



**Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**  
**INSTITUT FÜR SPORT UND SPORTWISSENSCHAFT**

Magisterarbeit

im Hauptfach Sport und Sportwissenschaft

an der Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften

der Universität Heidelberg

zur Erlangung des akademischen Grades

MAGISTER ARTIUM (M.A.)

**Evaluation des COOPER-Tests aus leistungsphysiologischer Perspektive**

–

**Kann über den COOPER-Test**

**die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit abgeschätzt werden?**

vorgelegt bei Dr. Klaus Reischle

von

Gert Ulrich

Dammweg 9

69123 Heidelberg

Heidelberg, im August 2006

---

## Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt den Herren Dres. Klaus Reischle und Joachim Jost.

Herrn Dr. Reischle bin ich nicht nur aufgrund der Überlassung des Themas und seinem Einsatz für das Zustandekommen dieser Untersuchung zu Dank verpflichtet. Sein weitergehendes Interesse an meinen wissenschaftlichen Projekten verdient höchste Anerkennung.

Herrn Dr. Jost vom Olympiastützpunkt Rhein-Neckar ein herzliches Dankeschön für sein Engagement, das weit über seine Pflicht hinausging. Ohne ihn hätte diese Untersuchung ebenfalls nicht realisiert werden können. Durch die professionelle Unterstützung, den gedanklichen Austausch und die uneigennützigste Opferung seiner Zeit bin ich ihm zu besonderem Dank verpflichtet.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Frau StDn Christine Tross vom Helmholtz-Gymnasium Heidelberg für ihr Interesse an der Fragestellung und ihren Einsatz für die Studie.

Nicht vergessen werden dürfen natürlich ihre Schülerinnen und Schüler sowie die Studierenden für ihre Teilnahme, denen an dieser Stelle gedankt sei.

Meinen Eltern: Habt ganz lieben Dank für Euer Vertrauen und Eure Unterstützung, für die Freiheiten und Möglichkeiten, überhaupt ein Studium durchführen und dieses mit vorliegender Arbeit abschließen zu können.

Ich danke auch vielen Kommilitonen /-innen für interessante Ansätze, Hinweise und Diskussionen zu dieser Arbeit sowie Dr. Daniel Memmert für statistische „Hilfestellungen“.

Nicht zuletzt sei noch den Verantwortlichen des Helmholtz-Gymnasiums, Frau OstDn Karsta Holch und Herrn StD Dr. Hans Belzer sowie des Oberschulamtes Karlsruhe, Herrn RSD Manfred Reuter für die Einwilligung zu dieser Studie gedankt.

Gert Ulrich, im August 2006

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretischer Hintergrund</b>	<b>1</b>
<b>2.1 Allgemeines zum COOPER-Test</b>	<b>1</b>
2.1.1 Entstehung und Entwicklung	1
2.1.2 Determinanten der Laufleistung im COOPER-Test	3
2.1.2.1 Technik, Taktik und Motivation	3
2.1.2.2 Metabolismus	4
2.1.3 Kenntnisstand zu den Gütekriterien des COOPER-Tests	6
<b>2.2 Die maximale Sauerstoffaufnahme</b>	<b>8</b>
2.2.1 Die relative maximale Sauerstoffaufnahme	9
2.2.2 Die leistungsdiagnostische Messung der VO <sub>2</sub> -max	10
2.2.3 Diskussionsbeiträge zur VO <sub>2</sub> -max unter dem Aspekt der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit	12
2.2.4 Zusammenfassung	17
<b>2.3 Laktat und Laktatleistungsdiagnostik</b>	<b>17</b>
2.3.1 Laktatmetabolismus	17
2.3.2 Laktatleistungsdiagnostik	19
2.3.2.1 Laktatschwellenkonzepte	19
2.3.2.2 Praxis der Laktatleistungsdiagnostik	20
2.3.2.3 Diagnostische Kriterien einer Laktatleistungsdiagnostik	21
2.3.2.4 Gütekriterien der Laktatmessung bzw. Laktatleistungsdiagnostik	23
2.3.3 Zusammenfassung	24
<b>3 Empirischer Teil – Evaluation des COOPER-Tests aus leistungsfysiologischer Perspektive</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Problem- und Fragestellung</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Hypothesen</b>	<b>25</b>

---

<b>3.3</b>	<b>Datenerhebung</b>	<b>26</b>
3.3.1	Untersuchungsteilnehmer	26
3.3.2	Untersuchungsdurchführung	28
<b>3.4</b>	<b>Datenauswertung</b>	<b>31</b>
<b>3.5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>32</b>
3.5.1	Trainingsanamnesebögen	32
3.5.2	COOPER-Test	33
3.5.3	Laktatstufentest	35
3.5.4	Zusammenhänge und Vergleiche zwischen COOPER-Test und Stufentest	37
<b>4</b>	<b><i>Diskussion</i></b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b><i>Zusammenfassung und Ausblick</i></b>	<b>50</b>
	<b><i>Literaturverzeichnis</i></b>	<b>53</b>
	<b><i>Anhang</i></b>	<b>58</b>

---

# Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Einteilung der Laufdistanz in Leistungsgruppen und Abschätzung des Sauerstoffverbrauches für Männer (Cooper, 1970, S. 43).	3
<b>Tabelle 2:</b> Wertungstabelle zur Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Jungen über die im COOPER-Test (12-Minuten-Lauf) erreichte Streckenlänge (Grosser, Brüggemann & Zintl, 1986, S. 129).	3
<b>Tabelle 3:</b> Cooper-Testergebnisse und relative maximale Sauerstoffaufnahme bei Kindern und Jugendlichen (männlich; Apor, 1988, in Weineck, 2000, S. 189).	7
<b>Tabelle 4:</b> Absolute und relative Normwerte der $VO_2$ -max in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht (mod. nach Mocellin, 1979, in Klimt, 1992, S. 147).	10
<b>Tabelle 5:</b> Anfangsbelastungen für die Laufbandergometrie in Abhängigkeit von der aeroben Leistungsfähigkeit (Heck, 1990b, S. 116).	21
<b>Tabelle 6:</b> Deskriptive Daten der Schüler, -innen (Gruppe 1).	27
<b>Tabelle 7:</b> Deskriptive Daten der Studierenden (Gruppe 2).	27
<b>Tabelle 8:</b> Tabellarische Ergebnisse einer Laktatleistungsdiagnostik.	36
<b>Tabelle 9:</b> Ausgewählte Ergebnisse des Laktatstufentests.	36
<b>Tabelle 10:</b> Deskriptive Daten der Gruppen 1 und 2.	60
<b>Tabelle 11:</b> Deskriptive Daten des Gesamtkollektivs.	61
<b>Tabelle 12:</b> Korrelationen zwischen der Laufleistung im COOPER-Test und relevanten Variablen.	62

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Schematische Darstellung verschiedener Belastungsmodi (de Marées, 2001, S. 451).	11
<b>Abbildung 2:</b> Verhalten der $\text{VO}_2$ bei ansteigenden Belastungsverfahren (Howley, Bassett & Welch, 1995, S. 1293).	11
<b>Abbildung 3:</b> Effekt eines sechswöchigen Ausdauertrainings im Intensitätsbereich der anaeroben Schwelle (Mader et al., 1976, in Weineck 2003, S.162).	14
<b>Abbildung 4:</b> Beziehung zwischen der max. $\text{O}_2$ -Aufnahme und ihrer aeroben Ausschöpfung im Laufe des Trainingsprozesses (Åstrand & Rohdal, 1978, in Weineck, 2003, S. 170).	15
<b>Abbildung 5:</b> links: Bestimmungsmethode der aerob-anaeroben Schwelle bei einem Blutlaktatwert von 4 mmol/l (Mader et al., 1976, in de Marées, 2003, S. 464); rechts: Bestimmungsverfahren der IAS (Dickhuth et al., 1991, in de Marées, 2003, S. 468).	20
<b>Abbildung 6:</b> Laktatleistungskurve mit Schwellenbereichen (Grosser, Starischka & Zimmermann, 2001, S. 123).	22
<b>Abbildung 7:</b> Untersuchungsdesign.	28
<b>Abbildung 8:</b> Veränderung der Laufgeschwindigkeit im COOPER-Test der einzelnen UT.	34
<b>Abbildung 9:</b> Veränderung der Laufgeschwindigkeit in Prozent.	35
<b>Abbildung 10:</b> Erreichte Laufweiten in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Herzfrequenz während des COOPER-Tests und den direkt nach dem Test gemessenen Laktatwerten.	35
<b>Abbildung 11:</b> Laktat- und Herzfrequenzleistungskurve aus der Abteilung Leistungsdiagnostik des OSP Rhein-Neckar.	36
<b>Abbildung 12:</b> Zusammenhänge zwischen COOPER-Test und $v(\text{IAS})$ nach Simon/Dickhuth-Modell (links) bzw. $v(4\text{mmol})$ nach Mader (rechts).	37
<b>Abbildung 13:</b> Zusammenhänge zwischen LW und $v(\text{IAS})$ nach Simon/Dickhuth-Modell (in Bereiche eingeteilt).	38
<b>Abbildung 14:</b> Streudiagramme; links: zwischen $\% \text{VO}_2\text{-max}$ und der $v(\text{IAS})$ ; rechts: zwischen $\% \text{VO}_2\text{-max}$ und LW.	39

# 1 Einleitung

Der COOPER-Test - wer ist diesem sportwissenschaftlichen Stolperstein noch nicht begegnet? Der eine oder andere musste ihm schon als Schüler oder Vereinsmitglied, als Lehrer, Trainer oder als Wissenschaftler entgegentreten. In der Schule, noch dazu im Abitur, dient dieser Test sogar zur Notengebung bezüglich der „aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit“. Kaum ein anderer Ausdauerstest hat mehr Aufsehen und Kritik geerntet als der gefürchtete 12-Minuten-Lauf nach Cooper (1968). Jeder sportlich interessierte Mensch ist freiwillig oder unfreiwillig bereits ein- oder mehrmals über diesen Lauf „gestolpert“, aber noch keiner hat diesen Stein im Hinblick auf die Validität beseitigt. Dieser Test zählt - ungeachtet weit verbreiteter Kritik - immer noch als ein Test zur Ermittlung bzw. Abschätzung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit.

Die Validierung des COOPER-Tests ist daher die Aufgabe der vorliegenden Arbeit.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Allgemeines zum COOPER-Test

#### 2.1.1 Entstehung und Entwicklung

Dr. med. Kenneth H. Cooper, ehem. Sportmediziner, Astronautentrainer sowie Major bei der US Air Force, veröffentlichte 1968 seinen Artikel „A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake“ (dt.: „Eine Methode zur Abschätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme“). Darin validierte er den 12-Minuten-Lauf durch die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ -max). Ansporn zu dieser Untersuchung war seine Arbeit in der US-Air Force. Cooper (1970) wollte einen Test erschaffen, mit dem sehr leicht sehr viele Personen/Soldaten im Hinblick auf die Fitness beurteilt werden konnten. Er wandelte Balkes 15-Minuten Feldtest (1963, in Safrit, 1973) - nach zahlreichen Diskussionen über die Zeitdauer des Tests - zu einem 12-Minuten-Lauf um.

In dieser häufig zitierten und auswirkungsreichen Studie untersuchte Cooper 115 männliche Offiziere der US-Luftwaffe. Diese wurden zunächst dazu aufgefordert, einen 12-Minuten-Lauf zu absolvieren. Die Instruktion war, in dieser Zeit so weit wie möglich zu laufen. Im Falle der Erschöpfung sollten sie nicht stehen bleiben sondern weitergehen. In diesem Artikel fanden sich keine Angaben darüber, ob Zeitmitteilungen während des Laufens gegeben wurden, ob jede Minute und v.a. ob die letzte Mi-

nute während des Laufes angepiffen wurde. Dieser Lauftest wurde von allen Untersuchungsteilnehmern mindestens zweimal durchgeführt. Der sich anschließende Test zur Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ -max) fand spätestens drei Tage nach dem 12-Minuten-Lauf statt. Die  $VO_2$ -max wurde mittels eines Laufbandtests nach den Methoden von Taylor, Buskirk und Henschel (1955, in Cooper, 1968) und Mitchell, Sproule und Chapman (1958, in Cooper, 1968) bestimmt. Die  $VO_2$ -max wurde dann abgelesen, wenn die Sauerstoffaufnahme nicht mehr anstieg oder abzufallen begann. Dieser maximale Wert wurde als  $VO_2$ -max definiert.

Als Ergebnis der statistischen Analyse erhielt Cooper einen hochsignifikanten Korrelationskoeffizienten zwischen der  $VO_2$ -max und der Laufleistung im 12-Minuten-Lauf von .897. Cooper folgerte somit, dass die  $VO_2$ -max über die erreichte Distanz im 12-Minuten-Lauf mittels der errechneten Regressionsgleichung sehr gut abgeschätzt werden kann: „...it can be assumed that the 12-minute field performance test is an objective measure of physical fitness reflecting the cardio-vascular status of an individual” (Cooper, 1968, S. 135). Bereits in dieser Studie machte Cooper darauf aufmerksam, dass die Genauigkeit der angesprochenen Schätzung von der Motivation der Untersuchungsteilnehmer abhängig sei. Cooper (1968, S. 138) sah seinen 12-Minuten-Lauf als eine Möglichkeit an, Veränderungen in der Fitness zu eruieren: „...as a method of monitoring changes in fitness.“

Nach dieser Veröffentlichung breitete sich der Test – auch international – sehr schnell aus, da er mit einfachen Mitteln bei Individuen und größeren Gruppen angewendet werden konnte und eine scheinbar valide Auskunft über den derzeitigen Fitnessstand lieferte.

Meist wird der Test auf einer 400-Meter-Bahn durchgeführt. Es sind lediglich noch alle 100 Meter Markierungen zu positionieren, um nach dem Lauf die zurückgelegte Entfernung besser messen zu können. Als weiteres Equipment sind eine Stoppuhr und eine Trillerpfeife für das Start- und Stoppsignal nötig.

Nach dem Lauf können die Läufer dann anhand der zurückgelegten Entfernung ihre  $VO_2$ -max ablesen und die Leistungsgruppe ermitteln, der sie angehören (Tab.1). Diese Tabelle wurde zunächst nur für Männer entwickelt. Anschließend veröffentlichte Cooper spezielle Vorgaben für verschiedene Altersstufen und zusammen mit seiner Ehefrau (1972) noch weitere Vorgaben für Frauen.

Heute hat der Test für Personen beider Geschlechter im Alter von ca. 10-65 Jahren in Schul-, Vereins- und Freizeitsportgruppen Gültigkeit (Bös, 1987).

Bös (1987) und später auch Schneider (2002) bemerken, dass noch keine empirisch abgesicherten Normierungstabellen für den bundesdeutschen Raum existieren.



**Tab.1.** Einteilung der Laufdistanz in Leistungsgruppen und Abschätzung des Sauerstoffverbrauches für Männer (Cooper, 1970, S. 43).

Leistungsgruppe	Zurückgelegte Entfernung	Sauerstoffverbrauch (in ml/kg/min)
I = sehr schlecht	weniger als 1,61 km	28 oder weniger
II = schlecht	1,61 km – 2 km	28,1 – 34
III = mäßig	2 km – 2,4 km	34,1 – 42
IV = gut	2,4 km – 2,8 km	42,1 – 52
V = sehr gut	mehr als 2,8 km	52,1 oder mehr

Schneider (2002) erwähnt, dass den Sportlehrern gegenwärtig die Normwerte von Spring (1980), Kreiß (1984), Beck & Bös (1995) oder Kruber (1997) als Richtlinien zur Notengebung und zur Einschätzung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit dienen. Mädchen benötigen für die gleiche Einteilung/Note 200m weniger als Jungen. Eine Übersicht über die Normwerte findet sich bei Grosser, Brüggemann und Zintl (1986):

**Tab. 2.** Wertungstabelle zur Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Jungen über die im COOPER-Test (12-Minuten-Lauf) erreichte Streckenlänge. Für Mädchen gelten 200m weniger als bei den Jungen (Grosser, Brüggemann & Zintl, 1986, S. 129).

Alter [Jahre]	11	12	13	14	15	16	17
Kondition (Streckenlänge [m])							
Ausgezeichnet	2800	2850	2900	2950	3000	3050	3100
Sehr gut	2600	2650	2700	2750	2800	2850	2900
Gut	2200	2250	2300	2350	2400	2450	2500
Befriedigend	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100
Mangelhaft	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
Ungenügend	Weniger Meter als bei mangelhaft						

## 2.1.2 Determinanten der Laufleistung im COOPER-Test

Die Laufleistung im COOPER-Test ist nach Ulmer (2002) von mindestens vier Faktoren abhängig: Metabolismus, Lauftaktik, Lauftechnik und Motivation. D.h. dieser Test wird neben dem Metabolismus noch durch drei andere Merkmale beeinflusst.

### 2.1.2.1 Technik, Taktik und Motivation

Aus neurophysiologischer und koordinativer Sicht kann sicher belegt werden, dass eine verbesserte *Technik* bei gleicher Belastung die Energiebereitstellungsmechanismen weniger beansprucht (Neumaier & Mechling, 1999; Thews, Mutschler & Vaupele, 1999). Folglich kann mit gleichen Energiebereitstellungsprozessen schneller bzw. weiter gelaufen werden.

Ein Sportler oder Schüler, der den Test bereits mehrere Male gelaufen ist, wird aufgrund der „*taktischen Erfahrung*“ sicherlich wissen, wie er seine Kräfte einzuteilen hat (Martin, Carl & Lehnertz, 2001). Deswegen wird er bei vergleichsweise gleicher Ausdauerleistungsfähigkeit weiter laufen als sein unerfahrener Mitschüler. Bös (1985) weist aus diesem Grund darauf hin, dass der Test eine gewissen Lauferfahrung voraussetzt. De Marées (2003) postuliert in diesem Zusammenhang, dass der Test nur dann Gültigkeit besitzt, wenn die Laufgeschwindigkeit während der zwölf Minuten konstant gehalten wird.

Die Taktik hängt auch stark von der Durchführungsobjektivität ab, welche in vielen Studien immer noch recht uneinheitlich ist (vgl. Ulmer, 2002). Beispiele für eine uneinheitliche Testanweisung sind folgende Fragestellungen: Wird jede Minute angepiffen? Wird nur die letzte Minute angepiffen? Werden die Rundenzeiten durchgesagt? Wird mit Uhr gelaufen?

Dasselbe gilt für die *Motivation*. Um adäquate Aussagen über Leistungsverbesserungen anhand des COOPER-Tests tätigen zu können, müssen z.B. Schüler die beiden Läufe bei stets gleicher Motivationslage gelaufen sein. Auf dieses Problem weisen sehr viele Autoren, u.a. Gerisch (1990) sehr pointiert hin. In seiner Studie verbesserten sich zwar die Laufleistungen im COOPER-Test nach einem 6-wöchigen Vorbereitungstraining für Fußballer. Die begleitenden Laktatmessungen - die Laktatkonzentrationen erhöhten sich ebenfalls - enttarnten jedoch lediglich eine höhere Anstrengungs- bzw. vermehrte Mobilisierungsbereitschaft: interindividuell unterschiedliche Laufleistungen können allein durch unterschiedliche Motivationsgrade zustande kommen, und ableitende Aussagen zum Metabolismus bzw. zur Ausdauerleistungsfähigkeit sind hier völlig ungeeignet. Deswegen fordert auch Weineck (2003, S. 190), dass der Sportler bei „stets gleicher (höchster) Motivation“ laufen muss, um die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit abschätzen zu können.

### **2.1.2.2 Metabolismus**

Die „metabolische“ Gretchenfrage des COOPER-Tests, die sich auf dessen Validität bezieht, lautet: Misst der 12-Minuten-Lauf direkt die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit oder sind auch anaerobe Komponenten an der Leistung beteiligt?

Aufgrund der Laufzeit von zwölf Minuten kann der Lauf der Mittelzeitausdauer zugeordnet werden, die per definitionem zwischen 10 und 30 Minuten liegt (Hollmann & Hettinger, 2000; Martin et al., 2001; Hohmann, Lames & Letzelter, 2003). Dabei sind die anaeroben Anteile an der Energiebereitstellung zwar geringer als bei der Kurzzeitausdauer (3-10 Minuten), aber immer noch beträchtlich. Neumann (1984, in Martin et al., 2001) geht von 30-40% aus. Solche Angaben sind jedoch kritisch zu be-

trachten (vgl. Hohmann et al., 2003), da diese enorm interindividuell variieren können.

Für einen höheren anaeroben Anteil beim COOPER-Test sprechen die von Gerisch (1990) ermittelten durchschnittlichen Laktatkonzentrationen von 9,06 und 10,87 mmol/l. Die maximale Laktatkonzentration eines Spielers in der genannten Studie lag sogar bei 15,7 mmol/l. D.h. dass Sportler während des 12-Minuten-Laufs eine höchste Azidose entwickeln können.

Dass selbst bei gleicher (höchster) Motivation gleiche Laufleistungen nicht auf dieselbe metabolische Beanspruchung zurückzuführen sind, machen ebenfalls die Ergebnisse von Gerisch (1990) verständlich: Zwei Spieler erreichten Laufweiten von 3370 und 3320 Metern. Betrachtet man nur die Laufweiten, würde man beiden Spielern etwa dieselbe „Ausdauerleistungsfähigkeit“ zuschreiben. Die unterschiedlichen Laktatwerte von 6,4 und 14,6 mmol/l verurteilen diese Bewertung aufs Schärfste, denn hier sind starke Differenzen im Beanspruchungsgrad anaerober Prozesse ersichtlich.

Dasselbe Schema kann auch intraindividuell längsschnittlich durchgespielt werden (Gerisch, 1990): Ein Spieler erreichte in beiden Tests ähnliche Weiten (2775 und 2785 Meter) mit unterschiedlichen Laktatkonzentrationen (10 und 7 mmol/l). Bei einer alleinigen Interpretation der Laufweiten ist dem Spieler keine Verbesserung der Ausdauer zu bescheinigen, beachtet man hingegen zusätzlich die Laktatwerte, müsste man anders argumentieren: Hier ist deutlich zu erkennen, dass bei gleicher Belastung die anaeroben Prozesse im 2. Test weniger beansprucht werden; somit haben sich die aeroben verbessert. Coopers Fazit (Cooper, 1968, S. 138) zu seinem 12-Minuten-Lauf, er könne Veränderungen in der Fitness eruieren „...as a method of monitoring changes in fitness“ (vgl. 2.1.1), muss somit negiert werden.

Deswegen ist der COOPER-Test ohne begleitende Laktatmessung neben Aussagen zur Ausdauerleistungsfähigkeit auch nicht zur gezielten Trainingssteuerung brauchbar (Gerisch, 1990; Weineck, 2000).

Die erhebliche Leistungsdetermination durch anaerobe Anteile wird durch Studien von Schneider (2002) und Bodden (2002) weiter gestützt. Sie konnten beobachten, dass die Jungen im Vergleich zu den Mädchen ab ca. 14 Jahren ihre Laufweite besonders auffällig verbessern konnten. Es ist bekannt, dass sich die anaerobe Kapazität v.a. durch erhöhte Testosteronspiegel entwickelt (Weineck, 2003). Da die Testosteronkonzentration bei Jungen ab der Pubertät (Beginn ca. 12.-14. Lebensjahr) erheblich ansteigt, verbessert sich begleitend dazu die Durchsatzrate der Glykolyse (vgl. de Marées, 2003). So liegt der Schluss nahe, dass verbesserte anaerobe Kapazitäten massiven Einfluss auf die Laufleistung im COOPER-Test nehmen und diese zu einem großen Anteil determinieren.

### 2.1.3 Kenntnisstand zu den Gütekriterien des COOPER-Tests

*Objektivität:* Im Handbuch sportmotorischer Tests von Bös (1987) werden keine Angaben zur Objektivität gemacht.

*Reliabilität:* Die Reliabilitätskoeffizienten variieren nach Safrit (1973) zwischen .82 und .95. Der Test ist reliabel für Männer und Frauen, Jungen und Mädchen.

