

Ausdauer-testverfahren für Kinder und Jugendliche Grundlagen, Forschungsstand und eigene empirische Untersuchung

**Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER PHILOSOPHIE
(Dr. phil.)**

Von der Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften
des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

angenommene

DISSERTATION

von
Lars Schlenker
aus
Villingen-Schwenningen

Dekan: Prof. Dr. Andreas Böhn

1. Gutachter: Prof. Dr. Klaus Bös
2. Gutachter: Prof. Dr. Alexander Woll

Tag der mündlichen Prüfung: 24.02.2016

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denjenigen, die mich in den letzten Jahren unterstützt und begleitet haben, ganz herzlich bedanken.

Zunächst gilt mein besonderer Dank meinem Doktorvater Prof. Dr. Klaus Bös, der mich zur Promotion ermutigt hat und von dem ich in der langjährigen Zusammenarbeit auch außerhalb der Promotion unheimlich viel lernen konnte. Ihm möchte ich besonders für seine Geduld und fachkundige Hilfe in allen Bereichen bedanken.

Prof. Dr. Alexander Woll danke ich für alle seine unterstützenden Maßnahmen und sein Vertrauen in mich bei der Fertigstellung meiner Arbeit.

Weiterhin möchte ich den Studierenden danken, die ich in verschiedenen Abschlussarbeiten betreut habe und die mir wertvolle Zuarbeit geleistet haben, insbesondere in der Datenerhebung. Erwähnt seien hier Katrin Merk, Andrea Huber, Fridolin Steinhardt, Jennifer Gruse, Marlene Iohn, Luise Büchele und Andreas Roth.

Sehr herzlich möchte ich mich auch bei meinen Kolleginnen und Kollegen des MoMo Projektteams und meinen mir freundschaftlich verbundenen Kollegen Rainer, Neumann, Sascha Härtel, Sarah Baadte, Claudia Karger, Florian Engel, Anne Focke, Birte von Haaren, Claudia Albrecht, Caro Braun, Steffen Schmidt und Matthias Schlag bedanken. Sie trugen wesentlich zum guten Arbeitsklima am Institut für Sport und Sportwissenschaft in Karlsruhe bei.

Ein besonderes Dankeschön gilt meinen Eltern Raija und Kurt, meinen Geschwistern Timo, Irina und Larissa, sowie meinen langjährigen Schulfreunden aus meiner Heimatstadt Villingen-Schwenningen Marco Rubulotta, Marko Tischler, Marc Tamberzky und Georgios Bakirtzis für ihre Unterstützung vor und während meiner Promotion. Der Rückhalt meiner Familie und meiner Freunde war ein ständiger Energiespender.

Zuletzt danke ich Rosa und Leonard Jari, dass sie mein Leben so wundervoll bereichern.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Zielstellung der Arbeit.....	8
1.2	Aufbau der Arbeit.....	9
2	Theoretische Grundlagen	10
2.1	Sportmotorische Ausdauer.....	10
2.1.1	Einordnung der Ausdauer.....	10
2.1.2	Strukturierung der Ausdauer.....	13
2.1.2.1	Aerobe und Anaerobe Ausdauer.....	15
2.1.2.2	Lokale und Allgemeine Ausdauer.....	18
2.1.2.3	Dynamische und Statische Ausdauer.....	18
2.1.2.4	Kurzzeit, Mittelzeit, Langzeitausdauer.....	19
2.1.2.5	Allgemeine und spezielle Ausdauer.....	20
2.1.2.6	Zusammenhang mit anderen konditionellen Fähigkeiten.....	20
2.1.2.7	Zusammenfassung zur Strukturierung der Ausdauer.....	20
2.1.3	Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2max).....	23
2.1.3.1	Absolute maximale Sauerstoffaufnahme.....	27
2.1.3.2	Relative maximale Sauerstoffaufnahme.....	28
2.1.3.3	Relevanz der VO_2max für die Leistungsbeurteilung.....	29
2.1.4	Ausdauerleistungsfähigkeit und Gesundheit.....	32
2.2	Ausdauer von Kindern und Jugendlichen.....	37
2.2.1	Entwicklung der körperlichen Leistungsfähigkeit.....	37
2.2.2	Die Ausdauerleistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen.....	37
2.2.2.1	Aerobe Ausdauer vs. Anaerobe Ausdauer.....	38
2.2.2.2	Geschlechtsspezifische Betrachtung der Ausdauerleistungsfähigkeit.....	40
2.2.2.3	VO_2max bei Kindern und Jugendlichen.....	43
2.2.2.4	Verbesserung der VO_2max durch Training bei Kindern und Jugendlichen.....	49
2.2.3	Einflussfaktoren auf die Ausdauer bei Kindern und Jugendlichen.....	49
2.2.3.1	Wachstum.....	50
2.2.3.2	Akzeleration und Retardierung.....	51
2.2.3.3	Konstitution.....	52
2.2.3.4	Genetischer Faktor.....	53

2.2.3.5	Motivation.....	53
2.2.4	Physiologische Faktoren der Ausdauer von Kindern und Jugendlichen.....	53
2.2.4.1	Herz-Kreislauf-System.....	54
2.2.4.2	Atmungssystem.....	55
2.2.4.3	Muskulatur.....	57
2.2.4.4	Zusammenfassung.....	57
2.2.5	Ausdauertraining im Kindes und Jugendalter.....	58
2.2.6	Zusammenfassung Ausdauer von Kindern und Jugendlichen.....	60
3	Forschungsstand.....	62
3.1	Ausdauerdiagnostik.....	62
3.1.1	Systematisierung von Ausdauer-testverfahren.....	63
3.1.2	Sportmedizinische Tests zur Beurteilung der Ausdauer.....	64
3.1.2.1	Anaerobe Ausdauer-tests.....	66
3.1.2.2	Die anaerobe Schwelle.....	66
3.1.2.3	Aerobe Ausdauer-tests.....	68
3.1.3	Sportmotorische Tests zur Beurteilung der Ausdauer.....	71
3.1.4	Gütekriterien motorischer Testverfahren.....	73
3.2	Physical Working Capacity 170 (PWC ₁₇₀).....	75
3.2.1	Normwerte PWC ₁₇₀	78
3.2.2	Validität des PWC ₁₇₀	80
3.3	6-Minuten-Lauf.....	85
3.3.1	Normwerte 6-Minuten-Lauf.....	86
3.3.2	Validität des 6-Minuten-Laufs.....	87
3.4	20m Shuttle Run.....	89
3.4.1	Normwerte 20m Shuttle Run.....	91
3.4.2	Validität des 20m Shuttle Runs.....	91
4	Empirische Untersuchung.....	95
4.1	Ziele und Fragestellung.....	95
4.2	Methodik.....	97
4.2.1	Beschreibung der fünf Teilstudien.....	97
4.2.1.1	Bad Schönborn-Studie (Studie 1).....	97
4.2.1.2	Thüringen-Studie (Studie 2).....	98
4.2.1.3	Nagold-Studie (Studie 3).....	99

4.2.1.4	VO ₂ max-Studie (Studie 4).....	99
4.2.1.5	PWC ₁₇₀ -Studie (Studie 5).....	100
4.2.2	Beschreibung der verwendeten Testverfahren.....	101
4.2.2.1	6-Minuten-Lauf.....	101
4.2.2.2	20m Shuttle Run.....	101
4.2.2.3	Fahrradergometrie.....	102
4.2.2.4	Untersuchungsmaterialien.....	104
4.2.3	Statistik.....	105
4.2.4	Stichprobe.....	106
4.3	Ergebnisse.....	107
4.3.1	Deskriptive Darstellung der Ergebnisse	107
4.3.2	Formulierte Forschungsfragen.....	115
4.4	Diskussion.....	124
4.4.1	Bewertung PWC ₁₇₀	126
4.4.2	Bewertung 6-Minuten-Lauf.....	128
4.4.3	Bewertung 20m Shuttle Run.....	129
4.4.4	Ausdauer-testverfahren im Schulsport.	130
5	Zusammenfassung und Fazit.....	132
	Literaturverzeichnis.....	137
	Abbildungsverzeichnis.....	150
	Tabellenverzeichnis.....	151
	Abkürzungsverzeichnis.....	153
	Anhang.....	154

1 Einleitung

Darstellungen in den Medien suggerieren häufig, dass es schlecht um die körperliche Leistungsfähigkeit unserer Kinder und Jugendlichen bestellt ist. Mit plakativen Schlagzeilen in verschiedenen Medien wie, „Europas Kinder sind zu fett und zu faul“ (*die Welt* vom 24.08.2008) oder „Deutschlands Schüler werden immer schlapper“ (*Süddeutsche Zeitung*) wird dieses vermeintliche Problem in den Fokus gerückt. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die allgemeine Wahrnehmung, die aktuelle Jugend werde immer unfitter, zeitonabhängig zu sein scheint. So äußert sich der Kinderarzt Prof. Dr. Kurt Nitsch in einem Zeitungsbeitrag schon 1977 über die seiner Ansicht nach „trostlose Situation in Bezug auf die körperliche Entwicklung unserer Kinder“ (*Die Zeit* vom 07.10.1977). Der renommierte Pädagoge Kurt Hahn beanstandete bereits 1957 den Rückgang der Fitness als eine Verfallserscheinung der modernen Zivilisation. Noch weiter zurückgehend, waren solche oder ähnliche Argumentationen bereits im frühen 18. Jahrhundert bei den Philanthropen wie Gutsmuts zu finden, die sich hierbei unter anderem auch auf Rousseau beziehen (Klein, Emrich, Schwarz, Papathanassiou, Pitsch, Kindermann & Urhausen, 2004, S. 212). Ein über den Fitnesszustand hinaus gehendes, allgemeines Lamento über die aktuelle Jugend, scheint sogar schon seit Jahrtausenden üblich zu sein.

„Die Jugend liebt heutzutage den Luxus. Sie hat schlechte Manieren, verachtet die Autorität, hat keinen Respekt vor den älteren Leuten und schwatzt, wo sie arbeiten sollte. Die jungen Leute stehen nicht mehr auf, wenn Ältere das Zimmer betreten. Sie widersprechen ihren Eltern, schwadronieren in der Gesellschaft, verschlingen bei Tisch die Süßspeisen, legen die Beine übereinander und tyrannisieren ihre Lehrer.“

Diese Aussage wird Sokrates zugeschrieben, dem griechischen Philosophen, der von 466 bis 199 v. Chr. lebte.

Bei einer wissenschaftlichen Betrachtung des Sachverhalts sollte daher immer der Zeitraum, auf den sich die getroffene Aussage bezieht, genau definiert sein. Ob und wann sich die motorische Leistungsfähigkeit tatsächlich verschlechtert hat, kann aus wissenschaftlicher Sicht derzeit nicht zweifelsfrei beantwortet werden. Eine Mehrzahl der Studienergebnisse bestätigt den Rückgang der Leistungsfähigkeit in den letzten Dekaden. Hervorzuheben ist hier die Arbeit von Tomkinson und Kollegen. In einer Meta-Analyse wurden 55 Studien aus 11 Industrienationen mit 6 bis 19-jährigen

Probanden ausgewertet, mit dem Ergebnis, dass sich die Ausdauerleistungsfähigkeit von 1980 bis 2000 alters- und geschlechtsunabhängig, jährlich um 0,43 % verschlechtert hat (Tomkinson, Léger, Olds & Cazorla, 2003). Bös (2003) berichtet in seiner Analyse zahlreicher Datensätze mit über 100.000 Probanden von einem Rückgang der motorischen Leistungsfähigkeit von 1975 bis 2005 von durchschnittlich 8 % der 6 bis 18-Jährigen. Weitere Studien kommen zu vergleichbaren Ergebnissen (u.a. Rusch & Irrgang, 2002; Klaes, Cosler, Rommel, & Zens, 2003; Raczeck, 2002; Tomkinson & Olds, 2007). Es existieren jedoch auch vereinzelt gegenteilige Erkenntnisse. So zeigen beispielsweise die Ergebnisse der Mole-Studie keine Verschlechterung der motorischen Leistungsfähigkeit von Hamburger Schulkindern seit 1986 (Kretschmer & Wirsching, 2007). Auch die Ergebnisse des Düsseldorfer Checks zeigen seit 2003 keine Verschlechterung der Leistungsfähigkeit von Zweitklässlern (Stemper, Bachmann, Diehlmann & Kemper, 2009).

Problematisch ist bei allen berichteten Ergebnissen, dass sie überwiegend auf querschnittlichen Datenvergleichen, nicht repräsentativen Stichproben und teilweise eingeschränkten Altersbereichen basieren. Dadurch sind Stichprobenfehler nicht auszuschließen. Hinzu kommt, dass auch Ergebnisse unterschiedlicher Testaufgaben miteinander verglichen wurden. Vor allem beim Vergleich mit alten Testdaten besteht das Problem, dass meist keine Informationen über die Güte der Testdurchführung und Standardisierung vorliegen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die motorische Leistungsfähigkeit mit einheitlichen Methoden und identischen Durchführungsbestimmungen gemessen wird. Einen wichtigen Beitrag hierzu leistet das Motorik-Modul, ein Projekt, in dem seit 2003 deutschlandweit in einem längsschnittlichen Studiendesign die motorische Leistungsfähigkeit und die körperlich-sportliche Aktivität von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen untersucht wird (Bös, Worth, Opper, Oberger & Woll, 2009a), sowie der Deutsche Motorik-Test 6-18 (DMT 6-18), ein praktikables Testprofil, das auf Basis des Motorik-Moduls entwickelt wurde um einheitlich in Schule und Verein die motorische Leistungsfähigkeit untersuchen zu können (Bös, Schlenker, Büsch, Lämmle & Tittlbach, 2009b).

Unter allen motorischen Fähigkeiten besitzt die Ausdauer einen besonderen Stellenwert. Sie gilt als gesundheitsrelevanteste motorische Fähigkeit und die aerobe Ausdauer als wichtiger Indikator für die Gesundheit (Ortega, Ruiz, Castillo, Sjöström, 2008; Tomkinson, Macfarlane, Noi, Shingo, Kim, Wang & Hong, 2012; Talbot,

Morrell, Metter & Fleg, 2002). Ausdauerbelastungen spielen eine wichtige Rolle in der Prävention der Arteriosklerose und ihrer Risikofaktoren (Rowland, 1993, S. 365). Eine verminderte Ausdauerleistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter steht im Zusammenhang mit schlechter Fitness und erhöhter Gefahr für kardiovaskuläre Erkrankungen im Erwachsenenalter (Janz, Dawson & Mahoney, 2002; Twisk, Kemper & van Mechelen, 2002). Aus diesem Grund ist eine frühe Förderung der Ausdauer von besonderer Bedeutung. Für eine gezielte Förderung der Ausdauer ist es wichtig, das aktuelle Leistungsniveau beurteilen zu können. Dafür werden geeignete Diagnosemethoden benötigt. Die kritische Auseinandersetzung mit den bestehenden Ausdauer-testverfahren, speziell für Kinder und Jugendliche, ist Inhalt dieser Dissertationsschrift.

1.1 Zielstellung der Arbeit

Ausdauer-testverfahren sind für unterschiedliche Zielgruppen und verschiedene Settings von großer Relevanz. Die wichtigsten Settings für die Durchführung von motorischen Testverfahren sind Sportvereine und Schulen. In Sportvereinen muss die Leistungsfähigkeit von homogenen, leistungsstarken Probanden gemessen werden. Hierbei steht die sportartspezifische Ausdauer im Vordergrund. Ein Test muss präzise Aussagen über relevante Leistungsmerkmale ermöglichen. Die Ausdauer, die sich aus verschiedenen Arten und Typen zusammensetzt (s. Abschnitt 2.1), ist in nahezu jeder sportlichen Disziplin leistungsrelevant.

