skifahrer an der Studie Alpiner Skilauf teil. Alle 57 Probanden absolvierten den Stufenbelastungstest zur Ermittlung der körperlichen Leistungsfähigkeit nach NOWACKI 1974 und den Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984.

An der kompletten, dreiteiligen Untersuchung inklusive des Skispezifischen Winkelsprungtests auf Kontaktzeitmatten nahmen 41 Personen teil.

Die Untersuchungen fanden in dem Zeitraum von August 1993 bis Oktober 1994 statt.

Das gesamte Untersuchungsgut wurde aus unterschiedlichen **Alters- und Adressatengruppen** zusammengestellt und in insgesamt **6 Probandengruppen unterteilt:**

- Qualifikationslose Skisportler** (Hobby- und Freizeitskiläufer mit ≤ 14 Tage Skisport/Jahr, **QL**)
- Skilehrer- und Übungsleiter-Grundstufe** (Absolventen der Grundstufenprüfung DSLV und DSV mit skispezifischem Grundfertigniveau, **SLGS**)
- DSLV-Verbands- und DSV-Skilehrer** (Qualitativ gut ausgebildetes skispezifisches Fertigniveau, **SLVB**)
- Staatlich geprüfte Skilehrer, Berufsskilehrer** (Skitechnisch höchstes Fertigniveau, Ganzjahrestraining allgemein und skispezifisch, Absolventen der 3-jährigen Berufsausbildung zum Fachsportlehrer im Freien Beruf, Ausbilderfunktionen und zum Teil Mitglieder der Deutschen Skilehrernationalmannschaft **StSL**)
- Seniorenkisportler** (Definitionsgemäß alle Probanden, die zum Untersuchungszeitpunkt **älter als 45 Jahre** waren, **SSS**)
- Hessische Ski Alpin Kaderathleten** (Nachwuchsrennläufer des Hessischen Skiverbandes, zum Teil DSV-D-Kader, skitechnisch gutes Fertigniveau, Ganzjahrestraining skispezifisch und allgemein, **Kader**)

Die **Zuordnung** zu den **Probandengruppen** erfolgte aufgrund des **skispezifischen Fertigniveaus** (FIS-Punkte-Rangliste, DSV-Punkte-Rangliste, Zugehörigkeit zu Verbandskadern) **und** bzw. **oder** aufgrund der vorliegenden **skifachlichen Qualifikation** (Skilehrerprüfung, Ausbildertätigkeit).

Tab. 1: Anthropometrische Parameter der Probandengruppen der Studie Alpiner Skilauf.

Probandengruppe	Probandenzahl (n)	<u>Einteilung des Untersuchungsguts</u>		
		\bar{x} Alter $\pm s$ (Jahre)	\bar{x} Gewicht $\pm s$ (kg)	\bar{x} Größe $\pm s$ (cm)
Gesamte Studie	57	32,4 \pm 10,4	74,4 \pm 10,4	178,8 \pm 5,8
Qualifikationslose (QL)	10	28,4 \pm 5,4	71,0 \pm 9,0	179,6 \pm 4,9
Skilehrer Grundstufe DSLV, Übungsleiter DSV (SLGS)	13	31,5 \pm 5,2	77,8 \pm 9,8	178,2 \pm 3,9
Verbandsski-Lehrer (DSLV), DSV-Skilehrer, (SLVB)	12	29,7 \pm 2,9	71,8 \pm 8,4	180,0 \pm 5,4
Deutsche Skilehrernationalmannschaft, Ausbilderteam, St. gepr. Skilehrer (StSL)	07	34,5 \pm 7,3	79,1 \pm 7,8	181,7 \pm 5,6
D-Kader DSV Alpin (Kader)	08	20,3 \pm 4,8	66,2 \pm 13,4	173,4 \pm 8,6
Seniorenkisport (SSS)	07	55,2 \pm 4,6	80,5 \pm 9,4	178,8 \pm 4,6

2.2 Untersuchungsbedingungen

Die durchgeführten Untersuchungen bestanden aus drei Labortests. Diese Untersuchungen wurden unter der Leitung des Ärztlichen Direktors am Lehrstuhl für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität in Gießen, Herrn Univ. - Prof. Dr. med. Paul E. NOWACKI, durchgeführt. Die Untersuchungen fanden in den Sportmedizinischen Labors am Institut für Sportwissenschaften, Universitäts-Sportzentrum, Kugelberg 62, 35394 Gießen, 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 schloss sich die Lungenfunktionsprüfung durch den Versuchsleiter oder einen Assistenzarzt an.

Im Anschluss an die klinische Untersuchung absolvierten alle Probanden einen Skispezifischen Winkelsprungtest auf Kontaktzeitmatten. Danach wurde ein erschöpfender spiroergometrischer Stufenbelastungstest entsprechend dem Gießener Modell nach NOWACKI 1974 durchgeführt. Nach einer vollständigen Erholung wurde den Probanden auf dem Fahrradergometer ein drehzahlabhängiger Anaerober Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 abverlangt.

Die begleitende Diagnostik bei den Ergometerbelastungen bestand aus der Registrierung des Ergo-EKGs über die Brustwandableitungen nach Wilson. Weiterhin wurden die kardiorespiratorischen Basis-Funktionsparameter Atemzugvolumen, Atemfrequenz, Sauerstoff- und Kohlendioxydkonzentration als Differenz der Ein- und Ausatemluft pneumotachographisch nach E. JAEGER, Würzburg, registriert. Zu bestimmten Zeiten erfolgten Blutabnahmen aus dem zuvor hyperämisierten Ohrläppchen für die anschließende Laktatbestimmung.

2.2.1 Klinisch-Sportmedizinische Untersuchung

Vor den ergometrischen Belastungs- und dem Skispezifischen Winkelsprungtest wurde bei jedem Probanden eine ausführliche Sport-, Trainings- und Leistungs-

anamnese 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 in den verschiedenen Testverfahren. Die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit, des Trainingszustandes und der Sporttauglichkeit erfolgte auf der Basis des klinischen Befundes, der spiroergometrischen Untersuchung und dem Ergebnis des Skispezifischen Winkelsprungtests.

2.2.2 Sportmedizinische Leistungsdiagnostik

2.2.2.1 Das 1 W/kg KG-Verfahren als Stufenbelastungstest

Alle Probanden wurden auf einem nach dem Körpermaß eingestellten drehzahlunabhängigen Fahrradergometer der Firma E. JAEGER (Würzburg) mit körpergewichtsbezogenen Belastungsstufen (1 Watt/kg KG) im Sitzen entsprechend dem Gießener Modell nach NOWACKI 1974 erschöpfend ausbelastet. Gemäß diesem Verfahren wurden die Probanden somit bis zur individuellen Vita maxima körperlich beansprucht.

Nach den Messungen in körperlicher Ruhe begann die Stufenbelastung mit 1 W/kg Körpergewicht, d.h. bei einem Probanden mit 75 kg Körpergewicht mit 75 Watt. Alle zwei Minuten erfolgte eine Steigerung um 1 W/kg KG. Gleichzeitig steigerte sich die Trittfrequenz der Probanden ausgehend von 50 U/min jeweils um 10 U/min alle zwei Minuten mit Beginn einer neuen Belastungsstufe.

Zum Belastungsabbruch führte entweder das subjektive Erschöpfungsgefühl der Versuchspersonen oder die von HOLLMANN 1963, 1965 sowie von BRINGMANN 1980 empfohlenen Kriterien zum Belastungsabbruch.

Die Herzfrequenz der Probanden wurde jeweils zwischen der 50sten und 60sten Sekunde jeder Belastungssekunde mittels eines HELLIGE EKG-Schreibers mit 50 mm/s dokumentiert. Die EKG-Messung erfolgte als unipolare Brustwandableitung

V1 bis V6 nach WILSON. Während der gesamten Belastungsdauer wurde das EKG via Monitor überwacht.

Die Blutdruckmessung gemäß RIVA/ROCCI fand in den ersten drei Belastungsstufen Anwendung und wurde jeweils zwischen der 60sten und der 90sten Sekunde durchgeführt.

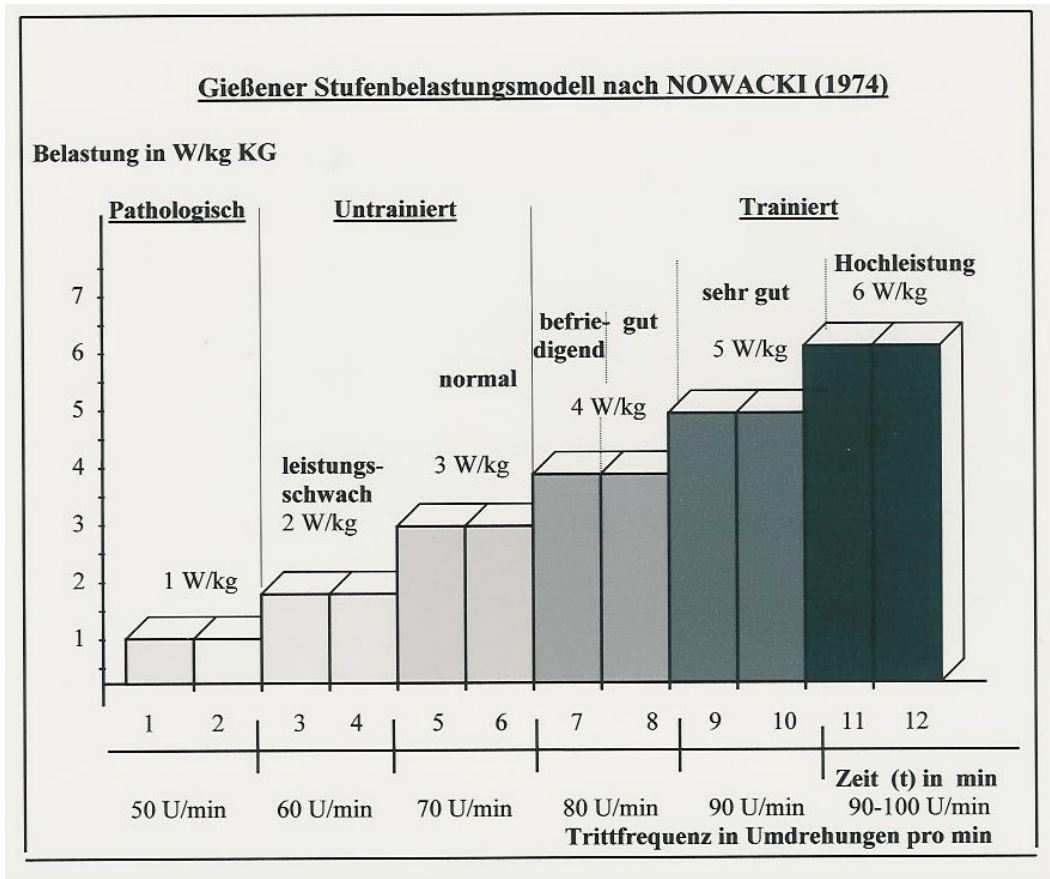


Abb. 1: Graphische Darstellung des Stufenbelastungstests nach der 1 W/kg KG - Methode nach NOWACKI 1974. Das Schema findet Verwendung bei der Fahrradspiroergometrie im Sitzen zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Beurteilung des Trainingszustandes.

Die Blutabnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen erfolgte mittels Kanüle gegen Ende einer Belastungsstufe zwischen der 90sten und der 120sten Sekunde.

Die Spirometrie registrierte mit dem Beginn der Vorstartperiode bis zum Ende der letzten Erholungsminute (5. Erholungsminute) die schon erwähnten kardiorespiratorischen Parameter. Zur Vermeidung orthostatischer Dysregulationen trat der

Proband in der 1. bis zum Ende der 3. Erholungsminute mit einer Drehzahl von ca. 30 Umdrehungen gegen einen geringen Widerstand von ca. 10 - 20 Watt.

Danach verbrachte die Versuchsperson die Zeit bis zum Ende der 5. Erholungsminute sitzend in absoluter Ruhe und Entspannung auf dem Fahrradergometer mit abgeschnallten Pedalen.

Gegen Ende jeder Erholungsminute fand eine Herzfrequenz- und Blutdruckmessung statt. Die Blutabnahme zur Laktatbestimmung wurde in der 3. und 5. Erholungsminute durchgeführt.



Abb. 2: Blutlaktatabnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen mittels Kanüle am spiroergometrischen Messplatz der Firma E. JAEGER/ Würzburg im Sportmedizinischen Institut der Justus-Liebig-Universität, Universitäts-Sportzentrum, Am Kugelberg 62, Gießen.

2.2.2.2 Die erschöpfende Anaerobe Schnelligkeitsausdauerbelastung

Dieser Test wurde ebenfalls auf einem nach dem Körpermaß der betreffenden Probanden eingestellten Fahrradergometer der Firma E. JAEGER (Würzburg) absolviert. Nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 bevorzugt man zur Bestimmung der anaeroben Kapazität die drehzahlabhängige Variante des Fahrradergometers.

Im Anschluss an eine Ruhemessung traten die Probanden bei einer Trittfrequenz von 40 U/min eine geringe Belastung von 30 Watt über 60 Sekunden. Gegen Ende der einminütigen Einfahrphase (ab der 55ten Sekunde) forderte der Versuchsleiter die Probanden auf, die Trittfrequenz bis auf ihre individuelle Maximalleistung zu steigern.

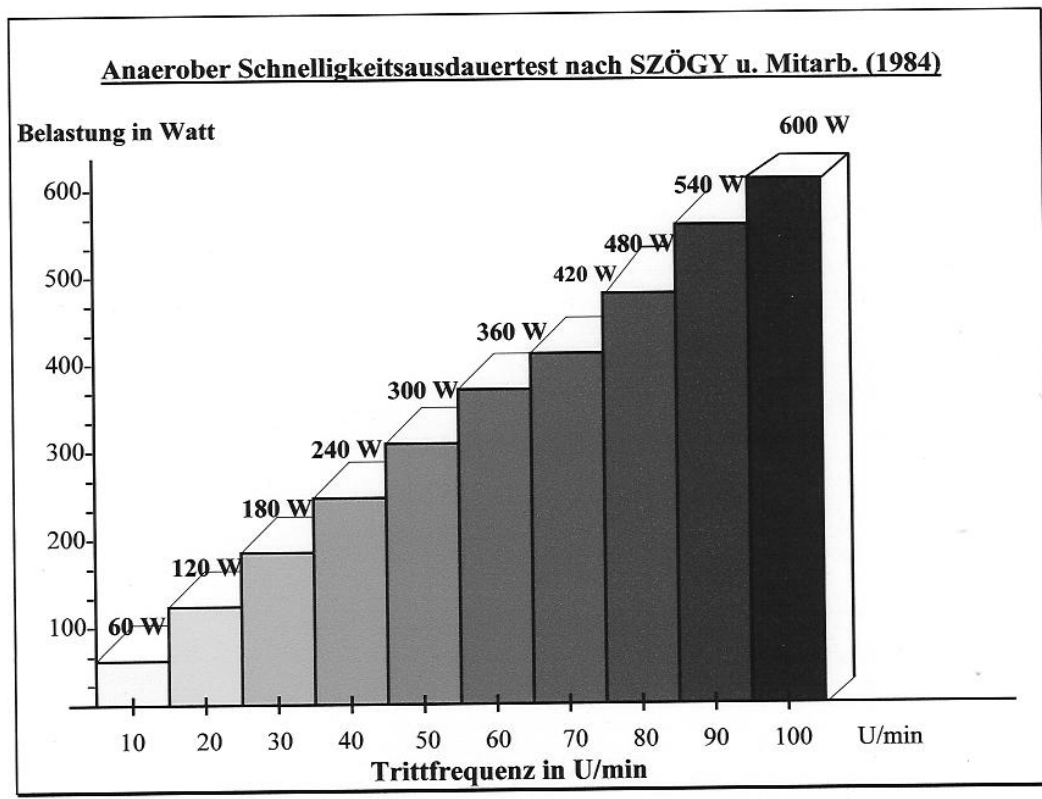


Abb. 3 : Graphische Darstellung des Anaeroben Schnelligkeitsausdauer tests (Stehvermögen) nach SZÖGY u. Mitarb. 1984. Das Schema zeigt die drehzahlabhängige Belastung in Beziehung zur Trittfrequenz der Versuchsperson.

Mit der 60sten Sekunde der Einfahrphase wurde der Belastungswahlschalter auf die Quote 600 gestellt. Das heißt, dass bei 100 Umdrehungen pro Minute ca. 600 Watt geleistet werden. Während dieser einminütigen anaeroben Belastungsphase sollten die Probanden ihre maximale Trittfrequenz so lange wie möglich aufrechterhalten. Während der Belastung wurde im 5-Sekunden-Abstand am Wattsekundenzähler die jeweils geleistete Arbeit abgelesen und notiert.

In Ruhe sowie während der Einfahrphase wurde die Herzfrequenz nach WILSON jeweils zwischen der 50sten und 60sten Sekunde registriert. Ein EKG-Monitoring lief begleitend.

Die Blutdruckmessung erfolgte zwischen der 30sten und 60sten Sekunde während der Ruheminute und der Einfahrphase. Die spiroergometrischen Funktionsparameter wurden mit Beginn der Einfahrphase bis zum Ende der letzten Erholungsminute registriert.

Während der maximalen einminütigen Belastung lief der HELLIGE-EKG-Schreiber mit einer Papiergeschwindigkeit von 25 mm/s und zeichnete jede einzelne Herzaktion während des gesamten Belastungszeitraumes auf.

Im Anschluss an die 60 Sekunden dauernde maximale Schnelligkeitsausdauerbeanspruchung folgten 3 Minuten aktive Erholung auf dem Fahrradergometer bei 20 bis 30 Kurbelumdrehungen pro Minute mit widerstandsfreiem Tritt. Die Erholungsminuten 4 und 5 wurden in körperlicher Ruhe sitzend auf dem Ergometer verbracht. Gegen Ende jeder Erholungsminute wurden die Herzfrequenz und der Blutdruck gemessen.

Die Blutabnahme für die Bestimmung der Laktatwerte erfolgte vor der Belastung in körperlicher Ruhe, unmittelbar nach der Belastung sowie in der 3. und 5. Erholungsminute.

2.2.2.3 Die Fahrradspiroergometrie

Die Belastungsverfahren der Spiroergometrien erfolgten gemäß den vorangestellten Beschreibungen. Die Respiratorischen Größen Atemzugvolumen (AZV ml BTPS) und Atemfrequenz ($AF \cdot \text{min}^{-1}$) wurden pneumotachographisch über

eine Maske oder Y-Ventilatung im offenen System am kardiorespiratorischen Messplatz der Fa. E. JAEGER/ Würzburg registriert.

Das resultierende Atemminutenvolumen ($AMV \text{ l BTPS}$) wird in Litern $\cdot \text{min}^{-1}$ BTPS aus dem Produkt von Atemzugvolumen und Atemfrequenz berechnet:

$$AMV \text{ l BTPS} = AZV \text{ ml BTPS} \cdot AF \text{ min}^{-1}$$

Die prozentuale Kohlendioxydabgabe ($\text{Vol.}\% \text{ CO}_2$) und die prozentuale Sauerstoffausnutzung ($\text{Vol}\% \text{ O}_2$) werden als Differenz zwischen der In- und Expirations-luft nach der Wärmeleitmethode mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,01 \text{ Vol}\%$ ermittelt.

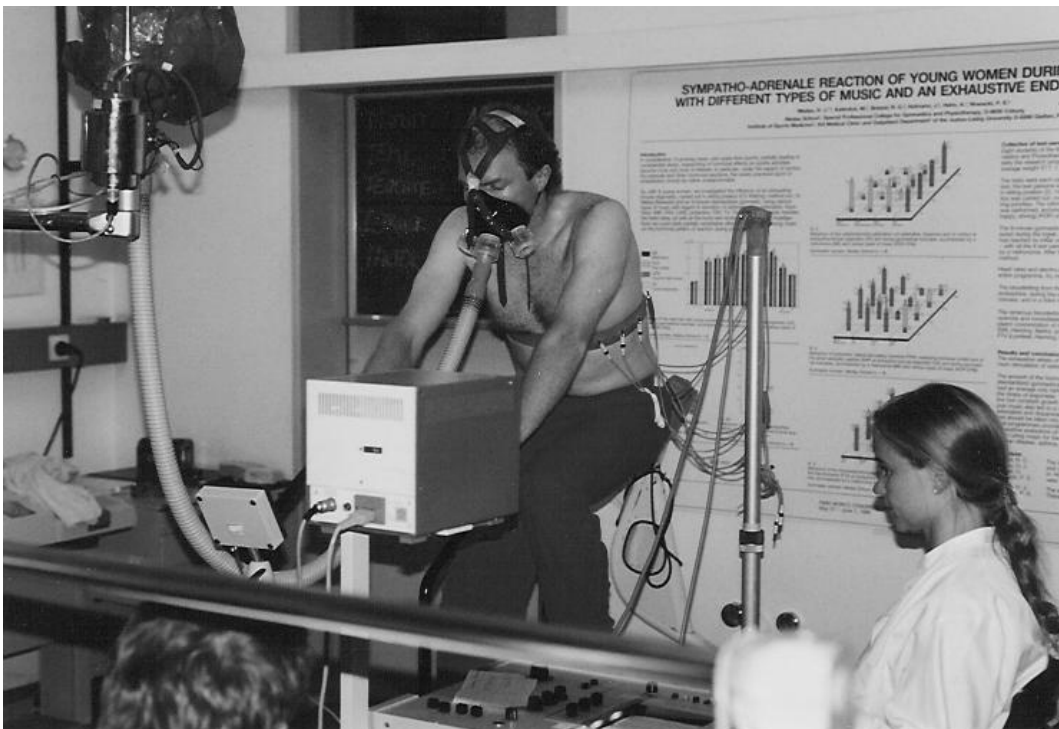


Abb. 4: Spiroergometrischer Messplatz der Firma E. JAEGER/Würzburg im Sportmedizinischen Institut der Justus-Liebig-Universität, Universitäts-Sportzentrum, Am Kugelberg 62, Gießen.

Zur Berechnung der Sauerstoffaufnahme $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ wurde das AMV von **BTPS-Bedingungen** (Body Temperature Pressure Saturated $\text{BTPS} = 37^\circ \text{ C}$, 760 mmHg, 100% H_2O) auf **STPD-Bedingungen** (Standard Temperature Pressure Dry $\text{STPD} = 0^\circ \text{ C}$, 760 mmHg, 0 % H_2O) reduziert:

$$VO_2 I_{STPD} = AMV I_{STPD} * \Delta \text{ Vol\% } O_2 \text{ (=Differenz In- zu Expirationsluft).}$$

Entsprechend erfolgte die Umrechnung der Kohlendioxydabgabe * min⁻¹ über das von BTPS- auf STPD-Bedingungen reduzierte Atemminutenvolumen:

$$VCO_2 I_{STPD} = AMV I_{STPD} * \Delta \text{ Vol\% } CO_2 \text{ (=Differenz In- zu Expirationsluft).}$$

2.2.2.4 Der Skispezifische Winkelsprungtest auf Kontaktzeitmatten

Zur Diagnose von Kontaktzeit, Reaktivitätsindex und Sprungfrequenz wurden Kontaktzeitmatten der Firma METIOR (Esslingen) verwendet. Die Kontaktzeitmatten lagen auf einer handelsüblichen Anti-Rutsch-Matte. Abgedeckt wurden sie durch einen zugeschnittenen, 8 mm dicken Teppichboden, auf dem die Sprungfelder aufgezeichnet waren.

Die Entfernung zwischen beiden Kontaktzeitmatten wurde individuell anhand der Beinlänge der Probanden ermittelt. Als Entfernungsmaß diente 1/3 der Beinlänge, ermittelt von der Malleolengabel bis zur spina ilica anterior superior. Das Höhenmaß des zu überspringenden Hindernisses orientierte sich an der individuellen Höhe der Malleolengabel.

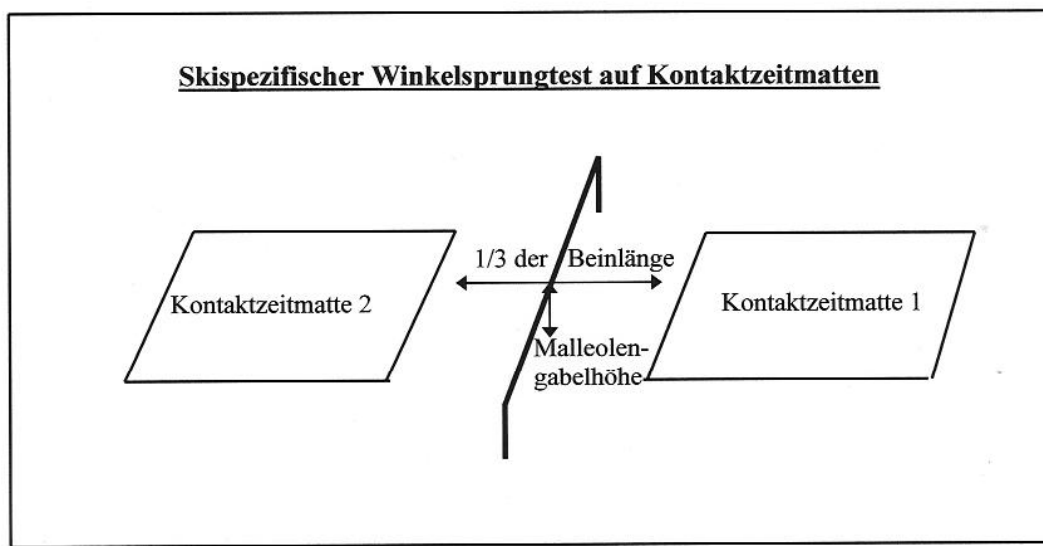


Abb. 5: Darstellung des Skispezifischen Winkelsprungtests. Die seitliche Entfernung der Kontaktzeitmatten beträgt 1/3 der individuellen Beinlänge, die zu überspringende Höhe richtet sich nach der individuellen Malleolengabelhöhe.

Vor Beginn des einminütigen, beidbeinigen Winkelsprungtests wurden die Herzfrequenz und der Ruhelaktatwert bestimmt.

Während der Winkelsprungbelastung über 60 Sekunden zeichnete ein **Herzfrequenzmesser der Firma POLAR in 5-Sekunden-Intervallen** die Herzfrequenz auf. In den nachfolgenden Erholungsminuten wurde jeweils gegen Ende einer Minute die Herzfrequenz ermittelt und in der 3. und 5. Minute Blut für die Laktatbestimmung aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen.

Die **Sprungfrequenz** wurde mittels **Kontaktmatten vom Typ TMT-7** der Firma **METIOR JEN** (Esslingen) erfasst. Die entsprechende Software zur Aktivierung der Kontaktzeitmatten stammte ebenfalls von der Firma METIOR JEN. Die einzelnen Kontakte gelangen via **Interface HIM-1** (Fa. METIOR Hardware) an den angeschlossenen PC. Mittels Interface wurden die Impulse der Kontaktzeitmatten **über den parallelen Druckerport** auf einen handelsüblichen Laptop HL 500 der Firma HITACHI gespeichert.

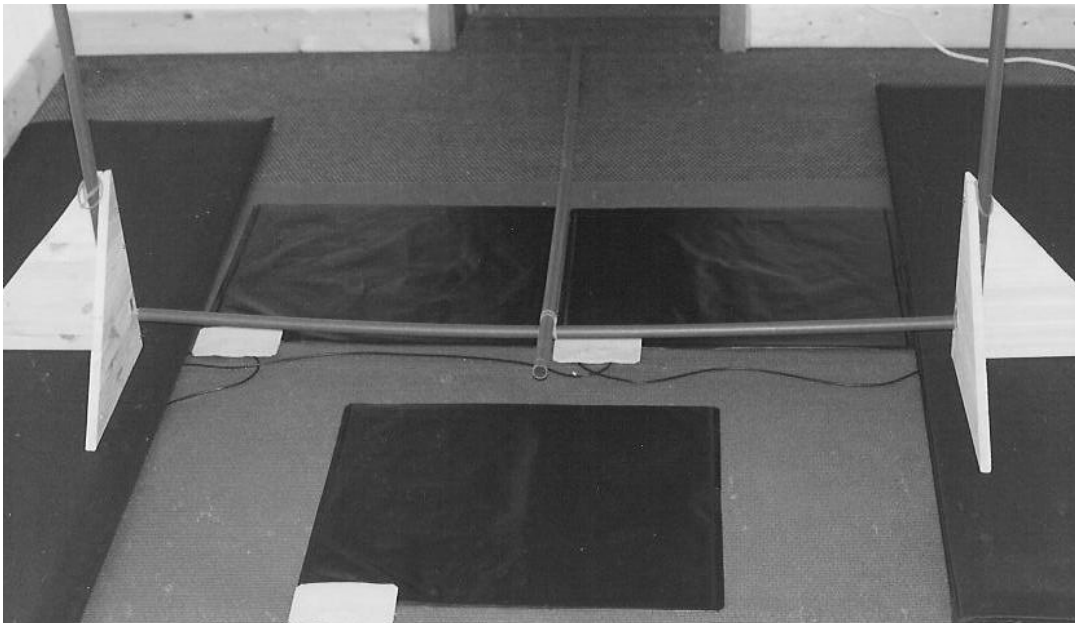
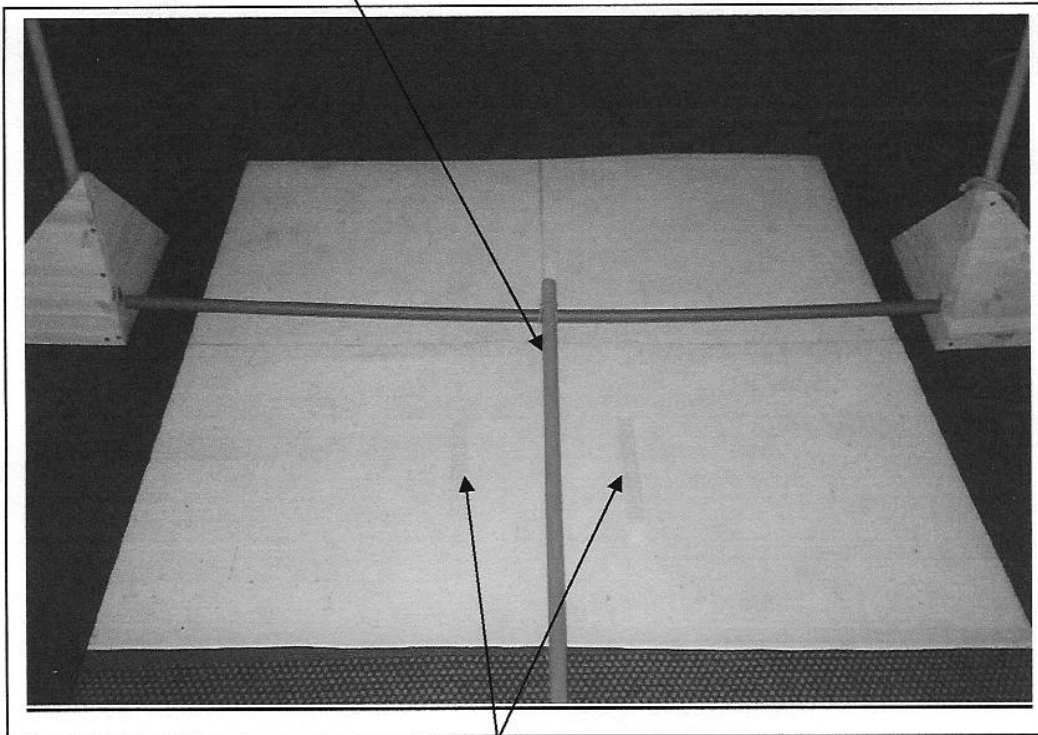


Abb. 6: Messplatz für den Skispezifischen Winkelsprungtest, Draufsicht von vorne. Auf der handelsüblichen Antirutschmatte liegen die untereinander verkabelten Kontaktzeitmatten. Die zu überspringende rote Querstange ist individuell auf Höhe der Malleolengabel justiert.

Im Rahmen der Sprungfrequenzdiagnostik wurde das **Modul Sprünge** gewählt. Die Begrenzung des Messparameters Sprungfrequenz erfolgte über das Zeitintervall von 60 s. Der Aufzeichnungszeitraum begann, sobald der Proband den ersten Sprungkontakt auslöste. Die Messung wurde automatisch beendet, sobald die Messzeit von 60 s abgelaufen war. Im angeschlossenen Rechner wurden die einzelnen Kontakte während der 60 s registriert und fortlaufend addiert.

Zu überspringende rote Querstange in Höhe der individuellen Malleolengabel



Zu überspringende Mindestmarkierung von einem 1/3 der individuellen Beinlänge

Abb. 7: Kontaktzeitmattenmessplatz mit oberer Begrenzungsstange (blau) und der zu überspringenden Querstange (rot) in Höhe der Malleolengabel, der zu überquerende Mindestabstand von 1/3 der Beinlänge ist durch Tapestreifen markiert (siehe Pfeile). Die Kontaktzeitmatten liegen unter der Teppichbodenauflage auf einer handelsüblichen Anti-Rutsch-Matte (siehe Abb. 6).

Im Rahmen des vorliegenden Skispezifischen Winkelsprungtests wurde durch einen seitlichen, beidbeinigen **Schlussprung des Probanden auf die Matte 1** die erste relevante **Kontaktzeitmessung t_{kz1} (= Mattenkontakt)** ausgelöst. Die

nach dem Absprung in Sprungrichtung Matte 2 folgende **kontaktlose Zeit** zählt als korrespondierende erste **Sprungzeit** t_{FZ1} (= **kontaktlose Zeit**).

Die registrierten Datensätze konnten im **Statistikprogramm SPSS PC** der Firma MICROSOFT aufgearbeitet werden.

2.2.3 Messgrößen und Messmethoden

2.2.3.1 Anthropometrische Messgrößen

2.2.3.1.1 **Alter in Jahren**

2.2.3.1.2 **Körpergröße in cm**

2.2.3.1.3 **Körpergewicht in kg**

2.2.3.2 Kardiozirkulatorische Messgrößen

2.2.3.2.1 **Herzfrequenz (HF * min⁻¹).**

EKG V4-V6, „Multiscriptor EK26“ der Fa. HELLIGE/Freiburg i. Br.; beim Skispezifischem Imitationstest zusätzliche Hf-Kontrolle durch den POLAR-SPORT TESTER™ der Firma POLAR ELECTRO OY. Beim Empfänger handelt es sich um einen Microcomputer vom Typ CMOS 4 bit, der über eine 160 mAh Lithium Batterie mit Spannung versorgt wird.

2.2.3.2.2 **Blutdruck (RR mmHg).**

Auskultationsmethode nach RIVA ROCCI und KOROTKOW, Standardblutdruckgerät „ERKAMETER“ der Fa. ERKA.

2.2.3.3 Respiratorische Messgrößen

2.2.3.3.1 **Vitalkapazität (VK ml), „SPIROTRON“** der Fa. DRÄGER/Lübeck)

2.2.3.3.2 **Atemminutenvolumen (AMV I_{BTPS})**

$$\text{AMV I}_{\text{STPD}} = \text{AMV I}_{\text{BTPS}} * \text{min}^{-1} * \text{Faktor}$$

2.2.3.3.3 **Atemfrequenz (AF * min⁻¹)**

2.2.3.3.4 **Atemzugvolumen (AZV ml)**

2.2.3.4 Kardiorespiratorische Messgrößen

2.2.3.4.1 Absolute Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ l STPD}$):

$$\text{VO}_2 \text{ l STPD} = \text{AMV l STPD} * \Delta \text{ Vol\% O}_2 \text{ (=Differenz In- zu Expirationsluft)}$$

2.2.3.4.2 Absolute Kohlendioxydabgabe ($\text{VCO}_2 \text{ l STPD}$):

$$\text{VCO}_2 \text{ l STPD} = \text{AMV l STPD} * \Delta \text{ Vol\% CO}_2 \text{ (=Differenz In- zu Expirationsluft)}$$

2.2.3.4.3 Relative Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$):

$$\text{VO}_{2\text{STPD}} = \frac{\text{VO}_2\text{-Aufnahme l STPD}}{\text{Körpergewicht KG * kg}} \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$$

2.2.3.5 Kardiorespiratorische Quotienten

2.2.3.5.1 Sauerstoffpuls ($\text{VO}_2 \text{ ml} * \text{Hf}^{-1}$)

$$\text{VO}_2 * \text{Hf}^{-1} = \frac{\text{VO}_2 - \text{Aufnahme ml STPD}}{\text{Herzfrequenz Hf}} \text{ ml}$$

2.2.3.5.2 Atemäquivalent (AÄ)

$$\text{AÄ} = \frac{\text{AMV l BTPS}}{\text{Absolute VO}_2\text{-Aufnahme ml STPD}}$$

2.2.3.5.3 Ventilations-Respiratorischer Quotient (VRQ)

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

2.2.3.6 Metabolische Messgrößen

2.2.3.6.1 Laktat ($\text{LA mmol} * \text{l}^{-1}$)

Das Testprinzip der Laktatmessung ist bei den fahrradergometrischen Belastungen die LOX-PAP-Methode, ein photometrisches Messver-

fahren, wobei die Konzentration von 4 - (p-Benzochinonmonoimino)-phenazon bei 520 nm erfaßt wird.

Im Skispezifischen Winkelsprungtest wurde das ACCUSPORT-LAKTATMESSGERÄT der Firma BOEHRINGER Mannheim verwendet, dessen Messprinzip auf der enzymatischen Laktatbestimmung und Reflexionsphotometrie im Meßwellenlängenbereich von 660 nm basiert.

2.2.3.7 Belastungsmessgrößen

2.2.3.7.1 **Belastungszeit (t):** Minuten (min) und Sekunden (s)

2.2.3.7.2 **Gesamtarbeit (Wattminuten):** Summe der getretenen Wattstufen

2.2.3.7.3 **Absolute Wattstufe (W)**

2.2.3.7.4 **Relative Wattstufe (W * kg⁻¹ KG)**

2.2.3.7.5 **Sprungfrequenz (F_{SP}):** Sprünge * Zeiteinheit⁻¹ (Spr.* t⁻¹)

2.2.3.7.6 **Kontaktzeit (t_{KZ}):** Zeit t mit Mattenkontakt (s)

Als Kontaktzeit ist diejenige Zeitspanne definiert, in welcher der Proband bedingt durch den Bodenkontakt während der Landung und der Vorbereitung des erneuten Absprunges über seine Masse die Kontaktzeitmatte komprimiert und somit den elektrischen Stromfluss aufrecht erhält.

2.2.3.7.7 **Sprungzeit (t_{FZ}):** Zeit t ohne Mattenkontakt (s)

Unter der Sprungzeit ist das Zeitintervall zu verstehen, in dem nach dem erfolgten Absprung von der Kontaktzeitmatte der Stromfluss zwischen den internen Kontaktflächen unterbunden ist. Die Sprungzeit endet mit der durch die Landung bedingten Mattenkompression und dem einsetzenden Stromfluss.

2.2.3.7.8 **Reaktivitätsindex (RI):** Quotient Sprungzeiten (s) * Kontaktzeiten⁻¹ (s)

Der Reaktivitätsindex wird als Quotient aus der Summe der Sprungzeiten durch die Summe der Kontaktzeiten ermittelt.

$$\text{Reaktivitätsindex (RI)} = [t_{FZ1} + t_{FZ2} + t_{FZn}] * [t_{KZ1} + t_{KZ2} + t_{KZn}]^{-1}$$

2.3 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte auf einem **Gericom Personal Computer** mit einem **Pentium III Prozessor**, der mit 1.100 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 Normalverteilung der Variablen als Anwendungsvoraussetzung für das vorliegende Skalenniveau wurde überprüft und das Vorliegen der Normalverteilung bestätigt.

Im Rahmen der deskriptiven Statistik ermittelte man den **Mittelwert** (\bar{x}), die **Standardabweichung** (s), die **Varianz** (s^2), die **Streuungsbreite** (S) sowie **Minimum** (Min) und **Maximum** (Max).

Zum Vergleich zweier voneinander abhängiger Stichproben, wie beispielsweise der körperlichen Leistungsfähigkeit im Stufenbelastungstest und im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest, kam der **t-Test für abhängige Stichproben** zur Anwendung. Wurden mehr als 2 abhängige Stichproben im Rahmen des Mittelwertvergleiches berechnet, erfolgte dies mittels der **einfachen Varianzanalyse mit Messwiederholungen**.

Beim Mittelwertvergleich 2er unabhängiger Stichproben, wie zum Beispiel im Falle verschiedener Probandenklientels, kam der **t-Test nach Student** zur Anwendung. Die **einfache Varianzanalyse** wurde zur Berechnung verwendet, wenn mehr als 2 unabhängige Stichproben miteinander verglichen wurden.

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

Tab. 2: 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** zu weiteren Berechnung.

Für die Verfahren der Prüfstatistik gilt folgende Bedeutung der Irrtumswahrscheinlichkeit:

Tab. 3: 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	***

2.4 Kritik an der Untersuchungsmethode

Die vorliegende Studie zu kardiorespiratorischen und metabolischen Messgrößen bei alpinen Skisportlern während erschöpfender Fahrradspiroergometrie, maximaler Schnelligkeitsausdauerbelastung und dem Skispezifischen Winkelsprungtest erstreckt sich über einen Untersuchungszeitraum von 2 Jahren, wobei die passive Periode der Sportleraktenauswertung durch den Untersucher fast 7 Jahre betrug. Während die Auswertung ausschließlich durch den Untersuchenden vorgenommen wurde, birgt der stattgehabte Wechsel des Untersuchungspersonals (Ärzte, MTAs, studentische Hilfskräfte) Fehlerquellen. Diese sollten jedoch durch die Anwesenheit und Supervision des Untersuchenden über den gesamten Untersuchungszeitraum minimiert werden.

Als weiterer Einwand könnte angeführt werden, dass die körperliche Leistungsfähigkeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahresverlauf erfasst worden ist, wobei je nach Terminvergabe keine Rücksicht auf die Trainingsperiodisierung genommen werden konnte. So wurde die LG1 Ski Alpin Hessen bzw. der DSV-D Kader gegen Ende der Übergangsperiode und zu Beginn der Vorbereitungsperiode im Juli 1994 getestet, während die Deutsche Skilehrernationalmannschaft und ein Teil des Ausbilderteams der Berufsskilehrer unmittelbar in der II. Vorbereitungsperiode untersucht wurden. Durch die Streuung der Untersuchungstermine könnte die Aussagekraft der Ergebnisse gemindert sein, da die Einhaltung der Leistungsumsatzbedingungen nicht bei allen erfüllt werden konnte. Unter Berücksichtigung der Probandenzahl, des Zeitaufwandes der drei Belastungsverfahren sowie der individuellen Terminpläne war es nicht möglich, alle Tests zu der jeweils gleichen Tages- und Jahreszeit durchzuführen.

Auch die unterschiedlichen Trainingsumfänge, -intensitäten und -inhalte der verschiedenen Untersuchungsgruppen erschweren die Vergleichbarkeit. Während die Kaderangehörigen und die höchstqualifizierten Skilehrer aufgrund des technomotorischen Anforderungsprofiles und der permanenten Selektionsmassnahmen zwangsläufig über eine gute Physis verfügen müssen, die über regelmäßige Trainingseinheiten erworben wird, zeichnet sich das Klientel „Qualifikationslose“ und

„Seniorenskilauf“ durch eine große Heterogenität in Hinblick auf die konditionelle Vorbereitung aus. Skispezifische Trainingsinhalte werden hier eher sporadisch oder zweckgebunden unmittelbar vor dem Winterurlaub praktiziert.

Des Weiteren lagen zum Teil beträchtliche anthropometrische Differenzen hinsichtlich der Körpergröße und des Körpergewichtes vor. Diese Unterschiede wurden weitgehend durch dieses auf das Körpergewicht bezogene Belastungsverfahren nach dem GIESSENER MODELL ausgeglichen. Die Fahrradspiroergometrie nach der 1 W/kg KG-Methode im Sitzen nach NOWACKI hat sich seit längerem zur Leistungsdiagnostik bewährt und erlaubt bei einem Untersuchungszeitraum von mehr als 25 Jahren die Vergleichbarkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Sportarten sowie die Vergleichbarkeit mit früheren Untersuchungen von Skisportlern wie u.a. der LG1 Ski Alpin Hessen am Sportmedizinischen Institut der JLU Gießen.

Darüber hinaus bestehen zwischen den Ergebnissen einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und den erhobenen Daten einer erschöpfenden Laufbandspiroergometrie unabhängig von der Methode (im wesentlichen Laufbandgeschwindigkeit und Steigungswinkel) enge Korrelationen, was NOWACKI 1981 und zuletzt NOWACKI, N. S. 1998 bestätigen konnten. Unter der Voraussetzung einer erschöpfenden Ausbelastung sowohl bei der Fahrradspiroergometrie als auch bei der Laufbandspiroergometrie werden jedoch bei der Laufbanduntersuchung 5 – 10 % höhere kardiorespiratorische Maximalwerte erzielt (vgl. NOWACKI, ROSENTHAL, VÖLPEL 1980, STAADEN 1980, WETTICH 1980, ZIMMER 1982).

Leider konnte der Skispezifische Winkelsprungtest nicht spirometrisch erfasst werden. Aufgrund des großen Aktionsradius während der Sprünge, des eingeschränkten Sichtfeldes durch die Maske, der erschwerten intermuskulären Koordination durch die Atemgasschlauchenbindung und der unzureichenden Dichtigkeit infolge der Erschütterungen sowie der Massenträgheit während der Sprünge waren aus der Sicht des Untersuchers die Testgütekriterien Validität, Reliabilität und Objektivität nicht gegeben. Um valide die Kontakt- und Sprungzeiten verifizieren zu können, musste ebenfalls auf die EKG-Brustwandableitungen verzichtet und die Herzfrequenz via POLAR SPORTTESTERTM aufgezeichnet

werden. Ein solcher Wechsel der experimentellen Methode kann zu Messungenauigkeiten führen, während die Fahrradspiroergometrie eine sichere experimentelle Methode ist, um die körperliche und kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit eines Probanden zu messen.

Die in den Laborversuchen ermittelte körperliche Leistungsfähigkeit lässt sich nicht ohne weiteres auf die Leistungsfähigkeit unter veränderten Temperatur- und Höhenbedingungen wie beim Alpinen Skilauf übertragen.

Unter einem verminderten Sauerstoffpartialdruck in großer Höhe, einer verminderten aeroben und vermehrten anaeroben Energiebereitstellung, -höhere Laktatwerte und niedrigere pH-Werte unter Hypoxiebedingungen bei physikalisch gleichen Leistungen wie im Flachland (NOWACKI 1978)-, sowie verminderten Außen- mit gegebenenfalls niedrigeren Bluttemperaturen, kommt es zu Verschiebungen des Gleichgewichts zwischen Hb und Hb O₂ in charakteristischer Weise.

Die Motivation aller Skisportler, insbesondere der Seniorenskiläufer, 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 Vitalkapazität

Die Vitalkapazität der Alpinen Skiläufer der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf ist in Abb. 8 mit der dazugehörigen Wertetabelle der verschiedenen Probandengruppen dargestellt. Der **Mittelwert** der **Vitalkapazität** liegt bei **5416 ± 897 ml**.

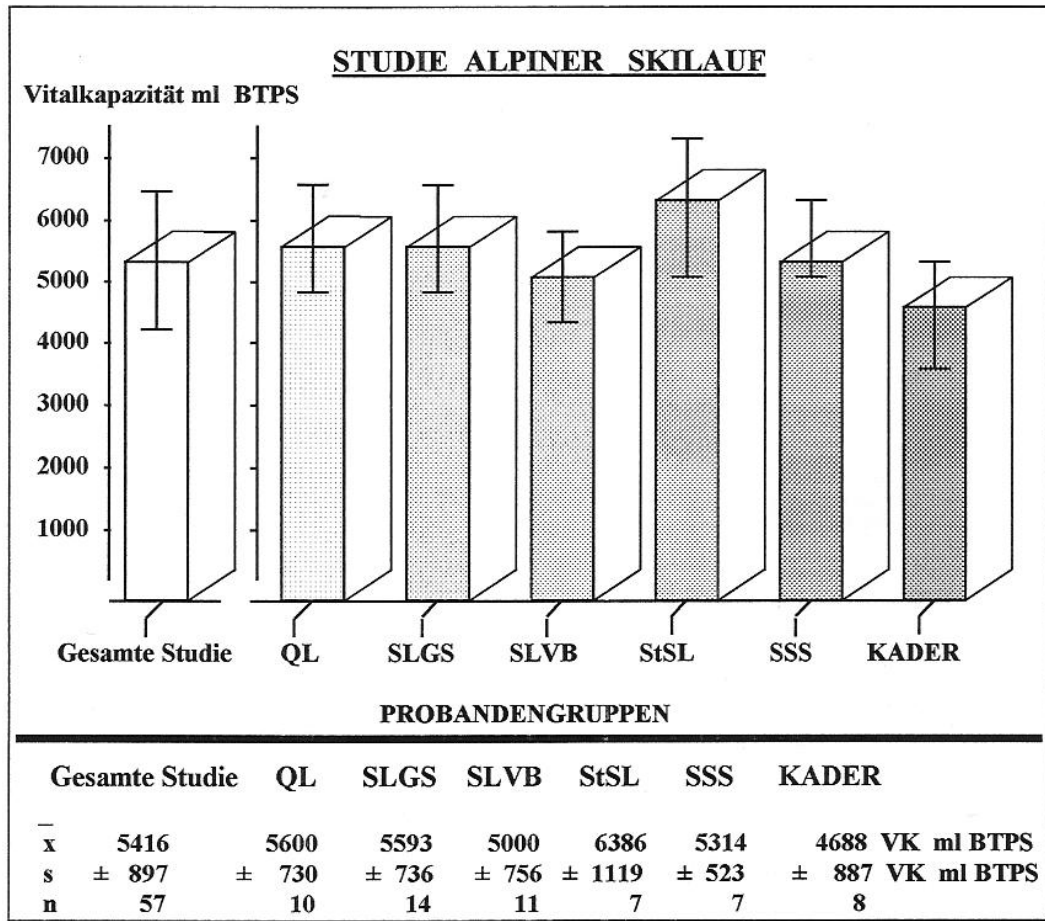


Abb. 8: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Vitalkapazität (VK ml BTPS) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle. Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Die Vitalkapazität der Qualifikationslosen Skisportler, der Übungsleiter bzw. Skilehrer-Grundstufe sowie der Verbandsskilehrer/DSV-Skilehrer und Seniorenski-

sportler ist annähernd gleich. Die höchstqualifizierten Skiausbilder wiesen dagegen mit **6386 ± 1119 ml** die **höchste Vitalkapazität** auf. Dagegen registrierten wir für die Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes mit einer Vitalkapazität von **4688 ± 887 ml** das **niedrigste** Volumen. Die **niedrigeren Vitalkapazitäten** der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten **unterscheiden sich signifikant** von den Vitalkapazitäten der Qualifikationslosen Skiläufer ($p = .029$) und der Grundstufen-Skilehrer bzw. Übungsleiter ($p = .018$). Für den Mittelwertvergleich der **Vitalkapazität** von **Skirennläufern** und von **Berufsskilehrern** lassen sich statistisch **hochsignifikante Mittelwertsunterschiede** ($p = .006$) nachweisen.

Hinsichtlich der Größe des **Zusammenhanges** zwischen **Vitalkapazität** und **Körpergröße** ($r = .60$) **sowie** zwischen Vitalkapazität und **Körpergewicht** ($r = .64$) ergibt sich ein **mittlerer Zusammenhang**. Somit **korreliert** die **Vitalkapazität** mit den **anthropometrischen Größen** in gleichem Maße. Dieser Sachverhalt entspricht den von HOLLMANN, BOUCHARD 1970 ermittelten Ergebnissen des Verhaltens der Vitalkapazität im Altersgang.

3.2 Ergebnisse des 1 W/kg KG -Verfahrens

3.2.1 Herzfrequenz

Das durchschnittliche Verhalten der **Herzfrequenz** der Alpinen Skiläufer vor, während und nach der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach dem Gießener 1 Watt/kg KG-Verfahren ist in der Abbildung 9 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

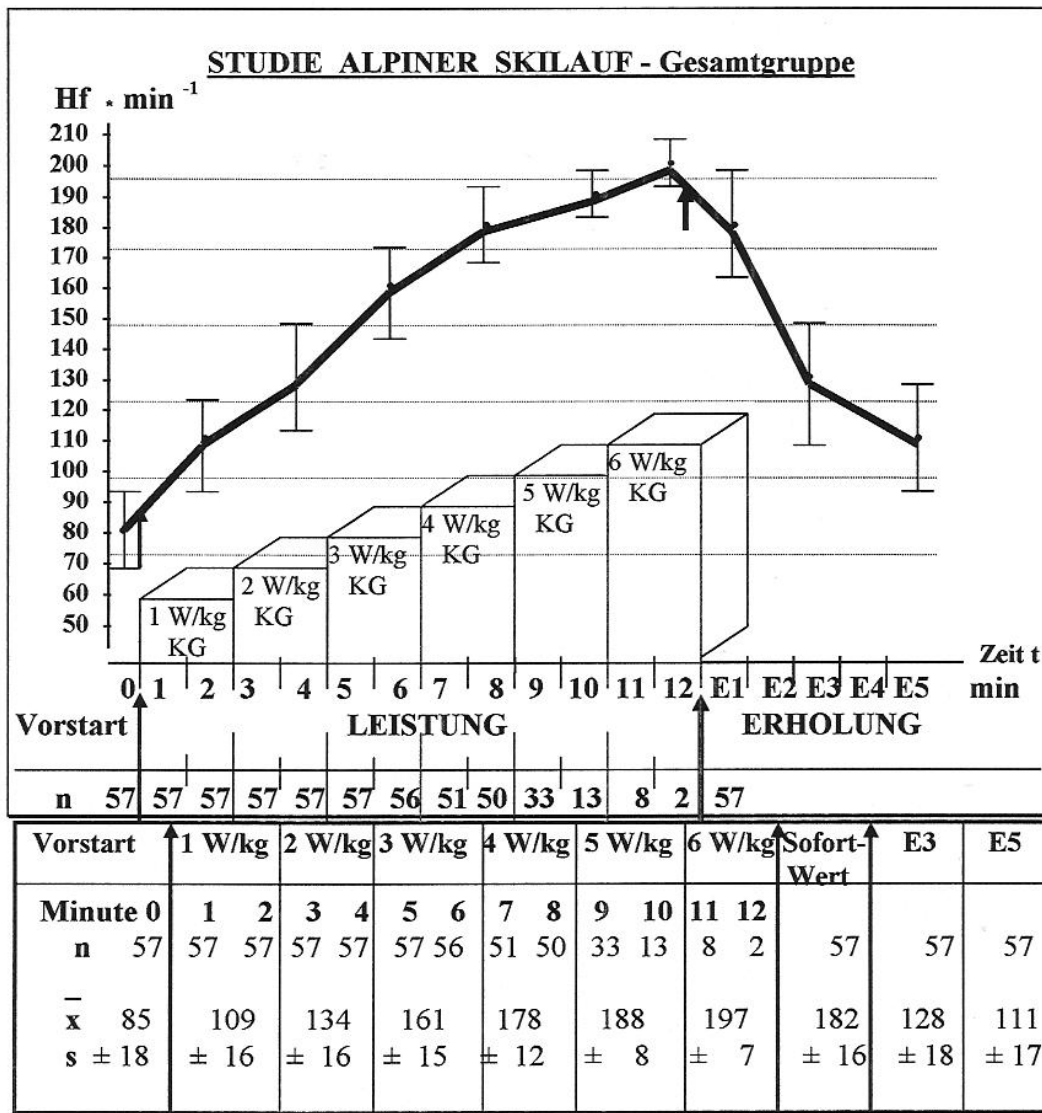


Abb. 9: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der Herzfrequenz ($Hf \cdot \text{min}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpinen Skiläufer und der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Die mittlere **Herzfrequenz** aller Probanden beträgt unter **Vorstartbedingungen** sitzend auf dem Fahrradergometer **85 ± 18 Schläge * min⁻¹**. Am Ende der 4. Belastungsminute, d.h. bei einer Leistung von **2 W/kg KG**, wird eine **submaximale Herzfrequenz von 134 * min⁻¹** registriert. Dies entspricht einer **Ausdauerleistung im „steady state“**. Einen Überblick über das unterschiedliche Verhalten der Herzfrequenz der Gesamtgruppe und der 6 Untergruppen vor, während und nach der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen unter Vita maxima-Bedingungen nach der 1 W/kg KG-Methode zeigt die Tabelle 4.

Tab. 4: Querschnittsstudie Alpiner Skilauf
-Verhalten der Herzfrequenz (Hf * min⁻¹) beim Stufenbelastungstest nach NOWACKI 1974-, Gesamtgruppe versus 6 Untergruppen

Minute	Vorstart	1 W/kg		2 W/kg		3 W/kg		4 W/kg		5 W/kg		6 W/kg		Sofort-Wert	E3	E5
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
n_{Gesamt}	57	57	57	57	57	57	56	51	50	33	13	8	2	57	57	57
x	85	109		134		161		178		188		197		182	128	111
s	± 18	± 16		± 16		± 15		± 12		± 8		± 7		± 16	± 18	± 17
n_{QL}	10	10	10	10	10	10	10	10	9	5	1	1		10	10	10
x_{QL}	92	113		138		167		182		190		198		183	133	118
s_{QL}	± 20	± 18		± 16		± 15		± 10		± 9				± 11	± 21	± 19
n_{SLGS}	14	14	14	14	14	14	14	12	12	6				14	14	14
x_{SLGS}	89	111		140		167		182		186				184	129	109
s_{SLGS}	± 19	± 16		± 16		± 15		± 8		± 6				± 9	± 17	± 17
n_{SLVB}	11	11	11	11	11	11	11	11	11	7	4	3	2	11	11	11
x_{SLVB}	85	108		133		169		178		188		200		189	133	117
s_{SLVB}	± 23	± 22		± 19		± 16		± 10		± 10		± 7		± 15	± 11	± 11
n_{StSL}	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	3	3		7	7	7
x_{StSL}	76	110		130		153		172		184		193		183	132	112
s_{StSL}	± 9	± 12		± 19		± 15		± 8		± 7		± 9		± 9	± 14	± 13
n_{SSS}	7	7	7	7	7	7	7	3	3	1				7	7	7
x_{SSS}	70	113		121		146		158		176				151	100	89
s_{SSS}	± 6	± 18		± 8		± 10		± 7						± 14	± 9	± 7
n_{Kader}	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	5	1		8	8	8
x_{Kader}	88	110		134		162		183		194		200		190	134	117
s_{Kader}	± 8	± 13		± 10		± 10		± 9		± 9				± 11	± 13	± 14

Während der Belastung steigt die **Herzfrequenz** kontinuierlich bis zur **körperlichen Erschöpfung** auf maximal $197 \pm 7 \text{ Schläge} * \text{min}^{-1}$ an. Danach erfolgt ein **exponentieller Abfall** der Herzfrequenz unmittelbar nach Belastungsende über den Sofort-Wert mit einer Frequenz von $182 \pm 16 * \text{min}^{-1}$ und die ersten beiden Erholungsminuten auf $128 \pm 18 \text{ Schläge} * \text{min}^{-1}$ in der 3. Erholungsminute. In der **5. Erholungsminute** ist die Herzfrequenz auf $111 \pm 17 * \text{min}^{-1}$ abgesunken.

Die **höchsten, mittleren Herzfrequenzen** während des ergometrischen Stufenbelastungstests erzielen mit $190 \pm 12 \text{ Schlägen} * \text{min}^{-1}$ die **Jugendlichen und Junioren des Hessischen Ski Alpin Kaders**. Während alle übrigen Probandengruppen maximale Herzfrequenzwerte zwischen 181 und $186 * \text{min}^{-1}$ aufweisen, kommen die **Seniorenskisportler** während der erschöpfenden Ausbelastung auf eine **maximale Herzfrequenz** von $151 \pm 14 \text{ Schlägen} * \text{min}^{-1}$. Die **Ski Alpin-Kaderathleten** erholen sich bis Ende der 5. Erholungsminute auf $117 \pm 14 * \text{min}^{-1}$. Die Versuchsgruppe der Seniorenskisportler kommt auf eine Herzfrequenz von $89 \pm 7 * \text{min}^{-1}$ am Ende der 5. Erholungsminute.