*Validität:* In dem oben angesprochenen Artikel von Cooper (1968) und dem 1970 veröffentlichten Buch „Bewegungstraining – praktische Anleitung zur Steigerung der Leistungsfähigkeit“ von Cooper werden viele verschiedene Begriffe für das, was der Test messen soll, verwendet. Es werden die weit gefassten und zum Teil schlecht definierbaren Begriffe „kardio-vaskulärer Zustand“, „kardiopulmonale Ausdauer“, „Fitness“, „körperliche Verfassung“, „Gesundheitszustand“, „Herz-Kreislauf-Zustand“ und „Ausdauer“ herangezogen. Im Artikel selbst (Cooper, 1968) wird nicht explizit auf die aerobe Ausdauer als Untersuchungskriterium verwiesen. Es scheitert schon an der Begrifflichkeit dessen, was der Test eigentlich messen soll. Dennoch wird der COOPER-Test in der sportwissenschaftlichen Literatur als Test zur Messung/Abschätzung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (vgl. Bös, 1987; Martin et al., 2001; de Mairées, 2003; Weineck, 2003) verwendet. Im Folgenden sei deshalb ein Überblick über die Angaben zur Validität gegeben:

Die bekanntesten Untersuchungen zur Validierung (Kriterium:  $VO_2$ -max) sind die Studien von Doolittle und Bigbee (1968) sowie Maksud und Coutts (1971). Sie errechneten Korrelationskoeffizienten zwischen der zurückgelegten Distanz beim 12-Minuten-Lauf und der  $VO_2$ -max zur Validierung von .90 bzw. .70. Dabei wurde in der Studie von Doolittle & Bigbee (1968) die  $VO_2$ -max auf einem Fahrradergometer bestimmt, was die Aussage zur Validität genauso fragwürdig erscheinen lässt (vgl. 2.2.2), wie der technische Standard zum Zeitpunkt der Studie.

In einer Übersicht nach Safrit (1973) liegen die Korrelationskoeffizienten zur Validierung mit der  $VO_2$ -max zwischen .65 – .90. Bei Bös (1987) beläuft sich gar der niedrigste Korrelationskoeffizient auf .34. Nach weiteren Recherchen fielen in der Übersicht von Shephard und Åstrand (1993) sogar Koeffizienten von .28 ( $r^2 = .078$ ; bzw. 7,8% Varianzaufklärung) auf. Das bedeutet in diesem Fall, die Laufleistung im COOPER-Test wird nur zu 7,8% von denselben Merkmalen bestimmt, die auch die  $VO_2$ -max determinieren.

Abgesehen von diesen teilweise empirisch verwerflichen Koeffizienten zur Kriteriumsvalidierung, stellt sich die Frage, ob die  $VO_2$ -max überhaupt ein geeignetes Kriterium zur Überprüfung der Validität in Bezug auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ist.

Bezüglich der Validität des COOPER-Tests mittels  $VO_2$ -max ist die Beobachtung von Apor (1988, in Weineck, 2000, S. 188) interessant. Er konnte zeigen, dass sich die relativen maximalen Sauerstoffaufnahmewerte bei Kindern und Jugendlichen im Altersgang kaum veränderten, während sich die Cooper-Testwerte deutlich verbesserten:

**Tab. 3.** Cooper-Testergebnisse und relative maximale Sauerstoffaufnahme bei Kindern und Jugendlichen (männlich; Apor, 1988, in Weineck, 2000, S. 189).

Alter [Jahre]	Strecke im Cooper-Test (Mittelwerte [m])	Zahl der Probanden	Maximale Sauerstoffaufnahme (Mittelwerte [ml/(kg/min)])	Zahl der Probanden
11-12	2585 ± 18	127	56,0 ± 1,97	16
13	2595 ± 21	113	57,8 ± 2,3	15
14	2793 ± 17	156	51,4 ± 1,8	21
15	2800 ± 24	78	56,0 ± 1,2	31
16	2938 ± 15	140	58,6 ± 1,2	37
17	3021 ± 18	141	56,9 ± 1,3	33
18	2924 ± 52	12	-	-

Die Tab. 3 widerspricht Coopers Validitätskriterium ( $VO_2$ -max) deutlich. Cooper (1968) führte zwar den Test mit Erwachsenen durch, wobei auch die Laufleistung im Test mit der  $VO_2$ -max in einem gewissen Rahmen korrelierten (vgl. auch Weineck, 2000). Dennoch beschreibt Bös (1987) einen Gültigkeitsbereich des COOPER-Tests von 10-65 Jahren. Die Daten von Apor (1988) zeigen, dass eben keine Korrelation zwischen der  $VO_2$ -max bzw. der relativen  $VO_2$ -max (rel.  $VO_2$ -max) und der Laufweite im COOPER-Test besteht. Bei untrainierten Mädchen wurden sogar leicht abnehmende Tendenzen der rel.  $VO_2$ -max mit ansteigendem Alter beobachtet (Klimt, 1992; vgl. Tab. 4 auf S. 10).

Folglich dürften keineswegs über die Laufleistung die  $VO_2$ -max-Werte abgeschätzt oder gar Bezüge zur aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit hergestellt werden.

Trotz aller Kritikpunkte wird dieser Test immer noch aufgrund seiner Praktikabilität und hervorragenden Testökonomie (einfache Durchführung und Auswertung) verwendet (vgl. Bös, 1987). Diesen Eigenschaften kann auch nicht widersprochen werden. Deswegen scheint wahrscheinlich die „Tabuzone“ Validität zugunsten einer „unterrichtstauglichen Kontrollmaßnahme“ (Bodden, 2002, S. 279) in den Hintergrund gerückt zu werden. Bös (1987, S. 295) schreibt: „1 VL [Versuchsleiter; Anm. d. Verf.] kann eine Schulklasse problemlos in einer Unterrichtsstunde testen.“ Man begnügt sich damit und die betroffenen Schülerinnen und Schüler, die sich 12 Minuten lang quälen, werden aus Sicht der Notengebung (benotet wird die allgemeine aerobe

Ausdauer) falsch bewertet. Letztendlich misst man „also lediglich die Fähigkeit, über 12 Minuten möglichst weit laufen zu können“ (Ulmer, 2002, S. 222).

Der COOPER-Test wurde bisher in sehr vielen Studien mit der  $VO_2$ -max validiert. In der bisher veröffentlichten Literatur findet sich lediglich eine Studie (Weiler, Hock, Klenk, Kullmer & Kindermann, 1985), die Laktatmessungen zur Validierung verwendete. Sie korrelierte die COOPER-Test-Leistung mit der Leistung an der 4mmol-Schwelle und an der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) - Indikatoren der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit - und fand Korrelationskoeffizienten von .75 (4mmol-Schwelle) bzw. .89 (IAS nach Stegmann).

Zum Verständnis der in diesen Studien eingesetzten Messparameter ( $VO_2$ -max vs. Laktat), zu ihren Vor- und Nachteilen sowie zur Praktikabilität der Messungen sollen diese eingehender beleuchtet werden.

## 2.2 Die maximale Sauerstoffaufnahme

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ -max; früher: „vita maxima“, Hollmann & Hettinger, 2000) ist einer der am häufigsten verwendeten Parameter in der Leistungsphysiologie und eine bedeutende Kenngröße der körperlichen Leistungsfähigkeit. Hill führte sie bereits zwischen 1922 und 1925 ein. Sie gibt wichtige Hinweise bei Patienten (z.B. über koronare Herzerkrankungen oder Ventilationsstörungen) und bei Sportlern über die Qualität des kardiopulmonal-metabolischen Systems.

Sie „bezeichnet die maximale Menge an Sauerstoff, die bei schwerer körperlicher Arbeit aufgenommen werden kann“ (Meyer & Kindermann, 1999, S. 285) und „repräsentiert das maximale Transportvermögen von Sauerstoff aus der Luft zur Arbeitsmuskulatur“ (Shephard, 1993, S. 191). Gemessen wird sie in l/min. Untrainierte erreichen Werte von 3-3,5 l/min, Ausdauertrainierte (z.B. Skilangläufer oder Radfahrer) hingegen können Werte zwischen 6 und 7 l/min erreichen (Hollmann, Liesen & Mader, 1989).

Sie gilt nach wie vor in der einschlägigen Literatur als „Bruttokriterium“ der „kardiopulmonal-metabolischen Kapazität“ (Hollmann et al., 1989) bzw. der „allgemein aeroben dynamischen Ausdauerleistungsfähigkeit“ (Heck, 1990b; Weineck, 2000).

Der Begriff „Bruttokriterium“ meint, dass ihr Wert alle zur Erbringung der Ausdauerkapazität benötigten physiologischen Mechanismen beinhaltet. Diese sind in drei große Bereiche gegliedert (vgl. Meyer & Kindermann, 1999):

- Ventilation und Gasaustausch in der Lunge  
(Distribution, Diffusion, arteriovenöse  $O_2$ -Differenz, hypoxische Vasokonstriktion...)

- Transportleistung des Kreislaufs und O<sub>2</sub>-Transportkapazität des Blutes (Erythrozyten, Hämoglobin, Herzminutenvolumen, Blutvolumen, Blutumverteilung...)
- Blutversorgung in der Muskulatur, Gasaustausch im Muskel und metabolische Kapazität (Kapillarisation, Myoglobin, Mitochondriendichte, Enzymaktivitäten, Substrate, Kapazität der katabolen Stoffwechselwege, Phosphagenspeicher, Pufferkapazitäten, transmembranöse Transportsysteme...)

Vor diesem Hintergrund ist zu erwähnen, dass bei gesunden Menschen die alveoläre Ventilation und die Diffusionskapazität im Allgemeinen nicht als Leistungslimiten gelten (vgl. Heck, 1990b). Viele Autoren begründen diesen Sachverhalt damit, dass der Atemgrenzwert („AGW“; maximale Atemkapazität) stets höher ist als die Ventilation in einer Minute bei maximaler Belastung.

Die Lunge arbeitet demnach beim Gesunden selbst bei maximaler Ausbelastung nicht an ihrem Limit, weshalb auch nur recht geringe trainingsbedingte Adaptationen bestehen (Hollman & Hettinger, 2000).

Aus der Geschichte der Leistungsdiagnostik (vgl. Hollmann, 1999; Hollmann & Hettinger, 2000) ist herauszulesen, dass schon 1953 – ab dieser Zeit wurde die VO<sub>2</sub>-max wissenschaftlich korrekt und fundiert während einer Spiroergometrie eingesetzt – entscheidende Schwachstellen der VO<sub>2</sub>-max-Messung bemerkt wurden:

- Ihre Bestimmung war stark von der Motivation des Patienten abhängig, da sie nur in der Phase der völligen Ausbelastung gemessen werden konnte.
- Deswegen ergaben sich bei Patienten während der Messung auch gehäuft Zwischenfälle.

### **2.2.1 Die relative maximale Sauerstoffaufnahme**

Da die Werte der VO<sub>2</sub>-max in Abhängigkeit von Größe, Gewicht und auch vom Körperfettanteil (stoffwechselarmes Gewebe) des Individuums variieren, ist es ratsam, bei inter- und intraindividuellen Vergleichen die Sauerstoffaufnahme auf das Körpergewicht zu beziehen (=relative VO<sub>2</sub>-max; rel. VO<sub>2</sub>-max): Normwerte für Frauen sind 35-40 ml/kg/min, für Männer 40-45 ml/kg/min. Hochtrainierte Ausdauerathleten (wie z.B. Langläufer) können Spitzenwerte von bis zu 80 ml/kg/min (vgl. Martin et al., 2001, S. 182) verstoffwechseln.

Die VO<sub>2</sub>-max erhöht sich bei Kindern und Jugendlichen kontinuierlich im Altersgang bis zum Erwachsenenalter, wobei deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede

auftreten. Bemerkenswert ist dabei, dass die rel.  $VO_2$ -max bei Jungen unverändert bleibt, bei Mädchen sogar abfallende Tendenzen zeigt.

**Tab. 4.** Absolute und relative Normwerte der  $VO_2$ -max in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht (mod. nach Moccellini, 1979, in Klimt, 1992, S. 147).

Alter (Jahre)	Jungen: $VO_2$ -max (in l/min)	Jungen: rel. $VO_2$ -max (in ml/min/kg)	Mädchen: $VO_2$ -max (in l/min)	Mädchen: rel. $VO_2$ -max (in ml/min/kg)
5,5	0,93	45	0,83	42
11,5	1,65	45	1,47	39
17,5	2,81	45	1,87	35

## 2.2.2 Die leistungsdiagnostische Messung der $VO_2$ -max

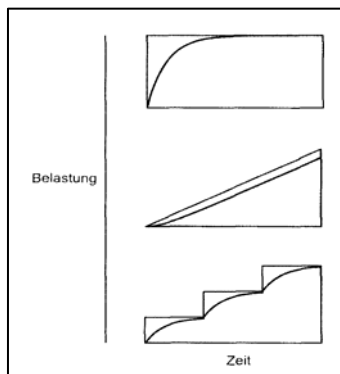
Die  $VO_2$ -max wird bei spiroergometrischen Belastungen mit erheblichem apparativem Aufwand unter Einsatz möglichst großer Muskelmassen (z.B. Laufbandergometrie, weniger Fahrradergometrie) bestimmt. Meyer und Kindermann (1999) betonen, dass die  $VO_2$ -max stark von der Art der Belastung abhängt: Je mehr Muskeln beteiligt sind, desto größer ist auch die maximale Sauerstoffaufnahme. Auch de Mairées (2003) schreibt, dass die  $VO_2$ -max-Werte, die auf dem Laufband erreicht werden, um ca. 10% höher liegen, als auf dem Fahrradergometer. In solchen Fällen sollte nicht mehr von  $VO_2$ -max gesprochen werden, sondern von „ $VO_2$ -peak“ (Bergh, Ekblom & Åstrand, 2000). Auch Heck (1990b) weist darauf hin, dass das „levelling-off“ der Sauerstoffaufnahme, das zur Bestimmung der  $VO_2$ -max nötig ist, nur selten auf dem Fahrradergometer beobachtet wird.

Die Messungen gelten als die aufwendigsten in der Leistungsdiagnostik: Messfehler sind nicht nur wegen des apparativen Aufwandes sehr wahrscheinlich. Bei sehr intensiven Belastungen ist weiterhin z.B. durch Speichelproduktion und Erschütterung der Atemgasmaske mit Messungenauigkeiten von 5% zu rechnen (Meyer & Kindermann, 1999).

Es gibt sehr viele verschiedene Belastungsprotokolle (vgl. Howley, Bassett & Welch, 1995) mit dem Ziel, das „levelling-off“ der Sauerstoffaufnahme (Abb. 2) zu erreichen und damit die  $VO_2$ -max eindeutig bestimmen zu können.

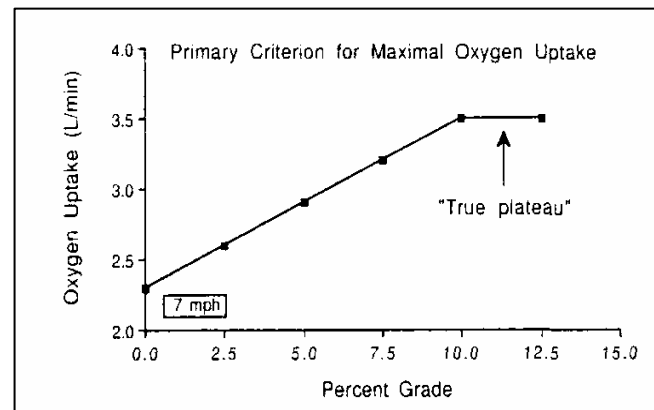
Vorzugsweise werden 8-15-minütige trianguläre bzw. rampenförmige Belastungsprotokolle eingesetzt (Abb. 1), bei denen bspw. die Geschwindigkeit, oft auch noch der Anstiegswinkel des Laufbandes stetig ansteigen. Mit Hilfe solcher Protokolle erreicht man kein steady-state von physiologischen Parametern und kann so den Organismus angeblich besser ausbelasten, was die Grundlage für  $VO_2$ -max-Messungen ist.





**Abb. 1.** Schematische Darstellung verschiedener Belastungsmodi: oben: rektangulär (kontinuierlich); Mitte: triangulär (rampenförmig); unten: rektangulär-triangelär (stufenförmig; de Marées, 2001, S. 451).

**Abb. 2.** Verhalten der  $\text{VO}_2$  bei ansteigenden Belastungsverfahren. Deutlich zu erkennen ist das Plateau in der Sauerstoffaufnahme, das „true plateau“ bzw. „levelling-off“. (Howley, Bassett & Welch, 1995, S. 1293).



Bei Jeschke et al. (1983) wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Belastungszeiten pro Stufendauer auf ventilatorische Parameter untersucht. Diese Parameter waren umso größer (größere Ausbelastung), je kürzer die Stufendauer war. Dies spricht für möglichst kurze Belastungszeiten bzw. stetig ansteigende Protokolle im Sinne o.g. physiologischer Folgen. Duncan, Howley und Johnson (1997) entgegnen aber, dass auch zahlreiche Untersuchungen existieren, die keine Evidenz für die Überlegenheit von kontinuierlichen gegenüber intermittierenden Protokollen auffinden konnten.

Wie bereits weiter oben beschrieben, v.a. bei der Fahrradergometrie, tritt das „levelling-off“ der Sauerstoffaufnahme (trotz objektiver und subjektiver Erschöpfung aufgrund muskulärer Ermüdung) allerdings oft nicht auf, und eine Interpretation bzw. Messung der  $\text{VO}_2$ -max wird zweifelhaft (Shephard, 1993). Bassett und Howley (2000) berichten sogar von einem Fehlen des „levelling-off“ in 50% der Fälle.

Mögliche objektive Ausbelastungskriterien neben dem „levelling-off“ der Sauerstoffaufnahme können noch sein (vgl. Hollman & Hettinger, 2000):

- Laktat > 8 mmol/l (kann auch in der Nachbelastungsphase sein)
- 90% der maximalen Herzfrequenz (für das Laufband: 220 – Lebensalter)
- steiler Anstieg des Atemäquivalents ( $\text{A}\ddot{\text{A}}$ ):  $\text{A}\ddot{\text{A}} > 30-35$  (bei Stegemann, 1984 sogar:  $\text{A}\ddot{\text{A}}$ : 40 – 50)
- respiratorischer Quotient (RQ) > 1,1
- Borg-Skala > 16

So können also selbst bei Ausbleiben eines „echten Plateaus“ der  $VO_2$  andere sogenannte sekundäre Kriterien beurteilt werden, um dennoch eine  $VO_2$ -max zu bestimmen. Eine Übersicht über die breit gefächerte und widersprüchliche Diskussion, wann von diesen Parametern auf eine  $VO_2$ -max geschlossen werden darf, geben Howley et al. (1995) in ihrem Review.

Dennoch wird die  $VO_2$ -max – auch aus finanziellen und ökonomischen Gesichtspunkten – ebenso bei rektangulär-triangularen (stufenförmigen) Belastungsprotokollen bestimmt. Bei diesen Protokollen ist es möglich, auch gleichzeitig viele andere physiologische Parameter (z.B. Laktat, Herzfrequenz) aufgrund von steady-state Beanspruchungen aussagekräftig zu messen.

Angesichts oben genannter Schwierigkeiten schließen einige Autoren sogar von indirekten Verfahren auf die  $VO_2$ -max: Margaria (1963) oder Pugh (1970, in Hollmann & Hettinger, 2000) berechneten sie z.B. durch die erreichte maximale Belastung in Watt auf dem Fahrradergometer oder die maximale Geschwindigkeit auf einem Laufband mittels Regressionsgleichung.

### **2.2.3 Diskussionsbeiträge zur $VO_2$ -max unter dem Aspekt der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit**

Die  $VO_2$ -max als Indikator für die Ausdauerleistungsfähigkeit ist nach wie vor sehr umstritten und die aufgekommene Diskussion sehr umfangreich und langwierig – erste kritische Anmerkungen wurden nach Boutellier und Spengler (1999) bereits 1979 laut.

Boutellier und Spengler (1999, S. 118) stellten fest, dass einige Fakten „gegen die  $VO_2$ -max als gutes Maß für die Ausdauerleistungsfähigkeit sprechen“:

#### **Ursprünglicher Gedanke der $VO_2$ -max**

Howley et al. (1995, S. 1293) argumentieren, dass die  $VO_2$ -max ursprünglich dazu geeignet ist, funktionelle Defizite des kardiopulmonalen Systems aufzudecken und diese nach ihrem Schweregrad zu beurteilen. Es war zunächst die Diagnostik im pathologischen, nicht im leistungsphysiologischen Sinn, die von  $VO_2$ -max-Messungen profitieren sollte (Hollmann, 1999). Nicht zuletzt entscheiden Untersuchungen zur Bestimmung der  $VO_2$ -max wie z.B. bei schweren Herzinsuffizienzen (Werte  $< 14$  ml/kg/min) über Transplantationsindikationen. Gerade bei gesunden Sportlern und Schülern sind bestimmte Aspekte der  $VO_2$ -max (wie z.B. die Ventilation) nicht leistungslimitierend. Der eigentliche leistungslimitierende Faktor der Ausdauerleistungsfähigkeit, der Zellmetabolismus der Muskulatur sowie dessen Adaptationen können

von der  $VO_2$ -max und ihren Veränderungen nur unzureichend widergespiegelt werden (Poole & Gaesser, 1985).

Der apparative Aufwand der entsprechenden Messungen ist erheblich und beinhaltet viele Möglichkeiten, Messfehler zu generieren (vgl. 2.2.2). Die Messergebnisse variieren z.T. stark, was sich negativ auf die Reliabilität und Validität auswirkt.

Bei diesen Untersuchungen spielt die Motivation des zu Untersuchenden eine bedeutende Rolle (s. S. 9), sodass auch aufgrund anderer Ursachen das zur Beuteilung der  $VO_2$ -max nötige „levelling-off“ oft ausbleibt.

### **Die $VO_2$ -max im Zusammenspiel mit dem anaeroben Metabolismus**

Erfahrungen der Abteilung Leistungsphysiologie und Leistungsdiagnostik des Olympiastützpunktes Rhein-Neckar zeigen, dass sich die  $VO_2$ -max nach der Trainingsperiode der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung und nicht nach dem Grundlagentraining noch steigern lässt (Jost, mündl. Mitt.). Dies rührt daher, dass in solchen Perioden beim Training die höchsten Intensitäten (Intervall- und Wiederholungsmethoden) eingesetzt werden. Es findet ein stark wettkampfspezifisches und höchst anaerobes Training statt, um überhaupt noch Adaptationsprozesse beim Sportler auszulösen (Martin et al., 2001):

Ein anaerob ausgerichtetes Training verbessert bspw. bestimmte Enzymaktivitäten (v.a. Phosphofruktokinase, PFK) und die maximale Durchsatzrate der Glykolyse (=anaerob), wie Heck (1990b) schreibt. Auch wird die Laktattoleranz bei intensiven Belastungen erhöht. Dies führt zum Einen zu vermehrten Ansammlungen von Stoffwechselmetaboliten, die z.T. ventilationssteigernde Wirkung besitzen. Zum anderen fällt intrazellulär der Sauerstoffpartialdruck stärker ab. Folglich kann mehr Sauerstoff ( $O_2$ ) aus den Kapillaren in die Zelle diffundieren. Die gestiegene arterio-venöse Sauerstoffdifferenz, die die weitere Aufnahme von  $O_2$  in den Lungenkapillaren antreibt, steigt an. Diese physiologischen Hintergründe lassen sich durch die Studie von Poole und Gaesser (1985) untermauern. Sie stellten fest, dass ein Intervalltraining (10 x 2 Minuten; 3 Tage/Woche für 8 Wochen) bei Intensitäten von 105%  $VO_2$ -max die  $VO_2$ -max signifikant erhöhte.

Wie kann demnach legitim von der  $VO_2$ -max auf die aerobe Grundlagenausdauer geschlossen werden, wenn sich die Validität auch wesentlich auf anaerobe Anteile bezieht, bzw. wenn sie sich durch ein anaerob ausgerichtetes Training verbessert?

Ähnlich argumentieren Boutellier und Spengler (1999, S. 119):

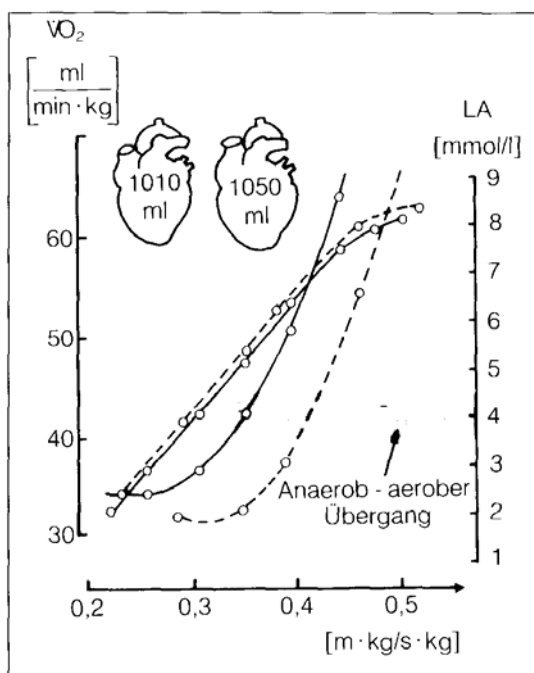
„Die Leistung, die zur Bestimmung der  $VO_2$ max benötigt wird, befindet sich allerdings deutlich oberhalb der anaeroben Schwelle. Das heißt, zur aeroben Energiegewinnung kommt die anaerobe hinzu.“ Dieselbe Meinung vertritt auch Heck (1990b).