Im Schulsport steht hingegen die Beurteilung der allgemeinen dynamischen Ausdauer von meist heterogenen Probanden im Vordergrund. Das eingesetzte Testverfahren muss zudem ökonomisch und praktikabel sein, da in der Regel nur geringe finanzielle oder personelle Ressourcen für die Testdurchführung vorhanden sind. Generell muss daher die Eignung eines Ausdauer-testverfahrens immer spezifisch für die Zielgruppe, die Fragestellung und anhand der Rahmenbedingungen bewertet werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Ausdauerdiagnostik bei Kindern und Jugendlichen umfassend darzustellen und die Relevanz der existierenden Testverfahren zu bewerten, sowie Empfehlungen für die Eignung der einzelnen Testverfahren hinsichtlich einer aussagekräftigen Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit zu geben. Dafür wurde

in einer umfassenden Literaturrecherche der Forschungsstand zu den weit verbreiteten Testverfahren PWC₁₇₀, 6-Minuten-Lauf und 20m Shuttle Run aufgearbeitet. Im Fokus steht dabei die Validität dieser drei Ausdauer-testverfahren hinsichtlich unterschiedlicher Altersgruppen. Im zweiten Schritt wurden eigene Untersuchungen zur Validität und spezifischen Fragestellungen ausgewertet.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in drei Teilen aufgebaut, den theoretischen Grundlagen, dem Forschungsstand zu Ausdauer-testverfahren und der eigenen empirischen Untersuchung. Die theoretischen Grundlagen (Kapitel 2) beginnen mit der Definition und den Erscheinungsformen der sportmotorischen Ausdauer. Anschließend wird die maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit (VO₂max) differenziert dargestellt und ihr Stellenwert für die Leistungsdiagnostik kritisch diskutiert sowie die hohe Gesundheitsrelevanz der Ausdauer ausführlich beschrieben und mit aktuellen Studienergebnissen belegt. Anschließend werden alle relevanten Aspekte der Ausdauerleistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen, wie Einflussfaktoren, physiologische Faktoren und Aspekte des Ausdauertrainings beschrieben.

Einen Überblick über den Forschungsstand der Ausdauerdiagnostik bietet Kapitel 3. Hier werden zunächst die Ausdauer-testverfahren systematisiert und sportmedizinische und sportmotorische Testverfahren vorgestellt. Die Ausdauer-testverfahren Physical Working Capacity 170 (PWC₁₇₀), der 6-Minuten-Lauf und der 20m Shuttle Run werden zum Abschluss des Theorieteils ausführlich beschrieben, da diese Verfahren auch im empirischen Teil der Arbeit überprüft werden.

Im empirischen Teil der Arbeit (Kapitel 4) werden zunächst in der Einleitung die Untersuchungsfragen erläutert und in der Methodik die Datenerhebung und die Stichprobe beschrieben. Anschließend werden die Ergebnisse deskriptiv und interferenzstatistisch beschrieben. In der Diskussion werden die Ergebnisse eingeordnet und konkrete Empfehlungen für die untersuchten Testverfahren PWC₁₇₀, 6-Minuten-Lauf und 20m Shuttle Run gegeben. Alle relevanten Ergebnisse der Arbeit werden in der Zusammenfassung und Fazit (Kapitel 5) beschrieben.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Sportmotorische Ausdauer

Die Begriff Ausdauer kann sehr weit gefasst werden und es finden sich in der sportwissenschaftlichen Literatur eine Reihe von Definitionen. Martin et al. (1999, S. 124) definieren die Ausdauer als Fähigkeit „...eine bestimmte Leistung, umgesetzt über eine spezielle Vortriebstechnik, über einen möglichst langen Zeitraum aufrecht erhalten zu können.“ Der gemeinsame Nenner von nahezu allen Definitionen ist der Begriff „Widerstand gegen Ermüdung bzw. Ermüdungswiderstandsfähigkeit“. Ein weiterer, oft genannter Aspekt ist die Regeneration nach Belastung. Vereinfacht kann die Ausdauer daher als psychische und physische Ermüdungswiderstandsfähigkeit plus rasche Wiederherstellungsfähigkeit definiert werden (vgl. u.a. Zintl & Eisenhut 2004, S. 30; Hollmann & Strüder, 2009, S. 267).

Eine gute Ausdauer ermöglicht es, eine gewählte Intensität möglichst lange aufrecht zu erhalten, den Verlust an Intensität so gering wie möglich zu halten, die sportliche Technik über längere Zeit stabilisieren zu können und sich nach Belastung schnell(er) zu erholen (Hohmann, Lames & Letzelter, 2014, S. 50) oder anders ausgedrückt, „Ausdauer als Leistungsvoraussetzung sichert eine zuverlässige Dauerbeanspruchung mit optimaler Intensität und stabiler Technik im Training und im Wettkampf und begrenzt oder verhindert gar ermüdungsbedingte Leistungseinschränkungen“ (Schnabel, Harre & Krug, 2011, S. 179).

Im folgenden Kapitel wird die Ausdauer als motorische Fähigkeit eingeordnet und auf die verschiedenen Strukturierungsmöglichkeiten der Ausdauer nach unterschiedlichen Einteilungskriterien eingegangen.

Abschließend werden kardiopulmonale Funktionsgrößen beschrieben, die in engem Zusammenhang mit der Ausdauerleistungsfähigkeit stehen.

2.1.1 Einordnung der Ausdauer

Ausdauer zählt neben Kraft, Schnelligkeit, Beweglichkeit und Koordination zu den motorischen Grundeigenschaften bzw. Hauptbeanspruchungsformen und ist ein

zentraler Untersuchungsgegenstand in der Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Menschen.

Diese motorischen Grundeigenschaften werden auch motorische Fähigkeiten genannt und sind die Gesamtheit der Strukturen und Funktionen, die für den Erwerb und das Zustandekommen von sportbezogenen Bewegungshandlungen verantwortlich sind (vgl. Bös, 2001, S. 2). Motorische Fähigkeiten treten fast nie isoliert auf, sondern wirken in der Regel zusammen, wie zum Beispiel Schnelligkeit und Kraft, die bei kurzen Kraftleistungen als Schnellkraft bezeichnet werden.

Über Definition und Differenzierung der motorischen Fähigkeiten gibt es in der Sportwissenschaft eine Reihe, teilweise leicht unterschiedliche Systematisierungen. Sie basieren in der Regel auf den Überlegungen von Gundlach zur Systematisierung der sportlichen Leistung, der die beiden Systeme Information und Energie als Voraussetzung für die sportliche Leistung sieht (Gundlach, 1968, zitiert nach Martin et al., 1999, S. 66). Nach seiner Auffassung gibt es daraus resultierend erstens die informationell-determinierten (koordinativen) Fähigkeiten, die dem lernabhängigen System zugeordnet werden, und zweitens der energetisch-determinierten (konditionellen) Fähigkeiten, die dem anpassungsabhängigen System zugeordnet werden. Das Modell verweist allerdings auf die gesetzmäßige Wechselwirkung beider Fähigkeitssysteme, denn Information benötigt Energie und Energie benötigt Information (ebd., 1999, S. 66). Die Unterscheidung von Koordination und Kondition ist auch heute noch die übliche Einteilung, die als Basis für weitere Unterteilungsschritte in unterschiedliche Fähigkeitsbereiche dient.

Unterschiede, die sich in den existierenden Modellen zur Systematisierung der Fähigkeitsbereiche finden lassen, basieren in der Regel auf dem Problem, dass sich die Systeme Koordination und Kondition nicht klar voneinander trennen lassen. Beispielsweise ordnen Hohmann et al. (2014, S.49) die Beweglichkeit der Koordination zu, mit Verweis auf die neuronalen Einflüsse der Beweglichkeit. Bös (1987, S.95) definiert die Beweglichkeit als „Schwingungsweite in den Gelenken“ und sieht sie daher als weitgehend anatomisch determinierte personale Leistungsvoraussetzung, die von passiven Systemen der Energieübertragung abhängig ist und ordnet sie weder der Koordination noch der Kondition zu. Bei der Ausdauer besteht jedoch Konsens, dass sie den konditionellen Fähigkeiten zuzuordnen ist, da sie

wesentlich durch die Leistung des Herz-Kreislauf-System limitiert und damit energetisch determiniert ist.

Abbildung 1 zeigt die Differenzierung der motorischen Leistungsfähigkeit nach Bös (1987).

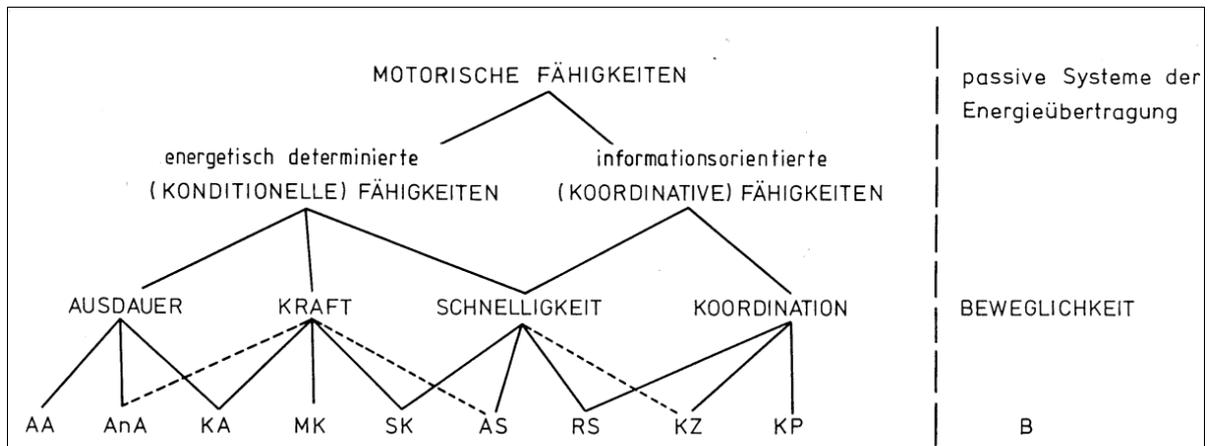


Abbildung 1 Position der Ausdauer innerhalb der Differenzierung der motorischen Fähigkeiten (nach Bös, 1987, S.94)

Bös unterscheidet in seinem Modell auf der ersten Ebene energetisch determinierten konditionellen Fähigkeiten und informationsorientierten koordinativen Fähigkeiten (vgl. Abbildung 1). Auf der zweiten Ebene werden diese in die motorischen Grundeigenschaften Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Koordination und Beweglichkeit eingeteilt. In Abhängigkeit von der Art der Energiegewinnung wird die Ausdauer in aerobe (AA) und anaerobe Ausdauer (AnA) unterteilt. Laut Bös stellt die Ausdauer eines der Bindeglieder zwischen internen Prozessen und nach außen sichtbarem Verhalten dar. Steuerungs- und Funktionsprozesse der Bewegungshandlung können durch die motorischen Fähigkeiten beschrieben und erklärt werden. Diagnostische Verfahren ermöglichen es anhand sichtbarer motorischer Fähigkeiten, wie zum Beispiel Laufen und Springen, auf das Leistungsniveau der nicht sichtbaren motorischen Fähigkeiten, wie beispielsweise Ausdauer, zu schließen (vgl. Bös, 2002, S. 2).

Die motorische Grundeigenschaft Kraft unterscheidet Bös in Maximalkraft (MK), Schnellkraft (SK) und Kraftausdauer (KA). Die Schnelligkeit unterteilt sich in Aktions-schnelligkeit (AS) und Reaktionsschnelligkeit (RS). Die koordinativen Fähigkeiten als informationsorientierte Funktionspotenzen können nach Art der sensorischen Regu-

lation und in Abhängigkeit vom Anforderungsprofil der Bewegungshandlungen in Koordination unter Zeitdruck und Koordination bei Präzisionsaufgaben differenziert werden (Bös, 1987, S. 95). Die Beweglichkeit lässt sich nicht eindeutig dem konditionellen oder koordinativen Bereich zuordnen. So spricht Bös (1987, S. 95) nicht von einer Fähigkeit, sondern einer personalen Leistungsvoraussetzung der passiven Systeme der Energieübertragung, die einerseits von den muskulären Leistungsvoraussetzungen, zum anderen vom energetischen Potential und vom Niveau der sensorischen Regulation bei der Bewegungsausführung abhängig ist.

Vergleichbar ist auch die Strukturierung der Kondition nach Zintl & Eisenhut (2004), die die Ausdauer als Element der Kondition sehen (Abbildung 2) und darauf hinweisen, dass sportliche Belastungen immer komplexer Natur sind und die konditionellen Fähigkeiten Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit kaum isoliert auftreten.

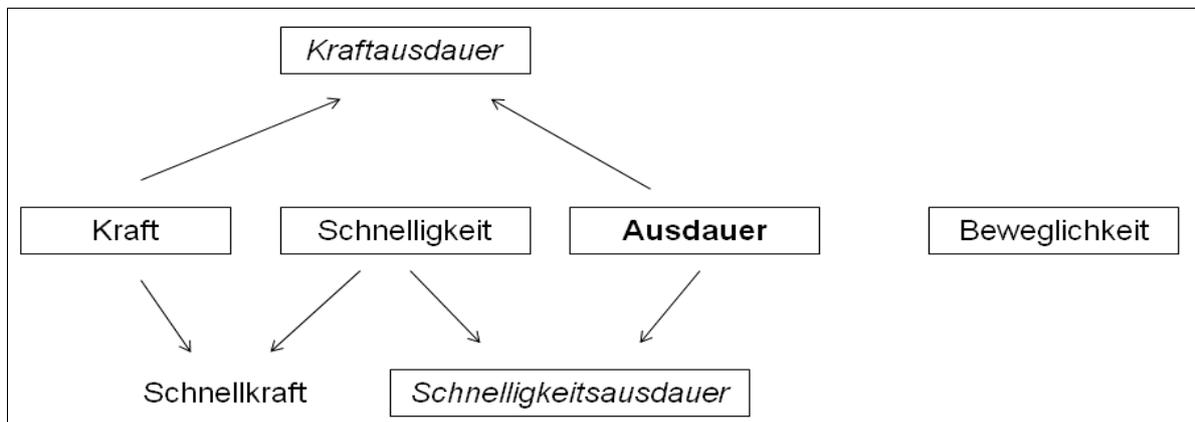


Abbildung 2 Ausdauer als Element der Kondition (nach Zintl & Eisenhut 2004, S. 33)

2.1.2 Strukturierung der Ausdauer

Die Ausdauer kann auf viele unterschiedliche Arten strukturiert und unterteilt werden. So wird der physische Leistungsfaktor Ausdauer je nach Fragestellung (sportmedizinische Untersuchungen, Trainingsmethodik, Tests usw.) in der Literatur nach verschiedenen Kriterien in einzelne Fähigkeiten strukturiert. Im Hinblick auf die Größe der beanspruchten Muskulatur lässt sich die Ausdauer in allgemeine und lokale Ausdauer einteilen. Wird hingegen die Art der muskulären Energiebereitstellung betrachtet, erfolgt die Einteilung in aerob und anaerob. Bei der Arbeitsweise der Muskulatur wird in dynamische und statische Ausdauer unterschieden. Ebenso kann der Aspekt der Sportartspezifität im Vordergrund stehen. In diesem Fall ist die Rede von allgemeiner und spezieller Ausdauer. Ist die zeitliche Dimension das Unter-

scheidungskriterium, wird die Ausdauer unterteilt in Kurz-, Mittel-, und Langzeitausdauer. In einer letzten Unterscheidungsart wird Ausdauer unter dem Gesichtspunkt der verschiedenen motorischen Fähigkeiten betrachtet. Aus diesen beteiligten Hauptbeanspruchungsformen ergibt sich eine Einteilung in Kraft-, Schnellkraft- und Schnelligkeitsausdauer (vgl. Weineck, 2010, S. 319).

Die unterschiedlichen Anforderungen an den Stoffwechsel, der übrigen Einteilungskriterien für verschiedene Ausdauerfähigkeiten, können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tab. 1 Strukturierung der Ausdauer nach verschiedenen Einteilungskriterien (modifiziert nach Zintl & Eisenhut, 2004, S. 35)

Einteilungskriterien	Ausdauerfähigkeiten
Umfang der beanspruchten Muskulatur	Lokale Ausdauer (weniger als 1/7 der Skelettmuskulatur) Allgemeine Ausdauer (mehr als 1/7 der Skelettmuskulatur)
Arbeitsweise der Muskulatur	Statische Ausdauer (Dauerspannung) Dynamische Ausdauer (kontinuierlicher Wechsel von Spannung und Entspannung)
Energiegewinnung	Aerobe Ausdauer (ausreichendes O ₂ -Angebot) Anaerobe Ausdauer (ohne O ₂ bzw. unzureichendes O ₂ -Angebot)
Belastungszeit	Schnellkraftausdauer Kraftausdauer Schnelligkeitsausdauer Kurzzeitausdauer (20 sec bis 2min) Mittelzeitausdauer (2 bis 10 min) Langzeitausdauer (mehr als 10 min)
Sportdisziplin	Grundlagenausdauer (aerobe Ausdauer, disziplinunabhängig) Spezielle Ausdauer (Mischform aus verschiedenen Fähigkeiten mit aerober und anaerober Energiegewinnung)

Eine zusammenfassende Darstellung der verschiedenen Formen von Ausdauerleistungsfähigkeit stellt Abbildung 3 dar.