Unter den **Vita maxima-Bedingungen** ergeben sich **keine statistisch signifikanten Mittelwertsunterschiede** zwischen den einzelnen Probandengruppen. Das **Herzfrequenzverhalten der Seniorenskisportler** ist **adäquat** zum Lebensalter. Entsprechend den Empfehlungen

$$\text{„(Hf } 220 * \text{min}^{-1} - \text{Lebensalter} * 60 \%) + \text{Ruhepuls} = \text{Max. Hf}^{\text{c}}$$

wäre bei den Seniorenskisportler eine **durchschnittliche maximale Herzfrequenz** von $152 * \text{min}^{-1}$ zu erwarten. Tatsächlich wird sofort **nach Belastungsabbruch** eine mittlere maximale Herzfrequenz von $151 \pm 14 * \text{min}^{-1}$ ermittelt.

Unter **Vorstartbedingungen** ergibt der Mittelwertsvergleich der Herzfrequenz bei Seniorenskiläufern versus Qualifikationslose Skiläufer ($p = .02$) und Übungsleiter bzw. Skilehrer-Grundstufe Alpin ($p = .015$) **signifikante** sowie versus Nachwuchssrennläufer der Hessenauswahl ($p < .001$) **höchst signifikante** Differenzen. Diese **signifikanten** Mittelwertsunterschiede des Herzfrequenzverhaltens bestehen ebenfalls **im submaximalen Bereich** (Seniorenskiläufer vs. Qualifika-

tionslose $p= 0,03$, vs. Übungsleiter-/Skilehrer-Grundstufe $p= .02$, vs. Hessische Kaderathleten Ski Alpin $p= .02$), während sie unter **erschöpfender Ausbelastung statistisch nicht gesichert** sind.

3.2.2 Blutdruck

Der durchschnittliche Verlauf der **systolischen** und **diastolischen Blutdruckwerte** vor, während und nach dem Stufenbelastungstest gemäß dem Gießener Modell ist für die gesamte Studie der Sportart Alpiner Skilauf in Abbildung 10 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

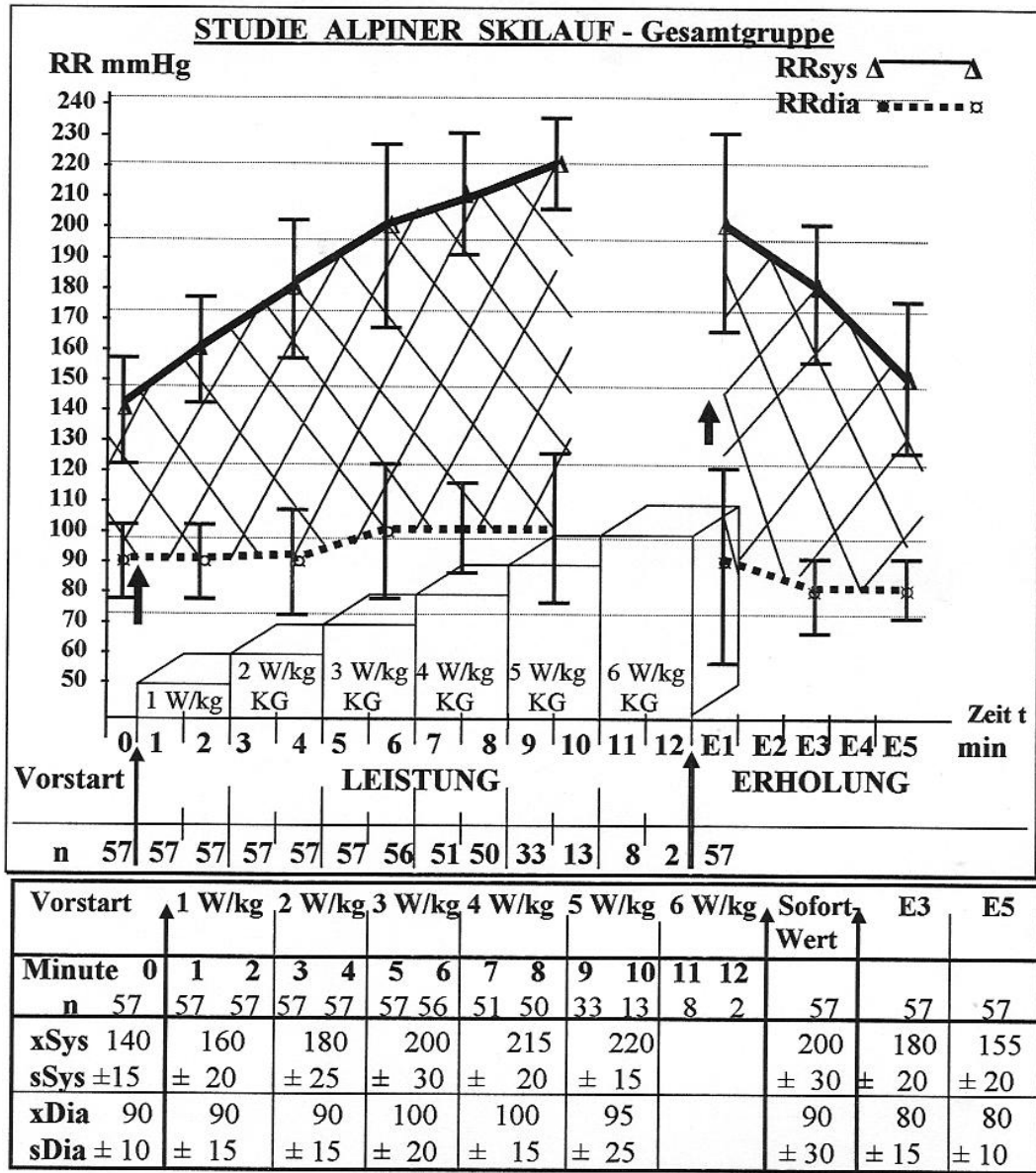


Abb. 10: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des systolischen und des diastolischen Blutdrucks (mmHg) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf und der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Die **Mittelwerte** des **systolischen und des diastolischen Blutdrucks** steigen von **140 ± 15 bzw. 90 ± 10 mmHg** unter Ruhebedingungen auf **180 ± 25 bzw. 90 ± 15 mmHg bei submaximaler Belastung** an. Unter **Vita maxima-Bedingungen** ergeben sich entsprechend der Messgenauigkeit von ± 5 mmHg **maximale Blutdruckwerte** von systolisch **220 ± 15 mmHg** und diastolisch von **95 ± 15 mmHg**. Im Kurvenverlauf präsentiert sich ausgehend von einer normotonen Blutdruckregulation unter Ruhebedingungen ein adäquater systolischer Blutdruckanstieg. **Nach Belastungsabbruch** kommt es zu einem **Abfall des systolischen Blutdrucks bis auf 155 ± 20 mmHg**, wobei in der 5-minütigen zum Teil aktiven Erholung ein RR-Abfall auf das Ausgangsniveau nicht erreicht wird.

3.2.3 Atemminutenvolumen, Atemfrequenz und Atemzugvolumen

Die respiratorischen Messgrößen **Atemminutenvolumen, Atemfrequenz** und **Atemzugvolumen** werden unter den Vorstartbedingungen sitzend auf dem Fahrradspiroergometer **im oberen erhöhten Normbereich** registriert. Bei einem **Atemminutenvolumen von 12,3 ± 4 l * min⁻¹** und einer durchschnittlichen **Atemfrequenz von 14 ± 4 * min⁻¹** ergibt sich ein **mittleres Atemzugvolumen von 0,9 ± 0,4 l**.

Über den **submaximalen Bereich** von **2 Watt/kg KG** bis hin zur erschöpfenden Ausbelastung bei 4 - 6 Watt/kg KG **steigen Atemminutenvolumen und Atemfrequenz** auf durchschnittlich **169 ± 18 l * min⁻¹** bei **53 ± 7 * min⁻¹ Atemzügen an**. Hieraus lässt sich ein **mittleres Atemzugvolumen von 3,3 ± 0,5 l** ermitteln.

Der **durchschnittliche Verlauf** von **Atemminutenvolumen, Atemfrequenz** und **Atemzugvolumen** ist in Abbildung 11 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

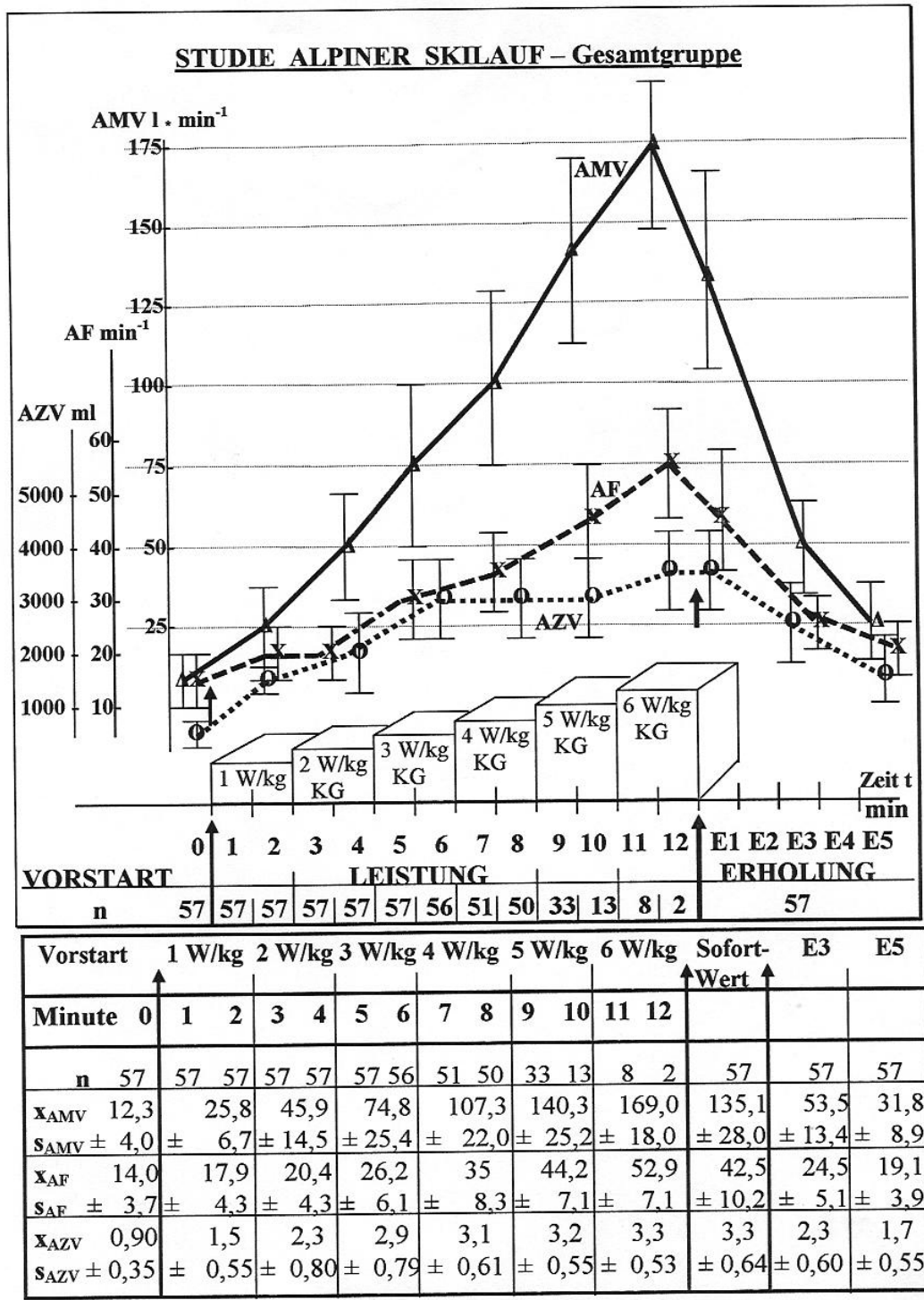


Abb. 11: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf von Atemminutenvolumen ($l \cdot \text{min}^{-1}$), Atemfrequenz (min^{-1}) und Atemzugvolumen (ml) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf und der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Während der Erholungsphase kommt es zu einer sukzessiven Abnahme des Atemminutenvolumens, wobei in der 5. Erholungsminute aufgrund der eingegangenen Sauerstoffschuld die 3 respiratorischen Messgrößen deutlich über dem Ausgangsniveau liegen. Im Einzelnen ergeben sich **in E5: AMV $31,8 \pm 9 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, AF $19,1 \pm 4 \cdot \text{min}^{-1}$, AZV $1,7 \pm 0,55 \text{ l}$.**

Das **niedrigste mittlere maximale Atemminutenvolumen** wurde für die Probandengruppe des **Hessenkaders Ski Alpin** pneumotachographisch im offenen System nach E. JAEGER/Würzburg registriert. Hier wurden **$121,1 \pm 18,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** ermittelt. Dabei erreichten die Kaderathleten eine **mittlere Atemfrequenz** von **$43 \pm 10 \cdot \text{min}^{-1}$** unter Vita maxima-Bedingungen sowie ein resultierendes **Atemzugvolumen** von **$2,8 \pm 0,52 \text{ l}$** in der jeweils letzten individuellen Erschöpfungsminute, aus der die Mittelwerte berechnet wurden. Die **niedrigste mittlere Atemfrequenz** weisen mit **$33 \pm 11 \cdot \text{min}^{-1}$** die **Seniorenskisportler** auf. Aufgrund eines höheren mittleren **Atemzugvolumens** von **$3,8 \pm 0,64 \text{ l}$** wurden unter erschöpfender Ausbelastung dennoch **$124,4 \pm 19,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** ventiliert.

Das **größte mittlere Atemminutenvolumen** erzielen die **Berufsskilehrer** mit **$171 \pm 14 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** .

Unter den **Vorstartbedingungen** unterscheidet sich das **Atemminutenvolumen** zwischen den einzelnen Untergruppen **statistisch nicht signifikant**. Auf der **submaximalen Belastungsstufe** bei **2 W/kg KG** weisen die **Seniorenskisportler** im Vergleich zu den übrigen Probandengruppen ein **signifikant größeres Atemminutenvolumen** von **$65 \pm 15 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ auf** (Seniorenskisportler versus Qualifikationslose $p = .003$, vs. Übungsleiter-/Skilehrer Grundstufe $p = .04$, vs. DSV-/Verbandsskilehrer $p = .003$, vs. Berufsskilehrer $.013$ sowie vs. Hessenkader Ski Alpin $p = .002$). In drei Untergruppenvergleichen basiert das **größere Atemminutenvolumen** der Altersskiläufer auf einem **erhöhten Atemzugvolumen** von **$3,24 \pm 1,3 \text{ l}$** (Seniorenskisportler versus Qualifikationslose $p = .03$, vs. DSV-/Verbandsskilehrer $p = .006$, vs. Hessische Ski Alpin Kaderathleten $p = .002$). Unter **Vita maxima-Bedingungen** ist das **Atemminutenvolumen** der **Seniorenskiläufer** im Vergleich zu den anderen Probandengruppen **nicht erhöht**.

Bei **Belastungsabbruch** nach erschöpfender Fahrradspiroergometrie weisen die **Berufsskilehrer** im Vergleich zu allen anderen Probandengruppen **signifikant erhöhte Atemminutenvolumina** ($171 \pm 14 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) auf. Im Mittelwertsvergleich zu den Juniorenrennläufern Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes beruht das **erhöhte AMV** auf einem **statistisch signifikant erhöhten Atemzugvolumen** ($3,4 \pm 0,52 \text{ l}$, $p < .05$).

Für die vorliegende Querschnittsstudie Alpiner Skilauf ergibt die Ermittlung des **Zusammenhanges** von **Vitalkapazität** und **Atemminutenvolumen** unter **Vorstartbedingungen** eine **geringe Korrelation** ($r = .23$). Die **Korrelation** von Vitalkapazität und Atemminutenvolumen bei **submaximaler Belastungsstufe** ($r = .31$) und **erschöpfender Ausbelastung** auf dem Fahrradergometer ($r = .45$) führt jeweils zu einem **mittleren Zusammenhang**.

Unter Berücksichtigung der anthropometrischen Merkmale **Körpergröße** und **Körpergewicht** in Hinblick auf das **mittlere maximale Atemminutenvolumen** der Studie Alpiner Skilauf wird jeweils ein **mittlerer Zusammenhang** (AMV vs. Körpergröße: $r = .36$; AMV vs. Körpergewicht: $r = .41$) berechnet.

3.2.4 Absolute Sauerstoffaufnahme

Der durchschnittliche Verlauf der **absoluten Sauerstoffaufnahme** ($\dot{V}O_2$ l STPD) vor, während und nach erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach dem Gießener 1 Watt/kg KG-Verfahren ist in Abbildung 12 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

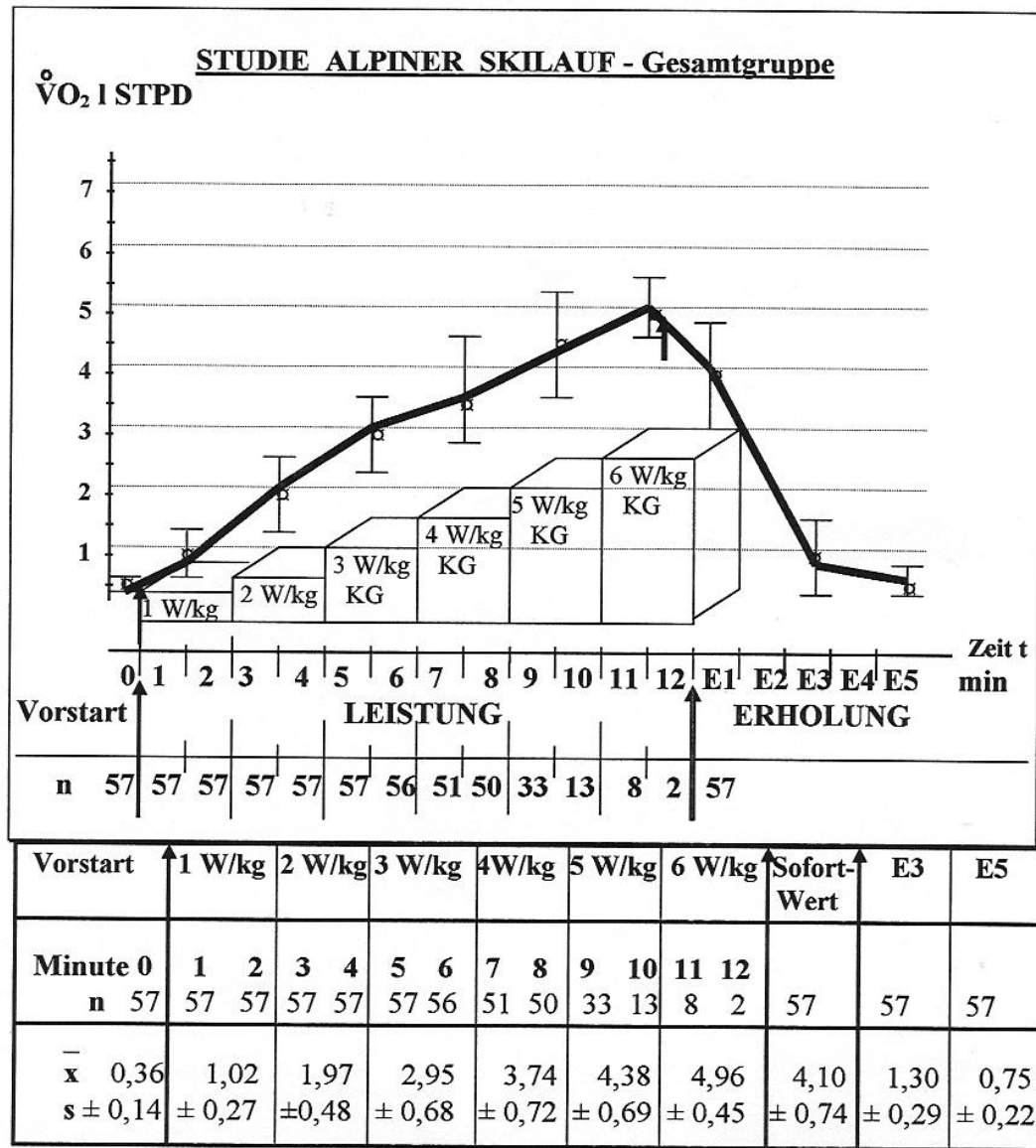


Abb. 12: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der absoluten O_2 -Aufnahme ($\dot{V}O_2$ l STPD) der Querschnittsstudie Alpiner Skiläufer und der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Die **absolute Sauerstoffaufnahme** (VO_2 l STPD) der Studie **Alpiner Skilauf** beträgt unter **Vorstartbedingungen** $0,36 \pm 0,14$ l STPD. Zwischen den verschiedenen Probandengruppen ergeben sich unter den Vorstartbedingungen keine signifikanten Mittelwertsdifferenzen. Im **submaximalen Bereich** der 4. Belastungsminute ist die absolute O_2 -Aufnahme auf $1,97 \pm 0,48$ l STPD angestiegen. Der Mittelwertvergleich der verschiedenen Untergruppen zeigt für die **4. Belastungsminute** eine **signifikant erhöhte mittlere absolute Sauerstoffaufnahme** der Seniorenskisportler mit $2,3 \pm 0,46$ l STPD ($p = .05$) und der Untergruppe der **Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe** mit $2,2 \pm 0,41$ l STPD ($p = .05$).

Bei der **erschöpfenden Ausbelastung** der Alpinen Skisportler auf dem Fahrradergometer im Sitzen wurde für die Gesamtgruppe eine durchschnittliche absolute maximale Sauerstoffaufnahme von $4,1 \pm 0,76$ l STPD registriert. Die **größten Werte der mittleren absoluten Sauerstoffaufnahme erreichen die Berufsskilehrer mit** $4,9 \pm 0,6$ l STPD.

Die **Maximalwerte** der Probandenuntergruppen bewegen sich **zwischen der VO_2max von** $3,8 \pm 0,4$ l STPD bei **Seniorenskisportlern** und dem Wert der **Berufsskilehrer mit** $4,9 \pm 0,6$ l STPD.

Im Mittelwertvergleich der verschiedenen Untergruppen ergeben sich für die Berufsskilehrer versus **Übungsleiter- und Skilehrer Grundstufe** ($4,1 \pm 0,45$ l STPD, $p = .01$), vs. **Seniorenskisportler** ($3,8 \pm 0,4$ l STPD, $p = .002$) sowie vs. **DSV- und Verbandsskilehrer** ($4,0 \pm 0,6$ l STPD, $p = .004$) **statistisch signifikante Mittelwertsunterschiede** bei der absoluten VO_2max .

Während der **Erholungsphase** fällt die absolute Sauerstoffaufnahme über die **3. Erholungsminute** ($1,3 \pm 0,3$ l STPD) bis zur **5. Erholungsminute** auf $0,75 \pm 0,2$ l STPD ab.

Somit weisen die **Skisportler** der vorliegenden **Studie Alpiner Skilauf** deutlich **höhere Beträge** als der **Durchschnittswert untrainierter Männer** im Alter von 18 bis 40 Jahren mit einer **VO_2max von** $2,8 \pm 0,3$ l STPD bei **NOWACKI 1977** und **HOLLMANN 1980** mit $2,5 - 3,0$ l STPD auf.

Die Abbildung 13 zeigt vergleichende Säulendiagramme der **Durchschnittswerte** für die **maximale absolute Sauerstoffaufnahme** ($\dot{V}O_2 \text{ max l STPD}$) der einzelnen **Probandengruppen** der Querschnittsstudie **Alpiner Skilauf**.

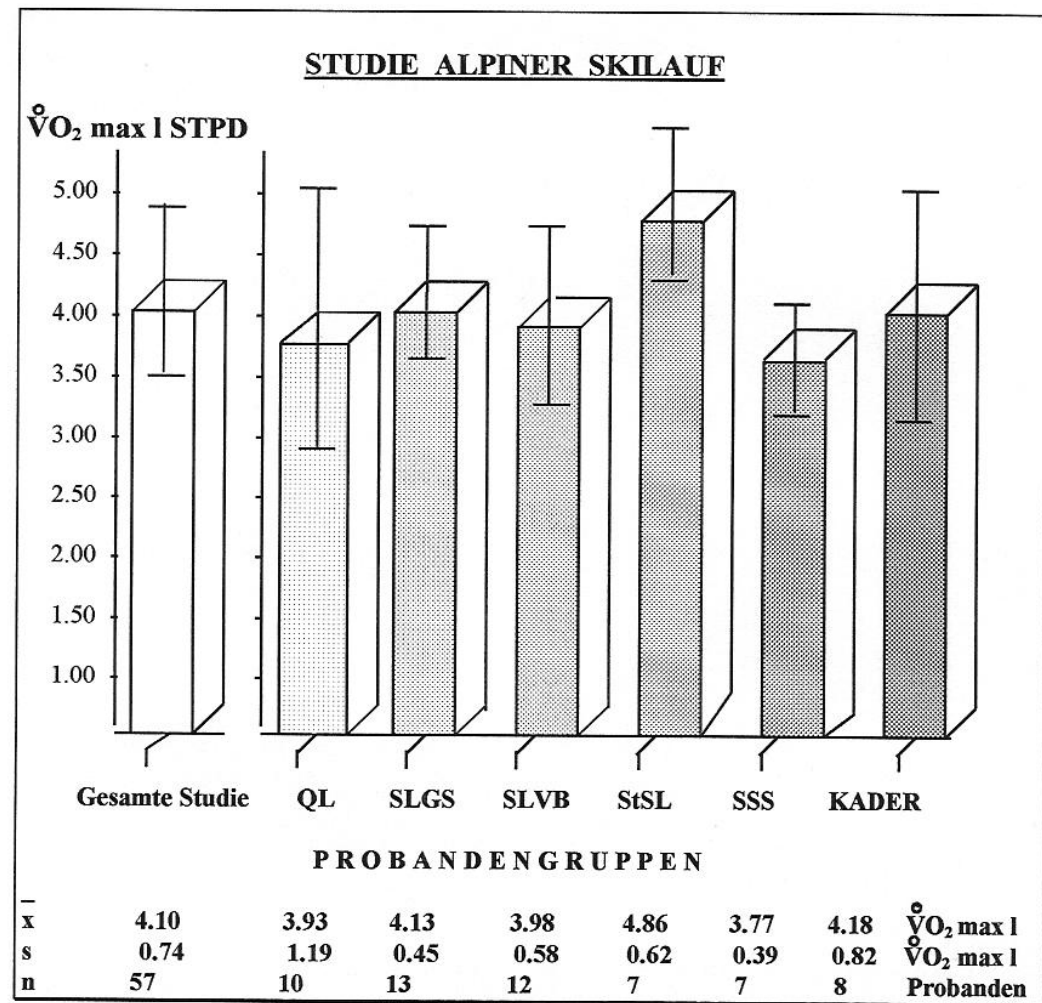


Abb. 13: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der maximalen, absoluten Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2 \text{ max l STPD}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

3.2.5 Relative Sauerstoffaufnahme

Der durchschnittliche Verlauf der relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹) der Studie Alpiner Skilauf vor, während und nach einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Ausbelastung ist in der Abbildung 14 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

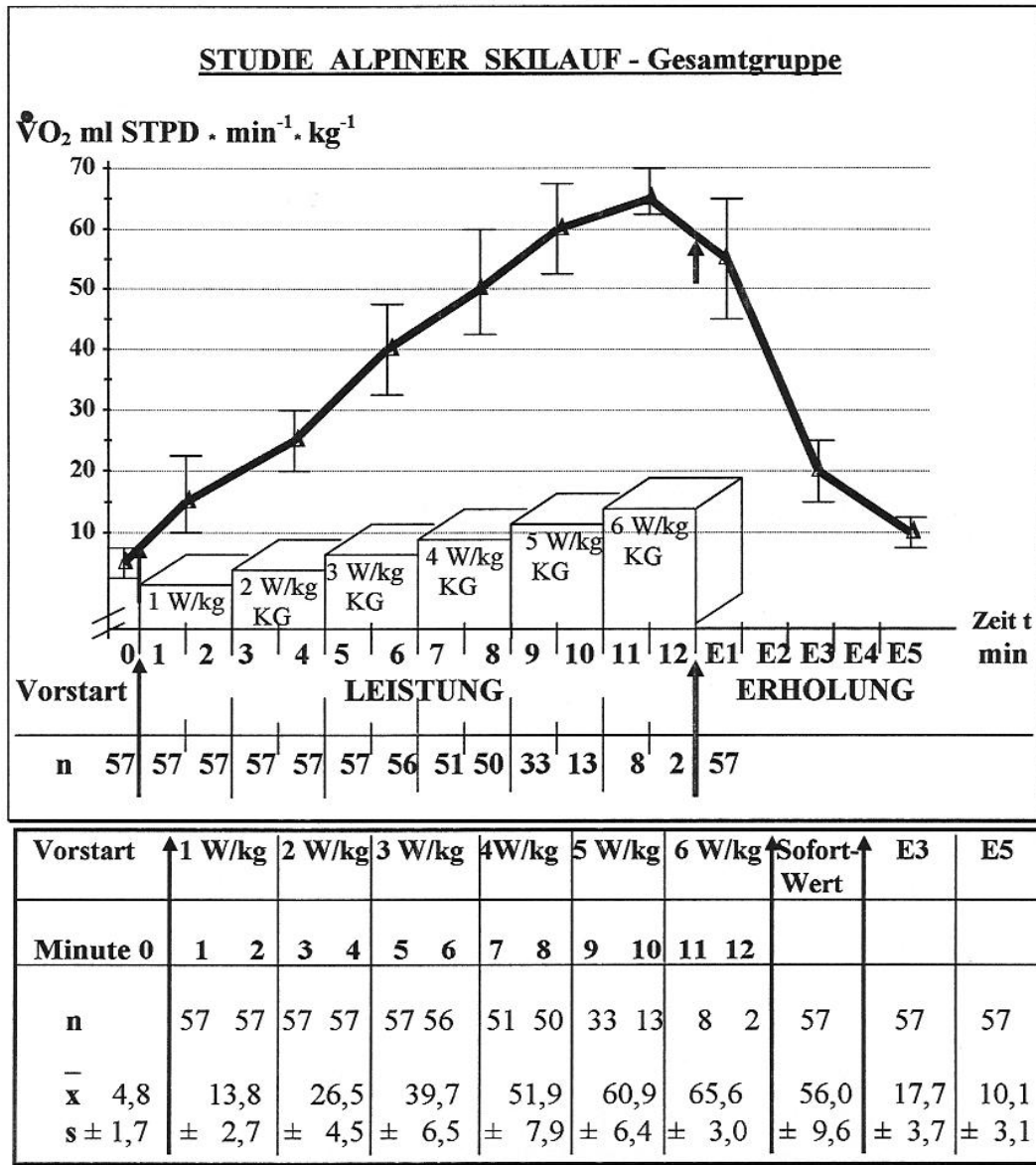


Abb. 14: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Die Mittelwerte der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) von Skisportlern erreichen bei der erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Belastung nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode zwischen $47,4 \pm 7,3 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ bei den **Seniorenskisportlern** und $67,3 \pm 6,1 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ bei den **Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes**.

Die **Nachwuchsrennläufer** weisen im Vergleich zu den **Berufsskilehrern** (Dt. Skilehrernationalmannschaft, DSLV-Ausbilderteam, Staatl. gepr. Skilehrer) ein **kleineres maximales Atemminutenvolumen** und eine **geringere maximale absolute Sauerstoffaufnahme** auf. Da sie aber mit einem **Durchschnittsgewicht** von $66,2 \pm 13,4 \text{ kg}$ erheblich weniger wiegen als diese mit $79,1 \pm 7,8 \text{ kg}$, erreichen die leichteren Nachwuchsskisportler eine höhere maximale relative Sauerstoffaufnahme.

Für die **Korrelation** von **Körpergewicht** und **maximaler relativer Sauerstoffaufnahme** ergibt sich ein **negativer mittlerer Zusammenhang** mit $r = -.38$. Hinsichtlich des **Zusammenhanges** von **Körpergröße** und **maximaler relativer O₂-Aufnahme** wird für die Studie Alpiner Skilauf eine **geringe, negative Korrelation** mit $r = -.28$ berechnet.

Insgesamt liegen die **Werte der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** in ihrer absoluten Bandbreite im **befriedigend bis sehr gut trainierten Bereich**. Unter der Berücksichtigung des Lebensalters der **Seniorenskisportler** ist deren maximale relative Sauerstoffaufnahme ebenfalls als **gut trainiert** einzustufen.

Ausgehend von den **Vorstartbedingungen** mit einer mittleren relativen Sauerstoffaufnahme von $4,8 \pm 1,7 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ steigen die Werte über den **submaximalen Bereich** bei $26,5 \pm 4,5 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ unter **Vita maxima-Bedingungen** auf $65,6 \pm 3 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ an. Sofort nach Belastungsabbruch ($56 \pm 9,6 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) sinkt die maximale relative Sauerstoffaufnahme über die 3. Erholungsminute ($17,7 \pm 3,7 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) bis zur **5. Erholungsminute** auf $10,1 \pm 3,1 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ab, wobei dieser Wert **hoch signifikant** ($p < .001$) über dem **Vorstartwert** liegt.

Die Abbildung 15 zeigt vergleichende Säulendiagramme der **Durchschnittswerte** für die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** ($\text{VO}_2 \text{ max ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) der einzelnen Probandengruppen der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf.

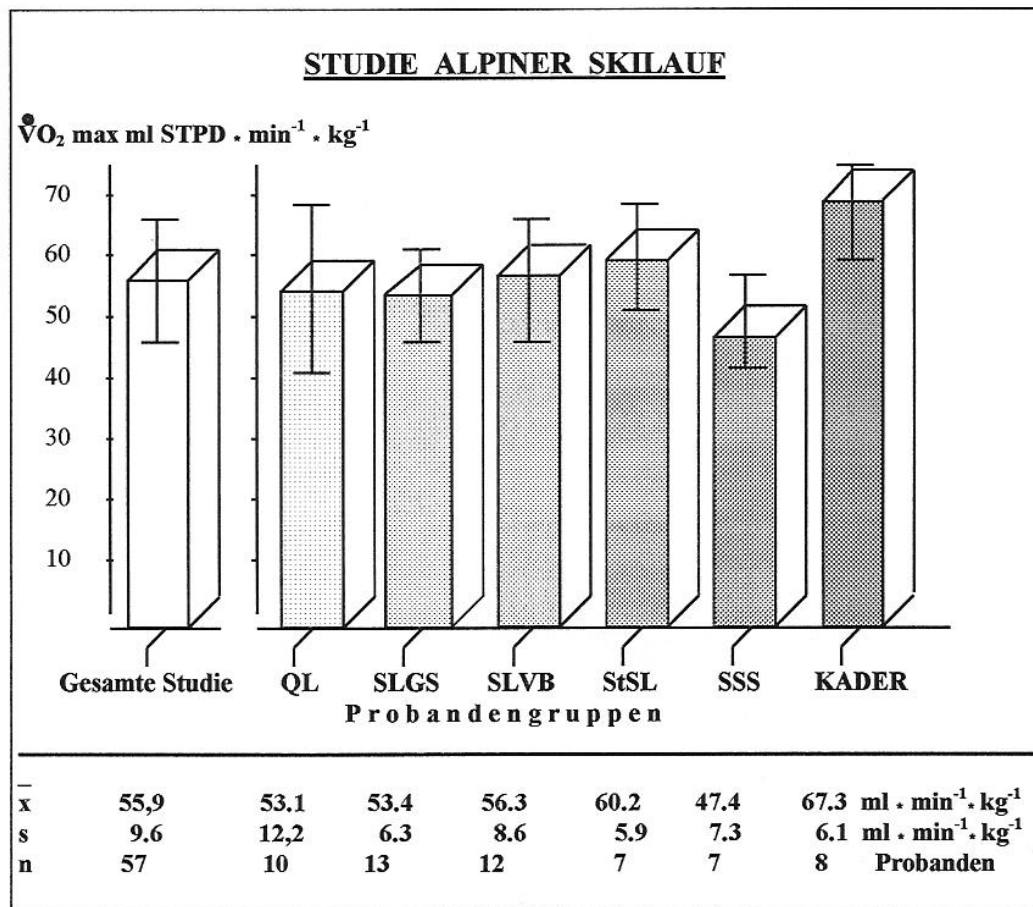


Abb. 15: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ max ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Neben der Gesamtgruppe ($n=57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Aufgrund der altersbedingten geringeren absoluten Sauerstoffaufnahme und ihrem relativ großen Körpergewicht von $80,5 \pm 9,4 \text{ kg}$ weisen die Seniorenskisportler im Mittel mit $47,4 \pm 7,3 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ die niedrigste maximale relative O_2 -Aufnahme auf.

Im Mittelwertsvergleich der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** lassen sich zwischen den **Seniorenkisportlern** versus **DSV- und Verbandsskilehrer** ($p= .04$) **statistisch signifikante** Differenzen erkennen. Für den Vergleich der Probandengruppen **Seniorenskilauf** versus **Berufsskilehrer** ($p= .004$) sowie **Seniorenkisportler** versus **Hessische Ski Alpin Kaderathleten** ($p= .006$) werden **hochsignifikante** Mittelwertsdifferenzen ermittelt.

Die **Juniorenrennläufer der Hessischen Ski Alpin Verbandsauswahl** unterscheiden sich mit ihrer mittleren maximalen relativen Sauerstoffaufnahme von **$67,3 \pm 6,1$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1}** von den **Qualifikationslosen Skiläufern** ($58,1 \pm 13$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1} , $p= .009$), den **Übungsleitern- und Skilehrern Grundstufe** ($52,8 \pm 6$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1} , $p= .006$), den **DSV- und Verbandsskilehrern** ($56,6 \pm 8$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1} , $p= .006$) sowie den **Seniorenkisportlern** ($47,4 \pm 7$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1} , $p= .006$) **hochsignifikant**.

3.2.6 Sauerstoffpuls

Die Mittelwertskurve des Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot Hf⁻¹) der Studie Alpiner Skilauf vor, während und nach der erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Ausbelastung ist in Abbildung 16 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

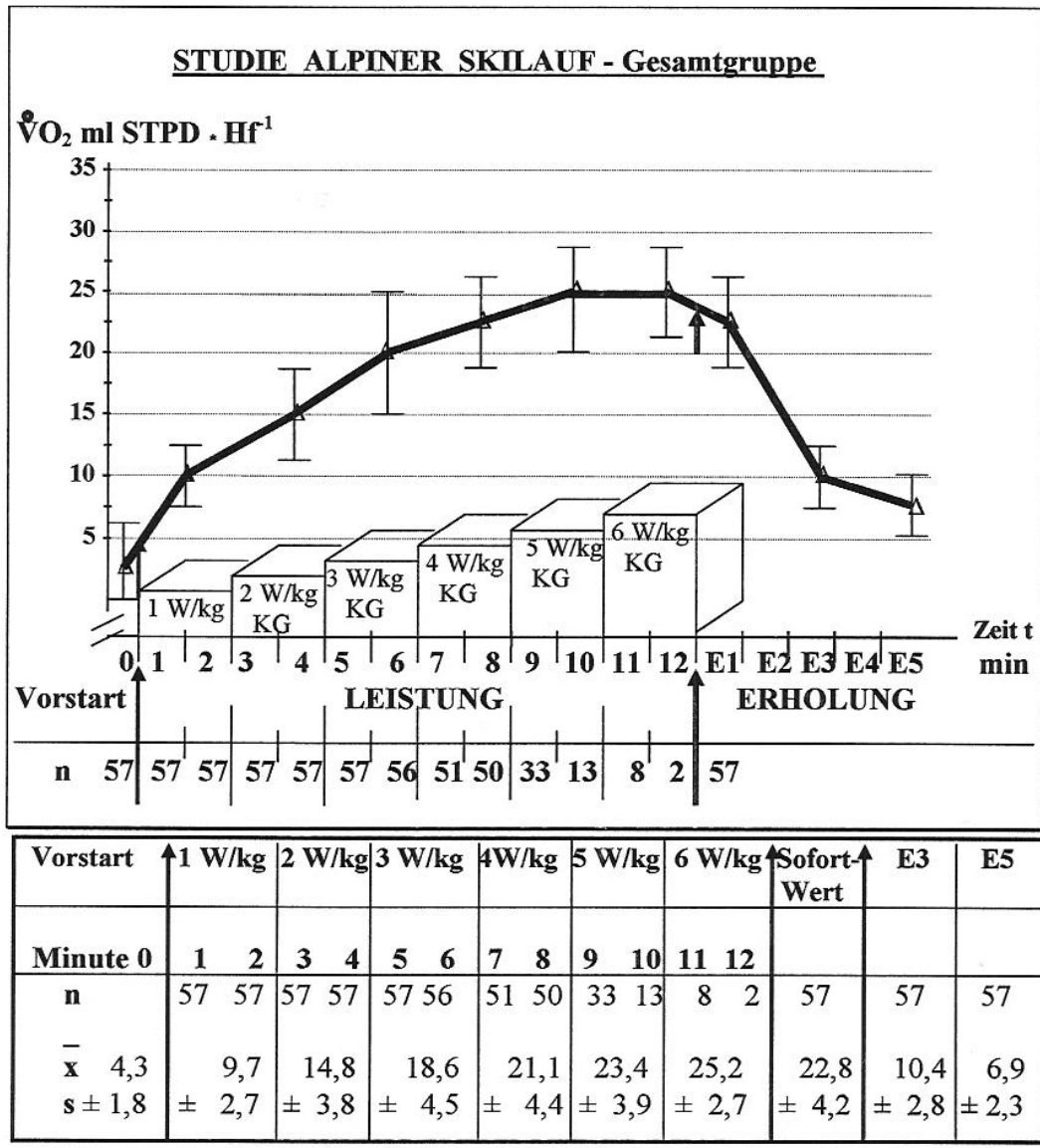


Abb. 16: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot Hf⁻¹) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Der **Sauerstoffpuls** ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} * \text{Hf}^1$) steigt ausgehend von den **Vorstartbedingungen** mit $4,3 \pm 1,8 \text{ ml STPD}$ in den unteren Belastungsstufen über den **submaximalen Belastungsbereich** mit $14,8 \pm 3,8 \text{ ml STPD}$ linear an, wobei sich mit den zunehmenden Belastungsstufen die Anstiegskurve abflacht. Der **durchschnittliche Maximalwert des Sauerstoffpulses** wird bei dieser erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Ausbelastung mit $25,2 \pm 2,7 \text{ ml STPD}$ registriert.

Danach fällt der Sauerstoffpuls über den **Sofortwert** mit $22,8 \pm 4,2 \text{ ml STPD}$ und die **3. Erholungsminute** mit $10,4 \pm 2,8 \text{ ml STPD}$ auf $6,9 \pm 2,3 \text{ ml STPD}$ in der **5. Erholungsminute** ab. In der 5. Erholungsminute sind die Werte im Vergleich zu den Ausgangswerten in der Vorstartphase nur noch leicht erhöht.

Die in der vorliegenden Studie ermittelten Ergebnisse des Sauerstoffpulses liegen über den von HOLLMANN, HECK 1971 erhobenen Ergebnissen an untrainierten männlichen Versuchspersonen, während der Kurvenverlauf mit einem initial steileren Anstieg und nachfolgender Abflachung identisch ist. Laut HECK 1990 weisen **durchschnittlich ausdauerleistungsfähige Männer** unter **dynamischer Vita maxima-Belastung** Werte von $15\text{-}20 \text{ ml STPD}$ auf.

Unter den Vorstartbedingungen zeigen die **Qualifikationslosen Skiläufer** mit $3,4 \pm 0,9 \text{ ml STPD}$ den **geringsten Sauerstoffpuls**. Die Untergruppe der **Senioren-ski-sportler** weist mit $6,1 \pm 1,9 \text{ ml STPD}$ den **größten Wert des Sauerstoffpulses** auf.

Im **submaximalen Belastungsbereich** bei 2 W/kg KG wird für die Untergruppe der **Seniorenskiläufer** mit $19,0 \pm 3,1 \text{ ml STPD}$ der steilste Anstieg des Sauerstoffpulses registriert. Auf dieser submaximalen Belastungsstufe ergeben sich im **Mittelwertsvergleich** statistisch **signifikante** Differenzen zu den Qualifikationslosen ($14,3 \pm 4,4 \text{ ml STPD}$, $p = .03$), den Grundstufen-Übungsleitern und -Skilehrern ($15,5 \pm 3,2 \text{ ml STPD}$, $p = .03$) und den Hessischen Ski Alpin Kaderathleten ($13,8 \pm 4,8 \text{ ml STPD}$, $p = .027$).

Die Abbildung 17 zeigt vergleichende Säulendiagramme mit den **Durchschnittswerten** für den **maximalen Sauerstoffpuls ($\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot Hf⁻¹)** der einzelnen Probandengruppen der Studie **Alpiner Skilauf**.

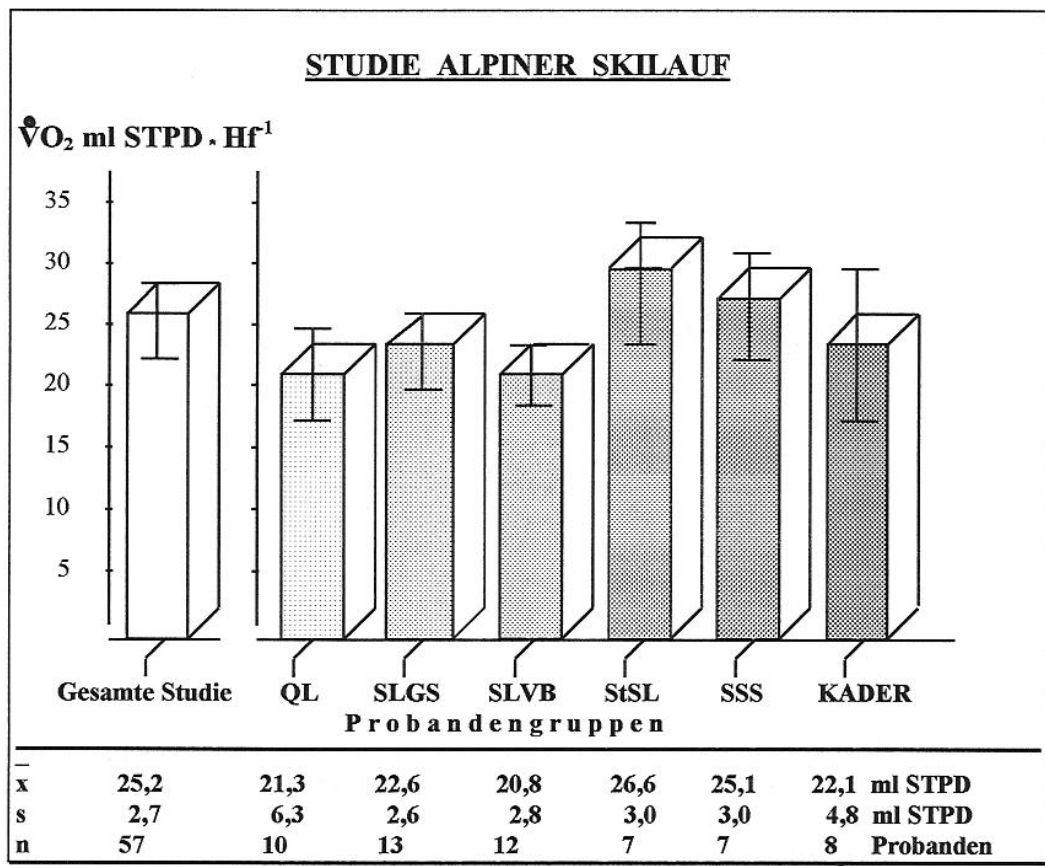


Abb. 17: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) des maximalen Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot Hf⁻¹) der Querschnittsstudie **Alpiner Skilauf** mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der **Qualifikationslosen Skisportler (QL)**, der **Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS)**, der **DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB)**, der **Berufsskilehrer (StSL)**, der **Seniorenskisportler (SSS)** und der **Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER)** dargestellt.

Auf der **submaximalen Belastungsstufe** unterscheidet sich der Mittelwert des Sauerstoffpulses der **Seniorenskisportler** $19,0 \pm 3,1$ ml STPD versus **Berufsskilehrer** $14,6 \pm 1,5$ ml STPD ($p= .006$) **hochsignifikant** sowie **Seniorenskisportler** versus **DSV-/Verbandsskilehrer** $12,9 \pm 3$ ml STPD ($p < .001$) **höchstsignifikant**.

Bei der **erschöpfenden Ausbelastung** erreicht die Untergruppe der **Berufsskilehrer** mit einem Mittelwert von **$26,6 \pm 3$ ml STPD** den **höchsten maximalen**

Sauerstoffpuls. Den **niedrigsten mittleren Sauerstoffpuls** erzielen unter **Vita maxima-Bedingungen** die DSV- und Verbandsskilehrer mit **20,8 ± 2,8 ml STPD**. Im **Mittelwertsvergleich** zwischen den einzelnen Probandengruppen heben sich die **Berufsskilehrer** mit ihrem maximalem mittleren Sauerstoffpuls **hochsignifikant** von den Übungsleitern und Grundstufenskilehrern (22,7 ± 2,6 ml STPD; p= .006) sowie von den DSV- und Verbandsskilehrern (20,8 ± 2,8 ml STPD; p= .002) ab.

3.2.7 Atemäquivalent

Die Mittelwerte des Atemäquivalentes ($\text{A}\ddot{\text{A}} = \text{AMV I BTPS} / \text{VO}_2 \text{ ml STPD}$) der Studie Alpiner Skilauf vor, während und nach erschöpfender fahrradspiroergometrischer Ausbelastung sind in der Abbildung 18 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

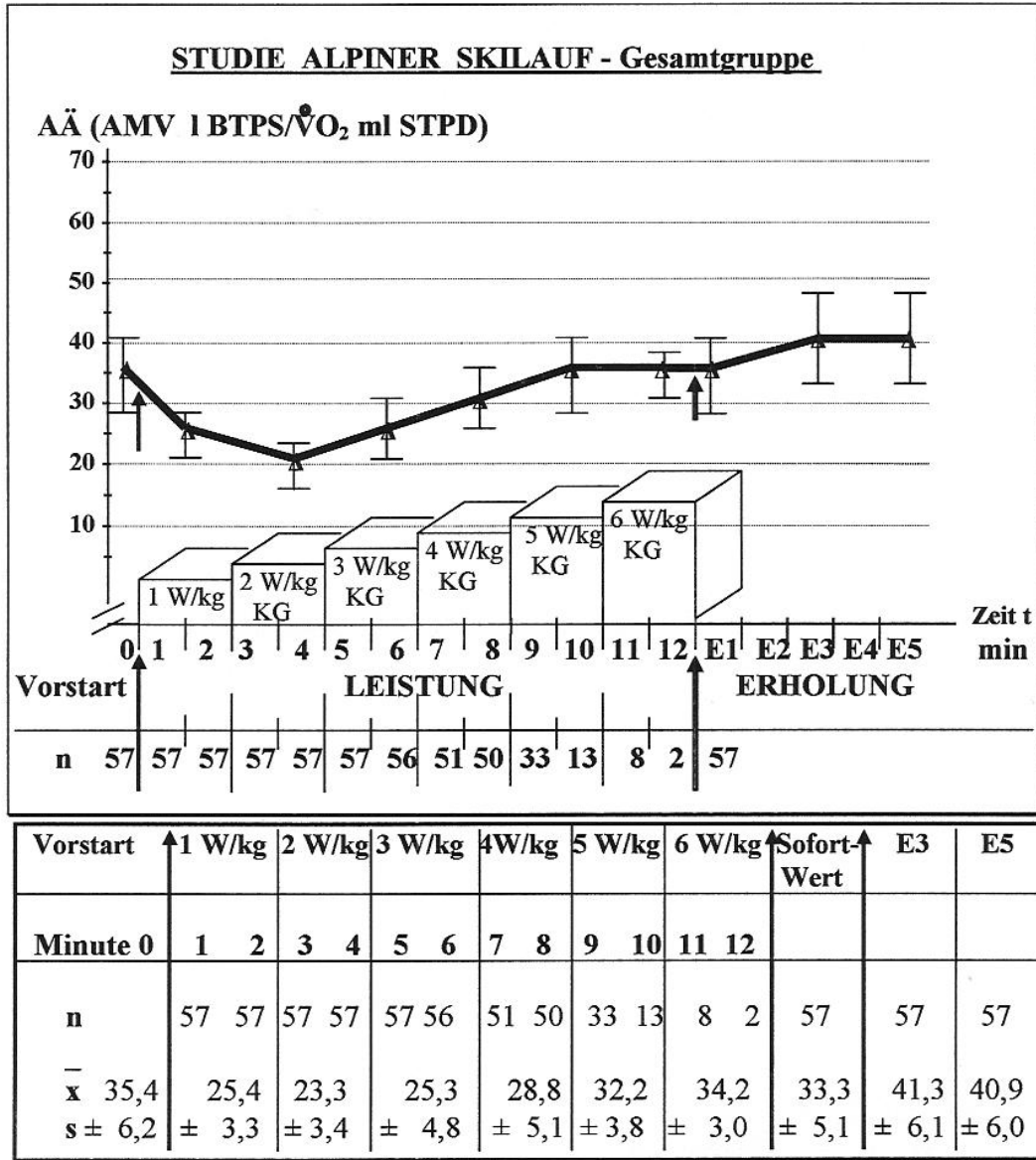


Abb. 18: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Atemäquivalentes ($\text{A}\ddot{\text{A}} = \text{AMV I BTPS} / \text{VO}_2 \text{ ml STPD}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Das **Atemäquivalent** ist ein Bewertungsmaß für die **Ökonomie der Atmung** sowie ein **Kriterium** zur Beurteilung der **Belastungssituation** des Probanden bei der spiroergometrischen Untersuchung.

Der von KNIPPING, MONCRIEFF 1932 eingeführte kardiorespiratorische Quotient aus Atemminutenvolumen l BTPS/Sauerstoffaufnahme ml STPD ist bei unseren Probanden in der Vorstartphase erhöht. Dies dokumentiert die Hyperventilation infolge der psychischen Erregung in der Vorstartphase (NOWACKI 1965).

Leichte körperliche Tätigkeiten führen zu einer **Ökonomisierung der Atmung**, wobei der Wert des **Atemäquivalentes absinkt**. Laut KNIPPING, HOLLMANN 1964 erreicht das Atemäquivalent bei **Pulsfrequenzen von ca. 120 – 130 * min⁻¹ seine niedrigsten Werte**.

Mit zunehmend forciertem Arbeit steigt das Atemäquivalent an. Wird nach NOWACKI 1965, HOLLMANN 1980 je nach Alter, Geschlecht sowie Trainingszustand ein **Wert von 30 – 35** überschritten, befindet sich der Proband im **Grenzbereich** seiner **körperlichen Leistungsfähigkeit**. Unter einer Vita maxima-Belastung nimmt die Atmungsökonomie rasch ab. Bei ausdauertrainierten Sportlern können Werte von über 40 registriert werden.

Bei der Betrachtung der Durchschnittskurve imponiert der andersartige Kurvenverlauf im Vergleich zu den bisher dargestellten Kurvenverläufen. Der unter **Vorstartbedingungen** erhobene **Anfangswert** des Atemäquivalentes **35,4 ± 6,2** liegt **über** den Werten der unteren Belastungsstufen beim 1 W/kg KG-Verfahren (1 W/kg KG: 25,4 ± 3,3; 2 W/kg KG: 23,3 ± 3,3).

Für den **submaximalen Bereich** bei 2 W/kg KG ergibt sich mit **23,3 ± 3,3 die beste Ventilationsökonomie**. Unter zunehmender Belastung steigt das Atemäquivalent kontinuierlich bis auf **34,2 ± 3** unter **Vita maxima-Bedingungen**, wobei sich der **Kurvenverlauf abflacht**. Während der **ersten Erholungsminuten** wird die **Ventilation unökonomischer** und das Atemäquivalent erreicht in der **3. Erholungsminute** als **höchsten Wert 41,3 ± 6,1**.

3.2.8 Ventilations-Respiratorischer Quotient

Die Mittelwerte des Ventilations-Respiratorischen Quotienten (VRQ) der Studie Alpiner Skilauf vor, während und nach erschöpfender fahrradspiroergometrischer Ausbelastung sind in Abbildung 19 und der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

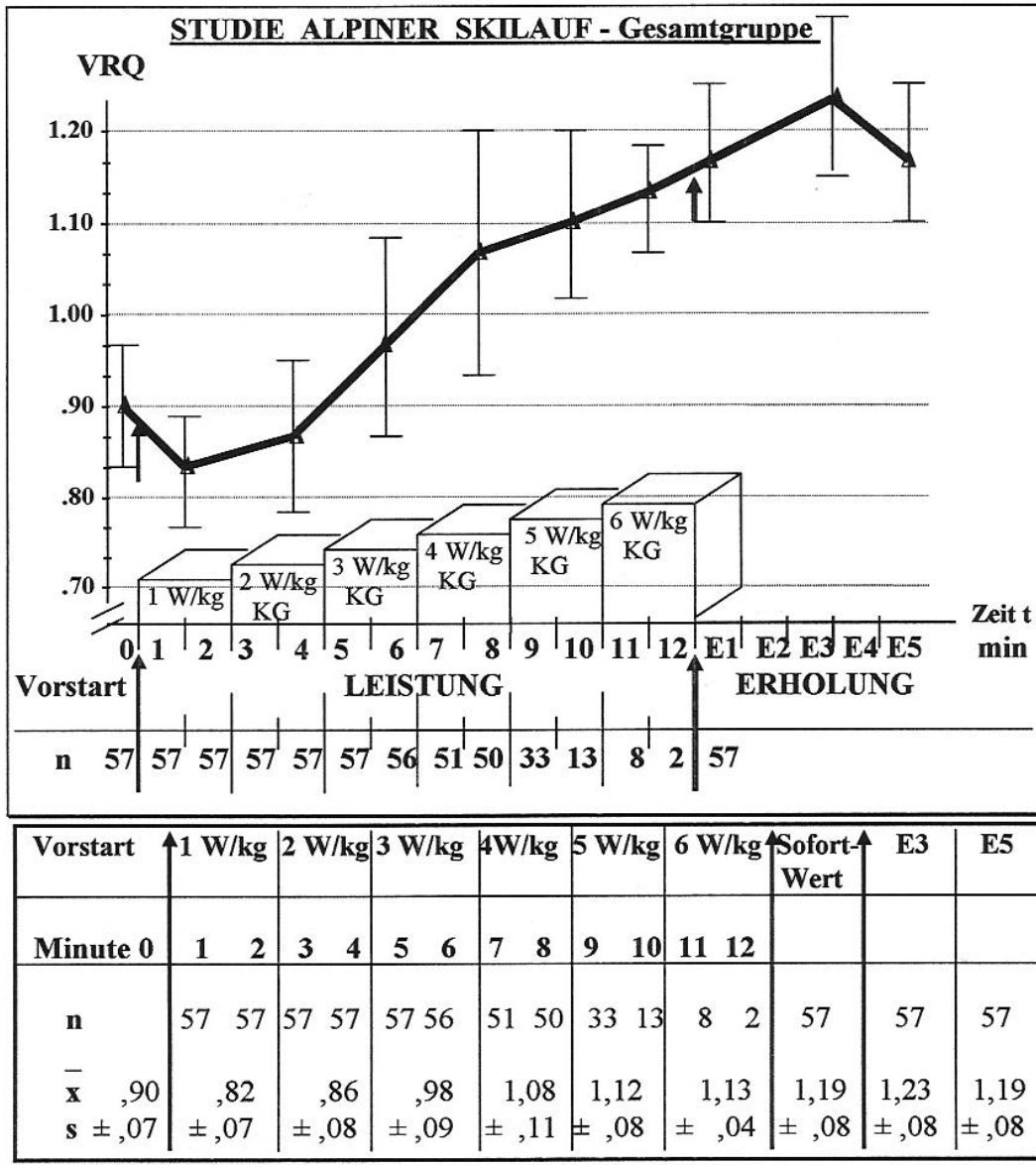


Abb. 19: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Ventilations-Respiratorischen Quotienten (VRQ) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Der **Kurvenverlauf** des **Ventilations-Respiratorischen Quotienten (VRQ)** verläuft **parallel** zur Kurve des **Atemäquivalentes**. Der **mittlere VRQ** der gesamten Studie Alpiner Skilauf liegt unter **Vorstartbedingungen** bei **0.90 ± 0.07**.

Während der ersten **submaximalen Belastungsstufen** fällt der VRQ zunächst auf seinen **Minimalwert** von **0,82 ± 0,07** bei **1 W/kg KG** ab. Im **submaximalen Bereich** bei 2 W/kg KG steigt der VRQ auf **0,86 ± 0,08** an. Es folgt ein linearer steiler **Anstieg** des VRQ-Kurvenverlaufs bis auf **1,13 ± 0,04** am Ende der erschöpfenden Spiroergometrie bei 6 W/kg KG. Im Übergangsbereich zwischen 3 W/kg KG und 4 W/kg KG steigt der VRQ von < 1.0 auf > 1.0. Dies dokumentiert auch den Eintritt in den anaeroben Bereich mit Laktatwerten > 4 mmol/l.