Jost (mündl. Mitt.) weist ihr deshalb den Begriff „Gesamtausdauerkapazität“ zu, um sie dadurch strikt von der Grundlagenausdauer (bestimmt durch IAS) abzugrenzen. Diese Trennschärfe wird auch in einem seiner Artikel (Jost, Friedmann, Dorsch, Jalak & Weiß, 1996, S. 3) deutlich: „Während die  $VO_2$ max-Werte [...] die Sportart Basketball Ausdauersportarten gleichstellen, [...] die Ausdauerschwelldwerte [gemeint sind hier IAS-Werte; Anm. d. Verf.] liegen nur selten im Bereich typischer Ausdauersportarten.“

Als Fazit lässt sich feststellen, dass Messungen der  $VO_2$ -max, die bei höchsten Azidosen stattfinden, durch anaerobe Anteile oder vielmehr durch anaerobe Leistungsfähigkeiten determiniert werden.

### Veränderungen der $VO_2$ -max nach aerobem Training

In diesem Zusammenhang soll nun der Effekt eines kurzfristigen aeroben Ausdauertrainings auf die  $VO_2$ -max erörtert werden. Auch hier zeigen sich interessante Ergebnisse.



Mader et al. (1976) resümierten, dass ein sechswöchiges Ausdauertraining im Intensitätsbereich der anaeroben Schwelle die IAS eminent verbessert (Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve), wohingegen die  $VO_2$ -max relativ konstant bleibt.

**Abb. 3.** Effekt eines sechswöchigen Ausdauertrainings im Intensitätsbereich der anaeroben Schwelle; durchgezogene Linie:  $VO_2$ - und Laktatkurve vor dem sechswöchigen Ausdauertraining; gestrichelte Linie:  $VO_2$ - und Laktatkurve nach sechswöchigem Ausdauertraining (Mader et al. 1976, in Weineck 2003, S.162).

Hollmann und Hettinger (2000, S. 362) kommentierten dieses Ergebnis: „Die sportartspezifische Leistung konnte dadurch verbessert werden, ohne dass dies mit einer gestiegenen maximalen  $O_2$ -Aufnahme zu belegen gewesen wäre.“ Pfitzinger und Freedson (1998, S. 349) beziehen sich auf eine Studie von Daniels, Yarbrough und Foster (1978) mit derselben Intention: „Studies [...] observed that running performance continued to improve after  $VO_{2max}$  failed to improve.“ Stellvertretend für diese Ausführungen soll bspw. noch die Studie von Denis, Fouquet, Poty, Geysant und Lacour (1982) stehen. Sie brachten in Erfahrung, „that 40 weeks of endurance training

significantly increased anaerobic threshold (from 72 to 79%  $VO_{2max}$ ) without significantly elevating  $VO_{2max}$ " (Henritze, Weltman, Schurrer & Barlow, 1985, S. 86).

Prinzipiell ähnliche Ergebnisse konnte eine Studie von Madsen, Pederson und Djurhuus (1993) belegen, die die Effekte eines vierwöchigen „Detrainings“ (Trainingspause) verfolgten. Auch hier veränderte sich die  $VO_{2max}$  nicht, die Ausdauerleistungsfähigkeit sank dennoch signifikant um 21%.

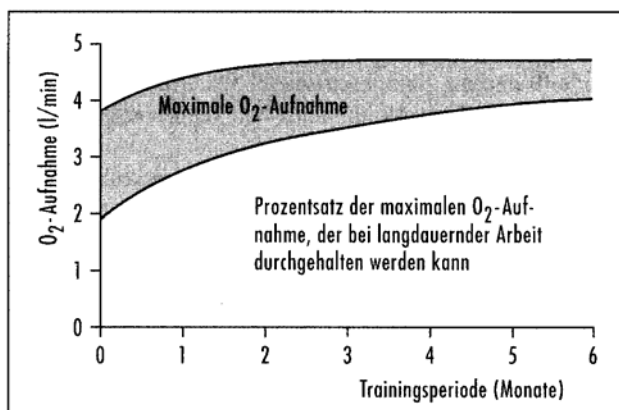
Diese Beispiele sollen Diskussionsanregungen geben, ob die  $VO_{2max}$  wirklich ein valider und v.a. sensibler Parameter für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ist. Nach der Beurteilung der einschlägigen wissenschaftlichen Studien kann die  $VO_{2max}$  dies nicht leisten.

### Die prozentuale aerobe Ausschöpfung der $VO_{2max}$

Die vorangegangenen Aussagen beinhalten bereits ein bedeutendes Phänomen im Zusammenspiel zwischen  $VO_{2max}$  und IAS:

Die  $VO_{2max}$  wird sich im Laufe eines *aeroben* Ausdauertrainings nur unwesentlich verbessern. Viel auffälliger und bedeutender ist jedoch die Verbesserung der aeroben Ausschöpfung der  $VO_{2max}$

(= $\%VO_{2max}$ )<sup>1</sup> und gilt in der einschlägigen Literatur als bestätigt und akzeptiert (vgl. Abb. 4).



**Abb. 4.** Beziehung zwischen der max. O<sub>2</sub>-Aufnahme und ihrer aeroben Ausschöpfung im Laufe des Trainingsprozesses (Åstrand & Rohdal, 1978, in Weineck, 2003, S. 170).

Dieser Prozentsatz der  $VO_{2max}$ , der aerob ausgeschöpft werden kann, entspricht der IAS. „Die anaerobe Schwelle gibt Auskunft über die Auswirkungen des Trainings auf den nutzbaren Anteil der maximalen Sauerstoffaufnahme für Ausdauerbelastungen“ (Weineck, 2003, S. 169). Damit verbessert sich also weniger die  $VO_{2max}$  selbst, als vielmehr - durch eine verbesserte IAS - ihre aerobe Ausschöpfung. Weineck (2003, S. 169) resümiert deshalb: „Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist also nicht allein von der endogen festgelegten maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit, sondern in ausgeprägtem Maße auch von der Fähigkeit ihrer möglichst hohen Aus-

1  $\%VO_{2max}$ : Prozentanteil der maximalen Sauerstoffaufnahme von der  $VO_{2max}$  bei einer steady-state Blutlaktatkonzentration; dient als Indikator dafür, wieviel Prozent der  $VO_{2max}$  frei von Netto-Laktatbildung ist (Bleicher, Mader & Mester, 1999, S. 72).

schöpfung abhängig.“ Hervorragend Ausdauertrainierte können ihre  $VO_2$ -max zu 80-90% aerob ausschöpfen, wohingegen bei untrainierten Personen dieser Bereich bei ca. 40-60% liegt (vgl. Billat, 1996; Hohmann et al., 2003).

Åstrands (1993) Untersuchungen ergaben, dass Marathonläufer der Spitzenklasse nicht unbedingt höchste  $VO_2$ -max aufweisen müssen. Vielmehr kommt es auch bei ihnen darauf an, ihre  $VO_2$ -max mit einem „möglichst hohen Prozentsatz ihrer maximalen Leistungsfähigkeit ohne Akkumulation von Laktat und Wasserstoffionen“ (Åstrand, 1993, S. 26) auszuschöpfen. Die alleinige Bestimmung der  $VO_2$ -max ist also nicht ausreichend. Besser wäre es, den Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme zu bestimmen, „bei welchem die vermehrte Laktatbildung einsetzt“ (Hollmann & Hettinger, 2000, S. 364), um die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit beurteilen zu können.

Hohe  $VO_2$ -max-Werte in ausdauerbetonten Sportarten sind weniger auf das Training, sondern vielmehr auf genetische Anteile (z.B. ST-Faseranteil) zurückzuführen (Hohmann et al., 2003).

Hollmann und Hettinger (2003, S. 129) bestätigen: „Die maximale Sauerstoffaufnahme, das Bruttokriterium der kardiopulmonalen Kapazität, wird hochgradig vom Erbgut bestimmt“ und ist nur bedingt trainierbar; ganz im Gegensatz zur ihrer prozentualen aeroben Ausschöpfung. Die prozentuale aerobe Ausschöpfung der  $VO_2$ -max ist ein wesentlich sensibleres Kriterium zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit.

Für die oben beschriebenen Erkenntnisse sprechen auch die folgenden Zitate:

- „Der früher vielfach gezogene, vereinfachende Schluss – Größe der maximalen Sauerstoffaufnahme gleich Ausdauerleistungsfähigkeit – ist heute nicht mehr haltbar“ (Hollmann & Hettinger, 2000, S. 331).
- Heck (1990b, S. 13) weist auf die Euphorie *vergänger* Tage hin: „bis in die 60er Jahre galt die maximale Sauerstoffaufnahme als validestes Kriterium zur Bewertung des Leistungsvermögens von Herz, Kreislauf, Atmung und Energiestoffwechsel.“
- „Allerdings gilt die rel.  $VO_2$ max nicht mehr wie früher als die entscheidende Größe für die Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit“ (Weineck, 2003, S. 206/207).
- „Häufig wird die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) empfohlen, obwohl einige Fakten gegen  $VO_{2max}$  als gutes Maß für die Ausdauerleistungsfähigkeit sprechen“ (Boutellier & Spengler, 1999, S. 118).

## 2.2.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel konnte detailliert herausgearbeitet werden, dass die  $VO_2$ -max nicht in direktem Zusammenhang mit der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit gebracht werden darf. Eher eignen sich in diesem Kontext Messungen zur prozentualen aeroben Ausschöpfung der  $VO_2$ -max, wozu bspw. wiederum Laktatmessungen nötig sind. Studien, die folglich die  $VO_2$ -max oder die rel.  $VO_2$ -max als Validitätskriterium bezüglich der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit benutzen, müssen unter Berücksichtigung der hier angeführten Gesichtspunkte kritisch hinterfragt werden. Ferner sind Messungen zur Bestimmung der  $VO_2$ -max geprägt von methodischen Schwierigkeiten und Messungenauigkeiten. Dies ist ein weiterer Gesichtspunkt, weshalb Studien zur Kriteriumsvalidierung des COOPER-Tests durch die wissenschaftliche Lupe betrachtet werden müssen.

## 2.3 Laktat und Laktatleistungsdiagnostik

### 2.3.1 Laktatmetabolismus

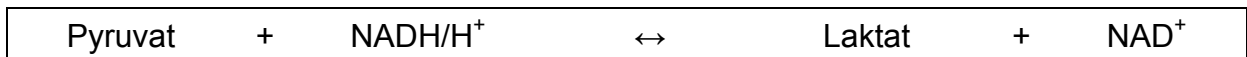
#### *Laktatproduktion*

Laktat ist ein Stoffwechselendprodukt und entsteht ubiquitär, wobei die Skelettmuskulatur in Ruhe, v.a. aber bei Belastung der wichtigste Laktatproduzent ist. Laktat entsteht durch die Glykolyse, die im Zytoplasma lokalisiert ist. In der Glykolyse wird Glukose in mehreren Schritten zu Pyruvat abgebaut. Dabei entstehen Wasserstoffprotonen ( $H^+$ ).

Pyruvat wird bei niedriger glykolytischer Aktivität und/oder ausreichendem Sauerstoffangebot über Acetyl-CoA in die Mitochondrien (aerober Stoffwechsel) eingeschleust und dort abgebaut. Unter Energiegewinn entstehen Kohlendioxid ( $CO_2$ ) und Wasser ( $H_2O$ ), welche im Gegensatz zu Laktat leicht abtransportiert und aus dem Organismus eliminiert werden können.

Bei intensiver Muskelarbeit, mangelhafter Leistungsfähigkeit aerober Systeme (z.B. Atmungskette) und/oder Sauerstoffmangel wird Pyruvat allerdings durch die Aktivierung leistungsfähigerer, anaerober Wege zu Laktat umgewandelt. Ursache für die Laktatproduktion sind die vermehrt anfallenden  $H^+$ , die aufgrund der mangelhaften aerober Systeme nicht mehr vollständig vom  $NAD^+$  aufgenommen werden können. Der pH-Wert sinkt, die Zelle wird „sauer“ und die Glykolyse würde vorzeitig ihre Funktion einstellen (v.a. durch Hemmung der PFK) und/oder lysosomale Mechanismen aktivieren. Um dies zu umgehen, nimmt nun ein Pyruvat vom  $NADH/H^+$  je zwei  $H^+$

auf und wird zu Laktat reduziert. Diese Reaktion wird durch die Laktatdehydrogenase (LDH) katalysiert:



Pyruvat respektive Laktat arbeiten sozusagen als Puffer, was einen starken Abfall des pH-Wertes verhindern soll. Zunehmende Laktatproduktion ist Folge einer metabolischen Azidose, nicht Ursache. Im Mittel können ca. 16-20 mmol/l Laktat im Blut toleriert werden (Hollmann & Hettinger, 2000).

### *Laktatelimination*

Laktat tritt linear zur intrazellulären Laktatproduktion zu einem hohen Prozentsatz über membranständige Transportsysteme (Juel, 2004), aber auch durch einfache Diffusion ins Blut über. Es kann dann von anderen Skelettmuskelzellen, v.a. von ST-Fasern, von der Leber oder auch vom Herzen (sehr schnelle LDH) aufgenommen und eliminiert werden (Bishop & Martino, 1993). Bei dieser Laktatelimination spielt wieder die Skelettmuskulatur selbst die größte Rolle:

Laktat wird über die LDH-Reaktion wieder zu Pyruvat oxidiert, das dann entweder über Acetyl-CoA in den Zitratzyklus oder aber im Falle der Leber in die Glukoneogenese eingeschleust wird (vgl. Weicker & Strobel, 1994). Die Leistungsfähigkeit dieser Laktatelimination hängt wiederum von aeroben Prozessen ab. Die Laktatutilisation kann bis zu einem gewissen Grad an Belastung mit der Laktatproduktion Schritt halten. Man spricht dann von steady-state-Belastungen; hier besteht „ein Fließgleichgewicht zwischen Bildung und Elimination“ (Heck, 1990b, S. 42). Die Belastung, bei der sich gerade noch ein solches steady-state einstellen kann, wird als „*maximales Laktat-steady-state*“ (*maxLass*) definiert (de Marées, 2001) und gilt als Kriterium für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit. Bei Belastungen oberhalb dieses „physiologischen Breakpoints“ (Kindermann, 2004, S. 161) zeigen sich dann selbst bei konstanter Belastung stetige Anstiege der Laktatkonzentration („Laktat-Akkumulation“).

Laktat ist ein direkter Indikator für den Beanspruchungsgrad anaerober Prozesse und kann im Blut gemessen werden. Da dieses Stoffwechselendprodukt im Blut linear zur intrazellulären/intramuskulären Produktion ansteigt (Hollmann et al., 1989) können hervorragend Aussagen zur muskulär-metabolischen Beanspruchung getätigt werden. Die entsprechende Laktatkonzentration ist „immer das Resultat von Laktatbildung, -diffusion, -transport und -elimination“ (de Marées, 2003, S. 372).



## 2.3.2 Laktatleistungsdiagnostik

In der Leistungsdiagnostik spielt das angesprochene maxLass des Laktats eine erhebliche Rolle. Es besitzt enorme Aussagekraft in Bezug auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit. Deswegen wird versucht, das maxLass durch verschiedene Schwellenkonzepte abzuleiten.

### 2.3.2.1 Laktatschwellenkonzepte

Es war das Verdienst der Arbeitsgruppe um Hollmann, die sich ab 1954 speziell dem Pyruvat- und Laktatverhalten bei Belastung widmeten (Hollmann, 1999), dass Laktat aus der Leistungsdiagnostik gegenwärtig nicht mehr wegzudenken ist. Anstoß zu solchen Forschungen waren die *Schwächen der VO<sub>2</sub>-max-Messung* (vgl. 2.2) – denn man überlegte damals, wie von Parametern bei submaximalen Belastungen auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit geschlossen werden könne.

Seit den 70er Jahren hat das Laktat Einzug in die Leistungsdiagnostik gefunden und ist gegenwärtig zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit nicht mehr wegzudenken.

Wegbereiter dieser Laktatleistungsdiagnostik waren Mader et al. (1976, in Heck, Mader, Müller & Hollmann, 1986) mit ihrer Definition und „Entdeckung“ der aerob-anaeroben Schwelle (Abb. 5 links), die per definitionem immer bei 4mmol/l liegt und das maxLass<sup>2</sup> abbilden soll:

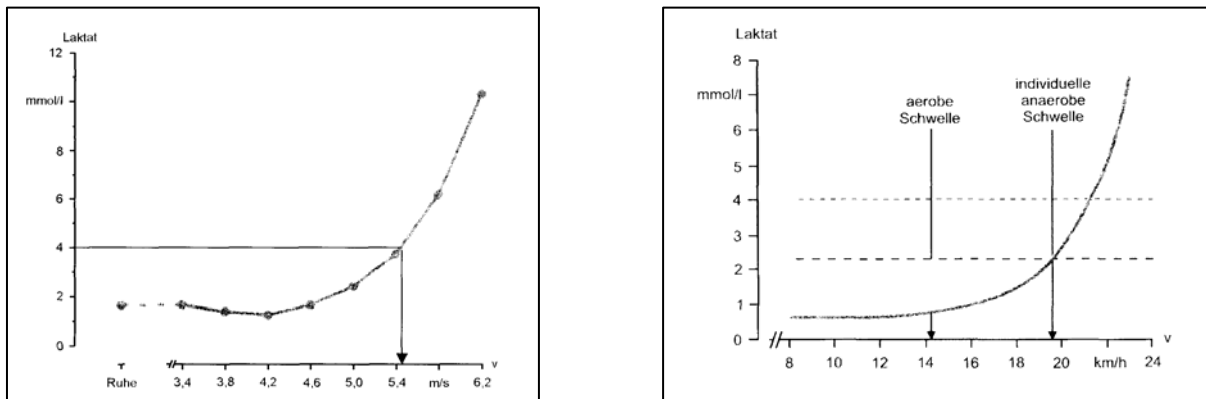
„Der Bereich des Übergangs zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben, laktazid gedeckten muskulären Energiestoffwechsellistung wird als aerob-anaerobe Schwelle der Arbeitsmuskulatur unter den gegebenen Belastungsbedingungen bezeichnet. Dieser Bereich eignet sich zur Charakterisierung der Ausdauerleistungsfähigkeit...“ (Heck, 1990b, S. 141/142).

Diese fixe 4mmol-Schwelle wird als die Schwelle nach Mader bezeichnet (vgl. de Mairées, 2001). Da aber der 4mmol-Wert lediglich ein Durchschnittswert ist und man erkannte, dass maxLass-Bedingungen interindividuell und längsschnittlich intraindividuell variieren (vgl. Heck, 1990b; Klimt, 1992), wurden Konzepte zur Bestimmung von individuellen anaeroben Schwellen (IAS) veröffentlicht. In Hecks Übersicht konnten bereits 1990 zehn verschiedene laktatbasierte Schwellenkonzepte dargestellt werden. Renommiertere individuelle Schwellenkonzepte sind bspw. die von Keul et al. (1979), Stegmann et al. (1980), Simon et al. (1983) und Dickhuth et al. (1991). Da Simon et al. und Dickhuth et al. dasselbe Prinzip zur Bestimmung der IAS, nur in unterschiedlichen Sportarten (Schwimmen und Laufen) verwendeten, spricht man auch oft von der Simon-Dickhuth-Methode. Sie legten die IAS bei einer Blutlaktatkon-

---

2 „defined as the highest intensity in which blood lactate level increases < 1.0 mmol/L between the tenth and thirtieth minute of exercise“ (Billat, 1996, S. 163).

zentration von 1,5 mmol/l oberhalb der aeroben Schwelle (Zeitpunkt des ersten Laktatanstieges; Abb. 5 rechts) fest.



**Abb. 5.** links: Bestimmungsmethode der aerob-anaeroben Schwelle bei einem Blutlaktatwert von 4 mmol/l (Mader et al., 1976, in de Marées, 2003, S. 464); rechts: Bestimmungsverfahren der IAS (Dickhuth et al., 1991, in de Marées, 2003, S. 468). Hier ist auch deutlich zu erkennen, wie stark die IAS von der 4mmol-Schwelle abweichen kann.

### 2.3.2.2 Praxis der Laktatleistungsdiagnostik

Die direkte und genaue Bestimmung eines individuellen maxLass beansprucht viel Zeit und Aufwand für Sportler und Leistungsdiagnostiker, da mit Hilfe von Dauerbelastungen versucht wird, diejenige maximale Belastung zu bestimmen, bei der zwischen der 10. und 30. Minute kein bedeutender Anstieg des Laktats (< 1mmol/l) mehr erfolgt (Heck, 1990b; Billat, 1996). Diese Untersuchungen sind nicht zumutbar und praktikabel.

„Weniger aufwendig ist die *Bestimmung der anaeroben Schwelle durch eine stufenförmig ansteigende Belastung...*“ (Klimt, 1992, S. 96), welche sowohl in der Praxis als auch in der Wissenschaft betrieben wird. Diese Stufentests können als Feld- oder Labortests, sportartspezifisch oder –unspezifisch durchgeführt werden und werden durch Testprotokolle beschrieben.

#### *Möglichkeiten zur Variation von Testprotokollen*

Belastungsprotokolle kennzeichnen den genauen Verlauf von Tests und werden charakterisiert durch (in Anlehnung an Heck, 1990b und de Marées, 2003):

- Belastungsmodus:
  - konstant bzw. rektangulär
  - rampenförmig bzw. triangulär

In der heutigen Laktatleistungsdiagnostik werden nahezu ausschließlich Mischformen, d.h. rektangulär-trianguläre (stufenweise ansteigende) Belastungsverfahren verwendet, da viele physiologische Parameter (z.B. Herzfrequenz und Laktat) zeitabhängige Anstiege aufweisen.

Zusätzlich werden diese Belastungsmodi zur kapillären Blutabnahme oftmals für ca. 30 Sekunden unterbrochen. Diese nennt man dann „intermittierend“.

- **Anfangsbelastung:**

Die Anfangsbelastung sollte aus zeitökonomischen Gründen möglichst hoch gewählt werden. Ihre Auswahl hängt vom Trainingsniveau des zu Untersuchenden ab:

	<b>Männer</b>	<b>Frauen</b>
<b>sehr gut</b>	12 km/h	10 km/h
<b>Mittel</b>	10 km/h	8 km/h
<b>schlecht</b>	8 km/h	6-8 km/h

**Tab. 5.** Anfangsbelastungen für die Laufbandergometrie in Abhängigkeit von der aeroben Leistungsfähigkeit (Heck, 1990b, S. 116).

- **Belastungsabstufung:**

Wie auch die Anfangsbelastung, variiert die Stufenhöhe in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit. In der Regel haben sich auf dem Laufband 0,5 m/s oder auch 2 km/h bewährt.

- **Stufendauer:**

Diese zeigt in der Wissenschaft Variationen von 1-6 Minuten. In der Praxis werden am häufigsten Stufen mit 3 Minuten Dauer gewählt. Es sind auch Tests mit variabler Stufendauer denkbar. Diese geben statt der Stufendauer, die Strecke und die Geschwindigkeit vor: Dann werden pro Stufe 1200 m mit stufenweise ansteigender Geschwindigkeit durchlaufen.

- **Pausendauer:**

Die Pausendauer kann variabel gestaltet werden. Üblich sind 30 Sekunden bei einer Laufbandergometrie. Günstigerweise sollte die Pausendauer gering (<30 Sekunden) gehalten werden.

- **Blutabnahmen:**

Die Blutabnahmen zur Bestimmung der Laktatkonzentration erfolgen üblicherweise aus dem hyperämisierten Ohrläppchen vor der Belastung, am Ende der jeweiligen Stufe und mehrmals nach Abbruch des Tests bzw. bei Erschöpfung.