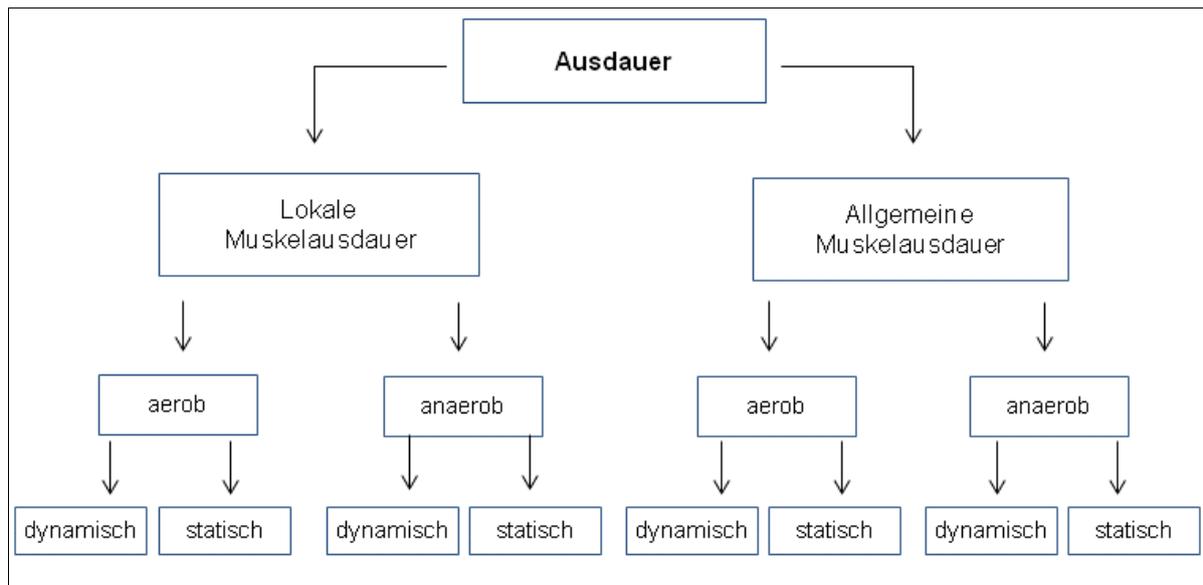


Abbildung 3 Schematische Darstellung der verschiedenen Formen von Ausdauerleistungsfähigkeit (Hollmann & Strüder, 2009, S.263)

2.1.2.1 Aerobe und anaerobe Ausdauer

Eine Unterteilung in aerobe und anaerobe Ausdauer findet unter dem Gesichtspunkt der muskulären Energiebereitstellung statt. Jedoch treten in der Sportpraxis die Ausdauerformen in den seltensten Fällen in einer rein aeroben bzw. anaeroben Energiebereitstellung auf, sondern erscheinen als eine belastungs- und intensitätsabhängige Mischform der beiden Ausdauerarten bei der sich lediglich die Anteile verschieben (vgl. Hohmann et al., 2014, S. 52).

Die allgemein aerobe Muskelausdauer wird auch als Grundlagenausdauer bezeichnet und die allgemein anaerobe Ausdauer als Schnelligkeitsausdauer.

Unter aerober Ausdauer versteht man die relativ unabhängige, eindimensionale Fähigkeit welche nach Bös als eine der Basisdimensionen motorischer Leistungsfähigkeit bezeichnet wird (Beck & Bös, 1995, S. 10).

Der Begriff „aerob“ bedeutet sauerstoffabhängig. Somit liegt aerobe Ausdauer genau dann vor, wenn ausreichend Sauerstoff vorhanden ist um die Verbrennung von Glykogen und Fettsäuren durchzuführen. Das heißt, wenn zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Belastungsintensität die notwendige Energie ausschließlich durch die Oxidation mit Sauerstoff erfolgt.

Die aerobe Ausdauer wird üblicherweise noch in die Art der verwendeten Energiereserven unterschieden. Bei der aeroben Ausdauer mit Energiebereitstellung

überwiegend aus Fetten ist die Energieflussrate niedrig, jedoch stellen die Fette einen nahezu unerschöpflichen Energiestoffvorrat des Körpers dar. Bei der aeroben Ausdauer mit Energiebereitstellung aus Kohlenhydraten ist die Energieflussrate größer, dadurch können höhere Intensitäten geleistet werden. Der Kohlenhydratvorrat kann je nach Speichergröße und Belastungsintensität, bis zu 90 min Energie liefern (vgl. Hohmann et al., 2014, S. 56).

Die allgemeine aerobe Ausdauer lässt sich nach Hollman & Strüder (2009, S. 298) unterteilen in:

- aerobe Kurzzeitausdauer (3-10 min)
- aerobe Mittelzeitausdauer (10-30 min)
- aerobe Langzeitausdauer (über 30 min)

(vgl. u.a. Hohmann et al., 2014; Hollmann & Strüder, 2009; Zintl & Eisenhut, 2004)

Mit Ausdauersportarten sind im engeren Sinne solche gemeint, die hauptsächlich dynamisch erfolgen und eine aerobe Energiebereitstellung fordern. Bei sogenannten klassischen Ausdauersportarten werden große Muskelgruppen beansprucht, sodass eine hohe Trainingseffektivität in Bezug auf die allgemeine aerobe Kapazität erreicht werden kann. Klassische Ausdauersportarten sind beispielsweise Laufen, Skilanglauf, Schwimmen und Radfahren (vgl. Rost 2001, S. 42).

Die (allgemeine) anaerobe Ausdauer kennzeichnet die Belastung großer Muskelgruppen, die hauptsächlich anaerob über ca. 6 bis 120 Sekunden beansprucht werden. Die allgemeine anaerobe Ausdauer wird auch als „Schnelligkeitsausdauer“ oder „Stehvermögen“ bezeichnet. Leistungsbestimmende Faktoren sind die dynamische Kraft der Muskulatur, die Koordination, die Kontraktionsgeschwindigkeit, die Viskosität, anthropometrische Merkmale und Flexibilität. Die Fähigkeit große Energiemengen pro Zeiteinheit freizusetzen und eine hohe Leistungsfähigkeit trotz hoher Sauerstoffschuld aufrecht zu erhalten ist das wichtigste Kennzeichen der anaeroben Ausdauer (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 445).

Die anaerobe Ausdauer ist ebenso die Fähigkeit, zu Beginn einer hohen Belastungsintensität ein Sauerstoffdefizit einzugehen, welches nach Beendigung der Leistung als Sauerstoffschuld nachbearbeitet wird. Von anaerober Ausdauer wird auch

gesprochen, wenn bei einer Belastung die Sauerstoffversorgung für eine oxidative Verbrennung nicht mehr ausreicht und der hohe Energiebedarf durch die aerobe Oxidation nicht mehr gedeckt werden kann, sodass zunehmend viele Stoffwechselfvorgänge ohne Beteiligung von Sauerstoff ablaufen. Anaerob bedeutet daher so viel wie „ohne Sauerstoff“.

Im Mittelpunkt der anaeroben Energiegewinnung steht die anaerobe Glykolyse. Sie beschreibt den Weg des Zuckerabbaus zur Milchsäure mit der Entstehung von Laktat als Abfallprodukt. Wenn die Milchsäurebildung zu lange anhält führt das zur Ermüdung und Übersäuerung der Muskulatur. Die hohen Belastungsintensitäten müssen deshalb abgebrochen oder verringert werden. Durch die Muskelzellwand gelangt das Laktat ins Blut und wird über den Kreislauf im Körper verteilt. Leber, Niere, Herzmuskel und die ruhende Skelettmuskulatur nehmen das Laktat auf und verarbeiten es weiter zu Kohlendioxid und Wasser oder bauen es wieder zum Ausgangsprodukt Glykogen auf (vgl. Zintl & Eisenhut, 2004, S. 38).

Ebenso wie die aerobe Ausdauer, lässt sie sich in anaerobe Kurzzeitdauer (6-20 Sekunden), anaerobe Mittelzeitdauer (20-60 Sekunden) und anaerobe Langzeitdauer (60-120 Sekunden) unterteilen (Hollman & Strüder 2009, S. 433).

Die anaerobe Ausdauer kann aufgrund der unterschiedlichen Energiebereitstellung weiter untergliedert werden. Anaerob-laktazid bedeutet, dass die Energiegewinnung unter der Bildung von Laktat erfolgt. anaerob-alaktazid hingegen beschreibt die Energiebereitstellung ohne Laktatbildung. Dies ist beim Abbau von Kreatinphosphat der Fall. Die Spaltung von Kreatinphosphat (CrP) ist zeitlich der erste Mechanismus der sekundären Energiebereitstellung, welche in aerob und anaerob unterschieden wird. Die primäre Energiebereitstellung für die Kontraktion der Muskelfasern wird durch den Abbau von ATP zu ADP geleistet (vgl. Hohmann et al., 2014, S. 53 f.). Kurze Belastungen bis ca. 10 Sekunden werden zu 85 % aus den Speichern der energiereichen Phosphate (ATP, CrP) abgedeckt. Langzeitbelastungen laufen hauptsächlich über die anaerobe Glykolyse ab. Bei Belastungen über 2 Minuten ist der aerobe Anteil der Energiebereitstellung bereits bei 50 % (vgl. Zintl & Eisenhut, 2004, S. 38).

2.1.2.2 Lokale und allgemeine Ausdauer

Wird der Umfang der eingesetzten Muskulatur als Einteilungskriterium herangezogen, lässt sich die Ausdauer in lokale und allgemeine Ausdauer einteilen. Eine lokale Ausdauerbeanspruchung liegt vor, wenn der Anteil der beteiligten Muskulatur unter $1/7$ der gesamten Skelettmuskulatur liegt, da das Herzkreislaufsystem unter dieser Größe als Sauerstofftransporter keine Rolle spielt (vgl. Zintl & Eisenhut, 2004, S. 34). Leistungsbegrenzend für die lokale Ausdauer sind in erster Linie Faktoren der beanspruchten Muskeln, wie z.B. die Größe des Phosphat- und Glykogenspeichers. Bei der lokalen aeroben Ausdauer handelt es sich um die prozentual am stärksten trainierbare motorische Beanspruchungsform (Graf, Rost & Abel, 2012, S. 11; Hollmann & Strüder, 2009, S. 290).

Liegt der Anteil der beanspruchten Muskulatur über $1/6$ bis $1/7$, das entspricht in etwa mehr als die Muskulatur einer Extremität, dann ist die Leistungsfähigkeit maßgeblich durch das Herzkreislaufsystem bestimmt und man spricht von allgemeiner Ausdauer.

2.1.2.3 Dynamische und Statische Ausdauer

Bei der Einteilung anhand der Arbeitsweise der Muskulatur, wird in statische und dynamische Ausdauer unterschieden. Letztendlich läuft der Unterschied auf die Art der Energiebereitstellung hinaus, da mit zunehmendem statischem Arbeitsanteil der Muskelinnendruck die Blut- und Sauerstoffzufuhr drosselt. Bei statischer Arbeitsweise wird ab ca. 15 % der maximalen Muskelspannung die Durchblutung bereits behindert, ab ca. 50 % kommt es zum vollen Durchblutungsstopp (Zintl & Eisenhut, 2004, S. 34). Das bedeutet, unter 15 % der maximalen statischen Kraft und bei ungestörter Durchblutung findet der Stoffwechsel aerob statt und es liegt eine aerobe Ausdauer Beanspruchung vor. Bei einer Kontraktionsintensität zwischen 15 % und 50 % liegt eine Zone mit sowohl aerobem als auch anaerobem Stoffwechsel und über 50 % ein reiner anaerober Stoffwechsel (Hollmann & Strüder, 2009, S. 290). Leistungsbegrenzender Faktor der statischen Ausdauer sind zum einen die gleichen wie die der aeroben und der anaeroben dynamischen Ausdauer (aerob: Größe des intrazellulären Sauerstoffangebots, Mitochondrienvolumen, Größe der Kohlenhydratdepots; anaerob: Quantität der anaeroben Energiegewinnung, begrenzt durch

zentrale und lokale Ermüdung) sowie die maximale statische Kraft der beanspruchten Muskulatur (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 446).

2.1.2.4 Kurzzeit-, Mittelzeit- und Langzeitausdauer

Häufig wird für die Klassifizierung die Zeit in Bezug auf die konkrete Wettkampfanforderung genommen. Dies wird damit begründet, dass die Ausdauer primär von der zeitlichen Belastungsdauer abhängig ist, sofern über die Zeitdauer die höchstmögliche Belastungsdauer vorliegt, damit die typischen Stoffwechsellverhältnisse bezüglich des aerob/anaeroben Mischungsverhältnisses erreicht werden (Zintl & Eisenhut, 2004, S. 40).

Harre (1982) teilt die Kurzzeitausdauer (KZA), Mittelzeitausdauer (MZA) und Langzeitausdauer (LZA) folgendermaßen ein. Die KZA von 45 Sekunden bis 2 Minuten. Die 45 Sekunden sind hierbei die Abgrenzung zu Schnelligkeits- und Kraftdisziplinen. Die KZA ist charakterisiert durch eine überwiegend anaerobe Energiebereitstellung. Die MZA geht von 2-11 Minuten. Nach 2 Minuten beginnt die aerobe Energiebereitstellung zu dominieren, mit zunehmender Belastungszeit steigt der aerobe Anteil beständig an und liegt bei 11 Minuten, der Grenze zur LZA, bei etwa 80 %. Die LZA beginnt bei 11 Minuten, anaerobe Prozesse spielen ab dieser Belastungsdauer keine leistungsbegrenzende Rolle mehr. Aufgrund der verwendeten Energiespeicher, wird die Langzeitausdauer noch in LZA I (11-30 min), LZA II (30-90 min), LZA III (90-360 min) und LZA IV (> 360 min) eingeteilt (Harre 1982, in Zintl & Eisenhut 2004, S. 40). In der trainingswissenschaftlichen Literatur finden sich noch weitere Angaben, mit teilweise minimal abweichenden Werten (u.a. Hollmann & Strüder, 2009; Schnabel et al., 2011). Bei diesen Zeitangaben handelt es sich jedoch immer um Durchschnittswerte und zwischen den Ausdauerarten bestehen fließende Übergänge. Die Zeitangaben sind daher als Orientierungswerte und nicht als exakte Grenzwerte zu verstehen.

2.1.2.5 *Allgemeine und spezielle Ausdauer*

Eine Einteilung in allgemeine und spezielle Ausdauer berücksichtigt die Bewegungshandlung bzw. die konkrete Sportart.

Die allgemeine Ausdauer kann hierbei auch als Grundlagenausdauer bezeichnet werden, diese ist durch Langzeitbelastungen unter Einsatz von großen Muskelgruppen charakterisiert und ist sportartenunabhängig. Sie ermöglicht das Durchhalten längerer Streckenlängen in aerober Stoffwechsellage und ist die wesentlichste Voraussetzung für das Betreiben der Ausdauersportarten (Neumann, Pfützner & Berbalk, 2001, S. 132).

Bei der speziellen bzw. wettkampfspezifischen Ausdauer steht die Beanspruchungs- und Belastungsstruktur einer spezifischen Wettkampfleistung im Vordergrund. Die spezielle Ausdauer kann nur auf Basis einer vorhandenen allgemeinen Ausdauer entwickelt werden und ist im Gegensatz zur allgemeinen Ausdauer nicht auf andere Disziplinen übertragbar (vgl. Zintl & Eisenhut 2004, S. 44).

2.1.2.6 *Zusammenhang mit anderen konditionellen Fähigkeiten*

Die Übergänge zu den weiteren motorischen Grundeigenschaften oder motorischen Hauptbeanspruchungsformen Kraft und Schnelligkeit sind fließend. Ob es sich um eine Kraftleistung, Kraftausdauerleistung oder Ausdauerleistung handelt, wird über die Intensität definiert. Bei einer Belastungsintensität von weniger als 30 % der Maximalkraft handelt es sich um eine Ausdauerleistung. Beträgt der wiederholt zu bewältigende Bewegungswiderstand mehr als 30 % der Maximalkraft handelt es sich um eine Kraftausdauerleistung (Hohmann et al., 2014, S. 83).

Die eindeutige Abgrenzung von Kraftausdauer und Schnelligkeitsausdauer ist kaum möglich. Diese beiden Begriffe werden daher teilweise auch synonym verwendet.