Zu **Beginn der Erholungsphase** steigt der VRQ bis zu der **3. Erholungsminute** weiter auf **1,23 ± 0,08** an. Hier wird der **größte Wert** des Ventilations-Respiratorischen Quotienten registriert. Von diesem **Maximalwert** fällt der VRQ bis zur **5. Erholungsminute** auf **1.19 ± 0.08** linear ab.

Die **Untergruppe** der DSV- und Verbandsskilehrer **weist zu allen vorliegenden Messzeitpunkten** die **mittleren Maximalwerte** auf. Unter **Ruhebedingungen** registrierten wir einen **VRQ** von **0,93 ± 0,06**, der unter **Vita maxima-Belastung** auf **1,22 ± 0,10** und bis zur **3. Erholungsminute** auf **1,29 ± 0,07** steigt. Bis zur **5. Erholungsminute** fällt der VRQ auf **1,23 ± 0,08** ab.

Den **niedrigsten Vorstart-** **0,87 ± 0,06** und **Vita maxima-VRQ** **1,16 ± 0,10** weisen die **Hessischen Ski Alpin Kaderathleten** auf. In der **3. Erholungsminute** liegt der VRQ dieser Untergruppe mit **1.16 ± 0.06** ebenfalls am niedrigsten, steigt aber noch bis zur **5. Erholungsminute** auf **1,19 ± 0,07** an.

3.2.9 Laktat

Die Mittelwerte des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Studie Alpiner Skilauf vor, während und nach erschöpfender fahrradspiroergometrischer Ausbelastung sind in Abbildung 20 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

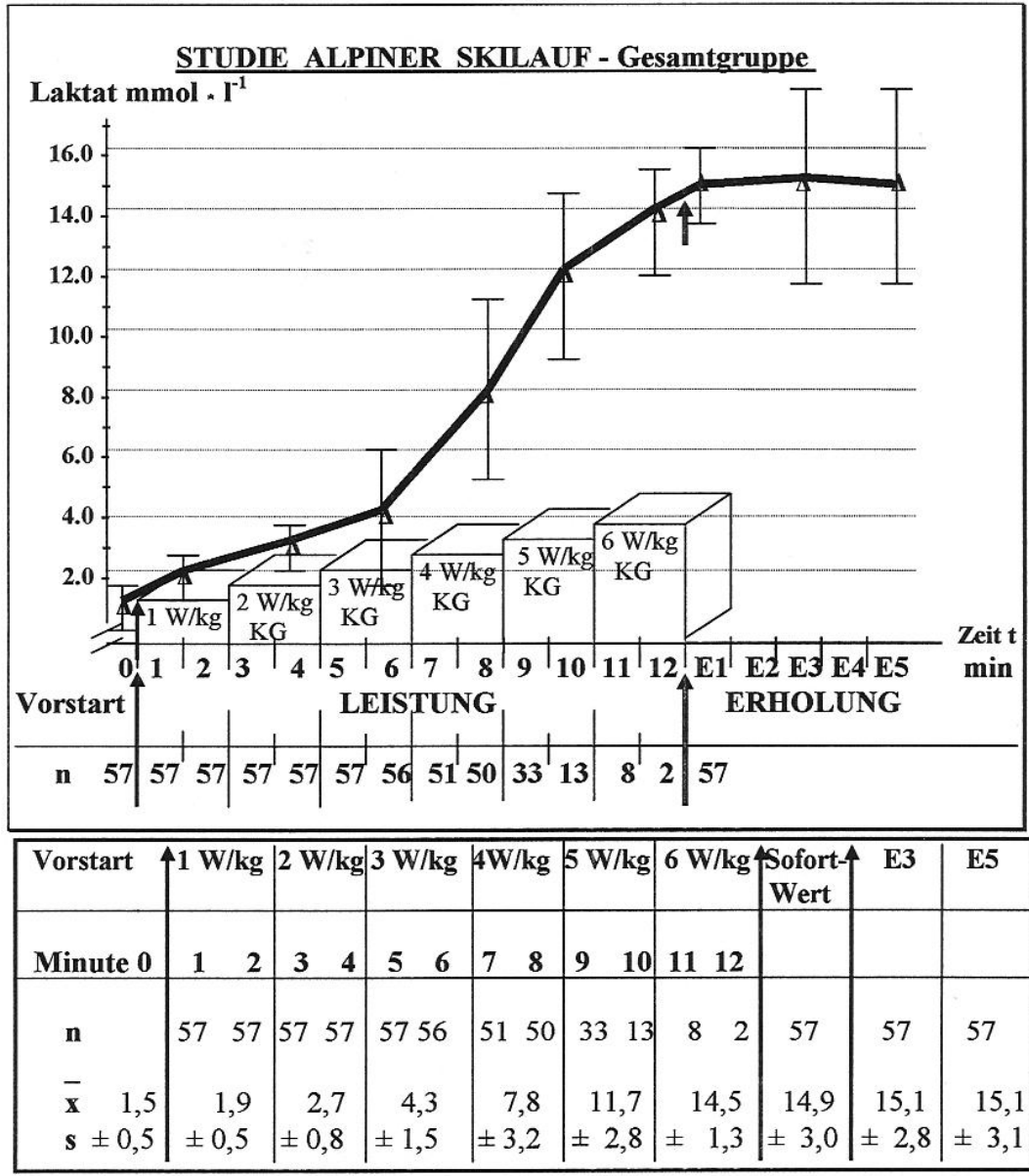


Abb. 20: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradsportergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Die mittleren **Laktatwerte** der Studie Alpiner Skilauf liegen beim **Vorstart** bei **1,5 ± 0,5 mmol * l⁻¹**. In den unteren Belastungsstufen bei **1 W/kg KG** (**1,9 ± 0,5 mmol * l⁻¹**) sowie im **submaximalen Bereich** bis zu 2 W/kg KG mit **2,7 ± 0,8 mmol * l⁻¹** liegt eine **aerobe Stoffwechsellage vor**. Danach steigt die **Laktatleistungskurve** bei einer Belastung von **3 W/kg KG** auf einen mittleren Wert von **4,3 ± 1,5 mmol * l⁻¹** an.

Diese **Laktatkonzentration** im Blut dürfte dem **maximalen Laktat-Steady-state** und der **aerob-anaeroben Schwelle** der untersuchten Skisportler entsprechen (MADER u. Mitarb. 1976, KINDERMANN 1978, HECK 1990). Mit **zunehmender Belastung** oberhalb von 3 W/kg KG steigt die **Laktatleistungskurve** in ihrem Verlauf **exponentiell** an.

Sofort nach **Belastungsabbruch** ergibt sich für die gesamte Studie ein Mittelwert von **14,9 ± 3 mmol * l⁻¹**. Entsprechend den von HECK 1990 postulierten „Beurteilungskriterien der Ausbelastung bei stufenförmigen Belastungsschemata“ kann mit der vorliegenden Laktatkonzentration objektiv eine erschöpfende Ausbelastung der Probanden der vorliegenden Studie angenommen werden.

In der **3. Erholungsminute** wurde ein durchschnittlicher **Maximalwert von 15,1 ± 2,8 mmol * l⁻¹** Laktat gemessen. Bis zur **5. Erholungsminute** kommt es zu **keinem Laktatabfall**. Unverändert wird eine mittlere Serumlaktatkonzentration von **15,1 ± 3,1 mmol * l⁻¹** gemessen, was nochmals die erschöpfende Ausbelastung der untersuchten Athleten der Sportart Alpiner Skilauf bestätigt.

Im **submaximalen Belastungsbereich** von 2 W/kg KG ist im **Vergleich der Untergruppen** bei den Seniorenskisportlern mit **3,2 ± 0,9 mmol * l⁻¹** Laktat der höchste Wert zu registrieren. Die Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes (**2,3 ± 0,9 mmol * l⁻¹**) haben auf dieser Belastungsstufe die **geringste Blutlaktatkonzentration**. Werden die verschiedenen Probandengruppen in einem Mittelwertsvergleich geprüft, ergeben sich im submaximalen Bereich lediglich zwischen den Untergruppen der **DSV- und Verbandsskilehrer** und den **Seniorenskisportlern statistisch signifikante** Mittelwertsunterschiede (p= .03).

Den **höchsten Sofort-Laktatwert** erzielt mit **14,8 ± 2,2 mmol * l⁻¹** die Probandengruppe der DSV- und Verbandsskilehrer, während die Seniorenskisportler mit **11,6 mmol * l⁻¹** Laktat die **geringste Serumkonzentration** aufweisen. Im Mittelwertsvergleich ergeben sich für **diese beiden** Untergruppen **statistisch signifikante** Differenzen (p= .004).

In der **3. und 5. Erholungsminute** erreicht die Untergruppe der Berufsskilehrer jeweils mit **17,0 ± 3 mmol * l⁻¹** sowie **16,3 ± 3,8 mmol * l⁻¹** die höchsten Laktatkonzentrationen im Blut. Parallel dazu verläuft die Laktatleistungskurve der **Seniorenskisportler** mit den **niedrigsten Laktatwerten** in **E3** (12,9 ± 2,9 mmol * l⁻¹) und **E5** (13,4 ± 3,9 mmol * l⁻¹).

3.2.10 Belastungszeit

Die Mittelwerte der Belastungszeit (min) der Studie Alpiner Skilauf sind nach einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Ausbelastung in Abbildung 21 dargestellt.

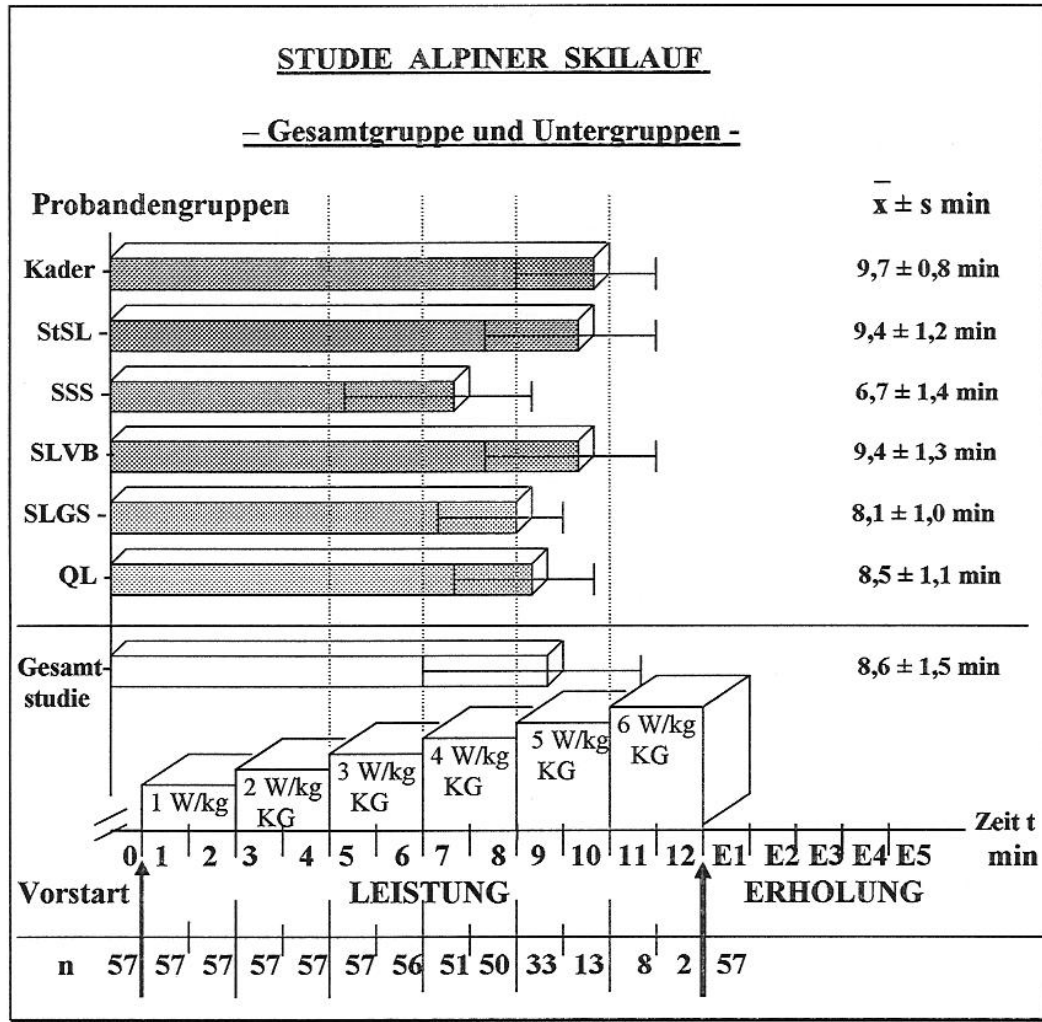


Abb. 21: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Belastungszeit der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Neben der Gesamtgruppe (n=57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Die **mittlere Belastungszeit** der vorliegenden Studie Alpiner Skilauf beträgt **8,6 ± 1,5 min**. **Unterhalb** des **Mittelwertes** der gesamten Studie liegen die Mittelwerte der Probandengruppen aus dem **Freizeitsportbereich** Alpiner Skilauf. Im Einzelnen sind dies die **Seniorenkissportler** (6,7 ± 1,4 min), die **Qualifikationslosen Freizeitskiläufer** (8,5 ± 1,1 min) sowie die **Übungsleiter** und **Grundstufen-skilehrer** (8,1 ± 1,0 min). Der **Mittelwertvergleich** der Belastungszeit ergibt für die **Seniorenkissportler** sowie für die **Übungsleiter-** und **Skilehrer-Grundstufe** eine **statistisch signifikant niedrigere Belastungszeit** im Vergleich zu allen anderen Probandengruppen.

Belastungszeiten **über** dem **Mittelwert** der Studie Alpiner Skilauf weisen die **Kaderathleten** Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes (9,7 ± 0,8 min), die **Berufsskilehrer** (9,4 ± 1,2 min) sowie die **DSV- und Verbandsskilehrer** (9,4 ± 1,3 min) auf. Im **Vergleich** dieser **3 Probandengruppen** ergeben sich **keine statistisch gesicherten** Mittelwertsdifferenzen.

Im Vergleich zu untrainierten Normalpersonen (ROST, HOLLMANN 1982: 6 min) weisen die Alpinen Skiläufer eine gute Belastungszeit auf.

Laut HECK 1990 ergäbe sich über die Berechnung der **Solleistung** (hier: 220 Watt) nach dem 1 W/kg KG-Verfahren eine Belastungszeit von 6 Minuten. NOWACKI 1985 postuliert als normale Leistungsfähigkeit eines Untrainierten 3 W/kg KG, was einer Belastungszeit von 6 Minuten im 1 W/kg KG-Verfahren entspricht. Somit liegen die untersuchten Alpinen Skiläufer deutlich **über den vergleichbar geleisteten Werten Untrainierter**.

3.2.11 Gesamtarbeit

Für die gesamte Studie Alpiner Skilauf beträgt der **Mittelwert** der geleisteten **Gesamtarbeit 1680 ± 840 Wattminuten**. Die **größte Gesamtarbeit** erreichten mit **2212 ± 528 Wattminuten** die Berufsskilehrer. Im Mittelwertsvergleich heben diese sich **statistisch signifikant** von den Qualifikationslosen Freizeitskiläufern ($p = .03$), den Übungsleitern- und Skilehrern Grundstufe ($p < .001$) sowie den Seniorenskisportlern ($p < .001$) ab.

Die **geringste Gesamtarbeit** mit **1139 ± 317 Wattmin** wird von der Probandengruppe der **Seniorenskisportler** erbracht. Deren mittlere Gesamtarbeit unterscheidet sich **statistisch signifikant** von der Leistung aller übrigen Probandengruppen (Seniorenskiläufer versus Qualifikationslose Freizeitskiläufer $p = .03$, vs. Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe $p = .004$, vs. DSV- und Verbandsskilehrer $p = .02$, vs. Berufsskilehrer $p < .001$, vs. Hessische Ski Alpin Kaderathleten $p = .013$).

In der sportmedizinischen Literatur lassen sich nur wenige Vergleichswerte über die Gesamtarbeit in Wattminuten ermitteln, da die Gesamtarbeit ein einheitliches ergometrisches Belastungsprofil voraussetzt. Insofern erfolgt in dieser Studie vor allem ein Vergleich zu Sportlern und Sportarten, die nach der 1 Watt/kg KG-Methode belastet wurden.

Vorausgegangene Untersuchungen Alpiner Skiläufer ergaben nach HÜBNER 1981 und NOWACKI 1984 eine Gesamtleistung von **1304 ± 200 Wattmin**.

Insgesamt liegt die Körperliche Leistungsfähigkeit der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf gemessen als Gesamtarbeit in Wattminuten nach der 1 W/kg KG-Methode über dem Leistungsniveau untrainierter junger Männer zwischen 20 und 30 Jahren.

Die **Mittelwerte der Gesamtarbeit (Wattmin)** der Studie Alpiner Skilauf sind nach einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Ausbelastung in der Abbildung 22 dargestellt.

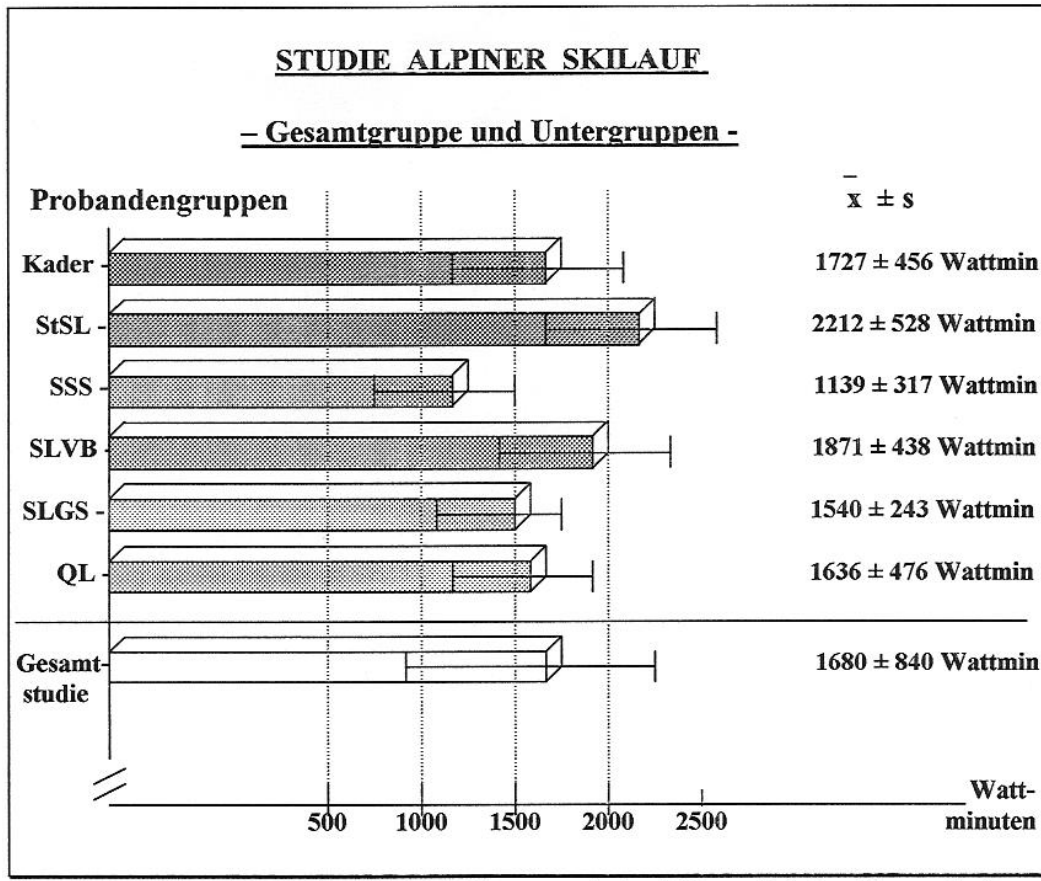


Abb. 22: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Gesamtarbeit (Wattmin) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

3.2.12 Absolute und Relative Wattstufe

Die Mittelwerte der Absoluten (W) und der Relativen Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) der Studie Alpiner Skilauf sind nach einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Ausbelastung in Abbildung 23 mit den dazugehörigen Wertetabellen dargestellt.

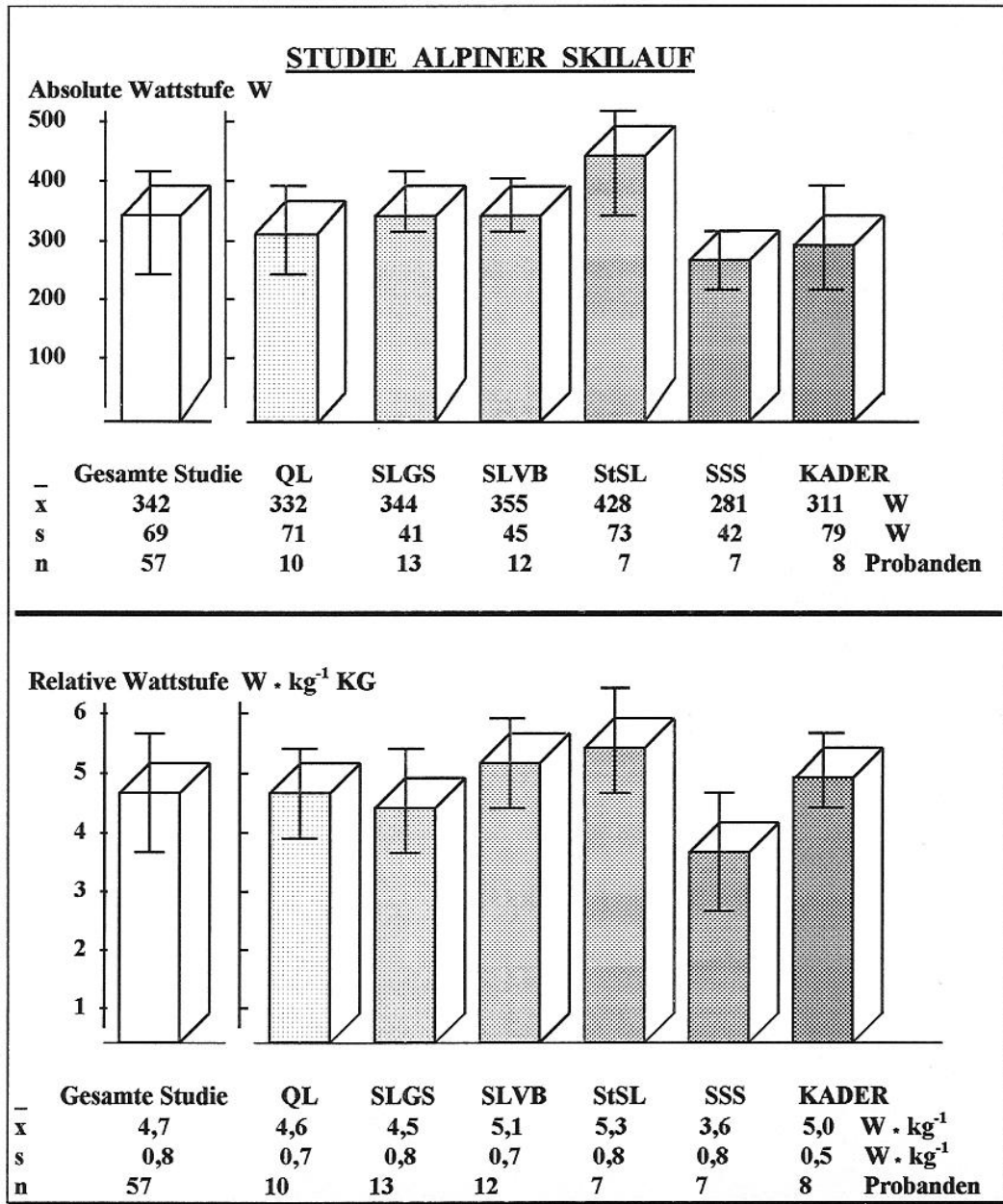


Abb. 23: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Absoluten (W) und der Relativen maximalen Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Die **absolute maximale Wattstufe** auf dem Fahrradergometer liegt für die Studie Alpiner Skilauf bei **342 ± 69 W**. Die absolut höchste Wattzahl leisten mit **428 ± 73 W** die **Berufsskilehrer**. Die geringste Wattzahl wird von den **Senioren-skisportlern** mit **281 ± 42 W** erzielt. Der Vergleich der Berufsskilehrer versus alle übrigen Probandengruppen ergibt jeweils **statistisch signifikante Mittelwertsunterschiede**. Die Seniorenskisportler zeigen statistisch gesichert die **signifikant geringste absolute maximale Wattstufe** im Mittelwertsvergleich versus Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe ($p = .006$), versus DSV- und Verbands-skilehrer ($p = .012$) sowie versus Berufsskilehrer ($p < .001$).

Zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit ist die **relative maximale Wattstufe ($W * kg^{-1} KG$)** im Rahmen der Leistungsdiagnostik eines der aussagekräftigsten Kriterien, wie in der Literatur durch KLEMT, ROST 1986, KINDERMANN 1987, NOWACKI 1987, ZHAO 1995 und APPEL 1996 beschrieben.

Die **relative maximale Wattstufe** liegt für die Studie Alpiner Skilauf bei **4,7 ± 0,8 $W * kg^{-1} KG$** .

Die **größte relative maximale Wattstufe** erzielen mit **5,3 ± 0,8 $W * kg^{-1} KG$** die **Berufsskilehrer**. Diese ist jedoch nur im Mittelwertsvergleich zu den Grundstufen-Übungsleitern und -Skilehrern ($p = .02$) sowie zu den Seniorenskisportlern ($p < .001$) **statistisch signifikant** bzw. **höchst signifikant**. Analog zur absoluten Wattstufe weisen die Seniorenskisportler mit **3,6 ± 0,8 $W * kg^{-1} KG$** auch die **geringste relative Leistung** auf. Diese Mittelwertsdifferenz ist im Vergleich zu allen anderen Probandengruppen statistisch signifikant.

Hinsichtlich der **absoluten** und der **relativen Wattstufe** kann der gesamten Studie Alpiner Skilauf nach dem **1 W/kg KG-Verfahren** eine „**gut trainierte**“ **Leistungsfähigkeit** attestiert werden.

3.3 Ergebnisse der erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Schnelligkeitsausdauerbelastung

3.3.1 Herzfrequenz

Die mittlere **Herzfrequenz** aller Probanden beträgt unter **Ruhebedingungen** 94 ± 20 Herzschläge $\cdot \text{min}^{-1}$. Während der **Vorstartphase** bei einem leichten Tretwiderstand von 40 W bei 30 U/min steigt die Herzfrequenz auf $119 \pm 17 \text{ min}^{-1}$ an. Während der ersten 20 Sekunden der Belastung steigt die Herzfrequenzkurve steil und linear bis auf 167 ± 12 Schläge $\cdot \text{min}^{-1}$. Nachfolgend ist der Kurvenverlauf abgeflacht. Gegen Ende der Belastungsminute wird eine **maximale Herzfrequenz von $178 \pm 11 \cdot \text{min}^{-1}$** registriert. Die gemessenen Hf-Werte in den sechs 10-Sekunden-Intervallen wurden jeweils auf die entsprechenden Minutenwerte umgerechnet.

Bereits nach 10 Sekunden ist die im Stufenbelastungstest ermittelte **submaximale Herzfrequenz von $134 \cdot \text{min}^{-1}$** um ca. 20 Schläge $\cdot \text{min}^{-1}$ überschritten. Somit liegt die maximale Herzfrequenz bei der Schnelligkeitsausdauerleistung signifikant ($p=.014$) über einer **Ausdauerleistung im „steady state“**.

Die **maximale Herzfrequenz von $178 \pm 11 \cdot \text{min}^{-1}$** im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest liegt unter der maximalen Herzfrequenz, die im Stufenbelastungstest mit **182 ± 16 Schläge $\cdot \text{min}^{-1}$** erzielt wurde. Diese Mittelwertsdifferenz ist statistisch nicht signifikant ($p= .57$).

Unmittelbar nach dem Belastungsabbruch erfolgt ein **exponentieller Abfall** der Herzfrequenz über die ersten beiden Erholungsminuten auf 130 ± 21 Schläge $\cdot \text{min}^{-1}$ in der 3. Erholungsminute. In der **5. Erholungsminute** ist die Herzfrequenz auf **$115 \pm 13 \cdot \text{min}^{-1}$** abgefallen.

Die **höchsten, mittleren Herzfrequenzen** während des anaeroben Belastungstests erzielen mit 184 ± 9 Schlägen $\cdot \text{min}^{-1}$ die **jugendlichen Nachwuchssrennläufer und Junioren des Hessenkaders Ski Alpin**. Die Probandengruppe der **Seniorenskisportler** weist die niedrigste **maximale Herzfrequenz** von 159 ± 10 Schlägen $\cdot \text{min}^{-1}$ auf. Die mittleren maximalen Herzfrequenzwerte aller übrigen Probandengruppen liegen zwischen 177 ± 7 und $184 \pm 9 \cdot \text{min}^{-1}$.

Die Ski Alpin Kaderathleten erholen sich bis zum Ende der 5. Erholungsminute auf $116 \pm 7 \text{ * min}^{-1}$. Die Versuchsgruppe der Seniorenskisportler kommt auf eine Herzfrequenz von $102 \pm 11 \text{ * min}^{-1}$ am Ende der 5. Erholungsminute.

Die Mittelwertskurve der **Herzfrequenz** von Alpinen Skiläufern vor, während und nach der anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung sitzend auf dem Fahrradergometer ist in der Abbildung 24 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

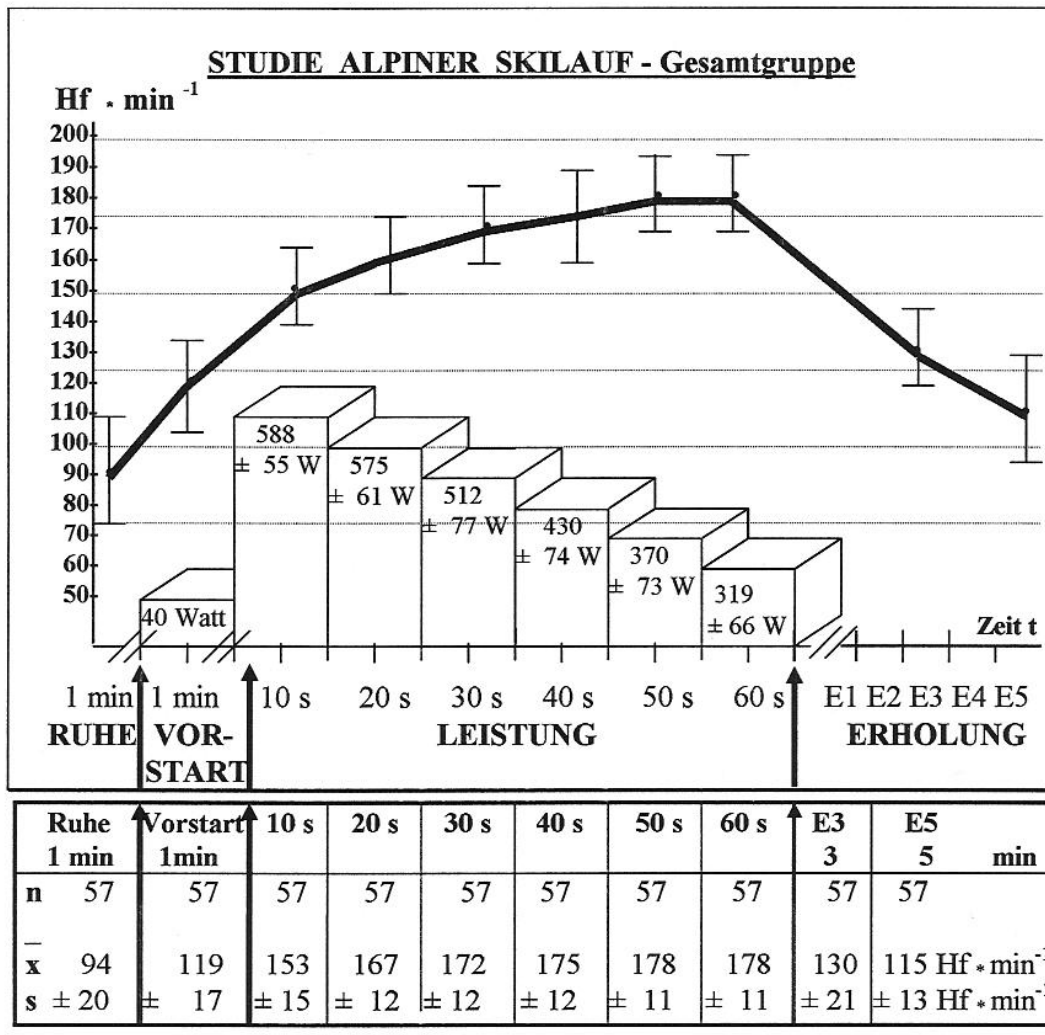


Abb. 24: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der Herzfrequenz ($\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung sitzend auf dem Fahrradergometer nach SZÖGY und Mitarb. 1984.

Die Hf - Werte sind ebenso wie die erreichten Wattstufen in 10 - Sekunden-Intervallen der 1-minütigen Leistungsphase dargestellt.

Die Tabelle 5 zeigt einen Vergleich der Herzfrequenzen für die Gesamtgruppe Alpinen Skilauf und die 6 Untergruppen beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobung nach SZÖGY und Mitarb. 1984.

Tab. 5: Studie Alpiner Skilauf

-Verhalten der Herzfrequenz ($Hf * \text{min}^{-1}$) beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobung sitzend auf dem Fahrradergometer nach SZÖGY u. Mitarb. 1984-, Gesamtgruppe versus 6 Untergruppen

	Sitzend auf dem Fahrradergometer in körperlicher Ruhe	Sofort-Wert nach Belastungsabbruch	3. Erholungsminute	5. Erholungsminute
Ges. Studie \bar{x}	94 ± 20	178 ± 11	130 ± 21	115 ± 13 min^{-1}
QL	94 ± 19	182 ± 9	139 ± 19	123 ± 18 min^{-1}
SLGS	101 ± 25	184 ± 9	126 ± 37	115 ± 14 min^{-1}
SLVB	96 ± 21	184 ± 8	133 ± 7	116 ± 7 min^{-1}
StSL	93 ± 18	177 ± 7	130 ± 12	116 ± 10 min^{-1}
SSS	85 ± 11	159 ± 10	117 ± 11	102 ± 11 min^{-1}
KADER	90 ± 14	184 ± 9	133 ± 9	116 ± 7 min^{-1}

Nach der erschöpfenden anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung ergeben sich **statistisch hochsignifikante Mittelwertsunterschiede** für den Vergleich der maximalen Herzfrequenzen Seniorenskilauf versus alle anderen Probandengruppen ($p = .002$).

Analog zum Stufenbelastungstest nach NOWACKI 1974 ist das **Herzfrequenzverhalten der Seniorenskisportler adäquat** zum Lebensalter. Entsprechend den Empfehlungen wäre bei den Seniorenskisportler eine **durchschnittliche maximale Herzfrequenz** von $152 * \text{min}^{-1}$ zu erwarten. Tatsächlich wird unmittelbar **nach Belastungsabbruch** eine mittlere maximale Herzfrequenz von $159 \pm 10 * \text{min}^{-1}$ ermittelt.

3.3.2 Atemminutenvolumen, Atemfrequenz und Atemzugvolumen

Die Mittelwertskurven des Atemminutenvolumens, der Atemfrequenz und des Atemzugvolumens sind in Abb. 25 mit dazugehöriger Wertetabelle dargestellt.

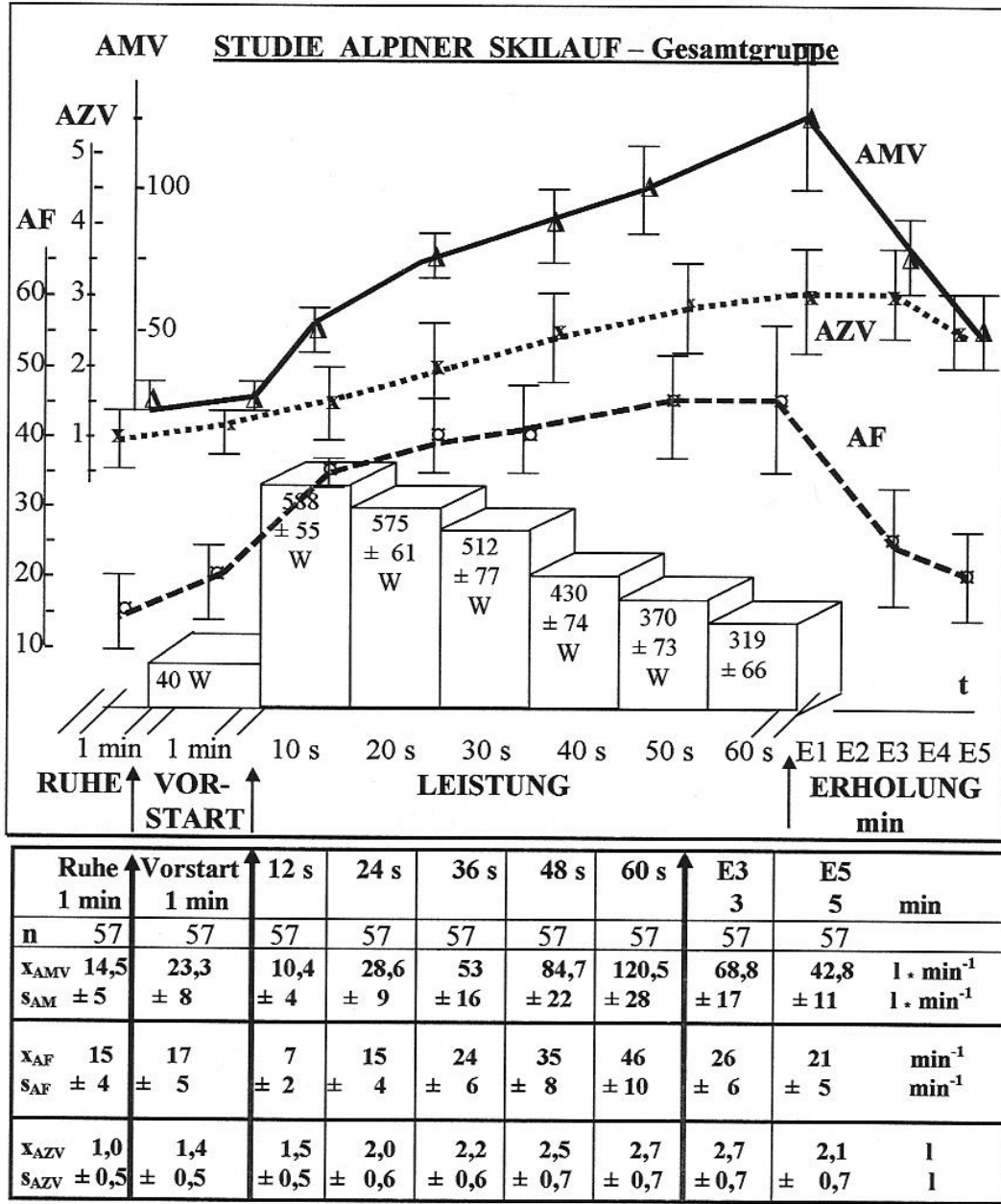


Abb. 25: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des AMV ($l \cdot \text{min}^{-1}$ BTPS), der AF ($\text{*} \cdot \text{min}^{-1}$) und des AZV (ml BTPS) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Die respiratorischen Messgrößen Atemminutenvolumen, Atemfrequenz und Atemzugvolumen werden unter den Ruhebedingungen sitzend auf dem Fahrradspiroergometer bis auf die Atemfrequenz oberhalb des **Normbereichs** registriert. Dies ist die Folge der Hyperventilation in der Vorstartphase.

Bei einem **Atemminutenvolumen von $14,5 \pm 5,1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** und einer durchschnittlichen **Atemfrequenz von $15 \pm 4 \cdot \text{min}^{-1}$** ergibt sich ein **mittleres Atemzugvolumen von $1,0 \pm 0,5 \text{ l}$** . Diese Vorstartwerte bestätigen die Ergebnisse des Stufenbelastungstests.

Während der Vorstartphase bei einem Tretwiderstand von 40 W bei 30 U/min steigt das Atemminutenvolumen auf **$23,3 \pm 8,1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** an. Dabei ist das erhöhte Atemminutenvolumen sowohl auf einen Atemfrequenzanstieg auf **$17 \pm 5 \text{ min}^{-1}$** wie auch auf eine Zunahme des Atemzugvolumens von **$1,4 \pm 0,5 \text{ l}$** zurückzuführen.

Unter der anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung sitzend auf dem Fahrradergometer **steigen Atemminutenvolumen und Atemfrequenz** auf durchschnittlich **$120,5 \pm 28 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** bei **$46 \pm 10 \cdot \text{min}^{-1}$** Atemzügen an. Hieraus lässt sich ein **mittleres Atemzugvolumen von $2,7 \pm 0,7 \text{ l}$** ermitteln. Das Atemminutenvolumen des Anaeroben Schnelligkeitsausdauertests liegt mit ca. **$15 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** statistisch **hochsignifikant** ($p = .007$) **unter dem AMV des Stufenbelastungstests. Ursächlich** ist ein **höchst signifikant kleineres** (ca. $-0,7 \text{ l}$, $p < .001$) **Atemzugvolumen**.

Zur Kompensation des kleineren Atemzugvolumens liegt beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauer test im Vergleich zum Stufenbelastungstest eine **signifikant erhöhte Atemfrequenz** vor.

Während der Erholungsphase kommt es zu einer sukzessiven Abnahme des Atemminutenvolumens. In der 5. Erholungsminute liegt das Atemminutenvolumen noch bei **$42,8 \pm 11 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** . Die Atemfrequenz beträgt bei **$21 \pm 5 \cdot \text{min}^{-1}$** . Für das Atemzugvolumen werden **$2,1 \pm 0,7 \text{ l}$** ermittelt.

Infolge der anaeroben Schnelligkeits- und Kraftausdauerleistung liegen alle **3 respiratorischen Messgrößen in der 5. Erholungsminute statistisch hoch bzw. höchstsignifikant über** den Ergebnissen im Stufenbelastungstest (AMV $p < .001$, AF $p = .003$, AZV $p = .003$).

Analog zum Stufenbelastungstest wurde für die Probandengruppe **Hessenkader Ski Alpin** das **niedrigste, mittlere maximale Atemminutenvolumen** registriert. Es wurden $108 \pm 32 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ermittelt. Dabei zeigen die Kaderathleten eine **mittlere Atemfrequenz** von $46 \pm 6 \cdot \text{min}^{-1}$ Atemzügen. Das **Atemzugvolumen** dieser Probandengruppe lag im Mittel bei $2,4 \pm 0,6 \text{ l}$.

Die **niedrigste, mittlere Atemfrequenz** weisen wie beim Stufenbelastungstest mit $40 \pm 11 \cdot \text{min}^{-1}$ die **Seniorenskisportler** auf. Aufgrund des größten mittleren Atemzugvolumens von $3,5 \pm 0,1 \text{ l}$ während der anaeroben Beanspruchung wird dennoch ein AMV von $133,4 \pm 38,1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ventiliert, was ca. 6 l über dem Ergebnis des Stufenbelastungstests liegt.

3.3.3 Absolute Sauerstoffaufnahme

Die Mittelwertskurve der **absoluten Sauerstoffaufnahme** $\dot{V}O_2$ l STPD vor, während und nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer ist in Abbildung 26 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

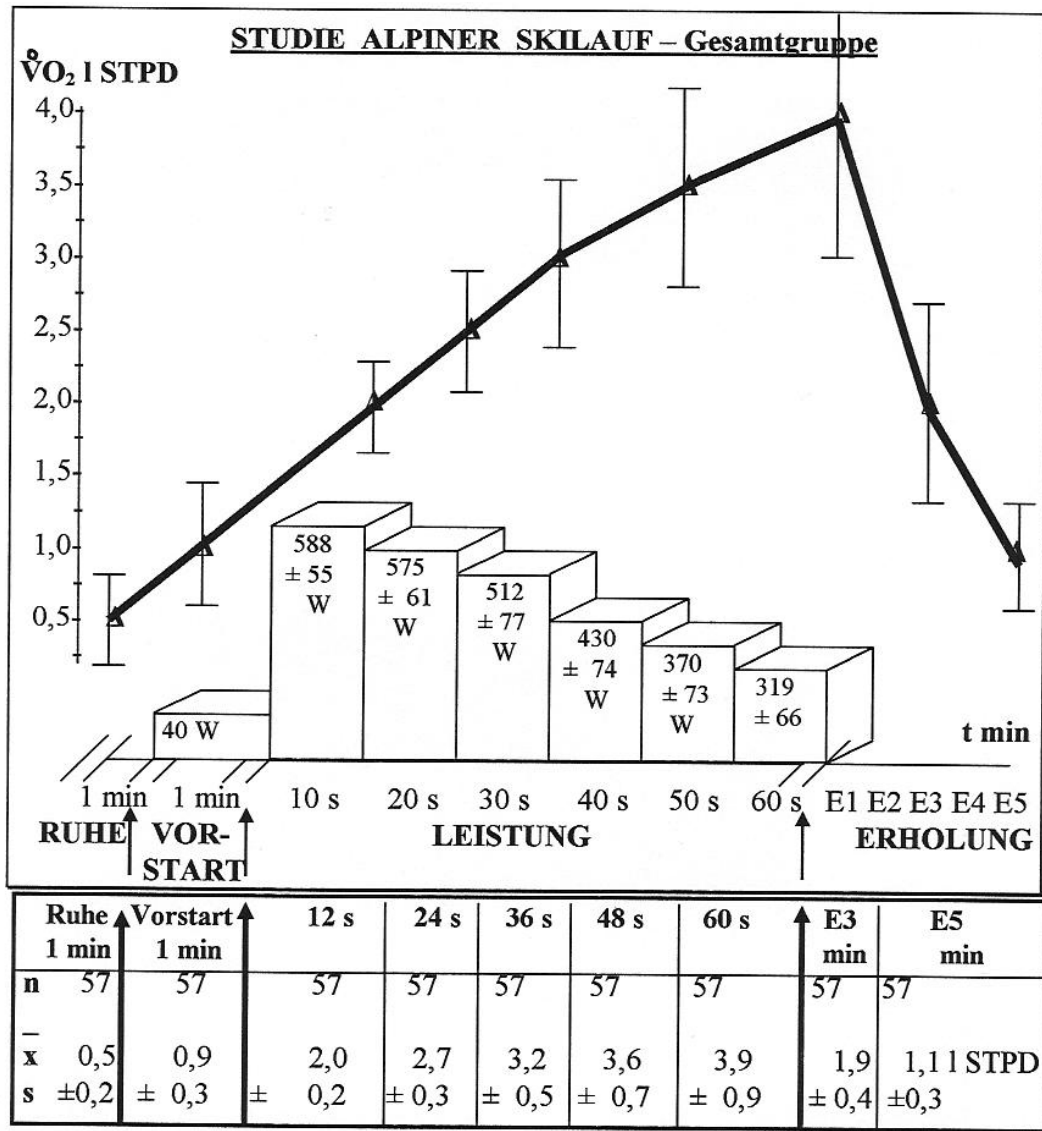


Abb. 26: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ l STPD) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Die **absolute Sauerstoffaufnahme** (VO_2 l STPD) beträgt vor dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobung sitzend auf dem Fahrradergometer **$0,5 \pm 0,2$ l STPD**. Zwischen den verschiedenen Probandengruppen ergeben sich unter diesen Bedingungen keine signifikanten Mittelwertsdifferenzen.

Während der **Vorstartphase** bei einem Tretwiderstand von 40 W steigt die absolute Sauerstoffaufnahme **linear** auf **$0,9 \pm 0,3$ l STPD** an. Mit dem Beginn der anaeroben Schnelligkeits- und Kraftausdauerleistung kommt es zu einem steilen, linearen Anstieg im Kurvenverlauf der absoluten Sauerstoffaufnahme. Deren **maximaler Wert** wird am Ende der einminütigen Belastungsphase mit **$3,9 \pm 0,9$ l STPD erreicht**.

Nachfolgend fällt der Kurvenverlauf der absoluten Sauerstoffaufnahme exponentiell über die **3. Erholungsminute** (**$1,9 \pm 0,4$ l STPD**) bis zur **5. Erholungsminute** auf **$1,1 \pm 0,3$ l STPD** ab.

Im Vergleich zum Stufenbelastungstest ($4,5 \pm 0,7$ l STPD) ergibt sich eine um 0,6 l **geringere absolute Sauerstoffaufnahme am Belastungsende** des Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobungs ($3,9 \pm 0,9$ l STPD), die mit $p < .001$ statistisch höchst signifikant erniedrigt ist.

Unter Berücksichtigung der **5-Minuten-Sauerstoffschuld**, die als Sauerstoffmehrabbedarf im Vergleich zum O_2 -Bedarf unter Ruhebedingungen während der körperlichen Erholungsphase definiert ist, ergibt sich ein **höchstsignifikant ($p < .001$) größerer Wert zugunsten des Stufenbelastungstests**. Im Stufenbelastungstest wird eine **5-Minuten-Sauerstoffschuld von $7,5 \pm 1,9$ l STPD** ermittelt. Im Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobung wird die Sauerstoff-Mehratmung auf **$6,7 \pm 1,5$ l STPD** berechnet.

Mit dem Ergebnis des Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobungs bestätigen die **Ski-sportler** die im Stufenbelastungstest erzielten Leistungen. Auch im Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobung erreichen sie deutlich **höhere Werte** als der **Durchschnittswert untrainierter Männer** in Alter von 18 bis 40 Jahren mit einer VO_2 von **$2,8 \pm 0,3$ l STPD nach NOWACKI 1977** und **HOLLMANN 1980** mit **$2,5 - 3,0$ l STPD**.

Die Abbildung 27 zeigt vergleichende Säulendiagramme mit den **Durchschnittswerten** für die **absolute Sauerstoffaufnahme** (VO_2 l STPD) der einzelnen **Probandengruppen** beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobung nach SZÖGY und Mitarb. 1984.

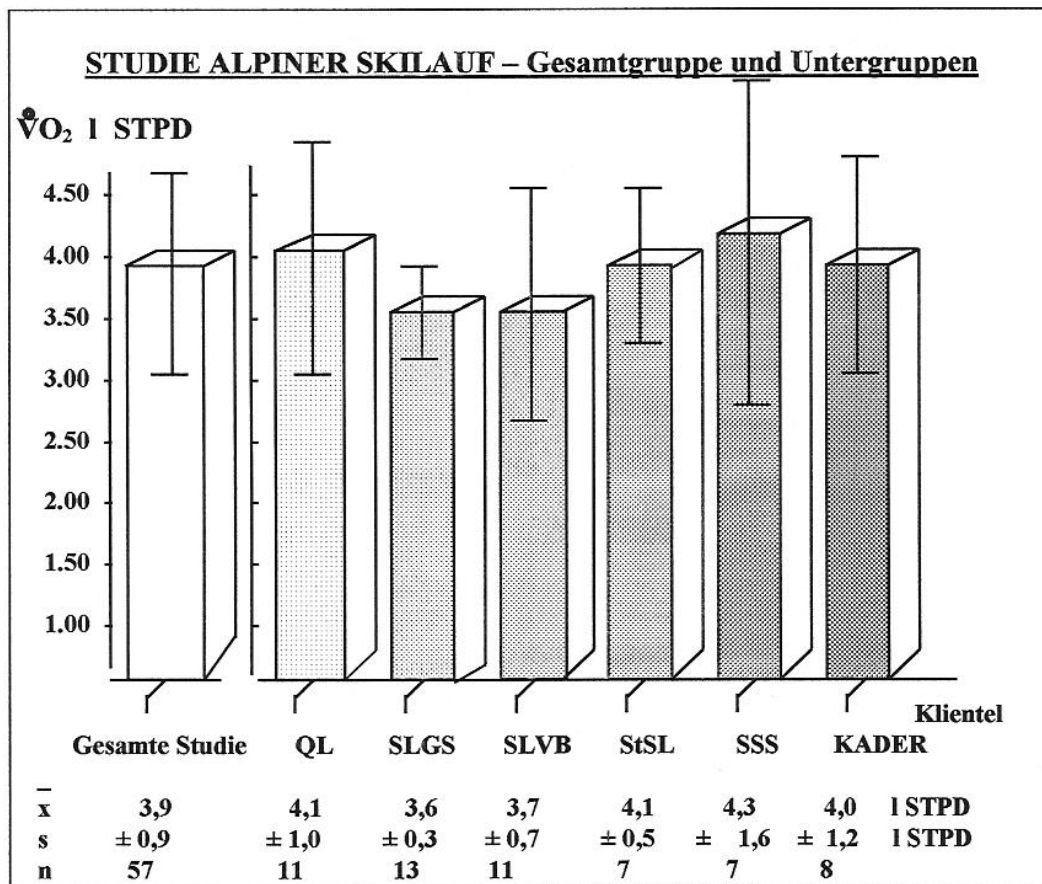


Abb. 27: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der absoluten Sauerstoffaufnahme (VO_2 l STPD) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984.

Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Der Mittelwertvergleich der verschiedenen Untergruppen ergibt für die Ruhephase und das Vorstartstadium keine statistisch gesicherten Unterschiede. Am Ende der maximalen anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung weisen die Seniorenskisportler mit $4,3 \pm 1,6$ l STPD die **größte absolute Sauerstoffaufnahme** auf.

Diese unterscheidet sich **statistisch nicht signifikant** von der Sauerstoffaufnahme anderer Probandengruppen. Die Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe erzielen mit **3,6 ± 0,3 l STPD** die geringste absolute Sauerstoffaufnahme. Ein statistisch gesicherter Mittelwertsunterschied zwischen den Probandengruppen ergibt sich nicht.

3.3.4 Relative Sauerstoffaufnahme

Die Mittelwertskurve der relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1}) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf vor, während und nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer ist in Abbildung 28 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

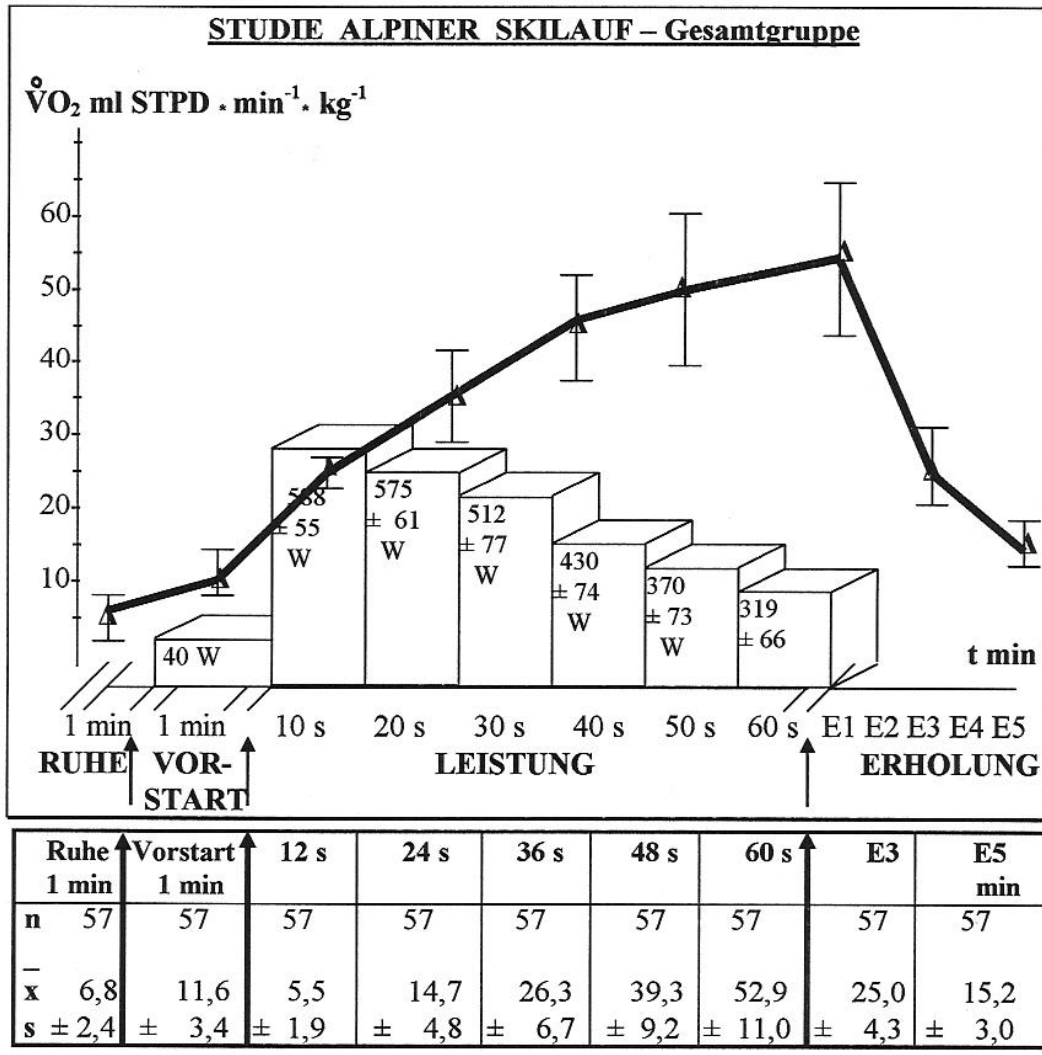


Abb. 28: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1}) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Die Mittelwerte der **relativen Sauerstoffaufnahme** ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$) liegen vor dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 unter Ruhebedingungen sitzend auf dem Fahrradergometer bei $6,8 \pm 2,4 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$. Während der Vorstartphase bei 40 W steigt die relative Sauerstoffaufnahme auf $11,6 \pm 3,4 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$ an. Mit Beginn der anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung steigt der Kurvenverlauf der relativen Sauerstoffaufnahme steil an. Nach 36 Sekunden kommt es zu einer Abflachung des Kurvenanstiegs bis zur relativen Sauerstoffaufnahme von $52,9 \pm 11 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$.

Sofort nach Belastungsabbruch sinkt die relative Sauerstoffaufnahme über die 3. Erholungsminute ($25 \pm 4,3 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$) bis zur **5. Erholungsminute** auf $15,2 \pm 3,0 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$ ab, wobei dieser Wert über dem Ausgangswert liegt.

Vergleicht man die im Stufenbelastungstest erzielte maximale relative Sauerstoffaufnahme von $55,6 \pm 9,6 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$ mit dem im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest erzielten Ergebnis von $52,9 \pm 11,0 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$, so ist diese Mittelwertsdifferenz **statistisch nicht signifikant**.

In der 3. und 5. Erholungsminute des Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstests ist die relative Sauerstoffaufnahme mit $25 \pm 4,3 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$ und $15,2 \pm 3 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$ im Vergleich zum Stufenbelastungstest statistisch **höchst signifikant erhöht**. Der Mittelwertsunterschied zugunsten des Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstests beträgt $7,3 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$ für die 3. und $5,1 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$ für die 5. Erholungsminute.

Die im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest erzielten Werte **der relativen Sauerstoffaufnahme** bestätigen die Ergebnisse des Stufenbelastungstests. Für die Größe des Zusammenhanges der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme in beiden Testverfahren lässt sich ein Pearsonscher Korrelationskoeffizient $r = .53$ berechnen.

Absolut betrachtet ist eine maximale relative Sauerstoffaufnahme von $52,9 \pm 11$ ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹ im gut trainierten Bereich der Leistungsfähigkeit einzu-
stufen.

Die Abbildung 29 zeigt vergleichende Säulendiagramme mit den **Durchschnittswerten** für die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** (VO₂ ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹ STPD) der einzelnen Probandengruppen nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerterst nach SZÖGY u. Mitarb. 1984.