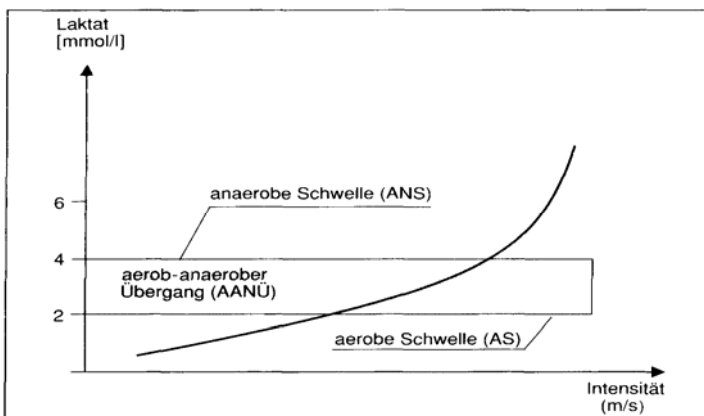
Bei einer Laufbandergometrie bspw. wird die anfängliche Geschwindigkeit von 6 bzw. 8 km/h alle drei Minuten um 2 km/h bis zur subjektiven Erschöpfung gesteigert. Die Pause zwischen den Stufen beträgt 30 Sekunden. Parallel zu den Laktatabnahmen erfolgt auch eine Registrierung der jeweiligen Herzfrequenzen.

### 2.3.2.3 Diagnostische Kriterien einer Laktatleistungsdiagnostik

Nach dem durchgeführten Stufentest werden die Laktatkonzentrationen apparativ bestimmt (vgl. Röcker & Dickhuth, 2001). Diese werden dann als Laktatleistungskurve in einem Laktat-Belastungs-Verhältnis abgebildet (Abb. 6). Bei einer Laufbander-

gometrie entspricht die Geschwindigkeit der Belastung. Ebenfalls erfolgt die Darstellung des Herzfrequenzverhaltens gegenüber der Belastung (Geschwindigkeit) in Form einer Pulsleistungskurve.

Durch die Anwendung verschiedener Schwellenkonzepte (2.3.2.1) ist es dann möglich, das maximale Laktat-steady-state (maxLass) bzw. die anaerobe oder die individuelle anaerobe Schwelle abzubilden. Optisch ist sie durch den Umschlag von einem flachen zu einem steilen Anstieg der Laktatleistungskurve zu erkennen. Die Leistung (beim Laufen: Geschwindigkeit) an der IAS ist das wichtigste und sensibelste Kriterium zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (Cerretelli, 1992; Schwarz & Kindermann, 1992; Bassett & Howley, 2000; Coen, Urhausen, Jones & Carter, 2000; Hollmann & Hettinger, 2000; de Marées, 2001; Weineck, 2003; Heck, 2004; Kindermann, 2004). Je höher die Leistung an der IAS, desto besser ist die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit.



**Abb. 6.** Laktatleistungskurve mit Schwellenbereichen (Grosser, Starischka & Zimmermann, 2001, S. 123).

Neben der IAS oder der fixen 4mmol-Schwelle nach Mader et al. (1976) wird in einer Laktatleistungsdiagnostik auch die 2mmol/l-Schwelle (aerobe Schwelle) nach Kindermann et al. (1979) bestimmt, die den Übergang rein aerober zu partiell anaerober Energiebereitstellung abbildet. Dieser Schwelle schließt sich der aerob-anaerobe Übergangsbereich an, in dem sich noch Laktat-steady-states einstellen. Dieser Bereich endet mit der 4mmol-Schwelle bzw. der IAS. Aus dem Verhalten der Kurve oberhalb der IAS werden Aussagen hinsichtlich der anaeroben Fähigkeit (z.B. Stehvermögen, Laktattoleranz) generiert (Abb. 6).

Durch die Interpretation des Herzfrequenzverhaltens können weiterhin Aussagen zur Herz-Kreislauf-Ökonomie und Herz-Kreislauf-Anpassung an Belastung getätigt werden.

Aus Laktat- und Pulsleistungskurven können also Angaben zum aeroben Leistungsniveau, zur anaeroben Mobilisierungsfähigkeit und zur Herz-Kreislauf-Ökonomie generiert werden. In diesem Kontext werden vorwiegend Puls- und Laktatwerte bei 2mmol/l, 4mmol/l, an der IAS, in der Phase der Ausbelastung und in der Erholungs-

phase in Bezug auf die Leistung (Geschwindigkeit oder Watt) beobachtet und interpretiert.

#### *Potenzielle Einflussfaktoren und Störvariablen der Laktatleistungskurve*

Bei der Interpretation der Laktatleistungskurve und der erhobenen Schwellenwerte müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden. Einige dieser Faktoren, die in der Literatur diskutiert werden, sollen auch hier wiedergegeben werden:

- Im vorangegangenen Kapitel wurde ersichtlich, dass es sehr viele Möglichkeiten gibt, *Testprotokolle* zu gestalten. In zahlreichen Untersuchungen (z.B. Heck et al., 1986) wurde festgestellt, dass deren Variationen (Stufendauer, Pausendauer, Belastungsabstufung...) auch dementsprechend signifikante Auswirkungen auf die Schwellenwerte besitzen.
- Heck et al. (1986) resümierten, dass veränderte *Anstiegswinkel auf Laufbandergometern* (zur Simulation des Luftwiderstandes; vgl. Dickhuth et al., 1989) oder das Verwenden zweier unterschiedlicher Laufbänder signifikanten Einfluss auf den Schwellenwert nehmen. Dasselbe gilt für Untersuchungen, bei denen Stufentests mit verschiedenartigen Laufuntergründen getätigt wurden.
- Die Höhe der intramuskulären *Glykogenspeicher* ist ein weiterer Gesichtspunkt (Weineck, 2003). Sind die intramuskulären Glykogenspeicher entleert, so ist infolgedessen die Durchsatzrate der Glykolyse stark beeinträchtigt. Es resultiert eine vergleichsweise verminderte Laktatproduktion.
- Pfitzinger und Freedson (1998) nennen noch *Koffeinkonsum, Vorbelastung und Wasserhaushalt* des Organismus als weitere Störgrößen.
- Es ist selbstverständlich und muss daher nicht näher erläutert werden, dass speziell bei Feldtests *Witterungs-, Temperaturverhältnisse* oder z.B. auch *Wassertemperaturen* die Schwellenwerte und Laktatleistungskurven stark modifizieren können (Martin et al., 2001).

Diese skizzenhafte Darstellung von Einflussgrößen auf das Laktatverhalten zeigt, dass eine korrekte Interpretation der Laktatleistungskurve und der Laktatschwellen von vielen internen und externen Größen abhängig ist. Es bedarf viel an Erfahrung sowie an Kenntnissen über physiologische Zusammenhänge, um präzise Schlussfolgerungen aus Sicht der Trainingswissenschaft und -lehre zu ziehen.

#### **2.3.2.4 Gütekriterien der Laktatmessung bzw. Laktatleistungsdiagnostik**

Pfitzinger und Freedson (1998) bemängeln rudimentäre Untersuchungen und uneindeutige Aussagen zu Reliabilitätsmessungen in Bezug auf Laktat. Ihre eigene Studie ergab eine hohe Test-Retest-Reliabilität für die Geschwindigkeit an der 4mmol-Schwelle ( $r = .98 - .99$ ). McLellan und Jacobs (1993) veröffentlichten in ihrer Studie

einen Test-Retest-Reliabilitätskoeffizienten von .98 für die Leistung an der IAS (nach Stegmann).

Bezugnehmend auf die Validität sind bspw. die Korrelationskoeffizienten von Heck (1990a) zu nennen: Die Korrelationskoeffizienten zwischen maxLass und Schwellengeschwindigkeiten für die Schwellen nach Mader und Stegmann lagen bei .975 bzw. .981. Heck und Rosskopf (1994, in Heck, 2004) bestimmten für die Schwellen nach Simon & Dickhuth und Keul Korrelationskoeffizienten von .961 resp. .981.

### **2.3.3 Zusammenfassung**

Im Gegensatz zur  $VO_2$ -max ist die Leistung an der IAS ein valider Indikator der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit. Die Nachteile der  $VO_2$ -max-Messung sind bei der Laktatmessung nicht gegeben, da Laktat ein einfach zu messender Parameter ist und die Bestimmung der Leistung an der IAS bei submaximalen Belastungen erfolgt. Es darf zweifelsohne nicht negiert werden, dass eine exakte Nutzung des Parameters „Laktat“ von einer Vielzahl von inneren und äußeren Faktoren abhängt. Trotzdem kann vor dem Hintergrund des heutigen Wissens geäußert werden, dass die Laktatmessung bei Beurteilungen der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit den „Goldstandard“ repräsentiert. Kein anderer physiologischer Parameter reagiert so sensibel auf Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit wie das Laktat bzw. die Leistung an der IAS.

## 3 Empirischer Teil – Evaluation des COOPER-Tests aus leistungsphysiologischer Perspektive

### 3.1 Problem- und Fragestellung

Der COOPER-Test gilt nach wie vor als ein Test zur Messung bzw. Abschätzung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (vgl. Mathews, 1978; Bös, 1986; Grosser, Starischka & Zimmermann, 2001; Martin et al., 2001; Schneider, 2002; de Marées, 2003; Weineck, 2003). COOPER (1968) validierte seinen 12-Minuten-Lauf mithilfe der  $VO_2$ -max. Mit dieser Kriteriumsvalidierung rechtfertigt die sportwissenschaftliche Literatur bis heute die Rückschlüsse von der Laufweite im COOPER-Test auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit: Die  $VO_2$ -max und damit die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit kann über die Laufleistung im Test regressiv abgeschätzt werden.

Die angesprochene Kriteriumsvalidität wird allerdings vom Autor dieser Arbeit in Frage gestellt, da belegbar ist, dass die  $VO_2$ -max *kein* valider Indikator für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ist. Hinzu kommen die anaeroben Anteile, die die Laufleistung im COOPER-Test bedeutend determinieren. Sie werden in der Literatur heftig diskutiert und unterstreichen die vermuteten Zweifel, ob die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit über den COOPER-Test abgeschätzt werden kann.

Aus dieser Kritik am COOPER-Test und der  $VO_2$ -max heraus, entstand die Idee der Revalidierung des Tests aus leistungsphysiologischer Perspektive, denn derzeit gibt es kaum gesicherte Untersuchungsergebnisse, die diese weit verbreiteten Kritiken physiologisch stützen könnten.

Die Fragestellung lautet daher:

*„Kann über den COOPER-Test die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit abgeschätzt werden?“*

Um festzustellen, inwieweit die Rückschlüsse von der Laufweite im COOPER-Test auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit gerechtfertigt sind, sind Laktatmessungen, v.a. zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle, wesentlich besser geeignet als  $VO_2$ -max-Messungen.

### 3.2 Hypothesen

Zwischen folgenden Variablen und Parametern wird aufgrund der im Theorieteil angesprochenen Ansätze kein positiver Zusammenhang erwartet:

- **Hypothese H<sub>1</sub>:** Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen der Laufweite im COOPER-Test und der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit.
- **Hypothese H<sub>2</sub>:** Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen der Laufweite im COOPER-Test und der prozentualen aeroben Ausschöpfung der VO<sub>2</sub>-max.

Aufgrund der bei der Auswertung der Daten gefundenen Auffälligkeiten ergaben sich weiterhin folgende zusätzliche Hypothesen:

- **Hypothese H<sub>3</sub>:** Wird der COOPER-Test mit konstanter Geschwindigkeit gelaufen, besteht kein positiver Zusammenhang zwischen der Laufweite im COOPER-Test und der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit.
- **Hypothese H<sub>4</sub>:** Es besteht bei aerob schlecht Trainierten (zur Definition s. S. 38) kein positiver Zusammenhang zwischen der Laufweite im COOPER-Test und der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit.
- **Hypothese H<sub>5</sub>:** Zwischen der Laufweite im COOPER-Test und der direkt nach dem COOPER-Test gemessenen Laktatkonzentration besteht ein positiver Zusammenhang.

## 3.3 Datenerhebung

### 3.3.1 Untersuchungsteilnehmer

An dieser Studie nahmen insgesamt 24 Personen unentgeltlich teil. Darunter befanden sich hauptsächlich nicht speziell aerob trainierte Schülerinnen (n = 4) und Schüler (n = 6) sowie Studentinnen (n = 10) und Studenten (n = 4). Das untersuchte Kollektiv setzte sich aus zwei Stichproben/Gruppen zusammen. Die Schüler (Gruppe 1) gehörten dem Neigungsfach Sport (12. Klasse) eines ortsansässigen Gymnasiums an. Die Eltern, die Leitung des Oberschulamtes, die Schulleitung als auch die stellvertretende Schulleitung des Gymnasiums wurden über diese Untersuchung durch Informationsschreiben (vgl. Anhang D) benachrichtigt. Da die Schüler zum Teil noch nicht volljährig waren, wurden nicht nur von den Schülern selbst, sondern auch von den Eltern schriftliche Einverständniserklärungen eingeholt. Alle oben Aufgeführten willigten der Durchführung dieser Studie ein. Neben den notwendigen Informationen zu den Hintergründen und zum Ablauf der Studie bestätigten Mitarbeiter des Institutes für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg und des Olympiastützpunktes Rhein-Neckar sowie der Autor der Arbeit durch Unterschriften in den Informationsschreiben ihre Verantwortung für diese Studie.



Die Studierenden (Gruppe 2) waren Teilnehmer des Seminars „Trainingswissenschaftliches Praktikum“ (Sommersemester 2005). Im Rahmen dieses Seminars liefen die Studierenden u.a. einen 12-Minuten-Lauf und lernten den Laktatstufentest in Eigenerfahrung kennen. Studierende, die sich während des 12-Minuten-Laufs nicht ausbelasteten, wurden aus der weitergehenden Untersuchung ausgeschlossen. Dabei musste sich der Autor auf die ehrlichen Angaben der Studierenden verlassen. Letztendlich konnten die Daten von 14 Studierenden für anschließende Berechnungen verwendet werden.

Die Tabellen 6 und 7 fassen die wichtigsten deskriptiven anthropometrischen Daten der Untersuchungsteilnehmer (UT) zusammen:

**Tab. 6.** Deskriptive Daten der Schüler, -innen (Gruppe 1).

Schüler, -innen	Weiblich	Männlich	Gesamt
<b>n</b>	4	6	10
<b>Alter (Jahre)</b>	17 – 20 <b>18,25±1,26</b>	18 – 20 <b>18,33±0,82</b>	17 – 20 <b>18,30±0,95</b>
<b>Größe (cm)</b>	164 – 173 <b>168,50±4,65</b>	176 – 185 <b>181,50±3,20</b>	164 – 185 <b>176,30±7,62</b>
<b>Gewicht (kg)</b>	53 – 62 <b>58,25±3,86</b>	62 – 79 <b>72,17±6,37</b>	53 – 79 <b>66,60±8,89</b>

Daten sind dargestellt in Min – Max **MW±SD**.

**Tab. 7.** Deskriptive Daten der Studierenden (Gruppe 2).

Studierende	Weiblich	Männlich	Gesamt
<b>n</b>	10	4	14
<b>Alter(Jahre)</b>	20 – 24 <b>21,30±1,25</b>	21 – 36 <b>26,25±7,09</b>	20 – 36 <b>22,71±4,35</b>
<b>Größe (cm)</b>	161 – 180 <b>170,60±6,52</b>	175 – 188 <b>181,75±5,85</b>	161 – 188 <b>173,79±8,04</b>
<b>Gewicht (kg)</b>	51 - 70 <b>60,20±6,92</b>	68 – 101 <b>82,50±14,66</b>	51-101 <b>66,57±13,86</b>

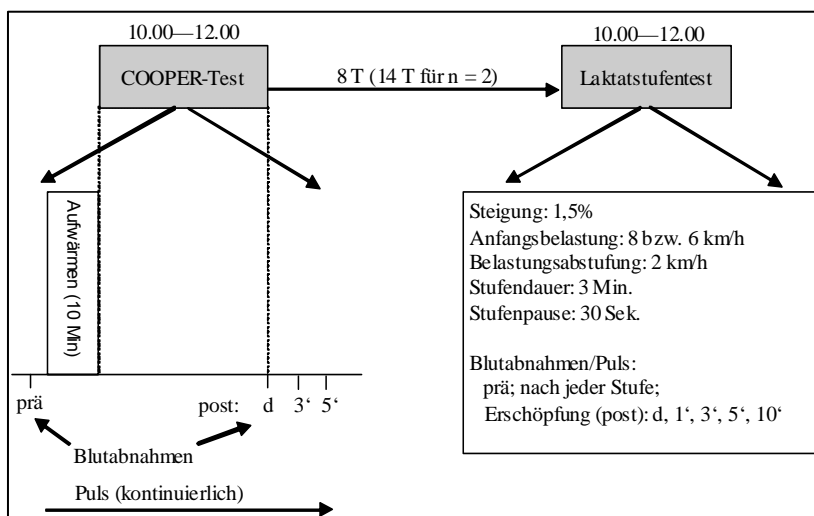
Daten sind dargestellt in Min – Max **MW±SD**.

Bei Analyse des Gesamtkollektivs (n = 24) resultierten folgende Mittelwerte (±SD): Alter: 20,88 (±3,94) Jahre; Körpergröße: 174,83 (±7,80) cm; Gewicht: 66,56 (±11,81) kg.

Kein UT hatte kurz vor oder während der Studie Infektionskrankheiten oder orthopädisch-traumatologische Verletzungen bzw. Beeinträchtigungen. Die UT nahmen im angesprochenen Zeitraum keine Medikamente, welche die physiologischen Reaktio-

nen während der Arbeit beeinflussen könnten. In den erwähnten Informationsschreiben an die Schüler wurde darauf hingewiesen, die Ernährung an den beiden Vortagen der Tests möglichst wenig zu ändern. Größere physische Beanspruchungen seien zu vermeiden. An den beiden Tagen der Untersuchung sollte ein vollwertiges Frühstück spätestens 2-3 Stunden vor Testbeginn zu sich genommen werden. Ebenso wichtig sei ein angemessener Flüssigkeitshaushalt. Wenn möglich, sollte am Untersuchungstag auf Kaffee, Nikotin und Tee verzichtet werden, zudem sollten kleinere physische und psychische Beanspruchungen unterlassen werden.

Die Studierenden erhielten diese Informationen mündlich.



**Abb. 7.** Untersuchungsdesign (T: Tage (Angaben nur für Gruppe 1 möglich); d: direkt; Hochkommazahlen: Nachbelastungsminuten).

### 3.3.2 Untersuchungsdurchführung

Die beiden Stichproben bzw. Gruppen wurden getrennt voneinander untersucht. Da die Untersuchung der Gruppe 2 ursprünglich nicht als wissenschaftliche Arbeit gedacht war, sondern im Rahmen eines Seminars des ISSW der Universität Heidelberg stattfand, können nicht dieselben ausführlichen Informationen angegeben und Standardisierungsbedingungen angenommen werden, wie dies in der Gruppe 1 der Fall war. Allerdings galten in beiden Untersuchungen annähernd gleiche Durchführungsbedingungen. Leichte Differenzen zur Gruppe 1 werden im Anschluss an die jeweiligen Testbeschreibungen erörtert. Die Untersuchung mit den Schülern wurde in erster Linie durchgeführt, um eine höchste Motivation beim COOPER-Test durch Notengebung zu gewährleisten.

Die gesamte Untersuchung (Abb. 7) gliederte sich für beide Stichproben in zwei Tests auf. Auf den ersten Test, den 12-Minuten-Lauf, folgte 8 Tage später (14 Tage später für 2 UT) der zweite Test, der Laktatstufentest. Bezugnehmend auf Gruppe 2 können die zeitlichen Angaben nicht gemacht werden, da die Studierenden des Se-

minars in Gruppen aufgeteilt waren und jede Gruppe zum Seminartermin im Rotationsprinzip einer bestimmten Station (z.B. COOPER-Test oder Laktatstufentest) zugewiesen war. Infolgedessen variierte die zeitliche Reihenfolge (COOPER-Test vor Laktatstufentest oder vice versa) und der zeitliche Abstand (1 – 3 Wochen) zwischen den zwei Tests bei den untersuchten Seminarteilnehmern.

### **Test 1: COOPER-Test**

Die Durchführung des 12-Minuten-Feldtests fand für Gruppe 1 von 10.00 – 12.00 Uhr auf einer 400-Meter-Bahn (Bodenbelag: Asche) statt. Auf der Bahn wurden in Abständen von 100 Metern Markierungen positioniert. Es herrschten Indifferenztemperatur und Windstille.

Nach der Begrüßung wurde den UT von den Versuchsleitern die Zielstellung, der Ablauf des 12-Minuten-Laufs sowie die Durchführung der Blutabnahmen erläutert: Zielstellung war es, in den 12 Minuten des COOPER-Tests eine möglichst weite Strecke zurückzulegen. Die UT wurden instruiert, im Falle der Erschöpfung nicht stehen zu bleiben, sondern weiterzugehen. Sie sollten möglichst in einem konstanten Tempo laufen.

Höchste Motivation konnte durch Notengebung sichergestellt werden, denn die Ergebnisse des COOPER-Tests flossen in die Zeugnisnote mit ein.

Das kapilläre Blut zur Laktatbestimmung wurde in Ruhe vor dem Aufwärmen, direkt nach dem 12-Minuten-Lauf sowie in der 3. und 5. Minute der Nachbelastungsphase entnommen. Die Abnahmen erfolgten aus dem mit Finalgon (extra stark) hyperämisierten Ohrläppchen. Nach der Punktion mit einer Einmallinganzette wurde das Kapillarblut (20µl) mit einer Kapillarpipette entnommen und in ein mit Hämolytat (Perchlorsäure) gefülltes Röhrchen gegeben. Es wurde darauf geachtet, dass keinesfalls Schweiß mit in die Pipette gelangte. Auf die punktierte Stelle am Ohr wurde nach der ersten Abnahme ein mit Heparin versehenes Pflaster angebracht.

Zusätzlich erhielten die UT einen Pulsbrustgurt von Polar (Team Sport System), der die Herzfrequenzen während des Laufes aufzeichnete und speicherte.

Die 9 UT wurden in 3er-Gruppen aufgeteilt (ein UT lief den Test eine Woche später unter denselben Bedingungen). Nach den Instruktionen und Ruheabnahmen wärmte sich die erste Gruppe 10 Minuten lang auf (freies Einlaufen und Dehnen). Kurz nachdem die erste Gruppe den Test begonnen hatte, machte sich bereits die zweite Gruppe warm usw.

Die UT erhielten während des Laufes Informationen zu ihren Rundenzeiten, bzw. liefen mit eigener Uhr. Die letzte Minute des Laufes wurde angepiffen. Nach 12 Minuten wurde der Lauf durch einen Pfiff beendet. Die UT blieben an ihren erreichten Po-

sitionen stehen, bis die Laufweiten notiert waren. Die kapillären Blutabnahmen nach dem Lauf (d, 3', 5') erfolgten wie beschrieben.

Letztendlich bedankten sich die Versuchsleiter bei den Untersuchungsteilnehmern und erinnerten sie an den zweiten Untersuchungstermin, der 8 Tage später stattfinden sollte.

Gruppe 2 absolvierte den Test zur selben Tageszeit mit den gleichen Durchführungsbedingungen und Instruktionen entsprechend Gruppe 1, allerdings auf einer 400-Meter-Bahn (Belag: Kunststoff). Es fanden hingegen keine Blutabnahmen, Pulsregistrierungen sowie Notizen zu den Rundenzeiten statt, sodass bei den Studierenden aus dem COOPER-Test nur die Laufweite für die weiteren statistischen Berechnungen verwendet werden konnte.

### **Test 2: Intermittierender Laktatstufentest**

8 Tage nach dem 12-Minuten-Lauf fand für Gruppe 1 der zweite Abschnitt der Untersuchung, wiederum vormittags von 10.00 – 12.00 Uhr statt. Zwei UT konnten diesen Termin nicht wahrnehmen, sodass für diese der 2. Test 14 Tage nach dem 1. Test, aber ebenfalls vormittags erfolgte. Alle Laktatstufentests fanden in einem klimatisierten Raum bei ca. 22°C statt.

Die Versuchsleiter erklärten den UT den Ablauf eines solchen Laktatstufentests. Die UT waren angehalten, sich bis zur völligen Erschöpfung auszubelasten. Falls eine Stufe nicht zu Ende gelaufen werden konnte, sollte diese vorzugsweise bis zu einer vollen oder halben Minute durchgehalten werden.

Das intermittierend rektangulär-triangularäre Belastungsprotokoll wurde als Labortest auf einem Lamellenlaufband (Marke: Woodway) realisiert.

Die kapillären Blutabnahmen erfolgten nach der in Test 1 beschriebenen Vorgehensweise. Vor Beginn der Belastung, am Ende jeder Belastungsstufe sowie in der 1., 3., 5. und 10. Nachbelastungsminute wurde arterialisiertes Kapillarblut aus dem mit Finalgon hyperämisierten Ohrläppchen entnommen. Begleitend zu den Zeitpunkten der Blutabnahmen wurden die entsprechenden Pulswerte, registriert über Pulstester der Firma Polar (Team Sport System), abgelesen.