2.1.2.7 *Zusammenfassung zur Strukturierung der Ausdauer*

Die Vielzahl von Ausdauerarten (-formen, -fähigkeiten) verdeutlicht, dass es *die Ausdauer* nicht gibt, sondern der sportpraktische Gesamtkomplex Ausdauer nur über mehrere Ausdauerfähigkeiten zu erfassen ist (Zintl & Eisenhut 2004, S. 44).

Zintl und Eisenhut (2004) zeigen eine sinnvolle Möglichkeit auf die große Zahl von Begriffen auf ein notwendiges Maß einzuschränken, indem im ersten Schritt in die

Arten der Ausdauer unterteilt und in einer weiteren Differenzierung nach Ausdauerarten unterschieden wird (s. Tabelle 2)

Tab. 2 Übersicht zu den Arten und Typen der Ausdauer (Zintl & Eisenhut, 2004, S. 44)

Art	Grundlagenausdauer (GLA)	Spezielle Ausdauer (spA)
Merkmal	Basischarakter für Gesundheit, Fitness und für die Entwicklung anderer sportmotorischer Fähigkeiten	Disziplinspezifische Belastungsstruktur in den Ausdauersportarten; optimales Verhältnis von Belastungsintensität und Belastungsdauer
Typen	<ul style="list-style-type: none"> - Allgemeine Grundlagenausdauer = übungsneutrale Grundaussdauer des Gesundheits- und Fitnessbereichs - Spezifische Grundlagenausdauer = übungsgebundene Basisausdauer der Ausdauerdisziplinen - Azyklische Grundlagenausdauer = Basisausdauer für die unregelmäßig wechselnde (=azyklische) Beanspruchung in den Spiel- und Kampfsportarten 	<ul style="list-style-type: none"> - Kurzzeitausdauer* (35 s – 2 min) - Mittelzeitausdauer (2 – 10 min) - Langzeitausdauer I (10 – 35 min) - Langzeitausdauer II (35 – 90 min) - Langzeitausdauer III (90 min – 6 h) - Langzeitausdauer IV (> 6 h)
<p>*Der Kurz- und Mittelzeitausdauer sind inhaltlich die Begriffe Schnelligkeitsausdauer (mit submaximalen Geschwindigkeiten) Schnellkraftausdauer und submaximale Kraftausdauer zuzuordnen.</p> <p>**In den Langzeitausdauerarten tritt aerobe Kraftausdauer in Erscheinung.</p>		

Eine weit verbreitete und anerkannte Abgrenzung der speziellen Ausdauerarten nach Belastungsdauer, Belastungsintensität und Energiebereitstellung hat Neumann 1984 publiziert (s. Tabelle 3)

Tab. 3 Abgrenzung der speziellen Ausdauerarten (nach Neumann, 1984, S. 44)

	Messgröße	SA	KZA	MZA	LZA (1)	LZA (2)	LZA (3)
Dauer	“ – sec ' - min	10“ – 35“	35“ – 2'	2' – 10'	10'-35'	35' – 90'	90' – 360'
Herzschlag- frequenz	(1/min)	185 – 200	185 – 200	190 - 210	180 - 190	175 - 190	150 - 180
O₂-Aufnahme	% VO ₂ max	100	100	95-100	90-95	80-95	60-90
Energiewandlung	% aerob % anaerob	10 90	20 80	60 40	70 30	80 20	95 5
Energieverbrauch	kJ/min	300	250	190	120	105	80
Abbauweg (anaerob)	% alaktazid % laktazid	30 60	15-30 50	3-5 40-60	--- 10-20	--- ---	--- ---
Abbauweg (aerob)	% KH % Fette	10 ---	20-25 ---	60-40 ---	bis 80 bis 10	80 20	30-50 50-70
Energieliefernde Substrate		Phosp	Phosp (KH)	Glykogen	Leber - & Muskel- Glykogen	Glykogen (Fette)	Glykogen (Fette)

Die im weiteren Verlauf der Arbeit thematisierten sportmotorischen Ausdauer-
testverfahren haben alle die *allgemeine aerobe dynamische Ausdauer* als Zielgröße.
Sie ist eine aerobe Ausdauerleistung, die mittels dynamischer Arbeit unter Einsatz
von mehr als 1/7 bis 1/6 der gesamten Skelettmuskulatur erbracht wird.

Die Leistungsfähigkeit hinsichtlich dieser Beanspruchungsform wird vor allem von der
Kapazität des Herz-Kreislauf-, Atmungs- und Stoffwechselsystems bestimmt sowie
von der Qualität der bewegungstypischen Koordination (Hollmann & Strüder, 2009,
S. 297). Nach der zeitlichen Beanspruchung kann die *allgemeine aerobe dynamische
Ausdauer unterteilt werden in:*

- Allgemeine aerobe Kurzzeitausdauer (3-10 min)
- Allgemeine aerobe Mittelzeitausdauer (10-30 min)
- Allgemeine aerobe Langzeitausdauer (>30 min)

(vgl. u.a. Hohmann et al., 2014; Hollmann & Strüder, 2009; Zintl & Eisenhut, 2004)

Bei der *allgemeinen aeroben Kurzzeitausdauer* werden die höchsten maximalen Sauerstoffaufnahmewerte erreicht. Infolge der hohen Belastungsintensität sind hierbei die aerob ablaufenden Stoffwechselforgänge allein zur Energiegewinnung ungenügend, daher laufen parallel auch anaerobe metabolische Vorgänge ab mit entsprechend hohen Laktatwerten in Blut und Gewebe (Hollmann & Strüder, 2009, S. 298). Bei einer Belastungsdauer von 2 Minuten, können etwa 50 % der notwendigen Energie aerob abgedeckt werden, bei einer Belastungsdauer von 5 Minuten sind es bereits etwa 80 % (ebd., 2009, S. 297).

Bei der *allgemeinen aeroben Mittelzeitausdauer* sind die anaeroben Stoffwechselanteile kaum noch von relevanter Bedeutung. Die Belastungsdauer ist jedoch auch zu lange, als dass der Wert der maximalen Sauerstoffaufnahme/min noch voll erreicht werden kann. Daher ist neben der $VO_2\text{max}$ und der Höhe des Prozentsatzes, der über die Belastungsdauer gehalten werden kann, auch die Höhe der aerob-anaeroben Schwelle leistungslimitierend (Hollmann & Strüder, 2009, S. 299).

Bei der *allgemeinen aeroben Langzeitausdauer* handelt es sich um kontinuierliche Beanspruchungen von mehr als 30 Minuten Dauer (z.B. Marathonlauf). Neben der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit und der aerob-anaeroben Schwelle ist vor allem die Größe des Kohlenhydratdepots ein leistungsbegrenzender Faktor (Hollmann & Strüder, 2009, S. 299).

2.1.3 Die maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$)

Für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit besitzt die maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$) eine bedeutende Rolle. Sie ist eine alters- und geschlechtsabhängige Größe, welche durch die Sauerstoffaufnahme- und Transportkapazität im Herz-Kreislauf-System bestimmt wird und beschreibt die Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems (vgl. Rost, 2001, S. 42). Hollmann et al. (2006, S. 74) definieren die $VO_2\text{max}$ als „maximale O_2 -Aufnahmemenge pro Minute, die bei dynamischer Arbeit unter Einsatz möglichst großer Muskelgruppen durch den gesamten Körper aufgenommen werden kann“. Dieser Vorgang beinhaltet die Sauerstoffzufuhr (Atmung), den Sauerstofftransport (Herz-Kreislauf) und die Sauerstoffverwertung (Muskelzelle) (Zintl & Eisenhut, 2004, S. 61). Die maximale Sauerstoffaufnahme gilt als das Bruttokriterium der aeroben bzw. kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit (Bös & Banzer,

2006, S. 244; Hollmann & Strüder, 2009, S. 371) und als direktes Maß für den aeroben Energieumsatz (de Marées, 2003, S. 455).

Das Kriterium „maximalen Sauerstoffaufnahme“, wurde 1924 von dem Nobelpreisträger Archibald Vivian Hill eingeführt und 1928 erstmals (in Deutschland) von Herbst in Untersuchungen angewendet. Den Nobelpreis für Medizin bekam Hill 1922 gemeinsam mit dem deutschen Biochemiker Otto Fritz Meyerhof für die Aufdeckung der thermodynamischen Prozesse in der Muskulatur. Die Entwicklung der Spiroergometrie durch Kipping im Jahre 1929 schuf die Möglichkeit einer exakten Dosierbarkeit und präzisen Reproduzierbarkeit bei kontinuierlicher Registrierung der Atemgase und der Atmung bei Arbeit (Hollmann & Strüder, 2009, S. 320).

Bei der Spiroergometrie handelt es sich um ein diagnostisches Verfahren, mit dem sich qualitativ und quantitativ die Reaktion von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel auf muskuläre Arbeit sowie die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit beurteilen lassen (Hollmann, Strüder, Predel & Tagarakis, 2006).

Die Spiroergometrie setzt sich aus Ergometrie und Spirometrie zusammen. Die Ergometrie ist eine Methode um physische Belastungen exakt dosierbar und reproduzierbar zu machen. Die Spirometrie ist ein Verfahren zur Erfassung der Atemgasanalyse in Ruhe. Eine Atemgasanalyse unter Belastung ist eine Spiroergometrie. Die wichtigsten ermittelten Messgrößen sind hierbei die Sauerstoffaufnahme (VO_2), die Kohlendioxidabgabe (VCO_2), das Atemminutenvolumen (VE oder AMV) und die Atemfrequenz (AF). Daraus können wiederum wichtige Parameter wie das Atemäquivalent (AÄ) und der respiratorische Quotient (RQ) berechnet werden. Mit der parallel aufgezeichneten Herzfrequenz kann zusätzlich der Sauerstoffpuls bestimmt werden (vgl. u.a. Hollmann & Strüder, 2009, S. 336; Hollmann et al., 2006, S. 74).

Die Höhe der VO_{2max} ist von vielen verschiedenen internen und externen Faktoren abhängig. Diese Faktoren sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tab. 4 Faktoren, die die maximale Sauerstoffaufnahme beeinflussen (Hollmann & Strüder, 2009, S. 327)

Interne Faktoren	Externe Faktoren
- Motivation (Gehirn)	- Belastungsmodus
- Ventilation	- Größe und Art der eingesetzten Muskulatur
- Distribution und Diffusion in der Lunge	- Körperposition
- Herzzeitvolumen	- Partialdruck in der Einatemungsluft
- Blutverteilung	- Klima
- Arteriovenöse O ₂ -Differenz	
- Blutvolumen	
- Total-Hämoglobingehalt	
- Dynamische Leistungsfähigkeit der beanspruchten Muskulatur	
- Ernährungszustand	

De Marées (2003, S. 650) begrenzt die Reihe der limitierend wirkenden physiologischen Größen auf die Ventilation und Gasaustausch in der Lunge, Transportleistung des Kreislaufs, O₂-Transportkapazität des Blutes, die Blutversorgung in der Muskulatur und den Gasaustausch im Muskel.

Hervorzuheben ist der Einfluss der beteiligten Muskulatur auf die VO₂max. Je größer die eingesetzten Muskelmassen, desto höher sind die gemessenen VO₂max -Werte (Hollmann & Strüder, 2009, S. 320). Ähnlich verhält es sich mit der Größe des Körpergewichts. Bei sonst vergleichbaren Voraussetzungen führt ein größeres Körpergewicht zu einer höheren VO₂max. Fettleibige Personen besitzen zwar absolut gesehen eine höhere VO₂max als Personen mit niedrigem Gewicht, aber von dieser erhöhten VO₂max stehen nur etwa 55 % dem aktiven Gewebe (Muskulatur) zur Verfügung. Die restlichen 45 % gehen für die Versorgung des überschüssigen Fettanteils verloren. Somit besitzt relativ gesehen der Übergewichtige erwartungsgemäß geringere VO₂max-Werte (Weineck, 2010, S. 334). Etwa 70 % der Differenz in der maximalen aeroben Kapazität der Durchschnittsbevölkerung sind auf Unterschiede im Körpergewicht, 1 % auf Größenunterschiede und etwa 30 % auf andere Ursachen – vor allem den Trainingszustand – zurückzuführen (ebd. 2010, S. 334, Hollmann & Strüder, 2009; S. 324).

Das Lebensalter und das Geschlecht sind zwei wichtige Einflussfaktoren auf die VO₂max. Bis etwa zum 10. Lebensjahr ist die VO₂max bei Jungen und Mädchen

ohne nennenswerte Differenzen. Mädchen erreichen dann mit dem 15.-16. Lebensjahr ihre maximale Sauerstoffaufnahme, Jungen mit dem 18.-19. Lebensjahr. Im 3. Lebensjahrzehnt liegen die Werte der Frau etwa 25 bis 30 % unter denen des Mannes. Dies liegt aber daran, dass die Bestimmung der VO_2max nicht auf das fettfreie Körpergewicht bezogen wird. Bei nichtsporttreibenden Männern nimmt die aerobe Kapazität nach dem 30. Lebensjahr relativ schnell ab. Im 60. Lebensjahr ist etwa ein Drittel bis ein Viertel des früheren Maximalwerts verloren gegangen. Der Rückgang der Frau verläuft mit einem Verlust von ein Viertel bis ein Fünftel weniger steil (Hollmann & Strüder, 2009, S. 321). Durch regelmäßiges Ausdauertraining kann die VO_2max bis etwa zum 50. Lebensjahr weitestgehend konstant gehalten werden (Hollmann & Strüder, 2009, S. 321).

VO_2max vs. VO_2peak

Die VO_2max (maximale Sauerstoffaufnahme) muss begrifflich von der VO_2peak (maximal erreichte Sauerstoffaufnahme) abgegrenzt werden. Eine VO_2max kann nur gemessen werden, wenn eine Ausbelastung des Probanden vorliegt, da die Kriterien hierfür unklar sind, existiert bislang keine einheitliche Abgrenzung der VO_2max zur VO_2peak (Neumann, 2013, S. 6). Einige Autoren präferieren daher die Verwendung des Begriffs VO_2peak statt VO_2max (vgl. u.a. Meyer, Scharhag & Kindermann, 2005; Baquet, Berthoin, Dupont, Blondel, Fabre & Van Praagh, 2002). Dies ist streng genommen auch korrekt, da es sich bei jeder gemessenen VO_2max auch um eine VO_2peak handelt. Andersherum ist eine VO_2peak nur dann eine VO_2max , wenn der Proband ausbelastet wurde. Dies ist zum einen nicht mit allen Probanden möglich, zum anderen fehlen einheitlichen Ausbelastungskriterien. Das weit verbreitetste Ausbelastungskriterium ist das „leveling off“, die Plateaubildung der Sauerstoffaufnahme bei steigender Belastung. Dieses kann aber nur von ca. 50 % der Personen erzielt werden, entweder aufgrund zu geringer Muskelmasse oder wegen der Art des Untersuchungsprotokolls (Hollmann et al., 2006, S. 74). Das „leveling off“ kann auch als Mindestkriterium zur Feststellung einer Ausbelastung angesehen werden. Liegt kein „leveling off“ zum Zeitpunkt des Belastungsabbruchs vor, handelt es sich um eine VO_2peak und keine VO_2max (vgl. Shephard, 1993, S. 192). Jedoch ist auch die korrekte Bestimmung eines Sauerstoffaufnahme-Plateaus umstritten, da hierfür unterschiedliche Kriterien existieren und schon häufig bei submaximalen

Belastungen ein Plateau der Sauerstoffaufnahme festgestellt werden kann (Beltrami, Wong & Noakes, 2013). Armstrong, Welsman & Winsley (1996) kommen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass auch die $VO_2\text{peak}$ ein maximaler Wert für die Ausdauer von Kindern ist und daher die $VO_2\text{max}$ nicht zwangsläufig aussagekräftiger ist als die $VO_2\text{peak}$.

Im empirischen Teil der Arbeit wird nicht zwischen $VO_2\text{peak}$ und $VO_2\text{max}$ unterschieden und ausschließlich der Begriff $VO_2\text{max}$ verwendet.

Die $VO_2\text{max}$ wird, je nach Art der gewählten Belastung, in Litern pro Minute - **absolute** maximale Sauerstoffaufnahme- oder bezogen auf das Körpergewicht der untersuchten Person als **relative** maximale Sauerstoffaufnahme ($\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{kg})$) angegeben.