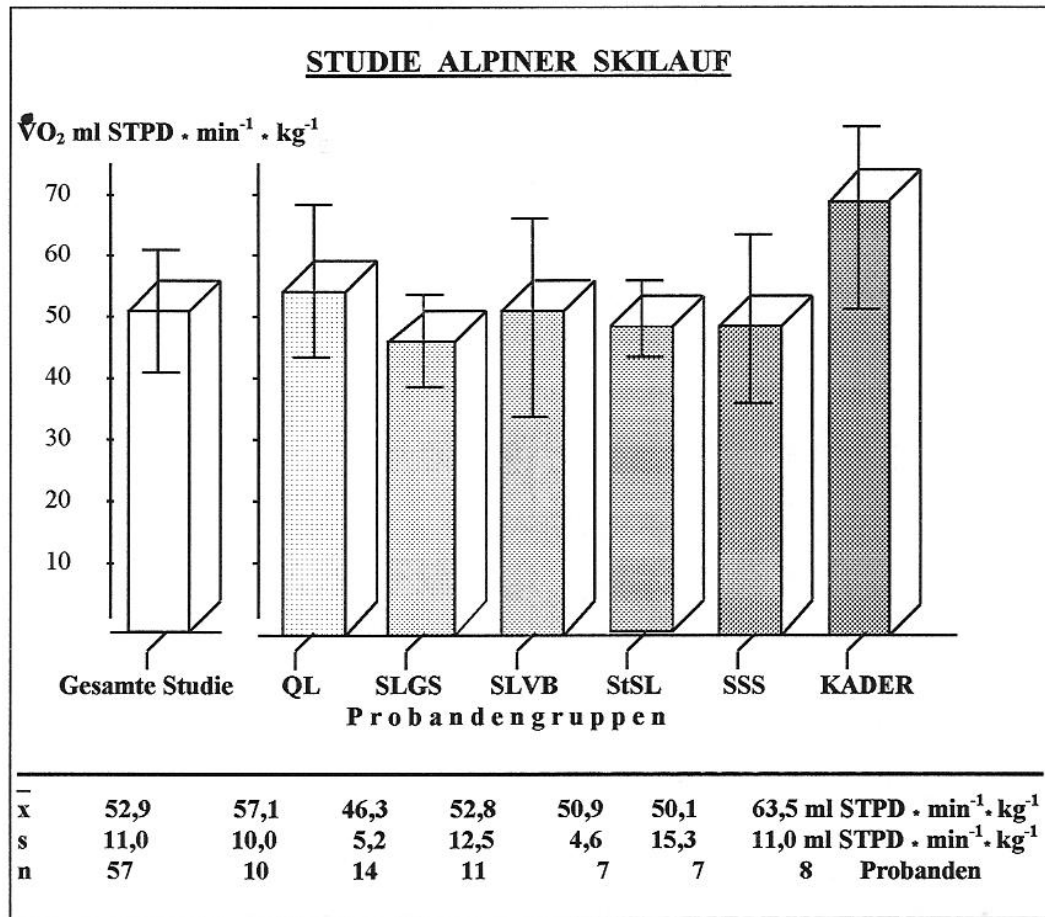


Abb. 29: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (VO₂ ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerterst nach SZÖGY u. Mitarb. 1984.

Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB) der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Die **Juniorenrennläufer der Hessischen Verbandsauswahl Ski Alpin** erzielen die größte relative Sauerstoffaufnahme von **63,5 ± 11 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹**.

Die Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe weisen mit **46,3 ± 5,2 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** die **geringste relative Sauerstoffzufuhr** auf. Der Mittelwertsunterschied dieser Probandengruppe zu den Untergruppen der Qualifikationslosen Freizeitskiläufer (p= .002), der Hessischen Nachwuchsrennläufer (p< .001) und der Berufsskilehrer (p= .02) ist **statistisch signifikant**.

Für die übrigen Mittelwertsvergleiche ergeben sich keine signifikanten Unterschiede.

3.3.5 Sauerstoffpuls

Die Mittelwertskurve des Sauerstoffpulses ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$) vor, während und nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer ist in Abbildung 30 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

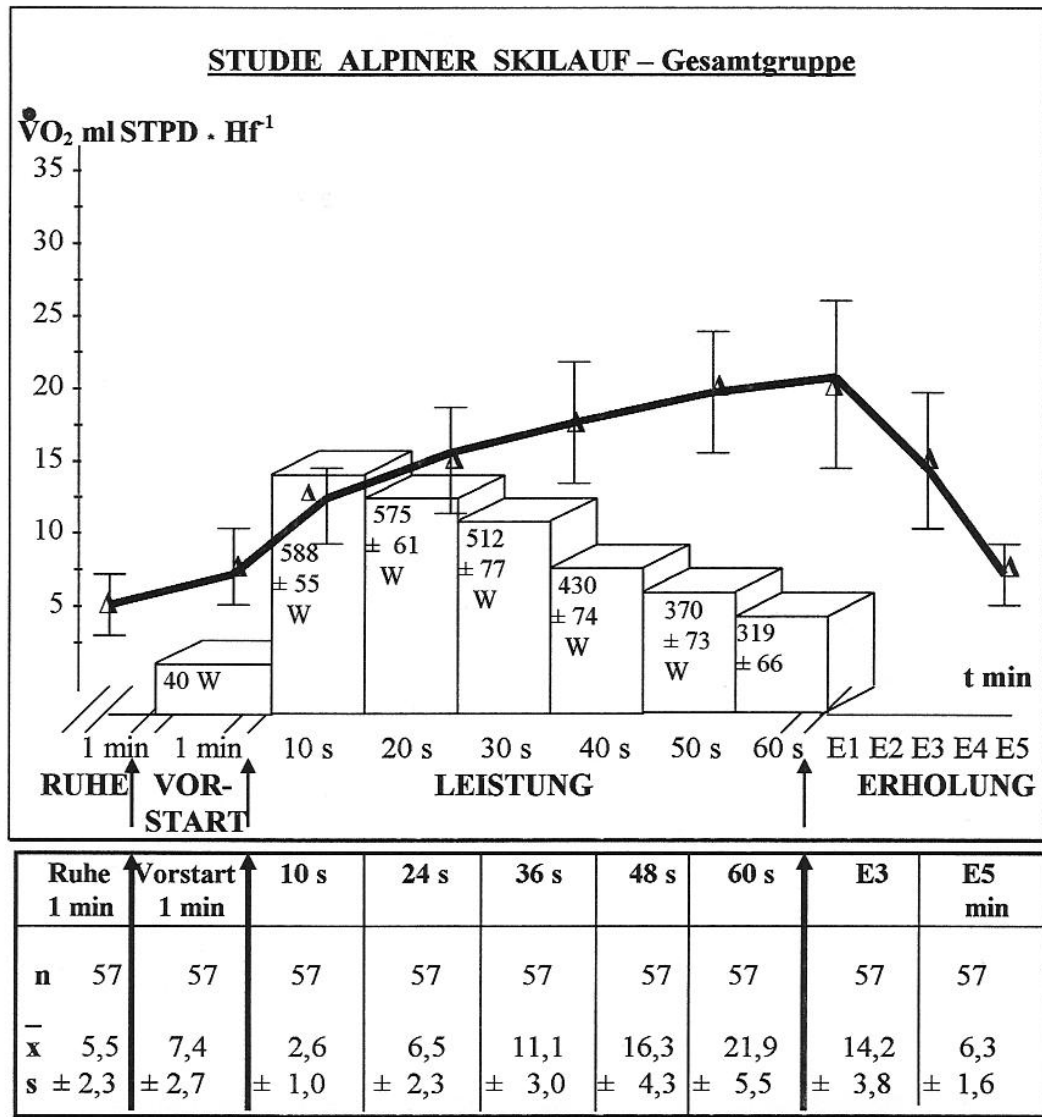


Abb. 30: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Sauerstoffpulses ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Der **Sauerstoffpuls** ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^1$) steigt ausgehend von den **Ruhebedingungen sitzend auf dem Fahrradergometer** mit $5,5 \pm 2,3 \text{ ml STPD}$ auf $7,4 \pm 2,7 \text{ ml STPD}$ in der Vorstartphase an.

Während der anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung steigt der Kurvenverlauf flach an. Der **maximale mittlere Sauerstoffpuls** wird am Belastungsende nach 60 Sekunden mit $21,9 \pm 5,5 \text{ ml STPD}$ erreicht. Während der Erholungsphase fällt der Sauerstoffpuls bis zur 5. Erholungsminute auf $6,3 \pm 1,6 \text{ ml STPD}$. Dieser Wert liegt über dem Ausgangswert sitzend auf dem Fahrradergometer.

Der maximale Wert des Sauerstoffpulses im Stufenbelastungstest von $25,2 \pm 2,7 \text{ ml STPD}$ bzw. der **Sofortwert** von $22,8 \pm 4,2 \text{ ml STPD}$ wird nur annähernd erreicht. Im Mittelwertsvergleich des maximalen Sauerstoffpulses ergibt sich mit $p = .32$ **kein statistisch signifikanter Unterschied** zwischen den Maximalwerten beider Belastungsverfahren.

Unter den Ruhebedingungen sitzend auf dem Fahrradergometer zeigen die **Qualifikationslosen Skiläufer** wie auch im Stufenbelastungstest mit $4,3 \pm 2,1 \text{ ml STPD}$ den **niedrigsten Sauerstoffpuls**. Analog dazu weist die Untergruppe der **Seniorenskisportler** wie im Stufenbelastungstest mit $6,8 \pm 2,0 \text{ ml STPD}$ den **größten Sauerstoffpuls** auf.

Im Mittelwertsvergleich ergeben sich für die Ruhebedingungen lediglich zwischen den Qualifikationslosen Skisportlern und den Seniorenskiläufern statistisch signifikante Unterschiede ($p = .035$) beim Sauerstoffpuls.

Am Ende der einminütigen anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung erreichen die **Seniorenskisportler** mit $26,7 \pm 9,7 \text{ ml STPD}$ den **größten Sauerstoffpuls**. Die **Übungsleiter- bzw. Skilehrer-Grundstufe** weisen am Belastungsende den **geringsten Sauerstoffpuls** mit $19,7 \pm 4,0 \text{ ml STPD}$ auf. Die **Mittelwertsdifferenz** zwischen diesen beiden Probandengruppen ist mit $p = .02$ **statistisch signifikant**. Der **Mittelwertsvergleich** ergibt zudem einen **signifikanten Unterschied** für die Berufsskilehrer ($23,2 \pm 2,4 \text{ ml STPD}$) versus die Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe ($19,7 \pm 2,4 \text{ ml STPD}$; $p = .04$).

Die Abbildung 31 zeigt vergleichende Säulendiagramme mit den **Durchschnittswerten** für den **maximalen Sauerstoffpuls** ($\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot Hf⁻¹) der einzelnen Probandengruppen nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererbst nach SZÖGY u. Mitarb. 1984.

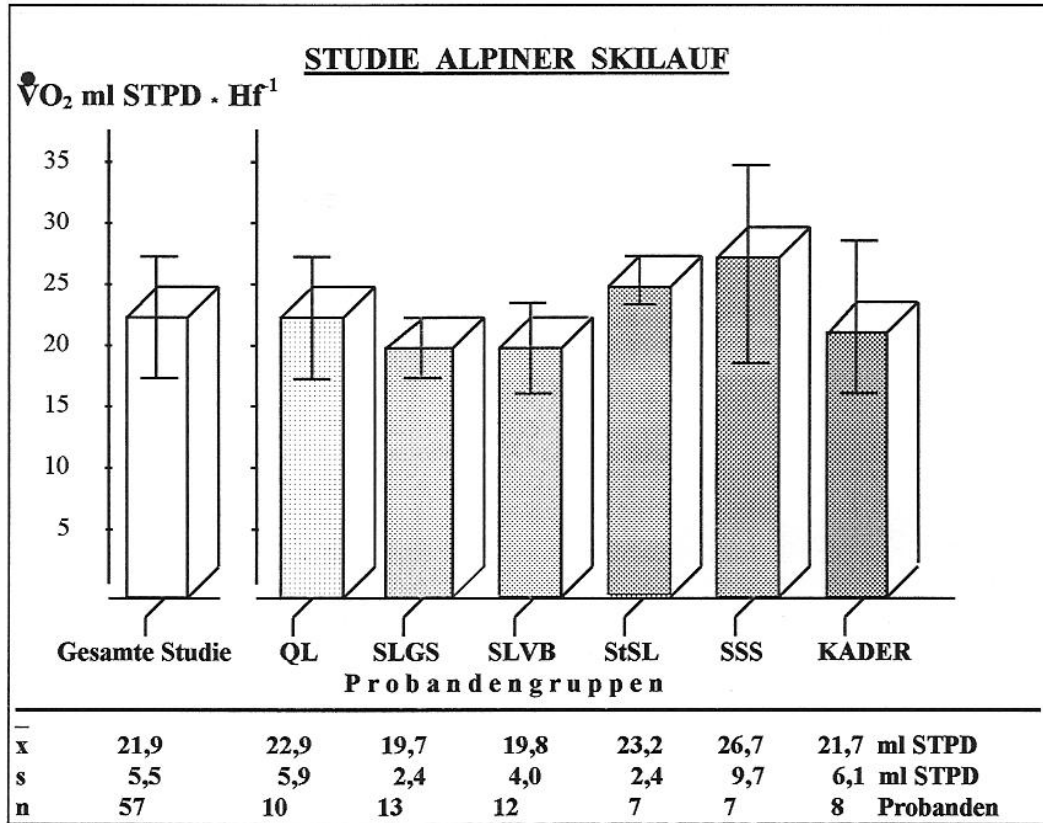


Abb. 31: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) des maximalen Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot Hf⁻¹) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984. Neben der Gesamtgruppe (n = 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

3.3.6 Atemäquivalent

Die Mittelwertskurve des Atemäquivalentes (AÄ) der Studie Alpiner Skilauf vor, während und nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererbst nach SZÖGY und Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer ist in Abbildung 32 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

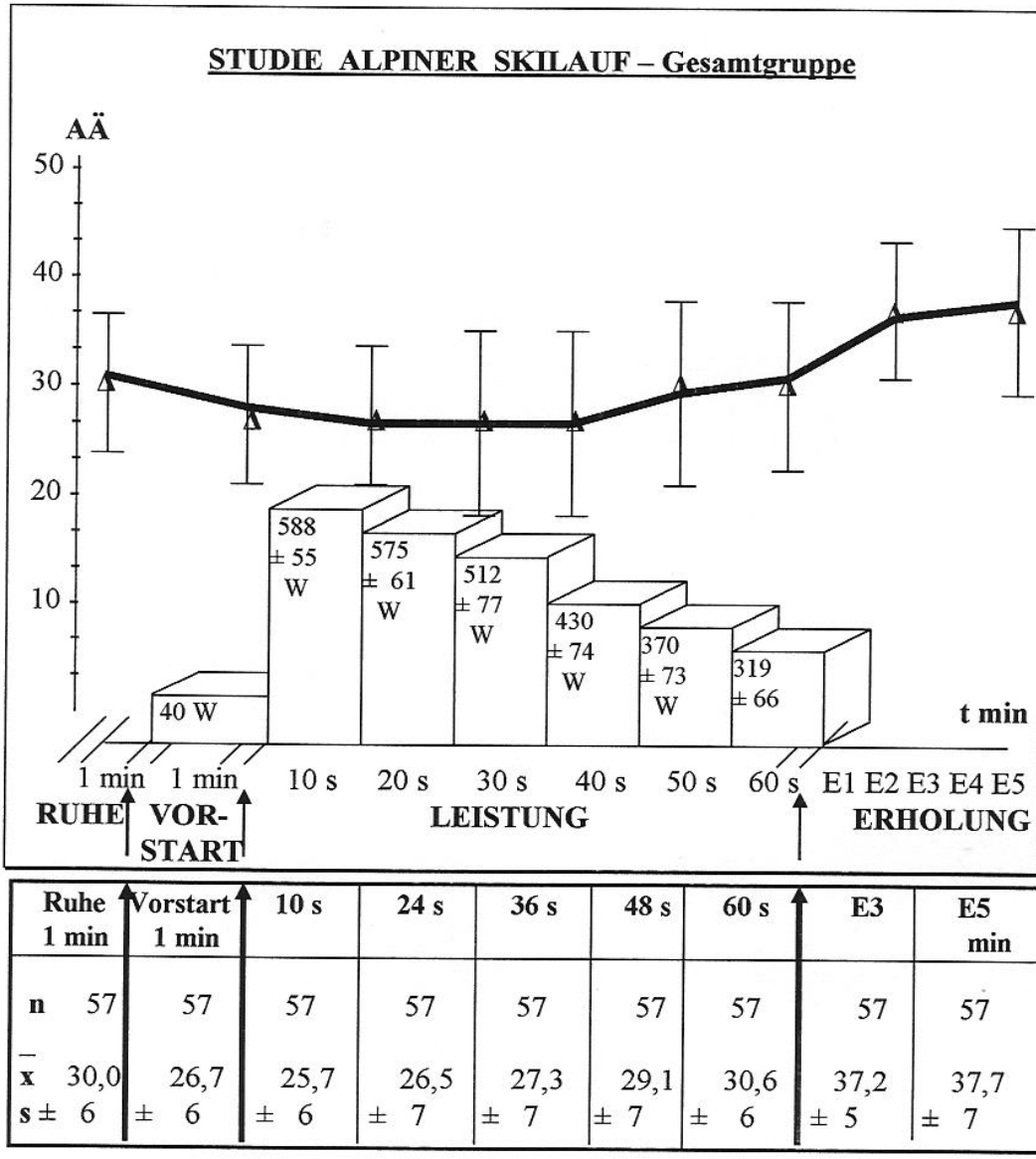


Abb. 32: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Atemäquivalentes (AÄ) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Der kardiorespiratorische Quotient aus Atemminutenvolumen l BTPS dividiert durch die Sauerstoffaufnahme ml STPD ist in der Vorstartphase mit 30 ± 6 leicht erhöht. Analog zum Stufenbelastungstest kommt es unter der leichten körperlichen Tätigkeit während der Vorstartphase zu einem Abfall des Atemäquivalentes auf $26,6 \pm 7$. Auch zu Beginn der anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistung fällt das Atemäquivalent weiter auf $25,7 \pm 6$. Dies spricht für eine **Ökonomisierung der Atmung** bei leichter körperlicher Tätigkeit und zu Beginn einer Belastung.

Unter der forcierten anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistung steigt das Atemäquivalent **nach 48 Sekunden** auf einen Wert von $29,1 \pm 7$ an. Zu diesem Zeitpunkt ist das Atemäquivalent im Vergleich zur ökonomischen Atmung unter Vorstartbedingungen statistisch signifikant erhöht ($p = .040$). Mit dem **Abbruch der Belastung nach 60 Sekunden** wird ein **ÄÄ von $30,6 \pm 6$** registriert, das sich bereits **höchst signifikant ($p < .001$)** von dem **ÄÄ unter leichter körperlicher Arbeit unterscheidet**. Nach NOWACKI 1965, HOLLMANN 1980 und NICKEL 1992 befindet sich der Proband im **Grenzbereich** seiner **körperlichen Leistungsfähigkeit**. Während der **Erholungsphase verschlechtert sich die Atmungsökonomie** bis auf ein **ÄÄ von $37,2 \pm 5$** in der 3. Erholungsminute. Zur **5. Erholungsminute** steigt das Atemäquivalent weiter **auf $37,7 \pm 7$ an**.

Im Vergleich der Probandengruppen ist bei den **Seniorenskisportlern** während der **Ruhebedingungen** sitzend auf dem Fahrradergometer die **ungünstigste Atmungsökonomie** mit einem **ÄÄ von $33,8 \pm 9$ zu registrieren**. Dies gilt im weiteren Verlauf des Anaeroben Schnelligkeitsausdauertests **auch für die Vorstartphase, ÄÄ= $30,5 \pm 10$** , das **Belastungsende** nach 60 Sekunden, **ÄÄ= $32,4 \pm 5$** sowie für die **ÄÄ-Werte** in der **3. Erholungsminute** mit **$40,6 \pm 6$** und in der **5. Erholungsminute** mit **$42,1 \pm 10$** .

Die **beste Atmungsökonomie** mit einem **ÄÄ von $26,7 \pm 4$** zeigen **in Ruhe** die **Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes**. Auch nach **Belastungsende, ÄÄ= $27,4 \pm 3$** , und in der **5. Erholungsminute, ÄÄ= $35,1 \pm 4$** , weisen die **Nachwuchsrennläufer** die **niedrigsten Atemäquivalentwerte** auf.

3.3.7 Ventilations - Respiratorischer Quotient

Die Mittelwertskurve des Ventilations - Respiratorischen Quotienten (VRQ) der Studie Alpiner Skilauf vor, während und nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobungstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer ist in Abbildung 33 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

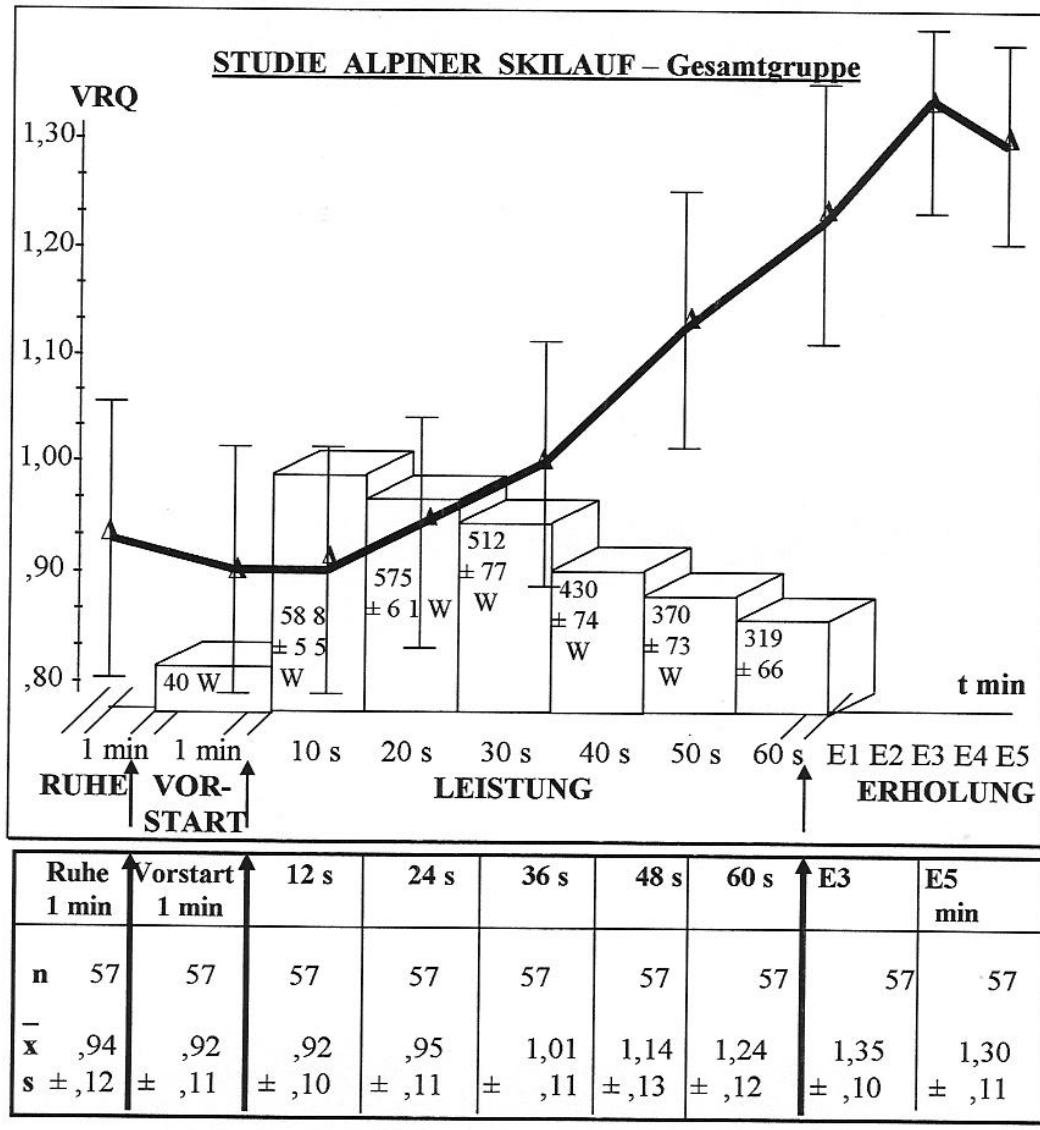


Abb. 33: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Ventilations - Respiratorischen Quotienten (VRQ) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Der **Kurvenverlauf** des **Ventilations-Respiratorischen Quotienten (VRQ)** beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest verhält sich **parallel** zur Kurve des **Atemäquivalentes**. Unter Ruhebedingungen sitzend auf dem Fahrradergometer beträgt der **mittlere VRQ $0,94 \pm 0,12$** . Während der **Einfahrphase bei 40 W und 30 Umdrehungen * min^{-1}** fällt der VRQ zunächst auf seinen **Minimalwert** von **$0,92 \pm 0,11$** ab.

Zu Beginn der forcierten anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistung bleibt der VRQ bis zur 12. Sekunde konstant auf $0,92 \pm 0,10$. Es folgt ein linearer steiler **Anstieg** des VRQ-Kurvenverlaufs bis auf **$1,24 \pm 0,12$** gegen Ende der fahrradspiroergometrischen Belastung. Dieser Wert liegt **statistisch signifikant $p = .014$** über dem **Sofort-Wert am Ende des Stufenbelastungstests**.

Ab der **36. Belastungssekunde** übersteigt der VRQ den Betrag von **1,00** und ist im Vergleich zu den Vorstartbedingungen **statistisch höchst signifikant $p < .001$** erhöht.

In der **Erholungsphase** steigt der VRQ bis zu seinem Maximalwert in der **3. Erholungsminute** auf **$1,35 \pm 0,10$** , was **höchst signifikant $p < .001$** über dem **E3-VRQ des Stufenbelastungstests** liegt. Ab der 3. Erholungsminute fällt der Ventilations-Respiratorische Quotient bis zur **5. Erholungsminute** auf **$1,30 \pm 0,11$** linear ab, wobei dieser **Mittelwert** im Vergleich zum VRQ der **5. Erholungsminute des Stufenbelastungstests** **höchst signifikant erhöht** ist.

Die **Untergruppe der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten** weist während der **Ruhephase** ($\text{VRQ} = 0,87 \pm 0,09$), während der **Vorstartphase** ($\text{VRQ} = 0,87 \pm 0,08$) und während der **3. sowie 5. Erholungsminute** ($\text{VRQ} = 1,03 \pm 0,11$ sowie $1,12 \pm 0,12$) die **betraglich geringsten VRQ-Werte** auf.

Den **höchsten mittleren VRQ-Wert am Belastungsende** zeigen mit **$1,33 \pm 0,14$** die **Qualifikationslosen Freizeitskiläufer**, die ebenfalls in der 3. Erholungsminute mit einem VRQ von $1,38 \pm 0,14$ ihren Maximalwert erreichen.

3.3.8 Laktat

Die Mittelwertskurve des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Studie Alpiner Skilauf vor und nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer ist in Abbildung 34 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

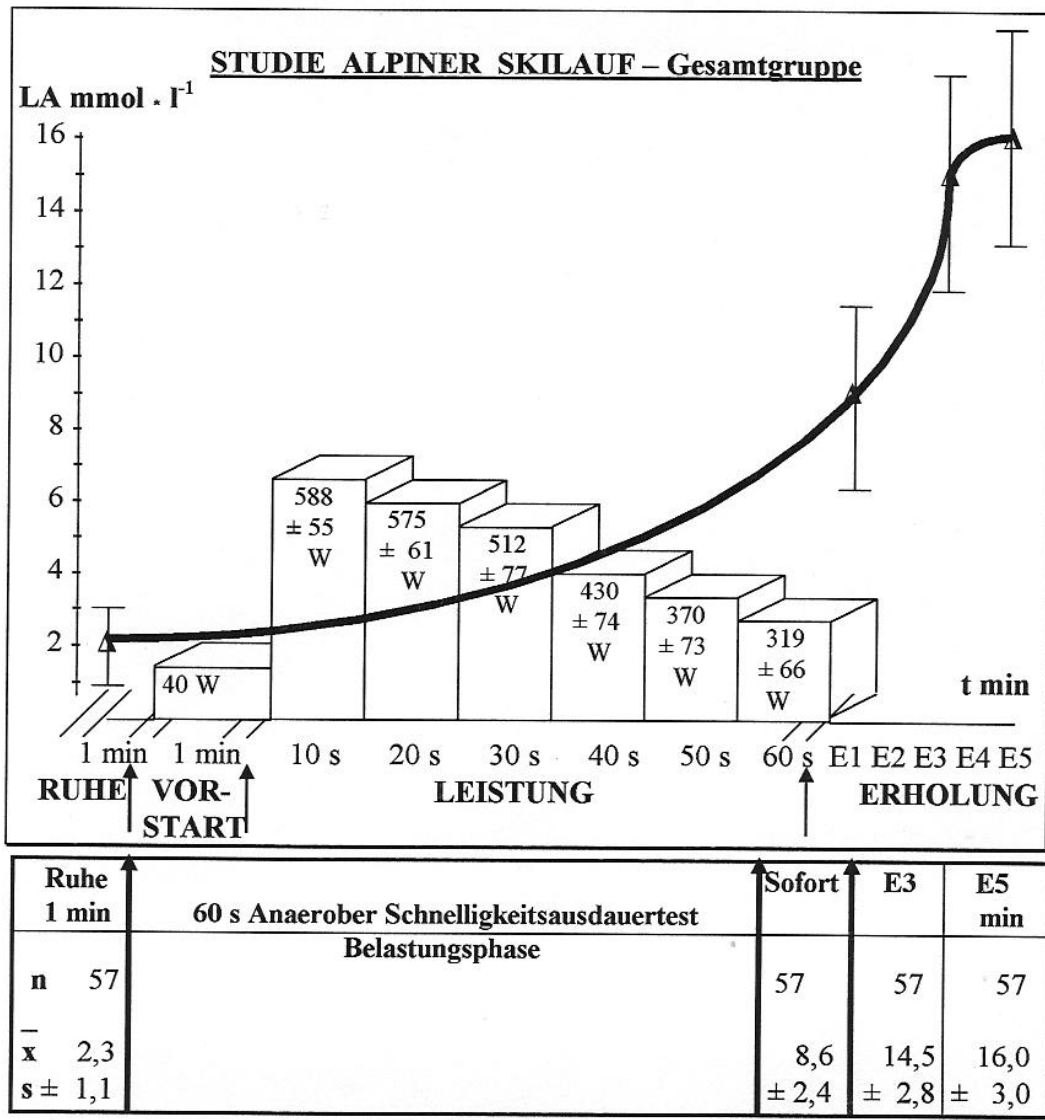


Abb. 34: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Die mittleren **Laktatwerte** der Studie Alpiner Skilauf liegen beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest unter **Ruhebedingungen** sitzend auf dem Fahrradergometer bei $2,3 \pm 1,1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Während der anaeroben Belastungsphase steigt die **Laktatleistungskurve** bis zum Ende der Belastung auf einen mittleren **Sofortwert** von $8,6 \pm 2,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ **exponentiell** an. Dieser Betrag liegt unter dem Wert des Stufenbelastungstests mit $14,9 \pm 3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und die **Mittelwertsdifferenz** ist **statistisch höchst signifikant** ($p < .001$).

In der **3. Erholungsminute** wird eine mittlere Laktatkonzentration von $14,5 \pm 2,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ registriert. Dieser Wert liegt unter dem vergleichbaren Wert des Stufenbelastungstests, wo in E3 der **Maximalwert mit** $15,1 \pm 2,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ Laktat gemessen wurde. Im weiteren Verlauf **steigt die Laktatleistungskurve** des **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstests** bis auf $16,0 \pm 3,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ in der **5. Erholungsminute** an. Im **Stufenbelastungstest** ergab die zeitgleiche Messung eine mittlere Serumlaktatkonzentration von $15,1 \pm 3,1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Diese **Mittelwertsdifferenzen** zwischen beiden Testverfahren in der 3. und 5. Erholungsminute sind **statistisch nicht signifikant**.

Im **Vergleich der Untergruppen** weisen die **Seniorenskisportler** sofort nach Belastungsende mit $5,7 \pm 1,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ die geringste Laktatkonzentration auf. Diese Mittelwertsunterschiede sind im Vergleich zu den übrigen Probandengruppen **statistisch signifikant**. Den **höchsten Sofort-Laktatwert** erzielen mit jeweils $9,4 \pm 2,1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ die **Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes** und die **Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe**, wobei sich beide Untergruppen **statistisch signifikant** nur von den Skisenioren unterscheiden.

In der **5. Erholungsminute** wird die **höchste Laktatkonzentration mit** $17,2 \pm 1,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ bei den **Berufskilchlehrern** gemessen. Zu diesem Messzeitpunkt weisen die Seniorenskisportler die **geringste Laktatkonzentration mit** $11,8 \pm 4,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ auf und unterscheiden sich **hochsignifikant** von allen anderen Probandengruppen. Entgegen des Trends aller anderen Probandengruppen ist beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest der Laktatgipfel der Seniorenskisportler mit $12,8 \pm 2,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ in der 3. Erholungsminute erreicht.

Anhand der **vorliegenden Laktatkonzentration** kann objektiv eine **erschöpfende Ausbelastung** der Probanden angenommen werden, zumal die **Sofort-Laktatwertkonzentration** des Anaeroben Schnelligkeitsausdauertests **höchst signifikant $p < .001$** über der durchschnittlichen **submaximalen Laktatkonzentration im Stufenbelastungstest von $2,7 \pm 0,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$** am Ende der 4. Belastungsminute liegt.

3.3.9 Gesamtarbeit

Die **Mittelwerte** der **Gesamtarbeit (Wattmin)** der Studie Alpiner Skilauf sind nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer in Abbildung 35 dargestellt.

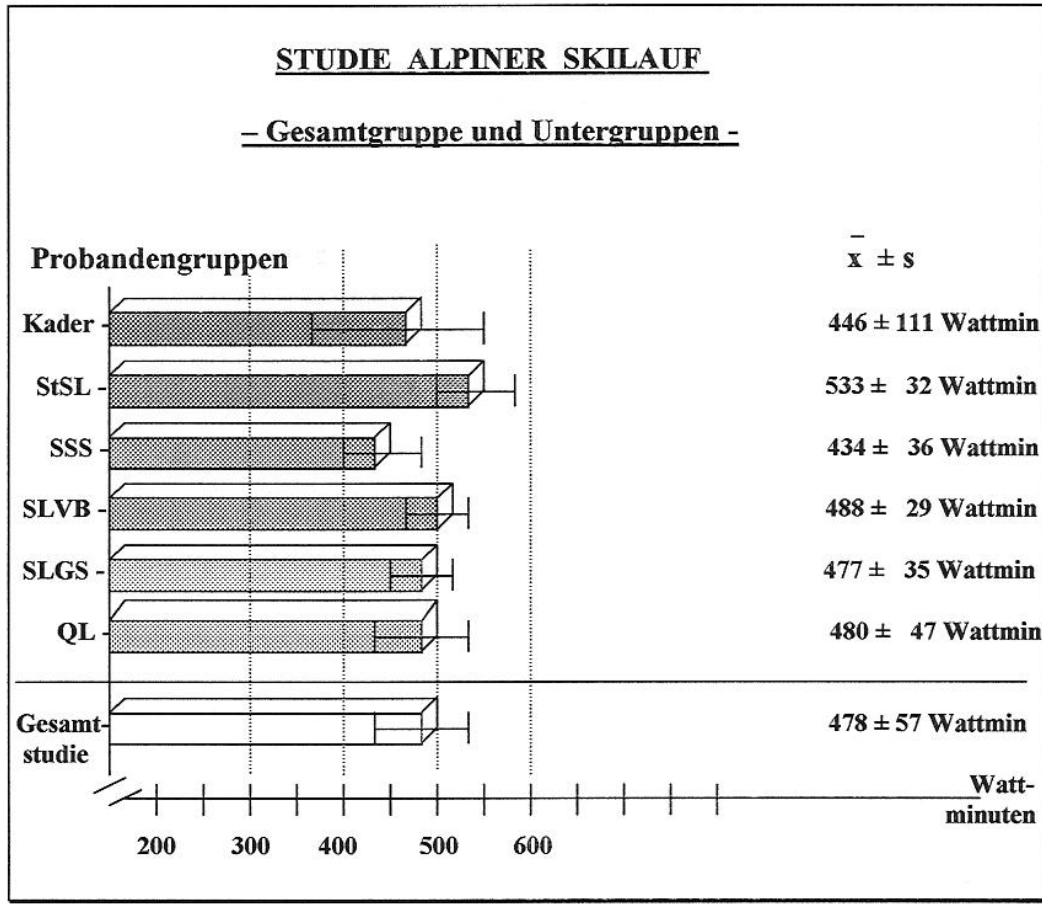


Abb. 35: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Gesamtarbeit (Wattmin) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Seniorenskisportler (SSS), der Berufsskilehrer (StSL) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Für die gesamte Studie Alpiner Skilauf beträgt der **Mittelwert** der verrichteten anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistung **478 ± 57 Wattminuten**. Die **größte absolute Gesamtarbeit** leisten mit **533 ± 32 Wattminuten** die **Berufsskilehrer**. Im **Mittelwertsvergleich** heben diese sich **statistisch signifikant** von den **Qualifikationslosen Freizeitskiläufern** ($p = .002$), den **Übungsleitern- und Skilehrern Grundstufe** ($p = .02$), den **DSV- und Verbandsskilehrern** ($p = .007$) sowie den **Hessischen Ski Alpin Kaderathleten** ($p = .03$) ab. Der Mittelwertsunterschied **zu den Seniorenskisportlern** ist mit $p < .001$ **höchst signifikant**.

Die **geringste Gesamtarbeit** mit **434 ± 36 Wattmin** wird von der Probandengruppe der **Seniorenskisportler** erbracht. Deren mittlere Gesamtarbeit unterscheidet sich **statistisch signifikant** von der Leistung **aller übrigen Probandengruppen** (Seniorenskiläufer versus Qualifikationslose Freizeitskiläufer $p = .03$, versus Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe $p = .02$, versus DSV- und Verbandsskilehrer $p = .03$, versus Berufsskilehrer $p < .001$) **mit Ausnahme der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten**.

Für die **Gesamtarbeit in Wattminuten** beim **Stufenbelastungstest** und beim **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerests** wird ein **mittlerer Zusammenhang** von $r = .66$ ermittelt.

Die **Gesamtarbeit in Wattminuten** bei der **anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistung** **korreliert** mit der **absoluten Wattstufe im Stufenbelastungstests** mit $r = .74$.

3.3.10 Absolute und Relative Wattstufe

Die Mittelwerte der Absoluten (W) und der Relativen Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) der Studie Alpiner Skilauf während des Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer sind in Abbildung 36 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

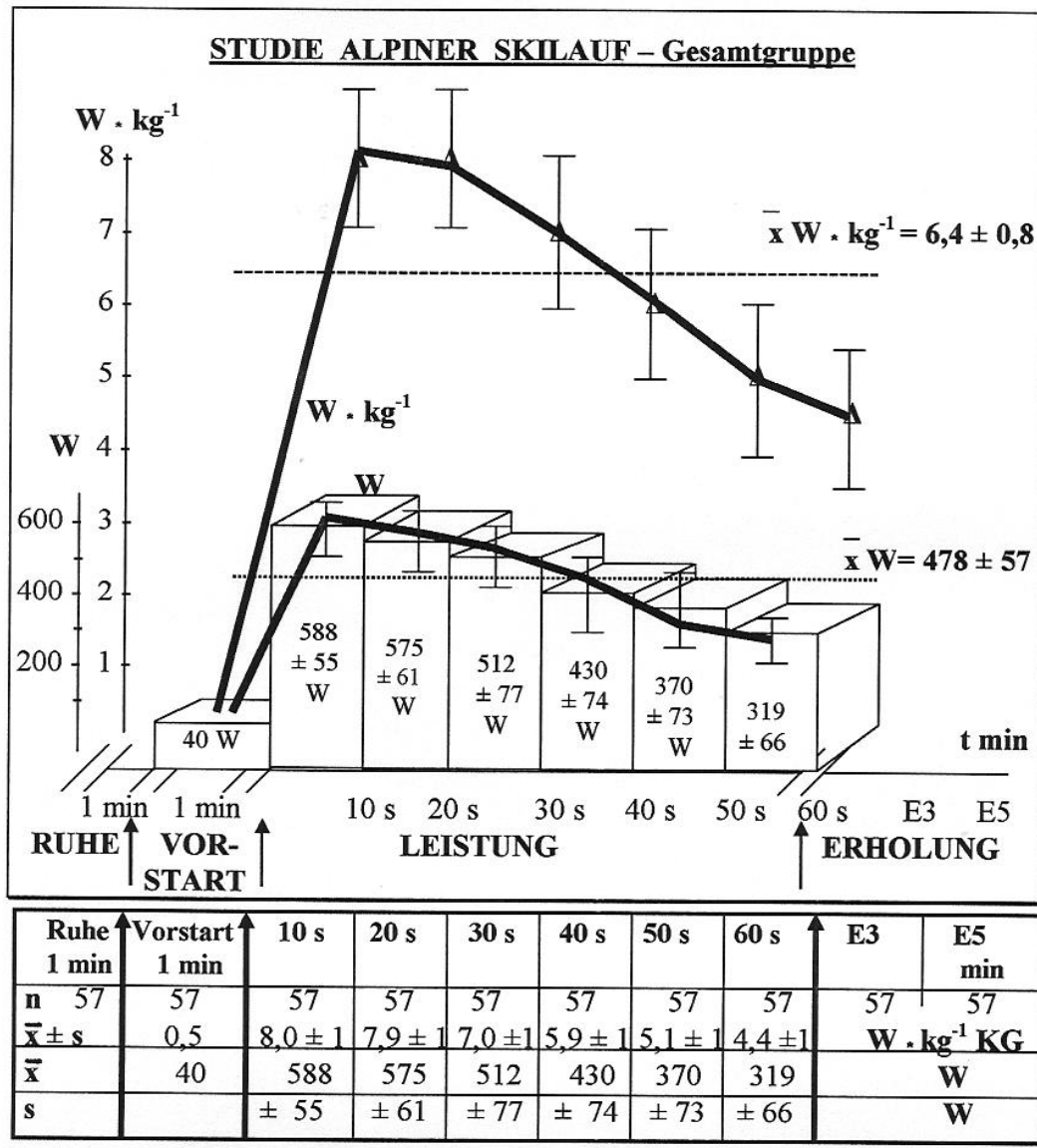


Abb. 36: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der Absoluten (W) und der Relativen Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Mit Beginn des Anaeroben Schnelligkeitsausdauertests wurde bei dem drehzahl-abhängigen Belastungsverfahren die **höchste absolute Wattstufe erbracht**. Nach 10 Sekunden wurde eine absolute mittlere Wattstufe von **588 ± 55 W** registriert. Modifiziert nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 wurde die **höchste 10-Sekunden-Wattstufe als Schnellkraft (max. Watt = 588 ± 55 W) interpretiert**.

Am Ende des 2. Zeitintervalles nach 20 Sekunden war die absolute Wattstufe nur geringfügig linear auf **575 ± 61 W** abgefallen. In der Folgezeit kam es bis zur 50. Sekunde zu einem kontinuierlichen, linearen Leistungsabfall bis auf **319 ± 66 W**. Die mittlere absolute Wattstufe über eine Minute betrug **478 ± 57 W**. Gemäß SZÖGY u. Mitarb. 1984 wurde die durchschnittliche Wattstufe der 1-Minuten-Phase als „**Stehvermögen**“ bzw. **Schnelligkeitsausdauer- und Kraftausdauerleistung (mittl. Watt= 478 ± 57 W)** bewertet. Für die gesamte Studie Alpiner Skilauf ergab sich ein Quotient des **Leistungsabfalls von 1,24 ± 0,11**. Dieser Quotient des Leistungsabfalls aus „**Schnellkraft max. Watt/Stehvermögen mittl. Watt**“ erlaubt nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 eine **Einschätzung der alaktaziden Energiereserven**.

Der Leistungsabfall der Schnellkraft (absoluten Wattleistung nach 10 Sekunden) ist **nach 20 Sekunden** anaerober Schnelligkeitsausdauerleistung mit $p = .26$ statistisch **nicht signifikant**. Die Leistung **nach 30 Sekunden** liegt mit **512 ± 77 W**, $p < .001$ statistisch **höchst signifikant** unter der maximalen Schnellkraftleistung. Nach **40 Sekunden** ist das „**Stehvermögen**“ nach SZÖGY 1984 bzw. die Schnelligkeits- und Kraftausdauerleistung mit **430 ± 74 W** statistisch **höchst signifikant** $p < .001$ unter die **absolute mittlere Wattstufe** des Anaeroben Schnelligkeitsausdauertests von **478 ± 57 W** abgefallen.

Analog zur **absoluten Wattstufe** verhält sich der Kurvenverlauf der **relativen Wattstufe $W * kg^{-1}$** . Während der ersten 20 Sekunden fällt die relative Wattstufe minimal von **8,0 ± 1 $W * kg^{-1}$** auf **7,9 ± 1 $W * kg^{-1}$** ab. Es folgt ein kontinuierlicher, linearer Leistungsabfall bis zur 50. Sekunde auf **5,1 ± 1 $W * kg^{-1}$** . Zum Belastungsende hin **flacht sich der Kurvenverlauf ab**. In der 60. Sekunde werden **4,4 ± 1 $W * kg^{-1}$** registriert. Die **durchschnittliche relative Wattstufe** über die eine Belastungsminute liegt bei **6,4 ± 0,8 $W * kg^{-1}$** .

Die **Mittelwerte** der **Absoluten (W)** und der **Relativen Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1}$)** der Studie Alpiner Skilauf sind nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobungstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 in Abbildung 37 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

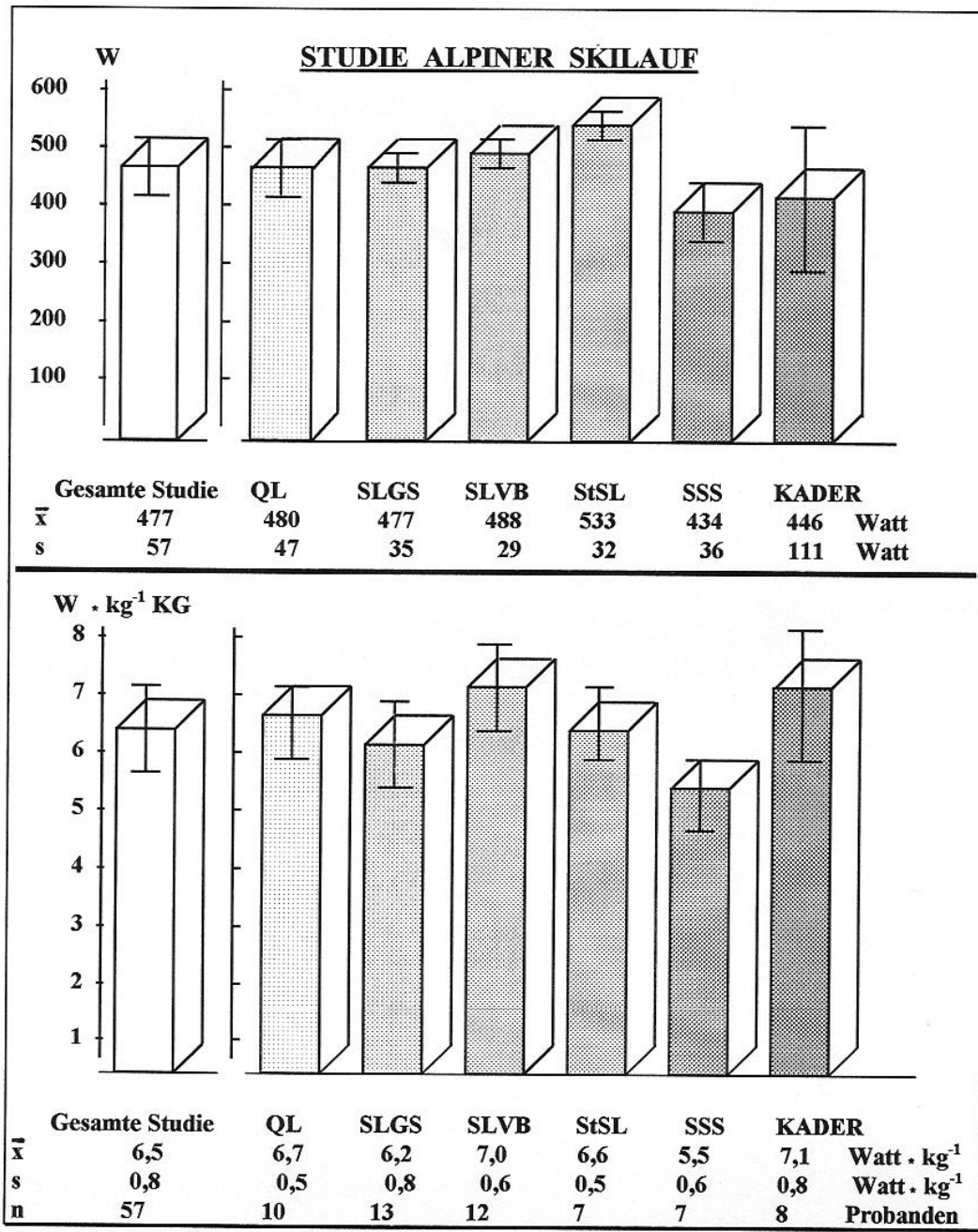


Abb. 37: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Absoluten (W) und der Relativen Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobungstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer im Vergleich der Untergruppen.

In der **speziellen Testsituation** des **Anaeroben Schnelligkeitssausdauerests** sind die **Gesamtarbeit in Wattminuten** und die **mittlere absolute Wattstufe** während der 60 Sekunden dauernden Belastungsphase mit ihren Zahlenwerten identisch.

Für die **gesamte Studie Alpiner Skilauf** beträgt der **Mittelwert** der verrichteten anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistung **478 ± 57 W**. Die **größte Leistung** erbringen mit **533 ± 32 W** die **Berufsskilehrer**. Im Mittelwertsvergleich heben diese sich **statistisch signifikant** von den **Qualifikationslosen Freizeitskiläufern** 480 ± 47 W (p= .002), den **Übungsleitern- und Skilehrern Grundstufe** 477 ± 35 W (p= .02), den **DSV- und Verbandsskilehrern** 487 ± 29 W (p= .007) sowie den **Hessischen Ski Alpin Kaderathleten** 446 ± 111 W (p = .03) ab. Der Mittelwertsunterschied zu den **Seniorenkisportlern** 434 ± 36 W ist mit p < .001 **höchst signifikant**.

Die **geringste Leistung** mit **434 ± 36 W** wird von der Probandengruppe der **Seniorenkisportler** erbracht. Deren mittlere Leistung unterscheidet sich **statistisch signifikant** von der Leistung **aller übrigen Probandengruppen** (Seniorenkiläufer versus Qualifikationslose Freizeitskiläufer p = .03, versus Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe p= .02, versus DSV- und Verbandsskilehrer p= .03, versus Berufsskilehrer p < .001) mit **Ausnahme der Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes**.

Zur exakten Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit ist die **relative maximale Wattstufe (W * kg⁻¹ KG)** im Rahmen der Leistungsdiagnostik ein **aussagekräftiges Kriterium**.

Die **relative anaerobe Schnelligkeitsausdauerleistung** unter Berücksichtigung des Körpergewichtes liegt für die **Studie Alpiner Skilauf** bei **6,5 ± 0,8 W * kg⁻¹ KG**.

Die **größte relative maximale Wattstufe** erzielen mit **7,3 ± 0,8 W/kg KG** die **Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes**. Diese ist im Mittelwertsvergleich zu den Übungsleitern- und Skilehrern-Grundstufe mit 6,2 ± 0,8 W (p= .05) **statistisch signifikant**. Die **Mittelwertsdifferenz** zu den **Seniorenkisportlern** mit **5,5 ± 0,6 W** (p < .001) ist **statistisch höchst signifikant**. Die

übrigen Mittelwertsunterschiede von Hessischen Ski Alpin Kaderathleten versus anderen Probandengruppen sind statistisch nicht gesichert.

Analog zur absoluten Wattstufe weisen die **Seniorenskisportler** mit **$5,5 \pm 0,6 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$** auch die **geringste relative Wattstufe** im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest auf. Diese Mittelwertsdifferenz ist im Vergleich zu den **Übungsleitern- und Skilehrern Grundstufe** $6,2 \pm 0,8 \text{ W/kg KG}$ **statistisch signifikant** ($p = .05$). Der Mittelwertsunterschied zwischen den **Seniorenskisportler** und den **Berufsskilehrern** $6,6 \pm 0,5 \text{ W/kg KG}$ ist **hoch signifikant** $p = .002$. Die Mittelwertsvergleiche der Seniorenskiläufer zu den **Qualifikationslosen Freizeitsportlern** $6,7 \pm 0,5 \text{ W/kg KG}$ ($p < .001$), zu den **DSV- und Verbandsskilehrern** $7,0 \pm 0,6 \text{ W/kg KG}$ ($p < .001$) sowie zu den **Ski Alpin Kaderathleten des Hessischen Skiverbandes** sind **höchst signifikant**.

3.4 Ergebnisse der Skispezifischen Kontaktzeitdiagnostik

3.4.1 Herzfrequenz

Das durchschnittliche Verhalten der **Herzfrequenz** der Alpinen Skiläufer vor, während und nach dem **Skispezifischen Winkelsprungtest** auf **Kontaktzeitmatten** ist in der Abbildung 38 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

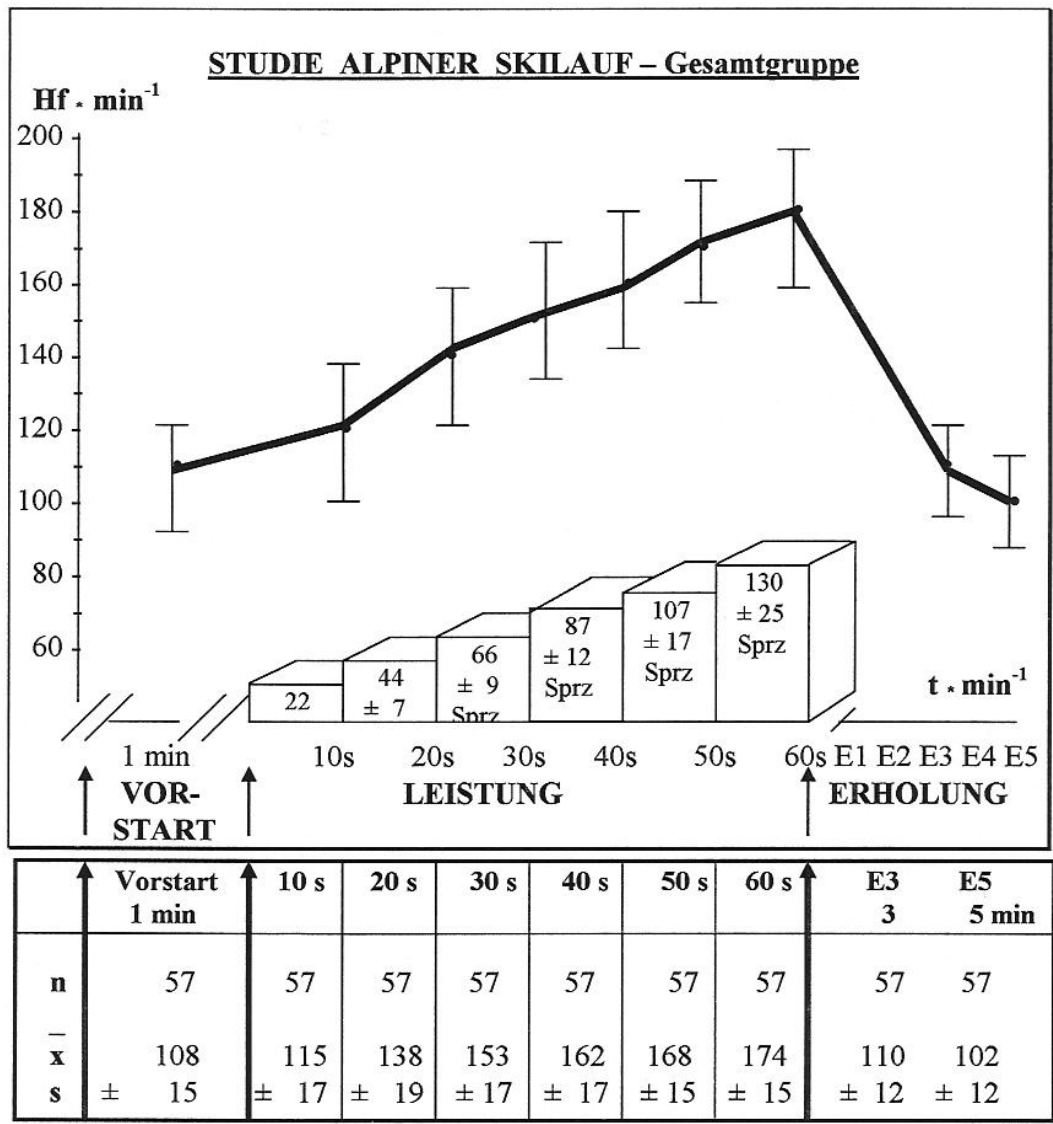


Abb. 38: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verhalten der Herzfrequenz ($Hf \cdot \text{min}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest.

Die mittlere **Herzfrequenz** aller Probanden beträgt während der **Vorstartphase** $108 \pm 15 \text{ min}^{-1}$. Während der ersten **10 Sekunden der Belastung** steigt die Herzfrequenzkurve flach und linear bis auf $115 \pm 17 \text{ Schläge} * \text{min}^{-1}$ an. Nachfolgend ist der Kurvenverlauf steiler. Bereits nach **20 Sekunden** ist die im Stufenbelastungstest ermittelte **submaximale Herzfrequenz von $134 * \text{min}^{-1}$** um ca. **$4 \text{ Schläge} * \text{min}^{-1}$ überschritten**. Diese um $4 \text{ Schläge} * \text{min}^{-1}$ höhere Herzfrequenz ist statistisch nicht signifikant. **Nach 30 Sekunden** liegt die mittlere Herzfrequenz **statistisch höchst signifikant** ($p < .001$) **über** einer Ausdauerleistung im **steady state**.

Gegen Ende der Belastungsminute wird eine **maximale Herzfrequenz von $174 \pm 15 * \text{min}^{-1}$** erreicht. Diese **maximale Herzfrequenz** des **Skispezifischen Winkelsprungtests** auf Kontaktzeitmatten liegt **statistisch höchst signifikant unter** der maximalen Herzfrequenz (Sofortwert) des **Stufenbelastungstests** ($182 \pm 16 \text{ Schläge} * \text{min}^{-1}$; $p < .001$) und des **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerests** ($178 \pm 11 \text{ Schläge} * \text{min}^{-1}$; $p < .001$).

Unmittelbar nach dem Belastungsabbruch erfolgt **ein exponentieller Abfall** der Herzfrequenz über die ersten beiden Erholungsminuten auf $110 \pm 12 \text{ Schläge} * \text{min}^{-1}$ in der **3. Erholungsminute**. In der **5. Erholungsminute** ist die Herzfrequenz auf $102 \pm 12 * \text{min}^{-1}$ abgesunken. Die im Winkelsprungtest ermittelte Erholungsherzfrequenz liegt unter den E5-Frequenzen des Stufenbelastungstests und des Anaeroben Schnelligkeitsausdauerests, wobei der Mittelwertsunterschied **Winkelsprungtest versus Anaerober Schnelligkeitsausdauerest statistisch signifikant** ($p = .03$) ist.

Die **höchsten, mittleren Herzfrequenzen** während des Winkelsprungtests erzielen mit $182 \pm 12 \text{ Schlägen} * \text{min}^{-1}$ die **jugendlichen Nachwuchssrennläufer und Junioren des Hessischen Skiverbandes**. Die Probandengruppe der **Seniorenskisportler** weist die **niedrigste maximale Herzfrequenz** von $152 \pm 9 \text{ Schlägen} * \text{min}^{-1}$ auf. Die mittleren maximalen Herzfrequenzwerte aller übrigen Probandengruppen liegen zwischen 174 ± 12 und $179 \pm 13 * \text{min}^{-1}$.

Die **Ski Alpin Kaderathleten** erholen sich bis zum Ende der **5. Erholungsminute** auf $97 \pm 13 * \text{min}^{-1}$. Die Versuchsgruppe der **Seniorenskisportler** kommt auf eine Herzfrequenz von $96 \pm 11 * \text{min}^{-1}$ am Ende der **5. Erholungsminute**.

Die Tabelle 6 stellt die Herzfrequenzen der Studie Alpiner Skilauf sowie der Untergruppen zu den Messzeitpunkten Vorstart, Sofortwert nach Belastungsende, 3. und 5. Erholungsminute dar.