Nach der Ruheabnahme begann der Stufentest bei einer konstanten Steigung des Laufbandes von 1,5 % und einer Anfangsbelastung von 8 km/h. Bei ungenügender Laufbänderfahrung sowie Laufökonomie wurde zur Gewöhnung an das Laufband und zur Verringerung der Sturzgefahr eine Anfangsbelastung von 6 km/h (Gruppe 1: n = 3; Gruppe 2: n = 8). gewählt. Die Belastung wurde stufenweise bis zur subjektiven Erschöpfung intermittierend um jeweils 2 km/h gesteigert. Die Stufendauer be-

trug 3 Minuten und die Pause zwischen den Stufen 30 Sekunden, in denen die Versuchsleiter die Blutproben entnahmen und den Puls (abgelesen am Ende der jeweiligen Stufe) notierten.

Nach dem Stufentest füllten beide Gruppen noch hausinterne Fragebögen des OSP Rhein-Neckar zur Trainingsanamnese (Sportart, Trainingseinheiten pro Woche, Intensitäten, Verletzungen/Krankheiten...) aus.

Die Versuchsleiter bedankten sich bei den Teilnehmern der Studie. Als kleines Präsent erhielten die UT kostenfrei eine professionelle Auswertung des Laktatstufentests mit entsprechenden individuellen Trainingshinweisen.

### 3.4 Datenauswertung

#### Weiterverarbeitung der Blutproben und Pulswerte

Die Bestimmungen der Laktatkonzentrationen erfolgten nach beiden Tests via Laktatanalyzer der Firma Eppendorf (EBIOplus) mittels enzymatisch-amperometrischer Methode. Bei dieser Methode katalysiert das Enzym Laktatoxidase die Herstellung von Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) aus Laktat. Dieses wird oxidiert und der dabei entstehende Strom gemessen. Über die Größe des entstandenen Stroms wird dann die Laktatkonzentration ermittelt.

Mithilfe des Programms Winlactate (Version 2.0) der Firma Mesix konnten Laktat- und Herzfrequenzwerte graphisch in Form von Laktat- und Pulsleistungskurven dargestellt und physiologische Schwellen ermittelt werden. Diesbezüglich verwendeten die Versuchsleiter die Schwellenkonzepte nach Mader et al. (1976), Simon et al. (1983) und Dickhuth et al. (1991) zur Bestimmung der AS bzw. IAS und zur Charakterisierung der Ausdauerleistungsfähigkeit.

Die Berechnung der maximalen Laufbandgeschwindigkeit ( $v(\max)$ ) erfolgte, falls die Stufe nicht bis zum Ende durchgelaufen werden konnte, über die bewältigte Zeit während der letzten Stufe durch lineare Interpolation. Bspw. wird angenommen, dass die Geschwindigkeit der vorletzten Stufe 14 km/h, die der letzten 16 km/h und die Zeit bis zur Erschöpfung 1 Minute betrug. Da die gesamte Stufe 3 Minuten dauerte, wird im Falle von 1 Minute das Verhältnis  $\frac{1}{3}$  auf die Geschwindigkeitsdifferenz von 2 km/h übertragen:  $2 \text{ km/h} \cdot \frac{1}{3} = 0,66 \text{ km/h}$ . Diese 0,66 km/h werden dann zur Geschwindigkeit der vorletzten Stufe addiert. Die  $v(\max)$  beträgt folglich 14,66 km/h.

Die gespeicherten Herzfrequenzverläufe und Durchschnittsherzfrequenzen während des COOPER-Tests konnten durch das Programm Polar Precision Performance visualisiert bzw. errechnet werden.

## Verwendete statistische Verfahren

Bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse kamen folgende statistische Verfahren (berechnet mit dem Statistikprogramm SPSS, Version 14.0) zur Anwendung:

### 1. Deskriptive Statistik

- Minimum; Maximum
- arithmetisches Mittel (MW)
- Standardabweichung ( $\pm$ SD)

Die entsprechenden Werte werden in der Form MW ( $\pm$ SD) angegeben.

### 2. Bivariate Statistik; Korrelation

- Die Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten wurden über die bivariate Korrelationsberechnung nach Pearson bestimmt. Der Test auf Signifikanz erfolgte zweiseitig.

### 3. Inferenzstatistik - Mittelwertsvergleiche

- Aussagen zu Normalverteilungen wurden über den Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest getätigt.
- Unterschiede der Gruppenmittelwerte wurden über den t-Test nach Student beurteilt.

Die Signifikanzschranken für die Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ) bei zweiseitiger Fragestellung wurden für alle Testverfahren auf folgende Bereiche festgelegt:

- $p > .05$  nicht signifikant (n.s.)
- $p \leq .05$  signifikant (\*)
- $p \leq .01$  hoch signifikant (\*\*)

Die Berechnungen wurden auf den Rechnern des Universitätsrechenzentrums Heidelberg durchgeführt.

## 3.5 Ergebnisse

### 3.5.1 Trainingsanamnesebögen

Die Auswertung der Trainingsanamnesebögen der Gruppe 1 ergab einen sehr heterogenen Eindruck. Jeder Teilnehmer betrieb zum Zeitpunkt der Studie seit mehreren Jahren mindestens eine Sportart. Teilweise variierten die Trainingsstunden pro Woche neben dem Schulsport von einer bis sechs. Der Anteil der aeroben Grundlagenausdauer am Training in den einzelnen Sportarten ist nur sehr schwer zu beurteilen und kann nur grob abgeschätzt werden, im Gegensatz zum zusätzlichen sport-

artunspezifischen Ausdauertraining: drei UT betrieben Sportarten mit spezifisch aerobem Charakter (Joggen, Radfahren). Nur zwei der UT führten neben ihrer Sportart noch ein spezielles aber nicht planmäßiges Training der Grundlagenausdauer durch. Diese Sportarten waren z.B. Kampfsportarten, Tanzen, Basketball oder Volleyball. Es bleibt festzuhalten, dass Trainingseinheiten zur Verbesserung der aeroben Grundlagenausdauer nicht systematisch verfolgt wurden, obwohl die untersuchte Gruppe sportlich sehr aktiv war.

Ähnliches zeigte die Auswertung bei Gruppe 2. Nur ein UT betrieb eine speziell aerobe Sportart (Radsport). Einige Sportstudierende ( $n = 4$ ) betrieben keine bestimmte Sportart; sie gaben lediglich das Sportstudium als Quelle für sportliche Aktivitäten an. Die Trainingseinheiten pro Woche, die während des Semesters bei den Teilnehmern anfielen, wurden nicht erhoben. Abseits des Sportstudiums fanden sich auch hier viele Sportarten, welche nicht direkt die aerobe Grundlagenausdauer beanspruchten und trainierten (Turnen, Volleyball, Capoeira, Leichtathletik (Sprint), Rhönrad). Ein ergänzendes systematisches aerobes Grundlagentraining neben der ausgeübten Sportart oder dem Sportstudium fand sich bei keinem der Studierenden. Insgesamt kann von einem sportlichen, hauptsächlich aber nicht von einem speziell aerob trainierten Klientel ausgegangen werden.

### 3.5.2 COOPER-Test

Mittelwerte für die erreichten Laufdistanzen waren 2440 ( $\pm 383,37$ ) Meter für Gruppe 1 ( $n = 10$ ) und 2492,14 ( $\pm 348$ ) Meter für Gruppe 2 ( $n = 14$ ).

Bei beiden Gruppen kann hinsichtlich der Variable Laufweite im COOPER-Test (LW) von einer Normalverteilung (Gruppe 1:  $p = .855$ ; Gruppe 2:  $p = .222$ ) ausgegangen werden. Der anschließend durchgeführte t-Test für unabhängige Stichproben ergab bei Varianzhomogenität ( $p = .936$ ) keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Laufweite ( $p = .732$ ). Folglich können die Daten beider Gruppen für weiterführende Berechnungen gemeinsam betrachtet werden.

Zusammengefasst ( $n = 24$ ) erreichten die UT im Mittel 2470,42 ( $\pm 355,93$ ) Meter.

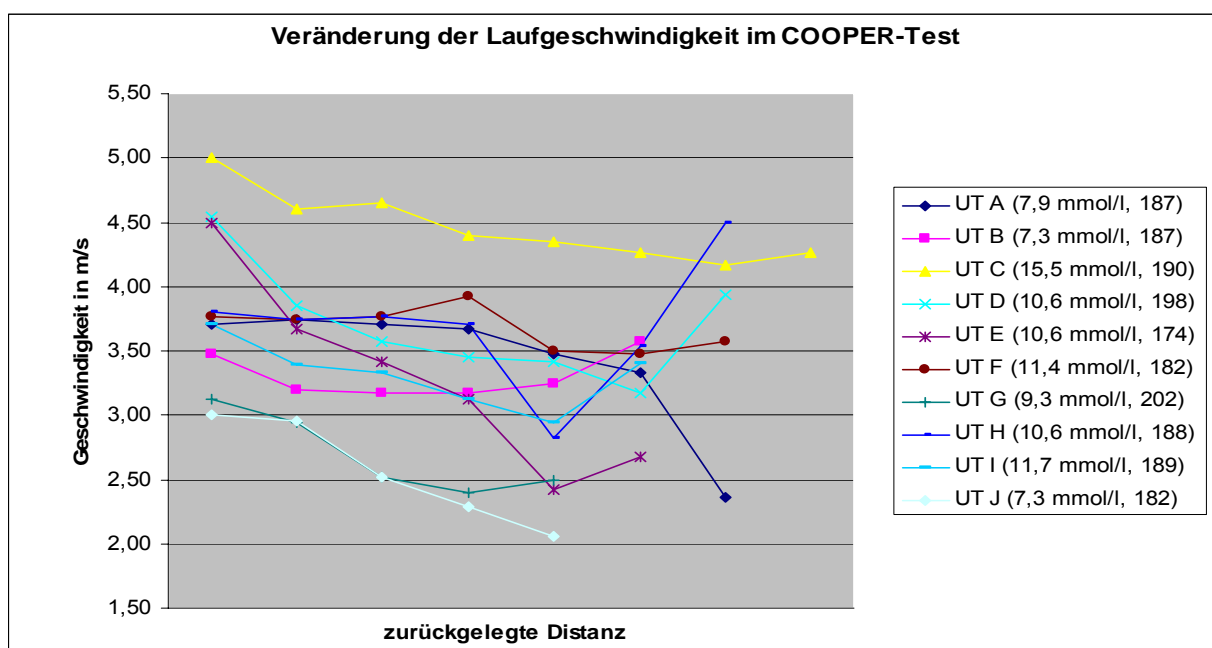
Folgende Ergebnisse beziehen sich nur auf Gruppe 1 ( $n = 10$ ):

Die direkt nach dem COOPER-Test gemessenen Laktatkonzentrationen ( $La_{COOPER}$ ) ergaben einen Mittelwert von 10,22 ( $\pm 2,48$ ) mmol/l. Die niedrigste und höchste  $La_{COOPER}$  belief sich auf 7,3 bzw. 15,5 mmol/l. Die höchste (3200m) und geringste (1825m) Laufweite ging auch mit der höchsten (15,5 mmol/l) und niedrigsten (7,3 mmol/l) Laktatkonzentration einher (Abb. 10 auf S. 35). Diese Abbildung zeigt aber

ferner, dass ähnliche oder gleiche Laufweiten (LW) dennoch bei völlig unterschiedlichen Laktatwerten erbracht werden können. Bspw. erreichten die UT B und I 2375 m bei 7,3 bzw. 11,7 mmol/l.

Die Überprüfung dieser Auffälligkeiten auf statistische Bedeutsamkeit bescheinigt einen hoch signifikanten Zusammenhang ( $r = .752$ ,  $p < .05$ ) zwischen  $La_{COOPER}$  und der LW. Signifikante Zusammenhänge erzielt man diesbezüglich auch, wenn die drei UT ( $n = 7$ ), die ihre Geschwindigkeit auf den letzten Metern deutlich veränderten (vgl. Abb. 8 und Abb. 9), herausgenommen werden ( $r = .844$ ,  $p < .05$ ).

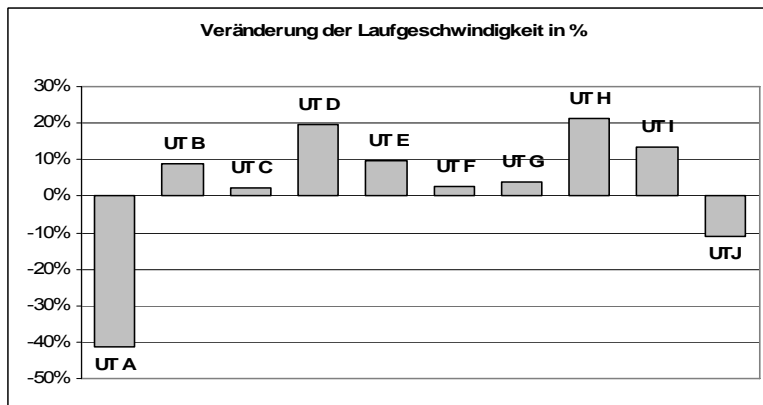
Die mittlere Belastungsherzfrequenz während des Laufes ( $Hf_{COOPER}$ ) war  $187,9 (\pm 8,0)$   $\cdot \text{min}^{-1}$ , bei Extremwerten von 170 und 202 Schlägen  $\cdot \text{min}^{-1}$ .



**Abb. 8.** Veränderung der Laufgeschwindigkeit im COOPER-Test der einzelnen UT (Laktat direkt nach dem COOPER-Test, durchschnittliche Herzfrequenz während des Laufes).

Die erhobenen Rundenzeiten wurden in Geschwindigkeiten umgerechnet, um die Konstanz des Lauftempos zu operationalisieren. Abbildung 8 stellt die berechneten Geschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Verlauf des Tests dar. Abbildung 9 verdeutlicht die prozentualen Veränderungen ( $\Delta$ ) der Laufgeschwindigkeit während der letzten Meter. Dieser Bereich wurde besonders beurteilt, da sich v.a. während der letzten Minute im COOPER-Test (Endspurt) Laufgeschwindigkeiten verändern können. Zwei der UT sind auf den letzten Metern langsamer geworden. Lediglich drei Veränderungen der Laufgeschwindigkeit am Ende des COOPER-Tests sind auffällig ( $\Delta > \pm 15\%$ ).

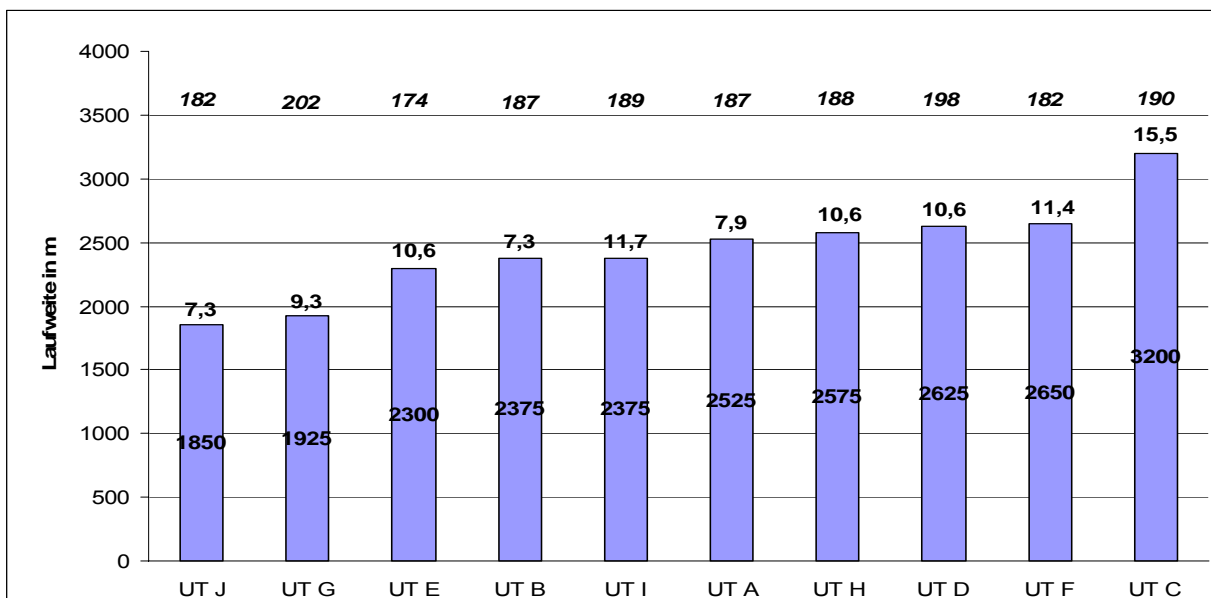




**Abb. 9.** Veränderung der Laufgeschwindigkeit in Prozent. Die Angaben beziehen sich auf die prozentuale Veränderung der Laufgeschwindigkeit der letzten gelaufenen Meter verglichen mit der Laufgeschwindigkeit der letzten vollen Runde während des COOPER-Tests.

Werden die drei Extremwerte (UT A, D und H) ignoriert, so verringert sich die absolute durchschnittliche  $\Delta$  von 13,41% auf 4,28%, und man kann eine Konstanz der Laufgeschwindigkeit annehmen.

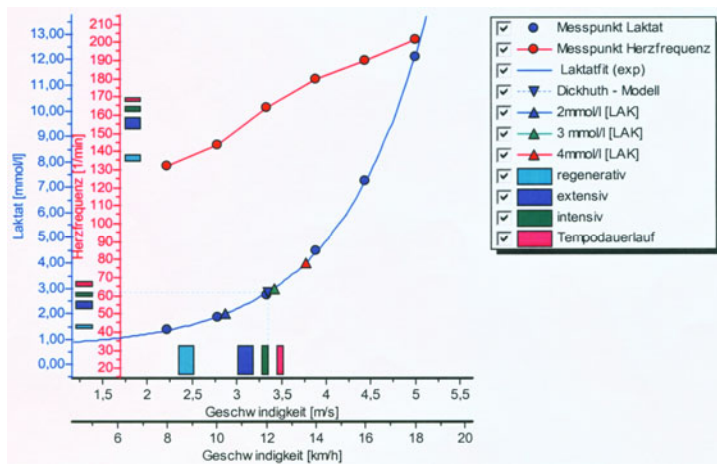
Die Abbildung 10 vereinigt die Parameter LW,  $Hf_{\text{COOPER}}$  und  $La_{\text{COOPER}}$ .



**Abb. 10.** Erreichte Laufweiten in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Herzfrequenz während des COOPER-Tests und den direkt nach dem Test gemessenen Laktatwerten. Die Laufweiten sind nochmals explizit in den Säulen, die Laktatwerte (in mmol/l) über den Säulen und die Herzfrequenzen ( $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ) kursiv gedruckt im oberen Teil des Diagramms aufgeführt (Bsp.: UT A erreichte bei einer durchschnittlichen Herzfrequenz von 187 eine Weite von 2525 Metern. Die direkt nach der Belastung gemessene Laktatkonzentration betrug 7,9 mmol/l.).

### 3.5.3 Laktatstufentest

Exemplarisch sind eine Laktat- und Herzfrequenzkurve (Abb. 11) sowie die tabellarischen Ergebnisse des Stufentests (Tab. 8) eines UT abgebildet.



**Abb. 11.** Laktat- und Herzfrequenzleistungskurve aus der Abteilung Leistungsdiagnostik des OSP Rhein-Neckar.

**Tab. 8.** Tabellarische Ergebnisse einer Laktatleistungsdiagnostik.

	2mmol/l	4mmol/l	IAS	Max
<b>Laktat (mmol/l)</b>	2,00	4,00	2,85	12,14
<b>Herzfrequenz (1/min)</b>	147	177	165	202
<b>v (m/s)</b>	2,87	3,77	3,35	5,00
<b>v (km/h)</b>	10,3	13,6	12,1	18,0
<b>max. Leistung (%)</b>	57,3	75,4	67,0	100,0

v: Geschwindigkeit.

Der Stufentest auf dem Laufband ergab für das untersuchte Klientel nachfolgende ausgewählte Ergebnisse. Detaillierte Darstellungen aller gemessenen Variablen finden sich im Anhang (Anhang B).

**Tab. 9.** Ausgewählte Ergebnisse des Laktatstufentests.

	v(IAS)	v(4mmol/l)	v(max)	Hf <sub>max</sub>	La <sub>IAS</sub>	La <sub>max</sub>	%VO <sub>2</sub> -max
<b>Schüler</b> (n=10)	2,23 - 3,41 <b>2,87±0,45</b>	2,27 - 3,77 <b>3,04±0,57</b>	3,15 - 5,0 <b>4,13±0,53<sup>#</sup></b>	190 - 210 <b>198,6±7,7<sup>#</sup></b>	2,57 - 4,35 <b>3,48±0,6</b>	8,53 - 12,95 <b>10,94±1,6<sup>#</sup></b>	62,13 - 75,00 <b>69,64±3,99<sup>#</sup></b>
<b>Studierende</b> (n=14)	2,20 - 3,90 <b>2,89±0,48</b>	1,98 - 4,08 <b>3,03±0,54</b>	3,33 - 4,91 <b>3,94±0,45</b>	180 - 206 <b>193±7</b>	2,89 - 4,73 <b>3,5±0,52</b>	8,97 - 13,53 <b>10,53±1,32</b>	65,68 - 84,23 <b>73,3±5,4</b>
<b>Gesamt</b> (n=24)	2,20 - 3,90 <b>2,89±0,46</b>	1,98 - 4,08 <b>3,04±0,54</b>	3,15 - 5,00 <b>4,00±0,48<sup>##</sup></b>	180 - 210 <b>195±7,6<sup>##</sup></b>	2,57 - 4,73 <b>3,49±0,53</b>	8,53 - 13,53 <b>10,67±1,4<sup>##</sup></b>	62,13 - 84,23 <b>71,95±5,14<sup>##</sup></b>

La: Laktat (mmol/l); v: Geschwindigkeit (m/s); Hf: Herzfrequenz ( $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ); max: maximale(s); IAS (nach Simon und Dickhuth). Daten sind dargestellt in Min – Max **MW±SD**; <sup>#</sup>n=8; <sup>##</sup>n=22.

Die Geschwindigkeit an der IAS (v(IAS)) als Indikator für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ordnete sich bei einem Mittelwert von  $2,89 \pm 0,46$  m/s zwischen 2,20 und 3,90 m/s ein.

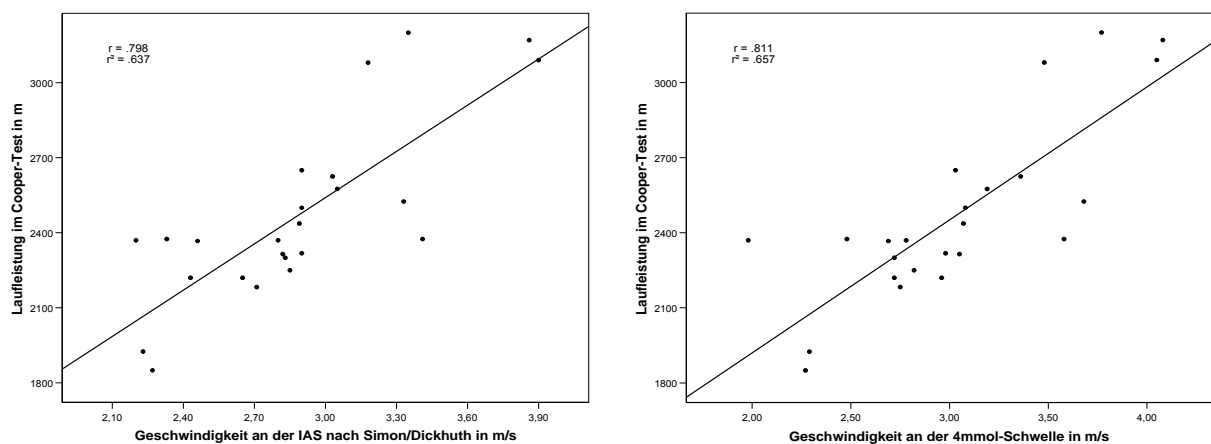
Zwei UT der Gruppe 1 mussten den Stufentest aufgrund von Schwindel oder Übelkeit abbrechen, bevor von einer objektiven Erschöpfung ausgegangen werden konn-

te. Die „maximalen“ Werte dieser beiden UT wurden daher von weiteren statistischen Auswertungen ausgeschlossen.

Die Variablen  $v(\text{IAS})$  sowie  $v(4\text{mmol/l})$  sind bei beiden Gruppen normalverteilt. Zwischen den Gruppen zeigt sich kein signifikanter Unterschied ( $p = .905$ , bzw.  $p = .993$ ) bezüglich der Ausdauerleistungsfähigkeit, charakterisiert mittels  $v(\text{IAS})$  nach Simon und Dickhuth, respektive 4mmol-Schwelle nach Mader ( $v(4\text{mmol})$ ). Die Werte beider Gruppen können daher für weitere Berechnungen zusammengefasst werden.