2.1.3.1 Absolute maximale Sauerstoffaufnahme

Die absolute maximale aufgenommene Sauerstoffmenge wird in Litern pro Minute angegeben und lässt sich aus der auf den ganzen Körper bezogenen arterio-venösen Sauerstoffdifferenz (AVDO₂) und dem Herzminutenvolumen (HMV) berechnen.

$$VO_2\text{max} = (\text{max. Schlagvolumen} \times \text{max. Herzfrequenz}) \times \text{max. arterio-venöse Sauerstoffdifferenz}$$

$$VO_2\text{max (l/min)} = \text{max. HMV} \times \text{max. AVDO}_2$$

Die Absolutwerte (l/min) der maximalen Sauerstoffaufnahme liegen bei nicht ausdauertrainierten Personen zwischen 30 und 40 Jahren bei ca. 2l/min (Frauen) und etwa 3l/min (Männer). Die Spitzenwerte bei hochtrainierten Ausdauersportlern gleichen Alters liegen bei 4-4,5 l/min bei den Frauen und 6-8 l/min bei den Männern (de Marées, 2003, S. 303; Zintl & Eisenhut, 2004, S. 65). In Ruhe weisen Untrainierte und Trainierte eine ähnlich hohe Sauerstoffaufnahme auf, jedoch kann der Untrainierte seine Sauerstoffaufnahme lediglich um das 12fache steigern, der Trainierte etwa um das 20fache (Marées, 2003, S. 303).

Die absolute $VO_2\text{max}$ ist eine geschlechts- und altersabhängige Größe (Armstrong & Welsman, 2007, S. 10 f.). Darüber hinaus existiert ein hoch signifikanter, positiver Zusammenhang zwischen $VO_2\text{max}$ und Körpergewicht.

2.1.3.2 *Relative maximale Sauerstoffaufnahme*

Die relative Sauerstoffaufnahme drückt die maximale Sauerstoffaufnahme in Milliliter bezogen auf das Körpergewicht in kg pro Minute ($\text{ml/kg} \cdot \text{min}^{-1}$) aus.

Der Bezug zum Körpergewicht ist für Vergleiche zwischen Personen ein besseres Orientierungsmaß als die absolute $VO_2\text{max}$ (Hollmann & Strüder, 2009, S. 321). Abhängig vom Körpergewicht unterscheiden sich die eingesetzte Muskelmasse, die Herzgröße und das Blutvolumen. Da schwere Menschen durchschnittlich mehr Muskelmasse und mehr Blut besitzen, sowie größere Herzen haben, ergibt sich bei identischem Trainingszustand gegenüber leichteren Menschen eine höhere absolute $VO_2\text{max}$. Ein weiterer Grund für das Bevorzugen der relativen $VO_2\text{max}$ zur Leistungsbeurteilung ist, dass die auf das Alter bezogene steigende $VO_2\text{max}$ Differenz zwischen Jüngeren und Älteren verschwindet. Die Relativwerte bei untrainierten Personen bleiben vom Kindesalter bis zum Erwachsenenalter konstant und liegen beim weiblichen Geschlecht zwischen 32 und 38 $\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ und beim männlichen Geschlecht zwischen 40 und 55 $\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$. Die Spitzenwerte bei hochausdauertrainierten Sportlerinnen und Sportlern liegen bei 60-70 $\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ bzw. bei 80-90 $\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ (Hollmann & Strüder, 2009, S. 325; Neumann et al., 2001, S. 79).

Die Bedeutung der absoluten und relativen Angaben der $VO_2\text{max}$ hängt auch von der Sportart ab. In Disziplinen wie Rudern, Radfahren oder Schwimmen, bei denen das eigene Körpergewicht während der Fortbewegung nicht oder nur zum Teil getragen werden muss, haben die Sportler infolgedessen keine oder eine stark verringerte Arbeit gegen die Schwerkraft bzw. den Reibungswiderstand zu leisten. Im Vergleich zum Laufen kann hierdurch Energie gespart werden. In diesen Sportarten überwiegt die Bedeutung der absoluten gegenüber der relativen $VO_2\text{max}$ (vgl. Hollmann et al. 2006, S.77).

2.1.3.3 Relevanz der VO_2max für die Leistungsbeurteilung

Die Sauerstoffaufnahme hat in der Leistungsdiagnostik einen hohen Stellenwert. Sie gehört neben der Herzfrequenz und dem Laktat zur wichtigsten leistungsdiagnostischen Messgröße (Neumann, Pfützner & Hottenrott, 2000, S. 140). Für Ausdauerleistungssportler sind gewisse VO_2max -Werte notwendige Voraussetzung um Spitzenleistungen erzielen zu können und abnehmende VO_2max -Werte im Längsschnitt sind ein Indiz für eine unstimmige Gesamtbelastung oder Reizwirksamkeit im Trainingsprozess (ebd., 2000, S.141).

Der Zusammenhang der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit mit der VO_2max ist unbestritten. Jedoch ist eine alleinige Betrachtung der VO_2max für die Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit nur eingeschränkt sinnvoll. Hollmann & Strüder (2009, S. 359) beschreiben fünf entscheidende Faktoren für die Ausdauerleistungsfähigkeit:

1. Die Höhe des Sauerstoffverbrauchs bei gegebenen Intensitäten
2. Den Prozentsatz der VO_2max die über die gesamte Wettkampfdistanz durchgehalten werden kann
3. Der Prozentsatz der VO_2max , bei der die Laktatkonzentration steigt (aerob-anaerobe Schwelle)
4. Die absolute Höhe des Laktatspiegels bei gegebenen Intensitäten
5. Die individuelle maximale VO_2max

Die VO_2max ist daher nur eine Leistungsvoraussetzung unter mehreren. Portela (1996, S. 52) verweist auf das generelle Problem, dass sich die kardiopulmonale Fitness nicht von der muskulären Fitness abgrenzen lässt. Eine ausreichende muskuläre Fitness ist zwingende Voraussetzung für eine Ausbelastung des Herz-Kreislauf-Systems. Aus diesem Grund ist die VO_2max kein Kriterium, das nur die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems beschreibt.

Zudem ist die Bestimmung der VO_2max sehr aufwendig und kostspielig. Um wirkliche Maximalwerte erhalten zu können ist der dynamische Einsatz größtmöglicher Muskelmassen erforderlich. Die höchsten Messwerte sind beim Bergauf-Skilaufen und Berglaufen zu registrieren. Beim Laufen in der Ebene ist die VO_2max 3 bis 5 % und beim Fahrradfahren ca. 10 % niedriger als beim Berglaufen (Hollmann & Strüder, 2009, S. 326). Die VO_2max ist daher in hohem Maße von der Bewegungsform und

der Belastungssteuerung abhängig. $VO_2\text{max}$ -Werte können also interindividuell nur bei gleicher Bewegungsform und gleichem Belastungsprotokoll verglichen werden.

Wie und ob überhaupt die $VO_2\text{max}$ gemessen werden kann, wird aktuell kontrovers diskutiert. Neben der klassischen und in der Sportwissenschaft bzw. Sportmedizin lange Jahre uneingeschränkt anerkannten Theorie, dass die $VO_2\text{max}$ ein Messparameter ist, der ausschließlich von der Leistung des Herz-Kreislauf-Systems abhängig ist und gemessen wird, wenn sich bei steigender Belastung die Sauerstoffaufnahme nicht mehr verändert, also das „leveling-off“ eintritt (Ekblom, 2009; Hollmann & Strüder 2009), haben Timothy Noakes und Kollegen eine neue Theorie postuliert, die besagt, dass eine zentrale Steuerungseinheit der sogenannte „Central Governor“ die maßgebliche Steuerungsinstanz und limitierende Faktor der $VO_2\text{max}$ ist (Noakes, 1997; Noakes, 2009). Kern der Theorie ist, dass der „Central Governor“ unter Belastung die Anzahl der rekrutierten motorischen Einheiten bestimmt und dadurch die Leistung des Herz-Kreislauf-Systems limitiert und die Höhe der Sauerstoffaufnahme reguliert [“...the $VO_2\text{max}$ is regulated (not limited) by the (submaximal) number of motor units recruited in the exercising limbs”] (Noakes, 2009). Somit schützt der „Central Governor“ das Herz-Kreislauf-System vor Überlastung und Schädigung. Belegt hat Noakes diese Theorie unter anderem damit, dass Probanden bei 120 % der $VO_2\text{max}$ eine höhere Leistung erbrachten als bei 100 % der $VO_2\text{max}$. “Since subjects reached a higher work rate at 120 % than at 100 % $VO_2\text{max}$ so exercise at 100 % $VO_2\text{max}$ occurred at a submaximal level of skeletal muscle recruitment as predicted by the Central Government Model” (Noakes, 2009). Noakes lässt jedoch offen wo sich dieser “Central Governor” befindet und in welcher Weise er wirkt.

Smirmaul und Kollegen gingen der Frage nach, ob tatsächlich zuverlässig eine maximale Sauerstoffaufnahme gemessen werden kann. In ihrer Untersuchung konnten sie mit einem selbstregulierbaren Testprotokoll signifikant höhere $VO_2\text{max}$ - Werte feststellen als bei einem konventionellen ansteigenden Stufentest (vgl. Smirmaul et al., 2013, S. 1 f.). Dieses Ergebnis widerspricht seiner Meinung nach der klassischen Theorie, denn wieso können bei selbstregulierter Belastung höhere $VO_2\text{max}$ -Werte erreicht werden, wenn das Herzkreislauf-System der einzige limitierende Faktor der $VO_2\text{max}$ sein soll? Es widerspricht jedoch ebenso dem

„Central Governor Model“, dass abhängig vom Testprotokoll unterschiedliche $VO_2\text{max}$ -Werte auftreten (vgl. Smirmaul, Bertucci & Teixeira, 2013, S. 3).

In dieser gegensätzlichen Bewertung über die limitierenden Faktoren der $VO_2\text{max}$ besteht aktuell noch kein Konsens (Smirmaul, et al., 2013; Spurway, Ekblom, Noakes & Wagner, 2012) und es erscheint schlüssig, dass die $VO_2\text{max}$ weitestgehend über das Herzkreislauf-System limitiert wird, jedoch unter bestimmten Bedingungen auch neuronale Prozesse eine Rolle spielen.

Neben der Frage, was die $VO_2\text{max}$ limitiert, ist auch die Aussagekraft des Messparameter $VO_2\text{max}$ umstritten. Für die Ausdauerleistungsfähigkeit beim Laufen ist die $VO_2\text{max}$ nur eine unter mehreren leistungsrelevanten Faktoren. Genauso relevant wie die $VO_2\text{max}$ sind der Sauerstoffbetrag pro Minute in Bezug auf die jeweilige Laufgeschwindigkeit, der über die gesamte Wettkampfdistanz durchgehaltenen Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme und die absolute Laktathöhe bezüglich der einzelnen Laufgeschwindigkeiten (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 360). Armstrong & Welsmann (2007, S. 6) betonen ebenfalls die eingeschränkte Aussagekraft der $VO_2\text{max}$ als alleinige Kenngröße. [...„However, although $VO_2\text{max}$ limits the performance of aerobic exercise it does not describe fully all aspects of aerobic fitness.[...] Furthermore, $VO_2\text{max}$ is neither the best measure of an individual's ability to sustain aerobic exercise at submaximal intensities nor the most sensitive means by which to detect improvements in aerobic fitness following training.”]

Der Stellenwert der $VO_2\text{max}$ bei Kindern, als alleinige Kenngröße für die aerobe Ausdauer, scheint im Vergleich zu den Erwachsenen noch geringer zu sein. Sie ist durch sportliches Training vergleichsweise schwierig zu erhöhen und der Zusammenhang von $VO_2\text{max}$ -Werten im Kindesalter zu $VO_2\text{max}$ -Werten im Erwachsenenalter ist nur niedrig (Rowland, 2007, S. 201).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die $VO_2\text{max}$ zwar ein sehr wichtiger leistungsphysiologischer Parameter ist, der allerdings alleine betrachtet nur eingeschränkte Aussagekraft besitzt. Die maximale Sauerstoffaufnahme stellt zwar einen etablierten Parameter zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit dar, jedoch gelten submaximale Kenngrößen wie Schwellenkonzepte (Laktatmessung) als ein exakteres Maß zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit als die $VO_2\text{max}$ “ (Conzelmann & Blank, 2009, S. 168). Vor allem für die Ableitung von

Trainingsempfehlungen liefern Laktatwerte zumeist exaktere Angaben und korrelieren besser mit Wettkampfleistungen von leistungshomogenen Stichproben (ebd., 2009; Meyer & Kindermann, 1999). Zudem wird die lange Jahre gültige Lehrmeinung, dass die $VO_2\text{max}$ ausschließlich durch das Herz-Kreislauf-System limitiert ist, derzeit kontrovers diskutiert. Die trainingsbedingte Vergrößerung der $VO_2\text{max}$ ist im Gegensatz zu anderen Parameter, wie z.B. die Höhe der aerob-anaeroben Schwelle, bei der eine Langzeitbelastung durchgehalten werden kann, deutlich geringer. Folglich kann die $VO_2\text{max}$ zwar als wichtigstes Kriterium der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit gesehen werden, zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist sie jedoch wenig präzise und differenziert nur schlecht bei einer homogenen Probandengruppe. Hinzu kommen die messmethodischen Schwierigkeiten bei der Bestimmung. Die $VO_2\text{max}$ als alleinige Referenzgröße bei der Validierung von Ausdauer-testverfahren zu verwenden ist daher kritisch zu bewerten.

2.1.4 Ausdauerleistungsfähigkeit und Gesundheit

Das traditionell wichtigste Argument für den hohen Stellenwert der Ausdauer in der sportwissenschaftlichen Diagnostik ist die hohe Gesundheitsrelevanz der Ausdauerleistungsfähigkeit. Wie hoch der Zusammenhang der Ausdauerleistungsfähigkeit und gesundheitlicher Parameter tatsächlich ist, soll in diesem Kapitel komprimiert mit einem Überblick zu aktuellen Studien dargestellt werden. Dazu muss zuerst der Gesundheitsbegriff definiert werden. Es existiert eine Vielzahl von Definitionen zu dem Gesundheitsbegriff angefangen mit der richtungsweisende Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von 1948 die Gesundheit beschreibt als „[...] einen Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen.“ Nach diesem positiven Idealzustand werden alle Menschen, die diesen Normvorstellungen nicht entsprechen, zwangsläufig ausgeschlossen. Aktuell erscheint das integrative Gesundheitsverständnis von Woll (2006) als eine schlüssige Definition von Gesundheit. Sie basiert auf der von Gesundheitswissenschaftler Hurrelmann 1988 publizierten Definition. „Gesundheit ist das Ergebnis eines dynamischen Gleichgewichts (Balance) zwischen dem Individuum mit seinen Ressourcen und den Anforderungen seiner sozioökologischen Umwelt. Gesundheit wird als prozesshaftes

Geschehen aufgefasst, das sich im aktuellen Bezug herausbildet. Gesundheit und Krankheit sind Extrempole eines mehrdimensionalen Kontinuums (physisch, psychisch und sozial) zu sehen, auf dem sich eine Person jeweils lokalisieren lässt“ (Woll, 2006, S. 93). Diese Definition verdeutlicht die enorme Komplexität des Gesundheitsbegriffs und verdeutlicht die Problematik Zusammenhänge zwischen körperlich-sportlicher Aktivität und Gesundheit finden zu können. Werden jedoch sowohl die körperliche Aktivität, als auch die Gesundheitsparameter genau spezifiziert, lässt sich ein positiver Zusammenhang in vielen Studien nachweisen.

Erste viel beachtete empirischen Nachweise, dass sich körperlich-sportliche Aktivität positiv auf die Gesundheit auswirkt, erbrachten Morris (1958) und Paffenbarger (1986) mit ihren groß angelegten Längsschnittstudien. Morris fand heraus, dass die körperlich aktiv arbeitenden Schaffner in Doppeldeckerbussen eine 1,5-mal niedrigere Sterblichkeitsrate aufweisen als die überwiegend inaktiv arbeitenden Busfahrer.

Die Ergebnisse der „Harvard Alumni Health Study“ von Paffenbarger zeigten, dass das Risiko Herz-Kreislaufkrankungen zu erleiden, bei einem Mehrkalorienverbrauch von über 2000 kcal pro Woche um 39 % sinkt und dass die körperlich aktiven Probanden im Durchschnitt 1,25 Jahre länger leben als die inaktiven Probanden. Bereits 5-mal die Woche 30 Minuten Walking, was einem Kalorienverbrauch von 1000 kcal entspricht, reduziert das Risiko von Herz-Kreislaufkrankungen signifikant (Paffenbarger, Hyde, Hsieh & Wing, 1986).