Tab. 6: Studie Alpiner Skilauf
-Verhalten der Herzfrequenz ($\text{Hf} * \text{min}^{-1}$) beim Winkelsprungtest-
Gesamtgruppe versus 6 Untergruppen

	Stehend vor den Kontaktzeitmatten in körperlicher Ruhe	Sofort-Wert nach Belastungs- abbruch	3. Erholungs- minute	5. Erholungs- minute
Ges. Studie \bar{x}	108 ± 15	174 ± 15	110 ± 12	$102 \pm 12 \text{ min}^{-1}$
QL	108 ± 17	174 ± 12	110 ± 9	$103 \pm 11 \text{ min}^{-1}$
SLGS	116 ± 21	180 ± 13	112 ± 13	$105 \pm 15 \text{ min}^{-1}$
SLVB	102 ± 11	179 ± 9	110 ± 13	$104 \pm 9 \text{ min}^{-1}$
StSL	108 ± 8	175 ± 11	124 ± 15	$114 \pm 6 \text{ min}^{-1}$
SSS	105 ± 12	152 ± 9	102 ± 10	$96 \pm 11 \text{ min}^{-1}$
KADER	108 ± 13	182 ± 12	107 ± 12	$97 \pm 13 \text{ min}^{-1}$

Sofort nach Beendigung des **Skispezifischen Winkelsprungtests** ergeben sich hinsichtlich der maximalen Herzfrequenzen **statistisch hoch und höchst signifikant erniedrigte Mittelwerte für die Seniorenskisportler** im Vergleich zu **allen übrigen Probandengruppen** (Seniorenskiläufer versus Hessische Ski Alpin Kaderathleten $p < .001$, versus Qualifikationslose Freizeitskiläufer $p < .001$, versus Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe $p < .001$, versus DSV- und Verbandsskilehrer $p < .001$, versus Berufsskilehrer $p = .004$). Im Mittelwertvergleich der anderen Probandengruppen sind keine weiteren statistisch gesicherten Mittelwertsunterschiede zu verifizieren.

Analog zum **1 W/kg KG-Verfahren** nach NOWACKI 1974 und dem **Anaeroben Schnelligkeitsausdauer**test nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 ist in dem **Skispezifischen Winkelsprungtest** das **Herzfrequenzverhalten der Seniorenskisportler** wie auch der **Hessischen Ski Alpin Kaderathleten** **adäquat** zum Lebensalter.

Die Belastungsempfehlungen für die Seniorenskisportler liegen bei einer **durchschnittlichen maximalen Herzfrequenz** von **152 * min⁻¹**, während unmittelbar **nach Belastungsabbruch** eine **mittlere maximale Herzfrequenz** von **152 ± 9 * min⁻¹** ermittelt wird. Rechnerisch würde man bei den **Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes** eine Herzfrequenz von ca. **190 * min⁻¹** erwarten, die mit **182 ± 12 Schläge * min⁻¹** annähernd erreicht wird.

Insofern kann eine nahezu **vollständige Herz-Kreislauf-Ausbelastung** durch den Skispezifischen Winkelsprungtest angenommen werden, die von der physischen Beanspruchung über einer submaximalen Leistungsfähigkeit bis hin zu einer erschöpfenden Vita maxima-Ausbelastung einzustufen ist.

3.4.2 Laktat

Die Mittelwertskurve des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Studie Alpiner Skilauf vor und nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest ist in der Abbildung 39 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

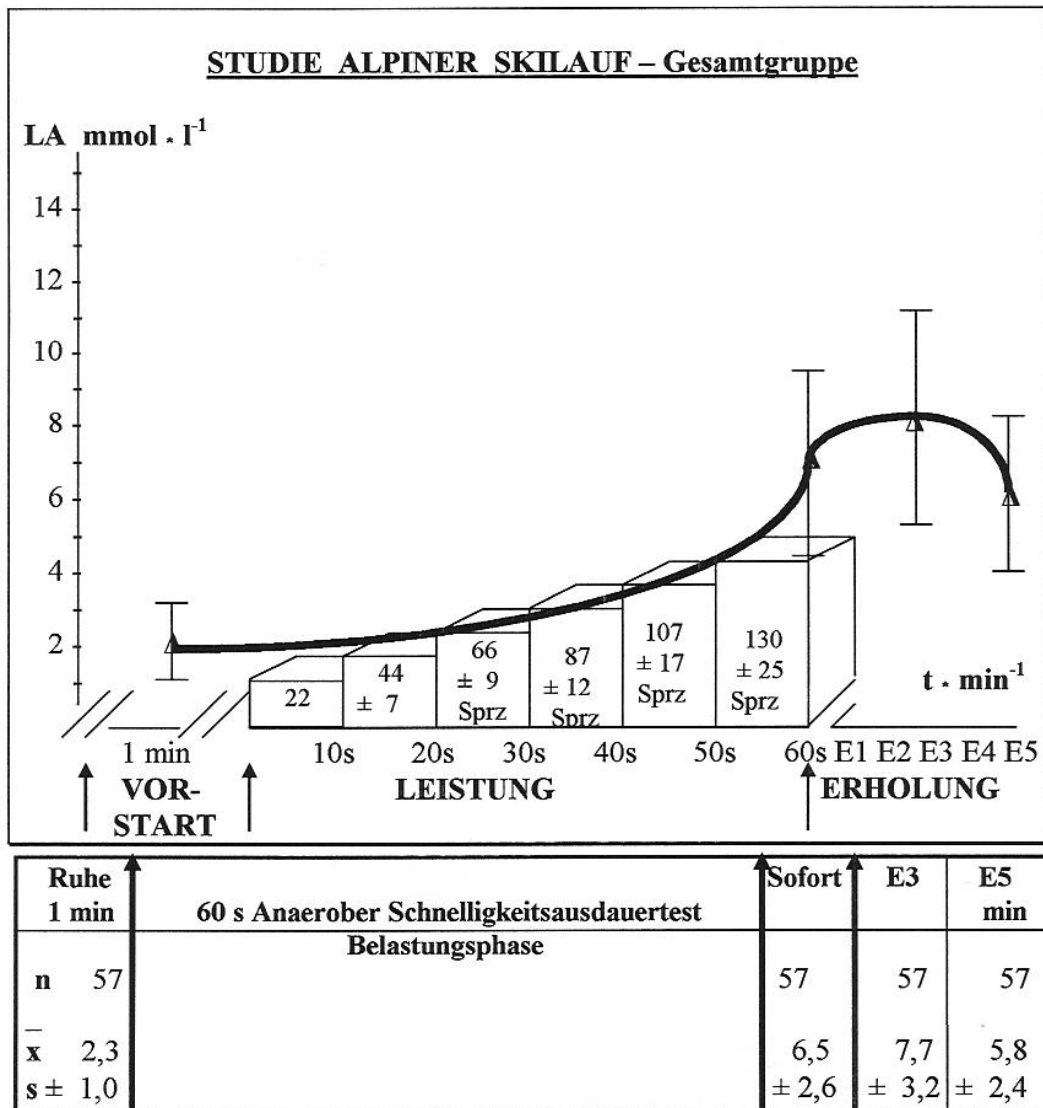


Abb. 39: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor und nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest.

Als Ausgangs-Laktatwert der Studie Alpiner Skilauf wird vor dem Skispezifischen Winkelsprungtest eine Laktatkonzentration von $2,3 \pm 1,1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ermittelt. Während der 60 Sekunden dauernden Winkelsprungbelastung steigt die **Laktatleistungskurve** bis zum Ende der Belastung auf einen mittleren Sofortwert von $6,5 \pm 2,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ **exponentiell** an. Dieser Betrag liegt jeweils **höchst signifikant** $p < .001$ **unter** dem Wert des **Stufenbelastungstests** mit $14,9 \pm 3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und des **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerests** mit $8,6 \pm 2,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.

In der **3. Erholungsminute** wird der **Laktatgipfel** mit einer mittleren maximalen Laktatkonzentration von $7,7 \pm 3,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ registriert. Dieser Wert liegt **statistisch höchst signifikant unter** den vergleichbaren Werten des **Stufenbelastungstests** ($15,1 \pm 2,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < .001$) und des **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerests** ($14,5 \pm 2,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < .001$).

Im weiteren Verlauf **fällt** die **Laktatkonzentration** von der 3. Erholungsminute bis hin zur 5. Erholungsminute auf $5,8 \pm 2,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ab. Der **statistische Vergleich des E5-Laktatwertes** nach dem **Skispezifischen Winkelsprungtest** mit den beiden anderen Testverfahren **fällt wie folgt aus: E5 Skispezifischer Winkelsprungtest** versus **E5 Stufenbelastungstest**: $15,1 \pm 3,1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < .001$; versus **E5 Anaerober Schnelligkeitsausdauerest**: $16,0 \pm 3,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < .001$.

Im **Vergleich der Untergruppen** weisen die **DSV- und Verbandsskilehrer** sofort nach Belastungsende mit $4,3 \pm 0,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ die **geringste Laktatkonzentration** auf. Den **höchsten Sofort-Laktatwert** erzielen mit $9,4 \pm 1,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ die **Berufsskilehrer**, die auch in der **3. Erholungsminute** mit $10,4 \pm 3,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ die **höchste Laktatkonzentration** aufweisen.

Anhand der vorliegenden Laktatkonzentration kann objektiv eine **bedeutsame Stoffwechselbelastung** der Probanden angenommen werden, die über dem **submaximalen Niveau des Stufenbelastungstest** liegt ($p < .001$) und aufgrund des hohen Intensitätsbereiches eine anaerob-alaktazide und anaerob-laktazide Energiebereitstellung erfordert.

3.4.3 Gesamtsprungzahl und Sprungfrequenz

Die Mittelwertsverläufe der Sprungzahl ($\cdot \text{min}^{-1}$) und der Sprungfrequenz ($\cdot 10 \text{ s}^{-1}$) der Studie Alpiner Skilauf während des Skispezifischen Winkelsprungtests sind in der Abbildung 40 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

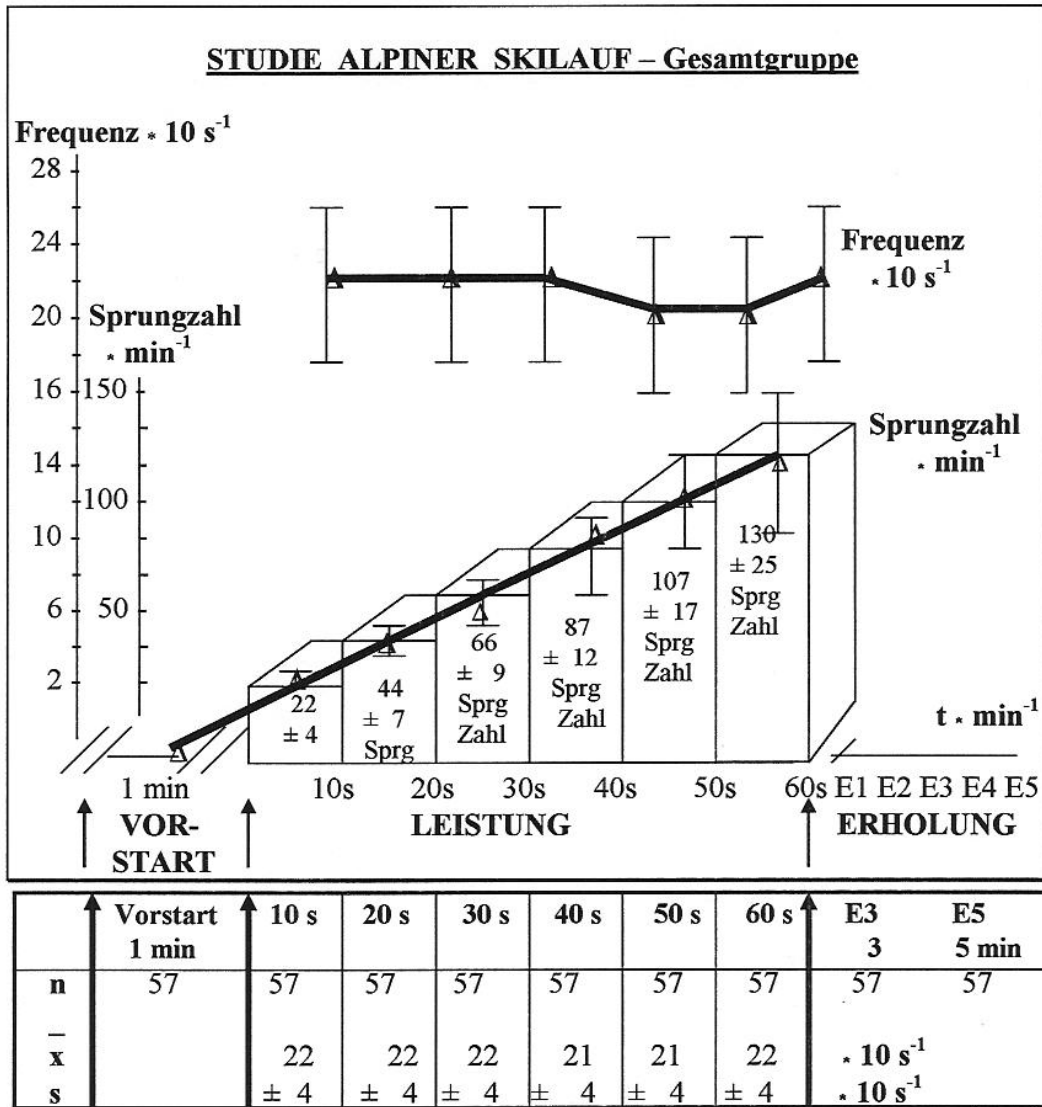


Abb. 40: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der Sprungzahl ($\cdot \text{min}^{-1}$) und der Sprungfrequenz ($\cdot 10 \text{ s}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle während des Skispezifischen Winkelsprungtests.

Die Sprungfrequenz ist während des einminütigen Skispezifischen Winkelsprungtests in den jeweils 6 Intervallen zu je 10 Sekunden annähernd konstant. Durchschnittlich werden **22 ± 4 Sprünge * 10 s⁻¹** absolviert.

Lediglich im Intervall zwischen der **30. auf die 40. Sekunde** und zwischen der **40. auf die 50. Sekunde fällt die Frequenz** auf 21 ± 4 Sprünge * 10 s⁻¹ ab. Gegen Ende der Belastung zwischen der 50. und 60. Sekunde steigt die Sprungfrequenz erneut auf $22 \pm 4 * 10$ s⁻¹ an.

Dieser **Frequenzabfall** zwischen der 30. und 50. Sekunde ist **statistisch nicht signifikant**. Als Ursache ist eine lokale Muskelermüdung in Betracht zu ziehen. Bei laufenden Zeitansagen werden ab der 50. Sekunde Reserven für den „**Schlusspurt**“ mobilisiert, was zu einer abschließenden Frequenzsteigerung führt.

Die **Seniorenkisportler** weisen die **geringste Sprungfrequenz** mit $1,6 \pm 0,2 * s^{-1}$ auf. Im Vergleich zu allen anderen Probandengruppen ist deren Sprungfrequenz **hochsignifikant erniedrigt**. Die **größte Sprungfrequenz** weisen die **Berufsskilehrer** mit $2,7 \pm 0,3 * s^{-1}$ auf. Diese heben sich **statistisch signifikant** von den Qualifikationslosen Freizeitsportlern, den Übungsleitern- und Skilehrern-Grundstufe, den Hessischen Ski Alpin Kaderathleten und den Seniorenkisportlern ab.

Die Zahl der absolvierten Sprünge steigt linear auf einen Mittelwert von **130 ± 25 * min⁻¹** am Ende der einminütigen Belastungsphase an.

Die **meisten Winkelsprünge** erzielen im Skispezifischen Winkelsprungtest die **Berufsskilehrer** mit $168 \pm 16 * min^{-1}$. Damit heben sich die Berufsskilehrer **signifikant** (versus DSV- und Verbandsskilehrer p= .047; versus Übungsleiter- und Skilehrer Grundstufe p= .014; versus Hessische Ski Alpin Kaderathleten p= .01) und **hoch signifikant** (versus Qualifikationslose Freizeitskiläufer p= .002) von den übrigen Probandengruppen ab. Der Mittelwertsunterschied zu den Seniorenkisportlern ist **höchst signifikant**.

Die **geringste Zahl an Winkelsprüngen** wird mit $95 \pm 14 * min^{-1}$ von den **Seniorenkisportlern** absolviert. Deren Sprungzahl liegt **höchst signifikant** unter der Sprungleistung aller anderen Probandengruppen. Ursächlich ist eine **stati-**

stisch hoch signifikant verlängerte Kontaktzeit im Vergleich zu allen anderen Probandengruppen.

Die Abbildung 41 zeigt vergleichende Säulendiagramme mit den Durchschnittswerten für die **Sprungzahl** ($\cdot \text{min}^{-1}$) der einzelnen Probandengruppen der Studie Alpiner Skilauf nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest.

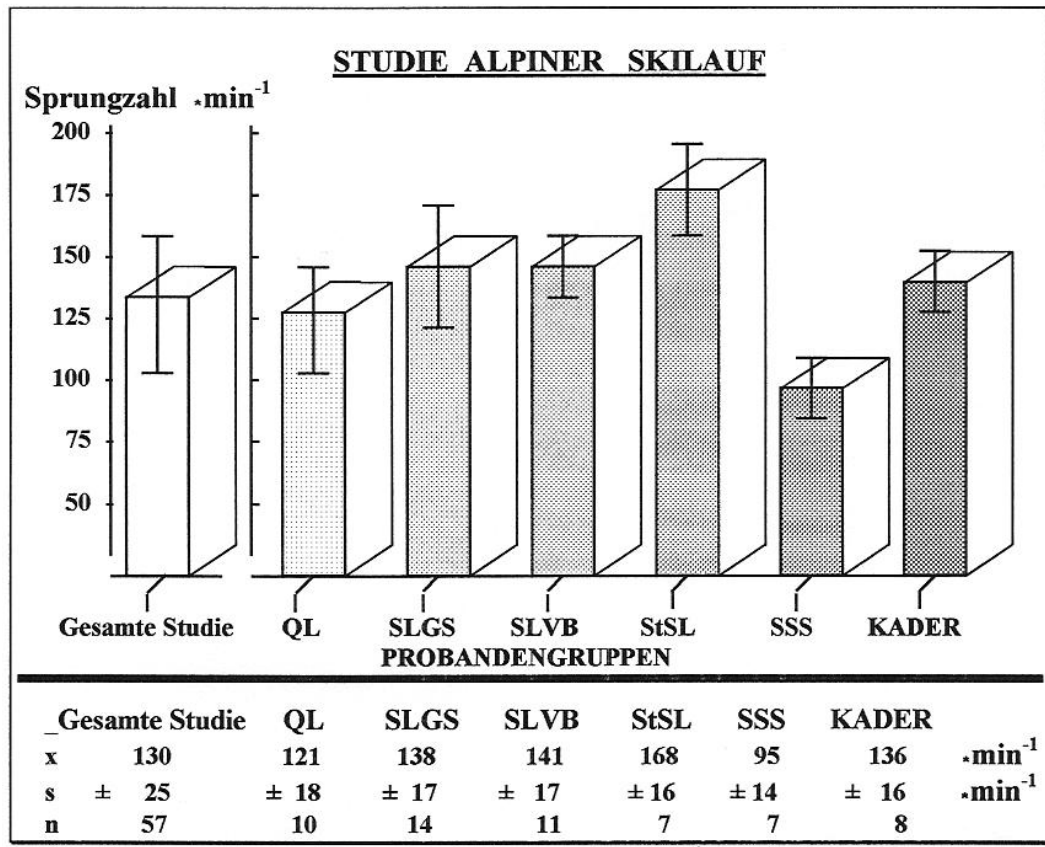


Abb. 41: Mittelwerte ($x \pm s$) der Sprungzahl ($\cdot \text{min}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest. Neben der Gesamtgruppe ($n=57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Für den Zusammenhang von **Relativer Wattstufe im Stufenbelastungstest** $W \cdot \text{kg}^{-1}$ und der **Sprungzahl** $\cdot \text{min}^{-1}$ wird ein **großer Korrelationskoeffizient** $r = .76$ errechnet. Für die **Relative Wattstufe im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest** $W \cdot \text{kg}^{-1}$ und die **Sprungzahl** $\cdot \text{min}^{-1}$ wird ein **mittlerer Zusammenhang** mit $r = .57$ ermittelt.

3.4.4 Kontaktzeit

Der Mittelwertsverlauf der Kontaktzeit (s) der Studie Alpiner Skilauf während des Skispezifischen Winkelsprungtests auf Kontaktzeitmatten ist in der Abbildung 42 mit der dazugehörigen Wertetabelle dargestellt.

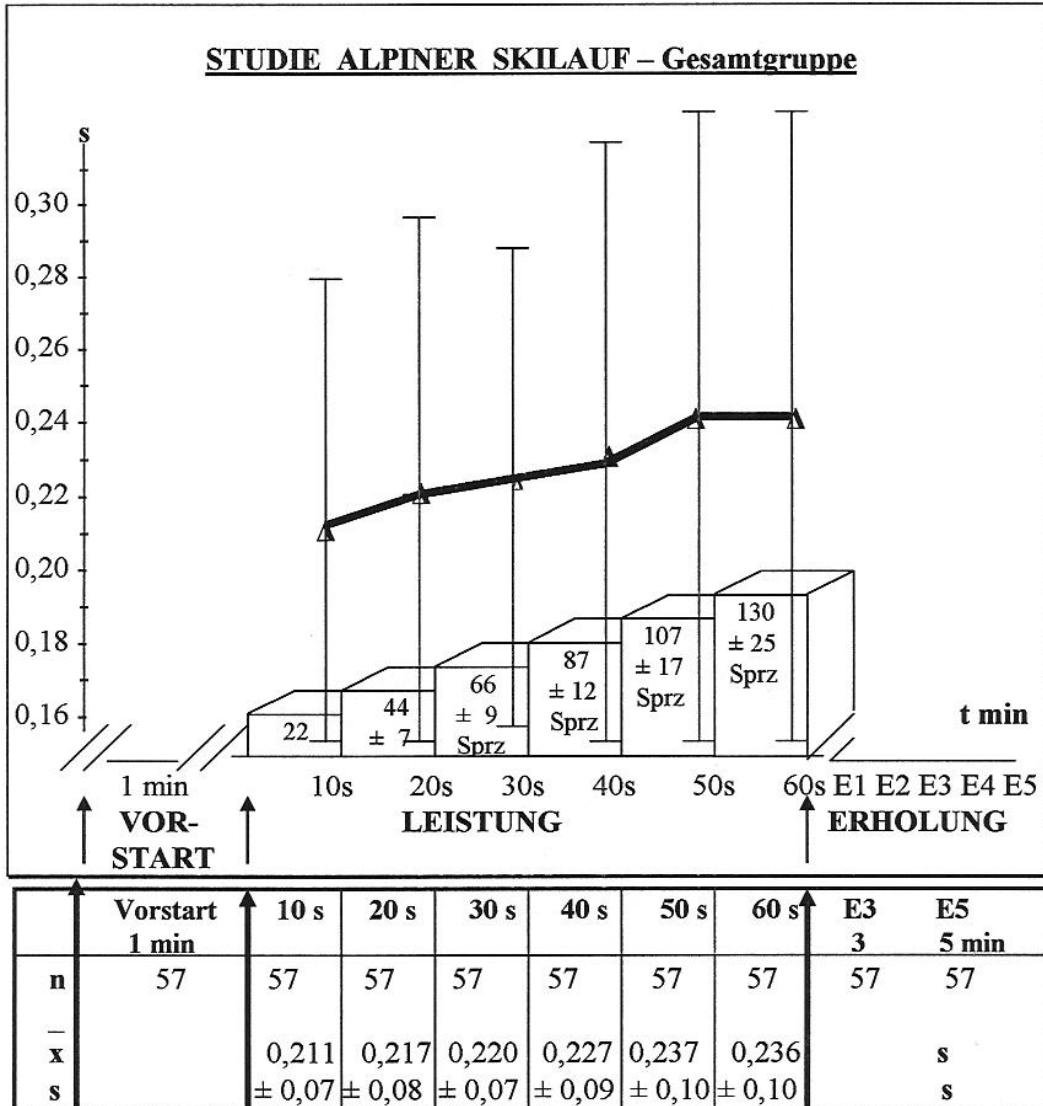


Abb. 42: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verhalten der Kontaktzeit (s) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle während des Skispezifischen Winkelsprungtests.

In dem ersten 10-Sekunden-Intervall wird eine durchschnittliche Kontaktzeit (=Standzeit auf der Kontaktzeitmatte) von $0,211 \pm 0,07$ s ermittelt. In den nachfolgenden 10-Sekunden-Intervallen verlängert sich die Kontaktzeit bis zum

Ende der Belastungsphase kontinuierlich. Zwischen der **50. und der 60. Sekunde** ergibt sich eine **mittlere Kontaktzeit** von **$0,236 \pm 0,10$ s**.

Zwischen der 30. und 40. Sekunde **verlängert sich** die **Kontaktzeit** auf **$0,227 \pm 0,9$ s** im Vergleich zum ersten 10-Sekunden-Intervall **statistisch signifikant**. Zeitlich korreliert die statistisch signifikante Zunahme der Kontaktzeit mit dem Frequenzabfall der Sprungfrequenz zwischen der 30. und 40. Belastungssekunde.

Die **Anzahl der Sprünge** pro Minute korreliert negativ mit **$r = -.80$** mit der **Kontaktzeit** der einzelnen Winkelsprünge.

Für den Zusammenhang von **Relativer Wattstufe im Stufenbelastungstest $W * kg^{-1}$** und der **Kontaktzeit** im Winkelsprungtest wird ein **mittlerer negativer Korrelationskoeffizient $r = -.64$** errechnet.

Für die **Relative Wattstufe im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest $W * kg^{-1}$** und die **Kontaktzeit** im Winkelsprungtest wird ein **mittlerer negativer Zusammenhang** mit **$r = -.54$** ermittelt.

Demzufolge ist die Kontaktzeit im Winkelsprungtest umso kürzer, je höher die getretene relative Wattstufe im Stufenbelastungstest und im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest ist.

Die **kürzesten Kontaktzeiten** zeigen mit **$0,16 \pm 0,01$ s** die **Berufsskilehrer**. **Statistisch signifikant kürzer** ist deren **Kontaktzeit** nur im Mittelwertsvergleich zu den Qualifikationslosen Freizeitsportlern ($0,22 \pm 0,04$ s, $p = .03$) sowie zu den Seniorenskisportlern ($0,37 \pm 0,13$ s, $p = .012$). Zu den übrigen Probandengruppen ergeben sich für die Berufsskilehrer keine weiteren signifikanten Mittelwertsunterschiede.

Die **längste Kontaktzeit** zeigen mit **$0,37 \pm 0,13$ s** die Seniorenskisportler. Diese liegen **hoch signifikant** über der mittleren Kontaktzeit aller anderen Probandengruppen.

Zwischen den übrigen Probandengruppen ergeben sich keine weiteren statistisch gesicherten Mittelwertsunterschiede.

Die Abbildung 43 zeigt vergleichende Balkendiagramme mit den Durchschnittswerten für die **Kontaktzeit** (s) der einzelnen Probandengruppen der Studie Alpiner Skilauf nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest.

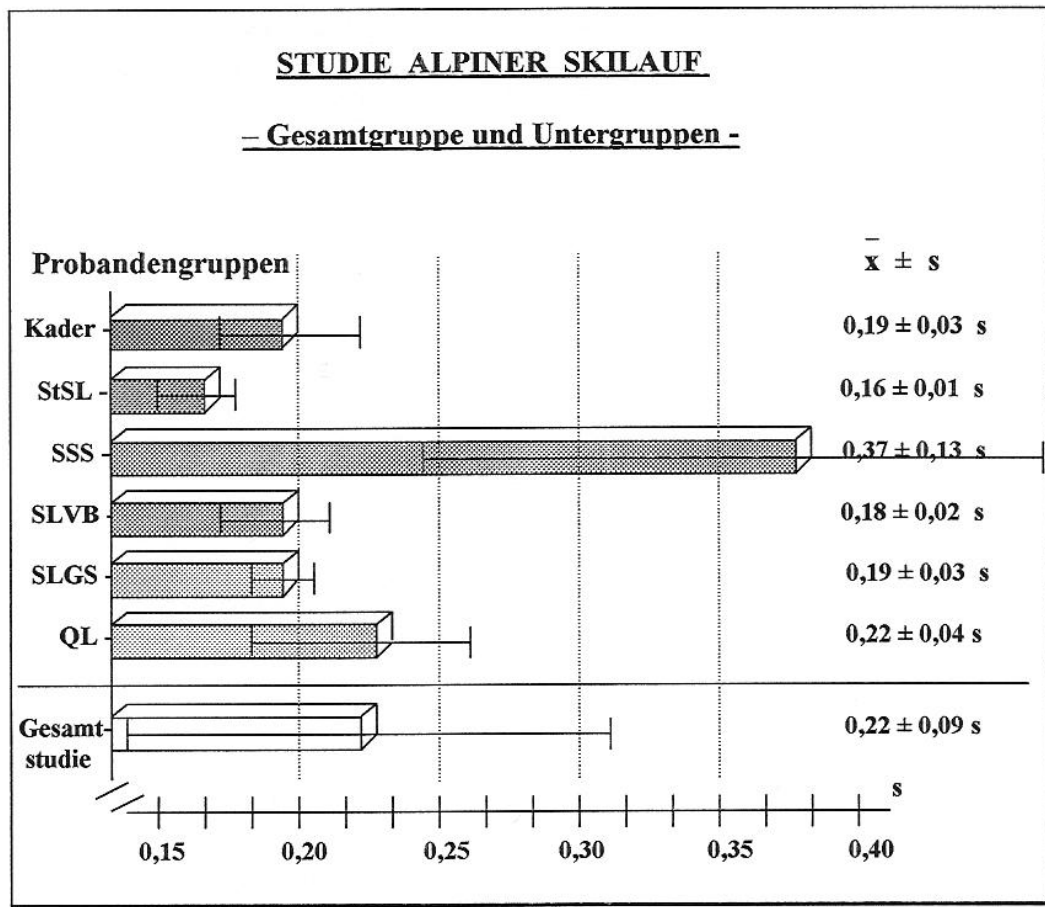


Abb. 43: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Kontaktzeit (s) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest. Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Seniorenskisportler (SSS), der Berufsskilehrer (StSL) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

3.4.5 Reaktivitätsindex

Der **Reaktivitätsindex** wird als **Quotient aus der Summe der Sprungzeiten dividiert durch die Summe der Kontaktzeiten** ermittelt.

Die Abbildung 44 zeigt vergleichende Säulendiagramme mit den Durchschnittswerten für den **Reaktivitätsindex** ($RI = s * s^{-1}$) der einzelnen Probandengruppen der Studie **Alpiner Skilauf** nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest.

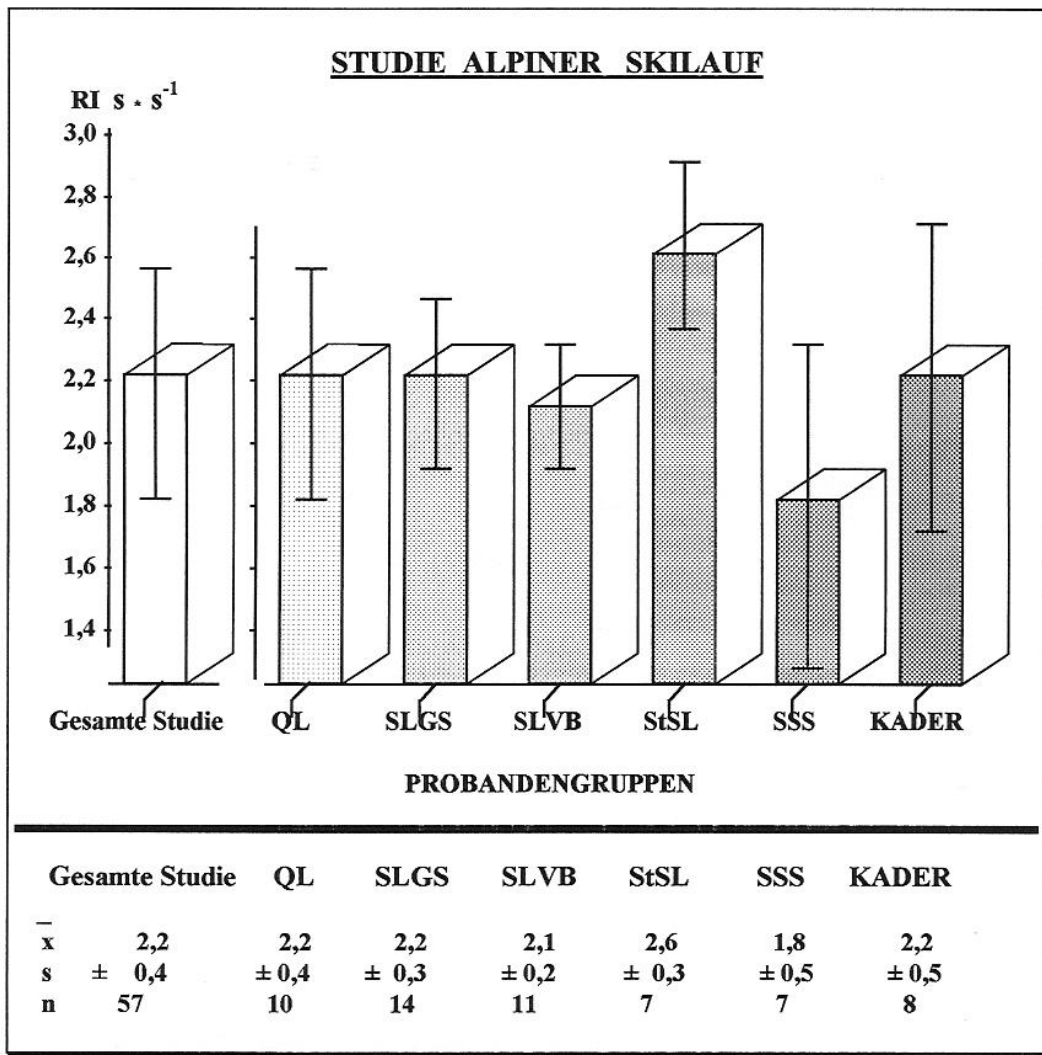


Abb. 44: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) des Reaktivitätsindex ($s * s^{-1}$) der Querschnitts-Studie **Alpiner Skilauf** nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest. Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der **Qualifikationslosen Skisportler (QL)**, der **Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS)**, der **DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB)**, der **Berufsskilehrer (StSL)**, der **Seniorenskisportler (SSS)** und der **Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER)** dargestellt.

Für die **gesamte Studie Alpiner Skilauf** wird ein **Reaktivitätsindex $2,2 \pm 0,4$** ermittelt.

Den **geringsten Reaktivitätsindex** erzielen die Seniorenskisportler mit $1,8 \pm 0,5$.

Die **Berufsskilehrer** weisen innerhalb der **Studie Alpiner Skilauf** die durchschnittlichen **Maximalwerte mit $2,6 \pm 0,3$** auf.

Statistisch signifikante Mittelwertsunterschiede ergeben sich für den Vergleich der Berufsskilehrer versus DSV- und Verbandsskilehrer ($p = .04$) sowie Berufsskilehrer versus Seniorenskisportler ($p = .012$).

Für den **Zusammenhang** von **Reaktivitätsindex** und **Sprungzahl pro Minute** ergibt sich ein **mittlerer Korrelationskoeffizient $r = .56$** .

4 Diskussion

4.1 Körperliche Leistungsfähigkeit

Zur Beurteilung der **körperlichen Leistungsfähigkeit** unter Laborbedingungen ist die **erschöpfende Fahrradspiroergometrie** ein **objektives, reliables** und **valides** Verfahren, um Kranke und Gesunde, Frauen und Männer, Erwachsene und Kinder sowie Untrainierte und Trainierte zu untersuchen (KNIPPING 1925, 1926, 1927, 1928, 1938, ROBINSON 1938, BRAUER, WOLF 1940, ASTRAND 1958, HOLLMANN 1963, 1965, NOWACKI 1974, 1975, 1977, 1978, MELLEROWICZ 1979, BRINGMANN 1980, NOWACKI 1981, 1984).

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

Im Unterschied zu starren Belastungsschemata 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).

In einem 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).

Eine Übersicht der leistungsdiagnostischen Kenngrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tab.7: Leistungsdiagnostische Kenngrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und der Untergruppen.

Studie Alpiner Skilauf							
	- Untergruppen -						Kader (n = 8)
	G. Studie (n= 57)	QL (n = 10)	SLGS (n = 13)	SLVB (n = 12)	StSL (n = 7)	SSS (n = 7)	
1 W/kg KG-Verfahren nach NOWACKI 1974							
Belastungszeit min	8,6 ± 1,5	8,5 ± 1,1	8,1 ± 1,0	9,4 ± 1,3	9,4 ± 1,2	6,7* ± 1,4 p = .012	9,7 ± 0,8
Gesamtarbeit Wattmin	1680 ± 840	1636 ± 476	1540 ± 243	1871 ± 438	2212 ± 528	1139* ± 317 p = .020	1727 ± 456
Absolute max. Wattstufe W	342 ± 69	332 ± 71	344 ± 41	355 ± 45	428* ± 73 p = .016	281 ± 42	311 ± 79
Relative max. Wattstufe W · kg⁻¹	4,6 ± 0,8	4,6 ± 0,7	4,5 ± 0,8	4,9 ± 0,7	5,3 ± 0,8	3,6* ± 0,8 p = .037	5,0 ± 0,5
Anaerober Schnelligkeitsausdauertest nach SZÖGY 1984							
Gesamtarbeit Wattmin	478 ± 57	480 ± 47	477 ± 35	488 ± 29	533* ± 32 p = .021	434 ± 36	446 ± 111
Absolute max. Wattstufe W	478 ± 57	480 ± 47	477 ± 35	488 ± 29	533* ± 32 p = .021	434 ± 36	446 ± 111
Relative max. Wattstufe W · kg⁻¹	6,5 ± 0,8	6,7 ± 0,5	6,2 ± 0,8	7,0 ± 0,6	6,6 ± 0,5	5,5* ± 0,6 p = .047	7,1 ± 0,8
Skispezifischer Imitationstest mit Winkelsprüngen							
Sprungzahl · min⁻¹	130± 25	121± 18	138± 17	141± 17	168± 16* p = .047	95± 14* p = .014	136± 16
Sprungfreq. · s⁻¹	2,2±0,4	2,0± 0,3	2,3± 0,3	2,3± 0,3	2,7±0,3* p = .036	1,6±0,2* p = .010	2,3±0,3
Kontaktzeit s	0,22 ± 0,09	0,22 ± 0,04	0,19 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,37* ± 0,13 p = .013	0,19 ± 0,03
Reaktivitätsindex	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,3	2,1 ± 0,2	2,6 ± 0,3	1,8 ± 0,5	2,2 ± 0,5
„*“: statistisch signifikanter Mittelwertsunterschied; „p“: Irrtumswahrscheinlichkeit							

4.1.1 Belastungszeit

Eine **Beurteilung des Trainingszustandes ausschließlich** über die „geleistete **Gesamtarbeit**“ in Wattminuten sowie die „**absolute**“ und „**relative maximale Wattstufe**“ in Watt und Watt * kg⁻¹ KG ist **nicht möglich**. Gerade im wichtigen Übergangsbereich zwischen den Belastungsstufen 3 W/kg KG und 4 W/kg KG ist eine exakte Differenzierung nur über eine zusätzliche Zeitangabe, d.h. die **Belastungszeit**, möglich: „Wie lange wurde die maximale absolute und relative Wattstufe tatsächlich getreten?“

Auf der Grundlage des 1 W/kg KG-Verfahrens nach NOWACKI 1974 ist eine ausschließliche Belastungsdauer von 2 Minuten im pathologischen Bereich einzu-
stufen. Mit Beginn der 3. Belastungsminute bis zum Ende der 6. Belastungsminute ist der untrainierte Leistungsbereich beschrieben, der je nach Belastungszeit in eine leistungsschwache, ausreichende und normale körperliche Leistungsfähigkeit differenziert wird. Mit der 7. Belastungsminute beginnt der befriedigend trainierte Bereich, der mit zunehmender Belastungszeit als ein gut und sehr gut trainierter, sowie ab 6 W/kg KG als ein Hochleistungs-Trainingszustand beurteilt werden kann.

Die **mittlere Belastungszeit** der vorliegenden Studie Alpiner Skilauf beträgt **8,6 ± 1,5 min**. **Unterhalb** des **Mittelwertes** der gesamten Studie liegen die Mittelwerte der Probandengruppen aus dem **Freizeitsportbereich** Alpiner Skilauf, die **Seniorenskisportler** (6,7 ± 1,4 min), die **Qualifikationslosen Freizeitskiläufer** (8,5 ± 1,1 min) sowie die **Übungsleiter- und Skilehrer-Grundstufe** (8,1 ± 1,0 min).

Im Vergleich zu untrainierten Normalpersonen (ROST, HOLLMANN, HECK, LIESEN, MADER 1982 6 min) und trainierten Sportlern verschiedener Sportarten (HÜBNER 1981 17 - 23 Jahre alte Skirennläufer des Hessischen Verbandskadets Ski Alpin 7,9 ± 0,6 min, NOWACKI, HAFERMANN, KERN, MÜLLER 1984 trainierte Sporttaucher 7 ± 0,6 min, BURGER 1991 Tanzsportler 7,4 ± 0,7 min, REUBER 1994 fortgeschrittene Tauchsportler 6,3 ± 0,6 min, MOHAMMED 1999 Fußballspieler 7,6 ± 1 min, NOWACKI N.S. 1998 Skilangläufer im Altersgang 10,2 ± 1,3 min, SAWELLION 2001 Kunstturner 8,5 ± 0,5 min, KILLICH 2001

jugendliche Biathleten $11,9 \pm 0,5$ min) weisen die Alpinen Skiläufer eine **Belastungszeit im gut bis sehr gut trainierten Bereich der körperlichen Leistungsfähigkeit** auf.

Laut HECK 1990 ergäbe sich über die Berechnung der **Solleistung** (hier: 220 Watt) nach dem 1 W/kg KG-Verfahren eine Belastungszeit von 6 Minuten.

Somit liegen die untersuchten Alpinen Skiläufer deutlich **über den vergleichbar geleisteten Werten Untrainierter** und dem von Sportmedizinern geforderten Mindest-Leistungsprofil eines gesunden untrainierten Mannes im Alter von 18 – 40 Jahren.

4.1.2 Gesamtarbeit

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. ZHAO ermittelte 1995 bei sehr gut ausdauertrainierten männlichen Sportlern nach einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Ausbelastung im Sitzen gemäß der 1 W/kg KG-Methode eine Gesamtarbeit von **2212 ± 592 Wattmin**. Dieselben Probanden erreichten nach der HOLLMANN-Methode **4073 ± 1014 Wattmin** und nach der Methode des Bundesausschuss für Leistungssport **3085 ± 975 Wattmin**. Insofern erfolgt an dieser Stelle vor allem ein Vergleich zu Sportlern und Sportarten, die nach der 1 Watt/kg KG-Methode belastet wurden.

Vorausgegangene Untersuchungen Alpiner Skiläufer ergaben nach NOWACKI 1984 und HÜBNER 1981 eine Gesamtleistung von 1304 ± 200 Wattmin in der Altersgruppe der 17 – 23jährigen hessischen Ski Alpin Kaderathleten.

NOWACKI 1984 publizierte **Maximalwerte der Gesamtarbeit** bei **Ruderern** mit 1940 ± 363 Wattmin und bei **Rad sportlern** mit 1853 ± 506 Wattmin. NOWACKI N.S. 1998 ermittelte in einer Langzeitstudie von **Skilangläufern** im Altersgang Durchschnittswerte von **1825 ± 256 Wattmin** bei 573 Probanden zwischen 10 und 25 Jahren. Nach NOWACKI und Mitarb. 1984 wurden für verschiedene **Bundesliga-Mannschaften** wie Turner 1262 ± 92 Wattmin, Volleyballspieler 1343 ± 337 Wattmin, Tischtennispieler 1466 ± 550 Wattmin, Basketballspieler 1578 ± 302 Wattmin, Eishockeyspieler 1623 ± 239 Wattmin, Fußballspieler 1636 ± 207 Wattmin sowie Squashspieler 1825 ± 256 Wattmin ermittelt.

Die Abbildung 45 zeigt vergleichende Balkendiagramme mit den Durchschnittswerten für die **Gesamtarbeit (Wattmin)** der verschiedenen Sportarten bei erschöpfender Spiroergometrie nach der 1W/kg KG-Methode.

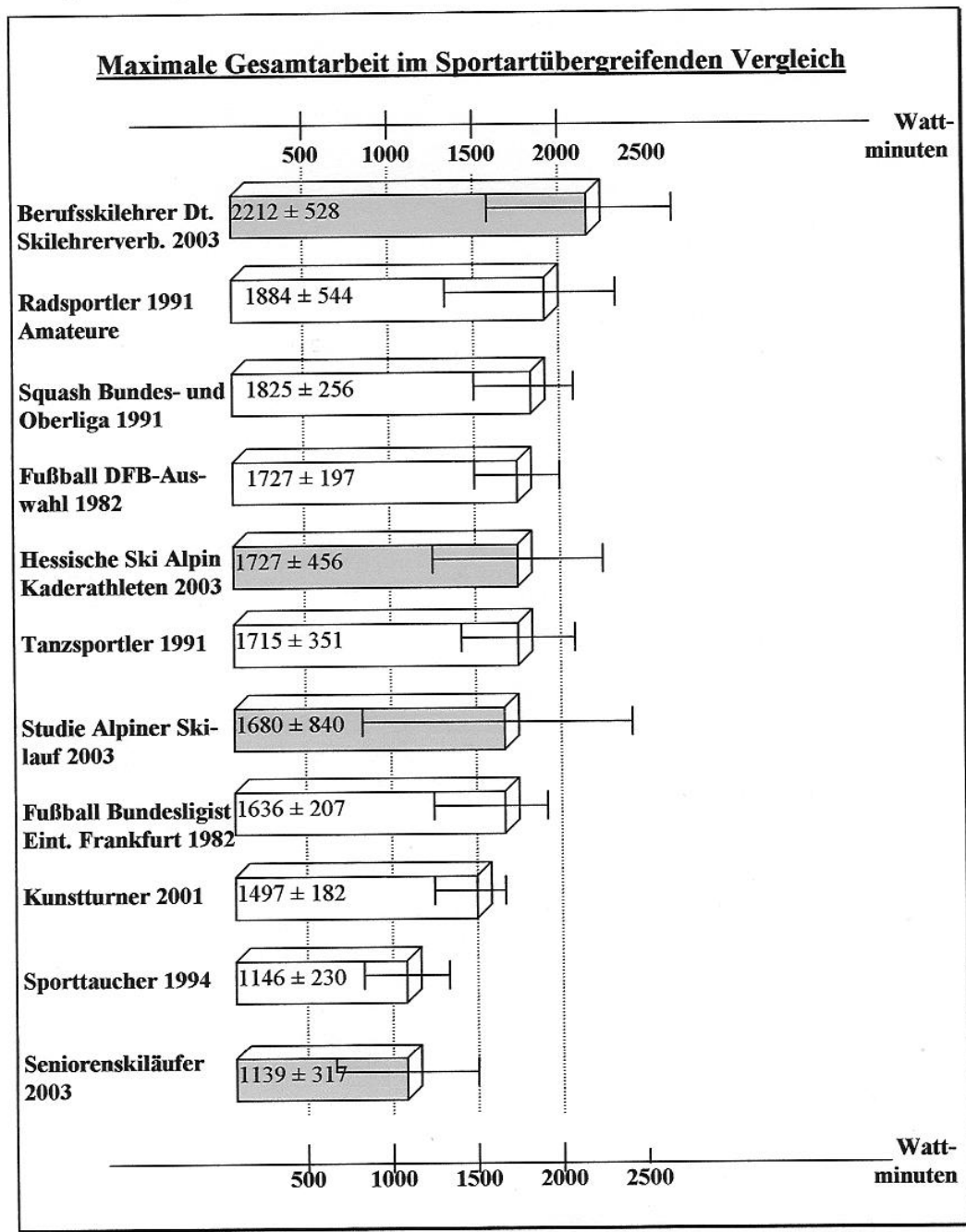


Abb. 45: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Gesamtarbeit (Wattmin) im Vergleich verschiedener Sportarten nach einer erschöpfenden Spiroergometrie mit der 1 W/kg KG-Methode nach NOWACKI 1974. Vergleichswerte nach NOWACKI u. Mitarb. 1984, NOWACKI et al. 1988, 1999 zu den eigenen Untersuchungen von Alpinen Skiläufern.

SCHNORR 1991 fand bei **Radsportlern** im Stufenbelastungstest eine mittlere Gesamtarbeit von 1884 ± 544 Wattmin. BURGER 1991 registrierte bei **Tanzsportlern** 1715 ± 351 Wattmin. REUBER 1994 beschreibt bei fortgeschrittenen **Sporttauchern** eine Gesamtarbeit von 1146 ± 230 Wattmin. SAWELLION 2001 registrierte bei **Kunstturnern** 1497 ± 182 Wattmin. KILLICH 2001 ermittelte bei **jugendlichen Biathleten von 12 – 15 Jahren** 1067 ± 198 Wattmin.

Für die **vorliegende Studie Alpiner Skilauf** ergab sich eine **Gesamtarbeit** von 1680 ± 840 Wattmin.

Diese durchschnittlichen Werte für die **leistungsdiagnostische körperliche Kenngröße „Gesamtarbeit in Wattminuten“** entsprechen den von NOWACKI 1975 postulierten Beurteilungskriterien einer **gut bis sehr gut trainierten** körperlichen Leistungsfähigkeit. Dies ist eine Bestätigung der Befunde für die Sportart Alpiner Skilauf. HÜBNER 1981 ermittelte bei den **17 – 23 Jahre alten männlichen Hessischen Ski Alpin Kaderathleten** eine Gesamtarbeit von 1304 ± 200 Wattminuten.

Im Vergleich zu den HÜBNERschen Studien aus dem Jahr 1981 am Lehrstuhl für Sportmedizin an der JLU Gießen weist die aktuelle Studie eine um ca. **375 Wattminuten größere Gesamtarbeit** auf. Vergleicht man ausschließlich die aktuelle Gruppe der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten mit den von HÜBNER getesteten 17 – 23 Jahre alten Probanden von 1981, so ergibt sich eine noch größere Mittelwertsdifferenz von **> 400 Wattminuten** zugunsten der gegenwärtigen Studie.

Dies spiegelt den allgemeinen Trend im Alpinen Skilauf wieder. Aufgrund **veränderter Skitailierungen** sind über große **Aufkantwinkel** kleine **Schwungradien** mit großen **Schwungwinkeln** möglich. Dabei muss der Skisportler neben einem guten techno-motorischen Können über ein hohes Schnellkraft- und Kraftausdauerniveau verfügen, um der resultierenden **vertikalen Bodenreaktionskraft F_{Rv}** muskulär entgegen arbeiten zu können. MESTER 1984, MÜLLER 1986, NACHBAUER 1986, WÖRSTER 1989, BAUER 1990, MERVELSKEMPER 1990, VATER 1990, 1992 wiesen in biodynamischen Feldstudien Mitte der 80ziger bis Mitte der 90ziger Jahre **maximale vertikale Bodenreaktionskräfte**

bis **ca. 6000 N** nach. Je nach Schwungradradius, Schwungwinkel und Geschwindigkeit wirken diese Kräfte über 0,4 bis 1,5 Sekunden. Aufgrund der modifizierten Skikonstruktionen ab Mitte der 90ziger Jahre wurde eine aggressivere Skiführung möglich, die u. a. zu einer direkteren Linienführung im Alpinen Skirennsport beitrug. Damit stiegen neben dem technischen Können die athletischen Anforderungen hinsichtlich Schnellkraft und Kraftausdauer im Freizeit-, Breiten- und Leistungssport. Diese größere physische Leistungsfähigkeit spiegelt sich im Stufenbelastungstest wieder.

SZÖGY u. Mitarb. 1984 ermittelte bei **Straßen-Radrennfahrern** bei einem **einminütigen Wingate-Test** eine **maximale Gesamtarbeit** von **500 ± 50,3 Wattminuten**. Die Querfeldein-Radrennfahrer erzielten $427,5 \pm 27,3$ Wattminuten.

Rumänische **Eisschnellläufer** zeigten im gleichen Belastungsschema bei ROSETTI 1982 eine Gesamtarbeit von 613 Wattminuten. Die rumänischen **Straßen-Radrennfahrer** leisteten 586 Wattminuten (ROSETTI 1982).

Für die gesamte **Studie Alpiner Skilauf** beträgt der **Mittelwert** der verrichteten anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistung **478 ± 57 Wattminuten**. Damit erzielen die Alpinen Skiläufer hinsichtlich der globalen anaeroben Kapazität bzw. des Stehvermögens im sportartübergreifenden Vergleich gute Ergebnisse.

4.1.3 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**.

Die **absolute maximale Wattstufe** beim 1 W/kg KG-Verfahren auf dem Fahrradergometer liegt für die **Studie Alpiner Skilauf** im Stufenbelastungstest bei **342 ± 69 W**.

ZHAO 1995 führte vergleichende Studien zwischen den 5 meist praktizierten ergometrischen 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 ½ 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 (M. Ka.).

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 **Spitzenruderern** erzielt worden. In der speziell für Ruderer konzipierten Belastungsmethode wurde mit 250 Watt begonnen und alle 2 Minuten um 50 W gesteigert. Nach diesem Belastungsverfahren wurden von Olympiasiegern und Weltmeistern aus der erfolgreichen Ära des Rudertrainers Karl Adam absolute maximale Wattstufen von **500 bis 550 W** erreicht.

Bei der Ermittlung der **anaeroben Kapazität** registrierte SZÖGY u. Mitarb. 1984 beim Stehvermögen eine durchschnittliche **absolute maximale Wattstufe** von **500 ± 50,3 W bei Straßen-Radrennfahrern**. ROSETTIS 1982 durchgeführte Untersuchungen mit rumänischen Eisschnellläufern und Straßen-Radrennfahrern ergaben Leistungen von 613 und 586 W. Die **durchschnittliche Maximalleistung** beim **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest** lag für die Studie Alpiner Skilauf bei **478 ± 57 W**.

Hinsichtlich der **Schnellkraft** (SZÖGY u. Mitarb. 1984: **maximale anaerobe Kapazität, alactic power**) ermittelte SZÖGY u. Mitarb. 1984 bei Bahn-Radrennfahrern **930 ± 93,2 W** als maximale anaerobe Kapazität. PIRNAY, CRIELAAR 1979 erzielten bei 6 erwachsenen belgischen **Spitzensprintern 1021 W**.

Die **maximale durchschnittliche Schnellkraftleistung** der Studie **Alpiner Skilauf** liegt bei **588 ± 55 W**.

Zur Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit ist die **relative maximale Wattstufe (W * kg⁻¹ KG)** für die Leistungsdiagnostik eine der bedeutendsten Kenngrößen (MELLEROWICZ, NOWACKI 1961, NOWACKI 1977, KLEMT, ROST 1986, KINDERMANN 1987, NOWACKI 1987, ZHAO 1995).

In der Regel ist das 1 W/kg KG-Verfahren für jedes ergometrische Belastungsschema anwendbar, da es als Quotient aus Leistung und Körpergewicht errechnet werden kann. Allerdings sollte der **Vita maxima-Erschöpfungspunkt** laut 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, also zwischen 1 Minute $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$ und 1 Minute $7 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG}$, erreicht werden können.

Das dieser Studie zugrunde liegende **1 W/kg KG-Verfahren** nach NOWACKI 1974 erfüllt die diesbezüglich gestellten Anforderungen und **erlaubt 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 8 **dargestellte Beurteilung** verifiziert.

Tab. 8: Beurteilung des Leistungs- und Trainingszustandes nach erschöpfender Fahrradergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode nach NOWACKI 1974

Gesamtbelastungszeit min	Stufenbelastungszeit der maximalen relativen Wattstufe min	Sportmedizinische Beurteilung
< 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

Voraussetzung für die abschließende Einschätzung des Leistungs- und Trainingszustandes bei der erschöpfenden Fahrradergometrie im Sitzen ist aber der Belastungsbeginn mit 1 W/kg KG und die entsprechende Steigerung alle 2 Minuten.

Die **relative maximale Wattstufe** unter Berücksichtigung des Körpergewichtes liegt für die **Studie Alpiner Skilauf** im Stufenbelastungstest bei **4,6 ± 0,8 W * kg⁻¹ KG**. Demzufolge sind die an der Studie teilnehmenden Skisportler durchschnittlich als „gut“ bis „sehr gut trainiert“ einzustufen.

4.2 Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit

Die **Herzfrequenz** ist die wichtigste Kenngröße zur **Beurteilung der kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit** (MELLEROWICZ 1956, HOLLMANN 1959, REINDELL u. Mitarb. 1960, ISRAEL 1968, NOWACKI 1977, NÖCKER 1980, RIECKERT 1992).

Entsprechend ihrer Bedeutung gibt es eine Vielzahl von Veröffentlichungen zum Thema „Herzfrequenz und körperliche Leistungsfähigkeit“. Zudem besitzt die Herzfrequenz für die **tägliche Trainingspraxis** einen hohen Stellenwert hinsichtlich der Trainingssteuerung (Leistungs-, Anpassungs- und Ermüdungsdiagnostik). Die **Herzfrequenzmessung** bietet in der sportmedizinischen Praxis die Vorteile, nicht-invasiv und einfach zu messen sowie ortsunabhängig und sofort auswertbar zu sein. Die gemessene Herzfrequenz bei definierter Leistung erlaubt direkte Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems (NOWACKI 1992). Diesen Umstand haben sich industrielle Hersteller von Pulsmessgeräten zu Nutze gemacht und die technische Entwicklung dieser Geräte und deren Vermarktung forciert.

Die **Ausdauerleistungsfähigkeit** (HOLLMANN, HETTINGER 1980: „Ermüdungswiderstandsfähigkeit“ und „Fähigkeit zur raschen Regeneration“) sowie die **Leistungsfähigkeit des Herzkreislaufsystems** stehen im Zusammenhang mit dem Herzfrequenzverhalten in Ruhe, bei submaximaler Belastung, unter erschöpfender Vita maxima-Ausbelastung und während der Erholung (ISRAEL u. Mitarb. 1974).

Nach den Untersuchungen über die Herzfrequenz 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 liegt bis zu **20 * min⁻¹** und mehr Schläge niedriger. Im Ausdauerhochleistungsbereich können Athleten Ruhepulsfrequenzen um **40 * min⁻¹** aufweisen.

Bei Unkenntnis dieser Zusammenhänge durch ÄrzteInnen, die über keine sportmedizinische Erfahrung verfügen, wurde schon häufig ein „Sportverbot“ mit nachteiligen gesundheitlichen Folgen für die Betroffenen ausgesprochen (REINDELL, ROSKAMM 1977). Bei einigen Athleten aus den extremen Ausdauer- und Kraftausdauersportarten, wie z.B. Marathonlauf, Straßenradrennfahren, Skilanglauf, Triathlon, Langstreckenschwimmen etc. wurden schon morgendliche Ruhepulswerte von 32 bis 28 Schlägen $\cdot \text{min}^{-1}$ registriert (ISRAEL 1968, NOWACKI 1973, HOLLMANN, HETTINGER 1980). Diese liegen dann unterhalb der Eigenfrequenz des Ashoff-Tawara-Knotens ($40 \cdot \text{min}^{-1}$), was elektrokardiographisch zu Blockbildungen führt.

Für MELLEROWICZ 1956 stellt die **Sinusbradykardie** eine „Ökonomisierung der Kreislaufregulation“ und eine „Vermehrung der kardialen Reservekräfte“ dar. Die Sinusbradykardie der Sportler führt zu einer verlängerten Diastole und damit zu einer verbesserten **myokardialen Sauerstoffversorgung**.

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). Die Ruheherzfrequenz ist ein sensibler Parameter, der dem Einfluss unterschiedlicher endo- und exogener Faktoren unterliegt. Beispielsweise kann eine erhöhte Ruheherzfrequenz ein Indiz für ein sympathikotones Übertraining, für beginnende Infektionskrankheiten oder eine unzureichende muskuläre Regeneration sein.

Unter körperlicher Belastung steigt die Pulsfrequenz unter der Führung des Sinusknotens (REINDELL u. Mitarb. 1967, 1988) auf leistungsadäquate Werte an.

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

ISRAEL 1982 gibt die submaximale Herzfrequenz für den **Herzschlagfrequenzbereich von 120 bis 170 min^{-1}** an. Der **submaximale Herzschlagfrequenzbereich**

reich ist auch durch eine **lineare Beziehung** zwischen **Herzfrequenzanstieg** und **Belastungsanstieg** charakterisiert.