### 3.5.4 Zusammenhänge und Vergleiche zwischen COOPER-Test und Stufentest

Der Zusammenhang ( $n = 24$ ) zwischen der Laufweite im COOPER-Test (LW) und der  $v(4\text{mmol})$  resp.  $v(\text{IAS})$  ist hochsignifikant ( $r = .811$ ,  $p < .01$  resp.  $r = .798$ ,  $p < .01$ ). Im Fall der Korrelation mit  $v(\text{IAS})$  ergibt sich ein Determinationskoeffizient von  $r^2 = .637$ , bzw. eine Varianzaufklärung von 63,7%.



**Abb. 12.** Zusammenhänge zwischen COOPER-Test und  $v(\text{IAS})$  nach Simon/Dickhuth-Modell (links) bzw.  $v(4\text{mmol})$  nach Mader (rechts). Die Korrelationen waren hochsignifikant ( $p < .01$ ).

Eine durchgeführte Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable  $v(\text{IAS})$  und der unabhängigen Variable (LW) ergab folgenden Regressionsgleichung:

$$v(\text{IAS}) = 1,032 \cdot 10^{-3} \cdot LW + 0,336$$

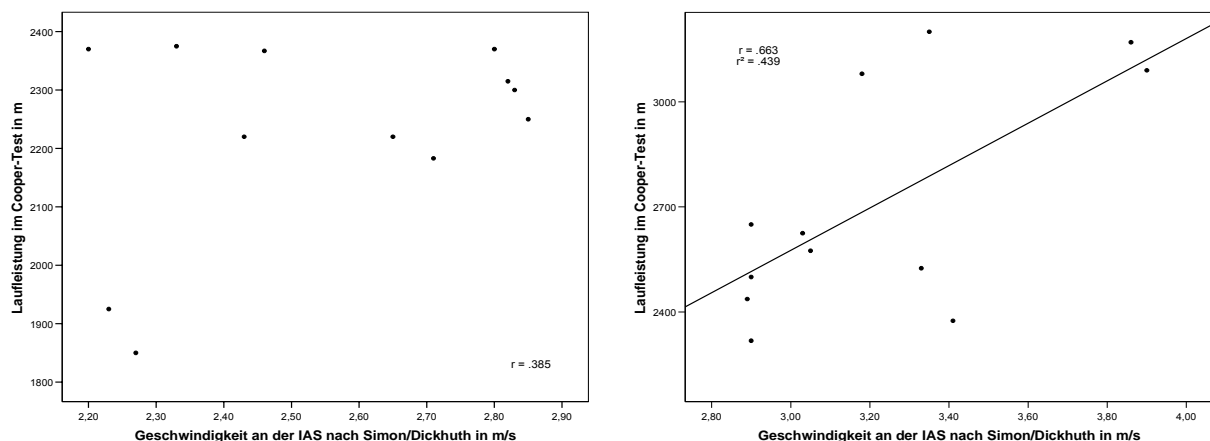
Für die einzelnen Gruppen zeigten sich ebenfalls signifikante Korrelationskoeffizienten (Gruppe 1:  $r = .736$ ,  $p < .05$ ; Gruppe 2:  $r = .847$ ,  $p < .01$ ) zwischen der LW und der  $v(\text{IAS})$ .

Werden bei diesen Berechnungen nur die UT berücksichtigt, die eine relativ konstante Geschwindigkeit ( $\Delta < 15\%$ ; Abb. 9) gelaufen sind ( $n = 7$ ), dann stellt sich zwar ein tendenzieller, aber nicht signifikanter Zusammenhang zwischen der LW und der  $v(\text{IAS})$  ein ( $r = .745$ ,  $p = .055$ ). Da bei Gruppe 2 die Rundenzeiten nicht notiert worden sind, ist die Berücksichtigung der Einflussnahme der Laufkonstanz nur bei den UT der Gruppe 1 möglich.

Die Zusammenhänge zwischen der maximal erreichten Laufgeschwindigkeit ( $v(\text{max})$ ) auf dem Laufband und der LW ( $n = 22$ ) sind ebenfalls hochsignifikant ( $r = .890$ ,  $p < .01$ ).

Die aufgezeichneten Herzfrequenzen ( $187,9 \pm 8 \cdot \text{min}^{-1}$ ) während des COOPER-Tests ( $Hf_{\text{COOPER}}$ ) lagen im Mittel nur 4,4% unter den maximalen Herzfrequenzen ( $Hf_{\text{max}}$ ;  $198,63 \pm 7,7 \cdot \text{min}^{-1}$ ), die beim Stufentest erreicht wurden. Ähnliches gilt für die direkt nach dem COOPER-Test bestimmte Laktatkonzentration ( $La_{\text{COOPER}}$ ; MW:  $10,22 \pm 2,5 \text{ mmol/l}$ ). Sie liegt nur 4,3% unter der maximalen Laktatkonzentration ( $La_{\text{max}}$ ; MW:  $10,93 \pm 1,6 \text{ mmol/l}$ ) des Stufentests.

In einem nächsten Schritt wurden die UT ( $n = 24$ ) hinsichtlich ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit ( $v(\text{IAS})$  in m/s) in zwei Bereiche eingeteilt, sodass jeweils 50% der UT einem der Bereiche angehörten. Die Bemessungsgrenze wurde über die erreichte Geschwindigkeit an der IAS ( $v(\text{IAS})$  in m/s) ermittelt. Diese lag bei 2,87 m/s, sodass gilt:  $v_1$  ( $n = 12$ )  $\leq 2,87 \text{ m/s} < v_2$  ( $n = 12$ ). Für die Gruppe mit der vergleichsweise schlechteren aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit ( $v_1$ ; Abb. 13 links) ergab sich dann ein nicht signifikanter Korrelationskoeffizient ( $r = .385$ , n.s.) zwischen der  $v(\text{IAS})$  und der Laufweite im COOPER-Test (LW).



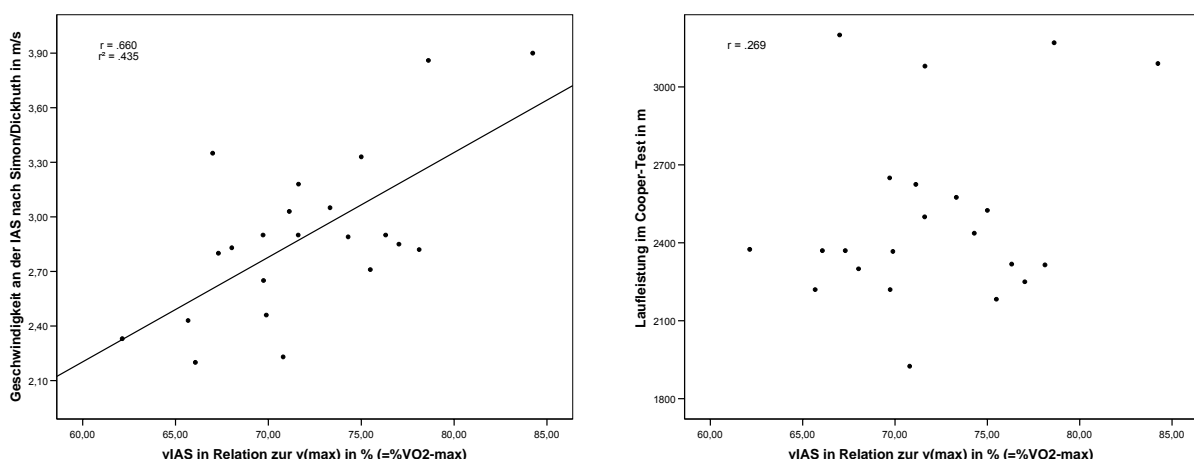
**Abb. 13.** Zusammenhänge zwischen LW und  $v(\text{IAS})$  nach Simon/Dickhuth-Modell (in Bereiche eingeteilt). Links: UT mit  $v(\text{IAS}) \leq 2,87 \text{ m/s}$  (n.s.); rechts: UT mit  $v(\text{IAS}) > 2,87 \text{ m/s}$  ( $p < .05$ ).

Für die Gruppe mit der besseren aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit ( $v_2$ ; Abb. 13 rechts) resultiert dagegen ein signifikanter Korrelationskoeffizient ( $r = .663$ ,  $p < .05$ ).

Ergebnisse konnten auch im Hinblick auf die prozentuale aerobe Ausschöpfung der  $VO_2$ -max ( $\%VO_2$ -max) gewonnen werden. Als Indikator für die  $VO_2$ -max galt die maximal erreichte Laufbandgeschwindigkeit ( $v(\max)$ ) beim Stufentest. Voraussetzung für die Berücksichtigung der Daten hinsichtlich der  $v(\max)$  ist eine vollständige Erschöpfung des UT während des Stufentests. Dies wurde anhand von bestimmten Kriterien überprüft: Ausbelastungskriterien wie z.B. Laktat  $> 8$  mmol/l, oder 90% der maximalen Herzfrequenz (220-Lebensalter) sprechen für eine Ausbelastung (vgl. S. 11). Die Erfüllung beider Kriterien war Voraussetzung für die weitere Berücksichtigung der Daten für die anschließenden Korrelationsberechnungen. Die Werte von insgesamt 22 UT entsprachen den Bedingungen: Die erhobenen maximalen Herzfrequenzen ( $n = 22$ ) lagen im Mittel  $16 \pm 6 \cdot \text{min}^{-1}$  über den geforderten Herzfrequenzen, die Laktatwerte lagen im Mittel  $2,68 \pm 1,4$  mmol/l über den erforderlichen 8 mmol/l. Die maximal erreichte Geschwindigkeit (in m/s) während des Stufentests ( $v(\max)$ ) kann in diesen Fällen als Indikator für die  $VO_2$ -max angenommen werden. Infolgedessen kann mit der IAS indirekt der prozentuale aerobe Anteil der  $VO_2$ -max (bzw. der maximalen Leistung in m/s als Indikator) errechnet werden ( $= v(\text{IAS}) / v(\max)$  in %).

Bsp.: Die  $v(\max)$  auf dem Laufband beträgt 5 m/s. Die IAS lag bei 3,35 m/s. Es resultiert dann eine % aerobe Ausschöpfung der abgeschätzten  $VO_2$ -max von 67%.

Die Mittelwerte für die maximalen Laufgeschwindigkeiten auf dem Laufband ( $v(\max)$ ) und Geschwindigkeiten an der IAS ( $v(\text{IAS})$ ) beliefen sich auf  $4,00 \pm 0,48$  bzw.  $2,89 \pm 0,46$  m/s. Die  $\%VO_2$ -max lag im Mittel bei  $71,95 \pm 5,14$  %.



**Abb. 14.** Streudiagramme ( $n = 22$ ); links: zwischen  $\%VO_2$ -max und der  $v(\text{IAS})$  ( $p < .01$ ); rechts: zwischen  $\% VO_2$ -max und LW (n.s.).

Wie die Abbildung 14 zeigt, stellt sich ein nicht signifikanter Korrelationskoeffizient ( $r = .269$ ,  $p = .226$ ) zwischen der LW und der  $\%VO_2$ -max ein. Die Korrelation zwischen der  $\%VO_2$ -max und der  $v(IA)$  hingegen ist hochsignifikant ( $r = .66$ ,  $p < .01$ ).

Die Ergebnisse werden auch bestätigt, wenn nach oben gezeigtem Schema eine Aufteilung der UT bezüglich der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit in Bereiche ( $v_1$  und  $v_2$ ) erfolgt. Die Korrelationen zwischen der LW der Gruppen  $v_1$  und  $v_2$  und der  $\%VO_2$ -max betragen  $-.0279$  ( $p = .407$ ) resp.  $.109$  ( $p = .749$ ) und sind nicht signifikant. UT, die den Laktatstufentest vor einer objektiven Erschöpfung beendeten ( $n = 2$ ), wurden von der Berechnung ausgeschlossen. Auch wenn nur die UT in die Berechnung eingezogen werden, die während des COOPER-Tests konstant gelaufen sind ( $n = 7$ ), ergibt sich eine nicht signifikante Korrelation von  $-.368$  ( $p = .416$ ).

## 4 Diskussion

Vor dem Hintergrund der Fragestellung „Kann über den COOPER-Test die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit abgeschätzt werden?“ werden im Folgenden die wichtigsten Ergebnisse interpretiert und diskutiert:

1. *Zwischen der Geschwindigkeit an der IAS ( $v(IAS)$ ) und der Laufweite im COOPER-Test (LW) ergab sich ein hochsignifikanter positiver Zusammenhang ( $r = .811$ ,  $p < .01$ ). Die Hypothese  $H_1$  wird somit verworfen.*

In diesem Fall ist von einem Determinationskoeffizienten von  $r^2 = .658$  (65,8% Gesamtvarianzaufklärung) auszugehen. D.h. der COOPER-Test wird auf den ersten Blick zu 65,8% durch die aerobe Leistungsfähigkeit determiniert. Betrachtet man unhinterfragt dieses Ergebnis, müsste man die Fragestellung dieser Arbeit „Kann über den COOPER-Test die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit abgeschätzt werden?“ – aus statistischer Sicht - mit „ja“ beantworten. Inwiefern die Fragestellung aus empirischer Sicht mit „ja“ beantwortet werden kann, ist reine Definitionssache und liegt im Ermessen des Betrachters: „Ab welcher Varianzaufklärung ist es legitim, vom COOPER-Test auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit zu schließen?“

Weiler et al. (1985) kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Sie konnten diesbezüglich bei Sportstudenten einen Korrelationskoeffizienten von  $r = .89$  (für  $v(IAS)^3$ ) bzw.  $r = .75$  (für  $v(4mmol)$ ) nachweisen. Eine weitere Diskussion – auch über Aspekte empirischer Bedeutsamkeit – wird allerdings nicht angestellt.

Die Aussage zur Leistungsdetermination hinsichtlich aerober Anteile kann aber nur dann getroffen werden, wenn andere bekannte Störvariablen, wie z.B. Lauftechnik, Lauftaktik und Motivation in einer Untersuchung konstant gehalten werden. In der vorliegenden Untersuchung konnte man lediglich bei der Gruppe der Schüler von höchster Motivation (Notengebung) ausgehen. Bei der Gruppe 2 musste sich der Verfasser dieser Arbeit auf die ehrlichen Angaben der Studierenden verlassen. Auch wurde bei beiden Gruppen die letzte Minute beim COOPER-Test angepiffen, sodass es durchaus möglich sein kann, beim COOPER-Test andere Determinanten bzw. Fähigkeiten (wie z.B. Schnelligkeit oder Schnelligkeitsausdauer) in erhöhtem Maße mit gemessen zu haben. Auch die gemessenen Laktatkonzentrationen nach dem

---

<sup>3</sup> In der Studie von Weiler et al. (1985) wurde zur Berechnung der individuellen anaeroben Schwelle das Modell von Stegmann et al. (1981) benutzt.

COOPER-Test können durch die Geschwindigkeitserhöhung auf den letzten Metern beeinträchtigt worden sein.

Dieses auf den ersten Blick hochsignifikante Ergebnis muss aber auch aufgrund von Ergebnissen, die Föhrenbach (1986) in seinen Untersuchungen erhielt, mit entsprechender Zurückhaltung interpretiert werden. Er verglich die Bestzeiten verschiedener leichtathletischer Läufe (800m, 1500m, 3000m und Marathon) mit den Geschwindigkeiten an der 4mmol-Schwelle. Die Korrelationskoeffizienten stiegen mit zunehmender Distanz der Läufe an, da die aerobe Leistungsfähigkeit mit zunehmender Distanz die Zeiten der Läufe vermehrt determiniert. Dennoch – und das ist verwunderlich – korreliert die 800m-Bestzeit (knapp unter 2 Minuten) ebenfalls noch mit der  $v(4\text{mmol})$  ( $r = .689$ ,  $p < .01$ ) bei 800m-Läuferinnen, obwohl bspw. Neumann (1984, in Martin et al., 2001) Belastungen von bis zu 2 Minuten Dauer in Anteile der Energiebereitstellung von 80% anaerob und 20% aerob einteilt. Trotz dieser Korrelation stellt der 800m-Lauf kaum einen Prädiktor für die aerobe Leistungsfähigkeit dar. Allerdings muss hinzugefügt werden, dass Föhrenbach (1986) die Untersuchungen mit trainierten Athleten durchführte und hier die Energiebereitstellungsmechanismen bei gleicher Belastung möglicherweise anders greifen als bei Untrainierten (vgl. Keul & Haralambie, 1977). Auch die Untersuchung von Yoshida, Udo, Iwai und Yamaguchi (1992) zeigte bei trainierten Mittel- und Langstreckenläuferinnen eine hochsignifikante Korrelation ( $r = .78$ ) zwischen der Geschwindigkeit in einem 3000m-Lauf (in etwa vergleichbar mit der Laufdistanz eines COOPER-Tests) und der  $v(\text{IAS})^4$ . In diesem Rahmen wären Vergleiche der genannten Variablen bei einer untrainierten Stichprobe interessant.

Nichtsdestoweniger ist die Frage nach der empirischen Bedeutsamkeit oben genannter Ergebnisse der vorliegenden Studie völlig gerechtfertigt, wenn bereits Läufe ab 2 Minuten Dauer mit der  $v(4\text{mmol})$  korrelieren.

Es bleibt nach dieser ersten Korrelationsanalyse festzuhalten, dass Läufe über 12-Minuten von einem ausreichenden Anteil der aeroben Leistungsfähigkeit determiniert werden, damit dies zu statistisch bedeutsamen Ergebnissen führt. Die Frage nach der empirischen Bedeutsamkeit, ab welcher Varianzaufklärung Bezüge von der Laufweite zur aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit gerechtfertigt sind (vgl. auch Ergebnisse von Föhrenbach, 1986 und Yoshida et al., 1992), bleibt dennoch offen. Um

---

<sup>4</sup> individuelle anaerobe Schwelle nach Beaver, Wassermann und Whipp (1985).



empirisch bedeutsame Aussagen generieren zu können, sind zudem größere Stichproben erforderlich.

2. *Zwischen der prozentual aeroben Ausschöpfung der  $VO_2$ -max ( $\%VO_2$ -max) und der LW ergab sich kein überzufälliger Zusammenhang ( $r = .269$ ,  $p = .226$ ). Hypothese  $H_2$  kann somit bestätigt werden.*

Oft werden mehrere Konzepte (IAS;  $VO_2$ -max,  $\%VO_2$ -max, aerobe Schwelle...) verwendet, um eine Leistung über eine bestimmte Laufstrecke vorherzusagen. Viele Untersuchungen und Autoren bestätigen, dass die  $VO_2$ -max kein geeignetes Kriterium für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ist und oft nicht mit der Laufleistung korreliert (Daniels et al., 1978; Coyle et al., 1988; Heck, 1990a; Boutellier & Spengler, 1999; Hollmann & Hettinger, 2000; Weineck, 2003). Neben dem Konzept der IAS korreliert oft die prozentuale aerobe Ausschöpfung der  $VO_2$ -max mit Ausdauerleistungen sehr hoch und wird demzufolge als Prädiktor für Laufleistungen diskutiert und akzeptiert (vgl. Yoshida et al., 1993).

Die  $\%VO_2$ -max steht in engem Bezug zur aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (vgl. Weineck, 2003). Individuen können durch Training bei gleicher Belastungsdauer einen höheren Prozentsatz der  $VO_2$ -max beanspruchen als Untrainierte (Åstrand & Rohdal, 1978). Vice versa können Trainierte eine Belastung bei dem gleichen prozentualen Anteil der  $VO_2$ -max länger durchhalten als Untrainierte (vgl. Daniels, 1978).

Vor diesem Hintergrund wurde die Laufleistung im COOPER-Test auch mit der prozentualen aeroben Ausschöpfung der  $VO_2$ -max verglichen. In Bezug auf die Rechtfertigung, die  $VO_2$ -max mittels eines rektangulär-triangularen Belastungsprotokolls über die  $v(\max)$  abzuschätzen, sei auf Margaria (1963) oder Pugh (1970, in Hollmann & Hettinger, 2000; s. S. 12) verwiesen.

Nun ist zunächst verwunderlich, dass die Korrelation zwischen der Variable  $\%VO_2$ -max und der Laufweite im COOPER-Test nicht signifikant ausfiel ( $r = .269$ ,  $p = .226$ ), betrachtet man die Ergebnisse von Punkt 1. Schließlich sind beide Variablen ( $v(\text{IAS})$  und  $\%VO_2$ -max) Indikatoren der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit. Die Korrelation zwischen den beiden Variablen ( $r = .66$ ,  $p < .01$ ) spricht für gemeinsame Determinanten. Geht man allerdings davon aus, dass der COOPER-Test gerade kein Prädiktor für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ist, so ist dieses Ergebnis nicht verwunderlich.

Die Studie von Yoshida et al. (1992) widerspricht den gefundenen Ergebnissen, denn sie fanden eine hochsignifikante Korrelation ( $r = .60$ ) zwischen der Geschwindigkeit eines 3000m-Laufes und der  $\%VO_2\text{-max}$  – allerdings bei aerob trainierten Frauen.

Der Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse der Zusammenhänge zwischen den Parametern  $\%VO_2\text{-max}$  bzw.  $v(\text{IAS})$  und der Laufweite im COOPER-Test ist nicht klar ersichtlich. Auch die in der Literatur nur rudimentär und widersprüchlich vorhandenen Interpretationen zur  $\%VO_2\text{-max}$  und etwaige Vergleiche zur Laktatleistungsdiagnostik erschweren eine derzeitige Interpretation zusätzlich. Aus diesem Grunde sind Treatment-Studien Mittel der Wahl. Diese ermöglichen eine Beobachtung der Entwicklung verschiedener Parameter (LW, IAS,  $VO_2\text{-max}$ ,  $\%VO_2\text{-max}$ ) über die Zeit in Abhängigkeit vom Trainingsregime (aerob, anaerob). Eine Beurteilung der Veränderung der Parameter in Bezug auf die Leistung im COOPER-Test könnte dann wissenschaftlich sinnvoll angewendet werden.

Die in der vorliegenden Untersuchung gewonnenen neuartigen Ergebnisse dürfen dennoch nicht überbewertet werden, da der Parameter  $\%VO_2\text{-max}$  über die maximal erreichte Geschwindigkeit beim Laktatstufentest in der vorliegenden Untersuchung lediglich abgeschätzt und nicht direkt gemessen werden konnte. Möglicherweise haben sich auch einige UT während des Stufentests nicht vollständig ausbelastet. Die Variable  $\%VO_2\text{-max}$  sollte in zukünftigen Studien zur leistungsphysiologischen Betrachtungsweise des COOPER-Tests Berücksichtigung finden, um genauere Interpretationen zu ermöglichen. Zusätzlich müssen weitere Parameter, wie z.B. der respiratorische Quotient zur Absicherung einer Ausbelastung gemessen werden.

3. *Bei konstanten Laufgeschwindigkeiten im COOPER-Test ergab sich keine signifikante Korrelation ( $r = .745$ ,  $p = .055$ ) zwischen der LW und der  $v(\text{IAS})$ . Die Hypothese  $H_3$  wird somit bestätigt.*

Aufgrund der oftmals in der Literatur geschilderten Aussage, der COOPER-Test hätte nur dann im Hinblick auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit Gültigkeit, wenn dieser mit konstanter Geschwindigkeit gelaufen werde (vgl. Cooper, 1970; de Mairées, 2003; Weineck, 2003), wurde die Gruppe 1 ( $n = 10$ ) auf Laufkonstanz hin überprüft (vgl. Abb. 8 und Abb. 9 auf S. 34 und 35). Unter diesem Gesichtspunkt wurden die Daten von 7 UT ausgewertet. Das Ergebnis zeigt dann zwar noch einen tendenziellen aber trotzdem keinen statistisch bedeutsamen Zusammenhang mehr zwi-

schen der LW und der  $v(\text{IAS})$ . Weiler et al. (1985) überprüften in ihrer Studie die Laufkonstanz nicht.

Dies ist ein diskussionswürdiger Faktor, der gegen den COOPER-Test als Maß für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit spricht, kurioserweise genau dann, wenn er vermeintlich richtig, d.h. gemäß vorliegenden Testanweisungen ausgeführt wird. Dieses Resultat besitzt enorme Aussagekraft, da im Gegensatz zu Punkt 1 neben der empirischen Bedeutsamkeit (vgl. Föhrenbach, 1986; Yoshida et al., 1992) sogar eine statistische fehlt.