„Wer körperlich weniger fit ist und ein Kraft- und Ausdauertraining beginnt, kann also seine Morbidität und Mortalität deutlich senken. Der eindeutige und signifikante Einfluss eines körperlichen Trainings auf den günstigen Verlauf bei verschiedenen Erkrankungen wie KHK, Diabetes mellitus oder Bluthochdruck ist ein weiteres Argument für die Wirkung des körperlichen Trainings“ (Löllgen & Leyk, 2012, S. 669). Aktive Personen haben ein signifikant geringeres Mortalitätsrisiko als inaktive Personen (Löllgen, Böckenhoff & Knapp, 2009). Dickhut und Kollegen gehen davon aus, dass regelmäßige körperliche Aktivität mit einem zusätzlichen Kalorienverbrauch von 2000 kcal/Woche zu einer höheren Lebenserwartung von bis zu 2,5 Jahren führt (Dickhut, Röcker, Gollhofer, König & Mayer, 2011, S. 39).

Löllgen (2011, S. 111) zieht aus einer Bewertung der aktuellen Studienlage folgenden Schluss: „Aus all diesen Studien ergibt sich mit hohem Evidenzgrad, dass

regelmäßige körperliche Aktivität eine sehr wirksame Maßnahme oder Therapie in Prävention sowie Therapie verschiedener Krankheiten ist“.

Ausdauer und Ausdauertraining sind für die Gesundheit eine zentrale Zielgröße und haben insbesondere in der Prävention von Herz-Kreislauf bzw. Bewegungsmangelkrankheiten eine große Bedeutung erlangt (Rost, 2001, S. 666). Besondere Bedeutung erfährt hierbei das aerobe Ausdauertraining, das die kardiopulmonale bzw. allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit verbessert und gleichzeitig eine Reihe von Risikofaktoren günstig beeinflusst. Der starke Zusammenhang zwischen der Ausdauerleistungsfähigkeit und niedrigerer herzkreislaufbedingter Mortalität und Morbidität, ist mittlerweile vielfach belegt (vgl. Kaminsky, Arena, Beckie, Brubaker, Church et al., 2013; Kodama, Saito, Tanaka, Maki, Yachi et al., 2009; Lee, Artero, Sui & Blair, 2010; Tomkinson, 2011).

Bereits 1975 hat Schwandt den Zusammenhang zwischen einem hohen Ruhepuls und der Mortalität an koronaren Herzerkrankungen herausgefunden (Schwandt, 1975, zitiert nach Frey & Hildenbrandt, 1995, S. 23). Regelmäßiges Ausdauertraining führt zu einem niedrigeren Ruhepuls.

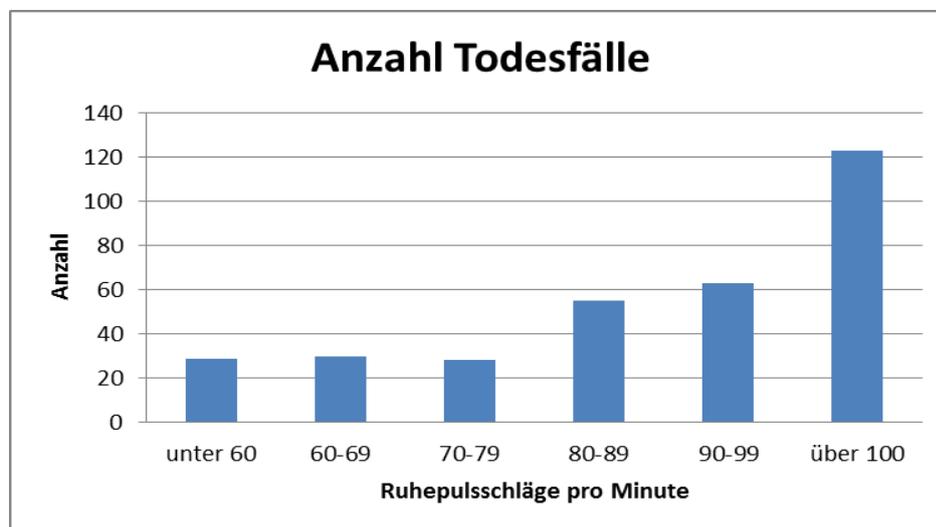


Abbildung 4 *Beziehung zwischen Ruhepuls und 10-Jahres-Mortalität an koronaren Herzerkrankungen bei 1349 ehemals gesunden 40 bis 59-jährigen Männern (Schwandt, 1975, zitiert nach Frey & Hildenbrandt, 1995, S. 23).*

Ebenso ist gut belegt, dass regelmäßige aerobe Betätigungen (Laufen, Schwimmen) gut für die allgemeine physische und psychosoziale Gesundheit sind. Positiv wirkt sich ein regelmäßiges Ausdauertraining auch auf den Bewegungsapparat, den

Energiestoffwechsel und das Blut aus. Erhöhter Blutdruck wird gesenkt und ein verbesserter Blutrückfluss aus den Beinen wird gewährleistet. Ausdauertraining wirkt sich zudem positiv auf das Immunsystem, sowie das Nervensystem und die Psyche aus. Es hat eine beruhigende Wirkung auf das vegetative Nervensystem und hilft beim Abbau von Stresshormonen. Darüber hinaus wird durch Ausdauertraining die Knochenstruktur durch Druck-, Zug- und Stoßbelastungen (Impact beim Laufen) umgebaut und gefestigt. Die Funktionsweise der Sehnen, Bänder und Gelenkkapseln wird optimiert (vgl. u.a Geiger, 1999, S. 34 f.; Hottenrott & Gronwald, 2009, S. 20). Karvernagh et al. (2003) haben herausgefunden, dass für jedes (ml/kg/min), das die relative VO_2 max steigt, das Herzinfarkttrisiko bei über 60-jährigen Frauen um 10 % sinkt. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch bei Studien mit männlichen Probanden gefunden (Talbot et al., 2002). Kodama et al. (2009) haben in einer umfangreichen Meta-Analyse 33 Studien mit insgesamt 103.000 Probanden ausgewertet. Zentrales Ergebnis war, dass eine hohe Ausdauerleistungsfähigkeit im Vergleich zu einer niedrigen Ausdauerleistungsfähigkeit, das allgemeine Mortalitätsrisiko um 70 % senkt.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass bereits niedrige Belastungsumfänge zu messbaren Gesundheitswirkungen führen. Eine großangelegte Langzeitstudie mit 55.000 Probanden, bei die Anzahl der Todesfälle und das Sportverhalten ausgewertet wurde, kam zu dem Ergebnis, dass Sportler im Vergleich zu Nichtsportlern durchschnittlich 3 Jahre länger leben, und bereits 5 bis 10 Minuten tägliches, moderates Joggen, das Risiko an Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu sterben signifikant reduziert (Lee, Pate, Lavie, Sui, Church & Blair, 2014).

Aktuell hat auch die „American Heart Association“ den Stellenwert der Ausdauerleistungsfähigkeit als wichtigsten Prädiktor für die Gesundheit deutlich herausgestellt und empirische Grenzwerte für ein gesundes Ausdauerniveau gefordert (Kaminsky et al., 2013, S. 659).

Neben den vielen positiven Wirkungen von Ausdauertraining auf die physische Gesundheit, sind die positiven Wirkungen auf die psychische Gesundheit (Angst, Depression, Stimmung) mittlerweile ebenso gut belegt. Die psychische Gesundheit von körperlich Aktiven unterscheidet sich hochsignifikant positiv von Inaktiven und körperliche Aktivität schützt wirksam vor Beeinträchtigungen in der psychischen Gesundheit (Ströhle, 2009). Netz, Wu, Becker & Tenenbaum (2005) bestätigen mit

den Ergebnissen ihrer Meta-Analyse über 36 Studien den positiven Einfluss von körperlich-sportlicher Aktivität und Ausdauertraining auf das psychische Wohlbefinden.

Wichtig ist es immer die Dosis zu definieren, um Aussagen über die Wirkung machen zu können. Bezogen auf ein gesundheitsorientiertes Ausdauertraining haben Zintl & Eisenhut (2004, S. 137f) ein Gesundheits-Minimalprogramm und ein Gesundheits-Optimalprogramm definiert. Das Gesundheits-Minimalprogramm empfiehlt eine aerobe Ausdauerbelastung von 60 Minuten pro Woche. Dabei sollen die Belastungseinheiten 2x30 Minuten bis 5x12 Minuten betragen und die Belastungsintensität 50 % der VO_2max bei einer Herzfrequenz von 180 minus Lebensalter sein. Das Gesundheits-Optimalprogramm besteht aus 180 Minuten aerober Ausdauerbelastung pro Woche, mit einer Belastungsintensität von 70 % der VO_2max , verteilt auf 3 bis 6 Einheiten.

Um für gesunde Erwachsene gesundheitsrelevante Effekte zu erzielen, empfiehlt die *American Heart Association* eine moderate aerobe Ausdauerbelastung von 150 Minuten pro Woche (5x30min), oder eine intensive aerobe Ausdauerbelastung von 60 Minuten pro Woche (3x20min) (Haskell et al. 2009). Dickhut et al. (2011) sehen als Mindestaktivität für eine gesundheitliche Wirkung einen Energieverbrauch durch körperliche Aktivität von 200-300 kcal/Woche.

Zusammenfassend ist der starke positive Einfluss von körperlich-sportlicher Aktivität auf die physische und psychische Gesundheit mittlerweile unbestritten. Die Ausdauerleistungsfähigkeit gilt hierbei als die gesundheitsrelevanteste motorische Fähigkeit und Ausdauerbelastungen weisen die höchsten nachweisbaren Gesundheitswirkungen aus. Sehr schön hat diese Erkenntnis auch der Sportmediziner Wildor Hollmann auf den Punkt gebracht: „Gäbe es heute noch keinen Sport, müsste er aus medizinischen Gründen erfunden werden“ (Hollmann, 1991, S. 2).

2.2 Ausdauer von Kindern und Jugendlichen

Für die Ausdauerleistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen ergeben sich im Vergleich zu Erwachsenen einige Unterschiede. Diese haben ihre Ursache zum einen in der motorischen Entwicklung und zum anderen in der Physiologie des kindlichen und jugendlichen Körpers.

2.2.1 Entwicklung der körperlichen Leistungsfähigkeit

Die körperliche Leistungsfähigkeit ändert sich bei Heranwachsenden in charakteristischer Weise. Auf die geringe Leistungsfähigkeit des Kindes (6-10 Jahre) folgt ein kontinuierlicher Leistungsanstieg während der Pubertät und im Jugendalter bis zur maximalen individuellen Leistungsfähigkeit im Hochleistungsalter (15-30 Jahre) (vgl. de Marées, 2003, S. 487).

Typische Entwicklungskurven zeigen zudem die geschlechtsspezifischen Unterschiede, die nach der Pubertät auftreten. Gegenüber Erwachsenen haben Kinder eine geringere absolute Leistungsfähigkeit, welche sich hauptsächlich aus der geringeren Körperlänge und der kleineren Körpermasse ergibt.

Durch die ausgeprägten Wachstumsvorgänge weisen die Gewebszellen des Kindes einen relativ hohen Ruhe-Energieumsatz auf, daher konkurrieren in den Zellen des Kindes der hohe Energieumsatz für den Aufbau zelleigener Substanz und der für die körperliche Leistung benötigte Energieumsatz. Dieser Vorgang begrenzt die Leistungsfähigkeit des Kindes (vgl. de Marées, 2003, S. 487).

2.2.2 Die Ausdauerleistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen

Die Entwicklung der aeroben Ausdauer und die Entwicklung der Laufleistung im speziellen verlaufen unterschiedlich. Das Kind hat theoretisch die gleichen Voraussetzungen bezüglich der aeroben Ausdauer wie Erwachsene, wenn nicht noch höhere. Die Entwicklung der aeroben Ausdauer berücksichtigt aber nicht die Entwicklung der Ökonomie der Laufausdauer und andere Aspekte, die für die Entstehung von Ausdauerleistungen beteiligt sind. Für die geringere Ausdauerleistung von Kindern ist die fehlende Bewegungserfahrung, die durch eine Vielzahl von unnötigen Mitbewegungen anderer Muskelgruppen den Wirkungsgrad bei Laufbelastungen verringern, verantwortlich (de Marées, 2003, S. 488).

Zwar ist die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit bei Kindern geringer als bei Jugendlichen und Erwachsenen, aber aufgrund der geringeren Körperdimensionen von Kindern und den damit verbundenen kürzeren kardiovaskulären Distanzen, Zirkulationszeiten sowie Diffusionsstrecken, sind die biologischen Voraussetzungen für eine aerobe Leistungsfähigkeit (schnellere Regulation und Erholung der Sauerstoff-Aufnahme-Kinetik) somit bereits im Kindesalter recht günstig (Wahl, Sperlich & Mester, 2009).

2.2.2.1 *Aerobe Ausdauer vs. Anaerobe Ausdauer*

Zur Systematisierung der Ausdauer gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Einteilungskriterien (s. Abschnitt 2.1.2). Vor dem Hintergrund der Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit wird vor allem in aerobe Ausdauer und anaerobe Ausdauer unterschieden. Die meisten Testverfahren haben die aerobe Ausdauer als Zielgröße. Dafür sind hauptsächlich zwei Punkte verantwortlich. Die aerobe Ausdauer ist einfacher zu messen und hat eine deutlich höhere Relevanz für die Gesundheit.

Bei allen Belastungen, die länger als eine Minute dauern, wird bei Kindern die Energieversorgung überwiegend durch den aeroben Stoffwechselweg gesichert (vgl. Armstrong & Welsman, 2007, S. 5). Kinder schalten bei Belastung also schneller auf den oxydativen Stoffwechsel um. Die Zahl der Mitochondrien, die auch als Ort der aeroben Energiegewinnung bezeichnet wird, ist bei Kindern ebenfalls erhöht im Vergleich zu Erwachsenen (vgl. Weineck, 2007, S. 181). Kinder haben daher generell gute Voraussetzungen für aerobe Belastungen.

Das Bewegungsverhalten von Kindern ist aber eher von intensiven, intervallförmigen Belastungen geprägt, also überwiegend von typisch anaeroben Belastungen. Daher hätten anaerobe Testverfahren im Kinder und Jugendalter durchaus ihre Berechtigung, da sie dem tatsächlichen Bewegungsverhalten von Kindern ähnlicher sind, als die von weniger intensiven Dauerbelastungen gekennzeichneten aeroben Ausdauertests.

Die allgemeine anaerobe Ausdauer wird auch als „Schnelligkeitsausdauer“ oder „Stehvermögen“ bezeichnet und kennzeichnet die Beanspruchung großer Muskelgruppen in einem Zeitraum von 6 bis 120 Sekunden, leistungsbedingende Faktoren sind die dynamische Kraft der Muskulatur, Koordination, Kontraktions-

geschwindigkeit, Flexibilität und die Fähigkeit, eine große Energiemenge pro Zeiteinheit freisetzen und trotz hoher Sauerstoffschuld eine hohe Leistungsfähigkeit aufrecht erhalten zu können (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 433). Die anaerobe Leistungsfähigkeit wird unter anderem begrenzt durch die Fähigkeit der beanspruchten Muskulatur, in kurzer Zeit möglichst viel ATP zu produzieren und zu verwerten, also chemische Energie in mechanische Energie umzuwandeln (Van Pragh, 2007). Für eine exakte Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit müssen daher die für die Stoffwechselprozesse benötigten Substrate direkt in der Muskelzelle gemessen werden, beispielsweise mit muskelbiptischen Analysen oder Magnetresonanzspektroskopien (de Marées, 2003, S. 476). Da diese Verfahren sehr aufwendig sind und zudem messmethodische Probleme aufweisen, wird die anaerobe Leistungsfähigkeit üblicherweise über die erbrachte Leistung bei kurzen hochintensiven Belastungen bestimmt, dabei erreichen Kinder deutlich geringere Leistungswerte als Erwachsene, auch wenn die Leistung relativ zum Körpergewicht betrachtet wird (Martin et al., 1999, S. 132). Für die großen Unterschiede in der anaeroben Leistungsfähigkeit werden neuromuskuläre Faktoren, hormonelle Faktoren und die unterschiedlich gut ausgeprägte Bewegungskoordination verantwortlich gemacht (Van Pragh, 2007).