Die submaximale Herzfrequenz ist die kardiozirkulatorische Reaktion auf einen definierten unterschwelligen Belastungsreiz. Ein langfristiges körperliches Training führt zu einem **Abfall der submaximalen Herzfrequenz** bei gleicher Leistung. Dies ist als Adaptation des Herzkreislaufsystems an den Belastungsreiz positiv zu beurteilen. Bei gleichen Belastungsreizen kann die Leistungsherzschlagfrequenz des Trainierten bis zu **30 Schlägen * min⁻¹** unter der des Untrainierten liegen. Niedrigere submaximale Herzfrequenzen sind Spiegelbild eines besseren Funktionszustandes des Herzkreislaufsystems und Ausdruck einer höheren körperlichen Leistungsfähigkeit. Dagegen ist eine **Zunahme der submaximalen Herzfrequenz** als **prognostisch** ungünstig zu interpretieren.

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

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. Diese ergometrische Leistungsstufe ist vergleichbar mit einem Ausdauerlauf im ruhigen Steady state, z.B. $9 \pm 1 \text{ km/h}$.

MOHAMMED 1999 konnte bei Fußballspielern der Herrenklasse eine submaximale Herzfrequenz von $140 \pm 16 \text{ * min}^{-1}$ nachweisen. NOWACKI, PREUHS 1993 erzielten durch ein zusätzliches Ausdauertraining über ein halbes Jahr einen signifikanten Abfall der submaximalen Herzfrequenz einer Fußball-Oberligamannschaft von 145 * min^{-1} auf 136 * min^{-1} . REUBER 1994 ermittelte bei fortgeschrittenen Tauchern eine submaximale Herzfrequenz von $141 \pm 16 \text{ * min}^{-1}$.

Für die vorliegende Studie Alpiner Skilauf ergibt sich eine durchschnittliche Herzfrequenz von $134 \pm 16 \text{ * min}^{-1}$ am Ende der 4. Belastungsminute unter Steady state-Bedingungen bei 2 W/kg KG. Diese niedrige durchschnittliche Herzfrequenz der Alpinen Skisportler im submaximalen Belastungsbereich unterstreicht ihren guten bis sehr guten Trainingszustand.

Während einer **erschöpfenden Vita maxima-Ausbelastung** sollen gemäß der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie altersabhängig **maximale Herzfrequenzen zwischen 170 und 190 * min⁻¹** erreicht werden. Nach ISRAEL 1970 und MELLEROWICZ 1979 liegt eine **kardiozirkulatorische Ausbelastung** bei einer **maximalen Herzfrequenz von 180 – 200 Schlägen * min⁻¹** vor.

Herzfrequenzen **unter 160 * min⁻¹** entsprechen nicht einer kardiozirkulatorischen Ausbelastung (MELLEROWICZ 1979). Ab einer Frequenz von **170 * min⁻¹** spricht ISRAEL 1970 von einer **intensiven Belastung**. In diesem Herzfrequenzbereich gibt es **keine lineare Beziehung** mehr zwischen Belastungsanstieg und Herzfrequenzerhöhung. Während der **Endphase einer Belastung** zeigt die **Leistungsherzschlagfrequenz > 170 * min⁻¹** einen **sigmoidalen Verlauf**.

NOWACKI N.S. 1998 belegte in seiner Langzeitstudie zum Skilanglauf, dass eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit mit einer Reduzierung der maximalen Herzfrequenz verbunden ist.

Zwischen dem 20. und dem 40. Lebensjahr ist die maximale Herzschlagfrequenz zwischen Trainierten und Untrainierten gleich. 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.

Jenseits des 40. Lebensjahres nimmt die **maximale Herzschlagfrequenz mit zunehmendem Alter ab**. HOLLMANN 1986 stellt eine Abnahme der maximalen Herzfrequenz bereits nach der Pubertät fest.

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 zunehmenden Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Als Ursache für diese Entwicklung wird eine **ökonomischere Herzkreislaufarbeit** auf der Basis einer **Herzvergrößerung** angesehen. MOHAMMED 1999 beschreibt für Hochleistungssportler, besonders für Fußballspieler der Bundesliga mit mehr als 15 Trainingsjahren, maximale Herzfrequenzen von $170 \pm 5 \text{ * min}^{-1}$. NOWACKI et al. 1999 bezeichnet die **Pulsfrequenz von $180 \pm 5 \text{ * min}^{-1}$** als brauchbare **Richtzahl** für die **Ausbelastung von hochausdauertrainierten Athleten**.

REUBER 1994 ermittelte bei fortgeschrittenen Tauchern durchschnittliche maximale Herzfrequenzen von $180 \pm 16 \text{ * min}^{-1}$. NOWACKI N.S. 1998 wies in Langzeitstudien im Skilanglauf bei Athleten > 26 Jahre eine maximale Herzfrequenz von $178 \pm 8 \text{ * min}^{-1}$ nach. MOHAMMED 1999 registrierte bei Fußballspielern der Seniorenklasse $180 \pm 10 \text{ Schläge * min}^{-1}$ als maximale Ausbelastungsfrequenz.

Für die vorliegende **Studie Alpiner Skilauf** ergab sich eine **maximale Herzfrequenz von $182 \pm 16 \text{ * min}^{-1}$** . In Anbetracht des durchschnittlichen Alters $32,4 \pm 10,4$ Jahre der Studie Alpiner Skilauf kann somit eine **kardiozirkulatorische Ausbelastung** mittels der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode **angenommen werden**. Hinsichtlich des Lebensalters, des Trainingszustandes und der maximalen Leistungsschlagfrequenz des Herzens können die diskutierten Zusammenhänge bestätigt werden.

Die im Altersgang jüngste Probandengruppe der **Hessischen Ski Alpin Kaderathleten ($20,3 \pm 4,8$ Jahre)** erzielte mit $190 \pm 11 \text{ * min}^{-1}$ **Herzkontraktionen die höchste Frequenz**. Die **Seniorenskisportler ($55,2 \pm 4,6$ Jahre)** wiesen die **niedrigste Herzfrequenz mit $151 \pm 14 \text{ * min}^{-1}$ Schlägen** auf.

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

$$\underline{\underline{\text{„Hf}_{\text{max}} \text{ * min}^{-1} = 220 - \text{Lebensalter“}}}$$

Im Vergleich zur Empfehlung von HOLLMANN gibt die EUROPÄISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARDIOLOGIE niedrigere maximale Herzschlagfrequenzen für ihre Ausbelastungskriterien an:

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

**Tab. 9: Ausbelastungskriterien der maximalen Herzschlagfrequenz
Formel nach HOLLMANN versus Empfehlung EUROPÄISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARDIOLOGIE**

ALTER	MAXIMALE HERZSCHLAGFREQUENZ		
	HOLLMANN 1963, 1965	EUROPÄISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARDIOLOGIE	
20 – 29 ^{11/12}	190	170	Hf _{max} · min ⁻¹
30 – 39 ^{11/12}	180	160	Hf _{max} · min ⁻¹
40 – 49 ^{11/12}	170	150	Hf _{max} · min ⁻¹
50 – 59 ^{11/12}	160	140	Hf _{max} · min ⁻¹
60 – 69 ^{11/12}	150	130	Hf _{max} · min ⁻¹
> 70	140 – 110	120	Hf _{max} · min ⁻¹

In **allen** drei dieser **Studie Alpiner Skilauf** zugrunde liegenden **Testverfahren** werden die **maximalen Leistungsschlagfrequenzen** sowohl für den Durchschnittswert der gesamten Studie wie auch für die Mittelwerte der Untergruppen **erreicht**. Demzufolge scheint die kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit nicht nur für die körperliche Leistungsfähigkeit beim 1 W/kg KG-Verfahren, sondern auch beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest und beim Skispezifischen Winkelsprungtest eine entscheidende Kenngröße zu sein.

Ein weiteres Kriterium für die körperliche Leistungsfähigkeit ist der Verlauf der Erholungsschlagfrequenz (NOWACKI 1975, ISRAEL 1968). Entsprechend den Arbeiten von REINDELL u. Mitarb. 1962 und MELLEROWICZ 1979 verläuft

die Beruhigung der Herzfrequenz nach einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung umso schneller, 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.

Tab. 10: Beurteilung der kardiozirkulatorischen Erholungsfähigkeit nach einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung 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 **Studie Alpiner Skilauf** konnte eine durchschnittliche Herzfrequenz von $111 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$ am Ende der 5. Erholungsminute registriert werden. Nach den allgemein anerkannten Beurteilungskriterien entspricht diese Erholungsfrequenz einer **guten kardiozirkulatorischen Erholungsfähigkeit**.

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 unter $100 \cdot \text{min}^{-1}$ erreicht ist. Deshalb hat sich nach NOWACKI 1973 die 5

Minuten-Erholungs-Herzfrequenz zur Beurteilung der kardiozirkulatorischen Erholungsfähigkeit durchgesetzt und bewährt.

Grundsätzlich treffen die Ergebnisse von MELLEROWICZ 1979 zu, der einen Zusammenhang von schnellerer Herzfrequenzberuhigung bei einem verbesserten Trainingszustand beschreibt.

Die Registrierung des **systolischen** und **diastolischen Blutdruckverhaltens** vor, während und nach der Fahrradspiroergometrie 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 20zigsten und dem 40zigsten Lebensjahr **normotone Blutdruckwerte von 130/85 mmHg** zu erwarten.

Entsprechend dem Widerstand bei dynamisch verrichteter Arbeit steigt der **systolische Blutdruck** an. Das Verhalten des **diastolischen Blutdrucks** ist von der **Belastungsform** abhängig. Mit zunehmendem Muskeltonus bei hohen Intensitäten steigt der diastolische Blutdruck an. Bei geringeren Kraftintensitäten und dynamisch alternierender Arbeitsweise der Muskulatur bleibt der diastolische Blutdruck nahezu unverändert.

Bei **ausdauertrainierten Sportlern** ist neben der trophotropen Beeinflussung der Herzfrequenz auch eine **Kreislaufökonomisierung** mit **Verringerung** der **systolischen Ruhe-Blutdruckwerte** beschrieben worden.

MELLEROWICZ definierte dies 1956 als „Ökonomieprinzip des trainierten Herz-Kreislauf-Systems“ vor allem bei Ausdauersportlern. Als ursächlich wird die **Reduktion der Kontraktilitätskraft** des **Myokards** und eine **Verminderung des Herzzeitvolumens** angesehen (MELLEROWICZ 1956, NÖCKER 1976, HOLLMANN, HETTINGER 1980). Für HECK 1990 ist dagegen der Einfluss der Ausdauerleistungsfähigkeit auf das systolische Blutdruckverhalten unter Belastung nur gering.

In der vorliegenden Studie stellte der Tretwiderstand im Stufenbelastungstest hinsichtlich des Krafteinsatzes eine mittlere Belastung dar, die einen leichten Anstieg des diastolischen Blutdrucks bewirkte.

4.3 Respiratorische Leistungsfähigkeit

Die **respiratorische Leistungsfähigkeit** wird durch das **maximale Atemminutenvolumen (AMV I BTPS)** als **Produkt** der **Atemfrequenz ($AF \cdot \text{min}^{-1}$)** und des **Atemzugvolumens (AZV ml BTPS)** definiert (HOLLMANN 1959, 1961, 1963, 1965, 1977). Das Atemminutenvolumen gilt als **Basismessgröße** der Spirometrie.

Die **ausschließliche Beurteilung** des maximalen Atemminutenvolumens für eine Prognose der körperlichen Leistungsfähigkeit ist **nicht aussagekräftig**. Insofern kann die Einstufung maximaler Atemminutenvolumina im Vergleich zu anderen leistungsdiagnostischen Kenngrößen nur orientierenden Charakter besitzen. Heck 1990 sieht die **Variabilität des AMV** als **sehr groß** an und stuft infolgedessen das AMV als einen **geringen validen Leistungsindikator** 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 berichten über einige **Ausnahmen bei Hochleistungsrudern**. 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.

KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 registrierten bei gleicher ergometrischer Leistung zwischen Trainierten und Untrainierten **nur geringe, nicht signifikante Unterschiede bei maximalen Atemminutenvolumina**, die mit zunehmender Leistung größer wurden. Die Differenz zugunsten der Trainierten im oberen Leistungsbereich wurde von den Untersuchern als **trainingsadaptierte verbesserte Atmungsökonomie** interpretiert. Auch NOWACKI 2002 hält nach seinen mehr als 40jährigen Erfahrungen bei spiroergometrischen Vita maxima-Untersuchungen von AthletenInnen aus unterschiedlichen Sportarten das **maximale Atemminutenvolumen nicht** für einen **entscheidenden leistungsbegrenzenden und klassifizierenden Faktor**.

Die folgenden **Einteilungskriterien** für das maximale **AMV I BTPS** gestatten aber eine **orientierende Klassifizierung** des Trainingszustandes.

In Tabelle 11 sind die geltenden Richtlinien des maximalen Atemminutenvolumens modifiziert nach NOWACKI N.S. 1998, MOHAMMED 1999 und nach NOWACKI 2002 dargestellt.

Tab. 11: 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	

HOLLMANN 1959, MELLEROWICZ 1979, NÖCKER 1980 beschreiben mit Beginn der körperlichen Tätigkeit einen **Anstieg des AMV proportional zum Sauerstoffbedarf** bis zum maximalen „Steady state: O_2 -Aufnahme = O_2 -Verbrauch.“ Mit steigender Belastungsintensität und zunehmender O_2 -Schuld wurde eine **Arbeitshyperventilation** beobachtet, die zu einem **unproportionalen Anstieg des Atemminutenvolumens** führte. NOWACKI 1977, NICKEL 1992

führen den **starken Anstieg des AMV** oberhalb des Steady state auch auf die verstärkte **Abatmung** des in der Arbeitsmuskulatur anfallenden **CO₂** zurück, um einen **pH-Abfall** und eine **Azidose** hinauszuzögern.

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. die Atmung im submaximalen Leistungsbereich **ökonomischer** und die **Sauerstoffausnutzung effizienter** wird. Des Weiteren wird das **Steady state** auf ein **höheres Belastungsstufenniveau** als vor dem Ausdauertraining verschoben (BARTELS 1973, MELLEROWICZ 1979, NÖCKER 1980, HOLLMANN, HETTINGER 2000).

Für NOWACKI 1979, NICKEL 1992 ist bei gegebener Belastungsstufe ein **niedrigeres Atemäquivalent** Ausdruck der **verbesserten Atemökonomie**.

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

HOLLMANN 1990 sieht eine weitere wichtige **Einflussgröße in der Leistungsfähigkeit der Atemmuskulatur**, die durch Training gesteigert werden kann.

NOWACKI 1977 wies anhand von Untersuchungen nach, dass **Untrainierte im Alter zwischen 20 – 40 Jahren** ein maximales **AMV von 80 ± 10 l BTPS** erreichten, was überwiegend auf die Verdoppelung der **Atemfrequenz bis 30 Atemzüge * min⁻¹** zurückzuführen war. Dagegen steigerten **Trainierte** ihre **Atemfrequenz** auf **40 – 50 Atemzüge * min⁻¹** bei gleichzeitig höheren **Atemzugvolumina** als die Untrainierten. So waren die **Trainierten** während Vita maxima-Belastungen in der Lage, noch **40 - 50 % ihrer Vitalkapazität** als Atemzugvolumen einzusetzen.

NOWACKI 1978 sieht Zusammenhänge zwischen der **respiratorischen Leistungsfähigkeit** und der **Atmungsökonomie** abhängig von der **ausgeübten Sportart** und der damit verbundenen Adaptation an die Trainingsreize. Diese

Ergebnisse konnten von NOWACKI N. S. 1998 anhand des sportmedizinischen Leistungsprofils von SkilangläufernInnen im Altersgang verifiziert werden. Sowohl NOWACKI 1978 wie auch NOWACKI N.S. 1998 beschreiben diese frühzeitigen Adaptationen bereits bei SchülernInnen und Jugendlichen. So beschreibt NOWACKI N.S. 1998 bei **12jährigen SchülernInnen** maximale **Atemminutenvolumina von $80 \pm 16,8$ l BTPS bzw. $70 \pm 12,6$ l BTPS**, die den Werten untrainierter Erwachsener entsprechen. Mit zunehmendem Alter übertreffen die SchülerInnen und Jugendlichen diese Werte deutlich.

ASTRAND 1952 beschreibt für Kinder und Jugendliche mit fortschreitendem Alter eine annähernd **gewichtsproportionale Zunahme** des maximalen **Atemminutenvolumens**.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde für den Zusammenhang von maximalem **Atemminutenvolumen** und dem anthropometrischen Merkmal **Körpergröße** ein mittlerer Korrelationskoeffizient $r = .36$ ermittelt. Hinsichtlich der Korrelation von **AMVmax** und dem **Körpergewicht** ergibt sich ebenfalls mit $r = .41$ ein mittlerer Zusammenhang.

In der sportmedizinischen Literatur sind für die respiratorische Leistungsfähigkeit **geschlechtsspezifische Unterschiede** (ASTRAND 1952, HANSEN 1975, NOWACKI 1983, BACHL 1986, HOLLMANN 1986, NOWACKI N.S. 1998) beschrieben. Übereinstimmend wurden bei **Frauen ca. 30% geringere Werte** nachgewiesen, wobei nach NOWACKI N.S. 1998 diese Differenzen mit Beginn der **Adoleszenz ab dem 16. Lebensjahr statistisch signifikant** sind. Der höchste maximale AMV-Wert mit 115 ± 15 l BTPS wurde von einer 19jährigen Skilangläuferin erreicht. Bei 20jährigen Skilangläufern wurde ein durchschnittliches maximales AMV von 141 ± 23 l BTPS gemessen.

Für die **Trainingspraxis im Alpinen Skilauf** ist die **Kenntnis des maximalen Atemminutenvolumens** als Information ausreichend, um auszuschließen, dass **restriktive** oder **obstruktive Veränderungen** einen leistungslimitierenden Faktor darstellen.

Das mittlere Atemminutenvolumen der Studie Alpiner Skilauf liegt in der Vorstartphase beim Stufenbelastungstest bei $12,3 \pm 4,0$ l BTPS und beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest bei $14,5 \pm 5$ l BTPS. Das **AMV** ist in der Vorstartphase **höher als der** von NOWACKI 1977 und NÖCKER 1980 postulierte **Ruhewert von 8 ± 1 l BTPS**. Ursächlich ist **in der Vorstartphase** beider Tests ein **erhöhtes Atemzugvolumen** (Stufenbelastungstest: AMV $0,9 \pm 0,35$ l BTPS; Anaerober Schnelligkeitsausdauerstest: AMV $1,0 \pm 0,5$ l BTPS), während die **Atemfrequenz** (Stufenbelastungstest: AF $14 \pm 4 \cdot \text{min}^{-1}$; Anaerober Schnelligkeitsausdauerstest: AF $15 \pm 4 \cdot \text{min}^{-1}$) **mit 12 bis 15 Atemzügen $\cdot \text{min}^{-1}$ im Normbereich** liegt. Vermutlich sind die **erhöhten Ausgangswerte** auf die **psychisch bedingte Anspannung** zurückzuführen, was in dieser Phase die erhöhten kardiozirkulatorischen und respiratorischen Messwerte bedingte. Mit **Beginn der Belastung** passten sich aber die **respiratorischen Funktionsgrößen** sehr rasch den **Erfordernissen der physikalischen Leistung** an.

Die Anpassung an die physikalische Leistung ist über eine **Steigerung der Atemfrequenz** und über eine **Erhöhung des Atemzugvolumens** möglich. Nach Untersuchungen von KÖNIG und Mitarb. 1961 reagieren **Untrainierte** auf eine physikalische Leistung mit dem **Anstieg der Atemfrequenz**, während **Trainierte** eher das **Atemzugvolumen** steigern.

Für den **Stufenbelastungstest** ergibt sich ein **Sofortwert des Atemminutenvolumens** von $135,1 \pm 28$ l BTPS. Beim **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest** werden zum gleichen Messzeitpunkt $120,5 \pm 28$ l BTPS registriert. Die Mittelwertsdifferenz zwischen den beiden mittleren Atemminutenvolumina ist **statistisch hochsignifikant** ($p = .007$). Ursächlich für das **höhere Atemminutenvolumen im Stufenbelastungstest** ist die **stufenweise Adaptation** der **Atmung** an die **physikalische Leistung** und die **volle Ausschöpfung** der **aeroben** und **anaeroben Stoffwechselkapazität**. Im **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest** erfolgt **initial** die **Energiebereitstellung** über **energiereiche Phosphate**.

Nach 6 -10 Sekunden wird aufgrund der **hohen Belastungsintensität** und der **Kapillarokklusion** eine **anaerob-laktazide Energiegewinnung** erforderlich. Bereits nach 36 s Belastungszeit ist der mittlere VRQ der Gesamten Studie $> 1,0$, ohne das der aerobe Stoffwechsel erschöpfend beansprucht worden wäre. Der

Sofort-VRQ im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerterst liegt mit $1,24 \pm 1,2$ über dem Sofort-VRQ des Stufenbelastungstests mit $1,20 \pm 0,08$.

Die im **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerterst** eingegangene **Sauerstoffschuld** wird **in der Erholungsphase anhand des größeren AMVs** im Vergleich zum Stufenbelastungstest sichtbar. Während beim **Stufenbelastungstest** in der **3.** und in der **5. Erholungsminute** ein **AMV** von $53,5 \pm 13,4$ l BTPS und von $31,18 \pm 8,9$ l BTPS registriert werden, ergeben sich beim **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerterst** für die Erholungsphase **Atemminutenvolumina** von $68,8 \pm 17$ l BTPS und $42,8 \pm 11$ l BTPS. Im Mittelwertvergleich der Atemminutenvolumina ergeben sich sowohl für die **3.** wie auch für die **5. Erholungsminute statistisch höchst signifikante Differenzen** (3. Erholungsminute: $p < .001$, 5. Erholungsminute: $p < .001$) für einen erhöhten Atemmehraufwand infolge der Sauerstoffschuld nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerterst.

Nach der von NOWACKI N.S. 1998 und MOHAMMED 1999 eingeführten **Klassifizierung des maximalen Atemminutenvolumens in l BTPS** liegt das **Ergebnis des maximalen AMVs der Studie Alpiner Skilauf im gut trainierten Bereich.**

4.4 Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit

Die **maximale absolute Sauerstoffaufnahme** und die Verlaufskurve bis zum Erreichen derselben im Vita maxima-Bereich sind die entscheidenden Basismessgrößen der sportmedizinischen Funktionsdiagnostik.

Die sportmedizinische Literatur zur maximalen Sauerstoffaufnahme ist sehr umfangreich (ASTRAND 1952, KIRCHHOFF u. Mitarb. 1956, HOLLMANN 1959, 1963, 1990, ASTRAND, SALTIN 1961, ISRAEL 1968, KEUL, DOLL, KEPLER 1969, HOLLMANN u. Mitarb. 1971, NOWACKI u. Mitarb. 1971, KRAUSE 1971, NOWACKI 1977, NÖCKER 1980, BAR-OR 1996, NOWACKI N.S. 1998, MOHAMMED 1999).

Übereinstimmend gilt die **maximale Sauerstoffaufnahme** als eine entscheidende diagnostische Kenngröße, um die Leistungsfähigkeit von Lunge und Herzkreislauf beurteilen zu können. KRAUSE 1971 beschreibt bei Sportlern eine bis zu **100 % höhere maximale Sauerstoffaufnahme** im Vergleich zu untrainierten Normalpersonen und sieht für die **Größe der maximalen Sauerstoffaufnahme Zusammenhänge zur ausgeübten Sportart**. Die Überlegenheit der kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit von sportlich aktiven Jugendlichen ist in der Literatur öfter beschrieben (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 Fahrradergometrie erreicht.

HOLLMANN 1963 und NOWACKI 1973 beschrieben die **Abhängigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme** von **internen- und externen Faktoren**.

Zu den **externen Faktoren** werden **Alter, Geschlecht, Trainingszustand** und **-dauer** in Jahren, die **Trainingsquantität** und **-qualität**, die **Art der Trainingsbelastung** sowie **Umweltfaktoren** (Höhe über NN, Temperatur, Luftfeuchtigkeit) gezählt.

Zu den **internen Faktoren** gehören die **Ventilation**, die **alveolo-kapilläre O₂-Diffusion**, das **Herz-Zeit-Volumen** (HZV= Herzschlagvolumen * Herzfrequenz), die **O₂-Transportkapazität des Blutes** (Blutvolumen, Erythrozytenzahl, Totalhämoglobingehalt), die **periphere arterio-venöse Differenz**, die **arbeitende 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**“. Demgegenüber definiert NOWACKI 1977, 1987 die **maximale absolute und relative Sauerstoffaufnahme** als „**integralen Wert**“ der **aeroben u n d anaeroben Kapazität**.

Um unter Vita maxima-Bedingungen die maximale absolute Sauerstoffaufnahme zu ermitteln, wird jeder Proband in eine Sauerstoffschuld geraten und konsekutiv eine Azidose mit pH-Abfall und Laktatakkumulation bewirken. Nach LIESEN u. Mitarb. 1985 und NEUMANN 1990 kann man den **aeroben** und den **anaeroben Anteil** über die Laktatleistungskurve differenzieren. Hierzu wird der ägyptische Gastwissenschaftler ELGOHARI (Veröffentlichung 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, vorlegen.

Die **Sauerstoffaufnahme in Ruhe** liegt bei ca. **0,2 bis 0,3 l STPD * min⁻¹**, was unabhängig von der körperlichen Leistungsfähigkeit ist. Bezogen auf das Körpergewicht werden an **O₂** ca. **3 - 4 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** für den **Ruhestoffwechsel** benötigt. DRANSFELD 1975, HOLLMANN, HETTINGER 1980 registrierten bei **gesunden untrainierten Männern** maximale Sauerstoffaufnahmen zwischen **2,0 bis 3,0 l STPD * min⁻¹**. NOWACKI, KRAUSE, RITTER 1971 fanden bei **untrainierten normal gewichtigen Männern** maximale Sauerstoffaufnahmewerte zwischen **2,5 und 3,0 l STPD * min⁻¹**.

Nach NOWACKI 1973 spricht eine **maximale Sauerstoffaufnahme über 3,0 l STPD · min⁻¹** für eine **trainingsbedingte Adaptation**.

Durch ein gezieltes **Ausdauertraining** können maximale Sauerstoffaufnahmen über **4,0 l STPD · min⁻¹** erreicht werden. Bei hochleistungstrainierten Kraftausdauer-Sportlern können bis um **100 % höhere maximale Sauerstoffaufnahmen** registriert werden. NOWACKI 1977 beschrieb bei **Weltklasseruderern** des Ratzeburger Achters von 1972 Mittelwerte der maximalen Sauerstoffaufnahme von **6,7 ± 0,45 l STPD · min⁻¹**.

Die folgende Tabelle 12 zeigt nach NOWACKI 1977 **Beurteilungskriterien der maximalen absoluten Sauerstoffaufnahme** für 20 bis 40jährige Männer mit einem Durchschnittsgewicht von 75 kg.

Tab. 12: Beurteilungskriterien für die maximale absolute Sauerstoffaufnahme nach NOWACKI 1977

$\dot{V}O_2$ 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 $\dot{V}O_2$ l STPD · min⁻¹.

Bei **Frauen** findet sich eine **durchschnittliche 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. Nach Untersuchungen von NOWACKI, MEDAU 1992 bleiben höhere Werte zwischen **4,0 bis 5,0 l VO₂ STPD * min⁻¹** Spitzenathletinnen in den Kraftausdauer-Sportarten vorbehalten.

NOWACKI N.S. 1998 registrierte bei **Skilangläuferinnen ab dem 16. Lebensjahr** maximale Sauerstoffaufnahmen deutlich **über 3,0 l STPD * min⁻¹**, was ein hohes Leistungsniveau und die Anpassungen des kardiorespiratorischen Systems an ein mehrjähriges Ausdauertraining dokumentiert.

Während der **Pubeszenz** und der **Adoleszenz** verweisen HOLLMANN, BOUCHARD 1970 und NOWACKI N.S. 1998 auf eine **enge Korrelation** zwischen **biologischem Alter** und **maximaler Sauerstoffaufnahme**.

Die **absolute Sauerstoffaufnahme** (VO₂ l STPD * min⁻¹) der **Studie Alpiner Skilauf** beträgt **vor dem Stufenbelastungstest nach NOWACKI 1974 0,36 ± 0,14 l STPD * min⁻¹ sitzend auf dem Fahrradergometer**. Im **submaximalen Bereich** der 4. Belastungsminute ist die absolute O₂-Aufnahme auf **1,97 ± 0,48 l STPD * min⁻¹** angestiegen.

Bei der **erschöpfenden Ausbelastung der Alpinen Skisportler im Stufenbelastungstest** wurde für die **Gesamtgruppe** eine durchschnittliche **absolute maximale Sauerstoffaufnahme** von **4,1 ± 0,76 l STPD * min⁻¹** registriert. Die **größten Werte der mittleren absoluten Sauerstoffaufnahme** erreichen die **Berufsskilehrer mit 4,9 ± 0,6 l STPD * min⁻¹**.

Die **Maximalwerte** der Probandengruppen bewegen sich **zwischen einer VO₂max von 3,8 ± 0,4 l STPD * min⁻¹** bei den **Seniorenkisportlern** und dem Wert der **Berufsskilehrer mit 4,9 ± 0,6 l STPD * min⁻¹**.

Die **absolute Sauerstoffaufnahme** (VO₂ l STPD * min⁻¹) beträgt vor dem **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest** sitzend auf dem Fahrradergometer **0,5 ± 0,2 l STPD * min⁻¹**.

Mit dem Beginn der anaeroben Schnelligkeits- und Kraftausdauerleistung kommt es zu einem steilen, linearen Anstieg im Kurvenverlauf der absoluten Sauerstoffaufnahme. Deren **maximaler Wert** wird am Ende der einminütigen Belastungsphase mit **$3,9 \pm 0,9 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$** erreicht.

Im Vergleich zum Stufenbelastungstest ($4,5 \pm 0,7 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$) ergibt sich eine um **0,6 l geringere absolute Sauerstoffaufnahme am Belastungsende** des Anaeroben Schnelligkeitsausdauertests ($3,9 \pm 0,9 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$), die mit **$p < .001$ statistisch höchst signifikant erniedrigt ist.**

Unter Berücksichtigung der **5-Minuten-Sauerstoffschuld**, die als Sauerstoffmehrabbedarf im Vergleich zum O_2 -Bedarf unter Ruhebedingungen während der körperlichen Erholungsphase definiert ist, ergibt sich ein **höchstsignifikant ($p < .001$) größerer Wert zugunsten des Stufenbelastungstests**. Im Stufenbelastungstest wird eine **5-Minuten-Sauerstoffschuld von $7,5 \pm 1,9 \text{ l STPD}$** ermittelt. Im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest beträgt die Sauerstoff-Mehratmung in den 5 Erholungsminuten **$6,7 \text{ l} \pm 1,5 \text{ l STPD}$** .

Mit dem Ergebnis des Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstests bestätigen die **Ski-sportler** die im Stufenbelastungstest erzielten Leistungen. Auch im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest erreichen sie deutlich **höhere Werte** als der **Durchschnittswert 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 $2,5 - 3,0 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$.**

Legt man die von NOWACKI 1977 **postulierten Beurteilungskriterien** der maximalen absoluten Sauerstoffaufnahme zugrunde, so ergibt sich für die Studie **Alpiner Skilauf** ein durchschnittlich **gut trainiertes körperliches Leistungsvermögen**.

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 auch der intensiv betriebene Alpine Skilauf mit einer entsprechenden maximalen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2\text{max ml STPD} \cdot \text{min}^{-1}$) zu den positiven Adaptationen 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 bedeutsame Kenngröße, nach NOWACKI 1992 ist sie als „**integraler Wert**“ der **aeroben u n d anaeroben Kapazität** die wichtigste Kenngröße im modernen Hochleistungssport, wenn die zusammenfassende konditionelle Beurteilung eines Athleten nachgefragt wird.

Durch die Berechnung der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** fällt der Einfluss des Körpergewichtes als interindividuelle Variable weg und Unterschiede in der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit von AthletenInnen unterschiedlichen Körpergewichtes lassen sich eindeutiger darstellen (NOWACKI 1978). Zudem ergeben sich zwischen Kindern, Jugendlichen und untrainierten Männern und Frauen keine wesentlichen Unterschiede, so dass nach HOLL-MANN 1986 die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** auch ein hervorragender **Parameter für die Verlaufskontrolle und Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist**.

Laut NOWACKI N.S. 1998 wird demzufolge die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** in den USA zielgerichtet als bedeutende **diagnostische Kenngröße** für die **Talentsichtung und -förderung** erfasst. So konnte NOWACKI 1975 bei Untersuchungen von Schülern vereinzelt erhöhte Werte der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme von über $50 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ nachweisen, ohne dass diese im Vorfeld ein spezifisches Ausdauertraining durchlaufen haben. Somit unterstreicht NOWACKI 1975 die Bedeutung der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme als bedeutende diagnostische Kenngröße zur Talentsichtung.

Entsprechend der sportmedizinischen Literatur erreichen **Untrainierte relative maximale Sauerstoffaufnahmen von 30 – 40 ml STPD $\cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** . Alters-

und geschlechtsunabhängig beginnt der **trainierte Bereich oberhalb** einer maximalen relativen Sauerstoffaufnahme von **40 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹**.

Weltklasseathleten im **Hochleistungsausdauertrainingszustand** können maximale relative Sauerstoffaufnahmen **zwischen 80 und 90 ml STPD * min⁻¹ * kg⁻¹** (NOWACKI 1987) erzielen. Die Werte **ausdauertrainierter Frauen** liegen nach NOWACKI 1983 **ca. 15 - 20 % unter den Ergebnissen trainierter Männer**.

In Tabelle 13 sind die Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme nach NOWACKI 1987 dargestellt.

Tab. 13: Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme nach NOWACKI 1987

$\dot{V}O_2$, 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, P.E 1987 postulierten Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme und differenzierte die $\dot{V}O_2$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1} in 5 ml-Schritten geschlechtsspezifisch wie in Tabelle 14 dargestellt.

Tab. 14: Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1}) von Männern und Frauen als Kriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit nach NOWACKI N.S. 1998

MÄNNER	$\dot{V}O_2$ ml STPD * min^{-1} * kg^{-1}	FRAUEN
Weltklasse	81 – 92	„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, ASTRAND 1967 fanden bei schwedischen Skilangläufern Werte von $85,0 \text{ ml STPD} * \text{min}^{-1} * \text{kg}^{-1}$. Dieselben Autoren registrierten bei dem 1.500 m

Olympiasieger von Mexico-City (K. Keino) eine maximale relative VO_2 von $82,0 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

NOWACKI, KRAUSE, RITTER 1971 registrierten den **zu dieser Zeit höchsten in der internationalen Literatur mitgeteilten Wert** bei einem deutschen Skilangläufer mit einer relativen VO_2 von **über $90 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** .

Die Bedeutung der **labordiagnostisch** ermittelten **relativen maximalen Sauerstoffaufnahme** und ihre **enge Korrelation** zur **Ausdauerleistungsfähigkeit** wird auch durch die **sportlichen Ergebnisse** bei nationalen und internationalen Wettkämpfen **bestätigt**. NOWACKI, ALEFELD 1985 ermittelten bei einem 10.000 m Weltrekordläufer eine relative maximale VO_2 von **$82,8 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** und bei dem Bronzemedallengewinner im 5000 m Lauf bei den Olympischen Spielen 1984 in Los Angeles eine relative maximale Sauerstoffaufnahme von **$88,0 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** .

Die Mittelwerte der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) von Skisportlern erreichen bei der **erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Belastung nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode** zwischen **$47,4 \pm 7,3 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** bei den **Seniorenkisportlern** und **$67,3 \pm 6,1 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** bei den **Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes**.

Ausgehend von den **Vorstartbedingungen** mit einer mittleren relativen Sauerstoffaufnahme von **$4,8 \pm 1,7 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** steigen die Werte über den **submaximalen Bereich** bei **$26,5 \pm 4,5 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** unter **Vita maxima-Bedingungen** auf **$55,9 \pm 9,6 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** an.

Die Werte der in der vorliegenden Studie ermittelten **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** liegen **absolut** betrachtet im **befriedigend bis sehr gut trainierten Bereich**. Unter Berücksichtigung des Lebensalters der **Seniorenkisportler** ist deren maximale relative Sauerstoffaufnahme ebenfalls als **gut trainiert** einzustufen.

Für die **Korrelation** von **Körpergewicht** und **maximaler relativer Sauerstoffaufnahme** ergibt sich ein **negativer mittlerer Zusammenhang** mit $r = -.38$. Hinsichtlich des **Zusammenhanges** von **Körpergröße** und **maximaler relativer O₂-Aufnahme** wird für die Studie Alpiner Skilauf eine **geringe, negative Korrelation** mit $r = -.28$ berechnet.

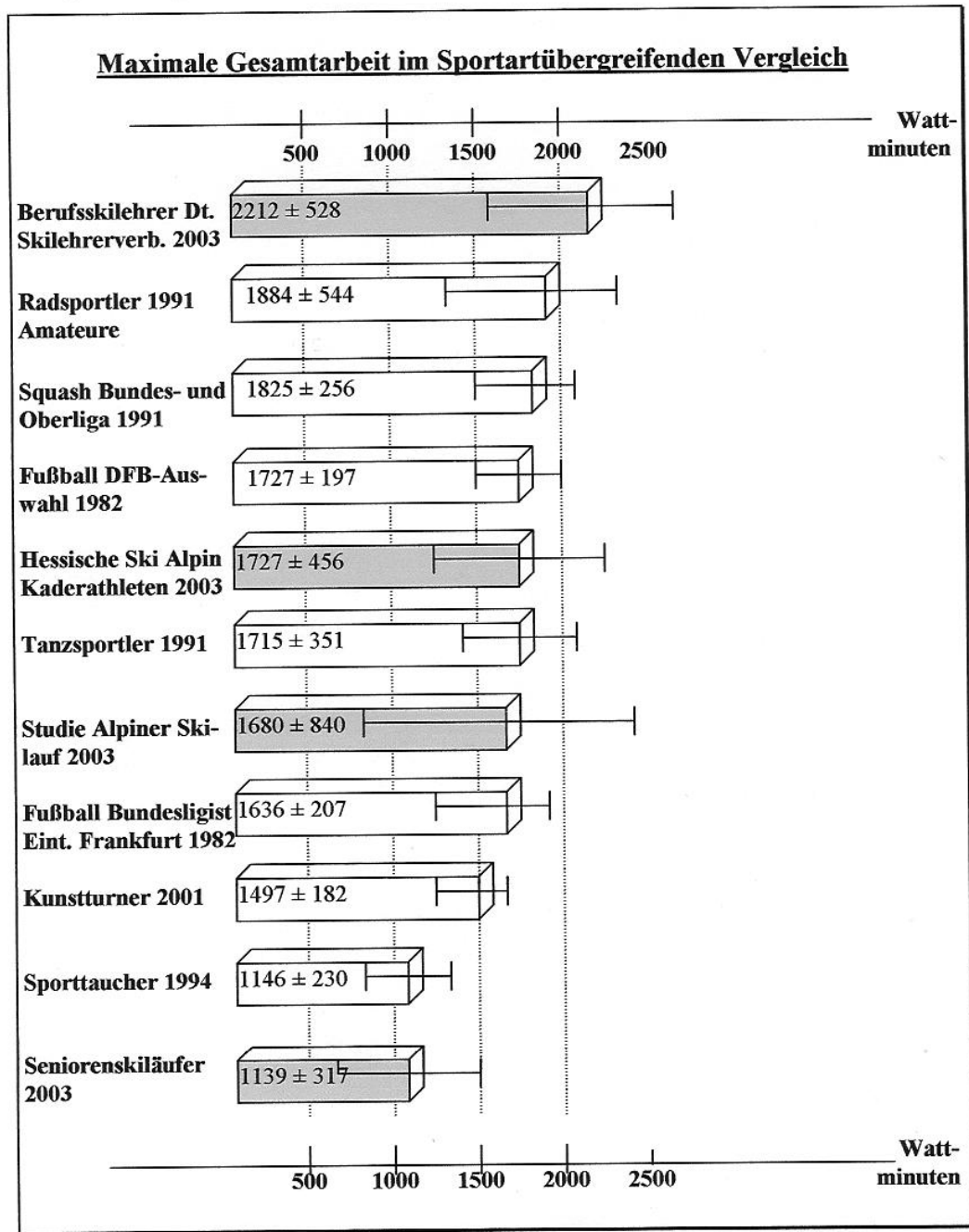
Die Mittelwerte der **relativen Sauerstoffaufnahme** ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) beim **Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984** steigen mit Beginn der Belastung im Kurvenverlauf steil an.

Nach 36 Sekunden kommt es zu einer Abflachung des Kurvenanstiegs bis zur mittleren maximalen relativen Sauerstoffaufnahme von $52,9 \pm 11 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Vergleicht man die im Stufenbelastungstest erzielte maximale relative Sauerstoffaufnahme von $55,9 \pm 9,6 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ mit dem im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest erzielten Ergebnis von $52,9 \pm 11,0 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, so ist diese Mittelwertsdifferenz **statistisch nicht signifikant**.

Die im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest erzielten Werte **der relativen Sauerstoffaufnahme** bestätigen die Ergebnisse des Stufenbelastungstests. Für die Größe des Zusammenhanges der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme in beiden Testverfahren lässt sich ein Pearsonscher Korrelationskoeffizient $r = .53$ berechnen. **Absolut** betrachtet ist eine maximale relative Sauerstoffaufnahme von $52,9 \pm 11 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ im **gut trainierten Bereich der Leistungsfähigkeit einzustufen**.

Beim Vergleich mit anderen Sportarten bestätigt der Wert der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme der Alpinen Skisportler mit $55,9 \pm 9,6 \text{ ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, dass auch die Athleten dieser Wintersportart mit den Ballspielen auf Bundesliganiveau mithalten können.

In Abbildung 46 ist die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** $\text{ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ von verschiedenen Sportarten bei erschöpfender Spiroergometrie mit dem 1 W/kg KG-Verfahren vergleichend dargestellt.



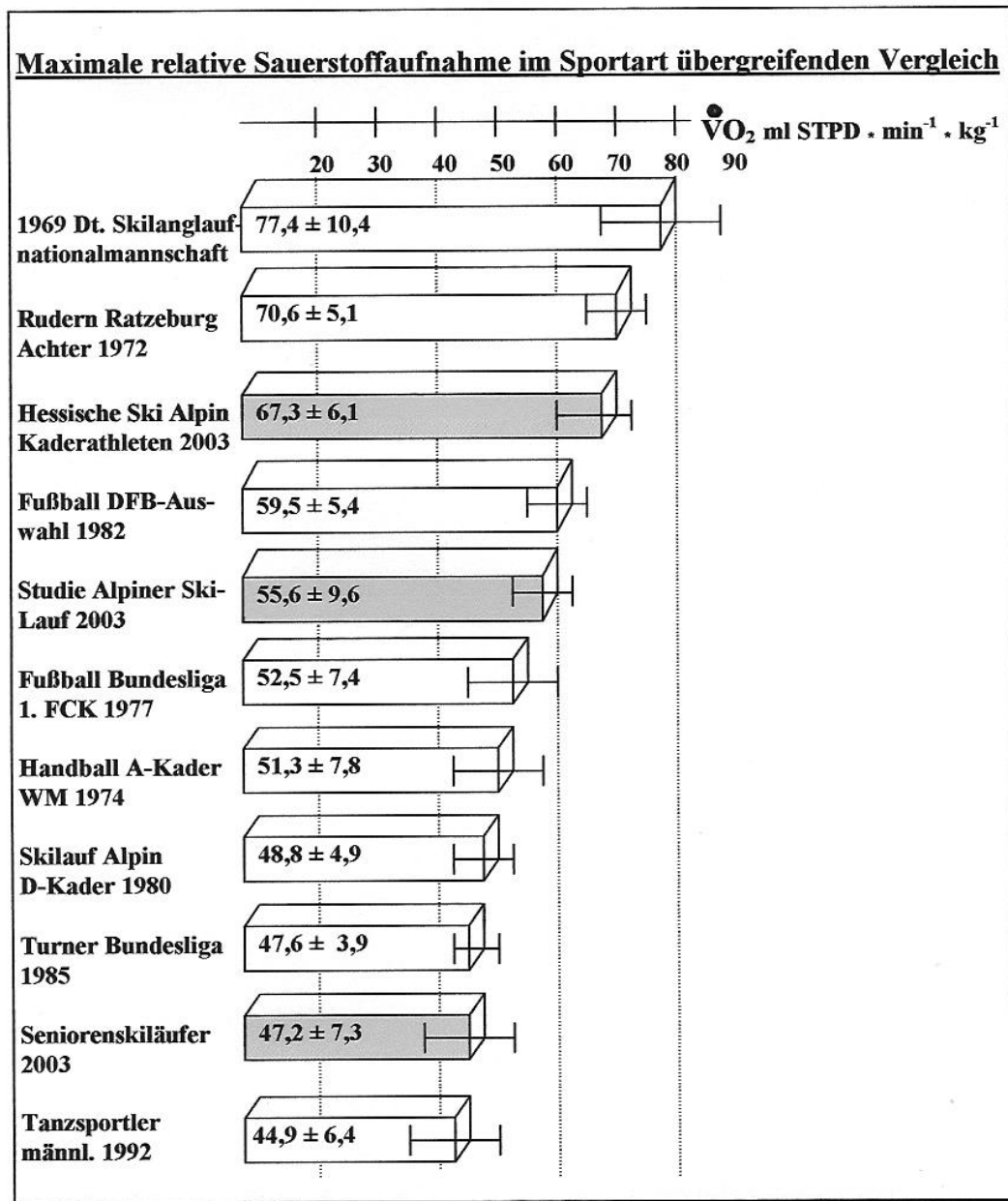


Abb. 46: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_2$ ml STPD \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹ verschiedener Sportarten bei erschöpfender Spiroergometrie mit dem 1 W/kg KG-Verfahren. Vergleichswerte nach NOWACKI 1988 und NOWACKI et al. 1990 zu den eigenen Untersuchungen von Alpinen Skiläufern.

Eine weitere **bedeutende Kenngröße** für die sportmedizinische Leistungsdiagnostik stellt der **Sauerstoffpuls** dar, worauf besonders REINDELL u. Mitarb. 1967, ISRAEL 1968 und NOWACKI 1973 hingewiesen haben. ASTRAND 1958 führte den Begriff des **Sauerstoffpulses** ein, wobei darunter **diejenige Menge Sauerstoff** verstanden wird, die **während einer Herzaktion in den Kreislauf aufgenommen werden kann**. **Einflussgrößen** auf den Sauerstoffpuls sind die **Größe des Schlagvolumens** und die **Größe der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz**. Der Sauerstoffpuls wird unter anderen von HOLLMANN 1965, ISRAEL 1968 und NÖCKER 1980 auch als **Gradmesser für die Ökonomie der Herzarbeit** beschrieben.

Der **Verlauf des Sauerstoffpulses** während einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung liefert nach REINDELL u. Mitarb. 1957, NÖCKER, BÖHLAU 1958, REINDELL, KLEPZIG, MUSSHOFF 1960 Hinweise darauf, inwieweit **der vermehrte Sauerstoffbedarf** über eine **ökonomische Steigerung des Herzschlagvolumens** oder aber über eine **unökonomische Steigerung der Herzschlagfrequenz** gesättigt wird. Nach REINDELL, KÖNIG, ROSKAMM 1967 ist der Anstieg des Sauerstoffpulses belastungsadaptiert bis zu einer **Herzfrequenz von 120 bis 150 * min⁻¹** durch eine **Erhöhung des Herzschlagvolumens** und eine **Zunahme der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz** charakterisiert. Nach NOWACKI 1977 bleibt das Schlagvolumen bei einem **Frequenzanstieg über 150 * min⁻¹ annähernd konstant**. Demzufolge sieht NOWACKI 1977 eine weitere Steigerung des Sauerstoffpulses als „**integrale Funktion aller Faktoren, die im Vita maxima-Bereich die Höhe der Sauerstoffaufnahme bestimmen**“.

Im **Entwicklungsgang** erfolgt bei untrainierten männlichen und weiblichen Versuchspersonen nach REINDELL u. Mitarb. 1967 **ein altersabhängiger Anstieg des Sauerstoffpulses**. **Präpuberal** liegen die Werte bei männlichen und weiblichen Schülern 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 **10,8 ml STPD * Hf⁻¹** für die männlichen und **8,9 ml STPD * Hf⁻¹** für die weiblichen Jugendlichen ermittelt. Die maximalen Sauerstoffpulswerte steigen bis zum Abschluss der **Adoleszenz** auf **16,1 ml STPD ***

Hf¹ bei Männern und **9,4 ml STPD * Hf¹** bei Frauen an. REINDELL u. Mitarb. 1967 registrierten 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**.

Dies entspricht den von NÖCKER, BÖHLAU 1958 erhobenen Studien, die während der Pubeszenz und der Adoleszenz bei beiden Geschlechtern einen signifikanten Anstieg der Sauerstoffpulswerte registrierten. Statistisch signifikante **geschlechtsspezifische Unterschiede** treten nach SCHÖLL 1995 ab dem **15. Lebensjahr** auf. ASTRAND 1952 und SCHÖLL 1995 sehen als Ursache für diese Entwicklung die überproportionale Zunahme der maximalen aeroben Kapazität und die Adaptationen an das Training mit Beginn der Pubertät bei männlichen Athleten.

ISRAEL 1968 betrachtet die hohen maximalen Sauerstoffpulswerte als Hinweis auf eine **ausgezeichnete Herz-Kreislauf-Ökonomie** im Zusammenhang mit einer **erhöhten peripheren Sauerstoffausnutzung** bei gleichzeitiger Zunahme des Herzschlag- und des Herzzeitvolumens. Dabei lässt sich der maximale Sauerstoffpulswert **durch ein gezieltes Ausdauertraining erheblich steigern**, was SCHÖLL 1995 bei 905 Sportlern und 286 Sportlerinnen in seiner eindrucksvollen Studie über die Abhängigkeit des submaximalen und maximalen Sauerstoffpulses vom Alter, dem Geschlecht, der Sportart und dem Trainingszustand nachweisen konnte.

Wie in der sportmedizinischen Literatur beschrieben, verfügen die leistungsfähigsten Sportler mit großer Regelmäßigkeit über 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. ISRAEL 1968 registrierte bei Weltklasse-Straßenradsrennfahrern maximale O₂-Pulse von 32 – 35 ml STPD * Hf¹. NOWACKI 1977 ermittelte bei **Weltklasseruderern** maximale Sauerstoffpulswerte von **40 ml STPD * Hf¹**.

Sowohl ISRAEL 1968 wie auch NOWACKI 1977 zeigten die enge Korrelation von **maximalem Sauerstoffpuls** und der **Ausbildung eines Sportherzens** auf.

ISRAEL 1968 wies Herzvolumina über 1.130 ml nach, NOWACKI 1977 beschrieb Sportherzen über 1.250 ml. NOWACKI N.S. 1998 registrierte bei SkilangläufernInnen maximale Sauerstoffpulse von $30,1 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$ bei den Männern und $20,2 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$ bei den Frauen, die doppelt so hoch waren wie die Werte gleichaltriger Untrainierter beiderlei Geschlechts von REINDELL u. Mitarb. 1967.

In der vorliegenden Studie Alpiner Skilauf steigt der **Sauerstoffpuls ($\text{VO}_2 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$)** beim **Stufenbelastungstest** ausgehend von den **Vorstartbedingungen** mit $4,3 \pm 1,8 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$ in den unteren Belastungsstufen über den **submaximalen Belastungsbereich** mit $14,8 \pm 3,8 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$ linear an, wobei sich mit den zunehmenden Belastungsstufen die Anstiegskurve abflacht. Der **durchschnittliche Maximalwert des Sauerstoffpulses** wird bei dieser erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Ausbelastung mit $25,2 \pm 2,7 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$ registriert, was einen gut bis sehr gut trainierten Trainingszustand widerspiegelt.

Während der **anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung** steigt der Kurvenverlauf flach an. Der **höchste mittlere Sauerstoffpuls** wird am Belastungsende nach 60 Sekunden mit $21,9 \pm 5,5 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$ erreicht. Am Ende der einminütigen anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung erreichen die **Seniorenskisportler** mit $26,7 \pm 9,7 \text{ ml STPD} \cdot \text{Hf}^{-1}$ den **größten Sauerstoffpuls**.

Die in der vorliegenden Studie ermittelten Ergebnisse des Sauerstoffpulses liegen über den von HOLLMANN, HECK 1971 erhobenen Ergebnissen an untrainierten männlichen Versuchspersonen. Die prinzipiellen Kurvenverläufe mit einem initial steileren Anstieg und nachfolgender Abflachung sind bei HOLLMANN, HECK 1971 und den vorliegenden Untersuchungen praktisch identisch. Nur das ausgeprägtere körperliche Leistungsvermögen der Alpinen Skisportler im Stufenbelastungstest bewegt den Kurvenanstieg des Sauerstoffpulses auf ein höheres Niveau.

Laut HECK 1990 weisen **durchschnittlich ausdauerleistungsfähige Männer** unter **dynamischer Vita maxima-Belastung** Werte zwischen **15 bis 20 ml STPD * Hf⁻¹** auf. NOWACKI 1977 fand bei untrainierten gesunden jungen Männern im Alter von 20 bis 40 Jahren mit **15 ± 1 ml STPD * Hf⁻¹** einen enger begrenzten Bereich für den maximalen O₂-Puls.

Die **kardiorespiratorischen Quotienten** verstärken die Beurteilung der biologischen Leistungsfähigkeit des Sportlers durch den Sportarzt und Trainer.

Das **Atemäquivalent (ÄÄ)** wird nach MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 als wesentliches **Kriterium** für die **Beurteilung der Belastungssituation des Sportlers** bei der spiroergometrischen Untersuchung herangezogen. Das ÄÄ gestattet gute Einblicke in die **Atmungsökonomie**, die **Belastbarkeit** und die **Erholungsfähigkeit des menschlichen Organismus**.

Das ÄÄ gibt an, wieviele **Milliliter Atemluft ml BTPS ventiliert werden müssen, um einen Milliliter Sauerstoff ml STPD aufzunehmen**. Je niedriger das Atemäquivalent ist, um so ökonomischer ist die Atemarbeit. NOWACKI 1979 beschreibt das Atemäquivalent in Abhängigkeit von der Morphologie des Atemapparates, dem Alter, dem Geschlecht und der Ventilationsökonomie der Versuchsperson.

Nach NOWACKI 1979 liegt der **Ruhewert des Atemäquivalentes bei 27 ± 2**. Mit Arbeitsbeginn fällt das Atemäquivalent zunächst auf einen Minimalwert ab (KRAUSE 1971). Bei geringer Belastungsintensität bleibt das Atemäquivalent ökonomisch, während ein progressiver Anstieg der Belastungsintensität zu einer Verschlechterung der Ventilationsökonomie und demzufolge zu einem Anstieg des ÄÄ führt. Laut KNIPPING, HOLLMANN 1964 erreicht das Atemäquivalent bei **Pulsfrequenzen von ca. 120 – 130 * min⁻¹ seine niedrigsten Werte**.

Mit zunehmend forcierter Arbeit steigt das Atemäquivalent an. HOLLMANN 1965 nennt als „**Kritischen Wert**“ ein Atemäquivalent von **25 bis 26**, ab dem das Atemminutenvolumen unproportional zur Sauerstoffaufnahme ansteigt.

Dies entspricht nach KRAUSE 1971 dem Wert, bei dem 75 % aller Untrainierten eine körperliche Belastung abbrechen müssen. Unter einer Vita maxima-Belastung nimmt die Atmungsökonomie rasch ab.

Wird nach NOWACKI 1979, HOLLMANN, HETTINGER 1980 je nach Alter, Geschlecht sowie Trainingszustand ein **Wert von 30 – 35** überschritten, befindet sich der Proband im **Grenzbereich** seiner **körperlichen Leistungsfähigkeit**. Bei ausdauertrainierten Sportlern können Werte von über 40 registriert werden.

Laut KRAUSE 1971 tolerieren **ausdauertrainierte** Athleten Atemäquivalente bis knapp **über 30** (Skilangläufer) problemlos. Beim Mexiko-Achter des Deutschen Ruderverbandes wurden vor seinem Olympiasieg 1968 unter Vita maxima-Belastung Atemäquivalente von 36 registriert (NOWACKI u. Mitarb. 1971).

Den **Maximalwert** und damit die schlechteste Ventilationsökonomie registriert man in der **Erholungsphase** nach Belastungsabbruch. Hinsichtlich einer **ausreichenden kardiorespiratorischen Erholungsfähigkeit** fordert KRAUSE 1971 für die **10-minütige Erholungszeit** nach erschöpfender Vita maxima-Belastung bei einem Hochleistungssportler **ein Atemäquivalent unter 40**.

Der von KNIPPING, MONCRIEFF 1932 eingeführte **kardiorespiratorische Quotient aus Atemminutenvolumen 1 BTPS/Absolute Sauerstoffaufnahme 1 STPD** ist bei unseren Probanden in der Vorstartphase erhöht. Der unter **Vorstartbedingungen** erhobene **Anfangswert** des Atemäquivalentes beim **Stufenbelastungstest mit dem 1 W/kg KG-Verfahren** von **35,4 ± 6,2** liegt **über** den Werten der unteren Belastungsstufen (1 W/kg KG: 25,4 ± 3,3; 2 W/kg KG 23,3 ± 3,3). Dies dokumentiert die Hyperventilation infolge der psychischen Erregung in der Vorstartphase (NOWACKI 1979). Für den **submaximalen Bereich** bei 2 W/kg KG ergibt sich mit **23,3 ± 3,3 die beste Ventilationsökonomie**. Unter zunehmender Belastung steigt das Atemäquivalent kontinuierlich bis auf **34,2 ± 3 unter Vita maxima-Bedingungen an**, wobei sich der **Kurvenverlauf abflacht**. Während der **ersten Erholungsminuten** wird die **Ventilation unökonomischer** und das Atemäquivalent erreicht in der **3. Erholungsminute** als **höchsten Wert 41,3 ± 6,1**.

In der 5. Erholungsminute wird noch ein AÄ von $40,0 \pm 6,0$ registriert, was in dem Bereich des von KRAUSE 1971 postulierten 10-minütigen AÄ-Erholungswerts liegt.

Der kardiorespiratorische Quotient aus Atemminutenvolumen \dot{V}_{E} dividiert durch die Sauerstoffaufnahme \dot{V}_{O_2} ist beim **Anaeroben Schnelligkeitsausdauertest** in der Vorstartphase mit 30 ± 6 leicht erhöht. Analog zum Stufenbelastungstest kommt es unter der leichten körperlichen Tätigkeit während der Einfahrphase zu einem Abfall des Atemäquivalentes auf $26,6 \pm 7$. Auch zu Beginn der anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistung fällt das Atemäquivalent weiter auf $25,7 \pm 6$.

Unter der forcierten Schnelligkeitsausdauerleistung steigt das Atemäquivalent nach 48 Sekunden auf einen Wert von $29,1 \pm 7$ an. Zu diesem Zeitpunkt ist das Atemäquivalent im Vergleich zur ökonomischen Atmung unter Einfahrbedingungen statistisch signifikant erhöht ($p = .040$). Mit dem Abbruch der Belastung nach 60 Sekunden wird ein AÄ von $30,6 \pm 6$ registriert, das sich bereits höchst signifikant ($p < .001$) von dem AÄ unter leichter körperlicher Arbeit unterscheidet. Nach NOWACKI 1979, HOLLMANN, HETTINGER 1980 und NICKEL 1992 befindet sich der Proband im **Grenzbereich** seiner **körperlichen Leistungsfähigkeit**.

Während der Erholungsphase verschlechtert sich die Atmungsökonomie bis auf ein AÄ von $37,2 \pm 5$ in der 3. Erholungsminute. Zur 5. Erholungsminute steigt das Atemäquivalent weiter auf $37,7 \pm 7$ an.

Auf der Grundlage der diskutierten Literatur ergibt sich für die Studie **Alpiner Skilauf** ein normales Verhalten des AÄ. Die unter Vita maxima-Bedingungen erzielten Werte des Atemäquivalentes erlauben Rückschlüsse auf ein suffizient durchgeführtes Ausdauertraining. Mit einem AÄ von $34,2 \pm 3$ im Stufenbelastungstest nach dem 1 W/kg KG – Verfahren und von $30,6 \pm 6$ im Anaeroben Schnelligkeitsausdauerleistungstest kann von einer **erschöpfenden Ausbelastung im Grenzbereich der körperlichen Leistungsfähigkeit** ausgegangen werden.