Um dieses Phänomen weiterführend empirisch abzusichern, bedarf es dennoch größerer Stichproben und der Gewährleistung einer exakten Laufkonstanz beim COOPER-Test. In zukünftigen Studien muss vor der Durchführung des COOPER-Tests definiert werden, ab wann von einer Laufkonstanz ausgegangen werden kann. Eine Konstanz der Laufgeschwindigkeit wird jedoch im Test schwierig zu verwirklichen sein. Eine Möglichkeit wären oftmalige Wiederholungen des Laufes, um letztendlich die individuelle konstante Geschwindigkeit, mit der der 12-Minuten-Lauf bewältigt werden kann, festzustellen. Vielleicht sind auch Ableitungen von der maximalen Laufbandgeschwindigkeit auf eine individuell angepasste Geschwindigkeit im COOPER-Test möglich, denn auch hier finden sich, wie im Ergebnisteil belegt (s. S. 38), signifikante Zusammenhänge.

4. *Die Stichprobe ( $n = 24$ ) wurde anhand der  $v(\text{IAS})$  (Bemessungsgrenze: 2,87 m/s) in Gruppen mit besserer und schlechterer aerober Ausdauerleistungsfähigkeit eingeteilt. In der Gruppe der schlechteren aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit ergab sich kein positiver Zusammenhang ( $r = .385$ ,  $p = .217$ ) zwischen der LW und der  $v(\text{IAS})$ . Die Hypothese  $H_4$  wird somit bestätigt.*

In der Literatur (Bös, 1987; Martin et al., 2001; Weineck, 2003) ist oft zu lesen, dass der COOPER-Test eine gewisse Lauferfahrung voraussetzt. Um zu überprüfen, ob das Leistungsniveau einen Einfluss auf die Korrelation zwischen  $v(\text{IAS})$  und LW hat, wurde das untersuchte Klientel in zwei Gruppen mit besserer/schlechterer Ausdauerleistungsfähigkeit eingeteilt. Das Ergebnis impliziert, dass bei Ausdauer schwachen bzw. aerob Untrainierten nicht mehr von der Laufweite im COOPER-Test auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit geschlossen werden darf. Hier kann angenommen werden, dass andere Störvariablen, wie z.B. die Lauftechnik, Lauftaktik oder der anaerobe Metabolismus (Keul & Haralambie, 1977) wesentlich größeren Einfluss auf die Leistung im COOPER-Test nehmen als bei besser Ausdauertrainierten. In die-

sem Fall nehmen andere Determinanten einen so starken Einfluss auf die Leistung im Test, dass die aerobe Grundlagenausdauer die Laufweite nicht mehr statistisch bedeutsam determiniert.

Auf diesen Sachverhalt weisen Hohmann et al. (2003) sehr pointiert hin: Eine bestimmte Leistung wird bei unterschiedlichen Leistungsniveaus auch durch unterschiedliche Anteile der Leistungsdeterminanten erreicht.

Dieses Ergebnis scheint vorauszusetzen, dass der COOPER-Test nur bei lauerfahrenen Personen die Ausdauerleistungsfähigkeit regressiv abschätzen kann. Dies konnte bisher leistungsphysiologisch nicht nachgewiesen werden. Ähnliches belegt die Untersuchung von Grant, Craig, Wilson und Aitchison (1997), die bei *gut trainierten* („well-trained“) Läufern eine Korrelation von .93 zwischen der Geschwindigkeit eines 3000m-Laufes und der  $v(4\text{mmol})$  ableiten konnten. Dasselbe gilt für die schon angesprochene Studie von Yoshida et al. (1993). Auch ihr Untersuchungsklientel bestand aus trainierten Mittel- und Langstreckenläuferinnen. Die Studie von Weiler et al. (1985) ließ leider eine solche Fragestellung unberücksichtigt. Bei ihren Analysen betrachteten sie stets alle UT und differenzierten nicht nach der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit.

Diese Sachverhalte implizieren, dass eine schlechte aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit selbst eine Störvariable ist, um diese regressiv über den COOPER-Test abschätzen zu können.

Aufgrund dieses Gesichtspunktes drängt sich geradezu die Frage auf, ab welchem Mindestmaß an aerober Ausdauerleistungsfähigkeit der COOPER-Test dieselbe regressiv abschätzen kann. Dies könnte eine Aufgabe zukünftiger Forschung sein.

Hierbei muss nochmals zurückgreifend auf die Auswertung der Trainingsanamnesebögen (3.5.1) verwiesen werden, dass das hier untersuchte Klientel zwar kein speziell aerob trainiertes, doch aber ein sportlich aktives war. In Anbetracht der Tatsache, dass es sich um Teilnehmer eines Neigungsfaches Sport und um Sportstudierende handelte, können dann Zusammenhänge zwischen der Laufweite im COOPER-Test und der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit bei einem „Durchschnittsklientel“ wie einer Schulklasse alles andere als sicher gewährleistet werden.

5. *Zwischen der direkt nach dem COOPER-Test gemessenen Laktatkonzentration ( $La_{COOPER}$ ) und der LW ergab sich ein hochsignifikanter Zusammenhang. Die Hypothese  $H_5$  wird somit bestätigt.*

Der in dieser Studie gezeigte Zusammenhang zwischen der Laktatkonzentration nach dem COOPER-Test ( $La_{COOPER}$ ) und der erreichten Laufweite im COOPER-Test (LW) war hochsignifikant ( $r = .709$ ,  $p < .01$ ; bzw.  $.844$ ,  $p < .05$  (für  $n = 7$ ) unter der Bedingung Laufkonstanz).

Die höchste gemessene Laktatkonzentration lag bei 15,5 mmol/l. Durchschnittlich erreichten die UT der Gruppe 1 Laktatwerte von 10,22 ( $\pm 2,48$ ) mmol/l direkt nach dem 12-Minuten-Lauf. Diese Beobachtung stimmt mit der von Gerisch (1990) überein, der durchschnittliche Laktatkonzentrationen von 9,06 und 10,87 mmol/l ermittelte. Es muss aber auch wie bei Gerisch (1990) darauf aufmerksam gemacht werden, dass gleiche Laufleistungen mit unterschiedlichen Laktatwerten einhergehen können. Dies ist z.B. bei den UT B und I der Fall, die beide eine Laufweite von 2375 Metern, aber mit unterschiedlichen Laktatkonzentrationen von 7,3 und 11,7 mmol/l erreichten. Aus den Laufweiten eine gleiche metabolische Beanspruchung abzuleiten, erwies sich hier als Trugschluss. Demzufolge dürften auch gleiche Laufleistungen nicht auf dieselbe aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit zurückgeführt werden. Auch dies konnte in der vorliegenden Studie bestätigt werden. Die hinsichtlich der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit wenig aussagenden Laufleistungen im COOPER-Test können durch begleitende Laktatmessungen präzisiert werden. Diese Ansicht vertritt auch Weineck (2000).

In der Studie von Weiler et al. (1985) wurden zwar Blutabnahmen zur Laktatbestimmung nach dem COOPER-Test angestellt, die Laktatkonzentrationen aber unverständlicherweise weder angeführt noch diskutiert.

Schneider (2002, S.144) schreibt: „dass die Ausdauerleistungsfähigkeit, ermittelt im dominant aeroben 12-Minuten-Lauftest nach Cooper, überraschend hoch ist.“ Diese Aussage ist zurückzuweisen, denn bei Laktatkonzentrationen von bis zu 15,7 mmol/l und Azidosen, die teilweise zu Hemmungen der Glykolyse führen, darf nicht mehr von „dominant aeroben“ Eigenschaften gesprochen werden.

Diese Ergebnisse bescheinigen zunächst die erheblich anaeroben Anteile (vgl. Weineck, 2003) während des Laufes.

Zum Anderen kann ableitend diskutiert werden, inwieweit anaerobe Leistungsfähigkeiten und Kapazitäten Einfluss auf die Laufweite im COOPER-Test nehmen:

Die maximale Laktatkonzentration repräsentiert die Fähigkeit zur Laktatproduktion und Laktattoleranz. Sie hängt mitunter von der genetisch bedingten Faserverteilung ab. Je mehr FT-Fasern im Muskel vorhanden sind, desto höher ist die glykolytische

Aktivität und desto mehr Laktat kann gebildet werden (Heck, 1990b). Die Interpretation der angesprochenen Korrelation ist dennoch nicht einfach, da hohe anaerobe Kapazitäten wiederum auf einer guten aeroben Ausdauergrundlage aufbauen. Trotzdem ist die Bestimmung der maximalen Laktatkonzentration als Maß für die anaerob-laktazide Energiebereitstellung weit verbreitet, und die Literatur zeigt sich einig, dass anaerob Trainierte im Gegensatz zu aerob Trainierten höhere maximale Laktatkonzentrationen erbringen können (Friedmann, Siebold & Bärtsch, 1996). Friedmann et al. (1996) konnten bspw. zeigen, dass Langstreckler im Vergleich zu Langsprintern zwar die bessere Ausdauerleistungsfähigkeit besitzen, die maximalen Laktatkonzentrationen und Azidosen waren hingegen bei den Langsprintern bedeutend höher. Auch in der vorliegenden Studie zeigte sich, dass der UT mit der höchsten Laktatkonzentration (15,5 mmol/l) und gleichzeitig größten Laufdistanz (3200 Meter) während des 12-Minuten-Laufes im Trainingsanamnesebogen ein spezifisches Training der anaerob-laktaziden Kapazität (Sprints; Schnelligkeitsausdauer) angab. Auch die Ergebnisse der Studien von Bodden (2002) und Schneider (2002) stimmen mit den Vermutungen überein: Die Laufleistung der Jungen im COOPER-Test steigen ab ca. 14 Jahren im Gegensatz zu den Mädchen erheblich an, was auf erhöhte Testosteronspiegel (vgl. de Marées, 2003) respektive erhöhte anaerobe Kapazitäten zurückzuführen ist. Weiterhin ist im Artikel von Billat (1996) zu lesen, dass die direkt nach 400m- und 800m-Läufen (höchst anaerob) gemessenen Laktatkonzentrationen in positivem Zusammenhang mit der Laufleistung (bzw. Geschwindigkeit) der jeweiligen Strecke stehen. Wenn also, wie hier gezeigt,  $La_{COOPER}$  und LW in engem Zusammenhang stehen, so impliziert dies (vgl. Billat, 1996) ebenso höchst anaerobe Anteile während des COOPER-Tests.

In Bezug auf vorliegende Befunde kann festgehalten werden, dass eine hohe glykolytische Aktivität während des Laufes zu einer weiteren zurückgelegten Distanz beim COOPER-Test führt. Dies ist wahrscheinlich - aber leider wissenschaftlich mit der vorliegenden Studie nicht nachweisbar - auf ausgeprägte anaerobe Leistungsfähigkeiten, die die Laufweite mit determinieren, zurückzuführen.

Um diesbezüglich noch präzisere Aussagen treffen zu können, sind Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik notwendig. Wertvoll wäre eine Herangehensweise mit Diagnostiken zur Bestimmung von anaeroben Kapazitäten und Leistungsfähigkeiten, um entsprechende Vergleiche zum COOPER-Test zu ziehen. Leider sind diese im Lichte des heutigen Wissens noch sehr aufwendig, widersprüchlich und unzureichend validiert (Heck & Schulz, 2002; de Marées, 2003). Nichtsdestoweniger liegt hier ein weiterer Ansatz für zukünftige Forschungsvorhaben.

Ein zusätzlicher wissenschaftlicher Gesichtspunkt in diesem Kontext sind Treatment-Untersuchungen, bei denen verschiedene Trainingsprotokolle (dominant aerob; anaerob) im Hinblick auf die Entwicklung der Laufleistung im COOPER-Test evaluiert werden könnten: In welchem Ausmaß verbessert ein dominant anaerobes Training (Training oberhalb der IAS), ein aerobes (Training unterhalb der IAS) oder ein Training an der IAS die Laufleistung im COOPER-Test?

Eine übergreifende und allgemeingültige Prüfung der Validität des COOPER-Tests mittels Kriteriumsvalidität kann die vorliegende Studie aufgrund der präsentierten Ergebnisse nicht bieten, da die Validität unter bestimmten Bedingungen ihren Anspruch verliert. Durch die Messung der angesprochenen Parameter ist es allerdings gelungen, den COOPER-Test unter bestimmten Voraussetzungen in seiner Validität zu hinterfragen. Demzufolge muss die Anwendung des Tests in der Schule zur Notengebung auf die aerobe Ausdauer diskutiert werden. Für eine detailliertere Betrachtung des COOPER-Tests und für eine weitere Absicherung der in der Diskussion angestellten Gesichtspunkte sind umfassendere Studien nötig.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Absicht der vorliegenden Studie war es, einen Beitrag zu einer wissenschaftlich fundierten, kritischen Betrachtungsweise des COOPER-Tests aus leistungsphysiologischer Sicht zu leisten. Viele Kritiken kamen seit Bestehen dieses Tests – er messe angeblich die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit – an seiner Validität auf. Dennoch gibt es derzeit kaum gesicherte Untersuchungsergebnisse, die diese Kritiken stützen könnten. Neben diesem rudimentären (physiologischen) Diskussionsstand war die Tatsache, dass dieser Test in der Schule (auch im Abitur) zur Notengebung auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit herangezogen wird, ein weiterer Anstoß für die Durchführung dieser Untersuchung.

Es gibt eine Vielzahl von Studien, die die Validierung des COOPER-Tests mit der maximalen Sauerstoffaufnahmeleistung leisteten (wie z.B. Cooper, 1968; Doolittle, T.L. & Bigbee, R., 1968; Maksud & Coutts, 1971). Es sprechen aber einige Fakten gegen die  $VO_2$ -max als Maß für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit. Allerdings ist dem Autor nur eine Untersuchung bekannt (Weiler et al., 1985), die die individuelle anaerobe Schwelle als Validitätskriterium verwendete.

Zur Validierung mit der Laktatleistungsdiagnostik wurden in dieser Studie mehrere Parameter gemessen; als wichtigstes Kriterium zur Validierung diente die individuelle anaerobe Schwelle.

An dieser Studie nahmen insgesamt 24 Personen teil. Darunter befanden sich 10 Schülerinnen und Schüler sowie 14 Studentinnen und Studenten, die sportlich aber nicht speziell aerob trainiert waren. Die Teilnehmer führten einen COOPER-Test und einen Laktatstufentest durch. Bei diesen Tests wurden Blutabnahmen zur Bestimmung der jeweiligen Laktatkonzentration durchgeführt.

Die gewonnenen Ergebnisse lassen vermuten, dass zwischen den Variablen „Laufweite im COOPER-Test (LW)“ und „aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ( $v(IA)$ )“ nur bedingt Zusammenhänge bestehen. Infolgedessen kann auch die Fragestellung („Kann über den COOPER-Test die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit abgeschätzt werden?“) der vorliegenden Arbeit nicht eindeutig beantwortet werden:

Zwar konnten in einer übergreifenden Korrelationsanalyse zwischen LW und  $v(IA)$  statistisch signifikante ( $r = .811$ ,  $p < .01$ ) - dafür empirisch fragwürdige - Zusammenhänge entdeckt werden. Bei näherer Betrachtung und tiefer gehender Beurteilung der Daten liegt der Schluss nahe, dass dies jedoch nicht immer der Fall ist:

- wenn die Teilnehmer eines COOPER-Tests kein Mindestmaß an aerober Ausdauerleistungsfähigkeit besitzen ( $r = .385$ , n.s.) und/oder
- wenn mit konstanter Geschwindigkeit gelaufen wird ( $r = .745$ , n.s.).



Daneben liegt der Schluss nahe, dass anaerobe Kapazitäten und Leistungsfähigkeiten die Laufleistung im COOPER-Test zu einem hohen Anteil mit determinieren: Die Korrelation zwischen der Laktatkonzentration nach dem COOPER-Test und der erreichten Laufweite war hochsignifikant ( $r = .709$ ,  $p < .01$ ).

Neuartig und interessant (jedoch mehr explorativ) war auch der Vergleich zwischen der prozentualen Ausschöpfung der (geschätzten)  $VO_2$ -max und der Laufleistung im COOPER-Test, wobei keine statistisch signifikanten Zusammenhänge ( $r = .269$ , n.s.) zwischen den zwei Variablen resultierten.

Vor dem Hintergrund dieser neuen Erkenntnisse muss die Anwendung des COOPER-Tests bei der Notengebung auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit grundlegend überdacht werden.

Um die Ergebnisse und angestellten Interpretationen explizit zu stützen, sind weitergehende Untersuchungen nötig:

Zukünftige Forschungsvorhaben sollten vor dem geschilderten Hintergrund die Variable  $\%VO_2$ -max direkt messen – und nicht wie hier abschätzen – um präzisere Aussagen tätigen zu können.

Es muss weiterführend mit Hilfe von anaeroben Leistungsdiagnostiken oder Treatmentuntersuchungen (Trainingsprotokolle aerob vs. anaerob) aufgeklärt werden, inwiefern anaerobe Kapazitäten und Leistungsfähigkeiten bei Trainierten und Untrainierten die Ergebnisse des COOPER-Tests mit determinieren.

Bei allen zukünftigen wissenschaftlichen COOPER-Test-Durchführungen müssen Laufkonstanz und höchste Motivation (z.B. mit einem Prämiensystem) gewährleistet werden. Nur so lassen sich zweifelsfrei statistische Ergebnisse auf die zu untersuchende Variable zurückführen.

Zudem – und dies lässt sich aus dieser Studie ableiten – müssen die Leistungs determinanten bei Ausdauertrainierten und Untrainierten differenziert betrachtet und beurteilt werden, was die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse alles andere als erleichtert.

Da der COOPER-Test auch im Kindes- und Jugendalter angewendet wird, sind die hier angesprochenen Faktoren und Ergebnisse (Punkte 1-5 im vorangegangenen Kapitel 4) durchaus auch im kindlichen und jugendlichen Altersgang wissenschaftlich höchst relevant. Sie sind nicht zuletzt deshalb lohnenswert zu überprüfen, da sich die rel.  $VO_2$ -max (vgl. 2.2.1) im Altersgang bis zum Erwachsenenalter nicht verändert, die Laufweite im COOPER-Test hingegen schon.

Falls zukünftige Forschungsvorhaben – die oben genannten Voraussetzungen berücksichtigend – statistische signifikante Korrelationen zwischen der Laufweite im COOPER-Test und der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit nachweisen, muss dennoch die empirische Signifikanz diskutiert werden: Ab welchem Determinationskoeffizient und ab welcher Varianzaufklärung der Laufweite im COOPER-Test durch aerobe Leistungsfähigkeiten ist eine Notengebung gerechtfertigt?

## Literaturverzeichnis

- Åstrand, P.O. (1993). Ausdauersport. In R.J. Shepard & P.O. Åstrand (Hrsg.), *Ausdauer im Sport* (S. 22-29). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Åstrand, P.O. & Rodhal, K. (1978). *Textbook of Work Physiology*. New York: McGraw-Hill.
- Bassett, D.R. & Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32 (1), 70-84.
- Bergh, U., Ekblom, B. & Åstrand, P.-O. (2000). Maximal oxygen uptake „classical“ versus „contemporary“ viewpoints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32 (1), 85-88.
- Billat, L.V. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Medicine*, 22 (3), 157-175.
- Bleicher, A., Mader, A. & Mester, J. (1998). Zur Interpretation von Laktatleistungskurven - experimentelle Ergebnisse mit computergestützten Nachberechnungen. *Spektrum der Sportwissenschaften*, 10 (1), 92-104.
- Bleicher, A., Mader, A. & Mester, J. (1999). Zur Interpretation von Laktatleistungskurven - experimentelle Ergebnisse mit computergestützten Nachberechnungen – 2.Teil. *Spektrum der Sportwissenschaften*, 11 (1), 71-83.
- Bishop, P. & Martino, M. (1993). Blood lactate measurement in recovery as an adjunct to training. *Sports Medicine*, 16 (1), 5-13.
- Bodden, N. (2002). Wie kann man den COOPER-Test schulnotenbezogen erfassen?. *Sportunterricht*, 51 (9), 279-283.
- Bös, K. (1987). *Handbuch sportmotorischer Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Boutellier, U. & Spengler, C.M. (1999). VO<sub>2</sub>max als Mass für die Ausdauerleistungsfähigkeit?. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 47 (3), 118-122.
- Cerretelli, P. (1992). Energy sources for muscular exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 13 (1), 106-110.
- Coen, B., Urhausen, A., Schwarz, L. & Kindermann. (1992). Trainingssteuerung im Mittel- und Langstreckenlauf anhand der individuellen anaeroben Schwelle. *Leistungssport*, 22 (2), 55-60.
- Cooper, K.H. (1968). A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake. *The Journal of the American Medical Association*, 203, 135-138.
- Cooper, K.H. (1970). *Bewegungstraining – Praktische Anleitung zur Steigerung der Leistungsfähigkeit*. Frankfurt: Fischer.
- Cooper, M & Cooper, K.H. (1972). *The new aerobics*. New York: M. Evans and Company, Inc.

- Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hopper, A.K. & Walters, T.J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, 64 (6), 2622-2630.
- Denis C., Fouquet, R., Poty, P., Geysant, A. & Lacour, J.R. (1982). Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 3, 208-214.
- Dickhuth, H.-H., Aufenanger, W., Schmidt, P., Simon, G., Huonker, M. & Keul, J. (1989). Möglichkeiten und Grenzen der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Mittel- und Langstreckenlauf. *Leistungssport*, 19 (4), 21-24.
- Dickhuth, H.-H., Berg, A., Lehmann, M. & Keul, J. (1983). Laufband- und Fahrradergometrie im Bereich des Hochleistungssports. In H. Mellerowicz & I.-W. Franz (Hrsg.), *Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie* (S. 253-258). Erlangen: Perimed.
- Duncan, G.E., Howley, E.T. & Johnon, B.N. (1997). Applicability of  $VO_{2max}$  criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (2), 273-278.
- Doolittle, T.L. & Bigbee, R. (1968). The twelve-minute run-walk: a test of cardiorespiratory fitness of adolescent boys. *The Research Quarterly*, 39 (3), 491-495.
- Farrell, P.A., Wilmore, J.H., Coyle, E.F., Billing, J.E. & Costill, D.L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11, 338-344.
- Föhrenbach, R. (1986). *Leistungsdiagnostik, Trainingsanalyse und -steuerung bei Läuferinnen und Läufern verschiedener Laufdisziplinen*. Konstanz: Hartung-Gorre.
- Friedmann, B., Siebold, R. & Bärtsch, P. (1996). Vergleich der anaeroben Leistungsfähigkeit von 400 m- und Langstreckenläufern unter Anwendung unterschiedlicher Meßmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 47 (6), 379-390.
- Gerisch, G. (1990). Der Cooper-Test. *Fußballtraining*, 5/6, 61-63.
- Gerisch, G. & Tritschoks, H.-J. (1988). Cooper-Test und Sprintausdauer-Tests mit und ohne Ball im Fußball. *Leistungssport*, 15 (5), 42-48.
- Grant, S., Craig, I., Wilson, J. & Aitchison, T. (1997). The relationship between 3 km running performance and selected physiological variables. *Journal of Sports Science*, 15 (4), 403-410.
- Grosser, M., Brüggemann, P. & Zintl, F. (1985). *Leistungssteuerung in Training und Wettkampf*. München, Wien, Zürich: BLV.
- Grosser, M., Starischka, S. & Zimmermann, E. (2001). *Das neue Konditionstraining für alle Sportarten, für Kinder, Jugendliche und Aktive*. München, Wien, Zürich: BLV.
- Heck, H. (1990a). *Laktat in der Leistungsdiagnostik*. Schorndorf: Hofmann.
- Heck, H. (1990b). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Schorndorf: Hofmann.
- Heck, H. (2004). Leserbrief. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (10), 269-271.
- Heck, H., Liesen, H., Otto, M. & Hollmann, W. (1983). Das Verhalten spiroergometrischer Meßgrößen im Ausbelastungsbereich bei ABC-Kaderuntersuchungen. In H. Mellerowicz & I.-W. Franz (Hrsg.), *Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie* (S. 253-258). Erlangen: Perimed.