Das Laktat ist ein weiteres Stoffwechselprodukt, das Rückschlüsse auf die Art der Belastung erlaubt. Die Toleranz eines hohen Laktatspiegels ist bei Kindern deutlich geringer als bei Erwachsenen. Nach Hollmann & Strüder (2009) sind möglicherweise niedrigere Konzentrationen der energiereichen Phosphate sowie der anaeroben Schlüsselenzyme (Phosphorfruktokinase) im Muskel dafür verantwortlich. Der Wert der Phosphorfruktokinase-Konzentration eines 11-jährigen Jungen entspricht einem Drittel des Wertes eines Erwachsenen (vgl. Rowland, 2005, S. 168).

Der Laktatspiegel von Kindern ist um etwa 45 % niedriger als bei 17 bis 18-Jährigen, der Adrenalinpiegel jedoch um 25 % höher. Dies deutet auf einen für das Kind ungünstigen Anstieg der Stress- bzw. Leistungshormone und erscheint unphysiologisch und nicht altersadäquat, da Kinder nicht so früh an ihre physischen Grenzen gehen sollten (vgl. Weineck, 2007, S. 351). Hierzu muss aber kritisch angemerkt werden, dass die AdrenalinKonzentration bei einem Kind anders bewertet werden muss, als bei einem Erwachsenen.

Intensive Trainingsmethoden werden für Kinder und Jugendliche ebenso propagiert, mit der Begründung, dass eine geringer ausgeprägte anaerobe Leistungsfähigkeit nicht automatisch auch eine geringere anaerobe Belastbarkeit bedeutet. Es ist denkbar, dass durch die geringeren maximalen Laktatwerte die anaerobe Überlastungsgefahr bei Kindern und Jugendlichen geringer ausfällt. Es existieren keine konkreten Hinweise auf eine reduzierte anaerobe Belastbarkeit von Kindern und Jugendlichen, daher ist „...davon auszugehen, dass sich der Stoffwechsel von Kindern und Jugendlichen unter höherer Azidosebelastung ebenso ausbremst (z.B. durch Enzymhemmung), wie dies bei Erwachsenen der Fall ist“ (Hartmann, Niessen, Marzin, Tobias; Platen, & Mank, 2010, S. 140).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Heranwachsende im Vergleich zu Erwachsenen eine relativ gesehen vergleichbare aerobe Leistungsfähigkeit und eine geringer ausgeprägte anaerobe Leistungsfähigkeit besitzen. Es ist unstrittig, dass Kinder und Jugendliche für aerobe Belastungen sehr gut geeignet sind. Wie gut die Eignung für anaerobe Belastungen ist, lässt sich derzeit nicht eindeutig beantworten. In der aktuellen Literatur finden sich jedoch zunehmend Fürsprecher für anaerobes Training mit Kindern (vgl. u.a. Hottenrott & Gronwald, 2009; Hartmann, Niessen, Marzin, Tobias, Platen, & Mank, 2010).

Die Ausdauerdiagnostik wird jedoch auch in Zukunft von aeroben Verfahren dominiert sein, da deutlich weniger methodische Probleme existieren und die Relevanz des Konstrukts „aerobe Ausdauer“ größer ist. Anaerobe Ausdauerdiagnostik ist fast ausschließlich für Fragestellungen im leistungssportlichen Umfeld relevant.

2.2.2.2 Geschlechtsspezifische Betrachtung der Ausdauerleistungsfähigkeit

Altersunabhängig sind Männer im Durchschnitt leistungsfähiger als Frauen. Dieser Leistungsunterschied ist bei konditionell determinierten Fähigkeiten wie Kraft und Ausdauer besonders ausgeprägt. Im Durchschnitt aller Ausdauerleistungen beträgt der Rückstand der Frauen gegenüber den Männern bei vergleichbaren Spitzenleistungen 8 bis 12 % (Neumann et al., 2001, S. 21). Viele Untersuchungen zur Überprüfung der aeroben Ausdauer identifizieren bereits für das frühe Schulalter deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede zugunsten der Jungen. Die Studie von Köhler (1974), bei der die aerobe Ausdauerfähigkeit mit dem 800-Meter-Lauf getestet wurde, kommt zu dem gleichen Ergebnis. Die geschlechtsspezifischen

Unterschiede werden mit zunehmendem Alter größer. Besonders ausgeprägt ist dieser Unterschied nach dem 12. Lebensjahr. Auf der nachfolgenden Abbildung 5 ist der scherenförmige Kennlinienverlauf anschaulich mit Daten von Klassenstufen dargestellt (vgl. Joch, 1983, S. 21).

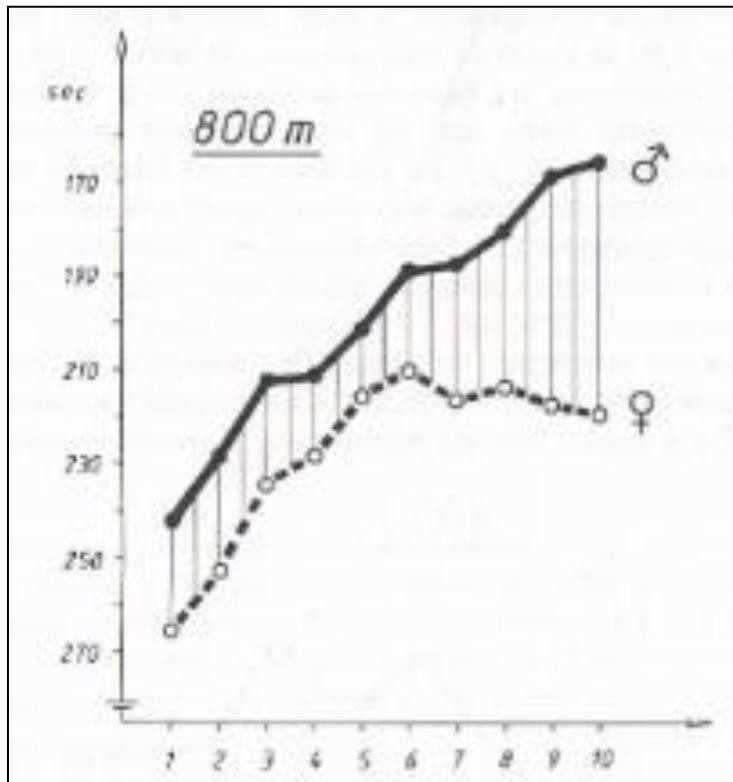


Abbildung 5 Geschlechtsspezifischer Verlauf von 800m Zeiten (Joch, 1938, S. 19)

Interessant ist, dass sich die geschlechtsspezifischen Unterschiede in Bezug auf die Streckenlänge verändern. So berechnet Joch (1983, S. 22) bei 11-Jährigen in einem 800-Meter-Lauf eine geschlechtsspezifische Leistungsdifferenz von 16 %. Bei der gleichen Altersgruppe wurde beim 400-Meter-Lauf bzw. 600-Meter-Lauf eine Differenz von 10 % bzw. 14 % festgestellt.

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede können anhand der Entwicklungsverläufe sehr exakt abgelesen werden. Während die 7-jährigen Mädchen in Klasse 1 bereits 81 % ihres entwicklungsbedingten Endwertes der motorischen Ausdauerleistungsfähigkeit erreichen, verfügen die Jungen (62 %) über deutlich mehr Entwicklungspotential. In Klasse 6 haben die Mädchen bereits 99,7 % des Endwertes erzielt. (vgl. Joch, 1983, S. 22).

Bei dem Motorik-Modul (MoMo) einer deutschlandweiten Studie zur motorischen Leistungsfähigkeit und dem Aktivitätsverhalten von Kindern und Jugendlichen wurde die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit mit einem Fahrradergometer erfasst. Das Kriterium für die Ausdauerleistungsfähigkeit war die Leistung in Watt bei einer Herzfrequenz von 170/min (PWC_{170}) (Bös et al., 2009b, S. 99). Abbildung 6 zeigt die alters- und geschlechtsspezifischen Mittelwertverläufe beim Fahrradausdauererprobungstest PWC_{170} .

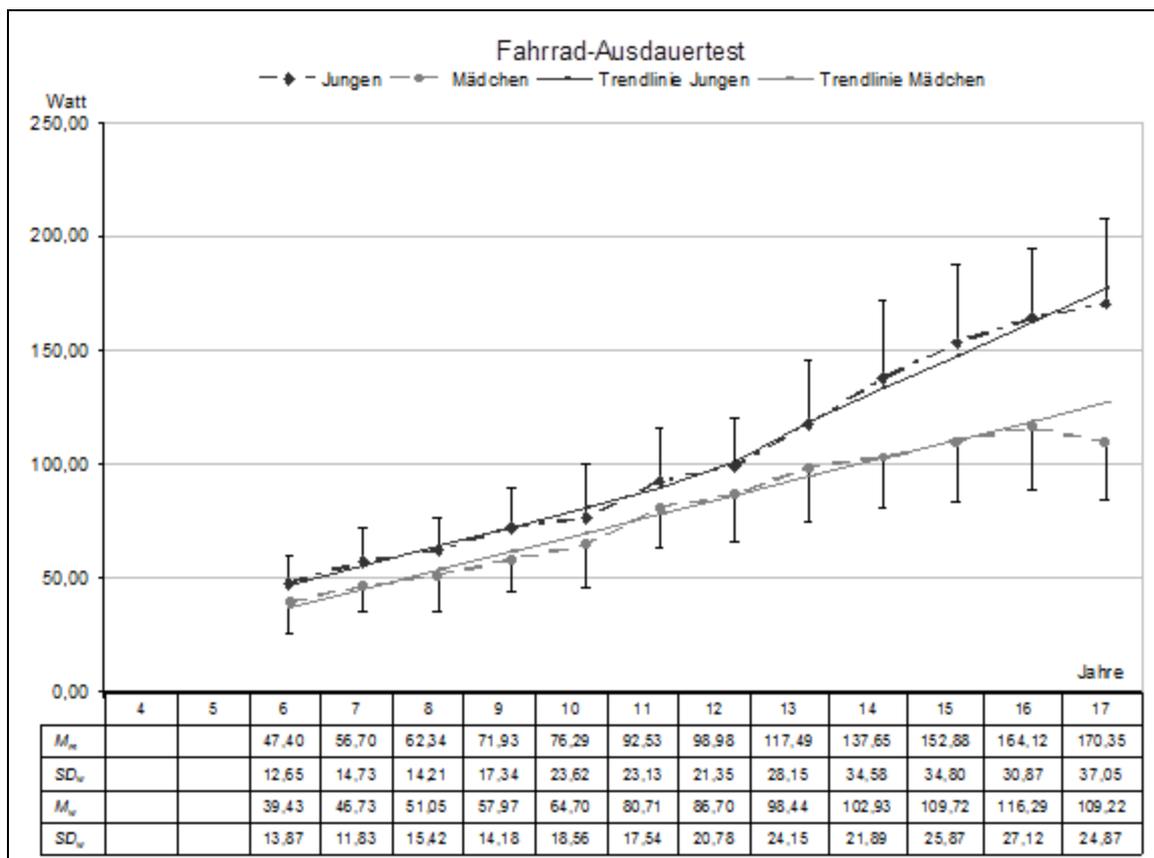


Abbildung 6 Geschlechtsspezifischer Verlauf der Ausdauerleistungsfähigkeit

Die mittlere aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit steigt bei beiden Geschlechtern zunächst fast linear an. Mit Eintritt in die Pubertät wird eine beschleunigte Leistungsentwicklung bei den Jungen deutlich; die Mädchen zeigen dagegen zunächst konstante Leistungsfortschritte, stagnieren jedoch im späten Jugendalter. Quantitativ betrachtet steigt die mittlere aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit bei den Jungen zwischen dem 6. und 11. Lebensjahr von 47,40 Watt ($SD = 12,65$ Watt) auf 92,53 Watt ($SD = 23,13$ Watt; +55% relativ zur Bezugsgröße) an, bei den Mädchen

wird im gleichen Zeitraum eine Leistungssteigerung von 39,43 Watt ($SD = 13,87$ Watt) auf 80,71 Watt ($SD = 17,54$ Watt; + 57 %) deutlich. Während die Jungen ihre Testleistung bis zum Alter von 17 Jahren auf 170,35 Watt ($SD = 37,05$ Watt; + 78 %) steigern können, erzielen die 17-jährigen Mädchen eine mittlere Testleistung von 109,22 Watt ($SD = 24,87$ Watt; + 27 %). Jungen sind in allen Altersstufen leistungsfähiger als gleichaltrige Mädchen (Wagner, Worth, Schlenker & Bös, 2010).

Dementsprechend wird deutlich, dass die Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit bei Mädchen, insbesondere nach dem 12. Lebensjahr, im Vergleich zu den Jungen verringert abläuft.

Alfermann (2009, S. 259) geht davon aus, dass die vorhandenen Geschlechtsunterschiede auf drei verschiedene Ursachenklassen zurückzuführen sind. Diese tragen alleine oder in Kombination zu einer geschlechtstypischen Differenzierung der Motorik bei. Als erste Ursachenklasse werden biologische und genetische Faktoren genannt. Diese sind für den durchschnittlich größeren Längenwachstum sowie die größere Muskelmasse der Jungen ab der Pubertät verantwortlich. Ein weiterer wichtiger Aspekt sind Umwelteinflüsse. So ist bei beiden Geschlechtern ein Rückgang der sportlichen Aktivität ab der Pubertät zu erkennen. Bei den Mädchen ist dieser Effekt deutlich stärker als bei den Jungen. In diesem Zusammenhang sind auch die Sportart-Präferenz von Bedeutung, wobei die Männer eher die konditionellen und Krafftfähigkeiten und die Frauen eher Beweglichkeit und Koordination favorisieren. Als dritte Ursachenklasse werden Selbstkonstruktionsprozesse genannt. Damit ist gemeint, dass beide Geschlechter nicht nur passiv sondern auch aktiv ihre Entwicklung gestalten, indem sie beispielsweise ein Selbstkonzept als sportlich oder unsportlich entwickeln und dementsprechend Umwelthanregungen auswählen oder zurückweisen (vgl. Alfermann, 2009, S. 259 f.).

2.2.2.3 VO_2max bei Kindern und Jugendlichen

Die VO_2max gilt als Bruttokriterium für die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems und hat daher eine bedeutende Rolle in der Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit. Die absolute VO_2max wird in Litern pro Minute angegeben ($l \cdot min^{-1}$) und die relative VO_2max in ($ml/min/kg$) (s. auch Abschnitt 2.3). Neben der Zunahme an Körperlänge und Körpermasse ist die Entwicklung im Kindesalter auch gleichzeitig geprägt durch die einsetzende „Differenzierung und Reifung der

Organgewebe“ (de Marées, 2003, S. 488). Vor allem die Lebensphase des mittleren Kindesalters ist dahingehend charakterisiert. Durch die Vergrößerungen der Organe des Herz-Kreislauf-Systems sowie des Atmungsapparates, die proportional zum Körperwachstum erfolgen, kommt es zu einer Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂max). Dies hat zur Folge, dass sich auch die Ausdauerleistungsfähigkeit des Kindes im frühen Schulalter verbessert (de Marées, 2003).

In Bezug auf die absolute VO₂max zeigt sich für beide Geschlechter eine linkssteile Kurve: Einem schnellen Anstieg im Kindes- und Jugendalter und einer kurzen Plateauphase im frühen Erwachsenenalter folgt ein sukzessiver Rückgang der VO₂max. Im Kindesalter sind kaum Unterschiede zwischen den Geschlechtern festzustellen. Jedoch im Jugend- und frühen Erwachsenenalter liegen bei den männlichen Personen deutlich höhere Werte als bei den weiblichen Personen vor (vgl. Conzelmann & Blank, 2009, S. 169; vgl. Armstrong & Welsmann, 2001, S. 15).

Bei den 14-Jährigen liegt die geschlechtsspezifische VO₂max-Differenz bei 25 %, bei 16-Jährigen ist der Unterschied bereits größer als 50 % (vgl. Krahenbuhl, 1985, S. 512, zit. nach Portela, 1996, S. 36). Die Mädchen erreichen mit 15-16 Jahren ihre maximale Sauerstoffaufnahme, Jungen bzw. Männer mit 18-19 Jahren. Das Mädchen bereits früher ihre maximalen Sauerstoffaufnahmewerte erreichen, erklärt, wieso weibliche Ausdauerleistungssportler – im Gegensatz zu männlichen Ausdauerleistungssportlern – bereits im Jugendalter in der Lage sind Weltklasseleistungen zu erbringen. Bei großen internationalen Wettkämpfen, zeigt sich diese Tatsache an einer Reihe von weiblichen Medaillengewinnerinnen im Jugendalter (z.B. Franziska van Almsick, Silber über 4x100m Lagen und 200m Freistil mit 14 Jahren (Olympiade 1992); Katie Ledecky, Gold über 800m Freistil mit 15 Jahren (Olympiade 2012); Tirunesh Dibaba, Gold beim 5000m-Lauf mit 17 Jahren (WM 2003)). Vergleichbare Erfolge kommen bei jugendlichen männlichen Athleten im Ausdauerbereich praktisch nicht vor.