Die ermittelten **Atemäquivalente** liegen **höchst signifikant** ($p < .001$) über den von KRAUSE 1971 registrierten Werten von Untrainierten. Auch die kardiorespiratorische Erholungsfähigkeit kann nach bereits 5 Minuten mit einem AÄ von $40,0 \pm 6$ als **gut** beschrieben werden.

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

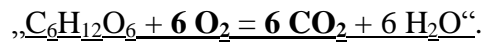
$$\text{Ventilations-Respiratorischer Quotient VRQ} = \frac{\text{CO}_2\text{-Ausscheidung cm}^3 \text{ STPD}}{\text{O}_2\text{-Aufnahme cm}^3 \text{ STPD}}$$

Der VRQ wird nach MELLEROWICZ, NOWACKI 1961, NOWACKI 1971, HOLLMANN, HETTINGER 1990, HECK 1990 als ein weiteres wichtiges **Kriterium** zur **Beurteilung des Ausbelastungsgrades** von Sportlern herangezogen. Er ist wie das Atemäquivalent eine dimensionslose Größe und hat **leistungsdiagnostische Bedeutung** für die Bestimmung des **aerob-anaeroben Überganges**.

In Abgrenzung zum „**Metabolisch-Respiratorischen-Quotienten (MRQ)**“, definiert als Quotient aus der Kohlendioxydproduktion und dem Sauerstoffverbrauch des Organismus, gibt der Zusatz „**Ventilation**“ an, dass der **VRQ nicht unter Grundumsatzbedingungen** gemessen wurde. Nach NOWACKI 1971 kann nur unter **Grundumsatzbedingungen, d.h. völlige Körperruhe, Nüchternheit, Indifferenztemperatur**, etc. davon ausgegangen werden, 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:

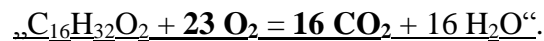
$$\text{Metabolisch-Respiratorischer Quotient MRQ} = \frac{\text{CO}_2\text{-Produktion cm}^3 \text{ STPD}}{\text{O}_2\text{-Verbrauch cm}^3 \text{ STPD}}$$

Je nach der Stoffwechselsituation und der vorherrschenden Substratverbrennung beträgt die Größe des VRQ unter **Grundumsatzbedingungen** zwischen **0,7 und 1,0**. Nach STEGEMANN 1984 ist das kalorische Äquivalent des Sauerstoffs keine konstante Größe, sondern hängt davon ab, welcher Nährstoff verbrannt wird. Bei der **Kohlenhydratverbrennung** ist das verbrauchte Volumen an Sauerstoff dem gewonnenen Volumen an Kohlendioxyd gleich:



Somit ergibt sich für den Quotienten aus CO₂/O₂ ein VRQ von 1,0.

Das **Fettmolekül** enthält jedoch weniger Sauerstoff als ein Kohlenhydratmolekül (Bsp.: Palmitinsäure C₁₆H₃₂O₂). Um das Fettmolekül vollständig zu Kohlendioxyd und Wasser verbrennen zu können, wird mehr Sauerstoff benötigt (siehe Palmitinsäure):



Somit übersteigt der Sauerstoffbedarf die Kohlendioxydabgabe und für den VRQ ergibt sich ein Wert von **0,7**.

Neben der **Kohlenhydrat-** und **Fettverbrennung** gibt es die **Eiweißverbrennung**, wobei neben **Kohlendioxyd** und **Wasser** noch **Harnstoff** entsteht. Für Eiweiße ergibt sich nach LANG, RANKE 1950 ein VRQ von **0,80**.

Unter Ruhebedingungen und bei Zufuhr normal gemischter Kost sind diese drei Nährstoffe zu unterschiedlichen Anteilen an der biologischen Verbrennung beteiligt. Folglich ergibt sich **in körperlicher Ruhe ein VRQ zwischen 0,8 und 0,9**.

Zu **Beginn einer körperlichen Belastung** kommt es nach KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 und NOWACKI 1965 zu einem typischen **Abfall des Ventilations-Respiratorischen-Quotienten**, da aufgrund der **erhöhten arterio-venösen Sauerstoffdifferenz** die **Sauerstoffaufnahme stärker ansteigt** als die **Kohlendioxydabgabe**. Der **Verlauf** des VRQ während einer spiroergometrischen Untersuchung erlaubt Rückschlüsse auf die **vorhandenen Leistungsreserven**. Mit Erreichen des **aerob-anaeroben Stoffwechselübergangs** steigt der Wert nach NOWACKI 1984 auf **0,94 bis 0,96** an.

KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 sowie NOWACKI 1965 interpretieren den **Anstieg des Ventilations-Respiratorischen-Quotienten** auf einen Wert von **1,0** als einen **leistungsbegrenzenden Faktor** unmittelbar vor dem Erschöpfungspunkt. Bei den Untersuchungen von KRAUSE 1971 (Ruderer, Skilangläufer, Handball- und Hockeyspieler) brachen 40 % aller Versuchspersonen bei einem VRQ von 1,00 bis 1,07 die Belastung ab. Die **Ausbelastungswerte des VRQ** liegen laut KIRCHHOFF u. Mitarb. 1956, MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 und NOWACKI 1977 je nach Trainingszustand **zwischen 1,0 und 1,25**.

Um eine **erschöpfende Vita maxima-Ausbelastung verifizieren** zu können, fordern MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 einen **VRQ = 1,0**.

KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 und MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 beschreiben für die ersten **Erholungsminuten** einen weiteren **Anstieg des VRQ-Kurvenverlaufs**, weil durch die sauren Stoffwechselprodukte, z.B. durch das Laktat, in der Erholungsphase aus den Bicarbonaten verstärkt CO₂ abgegeben und abgeatmet wird.

KRAUSE 1971 beschreibt an dem Einzelfallbeispiel eines zweifachen Ruder-Olympiasiegers den Belastungsabbruch bei einem VRQ von 1,15 mit steigendem Kurvenverlauf bis zum maximalen VRQ-Wert von 2,00 in der 3. Erholungsminute. Ursächlich für diesen Kurvenverlauf ist nach MELLEROWICZ, NOWACKI 1961 die relativ verminderte Sauerstoffaufnahme und die verstärkte Kohlensäureelimination in der Nachbelastungsphase. Demzufolge erreicht der VRQ erst nach längerer Zeit wieder seinen Ausgangswert.

In der vorliegenden Studie Alpiner Skilauf zeigt der VRQ in beiden fahrradspirometrischen Untersuchungsmethoden den in der Literatur beschriebenen Kurvenverlauf.

Während der ersten **submaximalen Belastungsstufen** beim **Stufenbelastungstest mit dem 1W/kg KG-Verfahren** fällt der VRQ zunächst auf einen **Minimalwert** von **0,82 ± 0,07** bei 1/W kg KG ab. Im **submaximalen Bereich** bei 2 W/kg KG steigt der VRQ auf **0,86 ± 0,08** an. Im Übergangsbereich zwischen 3 W/kg KG und 4 W/kg KG steigt der VRQ **von < 1,0 auf > 1,0 an**. Dies dokumentiert auch den Eintritt in den **anaerob-laktaziden Bereich** der Energiebereitstellung.

Am Ende der 6. Belastungsminute bei einer Belastungsstufe von 3 W/kg KG wird eine **mittlere Laktatkonzentration** von $4,3 \pm 1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ registriert.

Es folgt ein steiler linearer **Anstieg** des VRQ-Kurvenverlaufs bis auf $1,19 \pm 0,08$ bei Belastungsabbruch. Bis zu der **3. Erholungsminute** steigt der VRQ weiter auf seinen Maximalwert $1,23 \pm 0,08$ an.

Zu Beginn der forcierten **anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung** bleibt der VRQ bis zur 12. Sekunde konstant auf $0,92 \pm 0,10$. Ab der **36. Belastungsekunde** übersteigt der VRQ den Betrag von **1,00** und ist im Vergleich zu den Vorstartbedingungen statistisch **höchst signifikant $p < .001$ erhöht**.

Es folgt ein steiler linearer **Anstieg** des VRQ-Kurvenverlaufs bis auf $1,24 \pm 0,12$ gegen Ende der fahrradspiroergometrischen Belastung. Dieser Wert liegt **statistisch signifikant $p = .014$** über dem **Sofort-Wert** am Ende des Stufenbelastungstests.

In der **Erholungsphase** steigt der VRQ bis zu seinem Maximalwert in der **3. Erholungsminute** auf $1,35 \pm 0,10$, was **höchst signifikant $p < .001$** über dem **E3-VRQ** des **Stufenbelastungstests** liegt.

Für **beide Untersuchungsmethoden** kann mit einem **VRQ-Sofortwert** von $1,19 \pm 0,08$ (**Stufenbelastungstest**) bzw. $1,24 \pm 0,12$ (**Anaerober Schnelligkeitsausdauerstest**) eine **erschöpfende Vita maxima-Ausbelastung** attestiert werden. Aufgrund der Belastungsintensität beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest und der konsekutiv **anaerob-alaktaziden** und **anaerob-laktaziden** Stoffwechsellleistung ist die **Kohlendioxidabgabe überproportional zur Sauerstoffaufnahme erhöht**. Dies wird anhand der vorliegenden VRQ-Werte im Vergleich beider Testverfahren verifiziert.

Im Gegensatz zu KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956 sowie NOWACKI 1971 liegt ein **VRQ von 1,0 nicht unmittelbar vor dem Erschöpfungspunkt**. Vermutlich sind die Alpinen Skisportler **an anaerob-laktazide Muskelbeanspruchungen adaptiert** und tolerieren diese Bedingungen unter Sauerstoffschuld besser. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird **nach der 6-minütigen Belastung** ein durchschnittlicher Ventilations-Respiratorischer Quotient im Übergangsbereich $< 1,0 <$ registriert.

Die mittlere Belastungszeit der Studie Alpiner Skilauf liegt mit **8,6 ± 1,5 min** ca. **2,5 min über dem leistungsbegrenzenden VRQ von 1,0**. Damit werden tendenziell die Befunde bei Hochleistungsrudern, die sich mit ihrer großen anaeroben Kapazität 2 bis 4 Minuten über einen VRQ > 1,0 bei einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie-Methode für Ruderer (NOWACKI 1977, -Beginn bei 250 W, Steigerung alle 2 Minuten um 50 W, bis zu 450-500 W-) ausbelasten können, erreicht.

Auch die **Belastungs-Abbruch-Werte des VRQ** in beiden Testverfahren sprechen für eine **hohe anaerob-laktazide Stoffwechselkapazität mit Toleranz des pH-Abfalls und der Laktatazidose**.

4.5 Metabolische Leistungsfähigkeit

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

Hinsichtlich der **fahrradergometrischen Leistung im Sitzen** wird die **lokale Muskelausdauer** der unteren Extremitäten als ein leistungslimitierender Faktor angesehen. DONATH, ROSEL 1974 sowie WASMUND, NOWACKI 1978 beschreiben die **Fahrradergometerbelastung** unter Vita maxima-Bedingungen als **maximale körperliche und kardiozirkulatorische Beanspruchung**, die einen maximalen Krafteinsatz mit sehr hohem anaeroben Energieanteil erfordert.

Übereinstimmend führen HOLLMANN, LIESEN 1973, MADER u. Mitarb. 1976 sowie KEUL, KINDERMANN, SIMON 1978 **Unterschiede im Laktatverhalten** auf **qualitativ und quantitativ unterschiedliche Arbeits- und Belastungsformen** zurück. WASMUND, NOWACKI 1978 verweisen hinsichtlich der totalen Ausschöpfung der aeroben und anaeroben Kapazität auf die **Zusammenhänge von Intensität und Dauer der Belastung**. In diesem Zusammenhang konnte ZHAO 1995 bei sehr gut trainierten Athleten **signifikant höhere Laktatwerte** bei erschöpfender Ausbelastung mit **dem 1 W/kg KG-Verfahren** nach NOWACKI 1974 ($16,2 \pm 2,45 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) im Vergleich zu den anderen ergometrischen Belastungsverfahren von HOLLMANN u. Mitarb. ($14,5 \pm 2,67 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$), der BAL-Methode (Bundesausschuss für den Leistungssport, $14,5 \pm 2,86 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$), der KNIPPING-Methode ($14,5 \pm 2,69 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) und der $\frac{1}{2}$ W/kg KG-Methode ($15,5 \pm 3,14 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) nachweisen. Für HECK 1984 sind Laktatwerte nur bedingt zwischen den Untersuchungsverfahren übertragbar, da Einflüsse und Bedingungen bei Untersuchungen großen Schwankungen ausgesetzt sind.

HOLLMANN, LIESEN 1973 ermittelten bei **Trainierten signifikant höhere maximal erreichbare Laktatkonzentrationen** als bei Untrainierten. Sie nehmen als Ursache die **größeren Glykogenreserven** in der Funktionsmuskulatur beim Trainierten an.

Nach KEUL, DOLL, KEPPLER 1969 liefert die Höhe des Pyruvat- und Laktatgehaltes einen guten Anhaltspunkt für das Maß der glykolytischen Energiebereitstellung. Laktat und Pyruvat stehen als Endprodukte der anaeroben Glykolyse über die Laktatdehydrogenase im Gleichgewicht. Bei den Untersuchungen von HOLLOSZY 1967 war der Quotient Laktat/Pyruvat bei gleicher Belastungsstufe beim Trainierten niedriger als beim Untrainierten.

MADER u. Mitarb. 1976 definieren auf der Basis empirischer Beobachtungen den **Laktatwert von 4 mmol/l** als „**Aerob-Anaerobe Schwelle**“. Diese Autoren charakterisieren die **Aerob-Anaerobe Schwelle** hinsichtlich der **sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit** als **sensitiver** als die absolute maximale Sauerstoffaufnahme oder das Herzzeitvolumen.

Nach BACHL 1980, 1981 verläuft der **Anstieg der Laktatleistungskurve** bei Trainierten **flacher** und erreicht erst bei größerer körperlicher Anstrengung den Schwellenwert. Als **Trainingseffekt** wird die **Verschiebung der Laktatleistungskurve** nach **rechts** zu höheren Leistungen hin beschrieben. Bei gleicher Leistung nimmt nach NEUMANN, SCHÜLER 1989 als Hinweis auf die **gestiegene aerobe Leistungsfähigkeit** und stattgefundenen **Ökonomisierungsprozesse** die **Laktatkonzentration ab**.

Bei Anwendung unterschiedlicher Belastungsverfahren beschreiben LEHMANN, KEUL 1980 als Ausbelastungsgrenzwerte **Blutlaktatwerte von 7,5 mmol * l⁻¹**, KINDERMANN 1978 gibt mit **9,7 mmol * l⁻¹** höhere Werte vor.

MADER u. Mitarb. 1976 differenzieren **anhand der Blutlaktatwerte vier Ausbelastungsgrade**. Unterhalb von 4 mmol * l⁻¹ hat **keine Ausbelastung** stattgefunden. Zwischen 4 und 8 mmol * l⁻¹ wird ein **geringer**, zwischen 8 und 12 mmol * l⁻¹ ein **mittlerer** sowie oberhalb von 12 mmol * l⁻¹ ein **hoher** Ausbelastungsgrad beschrieben.

Diese Bereiche stimmen mit der **Klassifizierung einer Azidose** nach NOWACKI et al. 1988 überein. Von 2 bis 6 mmol * l⁻¹ Laktat liegt eine niedrige, von 6 bis 12 mmol * l⁻¹ eine mittlere und über 12 mmol * l⁻¹ eine hohe Azidose vor. Nach HECK 1990 sollten bei **stufenförmigen Belastungsschemata** im Ausbelastungsbereich **Laktatwerte von wenigstens 8 mmol * l⁻¹** erreicht werden.

HECK, SCHULZ 2002 differenzieren die **laktazide Leistungsfähigkeit**, begrenzt durch die maximale Glykolyserate, und die **laktazide Kapazität**, limitiert durch die maximal tolerierbare Azidose. Die maximale Laktatbildungsrate als Maß für die laktazide Leistungsfähigkeit kann nicht direkt gemessen werden. Nach MADER 1994 kann man die **laktazide Leistungsfähigkeit** bzw. die **maximale Laktatbildungsrate** abschätzen, 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. Für die Diagnostik der **laktaziden Kapazität** diskutieren HECK, SCHULZ 2002 die Messung der **Sauerstoffschuld**, die **Belastungsdauer** und das **maximale Nachbelastungslaktat**. Dabei sehen Sie den maximalen Nachbelastungswert als dienlichsten Parameter, der unter Berücksichtigung von Diffusions- und Eliminationsprozessen ein direkter Indikator für das im Muskel gebildete Laktat ist. Als Maximalwerte der laktaziden Kapazität beschreiben HECK, SCHULZ 2002 Blutlaktatwerte zwischen 15 bis 20 mmol * l⁻¹, wobei speziell trainierte Personen auch Werte bis zu 25 mmol * l⁻¹ erreichen können. Dies entspricht Muskelwerten von 30 bis 35 mmol/kg.

Die mittleren **Laktatwerte** der Studie Alpiner Skilauf liegen beim **Stufenbelastungstest** sofort nach **Belastungsabbruch** bei **14,9 ± 3 mmol * l⁻¹**. Entsprechend den von HECK 1990 postulierten „Beurteilungskriterien der Ausbelastung bei stufenförmigen Belastungsschemata“ kann mit der vorliegenden Laktatkonzentration objektiv eine erschöpfende Ausbelastung angenommen werden. In der **3. Erholungsminute** wurde ein durchschnittlicher **Maximalwert von 15,1 ± 2,8 mmol * l⁻¹** Laktat gemessen. Dieser Wert liegt auch in dem von ZHAO 1995 gefundenen maximalen Laktatbereich von **sehr gut trainierten Athleten** bei einer erschöpfenden fahrradergometrischen Ausbelastung im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode.

Entsprechend den von MADER u. Mitarb. 1976 formulierten Beurteilungskriterien kann somit auch für die Querschnittsstudie Alpiner Skilauf ein hoher Ausbelastungsgrad attestiert werden.

Während der **Anaeroben Belastungsphase** steigt die **Laktatleistungskurve** bis zum Ende der Belastung auf einen mittleren Sofortwert von $8,6 \pm 2,4 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1}$ **exponentiell** an. Dieser Betrag liegt unter dem Wert des Stufenbelastungstests von $14,9 \pm 3 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1}$ und die Mittelwertsdifferenz ist **statistisch höchst signifikant** ($p < .001$).

In der **3. Erholungsminute** wird eine mittlere Laktatkonzentration von $14,5 \pm 2,8 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1}$ registriert. Dieser Wert liegt unter dem vergleichbaren Wert des Stufenbelastungstests, wo in E3 der **Maximalwert mit $15,1 \pm 2,8 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1}$** Laktat gemessen wurde. Im weiteren Verlauf **steigt die Laktatleistungskurve** des Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstests bis auf $16,0 \pm 3,0 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1}$ in der 5. Erholungsminute an. Auch hier kann ein hoher Ausbelastungsgrad festgehalten werden.

Bei dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest kann für die **laktazide Leistungsfähigkeit** der Studie Alpiner Skilauf eine **maximale Laktatbildungsrate** von $0,30 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ geschätzt werden. Im Vergleich zu diesen Werten berechnen HECK, SCHULZ 2002 für Weltklasse - 400 m - Läufer und für internationale Spitzensprinter über 200 m sowie 100 m maximale mittlere Laktatbildungsraten von $0,54 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (400 m), $0,92 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (200 m) und $1,48 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (100 m).

Mit zunehmender Belastungsdauer sinkt die ermittelte Laktatbildungsrate, was HECK, SCHULZ 2002 auf die azidosebedingte Suppression der Phosphofruktokinase-Aktivität zurückführen. Demzufolge empfehlen sie für die Diagnostik der laktaziden Leistungsfähigkeit Belastungszeiten zwischen 10 s und 30 s.

Wird die anaerobe Belastung, wie bei unseren Versuchsbedingungen, über 30 s auf 60 s verlängert, würde nach Belastungsabbruch bei Annahme der von HECK, SCHULZ 2002 berechneten maximalen Laktatbildungsrate von $0,54 \text{ mmol} \cdot \Gamma^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ und abzüglich der laktatfreien Zeit (= alaktazide Energiebereitstellung, bei 60-

sekündiger Belastung ca. 10 Sekunden) nach den Schätzungen von MADER 1994 ein **maximaler Laktatwert von 27 mmol * l⁻¹ resultieren:**

$$(60 \text{ s Bela.-Zeit} - 10 \text{ s alaktazide Energiebereitstellungszeit}) * 0,54 \text{ mmol} * \text{l}^{-1} = \underline{\underline{27 \text{ mmol} * \text{l}^{-1}}}.$$

Der von uns angenommene Wert von $0,30 \text{ mmol} * \text{l}^{-1} * \text{s}^{-1}$ würde dagegen rechnerisch zu einem Laktatwert von $15,5 \text{ mmol} * \text{l}^{-1}$ führen. Damit erweist sich dieser neu definierte Wert für die maximale Laktatbildungsrate von $0,30 \text{ mmol} * \text{l}^{-1} * \text{s}^{-1}$ bei der erschöpfenden Vita maxima-Belastung von „**gut**“ bis „**sehr gut trainierten Athleten**“ für ein 60 Sekunden Zeitintervall als realistisch, da dieser theoretische Wert mit der von uns gemessenen maximalen Laktatkonzentration von $16,0 \pm 3 \text{ mmol} * \text{l}^{-1}$ **gut korreliert.**

5 Zusammenfassung

Die vorliegenden **experimentellen leistungsphysiologischen Untersuchungen** zur Ausarbeitung eines **sportmedizinischen Anforderungsprofils in der Sportart Alpiner Skilauf** basieren auf einer **Querschnittsuntersuchung mit 57 Sportlern verschiedenen Alters**, unterschiedlichen **skispezifischen Fertigniveaus** und **differenten Trainingszuständen**.

Die Gesamtgruppe der Alpinen Skiläufer wurde nochmals in die folgenden **6 Untergruppen aufgeteilt:**

- „QL“: Qualifikationslose Freizeitskiläufer
- „SLGS“: Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe
- „SLVB“: DSV- und Verbandsskilehrer
- „StSL“: Staatlich geprüfte Skilehrer und Ausbildungsteam der Berufsskilehrer des Deutschen Skilehrerverbandes
- „SSS“: Seniorenskiläufer
- „Kader“: Kaderathleten Ski Alpin des Hessischen Skiverbandes e.V.

Alle **Probanden (n= 57)** wurden unter **Vita maxima-Bedingungen** fahrradspiroergometrisch im Sitzen mit dem **1 W/kg KG-Verfahren** nach NOWACKI 1974, mit einem **Anaeroben Schnelligkeitsausdauer**test nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sowie mit einem **Skispezifischen Winkelsprungtest** erschöpfend ausbelastet.

Die **Ergebnisse** können wie folgt **zusammengefasst werden:**

Die **körperliche Leistungsfähigkeit** der Alpinen Skiläufer wird durch die folgenden **ergometrischen Beurteilungskriterien** objektiviert:

Belastungszeit (min)

Gesamtarbeit (Wattmin)

Absolute Wattstufe (W)

Relative Wattstufe ($W \cdot kg^{-1}$)

Die folgende Tabelle 15 vermittelt einen vergleichenden Überblick zwischen der Gesamtgruppe und den 6 Untergruppen.

Tab. 15: Maximalwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit der Alpinen Skiläufer und deren Untergruppen beim Stufenbelastungstest mit dem 1 W/kg KG-Verfahren nach NOWACKI 1974

Studie Alpiner Skilauf							
	- Untergruppen -						
	G. Studie (n = 57)	OL (n = 10)	SLGS (n = 13)	SLVB (n = 12)	StSL (n = 7)	SSS (n = 7)	Kader (n = 8)
Belastungszeit min	8,6 ± 1,5	8,5 ± 1,1	8,1 ± 1,0	9,4 ± 1,3	9,4 ± 1,2	6,7 ± 1,4	9,7 ± 0,8
Gesamtarbeit Wattmin	1680 ± 840	1636 ± 476	1540 ± 243	1871 ± 438	2212 ± 528	1139 ± 317	1727 ± 456
Absolute max. Wattstufe W	342 ± 69	332 ± 71	344 ± 41	355 ± 45	428 ± 73	281 ± 42	311 ± 79
Relative max. Wattstufe W · kg⁻¹	4,6 ± 0,8	4,6 ± 0,7	4,5 ± 0,8	4,9 ± 0,7	5,3 ± 0,8	3,6 ± 0,8	5,0 ± 0,5

Im **interdisziplinären Vergleich** der am Lehrstuhl für Sportmedizin an der JLU Gießen betreuten und untersuchten Athleten aus verschiedenen Sportarten sind die Ergebnisse **vergleichbar mit der körperlichen Leistungsfähigkeit** von:

Mannschaftsportarten wie Fußball, Handball, Eishockey und den **Rückschlagsportarten** Squash, Tennis und Tischtennis auf internationalem bzw. obersten **Bundesliganiveau**.

Die körperliche Leistungsfähigkeit der Athleten aus den **Kraftausdauersportarten** Rudern, Kanu und aus den **Ausdauerkraftsportarten** Skilanglauf, Straßensport und Triathlon auf nationalem Spitzenniveau **wird nicht erreicht**.

Im **Anaeroben Schnelligkeitsausdauer**test erzielten die Untergruppen der Alpinen Skiläufer und die gesamte Querschnittsstudie Alpiner Skilauf die in Tabelle 16 dargestellten Ergebnisse.

Tab. 16: Maximalwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit der Alpinen Skiläufer und deren Untergruppen beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauer test nach SZÖGY u. Mitarb. 1984

Studie Alpiner Skilauf							
- Untergruppen -							
	G. Studie (n= 57)	QL (n = 10)	SLGS (n = 13)	SLVB (n = 12)	StSL (n = 7)	SSS (n = 7)	Kader (n = 8)
Gesamtarbeit Wattmin	478 ± 57	480 ± 47	477 ± 35	488 ± 29	533 ± 32	434 ± 36	446 ± 111
Absolute max. Wattstufe W	478 ± 57	480 ± 47	477 ± 35	488 ± 29	533 ± 32	434 ± 36	446 ± 111
Relative max. Wattstufe W · kg⁻¹	6,5 ± 0,8	6,7 ± 0,5	6,2 ± 0,8	7,0 ± 0,6	6,6 ± 0,5	5,5 ± 0,6	7,1 ± 0,8

Zur Objektivierung der **skispezifischen Leistungsfähigkeit** wurden beim **Winkelsprungtest auf Kontaktzeitmatten** folgende **Beurteilungskriterien** erhoben:

Sprungzahl (* min⁻¹)

Sprungfrequenz (* s⁻¹)

Kontaktzeit (s)

Reaktivitätsindex (RI: Quotient Sprungzeit * s/Kontaktzeit * s⁻¹)

Beim **Skispezifischen Winkelsprungtest** wurden für die vorliegende Querschnittsstudie Alpiner Skilauf und für die Untergruppen die in Tabelle 17 dargestellten Ergebnisse ermittelt.

Tab. 17: Maximalwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit der Alpinen Skiläufer und deren Untergruppen beim Skispezifischen Winkelsprungtest

Studie Alpiner Skilauf							
	G. Studie (n = 57)	QL (n = 10)	- Untergruppen -		StSL (n = 7)	SSS (n = 7)	Kader (n = 8)
			SLGS (n = 13)	SLVB (n = 12)			
Sprungzahl · min ⁻¹	130 ± 25	121 ± 18	138 ± 17	141 ± 17	168 ± 16	95 ± 14	136 ± 16
Sprungfreq. · s ⁻¹	2,2 ± 0,4	2,0 ± 0,3	2,3 ± 0,3	2,3 ± 0,3	2,7 ± 0,3	1,6 ± 0,2	2,3 ± 0,3
Kontaktzeit s	0,22 ± 0,09	0,22 ± 0,04	0,19 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,37 ± 0,13	0,19 ± 0,03
Reaktivitäts- index	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,3	2,1 0,2	2,6 ± 0,3	1,8 ± 0,5	2,2 ± 0,5

In dem **10 s-Zeitintervall** zwischen der **30. s** und der **40. s** ist die **Kontaktzeit statistisch signifikant verlängert**, **zeitgleich** kommt es zu einem **Sprungfrequenzabfall**, der **statistisch nicht signifikant** ist.

Im Anaeroben Schnellkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 fällt die absolute und relative maximale Wattstufe **zwischen der 30. s und der 40. s** unter den durchschnittlichen 1-Minutenwert von 478 ± 57 W bzw. $6,4 \pm 0,8$ W · kg⁻¹ ab. **Statistisch ist dieser Leistungsabfall ab der 30. Sekunde im Vergleich zur erbrachten maximalen Schnellkraftleistung** in dem ersten 10 s – Intervall **höchst signifikant (p < .001)**.

Unter **Berücksichtigung dieser Ergebnisse** sollte ein **Techniktraining** zum Erlernen sportartspezifischer Fertigkeiten in den Schnellkeits- und Kraftausdauerarten, speziell im Alpinen Skilauf, **30 s-Belastungsintervalle nicht überschreiten**.

Lediglich in Ausnahmefällen wie bei provozierte Ermüdung und bei bereits automatisierten sowie variabel verfügbaren Fertigkeiten und im Rahmen des Wettkampftrainings können die Belastungsintervalle länger gestaltet werden.

Die mit der erschöpfenden Fahrradergometrie nach der **1 W/kg KG-Methode** ermittelten Parameter der **körperlichen Leistungsfähigkeit** der Alpinen Skiläufer (Gesamtgruppe n= 57) **korrelieren hochsignifikant** mit den Ergebnissen des **Anaeroben Schnelligkeitsausdauertests:**

Maximale absolute Wattstufe (W) **r = .74, p < .001;**

Gesamtarbeit (Wattmin) **r = .66, p < .001;**

Maximale relative Wattstufe (W * kg⁻¹): **r = .63, p < .001.**

Für die **körperliche Leistungsfähigkeit** ermittelt nach der **1 W/kg KG-Methode** und für die im **Winkelsprungtest** erzielte **skispezifische Leistungsfähigkeit** ergeben sich **hochsignifikante Korrelationen** zwischen den ergometrischen Messgrößen **Gesamtarbeit (Wattmin)**, **maximale absolute Wattstufe (W)**, **maximale relative Wattstufe (W * kg⁻¹)** und **Belastungszeit (min)** und den mit Kontaktzeitmatten erhobenen Messgrößen **Gesamtsprungzahl (min⁻¹)**, **Sprungfrequenz (s⁻¹)**, **Kontaktzeit (s)** und **Reaktivitätsindex (RI)**.

Die **kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit** der Alpinen Skiläufer kann zusammenfassend wie folgt in Tabelle 18 charakterisiert werden.

Tab. 18: Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit der Studie Alpinen Skilauf und deren Untergruppen.

HERZ-FREQUENZ	Studie Alpinen Skilauf						
	- Untergruppen -						
	Gesamte Studie (n= 57)	QL (n = 10)	SLGS (n = 13)	SLVB (n = 12)	StSL (n = 7)	SSS (n = 7)	Kader (n = 8)
Hf Vorstart · min ⁻¹	85 ± 18	92 ± 20	89 ± 19	85 ± 23	76 ± 9	70 ± 6	88 ± 8
Hf submaximal 1W/kg KG- Verfahren · min ⁻¹	134 ± 16	138 ± 16	140 ± 16	133 ± 19	130 ± 19	121 ± 8	134 ± 10
max Hf 1W/kg KG- Verfahren · min ⁻¹	182 ± 16	183 ± 11	184 ± 9	189 ± 15	183 ± 9	151 ± 14	190 ± 11
max Hf Anaerober Schnelligkeits- Ausdauer-test · min ⁻¹	178 ± 11	182 ± 9	184 ± 9	184 ± 8	177 ± 7	159 ± 10	184 ± 9
max Hf Skispezifischer Winkelsprung- test · min ⁻¹	174 ± 15	174 ± 12	180 ± 13	179 ± 9	175 ± 11	152 ± 9	182 ± 12

In der Nachbelastungsphase aller 3 Testverfahren kann die **kardiozirkulatorische Erholungsfähigkeit** nach NOWACKI 1987 als „gut“ bezeichnet werden.

Bei der **Blutdruckmessung** vor, während und nach der Belastung wurden bei den Alpinen Skiläufern **normotone Werte gemessen**.

Die **respiratorische Leistungsfähigkeit** der Alpinen Skiläufer liegt im Bereich „gut trainierter“ Sportler.

In der Tabelle 19 wurden die respiratorischen Parameter vergleichend dargestellt.

Tab. 19: Respiratorische Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und deren Untergruppen.

Ventilationsgrößen	Studie Alpiner Skilauf						
	- Untergruppen -						
	Gesamte Studie (n= 57)	QL (n = 10)	SLGS (n = 13)	SLVB (n = 12)	StSL (n = 7)	SSS (n = 7)	Kader (n = 8)
AMV max I 1 W/kg KG- Verfahren	135,0 ± 28,0	133,7 ± 31,7	131,3 ± 30,1	130,6 ± 23,9	170,6 ± 14,0	127,0 ± 20,2	125,2 ± 23,8
AMV max I Anaerober Schnelligkeits- ausdauerstest	120,5 ± 27,9	133,6 ± 37,1	113,6 ± 17,5	110,5 ± 16,8	132,3 ± 20,1	133,4 ± 38,1	108,4 ± 31,8
AF · min ⁻¹ 1 W/kg KG- Verfahren	43 ± 10	46 ± 6	37 ± 11	45 ± 10	50 ± 8	34 ± 10	45 ± 9
AF · min ⁻¹ Anaerober Schnelligkeits- ausdauerstest	46 ± 10	50 ± 7	46 ± 10	46 ± 10	48 ± 9	40 ± 11	46 ± 6
AZV I 1 W/kg KG- Verfahren	3,3 ± 0,6	2,9 ± 0,6	3,5 ± 0,5	3,0 ± 0,5	3,4 ± 0,5	3,9 ± 0,8	2,8 ± 0,6
AZV I Anaerober Schnelligkeits- Ausdauerstest	2,7 ± 0,7	2,6 ± 0,6	2,5 ± 0,4	2,5 ± 0,5	2,8 ± 0,7	3,5 ± 1,0	2,4 ± 0,6

Die folgenden Kenngrößen der **kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit** bestätigen die **gut trainierten konditionellen Voraussetzungen** der **Alpinen Skiläufer** wie in Tabelle 20 dargestellt.

Tab. 20: Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und deren Untergruppen

Maximale biologische Leistungsdaten	Studie Alpiner Skilauf						
	- Untergruppen -						
	Gesamte Studie (n= 57)	QL (n = 10)	SLGS (n = 13)	SLVB (n = 12)	StSL (n = 7)	SSS (n = 7)	Kader (n = 8)
$\dot{V}O_2\text{max l}_{\text{STPD}} \cdot \text{min}^{-1}$	4,12 ± 0,76	3,93 ± 1,19	4,13 ± 0,45	3,98 ± 0,58	4,86 ± 0,62	3,77 ± 0,39	4,18 ± 0,82
$\dot{V}O_2\text{max ml}_{\text{STPD}} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	55,6 ± 9,6	53,8 ± 13,1	52,8 ± 6,2	56,6 ± 8,3	60,0 ± 6,0	47,2 ± 7,3	67,3 ± 6,1
$\dot{V}O_2\text{max ml}_{\text{STPD}} \cdot \text{Hf}^{-1}$	25,2 ± 2,7	21,3 ± 6,3	22,6 ± 2,6	20,8 ± 2,8	26,6 ± 3,0	25,1 ± 3,0	22,1 ± 4,8
max. AÄ am Erschöpfungspunkt	34,2 ± 3,0	33,9 ± 3,9	31,3 ± 4,7	33,3 ± 3,7	34,0 ± 5,9	35,4 ± 4,4	33,5 ± 8,4
max. VRQ am Erschöpfungspunkt	1,20 ± 0,08	1,22 ± 0,10	1,18 ± 0,11	1,19 ± 0,10	1,23 ± 0,10	1,16 ± 0,09	1,21 ± 0,11
max. VRQ in der Erholungszeit	1,35 ± 0,08	1,38 ± 0,09	1,30 ± 0,10	1,30 ± 0,10	1,40 ± 0,09	1,40 ± 0,10	1,30 ± 0,09

Die **absolute maximale Sauerstoffaufnahme** ($\text{l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$) ist bei den **Berufsskilehrern** mit $4,86 \pm 0,62 \text{ l STPD} \cdot \text{min}^{-1}$ als **integraler Wert** der **aeroben und anaeroben Kapazität** am höchsten.

Die **respiratorische und die kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit** der gesamten Studie Alpiner Skilauf liegt **statistisch hochsignifikant** ($p < .001$) über der Leistungsfähigkeit **untrainierter Männer zwischen dem 25. und 40. Lebensjahr** und erlaubt Rückschlüsse auf eine „gut trainierte körperliche Leistungsfähigkeit“.

Die **metabolische Leistungsfähigkeit** der gesamten Studie Alpiner Skilauf und der Untergruppen liegt **im Bereich einer hohen Azidose** ($= 12 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ Laktat in den fahrradspiroergometrischen Testverfahren) und bestätigt die **große anaerobe Kapazität dieser Sportler** (siehe Tabelle 21).

Tab. 21: Metabolische Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und der Untergruppen

Laktatwerte	Studie Alpiner Skilauf						
	Gesamte Studie (n= 57)	- Untergruppen -					
QL (n = 10)		SLGS (n = 13)	SLVB (n = 12)	StSL (n = 7)	SSS (n = 7)	Kader (n = 8)	
max. Laktatwert $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ 1 W/kg KG-Verfahren	15,1 $\pm 2,8$	14,7 $\pm 2,2$	15,3 $\pm 2,4$	16,2 $\pm 2,3$	17,0 $\pm 2,9$	12,9 $\pm 2,9$	13,9 $\pm 3,3$
max. Laktatwert $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ Anaerober Schnelligkeitsausdauer-test	16,0 $\pm 3,0$	15,7 $\pm 1,8$	17,4 $\pm 1,5$	16,9 $\pm 2,9$	17,2 $\pm 1,8$	11,8 $\pm 4,4$	15,1 $\pm 2,6$
max. Laktatwert $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ Skispezifischer Winkelsprung-test	7,7 $\pm 3,2$	8,0 $\pm 4,4$	8,2 $\pm 3,5$	6,3 $\pm 1,1$	10,4 $\pm 3,6$	7,3 $\pm 2,8$	6,7 $\pm 2,6$

Mit der vorliegenden **Studie Alpiner Skilauf** wird bestätigt, dass die **Skisportler als Gesamtgruppe** (n= 57) auf der Basis ihrer körperlichen, kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und metabolischen Leistungsfähigkeit nach den Beurteilungskriterien des erschöpfenden fahrradspiroergometrischen 1 W/kg KG-Verfahrens als „gut“ bis „sehr gut trainiert“ **beurteilt** werden können.

Weitere Differenzierungen zwischen den skisportspezifischen Leistungsgruppen, aber auch in Abhängigkeit vom Alter, sind unter Einbeziehung des Anaeroben Schnelligkeitsausdauerests und des Skispezifischen Winkelsprungtests mit einer großen Sicherheit möglich.

Die beschriebenen 3 Testmethoden im Sportmedizinischen Labor erlauben eine exakte leistungsdiagnostische und relativ sichere Wettkampfprognose für den Alpen Skisportler.

6 Literaturverzeichnis

ADAM, K., H. LENK, P.E. NOWACKI, M. RULFFS, W. SCHRÖDER

Rudertraining.

Limpert, Bad Homburg 1977

AMANN, E., K. ZIPF

Sportanthropologische Untersuchungen der weltbesten männlichen alpinen Skirennläufer. In: GENTZ (HG.), Leistung als Prinzip.

Festschrift für Berno Wischmann, Mainz 1975, 41–54.

APPEL, B.

Das adipöse Kind im Sportunterricht – Experimentelle sportmedizinische und theoretisch-sportdidaktische Aspekte

Wiss. Examensarbeit (Sportmedizin/Sportdidaktik) Justus Liebig-Universität, Gießen 1996.

APPELL, H. J., G. P. BRÜGGEMANN

Brennpunkte der Sportwissenschaft, Erfassen und Messen sportlicher Leistung

Deutsche Sporthochschule Köln, 6, 1992.

APPENZELLER, O.

Sports Medicine.

Urban & Schwarzenberg, Baltimore-München 1988.

ASMUSSEN, E., KR. HEEBÖLL-NIELSEN

A dimensional analysis of physical performance and growth in boys.

J. Appl. Physiol. 7, 1955, 593-603.

ASTRAND, P. O.

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

Munksgaard, Kopenhagen 1952.

ASTRAND, P. O.

Sport, Alter und Geschlecht. Sportmed. Schriftenreihe.

Wander, Heft 5, Bern 1958.

ASTRAND, P. O.

Progress in Ergometry. In: MELLEROWICZ, H., G. HANSEN (HG.): Kongressbericht I. Internationales Seminar für Ergometrie.

Ergon, Berlin 1965, 5-14.

ASTRAND, P. O., I. ASTRAND

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

J. appl. Physiol., 13, 1958, 75.

ASTRAND, P. O., B. SALTIN

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

J. Appl. Physiol. 16, 1961, 977-981.

ASTRAND, P.O., K. RODAHL

Textbook of Work Physiology

McGraw-Hill, New York, 1. Auflage, 1970.

McGraw-Hill, New York, 2. Auflage, 1977.

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

Die Beurteilung des Sporthertzens im Wandel der Zeiten.
Medwelt 39, 1988, 13-23.

BACHL, N.

Über Einflüsse auf den Laktatabbau. In: NOWACKI, P.E., D. BÖHMER (HG.): Sportmedizin – Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit. Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongress, Bad Nauheim 1978.
Thieme, Stuttgart New York 1980, 461-598.

BACHL, N.

Möglichkeiten zur Bestimmung individueller Ausdauerleistungsgrenzen anhand spiroergometrischer Parameter.
Österr. J. Sportmed. 11, 1981, Supplement Nr.1.

BACHL, N.

Der aerob-anaerobe Übergang – eine leistungsphysiologische Standortbestimmung.
Österr. J. Sportmed. 14, 1984, 4-13.

BACHL, N.

Grundlagen der Belastungsuntersuchung und Leistungsbeurteilung. In: AIGNER, A. (HG.): Sportmedizin in der Praxis.
Brüder Hollinek, Wien 1985, 461-597.

BACHL, N.

Leistungsdiagnostik im Kindes- und Jugendalter. In: PROKOP, L. (HG.): Kinder-Sportmedizin.
Fischer, Stuttgart 1986, 95-126.

BADTKE, G.

Sportmedizinische Grundlagen.
Harri Deutsch, Thun-Frankfurt/M., 2. Auflage, 1989.

BADTKE, G. (HG.)

Lehrbuch der Sportmedizin.
Johann Ambrosius Barth, Heidelberg-Leipzig, 3. Auflage, 1995.

BAR-OR, O.

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

BAR-OR, O. (Ed)

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

BARTELS, H.

Der Gasstoffwechsel (Atmung).
In: KEIDEL, W. D. (HG.): Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie.
Thieme, Stuttgart, 2. Auflage, 1970, 39-72.
Thieme, Stuttgart, 3. Auflage, 1973, 42-75.

BARTELS, H., E. BÜCHERL, C. W. HERTZ, G. RODEWALD, M. SCHWAB

Lungenfunktionsprüfungen
Springer, Berlin Heidelberg, 1958.

BASTIAN, M., M. KUNZE, R. SATTLER

Trainingsbedingte Anpassungsreaktion des kardiopulmonalen Systems bei jugendlichen Box-sportlern.

Med. u. Sport, 18, 1972, 189-192.

BAUER, F.

Datenanalyse mit SPSS

Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio 1984.

BAUER, U.

Koordinative Komponenten in der Schwungsteuerung bei DSV-Skilehrern, DSV-Landesausbildern und DSV-Bundesausbildern.

Diplomarbeit Deutsche Sporthochschule, Köln 1990.

BAUM, K., S.HOY, A. LAGES, D. LEYK, D. ESSFELD

Ein sportartspezifischer Leistungstest für Slalom.

Kurzreferat Deutsche Sporthochschule, Köln 1996.

BERGH, U., A. FORSBERG

Skilanglauf. In: SHEPHARD, R. J., P. O. ASTRAND (HG.): Ausdauer im Sport.

Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1993, 549-560.

BLUME, D.-D.

Zur Stellung des sportmotorischen Tests im System der Kontrollmethoden im Sport. In: BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT (HG.): Leistungssport: Herausforderung für die Sportwissenschaft, 72, 1989, 130-138.

BOSCO, C.

Ergo Jump, Manuale operativo.

Globus 1991.

BOSCO, C., P. LUTHANEN, P.V. KOMI

A simple method for measurement of mechanical power in jumping,

European Journal Appl. Physiologie, 50, 1983, 273-282.

BOUCHARD, C., M.-CHR. THIBAUT

Jugend und Sport. In: HOLLMANN, W. (HG.): Zentrale Themen der Sportmedizin.

Springer, Berlin Heidelberg New York, 2. Auflage, 1977, 206-220.

BRAUER, B., W. WOLF

Einführung in die Spirographie und Ergometrie.

Beitr. z. Klin. d. Tuberkulose 94, 1940, 504-519.

BRAUMANN, K. -M., M. BUSSE, N. MAASEN

Zur Interpretation von Laktat-Leistungskurven.

Leistungssport, 4, 1987, 35 - 38.

BRINGMANN, W.

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

Med. u. Sport 20, 1980, 104-113.

BUENO, M.

Die anaerobe Schwelle - Von der Euphorie zur Vertrauenskrise.

Leistungssport, 1, 1990, 13-16.

BÜHL, A., P. ZÖFEL

SPSS für Windows Version 6 - Praxisorientierte Einführung in die moderne Datenanalyse.
Addison-Wesley, Bonn 1994.

BURGER, H. J.

Kardio-respiratorische und metabolische Belastbarkeit von Tanzsportlern unterschiedlicher Startklassen bei allgemeiner und sportartspezifischer Ergometrie und Leistungsdiagnostik.
Inaugural-Dissertation (Dr. phil.) Justus-Liebig-Universität, Gießen 1991.

BURGER, H. J., P. E. NOWACKI

Physiologische und biomechanische Reaktionen bei sportartspezifischer Belastung von Tanzpaaren der hessischen Hauptklassen D-S. In: RIECKERT, H. (HG.): Sportmedizin-Kursbestimmung, Kongressband 30. Deutscher Sportärztekongress, Kiel 1986
Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo 1987, 573-578.

BURGER, H. J., P. E. NOWACKI, C. BUHL, P. SCHNORR

Kardiorespiratorische und metabolische Belastbarkeit von Tanzsportlern unterschiedlicher Startklassen bei allgemeiner und sportartspezifischer Spiroergometrie. In: BÖNING, D., K. M. BRAUMANN, M. W. BUSSE, N. MAASSEN, W. SCHMIDT (HG.): Sport - Rettung oder Risiko für die Gesundheit?
Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1989, 499-502.

BURMEISTER, W., J. RUTZENFRANZ, W. SRESNY, H. G. RADNY

Body cell mass and physical performance capacity (W170) of school children.
Int. Z. angew. Physiol. 31, 1972, 60-70.

CAI, D. Y., P. E. NOWACKI, S. SCHÜLKE

Vergleichende Untersuchungen über den Wert der sportartspezifischen Leistungsdiagnostik im Feldtest und im Labor bei Skilangläufern der Deutschen Spitzenklasse. In : RIECKERT (HG.): Sportmedizin – Kursbestimmung.
Springer, Berlin Heidelberg 1987, 727–731.

CLAUS, G., K. EBNER

Statistik Band 1, Grundlagen
Harri Deutsch, Thun und Frankfurt a. M., 1989.

CRIELAARD, J. M., F. PIRNAY

Anaerobic and aerobic power of top athletes.
European Journal appl. Physiologie, 47, 1981, 295-300.

DITTER, H., P. E. NOWACKI, E. SIMAI, I. SIEGFRIED

Computergesteuerte spiro-ergometrische Funktionsdiagnostik bei national erfolgreichen Faustballspielerinnen.
Sportarzt u. Sportmed. 28, 1977, 227-230.

DITTER, H., U. WINKLER, P.E. NOWACKI

Das Verhalten des Säure-Basen Haushaltes nach maximaler Körperlicher Belastung bei trainierten und untrainierten Schülern im Vergleich zu Leistungssportlern verschiedener Disziplinen
Therapiewoche 28, 1978, 5430-5451.

DONAT, K., H. KOEFFLER

Prinzipien und Ergebnisse der Frührehabilitation nach Herzinfarkt im Krankenhaus.
Verh. Dtsch. Ges. Kreisf.-Forsch. 37, 1971, 214.

DONATH, R., G. ROSEL

Untersuchungen zur Ausdauerentwicklung bei Schülern.
Med. u. Sport 11, 1974, 322-329.

DRANSFELD, B., H. MELLEROWICZ

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

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

DRANSFELD, B.

Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffpuls bei ergometrischer Belastung. In: MELLEROWICZ, H., E. JOKL, G. HANSEN (HG.): Ergebnisse der Ergometrie. COR-Beiträge zur Kardiologie.

perimed, Erlangen 1975, 125-145.

DRESSLER, F., H. MELLEROWICZ

Das Atemminutenvolumen.

Zschr. Kinderhk. 85, 1961, 31.

EDELMANN-NUSSER, J.

METIOR - Handbuch zum Programm, Firma METIOR JEN.

Esslingen 1994.

ERIKSSON, P. O.

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

Acta Physiol. Scand. Suppl. 384, 1972, 1-48.

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

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

Leistungssport 4, 1989, 18-20.

FETZ, F., E. KORNEXL

Sportmotorische Tests

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

GAMBKE, B., C. MÜLLER

AccusportR: Evaluation of a new system for determining lactate in capillary blood, BOEHRINGER Mannheim (HG.): Poster presented at the 33rd German Congress of Sports Medicine, Paderborn 1993.

GLÄSER, H.

Skisport und Skiunfälle - Zahlen und Trends 1992/93. In: FREUNDE DES SKISPORTS IM DEUTSCHEN SKIVERBAND - STIFTUNG SICHERHEIT IM SKISPORT (HG.):

FdSnow, 5, Ausgabe 1, 1994, 45-46.

GLÄSER, H.

Aktuelle Zahlen zu Skiunfällen der Saison 1994/95.

Skilehrermagazin, Deutscher Skilehrerverband (HG.), 2, 1996, 25.

GEESE, R.

Technisch-apparative Möglichkeiten zur Leistungsdiagnostik und -steuerung mittels objektiver Schnellinformationen.

Leistungssport, 2, 1992, 31-33.

GROSSER, M.

Schnelligkeitstraining.

BLV, München 1991.

GROSSER, M., P. BRÜGGEMANN, F. ZINTL

Leistungssteuerung im Training und Wettkampf.

BLV, München 1986.

GROSSER, M., A. NEUMAIER

Kontrollverfahren zur Leistungsoptimierung, Studienbrief 17 der Trainerakademie Köln.
Hofmann, Schorndorf 1988.

GROSSER, M., M. PACH, TUSKER, F.

Mehrfährige Steuerung von Kraftfähigkeiten alpiner Skirennläufer. In: BUNDESINSTITUT FÜR
SPORTWISSENSCHAFT (HG.): Kraftausdauertraining - Heft 7.
Köln 1989, 145-154.

GROSSER, M., St. STARISCHKA

Konditionstests.
BLV, München 1981.

HAMAR, D., M. TKAC

Die Erfassung der maximalen alaktaziden Leistung der unteren Extremitäten.
Leistungssport, 1, 1990, 19-23.

HANSEN, G.

Atemvolumen und Atemäquivalent bei ergometrischer Leistung . In: MELLEROWICZ, H., E.
JOKL, G. HANSEN (HG.): Ergebnisse der Ergometrie. COR-Beiträge zur Kardiologie.
Perimed, Erlangen 1975, 147-154.

HANSEN, G., I. DANIEL

Fußballjugendtraining. Grundlagen – Übungen – Programme.
Rowohlt Taschenbuch, Reinbeck 1990.

HAYMES, E. M., A. L. DICKINSON

Characteristics of elite male and female ski racers.
Medical Science Sports Exerc. 3, 12, 1980, 153-158.

HECK, H.

Laktat in der Leistungsdiagnostik,
Hofmann, Schorndorf 1990.

HECK, H.

Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik, Studienbrief der Trainerakademie
Köln.
Hofmann, Schorndorf 1990.

HECK, H., H. SCHULZ

Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik.
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 53, (7-8), 2002, 202-212.

HESTIA PHARMA GmbH

Mobile Lactat-Kontrolle in Ihrer Ausdauerleistung, BOEHRINGER GmbH (HG.),
Mannheim 1989.

HOLLMANN, W.

Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.
Steinkopf, Darmstadt 1959.

HOLLMANN, W.

Der Einfluß der Leibesübungen auf Muskulatur, Atemapparat, Blut, endokrines und vegetatives
System in bezug auf die Herzgesundheit. In: MELLEROWICZ, H. (HG.): Präventive Cardiologie.
Medicus, Berlin 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, Bd. 5.
Barth, München 1963.

HOLLMANN, W.

Atmung und Stoffwechsel als leistungsbegrenzende Faktoren beim Mittel- und Langstreckenläufer und ihre Beeinflussung durch Training.
Bartels & Wernitz, Berlin 1965.

HOLLMANN, W.

Kriterien der körperlichen, cardialen und pulmonalen Leistungsgrenzen. In: MELLEROWICZ, H., G. HANSEN (HG.): Kongressbericht des 1. Internationalen Seminars für Ergometrie.
Ergon, Berlin 1965, 186-188.

HOLLMANN, W.

Körperliches Training als Prävention von Herz-Kreislaufkrankheiten.
Hippokrates, Stuttgart 1965.

HOLLMANN, W.

Die Leistungsentwicklung und Belastbarkeit des Kindes und Jugendlichen nebst allgemeinen sportmedizinischen Aspekten.
In: Sportarzt und Sportmed. 11, 1966, 549-552.

HOLLMANN, W.

Sport und körperliches Training als Mittel der Präventivmedizin in der Kardiologie. In: HOLLMANN, W. (HG.): Zentrale Themen der Sportmedizin.
Springer, Berlin Heidelberg New York, 2. Auflage, 1977.

HOLLMANN, W.

Lungenfunktion, Atmung und Stoffwechsel im Sport. In: HOLLMANN, W. (HG.): Zentrale Themen der Sportmedizin.
Springer, Berlin Heidelberg New York, 2. Auflage, 1977.

HOLLMANN, W.

Die Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit.
Festvortrag sportmed. Symposium, Kieler Woche 1980.

HOLLMANN, W.

Lungenfunktion, Atmung, Gasstoffwechsel im Sport. In: Hollmann, W. (HG.): Zentrale Themen der Sportmedizin.
Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 3. Auflage, 1986, 144-168.

HOLLMANN, W.

Die Belastbarkeit und Trainierbarkeit der Haltungs- und Bewegungsorgane in den verschiedenen Alters- und Entwicklungsstufen. In: Prokop, L. (HG.): Kinder und Sportmedizin.
Fischer, Stuttgart 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.
Perimed, Erlangen 1990, 98-108.

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

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

HOLLMANN, W., C. BOUCHARD, G. HERKENRATH

Die Entwicklung der Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems bei Kindern und Jugendlichen des achten bis achtzehnten Lebensjahres.
Sportarzt u. Sportmed. 16, 1965, 255-260.

HOLLMANN, W., C. BOUCHARD

Untersuchungen über die Beziehung zwischen chronologischem und biologischem Alter zu spiroergometrischen Meßgrößen, Herzvolumen, anthropometrischen Daten und Skelettmuskelfkraft bei 8 bis 18 Jährigen.
Dtsch. Zschr. Kreislaufforschg. 59, 1970, 160-176.

HOLLMANN, W., H. HECK

Herzleistungsfähigkeit und Sport.
Ärztl. Fortbildung, 1, 1971.

HOLLMANN, W., H. HECK, B. SCHMÜCKER, A. STOLTE, H. LIESEN, M.D. FOTESCH, D.N. MATHUR, K.H. JONDRA

Vergleichende spiro-ergometrische Untersuchungen über den Effekt und die Aussagekraft von Laufband- und Fahrradergometerbelastungen.
Sportarzt und Sportmed. 22, 1971, 123-134.

HOLLMANN, W., H. LIESEN

Über den Trainingseinfluß auf kardiopulmonale und metabolische Parameter des älteren Menschen.
Sportarzt und Sportmedizin 24, 1973, 145-186.

HOLLMANN, W., T. HETTINGER

Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen.
F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart New York, 2. Aufl., 1980.
F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart New York, 3. Aufl., 1990.
Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin.
F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart New York, 4. Aufl., 2000.

HOLLOSZY, J. O.

Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle.
J. biol. Chem. 242, 1967, 2278.

HOLLOSZY, J. O.

Biochemical adaptations in muscle.
J. biol. Chem. 242, 1967, 2278.

HOWE, J.

Skiing mechanics.
Laporte 1983.

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.
Barth, Leipzig 1968.

ISRAEL, S.

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

ISRAEL, S.

Sport und Herzschlagfrequenz. Sportmedizinische Schriftenreihe, Bd. 21.
Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1982.

ISRAEL, S., H. KUPPARDT, GOTTSCHALK, G. NEUMANN, P. BÖHME

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

ISRAEL, S., B. BUHL, K.-H. PURKOP, A. WEIDNER

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

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

Die Herzfrequenz als Kenngröße der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung.
Leistungssport 5, 1988, 23-25.

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., E. DOLL, D. KEPPLER

Muskelstoffwechsel. Die Energiebereitstellung im Skelettmuskel als Grundlage seiner Funktion.
Barth, München 1969.

KEUL, J., W. KINDERMANN, G. SIMON

Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik.
Leistungssport 8, 1978, 22-32.

KEUL, J., A. DICKHUT, M. BERG, LEHMANN, G. HUBER

Der Einfluß eines fünfjährigen Ausdauertrainings auf Kreislauf und Stoffwechsel bei Kindern.
Dtsch. Zschr. Sportmed. 33, 1982, 264-270.

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

Anpassungserscheinungen durch Schul- und Leistungssport im Kindesalter.
Sportwissenschaft 8, 1988, 222-234.

KÄHLER, W.- M.

SPSS^x für Anfänger
Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig Wiesbaden 1986.

KILLICH, C.

Anwendung und Bewertung ausgewählter Untersuchungsverfahren zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Biathlon-Nachwuchsbereich.
Dissertation (Dr. phil.) Justus-Liebig-Universität, Gießen 2001.

KIM, J.

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. 96, 1978, 221-226.

KINDERMANN, W.

Zur Belastungs- und Anpassungsfähigkeit des Kindes im Breiten- und Leistungssport, in: NO-WACKI, P.E., D. BÖHMER (HG.): Sportmedizin-Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit, Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongreß, Bad Nauheim 1978.

Thieme, Stuttgart New York 1980, 46-56.

KINDERMANN, W.

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

Dtsch. Zschr. Sportmedizin 40, 1987, 244-268.

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

Aerobe Kapazität bei Kindern und Jugendlichen in Beziehung zum Erwachsenen.

Sportarzt und Sportmed., 26, 1975, 112-115.

KIRCHHOFF, H., H. REINDELL, A. GEBAUER

Untersuchungen über die Sauerstoffaufnahme, Kohlensäureabgabe, das Atemminutenvolumen, Atemäquivalent und den respiratorischen Quotienten während körperlicher Belastung bei Normalpersonen und Hochleistungssportlern.

Dtsch. Arch. Klein. Med. 203, 1956, 423-447.

KIRSCH, A.

Sport an der Grenze menschlicher Leistungsfähigkeit unter pädagogischem Aspekt, in:

RIECKERT, H. (HG.): Sport an der Grenze menschlicher Leistungsfähigkeit.

Springer, Berlin Heidelberg New York 1981, 169-173.

KLEMT, U., R. ROST

Normalwerte kindlicher Leistungsfähigkeit. In: ROST, R., S. STARISCHKA (HG.): Das Kind im Zentrum interdisziplinärer sportwissenschaftlicher Forschung.

SFT, Erlensee 1986, 193-203.

KLIMT, F., G. B. VOIGT

Investigation on the standardization of ergometry in children.

Acta paediat. Scan., Suppl. 217, 1971, 35-36.

KLIMT, F.

Zur Registrierung der Vital- und Sekundenkapazität bei Kindern.

Kinderarzt 6, 1975, 1307-1317.

KLIMT, F.