- wicz & I.-W. Franz (Hrsg.), *Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie* (S. 154-162). Erlangen: Perimed.
- Heck, H., Mader, A., Müller, R. & Hollmann, W. (1986). Laktatschwellen und Trainingssteuerung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 37 (Sonderheft), 72-78.
- Heck, H. & Schulz, H. (2002). Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (7+8), 202-212.
- Henritze, J., Weltman, A., Schurrer, R.L. & Barlow, K. (1985). Effects of training at and above the lactate threshold on the lactate threshold and maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, 54, 84-88.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2003). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (3., korr. und erw. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. (1999). Vor 40 Jahren: ventilatorische und Laktatschwelle – Wie es dazu kam. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (10), 323-326.
- Hollmann, W. & Hettinger, Th. (2000). *Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin* (4., völlig neu bearbeitete Aufl.). Stuttgart, New York: Schattauer.
- Hollmann, W., Liesen, H. & Mader, A. (1989). Stoffwechsel. In A. Dirix, H.G. Knuttgen & K. Tittel (Hrsg.), *Olympiabuch der Sportmedizin* (S. 63-70). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Hollmann, H., Schürch, P., Heck, H., Liesen, H., Mader, A., Rost, A. & Hollmann, A. (1987). Kardiopulmonale Reaktionen und aerob-anaerobe Schwelle bei verschiedenen Belastungsformen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 38 (4), 144-156.
- Howley, E.T., Bassett, D.R. & Welch, H.G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (9), 1292-1301.
- Jeschke, D., Heitkamp, H.-Ch., Locher, R., Schneider, D., Simon, M. & Zintl, W. (1983). Aerobe Kapazität und anaerobe Schwelle bei unterschiedlichen Belastungsmethoden auf dem Fahrrad-Ergometer. In H. Mellerowicz & I.-W. Franz (Hrsg.), *Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie* (S. 184-192). Erlangen: Perimed.
- Jones, A.M. & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29 (6), 373-386.
- Jost, J., Friedmann, B., Dorsch, M, Jalak, R. & Weiß, M. (1996). Sportmedizinische Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Basketball. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 47 (1), 3-16.
- Jost, J, Ruch, L. & Schrey, R. (2001). Ein metabolisches Belastungsmodell zur Steuerung und Qualitätssicherung des Trainings im Ringen griechisch-römischer Stil – 1. Teil: Entwicklung und Validierung des Belastungsmodells. *Leistungssport*, 31 (5), 45-54.
- Jost, J, Ruch, L. & Schrey, R. (2001). Ein metabolisches Belastungsmodell zur Steuerung und Qualitätssicherung des Trainings im Ringen griechisch-römischer Stil – 2. Teil: Optimierung der Trainingsgestaltung und Qualitätssteigerung im spezifischen Ausdauertraining (Dauerringen). *Leistungssport*, 31 (6), 25-31.
- Juel, C. (2004). Laktattransport im Skelettmuskel: Trainingsinduzierte Anpassung und Bedeutung bei körperlicher Belastung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (6), 157-160.

- Keul, J. & Haralambie, G. (1977). Energiestoffwechsel und körperliche Leistung. In W. Hollmann (Hrsg.), *Zentrale Themen der Sportmedizin* (S. 11-131). Berlin, Heidelberg, New-York: Springer.
- Kindermann, W. (2004). Anaerobe Schwelle. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (6), 161-162.
- Klimt, F. (1992). *Sportmedizin im Kindes- und Jugendalter*. Stuttgart, New York: Georg-Thieme.
- Madsen, K., Pederson, P.K. & Djurhuus, M.S. (1993). Effects of detraining on endurance capacity and metabolic changes during prolonged exhaustive exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75, 1444-1451.
- Maksud, M.G., Cannistra, C. & Dublinski, D. (1976). Energy expenditure and  $VO_2$  max of female athletes during treadmill exercise. *The Research Quarterly*, 47 (4), 692-697.
- Maksud, M.G. & Coutts, K.D. (1971). Application of the COOPER Twelve-Minute Run-Walk Test to young males. *The Research Quarterly*, 42 (1), 54-59.
- Marées, H. de. (2003). *Sportphysiologie*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre* (3., unveränderte Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Mathews, D.K. (1978). *Measurement in Physical Education*. Philadelphia, London, Toronto: W. B. Saunders Company.
- McLellan, T.M. & Jacobs, I. (1993). Reliability, reproducibility and validity of the individual anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology*, 67, 125-131.
- Mellerowicz, H. & Franz, I.-W. (Hrsg.). (1983). *Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie*. Erlangen: Perimed.
- Meyer, T. & Kindermann, W. (1999). Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ max). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (9), 285-286.
- Neumaier, A. & Mechling, H. (1999). *Koordinatives Anforderungsprofil und Koordinationstraining*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Pfitzinger, P. & Freedson, P.S. (1998). The reliability of lactate measurements during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 349-357.
- Poole, D.C. & Gaesser, G.A. (1985). Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *Journal of Applied Physiology*, 58 (4), 1115-1121.
- Röcker, K., Dickhuth, H.-H. (2001). Praxis der Laktatmessung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52 (1), 33-34.
- Rusko, H., Luhtanen, P., Rahkila, P., Viitasalo, J., Rehunen, S. & Härkönen, M. (1986). Muscle metabolism, blood lactate and oxygen uptake in steady state exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 181-186.
- Safrit, M.J. (1973). *Evaluation in physical education*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Schneider, F.J. (2002). Revision des Cooper-Tests – Ein Normierungsversuch für das Gymnasium. *Sportunterricht*, 51 (5), 139-147.

- Scott, B.K. & Houmard, J.A. (1994). Peak running velocity is highly related to distance running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15 (8), 504-507.
- Shepard, R.J. (1993). Die maximale Sauerstoffaufnahme. In R.J. Shepard & P.O. Åstrand (Hrsg.), *Ausdauer im Sport* (S. 191-198). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Shepard, R.J. & Åstrand, P.O. (1993). *Ausdauer im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Simon, G., Thiesmann, M., Clasing, D. & Frohberger, U. (1983). Ergometrie im Wasser – eine besondere Methode der Leistungsdiagnostik. In H. Heck, W. Hollmann, H. Liesen & R. Rost (Hrsg.), *Sport: Leistung und Gesundheit* (S. 139-143). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Stegemann, J. (1984). *Leistungsphysiologie – Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports* (3., überarbeitete Aufl.). Stuttgart, New York: Georg Thieme.
- Stegmann, H. & Kindermann, W. (1982). Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol/l<sup>-1</sup> lactate. *International Journal of Sports Medicine*, 3 (2), 105-110.
- Thews, G., Mutschler, E. & Vaupel, P. (1999). *Anatomie, Physiology, Pathophysiologie des Menschen* (5. Aufl.). Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges.
- Ulmer, H.-V. (2002). COOPER-Test und Ausdauer (Leserbrief). *Sportunterricht*, 51 (7), 222.
- Weicker, H. & Strobel, G. (1994). *Sportmedizin: biochemisch-physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung*. Stuttgart, Jena, New York: Fischer.
- Weiler, B., Hock, J., Klenk, G., Kullmer, T. & Kindermann, W. (1985). Beurteilung der aeroben Kapazität im Feldtest (12-Minuten-Lauftest) im Vergleich zur Laufbandergometrie. In I.-W. Franz, H. Mellerowicz & W. Noack (Hrsg.), *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt* (S. 778-783). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Weineck, J. (2000). *Optimales Training* (11.Aufl.). Balingen: Spitta.
- Weineck, J. (2003). *Optimales Training* (13.Aufl.). Balingen: Spitta.
- Yoshida, T., Udo, M., Iwai, K. & Yamaguchi, T. (1993). Physiological characteristics related to endurance running performance in female distance runners. *Journal of Sports Science*, 11 (1), 57-62.
- Zahnd, R. (1986). Der 12-Minuten-Lauf-Test. *Magglings*, 43 (3), 24-25.
- Zintl, F. (1994). *Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung*. München: BLV.

# Anhang

## **A Abkürzungsverzeichnis**

## **B Deskriptive Daten**

B.1 Aufteilung des Gesamtkollektivs in Gruppen

B.2 Gesamtkollektiv

## **C Korrelationen zwischen der Laufleistung im COOPER-Test und relevanten Variablen**

## **D Informationsschreiben**

Schüler/-innen und Eltern

Schulleitung

Stellvertretende Schulleitung des Helmholtz-Gymnasiums Heidelberg



## Anhang A Abkürzungsverzeichnis

$\Delta$	prozentuale Veränderung
%VO <sub>2</sub> -max	prozentuale aerobe Ausschöpfung der VO <sub>2</sub> -max
±SD	Standardabweichung („standard deviation“)
AÄ	Atemäquivalent (AMV · O <sub>2</sub> -Aufnahme <sup>-1</sup> ); einheitslos
AGW	Atemgrenzwert
AMV	Atemminutenvolumen (in ml·min <sup>-1</sup> )
CoA	Coenzym A
FT-Fasern	„Fast-Twitch“-Fasern
H	Wasserstoff
H <sup>+</sup>	Wasserstoffprotonen
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid
Hf	Herzfrequenz (1/min)
Hf <sub>max</sub>	maximale Herzfrequenz
IAS	individuelle anaerobe Schwelle
KG	Körpergewicht
La	Laktatkonzentration (in mmol/l)
La <sub>COOPER</sub>	Laktatkonzentration direkt nach dem COOPER-Test
La <sub>max</sub>	maximale Laktatkonzentration beim Laktatstufentest
La <sub>IAS</sub>	Laktatkonzentration an der IAS
LDH	Laktatdehydrogenase
LW	erreichte Laufweite beim COOPER-Test
maxLass	maximales Laktat-steady-state
n	Anzahl
NAD <sup>+</sup>	Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid (oxidiert)
NADH/H <sup>+</sup>	Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid (reduziert)
OSP	Olympiastützpunkt
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PFK	Phosphofruktokinase
pH	pH-Wert (negativ dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration)
r	Korrelationskoeffizient
r <sup>2</sup>	Determinationskoeffizient
rel. VO <sub>2</sub> -max	VO <sub>2</sub> -max bezogen aufs Körpergewicht (ml/min/kgKG)
ST-Fasern	„Slow-Twitch“-Fasern
UT	Untersuchungsteilnehmer
v	Geschwindigkeit
v(4mmol)	Geschwindigkeit an der 4mmol-Schwelle
v(IAS)	Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle
v(max)	maximale Laufbandgeschwindigkeit
VO <sub>2</sub>	Sauerstoffaufnahme (l/min bzw. ml/min/kgKG)
VO <sub>2</sub> -max	maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit (l/min)

## Anhang B Deskriptive Daten

### B.1 Aufteilung des Gesamtkollektivs in Gruppen

Tab. 10. Deskriptive Daten der Gruppen 1 und 2.

Parameter (Variable)	Gesamtkollektiv aufgeteilt in					
	Studierende (Gruppe 2)			Schüler, -innen (Gruppe 1)		
	n	MW	SD	n	MW	SD
Alter	14	22,71	4,35	10	18,30	,95
Gewicht in kg	14	66,57	13,86	10	66,60	8,90
Größe in cm	14	173,79	8,04	10	176,30	7,62
Laktat in Ruhe vor COOPER-Test ( $La_{R_{COOPER}}$ )	.	.	.	10	1,07	,64
Laufleistung im COOPER-Test in m (LW)	14	2492,14	348,09	10	2440,00	383,37
Durchschnittsherzfrequenz beim COOPER-Test ( $Hf_{COOPER}$ )	.	.	.	10	187,90	7,96
Laktat direkt nach COOPER-Test ( $La_{COOPER}$ )	.	.	.	10	10,22	2,48
Geschwindigkeit an der 2mmol-Schwelle ( $v(2mmol)$ )	14	2,20	,62	10	2,60	,56
Geschwindigkeit an der 4mmol-Schwelle ( $v(4mmol)$ )	14	3,04	,54	10	3,04	,57
Herzfrequenz an der 4mmol-Schwelle ( $Hf_{4mmol}$ )	14	175,93	8,01	10	177,10	8,52
Geschwindigkeit an der IAS nach Simon/Dickhuth ( $v(IAS)$ )	14	2,90	,48	10	2,87	,45
Laktat an der IAS (nach Simon/Dickhuth) ( $La_{IAS}$ )	14	3,50	,52	10	3,49	,58
Herzfrequenz an der IAS nach Simon/Dickhuth ( $Hf_{IAS}$ )	14	172,29	7,29	10	173,30	8,10
maximales Laktat ( $La_{max}$ )	14	10,53	1,32	8	10,93	1,59
maximale Herzfrequenz ( $Hf_{max}$ )	14	193,07	7,04	8	198,63	7,73
Maximale Laufgeschwindigkeit beim Stufentest ( $v(max)$ )	14	3,94	,45	8	4,14	,53
Geschwindigkeit an der IAS in Relation zur maximalen Laufgeschwindigkeit ( $\%VO_{2-max}$ )	14	73,28	5,38	8	69,64	3,99

Laktatwerte in mmol/l, Herzfrequenzen in 1/Min, Geschwindigkeitsangaben in m/s.

## B.2 Gesamtkollektiv

Tab. 11. Deskriptive Daten des Gesamtkollektivs.

	n	MW	SD
Alter	24	20,88	3,94
Gewicht in kg	24	66,56	11,81
Größe in cm	24	174,83	7,80
Laktat in Ruhe vor COOPER-Test ( $La_{COOPER}$ )	10	1,07	,64
Laufleistung im COOPER-Test in m (LW)	24	2470,42	355,93
Durchschnittsherzfrequenz beim COOPER-Test ( $Hf_{COOPER}$ )	10	187,90	7,96
Laktat direkt nach COOPER-Test ( $La_{COOPER}$ )	10	10,22	2,48
Geschwindigkeit an der 2mmol-Schwelle ( $v(2mmol)$ )	24	2,31	,62
Geschwindigkeit an der 4mmol-Schwelle ( $v(4mmol)$ )	24	3,04	,54
Herzfrequenz an der 4mmol-Schwelle ( $Hf_{4mmol}$ )	24	176,42	8,06
Geschwindigkeit an der IAS nach Simon/Dickhuth ( $v(IAS)$ )	24	2,89	,46
Laktat an der IAS (nach Simon/Dickhuth) ( $La_{IAS}$ )	24	3,49	,53
Herzfrequenz an der IAS nach Simon/Dickhuth ( $Hf_{IAS}$ )	24	172,71	7,48
maximales Laktat ( $La_{max}$ )	22	10,67	1,40
maximale Herzfrequenz ( $Hf_{max}$ )	22	195,09	7,62
Maximale Laufgeschwindigkeit beim Stufentest ( $v(max)$ )	22	4,00	,48
Geschwindigkeit an der IAS in Relation zur maximalen Laufgeschwindigkeit ( $\%VO_2-max$ )	22	71,95	5,14

Laktatwerte in mmol/l, Herzfrequenzen in 1/Min, Geschwindigkeitsangaben in m/s.

## Anhang C Korrelationen zwischen der Laufleistung im COOPER-Test und relevanten Variablen

Tab. 12. Korrelationen zwischen der Laufleistung im COOPER-Test und relevanten Variablen.

		v(4mmol)	v(IAS)	v(max)	La <sub>max</sub>	%VO <sub>2</sub> -max	La <sub>COOPER</sub>
<b>Lauf- leistung im COOPER- Test</b>	Gruppe 1 (n = 10)	.799**	.736*	.924** (n = 8)	.199	-.064 (n = 8)	.752* .844 (n = 7)
	Gruppe 2 (n = 14)	.824**	.847**	.889**	-.63	.461	-
	Gesamtkollektiv	.811**	.798**	.890** (n = 22)	.054	.269	-

\* Die Korrelation ist auf einem Niveau von 0.05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf einem Niveau von 0.01 (2-seitig) hochsignifikant.

## **Anhang D Informationsschreiben**

- Schüler/ -innen und Eltern
- Schulleitung
- Stellvertretende Schulleitung des Helmholtz-Gymnasiums Heidelberg



Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg  
Institut für Sport und Sportwissenschaft

Dr. K. Reischle

Institut für Sport und Sportwissenschaft · Im Neuenheimer Feld 700 · 69120 Heidelberg

Gert Ulrich

Dammweg 9

69123 Heidelberg

Tel.: 06221 – 759431

**Sehr geehrte Eltern, liebe Schülerinnen und Schüler,**

im Rahmen meiner Magisterarbeit möchte ich (zusammen mit Herrn Dr. Joachim Jost, Leistungsphysiologe am Olympiastützpunkt Rhein-Neckar und Herrn Dr. Klaus Reischle, Institut für Sport und Sportwissenschaft) untersuchen, ob der - v.a. in der Schule - so häufig eingesetzte COOPER-Test (12-Minuten-Lauf) die allgemeine aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit misst.

Für die Untersuchung müssen wir – und das ist der erste Teil unserer Untersuchung – nach dem COOPER-Test kapilläres Blut aus dem Ohrläppchen entnehmen, um das sogenannte Laktat, ein Stoffwechselendprodukt, messen zu können. Im zweiten Teil werden wir am Olympiastützpunkt Rhein-Neckar mit den Schülerinnen und Schülern einen Stufentest auf dem Laufband durchführen, bei dem die Geschwindigkeit alle drei Minuten gesteigert wird. Auch hier werden wieder parallel zur Testdurchführung kapilläre Blutentnahmen entnommen. Bei beiden Tests werden wir auch den Puls mittels eines Brustgurtes und einer Uhr aufzeichnen.

Dieses Verfahren der „Laktatmessung“ genießt in der Sportmedizin großes Ansehen und ist ohne Nebenwirkungen.

Wir bitten Sie darum, Ihre Ernährung am Vortag der beiden Tests (COOPER-Test und Stufentest) möglichst wenig zu ändern. Achten Sie auf ein vollwertiges Frühstück bis drei Stunden vor dem Test und einen angemessenen Flüssigkeitshaushalt. Ver-

meiden Sie am Vortag der Untersuchung größere physische und psychische Beanspruchungen, am Untersuchungstag auch kleine körperliche Beanspruchungen. Wenn irgendwie möglich sollten Sie am Untersuchungstag auf Kaffee, Tee und Nikotin verzichten.

Den genauen Ablauf der zwei Untersuchungen werden wir nochmals ausführlichst vor Beginn erläutern.

Das Oberschulamt wurde bereits informiert. Es bestehen keinerlei Einwände gegen diese Untersuchung. Auch der Schulleitung werden entsprechende Informationen zukommen.

Meine Betreuer dieser Untersuchung sind, wie bereits erwähnt, Herr Dr. Klaus Reischle und Herr Dr. Joachim Jost.

Über eine Teilnahme würden wir uns sehr freuen.

Als kleines „Dankeschön“ werden dann völlig kostenfrei individuelle Trainingshinweise erstellt.

Mit freundlichen Grüßen,

-----  
Dr. Klaus Reischle

-----  
Dr. Joachim Jost

-----  
Gert Ulrich

## Einverständniserklärung

Um diese Untersuchung mit Ihnen/Ihrem Kind durchführen zu dürfen, benötigen wir nun noch Ihre Einverständniserklärung.

Hiermit erkläre ich mich dazu einverstanden, dass mein(e) Tochter/Sohn an der o.a. Untersuchungen teilnehmen darf und entsprechende Blutabnahmen durchgeführt werden dürfen.

-----  
(Name)

-----  
(Unterschrift Elternteil)

Hiermit erkläre ich mich dazu einverstanden, an der o.a. Untersuchung teilzunehmen und entsprechende Blutabnahmen durchführen zu lassen.

-----  
(Name)

-----  
(Unterschrift Schüler/in)





Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg  
Institut für Sport und Sportwissenschaft

Dr. K. Reischle

Institut für Sport und Sportwissenschaft · Im Neuenheimer Feld 700 · 69120 Heidelberg

Gert Ulrich

Dammweg 9

69123 Heidelberg

Tel.: 06221 – 759431

An die Leiterin des Helmholtz-Gymnasiums Heidelberg

Frau OstDn Karsta Holch

Sehr geehrte Frau Holch,

im Rahmen meiner Magisterarbeit möchte ich (zusammen mit Herrn Dr. Joachim Jost, Leistungsphysiologe am Olympiastützpunkt Rhein-Neckar und Herrn Dr. Klaus Reischle, Dozent am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg) untersuchen, ob der - v.a. in der Schule - so häufig eingesetzte COOPER-Test (12-Minuten-Lauf) die allgemeine aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit misst. Für die Untersuchung müssen wir – und das ist der erste Teil unserer Untersuchung – nach dem COOPER-Test kapilläres Blut aus dem Ohrläppchen entnehmen, um das sogenannte Laktat, ein Stoffwechselendprodukt, messen zu können. Im zweiten Teil werden wir am Olympiastützpunkt Rhein-Neckar mit den Schülerinnen und Schülern einen Stufentest auf dem Laufband durchführen, bei dem langsam beginnend die Geschwindigkeit alle drei Minuten gesteigert wird. Auch hier werden parallel zur Testdurchführung kapilläre Blutentnahmen entnommen. Bei beiden Tests werden wir auch den Puls mittels eines Brustgurtes und einer Uhr aufzeichnen. Dieses Verfahren der „Laktatmessung“ genießt in der Sportmedizin großes Ansehen und ist ohne Nebenwirkungen.

Als kleines „Dankeschön“ erhalten die Teilnehmer dann auch völlig kostenfrei, professionell erstellte und individuell zugeschnittene Trainingshinweise.

Herr Reuter vom Oberschulamt wurde bereits durch Herrn Dr. Reischle informiert. Es bestehen keinerlei Einwände gegen diese Untersuchung. Ihm werden wir auch entsprechende Kopien dieser Schreiben zukommen lassen.

Meine Betreuer dieser Untersuchung sind, wie bereits erwähnt, Herr Dr. Klaus Reischle und Herr Dr. Joachim Jost.

Über Ihre Zustimmung zu dieser Untersuchung würden wir uns sehr freuen. Für die Beantwortung eventueller Rückfragen stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,

-----  
Dr. Klaus Reischle

-----  
Dr. Joachim Jost

-----  
Gert Ulrich



## Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg Institut für Sport und Sportwissenschaft

Dr. K. Reischle

Institut für Sport und Sportwissenschaft · Im Neuenheimer Feld 700 · 69120 Heidelberg

Gert Ulrich

Dammweg 9

69123 Heidelberg

Tel.: 06221 - 759431

An den stellvertretenden Leiter des Helmholtz-Gymnasiums Heidelberg

Herrn StD Dr. Hans Belzer

Sehr geehrter Herr Belzer,

im Rahmen meiner Magisterarbeit möchte ich (zusammen mit Herrn Dr. Joachim Jost, Leistungsphysiologe am Olympiastützpunkt Rhein-Neckar und Herrn Dr. Klaus Reischle, Dozent am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg) untersuchen, ob der - v.a. in der Schule - so häufig eingesetzte COOPER-Test (12-Minuten-Lauf) die allgemeine aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit misst. Für die Untersuchung müssen wir – und das ist der erste Teil unserer Untersuchung – nach dem COOPER-Test kapilläres Blut aus dem Ohrläppchen entnehmen, um das sogenannte Laktat, ein Stoffwechselendprodukt, messen zu können. Im zweiten Teil werden wir am Olympiastützpunkt Rhein-Neckar mit den Schülerinnen und Schülern einen Stufentest auf dem Laufband durchführen, bei dem langsam beginnend die Geschwindigkeit alle drei Minuten gesteigert wird. Auch hier werden parallel zur Testdurchführung kapilläre Blutentnahmen entnommen. Bei beiden Tests werden wir auch den Puls mittels eines Brustgurtes und einer Uhr aufzeichnen. Dieses Verfahren der „Laktatmessung“ genießt in der Sportmedizin großes Ansehen und ist ohne Nebenwirkungen.

Als kleines „Dankeschön“ erhalten die Teilnehmer dann auch völlig kostenfrei, professionell erstellte und individuell zugeschnittene Trainingshinweise.

Herr Reuter vom Oberschulamt wurde bereits durch Herrn Dr. Reischle informiert. Es bestehen keinerlei Einwände gegen diese Untersuchung. Ihm werden wir auch entsprechende Kopien dieser Schreiben zukommen lassen.

Meine Betreuer dieser Untersuchung sind, wie bereits erwähnt, Herr Dr. Klaus Reischle und Herr Dr. Joachim Jost.

Über Ihre Zustimmung zu dieser Untersuchung würden wir uns sehr freuen. Für die Beantwortung eventueller Rückfragen stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,

-----  
Dr. Klaus Reischle

-----  
Dr. Joachim Jost

-----  
Gert Ulrich

---

## Erklärung

Bezüglich meiner Magisterarbeit mit dem Thema

### **Evaluation des COOPER-Tests aus leistungsphysiologischer Perspektive**

-

### **Kann über den COOPER-Test die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit abgeschätzt werden?**

erkläre ich hiermit, dass ich

1. die Arbeit selbstständig verfasst habe,
2. keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und alle wörtlichen oder sinngemäß übernommenen Textstellen als solche kenntlich gemacht habe und
3. die Arbeit in keiner anderen Prüfung als Abschlussarbeit vorgelegt habe.

Heidelberg, den 29. August 2006

-----  
Gert Ulrich