Die sportliche Belastbarkeit bei Kindern und Jugendlichen aus internistischer Sicht.

Der Kassenarzt 24, 1984, 33-34.

KLIMT, F.

Freistellung vom Sport in Schule und Verein. Entscheidungskriterien für Ärzte, Pädagogen, Trainer, Übungsleiter.

Thieme, Stuttgart New York 1985.

KLIMT, F.

Kinder, Jugendliche und Sport. In: EBERSPÄCHER, H. (HG.): Handlexikon Sportwissenschaft. Rowohlt Taschenbuch, Reinbeck 1992, 161-167.

KNIPPING, H. W.

Beitrag zur Technik der Gasstoffwechseluntersuchung.
Zschr. f. d. ges. exper. Med. 47, 1925, 1-3.

KNIPPING, H. W.

Die klinische Gasstoffwechseluntersuchung.
Tung-Chi, Med. Monatsschrift, Shanghai 2, 1926, 55-60.

KNIPPING, H. W.

Beitrag zur gasanalytischen Technik in der Medizin.
Zschr. f. d. ges. exper. Med. 53, 1926, 1-16.

KNIPPING, H. W.

Zur Technik der langdauernden experimentellen und Klinischen Gasstoffwechseluntersuchungen.
Zschr. f. d. ges. exper. Med. 57, 1927, 433-439.

KNIPPING, H. W.

Ergebnisse der Stoffwechseluntersuchung für die Klinik.
Klin. Wschr. 17, 1928, 49-52.

KNIPPING, H. W.

Ergebnisse der Ergographie in der Klinik. Arbeitsinsuffizienz von Herz und Kreislauf.
Klin. Wschr. 17, 1938, 1457-1460.

KNIPPING, H. W., A. MONCRIEFF

The ventilatory equivalent for oxygen.
Quart. J. Med., 1, 1932, 17.

KNIPPING, H. W., W. HOLLMANN

Beurteilung der menschlichen Leistungsfähigkeit. In HEISS, F. (HG.): Praktische Sportmedizin.
Enke, Stuttgart 1964.

KÖNIG, K., H. REINDELL, J. KEUL, H. ROSKAMM

Untersuchungen über das Verhalten von Atmung und Kreislauf im Belastungsversuch bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 10-19 Jahren.
Int. Z. angew. Physiol. 18, 1961, 393-434.

KOMI, P. V.

Strength and Power in Sport.
Blackwell Scientific Publikations, Oxford 1992.

KOMI, P. V., C. BOSCO

Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women.
Medicine and Science in Sports, 10, 1978, 261-265.

KOPP, M.

Analyse der Sportmedizinischen Untersuchungssysteme in der Bundesrepublik Deutschland.
Dissertation (Dr. phil) Justus-Liebig-Universität, Gießen 1980.

KORNEXL, E.

Das sportmotorische Eigenschaftsniveau des alpinen Schirennläufers.
Dissertation Universität Innsbruck 1977.

KORNEXL, E.

Das sportmotorische Eigenschaftsniveau des alpinen Schirennläufers.
Bartels & Wernitz KG, Berlin, 1. Auflage, 1980.

KRAUSE, R.

Die Maximale Sauerstoffaufnahme als Kriterium der cardiopulmonalen Leistungsfähigkeit.
Dissertation Medizinische Akademie, Lübeck 1971.

LANG, K., O. RANKE

Stoffwechsel und Ernährung.
Springer, Berlin 1950.

LEHMANN, M., J. KEUL

Katecholaminausscheidung und Katecholaminblutspiegel bei verschiedenen Belastungen. In:
NOWACKI, P. E., D. BÖHMER (HG.): Sportmedizin-Aufgaben und Bedeutung für den Menschen unserer Zeit. Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongress, Bad Nauheim 1978.
Thieme, Stuttgart 1980, 99-103.

LIENERT, G.

Testaufbau und Testanalyse.
Weinheim 1969.

LIESEN, H.

Training konditioneller Fähigkeiten in der Vorbereitungsperiode.
Fußballtraining 1, 3, 1983, 11-14.

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

Die Ausdauerleistungsfähigkeit bei verschiedenen Sportarten unter besonderer Berücksichtigung des Metabolismus: Zur Ermittlung optimaler Belastungsintensität im Training.
Leistungssport, Beiheft 9, 1977, 63-92.

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

Trainingssteuerung im Hochleistungssport: Einige Aspekte und Beispiele.
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 36, 1985, 8-18.

LÜBS, E. D., U. HARTMANN

Vergleichende Untersuchungen über die Beeinflussung spiroergometrischer Parameter durch ein fünfwöchiges Ausdauertraining bei intra- und postpubertalen Jugendlichen. In: NOWACKI, P.E., D. Böhmer (HG.): Sportmedizin - Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit. Kongressbericht 26, Deutscher Sportärztekongreß Bad Nauheim 1978.
Thieme, Stuttgart New York 1980, 79-82.

McARDLE, W., F. KATCH, V. KATCH

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

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, A. H. ALLMER: Computersimulation. Möglichkeiten zur Theoriebildung und Ergebnisinterpretation.

Brennpunkte der Sportwissenschaft 8, 1994, 124-162.

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

Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor.

Sportarzt und Sportmedizin 27 (4/5), 1976, 80-88 und 109-112.

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

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 30 (8), 1979, 203-211 und 249-261.

MADER, A., H. HECK

Möglichkeiten und Aufgaben in der Forschung und Praxis der Humanleistungsphysiologie.

Spectrum der Wissenschaften 3, 1991, 5-54.

MALINA, R. M., C. BOUCHARD

Growth, Maturation and Physical Activity.

Human Kinetics Books, Champaign, Illinois 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.

MARTIN, D.

Zielsetzung und Leistungsentwicklung im Kindertraining. In: HOWALD, H., E. HAHN (HG.) : Kinder im Leistungssport.

Birkhäuser, Basel Boston Stuttgart 1982, 208-216.

Mc ARDLE, W., F. KATCH, V. KATCH

Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance.

Williams & Wilkins, 4. Ed., Baltimore 1996.

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

Die ergometrische Belastung von Frauen. Ein Modell zur besseren Leistungsbeurteilung.

Therapiewoche 34, 3873-3875, 1984.

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

Die Beurteilung des Sportherzens im Wandel der Zeiten.

Medwelt 39, 1988, 13-23.

MEDAU, H. J., P. E. NOWACKI (HG.)

Frau und Sport IV

Die olympischen Disziplinen der Frau im Sport. (Erstes gesamtdeutsches Sportmedizinisches Symposium in Coburg 1990). Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 41.

Perimed, Erlangen, 1992.

MEINL, K., G. SCHNABEL

Bewegungslehre – Sportmotorik.
Volk und Wissen, Berlin, 8. Auflage, 1987.

MELLEROWICZ, H.

Herz- und Blutkreislauf beim Sport. In: ARNOLD, A. (HG.): Lehrbuch der Sportmedizin.
Barth, Leipzig, 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., 24, 1956, 70-176.

MELLEROWICZ, H.

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

MELLEROWICZ, H.

Trainingsmaß und Leistungszuwachs. In: HANEKOPF, G. (HG.): Kongressbericht des XVI.
Weltkongreß für Sportmedizin.
Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1967.

MELLEROWICZ, H.

Der Kreislauf des Jugendlichen bei Arbeit und Sport.
Karger, Basel München Paris, 2. Auflage, 1981.

MELLEROWICZ, H.

Standardisierung in der Ergometrie. In: MELLEROWICZ, H., I. –W. FRANZ (HG.):
Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.
Perimed, Erlangen, 1983, 81-86.

MELLEROWICZ, H., D. LERCHE

Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit Jugendlicher.
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 17, 1959, 459-468.

MELLEROWICZ, H., P. E. NOWACKI

Vergleichende Untersuchungen von Atem- und Kreislauffunktionen bei physikalisch gleicher
ergometrischer Arbeit im Stehen, Sitzen und Liegen.
Z. Kreislaufforschg. 50, 1961, 1002-1014.

MELLEROWICZ, H., H. REINDELL, W. HOLLMANN, H. MIES, H. ROSKAMM

Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistung.
Z. Kreislauff., 50, 1961, 273-281.

MELLEROWICZ, H., G. HANSEN

Sauerstoffkapazität und andere spiroergometrische Maximalwerte der Ruderolympiasieger im
Vierer mit Steuermann vom Berliner Ruder-Club.
Sportarzt und Sportmed., 16, 1965, 188-191.

MELLEROWICZ, H., E. JOKL, G. HANSEN

Ergebnisse der Ergometrie. COR – Beiträge zur Kardiologie.
Perimed, Erlangen, 1. Auflage 1975.
Perimed, Erlangen, 2. Auflage 1983.

MELLEROWICZ, H., I. -W. FRANZ

Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.
Perimed, Erlangen, 1983.

MELLEROWICZ, H., W. WELLER

Training.
Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 5. Auflage, 1984.

MERVELSKEMPER, B.

Mechanisch-theoretischer Ansatz zur Sollwertbestimmung der vertikalen Bodenreaktionskräfte während der Schwungsteuerung im alpinen Skirennlauf.
Diplomarbeit Deutsche Sporthochschule, Köln 1990.

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.

MOHAMMED, M. F. I.

Die Entwicklung des Sportmedizinischen Leistungsprofils im Deutschen Fußballsport.
Dissertation (Dr. phil) Justus-Liebig-Universität, Gießen 1999.

MÜLLER, E.

Biomechanische Analyse alpiner Skilauftechniken.
Inn-Verlag, Innsbruck 1986.

NACHBAUER, W.

Eine biokinematische und biodynamische Analyse der Skitechnik von Schirennfahrern.
Dissertation Universität Innsbruck 1986.

NEUMANN, G.

Sportmedizinische Grundlagen zur Leistungsentwicklung in den Sportarten.
Teil 1: Ausdauersportarten.
Deutsche Hochschule für Körperkultur, Leipzig 1987, 31-61.

NEUMANN, G.

Leistungsstruktur in den Ausdauersportarten aus sportmedizinischer Sicht.
Leistungssport, 20, 1990, 14-20.

NEUMANN, G., K. P. SCHÜLER

Sportmedizinische Funktionsdiagnostik.
Barth, Leipzig Berlin Heidelberg 1989.

NEUMANN, G., K. P. SCHÜLER

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.

NÖCKER, J.

Physiologie der Leibesübungen.
Enke, Stuttgart, 1. Auflage, 1964.
Enke, Stuttgart, 3. Auflage, 1976.
Enke, Stuttgart, 4. Auflage, 1980.

NÖCKER, J., V. BÖHLAU

Der Sauerstoffpuls in Abhängigkeit vom Lebensalter.
Verh. dtsh. Ges. Kreisl. Forsch. 24, 1958, 225-231.

NOWACKI, N. S.

Entwicklung des sportmedizinischen Leistungsprofils beim Skilanglauf in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht.
Dissertation (Dr. med.) Christian-Albrechts-Universität, Kiel 1998.

NOWACKI, N. S., P.E. NOWACKI, H. RIECKERT, R. P. SCHNORR

Development of aerobic capacity of children and youths engaged in high performance sports.
Int. J. Sports Med. 17 Suppl. 1, 50. 1996.

NOWACKI, P. E.

Die Bedeutung des Ventilations-RQ bei ergometrischer Leistung. In: MELLEROWICZ, H., G. HANSEN (HG.): I. Internationales Seminar der Ergometrie.
Ergon Verlag, Berlin 1965, 92-97.

NOWACKI, P. E.

Die Spiro-Ergometrie im neuen Untersuchungssystem für den Spitzensport.
Leistungssport, 2, 1971, 37-51.

NOWACKI, P. E.

Funktionsdiagnostik der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit.
Der Kassenarzt 13, 1973, 77-94.

NOWACKI, P. E.

Die Objektivierung der körperlichen und kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit mit einfachen und komplizierten Methoden,
Physiotherapie, 65, Heft 10, 1974, 1-12.

NOWACKI, P. E.

Möglichkeiten der medizinischen Leistungsdiagnostik. In: DSB, Bundesausschuß Leistungssport (HG.): Informationen zum Training. Medizinische Betreuung des Leistungssportlers in Training und Wettkampf.
Beiheft zu Leistungssport 3, 1975, 77-119.

NOWACKI, P. E.

Kardiopulmonale Leistungsprüfung. In: DSB, Bundesausschuß Leistungssport (HG.): Informationen zum Training. Das sportmedizinische Untersuchungssystem.
Beiheft zum Leistungssport 4, 1975, 65-85.

NOWACKI, P. E.

Die Bedeutung des Ventilations-RQ bei ergometrischer Leistung. In: MELLEROWICZ, H, E. JOKL, G. HANSEN (HG.): Ergebnisse der Ergometrie.
Perimed, Erlangen 1975, 167-171.

NOWACKI, P. E.

Sportmedizinische und leistungsphysiologische Aspekte des Ruderns. In: ADAM, K., H. LENK, P. E. NOWACKI, M. RULFFS, W. SCHRÖDER (HG.): Rudertraining.
Limpert, Bad Homburg v.d.H. 1977, 251-615.

NOWACKI, P. E.

Beurteilung körperlicher und biologischer Leistungsfähigkeit bei Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher schulsportlicher Aktivität.
Therapiewoche 28, 1978, 5402-5424.

NOWACKI, P. E.

Luftdruck, Temperatur und sportliche Leistung - Medizinische Aspekte des Höhentrainings.
Therapiewoche, 28, 1978, 29, 5479-5500.

NOWACKI, P. E.

Das Atemäquivalent bei ergometrischer Leistung. In: MELLEROWICZ, H. (HG.): Ergometrie. Grundriss der medizinischen Leistungsmessung.
Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 3. Auflage, 1979, 242-252.

NOWACKI, P. E.

CO₂ Bildung und respiratorischer Quotient bei ergometrischer Leistung. In: MELLEROWICZ, H. (HG.): Ergometrie. Grundriss der medizinischen Leistungsmessung.
Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 3. Auflage, 1979, 257-274.

NOWACKI, P. E.

Neue Aspekte der körperrgewichtbezogenen Fahrrad- und Laufbandergometrie für den Leistungs-, Breiten- und Rehabilitationssport. In: KINDERMANN, W., W. HORT (HG.): Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport. Berichtsband 27. Deutscher Sportärztekongreß Saar-brücken 1980. Demeter, Gräfelting 1981, 255-267.

NOWACKI, P. E.

CO₂ production and respiratory quotient in ergometric performance. In: MELLEROWICZ, H., V. N. SMODLAKA (HG.): Ergometry.
Urban & Schwarzenberg, Baltimore München 1981, 229-242.

NOWACKI, P. E.

The ventilatory equivalent in ergometric performance. In: MELLEROWICZ, H., V. N. SMODLAKA (HG.): Ergometry.
Urban & Schwarzenberg, Baltimore München 1981, 243-258.

NOWACKI, P. E.

Frau und sportliche Leistung – begrenzende kardiale Faktoren. In: MEDAU H.,J., P.E. NOWACKI (HG.): Frau und Sport. Die Bedeutung der Gymnastik – Sportmedizinische und sportwissenschaftliche Aspekte. Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 19.
Perimed, Erlangen 1983, 30-53.

NOWACKI, P. E.

Chronische Kreislauf-Krankheiten und Sport. In: LÜBS, E. D. (HG.): Chronische Erkrankungen und Sport. Beiträge zur Sportmedizin Bd. 18.
Perimed, Erlangen 1983, 26-51.

NOWACKI, P. E.

Zur Standardisierung der Laufbandergometrie. In: MELLEROWICZ, H., I.-W. FRANZ (HG.): Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.
Perimed, Erlangen 1983, 259-278.

NOWACKI, P. E.

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik.
Therapiewoche 34, 25, 1984, 3829-3830.

NOWACKI, P.E.

Training und Sport als Mittel der präventiven Medizin in der technisierten Umwelt. In: FRANZ, I.-W., H. MELLEROWICZ, W. NOACK (HG.): Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt. Deutscher Sportärztekongress, Berlin 1984. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo 1985, 28-41.

NOWACKI, P. E.

Unterschiede und Entwicklungen der maximalen biologischen Leistungsfähigkeit sport- und nicht sporttreibender Kinder und Jugendlicher. In: RIECKERT, H. (HG.): Sportmedizin-Kursbestimmung. Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo 1987, 74-84.

NOWACKI, P. E.

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik. In: EBERSPÄCHER (HG.): Handlexikon Sportwissenschaft.

Rowohlt, Reinbek, 1. Auflage, 1987, 237-246.

Rowohlt, Reinbek, 2. Auflage, 1992, 237-246.

NOWACKI, P. E.

Trainingssteuerung. In: EBERSPÄCHER (HG.): Handlexikon Sportwissenschaft.

Rowohlt, Reinbek, 1. Auflage, 1987, 504-507.

Rowohlt, Reinbek, 2. Auflage, 1992, 504-507.

NOWACKI, P. E.

Biologische Leistungsfähigkeit von Eliterudern und sportmedizinische Testverfahren in der erfolgreichen Ära von Karl Adam. In: STEINACKER, J. M. (HG.): Rudern. Sportmedizinische und sportwissenschaftliche Aspekte.

Springer, Berlin Heidelberg New York London Tokyo 1988, 128-132.

NOWACKI, P. E.

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, P. E.

Persönliche Mitteilung 2002.

NOWACKI, P. E., E. SCHMID

Über die sympathico-adrenale Reaktion im Training und Wettkampf bei verschiedenen Sportarten.

Med. Welt 21, 1970, 1682-1688.

NOWACKI, P. E., K. ADAM, R. KRAUSE, U. RITTER

Die Spiro-Ergometrie im neuen Untersuchungssystem für den Spitzensport.

Leistungssport 1, 1971, 37-51.

NOWACKI, P. E., R. KRAUSE, U. RITTER

Die Rolle der Spiroergometrie im neuen System der sportmedizinischen Untersuchungen für den Spitzensport im Bereich der Bundesrepublik Deutschland. In: BÖRGER, P. Deutscher Judo-Bund (HG.): Intern. Sport-Ärzte-Kongreß 30.08.1971 während der Judo-Weltmeisterschaften in Ludwigshafen, Kongressbericht 1971, 1-19.

NOWACKI, P. E., R. KRAUSE, K. ADAM, M. RULFFS

Über die cardio-pulmonale Leistungsfähigkeit des Deutschlandachters vor seinem Olympiasieg 1968.

Sportarzt und Sportmed. 22, 1971, 227-229.

NOWACKI, P. E., P. ROSENTHAL, H.- J. VÖLPEL

Vergleichende kardiorespiratorische Funktionsprüfung bei erfolgreichen jugendlichen Handballspielerinnen und Wettkampfruderern bei maximaler Ausbelastung auf dem Laufband- und Fahrradergometer nach der W/kg-Methode. In: NOWACKI P. E., D. BÖHMER (HG.): Sportmedizin - Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit. Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongreß, Bad Nauheim 1978
Thieme, Stuttgart New York 1980, 479-481.

NOWACKI, P. E., P. DE CASTRO

Development of the biological performance of German National Teams (FRG; Juniors and Professionals). In: BACHL, N., L. PROKOP, R. SUCKERT (Eds.): Current topics in Sports Medicine. Proceedings of the 22. World Congress of Sports Medicine, Vienna 1982.
Urban & Schwarzenberg, Wien München Baltimore 1984, 560-575.

NOWACKI, P. E., P. HAFERMANN, A. KERN, G. H. MÜLLER

Körperliche und biologische Leistungsfähigkeit von Sporttauchern.
Therapiewoche, 25, 1984, 3908-3915.

NOWACKI, P. E., P. HAFERMANN, J. PSIORZ

Sportmedizinisches Leistungsprofil einer Bundesligamannschaft.
Therapiewoche 34, 1984, 3893-3903.

NOWACKI, P. E., D. SCHÄFER

Die Physical Working Capacity (PWC 170) bei körperrgewichtbezogener Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und ihre Bedeutung als Leistungsparameter in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Sportart.
Therapiewoche 34, 1984, 3835-3853.

NOWACKI, P. E., W. BRAUN, P. HAFERMANN, U. WASMUND-BODENSTEDT

Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit von 7 und 8 Jahre alten Jungen und Mädchen.
Therapiewoche 34, 1984, 3854-3867.

NOWACKI, P. E., G. ALEFELD

Training und Sport als Mittel der präventiven Medizin in der technisierten Umwelt.
Medwelt 36, 1985, 886-894.

NOWACKI, P. E., H. J. MEDAU, C. BUHL

Der Stellenwert der nichtolympischen Sportarten für die Frau aus sportmedizinischer Sicht.
In: MEDAU, H. J., P. E. NOWACKI (HG.): Frau und Sport III. Die Bedeutung der nichtolympischen Disziplinen für die sporttreibende Frau. Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 23.
Perimed, Erlangen 1988, 76-107.

NOWACKI, P. E., D. Y. CAI, C. BUHL, U. KRÜMMELBEIN

Biological performance of german soccer players (Professionals and Juniors) tested by special ergometry and treadmill methods. In: REILLY, T., LEES, A., DAVIDS, K., W. J. MURPHY (Eds.): Science and Football.
E.& F.N. Spon, London New York 1988, 145-157.

NOWACKI, P. E., I. SCHULZE, N. S. NOWACKI

Längsschnittuntersuchungen zur biologischen Entwicklung von Skilangläufern vom Schüler- bis zum Erwachsenenalter - eine kritische Zehnjahresstudie. In: BERNETT, P., D. JESCHKE (HG.): Sport und Medizin Pro und Contra. Kongressband 32. Deutscher Sportärztekongreß München 1990.
Zuckschwerdt, München Bern Wien San Francisco 1991, 629-634.

NOWACKI, P. E., I. SCHULZE, N. S. NOWACKI

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. 12, 1991, 108.

NOWACKI, P. E., M. KIRCHNER, R. -P. SCHNORR

Sportmedizinisches Leistungsprofil von Squashspielern aus unterschiedlichen Spielklassen (Kreisliga-Bundesliga) im Vergleich zu anderen Sportarten. In: BERNETT, P., D. JESCHKE (HG.): Sport und Medizin. Pro und Contra. 32. Deutscher Sportärztekongress München 1990. Zuckschwerdt, München Bern Wien San Francisco 1991, 434-437.

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

Olympische Disziplinen der Frau - Sportmedizinische Leistungsprofile. In: MEDAU, H. J., P. E. NOWACKI (HG.): Frau und Sport IV .Die olympischen Disziplinen der Frau im Sport. (Erstes gesamtdeutsches Sportmedizinisches Symposium in Coburg 1990). Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 41
Perimed, Erlangen 1992, 37-83.

NOWACKI, P. E., U. KRÜMMELBEIN, M. PREUSS

Laktatverhalten von Fußballspielern in Training und Wettkampf im Vergleich zur maximalen Laktatazidose bei der Fahrrad- und Laufbandspiroergometrie. In: KUHN, W., W. SCHMIDT (HG.): Analyse und Beobachtung in Training und Wettkampf. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft.
Academia, Sankt Augustin, 47, 1992, 33-55.

NOWACKI, P. E., M. PREUHS

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., J. CLARYS, A. STIBBE (ED.): Science and Football II.
E & FN Spon, London 1993, 86-94.

NOWACKI, P. E., H. KELLER, H. J. MEDAU, N. S. NOWACKI, J. SCHÖLL

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, P. E., H. KELLER, M. F. MOHAMMED, H. SCHULZ

Physiological Fitness Profiles of German Youth Soccer Teams (6-18 Y). XXV FIMS World Congress of Sports Medicine Orlando, Florida, USA, 1998.
Medical & Scientific Interactions in Exercise & Sport. Abstracts-Programm, R 27, p 24.

NOWACKI, P. E., H. -H. VATER

Die körperliche und koordinative Leistungsfähigkeit alpiner Skifahrer verschiedener Fertigkeitsebenen, in: SCHODER, G. (HG.): Skilauf und Snowboard in Lehre und Forschung, Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Skilauf an Hochschulen, Bd. 12.
Czwalina, Hamburg 1998, 91-123.

NOWACKI, P. E., H. KELLER, M. F. MOHAMMED, N. S. NOWACKI

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, p 13.

PIRNAY, F., J. M. CRIELAARD

Anaerobic and aerobic power of top athletes.
European Journal appl. Physiologie, 47, 1981, 295-300.

PREUHS, 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.

Fischer, Stuttgart New York 1979.

PROKOP, L.

Kinder-Sportmedizin.

Fischer, Stuttgart New York 1986.

REINDELL, H., W. KIRCHHOFF

Über kombinierte Funktionsprüfungen des Kreislaufes und der Atmung.

1. Mitteilung. Untersuchungen an Personen mit durchschnittlicher Leistungsbreite und Hochleistungssportlern.

Dtsch. Med. Wsch. 81, 1956, 592.

REINDELL, H., K. W. KIRCHHOFF, K. MUSSHOFF, H. KLEPZIG

Das Sauerstoffäquivalent, ein Maßstab für die Beurteilung von Herz und Kreislauf.

Verh. Dtsch. Ges. Kreisl.-Forsch. 22, 1956, 108.

REINDELL, H., K. W. KIRCHHOFF

Über kombinierte Funktionsprüfungen des Kreislaufs und der Atmung. 1. Mitteilung. Untersuchungen an Personen mit durchschnittlicher Leistungsbreite und Hochleistungssportlern.

Dtsch. med. Wsch. 81, 1956, 592.

REINDELL, H., H. KLEPZIG, K. MUSSHOFF, H. W. KIRCHHOFF, H. STEIM, F. MOSER, P. FRISCH

Neuere Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Größe und Leistungsbreite des gesunden menschlichen Herzens, insbesondere des Sportherzens.

Dtsch. med. Wschr. 82, 1957, 613-619.

REINDELL, H., K. MUSSHOFF, H. KLEPZIG, H. STEIM, P. FRISCH, G. METZ, K. KÖNIG

Beitrag zur Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.

Münch. Med. Wschr. 100, 1958, 765.

REINDELL, H., H. KLEPZIG, K. MUSSHOFF

Das Sporthertz. In: BERGMANN, G. von, G. W. FREY, H. SCHWIEGK (HG.): Handbuch der Inneren Medizin, Bd. 9, I. Teil.

Springer, Berlin Göttingen Heidelberg, 1960, 931-951.

REINDELL, H., K. MUSSHOFF, H. KLEPZIG

Physiologische und pathologische Grundlagen der Größen und Normveränderungen des Herzens.

In: BERGMANN, G. von, G. W. FREY, H. SCHWIEGK (HG.): Handbuch der Inneren Medizin, Bd. 9, I. Teil.

Springer, Berlin Göttingen Heidelberg, 1960.

REINDELL, H., K. MUSSHOFF, H. KLEPZIG

Die Herzgröße und -form als Folge langdauernder körperlicher Belastung auf das Herz. In:

BERGMANN, G. von, G. W. FREY, H. SCHWIEGK (HG.): Handbuch der Inneren Medizin, Bd. 9, I. Teil.

Springer, Berlin Göttingen Heidelberg, 1960.

REINDELL, H., H. ROSKAMM, W. GERSCHLER

Das Intervalltraining. Physiologische Grundlagen, praktische Anwendung und Schädigungsmöglichkeiten. Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen Sportbundes, Bd. 4. Barth, München, 1962.

REINDELL, H., K. MUSSHOFF, K. KÖNIG, W. GEBHARDT, H. ROSKAMM, J. KEUL

Volumen und Leistung des gesunden und des kranken Herzens. Acta. Med. scand., Suppl. 472, 1967, 38.

REINDELL, H., K. KÖNIG, H. ROSKAMM

Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens. Thieme, Stuttgart 1967.

REINDELL, H., H. ROSKAMM

Herzkrankheiten. Springer, Berlin Heidelberg New York 1977.

REINDELL, H., P. BUBENHEIMER, H.- H. DICKHUTH, L. GÖRNANDT

Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens. Thieme, Stuttgart New York 1988.

RIECKERT, H. (HG.)

Sport an der Grenze der menschlichen Leistungsfähigkeit. Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo 1981.

RIECKERT, H.

Kreislauf, in: EBERSPÄCHER, H. (HG.): Handlexikon Sportwissenschaft. Rowohlt, Reinbek 1992, 204-218.

RIECKERT, H., B. MARTEN

Prävention durch Kinder- und Jugendsport. In: BANZER, W., G. HOFFMANN (HG.): Präventive Sportmedizin. Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 36. Perimed, Erlangen 1990, 135-153.

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. 10, 1938, 251.

ROSETTI, A.

Bestimmungen der anaeroben Kapazität auf dem Fahrradergometer bei Leistungssportlern. 8. Wiss. Session, Zentrum für Sportmedizin, Bukarest 1982.

ROST, R.

Hochleistung im Kindes- und Jugendalter aus kardiologischer Sicht. In: RIECKERT, H. (HG.): Sport an der Grenze der menschlichen Leistungsfähigkeit. Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo 1981, 27-37.

ROST, R., H. GERHARDUS, W. HOLLMANN

Untersuchungen zur Frage eines Trainingseffektes bei Kindern im Alter von 8-10 Jahren im kardiopulmonalen System, in: NOWACKI, P.E., D. BÖHMER (HG.): Sportmedizin-Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit. Kongreßband 26, Deutscher Sportärztekongreß, Bad Nauheim 1978.

Thieme, Stuttgart New York 1980, 58-61.

ROST, R., HOLLMANN, W., H. HECK, H. LIESEN, A. MADER

Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen, Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren.

Thieme, Stuttgart New York 1982.

ROST, R., HOLLMANN, W.

Belastungsuntersuchung in der Praxis.

Thieme, Stuttgart New York 1982.

RÖDER, Y., H. -H. VATER, K. -U. VATER, H. RIEHLE, H. HAAG

Der Einfluss von Carving-Ski auf Laktat- und Herzfrequenzverhalten, in: ASSL, M – PÄDAGOGISCHES INSTITUT DES BUNDES FÜR NIEDERÖSTERREICH IN ZUSAMMEN-ARBEIT MIT DER EUROPÄISCHEN UNION (HG.): ISK 2001- Kongressbericht des 13. Internationales Skikolloquiums, Hintertux 2001.

PINÖ Hollabrunn 2001, 50-57.

RÖDER, Y.

Metabolische und kardiale Parameter beim Alpinen Skilauf. Komparative Analysen zur Belastung von Freizeit-, Seniorenskiläufern und aktiven Skilehrern beim Feldtest mit differierenden Skitailierungen und beim Labortest auf dem Abfahrtssimulator.

Shaker, Aachen 2002.

RÖDER, Y.

Skispezifischer anaerober Kraftausdauerstest auf dem Abfahrtssimulator. Diplomarbeit.

Deutsche Sporthochschule, Köln 1997.

RUTENFRANZ, J., TH. HETTINGER

Untersuchungen über die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit von Lebensalter, Geschlecht und körperlicher Entwicklung.

Z. Kinderheilk. 83, 1959, 65-89.

SALTIN, B., P.O. ASTRAND

Maximal oxygen uptake in Athletes

J. of Appl. Physiol. 23, 1967, 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.

SCHÖLL, J.

Der Sauerstoffpuls als Sportmedizinische Leistungsgröße.

Inaugural Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität, Gießen 1995.

SCHNORR, R. P.

Vergleichende allgemeine und sportartspezifische Leistungsdiagnostik von Straßenradsporthlern unter dem Aspekt der Leistungsprognose.

Inaugural Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität, Gießen 1993.

SCHNORR, R. P., R. G. BRETZEL, H. J. MEDAU, P.E. NOWACKI

Neuroendokrine und sympathico-adrenerge Hormonregulation bei verschiedenen Sportarten. In: MEDAU, H. J., P. RÖTHIG, P. E. Nowacki (HG.): Ganzheitlichkeit. Beiträge in Sport und Gymnastik. Sportwissenschaftliche und sportmedizinische Aspekte. Hofmann, Schorndorf 1996, 168-191.

SHEPHARD, R. J., P. O. ASTRAND (HG.)

Ausdauer im Sport.
Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1993.

SMODLAKA, V. N.

Use of the internal work capacity test in the evaluation of severely disabled patients.
J. Chron. Diseases 25, 1972, 345-352.

SMODLAKA, V. N., H. MELLEROWICZ, J. HORAK

Revidierte Standardisierungsvorschläge für Ergometrie 1981. (Minimal- und Kompromissprogramm der Arbeitsgruppe für Ergometrie) ICSPE. In: MELLEROWICZ, H., J. W. FRANZ (HG.): Standardisierung, Kalibrierung und Methodik der Ergometrie. Perimed, Erlangen 1983.

SCHOBER, H., W. KRAFT, G. WITTEKOPF, H. SCHMIDT

Beitrag zum Einfluß verschiedener Dehnungsformen auf das muskuläre Entspannungsverhalten des M. quadriceps femoris.
Med. Sport, 30,3, 1990, 88-91.

SOMMER, H. M., E. SIMAI, L. HOHAUS, P. E. NOWACKI

Auswirkungen eines zehnwöchigen Ruderanfängertrainings auf die biologische Leistungsfähigkeit 11-12jähriger Jungen. In: NOWACKI, P. E., BÖHMER, D. (HG.): Sportmedizin-Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit. Kongressbericht 26. Deutscher Sportärztekongreß, Bad Nauheim 1978.
Thieme, Stuttgart New York 1980, 63-66.

SOMMER, H. M.

Muskuläre Ungleichgewichte im Bereich der unteren Extremität als Ursache für Leistungsverlust und Überbelastung. In: JESCHKE, D. (HG.): Stellenwert der Sportmedizin in Medizin und Sportwissenschaft.
Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo 1984, 440-444.

SPECK, C. M.

Über den Einfluß der Muskelthätigkeit auf den Athemprocess.
Dtsch. Arch. klin. Med. 45, 1889, 461-528.

SPRING, H., K. JORDAN

Maximal- und Schnellkraft im alpinen Skirennsport - Eine Untersuchung bei den schweizerischen alpinen Herren- und Damen-Skinationalmannschaften.
Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 2, 1994, 27-29.

SPRING, H., H. R. KUNZ, W. SCHNEIDER, T. TRITSCHLER, E. UNHOLD

Kraft, Theorie und Praxis.
Thieme, Stuttgart 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., S. ZÖRKENDÖRFER

Statistische Datenanalyse mit dem Programmsystem SPSS^x und SPSS/PC⁺.
R. Oldenbourg, München Wien 1990.

STEGEMANN, J.

Leistungsphysiologie. Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports.
Thieme, Stuttgart, 1. Auflage, 1971.
Thieme, Stuttgart, 2. Auflage, 1977.
Thieme, Stuttgart, 3. Auflage, 1984.
Thieme, Stuttgart, 4. Auflage, 1991.

SZÖGY, A., D. BÖHMER, P. AMBRUS, B. LINZBACH

Fahrradergometrische Bestimmungen der anaeroben Kapazität bei jugendlichen Bahn-, Straßen- und Querfeldeinradrennfahrern.
Therapiewoche, 34, 25, 1984, 3868-3870.

SZÖGY, A., G. CHEREBETIU

Minutentest auf dem Fahrradergometer zur Bestimmung der anaeroben Kapazität,
European Journal appl. Physiologie, 33, 1974, 171-176.

THOMANN, I., St. BABIEL, A. NEUMAIER, J. MESTER

Computer based use of contact mats in the training of jumpers and skiers. In: Berichtsband zum 1. International Congress on Computer Science and New Technologies in Sport.
Malaga/Torremolinos 1992.

TITTEL, K.

Die Biotypologie und funktionelle Anatomie des Leistungssportlers.
Barth, Leipzig 1995.

TITTEL, K., K. -H. ARNDT, W. HOLLMANN

Sportmedizin gestern-heute-morgen. Sportmedizinische Schriftenreihe, Bd. 28.
Barth, Leipzig Berlin Heidelberg 1993.

ULMRICH, E.

Wohin tendiert der Skisport zum Jahr 2000?, In : FREUNDE DES SKISPORTS IM DEUTSCHEN SKIVERBAND - STIFTUNG SICHERHEIT IM SKISPORT (HG.):
FdSnow 5, 1994, 1. Ausgabe, 27-34.

VATER, H.-H.

Das Konditionstraining jugendlicher alpiner Skirennläufer.
Diplomarbeit Deutsche Sporthochschule, Köln 1986.

VATER, H. -H.

Qualitative Untersuchungen der Schwungsteuerung im alpinen Skilauf auf verschiedenen Qualifikationsniveaus. Ergebnisbericht.
Institut für Trainings- und Bewegungslehre, Deutsche Sporthochschule, Köln 1990.

VATER, H. -H.

Qualitative und quantitative Untersuchungen zur Schwungsteuerung bei Kurzschwüngen im alpinen Skilauf.
Dissertation (Dr. sportwiss.) Deutsche Sporthochschule, Köln 1992.

VATER, H. -H.

Quantitative und qualitative Analyse der Schwungsteuerung beim Alpinen Skilauf. In: SCHODER, G. (HG.): Skilauf und Snowboard in Lehre und Forschung. Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Skilauf an Hochschulen, Bd. 11.
Czwalina, Hamburg, 1. Auflage 1995, 53-86.

VATER, H. -H., Y. RÖDER, K. -U. VATER

Skispezifischer Kraftausdauerstest auf dem Abfahrtssimulator. In: SCHODER, G. (HG.): Skilauf und Snowboard in Lehre und Forschung. Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Skilauf an Hochschulen, Bd. 12. Czwalina, Hamburg, 1. Auflage 1998, 125-141.

VATER, H. -H., M. MÜHLHÄUSER

Mechanische Beanspruchungen im Alpinen Skilauf unter besonderer Berücksichtigung des Kniegelenkes hinsichtlich Verletzungen und deren Therapie. In: ASSL, M – PÄDAGOGISCHES INSTITUT DES BUNDES FÜR NIEDERÖSTERREICH IN ZUSAMMENARBEIT MIT DER EUROPÄISCHEN UNION (HG.): ISK 2001- Kongressbericht des 13. Internationales Skikolloquiums, Hintertux 2001. PINÖ, Hollabrunn 2001, 21-49.

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. 132, 1948, 5-78.

WASMUND, U., P. E. NOWACKI

Untersuchungen über Laktatkonzentrationen im Kindesalter bei verschiedenen Belastungsformen. Dtsch. Zschr. Sportmed. 29, 1978, 66-75.

WASMUND, U., NOWACKI, P. E., H. DITTER, F. KLIMT

Radiotelemetrische Untersuchungen der Herzfrequenz während eines 3000 m-Laufs auf dem Sportplatz und auf dem Laufband bei 10-jährigen Schülern und Schülerinnen. Mschr. Kinderheilk. 126, 1978, 198-204.

WASMUND-BODENSTEDT, U., NOWACKI, P. E., W. BRAUN

Zur Entwicklung der körperlichen und kardio-zirkulatorischen Leistungsfähigkeit bei Mädchen und Jungen vom 7.-9. Lebensjahr. Dtsch. Zschr. Sportmed. 34, 1983, 375-384.

WETTICH, P.

Kardio-zirkulatorische und pulmonale Reaktion trainierter und untrainierter Männer bei körpergewichtsbezogener Laufband- und Fahrradergometrie. Inaugural-Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität, Gießen 1980.

WHITE, A. T., S. C. JOHNSON

Physiological comparison of international, national and regional alpine Skiers. International Journey of Sports Medicine, 12, 1991, 374-378.

WÖRSTER, M.

Koordinative Komponenten in der Schwungsteuerung bei fortgeschrittenen Skiläufern sowie bei Übungsleitern. Diplomarbeit Deutsche Sporthochschule, Köln 1989.

ZERIATKE-KLEIN, K., C. ZIERES-NAUTH

Lactivity - Sport & Laktat. BOEHRINGER GmbH (HG.), Mannheim 1993.

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.

ZIERES-NAUTH, C.

Accusport Launch Book.
BOEHRINGER GmbH (HG.), Mannheim 1993.

ZIMMER, K. R.

Vergleichende Fahrrad-Laufband-Spiroergometrie nach der 1 W/kg KG-Körpergewichts-Belastungsmethode.
Inaugural-Dissertation (Dr. med.) Justus-Liebig-Universität, Gießen 1982.

ZINTL, F.

Messungen zur Kraftausdauer bei alpinen Skirennläufern. In: CARL, K., St. STARISCHKA, H.-M. STORK (HG.): Kraftausdauertraining.
Sport und Buch Strauß, Köln 1989, S. 50-71.

ZINTL, F., D. GEBAUER

Zur Beanspruchung des menschlichen Organismus im alpinen Skilauf. In: Praktische Sporttraumatologie und Sportmedizin.
Zuckschwerdt, München, 1985, Heft 1.

ZUNTZ, N., I. GEPPERT

Über die Regulation der Athmung.
Pflügers Arch. Physiol. 42, 1889, 189-245.

7 Anhang

Verzeichnis der Abkürzungen

AÄ	Atemäquivalent
Abb.	Abbildung
AF	Atemfrequenz
AMS	Acute mountain sickness (akute Höhen- oder Bergkrankheit)
AMV	Atemminutenvolumen
ASU	Auswertungsstelle für Skiunfälle
ATP	Adenosintriphosphat
AZV	Atemzugvolumen
BISp	Bundesinstitut für Sportwissenschaft
Bit	binary digit (Informationseinheit)
BM	Boehringer Mannheim
BMI	Body-Mass-Index
BTPS	Body Temperature Pressure Saturated
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
cm ³	Kubikzentimeter
CO ₂	Kohlendioxyd
df	Anzahl der Freiheitsgrade
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSHS	Deutsche Sporthochschule
DSLVL	Deutscher Skilehrerverband
DSV	Deutscher Skiverband
DVS	Deutscher Verband für das Skilehrwesen
DVZ	Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus
DWO	Deutsche Wettkampfordnung
Δ	Differenz

Anhang – Verzeichnis der Abkürzungen

E	Erholungsminute
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyogramm
engl.	englisch
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera (und so weiter)
Fa.	Firma
ff.	folgende [Seiten]
FIS	Fédération Internationale de Ski (Internationaler Skiverband)
F _{SP}	Sprungfrequenz
>	größer
≥	größer gleich
Hf * min ⁻¹	Herzfrequenz
H ₂ O	Wasser
HG.	Herausgeber
Hz	Frequenz in Hertz (1 Hz = 1/s)
KADER	Hessische Ski Alpin Kaderathleten
Kap.	Kapitel
KG	Körpergewicht
kg	Kilogramm
kg ⁻¹	pro Kilogramm
<	kleiner
≤	kleiner gleich
KSP	Körperschwerpunkt
l	Liter
La	Laktat (Milchsäure)
L A S R I	Lernender, Allrounder, Sportlicher, Rennfahrer, Individualist
m * s ⁻¹	Meter pro Sekunde
M.	musculus (Muskel)
mAh	Milliamperestunde

Anhang – Verzeichnis der Abkürzungen

max.	maximal
MEDLINE	Medical Literature Online
MHz	Megahertz
min	Minute
* min ⁻¹	pro Minute
ml	Milliliter
Mm.	musculi (Muskeln)
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol * l ⁻¹	Millimol pro Liter (10 ⁻³)
mol	Mol (Substanzmenge)
MRQ	Metabolisch Respiratorischer Quotient
n	Anzahl der Versuchspersonen (Stichprobe)
N	Newton
nm	Nanometer
Nm	Newton x Meter
NN	Normalnull
ns	nicht signifikant
o.	ohne
O ₂	Sauerstoff
o.a.	oben angeführt
o.Ä.	oder Ähnliche
ÖAV	Österreichischer Alpenverein
p	Maß für Irrtumswahrscheinlichkeit
PC	Personal Computer
PO ₂	Sauerstoffpartialdruck
QL	Qualifikationslose Skisportler
r	Korrelationskoeffizient
Red.	Redaktion
RI	Reaktivitätsindex
RPE	Ratings of Perceived Exertion

Anhang – Verzeichnis der Abkürzungen

RR	Riva Rocci
RS	Riesenslalom
$\pm s$	Standardabweichung (Streuung)
s	Sekunde
$* s^{-1}$	pro Sekunde
S	Herzschläge
Schnell.	Schnellendes
SIS	Stiftung Sicherheit im Skisport
SKILITDOK	Skiliteratur-Dokumentation
SLGS	Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe
SLVB	DSLVB-Verbands- und DSV-Skilehrer
SPOLIT	Literaturdatenbank - Sportdokumentation
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SSS	Seniorenkisportler
StSL	Staatlich geprüfter Skilehrer
STPD	Standard Temperature Pressure Dry
t	Prüfgröße
t	Zeiteinheit
$* t^{-1}$	pro Zeiteinheit
Tab.	Tabelle
t_{KZ}	Kontaktzeit
t_{FZ}	Sprungzeit
u.a.	und andere, unter anderem
u. Mitarb.	und Mitarbeiter
ÜL	Übungsleiter
unt.	untersucht
USSA	United States Ski Association
v	Geschwindigkeit
VCO_2	Volumenmenge Kohlendioxyd
vgl.	vergleiche

Anhang – Verzeichnis der Abkürzungen

VO ₂	Volumenmenge Sauerstoff
VO ₂ * Hf ⁻¹	Sauerstoffpuls
VRQ	Ventilations-Respiratorischer Quotient
VK	Vitalkapazität
Vol%	Volumenprozent
Vp	Versuchsperson
vs.	versus
W	Watt
Wattmin	Wattminuten
WHO	World Health Organisation
\bar{x}	Mittelwert
zeitl.	zeitlich
ZNS	Zentrales Nervensystem

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1:** Graphische Darstellung des Stufenbelastungstests der 1 W/kg KG-Methode nach NOWACKI 1974. Das Schema findet Verwendung bei der Fahrradergometrie im Sitzen zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Beurteilung des Trainingszustandes.
- Abb. 2:** Blutlaktatabnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen mittels Kanüle am spiroergometrischen Messplatz der Firma E. JAEGER/Würzburg im Sportmedizinischen Institut der Justus–Liebig–Universität, Universitätssport-Zentrum, Am Kugelberg 62, Gießen.
- Abb. 3:** Graphische Darstellung des Anaeroben Schnelligkeitsausdauerests (Stehvermögen) nach SZÖGY u. Mitarb. 1984. Das Schema zeigt die drehzahlabhängige Belastung in Beziehung zur Trittfrequenz der Versuchsperson.
- Abb. 4:** Spiroergometrischer Messplatz der Firma E. JAEGER/Würzburg im Sportmedizinischen Institut der Justus–Liebig–Universität, Universitäts-Sportzentrum, Am Kugelberg 62, Gießen.
- Abb. 5:** Darstellung des skispezifischen Kontaktzeitmattentests. Die seitliche Entfernung der Kontaktzeitmatten beträgt 1/3 der individuellen Beinlänge, die zu überspringende Höhe richtet sich nach der individuellen Malleolengabelhöhe.
- Abb. 6:** Messplatz für den skispezifischen Winkelsprungtest, Draufsicht von vorne. Auf der handelsüblichen Antirutschmatte liegen die untereinander verkabelten Kontaktzeitmatten. Die zu überspringende rote Querstange ist individuell auf Höhe der Malleolengabel justiert.
- Abb. 7:** Kontaktzeitmattenmessplatz mit oberer Begrenzungsstange (blau) und der zu überspringenden Querstange (rot) in Höhe der Malleolengabel, der zu überquerende Mindestabstand von 1/3 der Beinlänge ist durch Tapestreifen markiert (siehe Pfeile). Die Kontaktzeitmatten liegen unter der Teppichbodenauflage auf einer handelsüblichen Anti-Rutsch-Matte (siehe Abb. 6).
- Abb. 8:** Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Vitalkapazität (VK ml BTPS) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle. Neben der Gesamtgruppe (n= 57) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Anhang – Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 9: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der Herzfrequenz ($\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf und der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Abb. 10: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des systolischen und des diastolischen Blutdrucks (mmHg) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf und der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Abb. 11: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf von Atemminutenvolumen ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$), Atemfrequenz (min^{-1}) und Atemzugvolumen (ml) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf und der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Abb. 12: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der absoluten O_2 -Aufnahme ($\text{VO}_2 \text{ l STPD}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf und der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Abb. 13: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der maximalen, absoluten Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ max l STPD}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Abb. 14: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ STPD}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Anhang – Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 15: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2\text{max ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ STPD) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Neben der Gesamtgruppe ($n=57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SL-VB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Abb. 16: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Sauerstoffpulses ($\text{VO}_2 \cdot \text{Hf}^{-1}$ ml STPD) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Abb. 17: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) des maximalen Sauerstoffpulses ($\text{VO}_2 \cdot \text{Hf}^{-1}$ ml STPD) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Neben der Gesamtgruppe ($n=57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SL-VB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Abb. 18: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Atemäquivalentes ($\text{AÄ} = \text{AMV ml/O}_2 \text{ ml}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Abb. 19: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Ventilations-Respiratorischen Quotienten (VRQ) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Abb. 20: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.

Anhang – Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 21: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Belastungszeit der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.
Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SL-VB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.
- Abb. 22: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Gesamtarbeit (Wattmin) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.
Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SL-VB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.
- Abb. 23: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Absoluten (W) und der Relativen maximalen Wattstufe ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode.
- Abb. 24: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der Herzfrequenz ($H_f \cdot \text{min}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung sitzend auf dem Fahrradergometer nach SZÖGY und Mitarb. 1984.
Die H_f -Werte sind ebenso wie die erreichten Wattstufen in 10 Sekunden-Intervallen der 1-minütigen Leistungsphase dargestellt.
- Abb. 25: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des AMV ($l \cdot \text{min}^{-1}$ BTPS), der AF ($\cdot \text{min}^{-1}$) und des AZV (ml BTPS) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.
- Abb. 26: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der absoluten Sauerstoffaufnahme (VO_2 l STPD) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Anhang – Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 27: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der absoluten Sauerstoffaufnahme (VO_2 l STPD) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobungsversuch nach SZÖGY u. Mitarb. 1984. Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.
- Abb. 28: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der relativen Sauerstoffaufnahme (VO_2 ml STPD $\cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.
- Abb. 29: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (VO_2 ml STPD $\cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobungsversuch nach SZÖGY u. Mitarb. 1984. Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB) der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.
- Abb. 30: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Sauerstoffpulses (VO_2 ml STPD $\cdot \text{Hf}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.
- Abb. 31: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) des maximalen Sauerstoffpulses (VO_2 ml STPD $\cdot \text{Hf}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984. Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Anhang – Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 32: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Atemäquivalentes ($\ddot{A}\ddot{A}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Abb. 33: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Ventilations - Respiratorischen Quotienten (VRQ) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehörigen Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Abb. 34: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit der dazugehörigen Wertetabelle vor und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Abb. 35: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Gesamtarbeit (Wattmin) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Seniorenskisportler (SSS), der Berufsskilehrer (StSL) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Abb. 36: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der Absoluten (W) und der Relativen Wattstufe ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach einer anaeroben Schnelligkeitsausdauerbelastung nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer.

Abb. 37: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Absoluten (W) und der Relativen Wattstufe ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Anaeroben Schnelligkeitsausdauererprobungsversuch nach SZÖGY u. Mitarb. 1984 sitzend auf dem Fahrradergometer im Vergleich der Untergruppen.

Abb. 38: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verhalten der Herzfrequenz ($\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor, während und nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest

Anhang – Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 39: Mittelwerte ($x \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf des Laktats ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle vor und nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest.
- Abb. 40: Mittelwerte ($x \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verlauf der Sprungzahl ($\cdot \text{min}^{-1}$) und der Sprungfrequenz ($\cdot 10 \text{ s}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle während des Skispezifischen Winkelsprungtests.
- Abb. 41: Mittelwerte ($x \pm s$) der Sprungzahl ($\cdot \text{min}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest. Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.
- Abb. 42: Mittelwerte ($x \pm s$) mit dem durchschnittlichen Verhalten der Kontaktzeit (s) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf mit dazugehöriger Wertetabelle während des Skispezifischen Winkelsprungtests.
- Abb. 43: Mittelwerte ($x \pm s$) der Kontaktzeit (s) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest. Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Seniorenskisportler (SSS), der Berufsskilehrer (StSL) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.
- Abb. 44: Mittelwerte ($x \pm s$) des Reaktivitätsindex ($\text{s} \cdot \text{s}^{-1}$) der Querschnittsstudie Alpiner Skilauf nach dem Skispezifischen Winkelsprungtest. Neben der Gesamtgruppe ($n = 57$) werden die Untergruppen der Qualifikationslosen Skisportler (QL), der Skilehrer- und Übungsleiter Grundstufe (SLGS), der DSV- und Verbandsskilehrer (SLVB), der Berufsskilehrer (StSL), der Seniorenskisportler (SSS) und der Hessischen Ski Alpin Kaderathleten (KADER) dargestellt.

Anhang – Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 45: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der Gesamtarbeit (Wattmin) im Vergleich verschiedener Sportarten nach einer erschöpfenden Spiroergometrie mit der 1 W/kg KG-Methode nach NOWACKI 1974.

Vergleichswerte nach NOWACKI u. Mitarb. 1984, NOWACKI et al. 1988, 1999 zu den eigenen Untersuchungen von Alpinen Skiläufern.

Abb. 46: Mittelwerte ($\bar{x} \pm s$) der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme VO_2 ml STPD * min^{-1} * kg^{-1} verschiedener Sportarten bei erschöpfender Spiroergometrie mit dem 1 W/kg KG-Verfahren.

Vergleichswerte nach NOWACKI 1988 und NOWACKI et al. 1990 zu den eigenen Untersuchungen von Alpinen Skiläufern.

Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Anthropometrische Parameter der Versuchsgruppen von Alpinen Skiläufern
- Tab. 2: Testverfahren für die intervallskalierten, normalverteilten Daten
- Tab. 3: Irrtumswahrscheinlichkeit (p)
- Tab. 4: Querschnittstudie Alpiner Skilauf
-Verhalten der Herzfrequenz ($Hf * \text{min}^{-1}$) beim Stufenbelastungstest nach NOWACKI 1974-, Gesamtgruppe versus 6 Untergruppen
- Tab. 5: Studie Alpiner Skilauf
-Verhalten der Herzfrequenz ($Hf * \text{min}^{-1}$) beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest sitzend auf dem Fahrradergometer nach SZÖGY u. Mitarb. 1984-, Gesamtgruppe versus 6 Untergruppen
- Tab. 6: Studie Alpiner Skilauf
-Verhalten der Herzfrequenz ($Hf * \text{min}^{-1}$) beim Winkelsprungtest-Gesamtgruppe versus 6 Untergruppen
- Tab. 7: Leistungsdiagnostische Kenngrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und der Untergruppen
- Tab. 8: Beurteilung des Leistungs- und Trainingszustandes nach erschöpfender Fahrradergometrie im Sitzen mit der 1 W/kg KG-Methode nach NOWACKI 1974
- Tab. 9: Ausbelastungskriterien der maximalen Herzschlagfrequenz
Formel nach HOLLMANN versus Empfehlung EUROPÄISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARDIOLOGIE
- Tab. 10: Beurteilung der kardiozirkulatorischen Erholungsfähigkeit nach einer erschöpfenden Vita maxima-Belastung nach NOWACKI 1987
- Tab. 11: Klassifizierung des maximalen Atemminutenvolumens (AMV 1 BTPS) modifiziert nach NOWACKI N.S. 1998, MOHAMMED 1999 und nach NOWACKI 2002
- Tab. 12: Beurteilungskriterien für die maximale absolute Sauerstoffaufnahme nach NOWACKI 1977
- Tab. 13: Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme nach NOWACKI 1987

Anhang – Verzeichnis der Tabellen

Tab. 14: 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

Tab. 15: Maximalwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit der Alpinen Skiläufer und deren Untergruppen beim Stufenbelastungstest mit dem 1 W/kg KG-Verfahren nach NOWACKI 1974

Tab. 16: Maximalwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit der Alpinen Skiläufer und deren Untergruppen beim Anaeroben Schnelligkeitsausdauerstest nach SZÖGY u. Mitarb. 1984

Tab. 17: Maximalwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit der Alpinen Skiläufer und deren Untergruppen beim Skispezifischen Winkelsprungtest

Tab. 18: Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und deren Untergruppen.

Tab. 19: Respiratorische Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und deren Untergruppen.

Tab. 20: Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und deren Untergruppen

Tab. 21: Metabolische Leistungsfähigkeit der Studie Alpiner Skilauf und der Untergruppen

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.- Prof. Dr. med. P. E. Nowacki für die Überlassung des Themas, für die wertvollen Hinweise bei der Abfassung der vorliegenden Dissertation und seine stete Bereitschaft zum fachlichen Dialog.

Ebenso möchte ich mich bei der Sportmedizinischen Funktionsassistentin Frau Doralies Nowacki und der MTA Frau Sandra Laux bedanken, die mich bei der Durchführung der sportmedizinischen Leistungstests tatkräftig unterstützten.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern am Sportmedizinischen Lehrstuhl der JLU Gießen, Herrn Dr. med. R.- P. Schnorr, Frau Dr. phil. Heidemarie Keller, Herrn Dr. phil. F. Reuber und Frau Dr. med. G. Klobut, die mir bei der Durchführung der Untersuchungen behilflich waren.

An dieser Stelle möchte ich den freiwilligen Helfern an diesem Projekt, Frau Diplom-Sportlehrerin Annette Spelten, Herrn Diplom-Sportlehrer Roland Münch sowie Herrn Diplom-Sportlehrer und Arzt Klaus-Uwe Vater danken.

Für das Korrekturlesen und die kritischen Anmerkungen bedanke ich mich bei Frau Diplom-Sportlehrerin Dr. rer. soc. Y. Röder.

Zudem bin ich den Probanden zu großem Dank verpflichtet, die sich uneigennützig für die Realisierung dieses Projekts zur Verfügung stellten. Mein Dank gilt dem Hessischen Skiverband e.V. und dem Deutschen Skilehrerverband e. V., die eigens für Realisierung dieser Studie Probanden abstellten.

Bad Wildungen, 2003 Dr. sportwiss. Hans-Herbert Vater

Lebenslauf

Name: Hans-Herbert Vater, geb. am 16.06.1961 in Bad Wildungen

Eltern: Gärtnermeister Herbert Vater und seine Ehefrau Rosemarie Vater, geb. Walter, Kinderkrankenschwester

Geschwister: Klaus-Uwe, geb. 07.11.63

Familienstand: verheiratet seit 1995 mit Christine Vater, geb. Huber, Krankenschwester

Kinder: Maximilian Philipp, geb. 07.02.1992 in München
Theresa Anna Mia, geb. 20.09.1998 in Kassel

Schulbildung: 1967 bis 1971 Grundschule Bad Wildungen
1971 bis 1980 Gustav-Stresemann-Gymnasium Bad Wildungen
1980 Allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst: 01.07.1980 bis 30.06.1982, Freiwilliger Wehrdienst bis zur Dauer von 2 Jahren, FlaRak Btl. 33, 83661 Lenggries

Fachsportlehrerausbildung:

1982 – 1985 Ausbildung zum Fachsportlehrer im Freien Beruf als Staatlich geprüfter Skilehrer

April 1985 Staatliche Skilehrerprüfung, Freistaat Bayern

Hochschulausbildung:

WS 1982 – SS 1986 Studiengang Diplom-Sport, DSHS Köln

SS 1986 Diplom-Prüfung, Abschluss: Diplom-Sportlehrer

WS 1986 – SS 1993 Promotionsstudiengang Sportwissenschaften, DSHS Köln

SS 1993 Promotion zum Doktor der Sportwissenschaften

WS 1987 – WS 1997 Studiengang Humanmedizin JLU Gießen

April 1998 III. Staatsexamen Humanmedizin

Januar 2000 Ärztliche Approbation LÄK Hessen

Oktober 2003 Promotion zum Doktor der Medizin

Berufstätigkeit:

1986 – 1996 Lehrbeauftragter Skilauf, Deutsche Sporthochschule Köln

1991 - 2001 Ausbildungsteam der Berufsskilehrer des Deutschen Skilehrerverbandes

01.05.98 - 30.04.99 AiP Rheumaklinik Bad Wildungen

01.07.99 - 31.12.99 AiP Allgemein- u. Unfallchirurgie, Stadtkrankenhaus Bad Wildungen

01.01.2000 Approbation

01.01.00 – 30.06.00 Assistenzarzt Allgemein- u. Unfallchirurgie, Stadtkrankenhaus Bad Wildungen

01.07.00 – 30.06.01 Assistenzarzt Allgemein- u. Unfallchirurgie, Hospital z. Hlg Geist, Fritzlar

01.07.01 – 31.03.02 Assistenzarzt Innere Medizin, Hospital z. Hlg. Geist, Fritzlar
seit 01.07.02 Assistenzarzt Innere Medizin, Kreisklinik Wolfhagen

Ich versichere hierdurch an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt habe.

Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden. Stellen, die anderen Werken dem Sinn nach entnommen sind oder auf mündlichen Auskünften beruhen, sind mit Quellenangaben versehen.

Dr. sportwiss. Hans-Herbert Vater