Portela (1996, S. 37), fasst die die Entwicklung der VO₂max bei Heranwachsenden in folgenden Punkten zusammen:

- Die älteren Jungen haben eine höhere Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit als Jüngere, und die Erwachsenen eine bessere als Jugendliche und Kinder.
- Die Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit der Mädchen ist kleiner als die der Jungen.

- Die Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit entwickelt sich ab dem 14. Lebensjahr bei Mädchen nur sehr schwer.
- Das Alter wäre für die Jungen ein entscheidender Prognosefaktor der Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit
- Die Leistungsfähigkeit bzw. Leistungskapazität der Personen mit größerer Körpergröße und schwererem Körpergewicht tendiert zu besseren Werten.

Die relative maximale Sauerstoffaufnahme wird in Milliliter pro Kilogramm und Minute ($\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$) angegeben. Die relative VO_2max bezieht sich auf das Ausdauerleistungsvermögen und hat sich in den meisten Sportarten im Vergleich zur absoluten VO_2max durchgesetzt (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 298). Wird die maximale Sauerstoffaufnahme auf das Körpergewicht bezogen, so entfällt die altersbedingte VO_2max -Differenz im Kindes- und Jugendalter, die relative VO_2max bleibt damit relativ konstant. Der Grund hierfür ist, dass die maximale Sauerstoffaufnahme entscheidend vom Körpergewicht abhängt.

Tab. 5 Absolute und relative Normwerte der maximalen Sauerstoffaufnahme (Mocellin & Gildein, 1995, S. 294)

Alter Jahre	Jungen		Mädchen	
	VO ₂ max	VO ₂ max / KG	VO ₂ max	VO ₂ max / KG
6,5	1,04	45	0,93	42
7,5	1,17	45	1,03	41
8,5	1,29	45	1,14	41
9,5	1,41	45	1,24	41
10,5	1,53	45	1,35	40
11,5	1,65	45	1,47	39
12,5	1,81	45	1,62	38
13,5	2,05	45	1,73	37
14,5	2,32	45	1,80	36
15,5	2,55	45	1,86	36
16,5	2,71	45	1,87	35
17,5	2,81	45	1,87	35

Bei den Jungen liegt die durchschnittliche relative VO₂max bei ungefähr 50 ml/kg·min⁻¹. Bei den Mädchen ist der Ausgangswert in etwa gleich oder etwas geringer. Im Alter von 8 bis 13 Jahren ist bei den Mädchen ein Rückgang von ca. 20 % festzustellen (s. Tabelle 5) (vgl. Rowland, 2001, S. 201). Ein möglicher Grund für diese Abnahme der relativen VO₂max ist die vermehrte Zunahme von Fettgewebe in der Pubertät (vgl. u.a. Bar Or, 1983).

Die Normdaten von Mocellin & Gildein (1995) zeigen bei den Mädchen im Vergleich zu den Jungen in allen Altersklassen eine kleinere relative VO₂max. Bei 8-Jährigen wurde eine Differenz von 8,9 % und bei den 16-Jährigen ein Unterschied von 22 % registriert (s. Tabelle 5).

Für die relative VO₂max lassen sich bezüglich der Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter folgende 3 Punkte ableiten (Portela, 1996, S. 40):

- Die Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit der Mädchen nimmt während der Pubertät ab.

- Der Unterschied der Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit zwischen Jungen und Mädchen vergrößert sich ab der Pubertät bis zum Erwachsenenalter.
- Jüngere Kinder haben eine größere Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit als Erwachsene oder zumindest die gleiche.

Die relative VO_2max bei Erwachsenen liegt bei Männern im Bereich von 40-55 $\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ und bei Frauen zwischen 32-38 $\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 321). Bei hochausdauertrainierten Sportlerinnen und Sportlern können die Werte auf 80-90 $\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ (Männer) bzw. 60-70 $\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ (Frauen) ansteigen (vgl. Hohmann et al., 2014, S. 58; Weineck, 2010, S. 177 f.).

Tab. 6 Übersicht von absoluten $VO_2\max$ Werten von Kindern und Jugendlichen aus Längsschnittstudien (aus Armstrong & Welsman, 2007, S. 12)

Studie	Land	Alter	N	$VO_2\max$ (l/min)
Jungen				
Mirwald and Bailey	Kanada	8	75	1.42 (0.21)
		9	75	1.60 (0.20)
		10	75	1.77 (0.22)
		11	75	1.93 (0.25)
		12	75	2.12 (0.29)
		13	75	2.35 (0.38)
		14	75	2.66 (0.46)
		15	75	2.98 (0.48)
		16	75	3.22 (0.45)
Sprynarova et al.	Tschechoslowakei	11	90	1.74 (0.23)
		12	90	2.02 (0.31)
		13	90	2.20 (0.35)
		14	90	2.76 (0.45)
		15	90	3.24 (0.47)
		16	39	3.38 (0.47)
		17	39	3.38 (0.48)
		18	39	3.53 (0.48)
Amsterdam Growth and Health Study	Niederlande	13	83	2.66 (0.39)
(Van Mechelen, pers. commun., in Armstrong and Welsman)		14	80	3.07 (0.48)
		15	84	3.37 (0.43)
		16	79	3.68 (0.52)
Armstrong and Welsman	England	11,2	71	1.80 (0.25)
		12,1	71	2.15 (0.34)
		13,1	71	2.45 (0.47)
		17.0	37	3.55 (0.55)
Mädchen				
Mirwald and Bailey	Kanada	8	22	1.27 (0.14)
		9	22	1.39 (0.15)
		10	22	1.53 (0.20)
		11	22	1.72 (0.28)
		12	22	1.97 (0.36)
		13	22	2.20 (0.39)
Amsterdam Growth and Health Study	Niederlande	14	97	2.45 (0.31)
(Van Mechelen, pers. commun., in Armstrong and Welsman)		15	97	2.60 (0.35)
		16	96	2.58 (0.34)
		17	96	2.65 (0.33)
Armstrong and Welsman	England	11.2	61	1.63 (0.28)
		12.2	41	1.93 (0.28)
		13.1	41	2.14 (0.28)
		17.0	26	2.39 (0.40)

2.2.2.4 Verbesserung der $VO_2\text{max}$ durch Training bei Kindern und Jugendlichen

Hinsichtlich der trainingsbedingten Steigerung der $VO_2\text{max}$ gibt es Hinweise darauf, dass vor dem 10. Lebensjahr keine Verbesserungen bzw. lediglich geringe Steigerungen möglich sind. Demgegenüber stehen jedoch deutliche Leistungssteigerungen bei Lauftests wie beispielsweise dem 800-Meter-Lauf oder 6-Minuten-Lauf. Das lässt sich damit erklären, dass auf bestimmte Belastungen funktionelle Anpassungen erfolgen, die vor allem die Laufökonomie bzw. die Lauftechnik betreffen und eine Leistungsverbesserung hervorrufen, obwohl keine morphologischen Anpassungen stattfinden (vgl. Pahlke & Peters, 1973, zit. nach Joch, 1983, S. 15). Das Ausdauervermögen wird demnach sowohl von physiologischen als auch von motorischen Bedingungs Voraussetzungen bestimmt (vgl. Joch, 1983, S. 15).

Baxter-Jones et al. (1993) untersuchten in einer 3-jährigen Längsschnittuntersuchung die Entwicklung der $VO_2\text{max}$ bei 453 trainierten und untrainierten Kindern und Jugendlichen zwischen 8 und 16 Jahren. Sowohl bei den Jungen als auch den Mädchen hatten die Trainierten in jedem Alter signifikant höhere $VO_2\text{max}$ -Werte, der Unterschied nimmt mit dem Alter zu. Das zeigt, dass die $VO_2\text{max}$ auch vor der Pubertät trainierbar ist.

Generell ist jedoch die Verbesserung der $VO_2\text{max}$ durch Training bei Kindern schlechter als bei Erwachsenen (Armstrong & Welsman, 2007).

2.2.3 Einflussfaktoren auf die Ausdauer bei Kindern und Jugendlichen

Die Bestimmung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit ist generell mit einigen Schwierigkeiten verbunden und vor allem bei Kindern durch viele, die Ausdauerleistungsfähigkeit beeinflussenden Faktoren, erschwert. Am Beispiel der maximalen Sauerstoffaufnahme lässt sich dieses Problem verdeutlichen. Neben den trainingsbedingten Veränderungen wird die Höhe der maximalen Sauerstoffaufnahme auch maßgeblich von konstitutionellen Merkmalen wie Körpergröße und vor allem Körpergewicht beeinflusst. Im angloamerikanischen Raum wurde versucht mit dem sogenannten „scaling“ konstitutionell Einflüsse rechnerisch zu eliminieren um die $VO_2\text{max}$ vergleichbar zu machen. Doch auch dieser Ansatz ist umstritten und es hat sich keine einheitliches Scaling-Verfahren durchgesetzt.

Im folgenden Kapitel werden verschiedenen Einflussfaktoren beschrieben, die speziell bei Kindern und Jugendlichen die Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit erschweren.

2.2.3.1 *Wachstum*

Mit zunehmendem Wachstum des Kindes entwickeln sich die ausdauerbestimmenden Faktoren weiter. Kinder weisen einen größeren Anteil an ST-Fasern (Typ-I-Fasern, langsam kontrahierende Muskelfasern) auf, so dass die relativ gute Ausdauerleistungsfähigkeit im aeroben Bereich bei Kindern unterstützt wird. „[...] 65 % bei 5-Jährigen vs. 50 % bei 20-Jährigen. Daher haben Kinder eine geringere glykolytische aber höhere oxidative Leistungsfähigkeit“ (Wahl, Sperlich & Mester, 2009, 11). Auch der geringere Muskelfaserdurchmesser bei Kindern fördert den oxidativen Stoffwechsel, da die zu transportierenden Stoffe kürzere Diffusionswege zurücklegen (Ebd., 2009). Das Herz-Kreislauf-System des heranwachsenden Organismus ist demnach nicht schonungsbedürftig (Martin, et al., 1999; Hollmann & Rost, 1982).

Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme lassen sich in der Regel gut durch Veränderung von Körperdimensionen, vor allem des Körpergewichts erklären. 70 bis 80 % der Unterschiede der aeroben Kapazität lassen sich durch das Körpergewicht erklären (vgl. Portela, 1996, S. 43; Hollmann & Strüder, 2009; S. 324).

Während des Wachstums ändern sich die Proportionen von Kopf, Rumpf und Extremitäten ständig, vor allem in der Pubertät, der Phase des größten Wachstumsschubs, kann es zu erheblichen Unterschieden in Körperform und damit auch sportlicher Leistung kommen. Vom 4. bis zum 11. Lebensjahr ist die absolute Zunahme des Gewichts und der Körpergröße nahezu gleich, es handelt sich um ein Längenwachstum von 5-7 cm und eine Zunahme von etwa 2,5 kg jährlich. Ab dem 10. Lebensjahr beginnt das Wachstumstempo wieder zuzunehmen und erreicht bei den Mädchen sein Maximum etwa um das 12. Lebensjahr, bei den Jungen um das 14. Lebensjahr (Bös et al., 2009a; de Marées, 2003, S. 488).

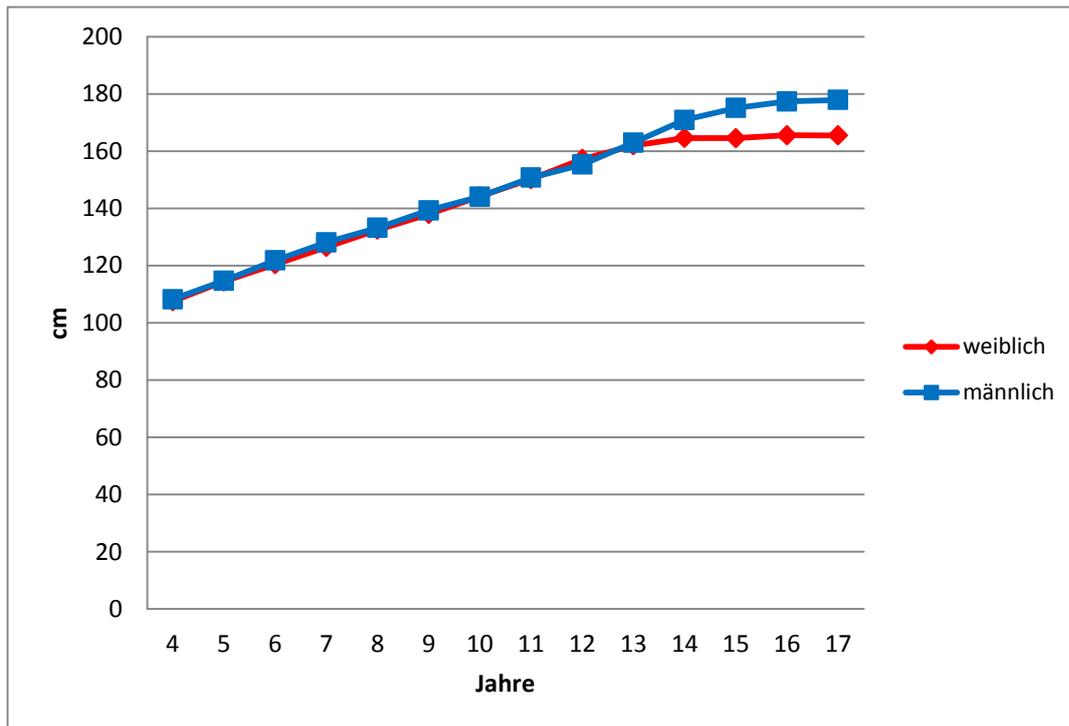


Abbildung 7 Körperlängenentwicklung bei Jungen und Mädchen (Daten aus dem Motorik-Modul, Bös, 2009a)

2.2.3.2 Akzeleration und Retardierung

Für die Beurteilung der sportlichen Leistungsfähigkeit spielt das biologische Alter ebenfalls eine wichtige Rolle, denn dieses gibt im Vergleich zum kalendarischen Alter (Geburtsdatum) das individuelle Entwicklungstempo an und spiegelt somit den tatsächlichen Reifungsgrad der Kinder und Jugendlichen wieder (Conzelmann & Blank, 2009).

Akzelериerte Sportler weisen eine Entwicklungsbeschleunigung und retardierte Sportler eine Entwicklungsverlangsamung auf. Frühentwickler besitzen demnach eine erhöhte sportliche Leistungsfähigkeit, sind kräftiger und psychisch stabiler als gleichaltrige Normal-/Spätentwickler. Diese individuellen Entwicklungstempi können dazu führen, dass 9-jährige Schüler gleiche Ausdauerleistungen aufweisen als 15-jährige Schüler (Meinel & Schnabel, 2007, S. 305). So besitzen akzelериerte Kinder aufgrund des größeren Körpergewichts und Körpergröße eine höhere Ausdauerleistungsfähigkeit als Retardierte. „Pro Kilogramm Körpergewicht erhöht sich die absolute maximale Sauerstoffaufnahme um 55,2ml/min pro Jahr“ (Daniels, Oldridge, Nagle & White, 1987, S. 201 zitiert nach Weineck, 2007, S. 348).

Durch die Vorteile, die akzelerierte Kinder gegenüber retardierten Kindern haben, gibt es seit langem die Diskussion, bei der Einteilung von Wettkampfklassen im Kinder- und Jugendbereich, nicht nur die Altersklassen als Zuordnungskriterium heranzuziehen, sondern zusätzlich Kenngrößen der Entwicklung, wie das biologische Alter zu berücksichtigen. Da es für die Bestimmung des biologischen Alters keine allgemein gültigen Kriterien gibt, scheint dieser Ansatz jedoch nicht praxistauglich (vgl. Martin et al., 1999, S. 50).

2.2.3.3 *Konstitution*

Der Einfluss konstitutioneller Merkmale, wie fettfreie Körpermaße, Körperlänge, Körpergewicht und Body Mass Index (BMI) auf die Ausdauerleistungsfähigkeit ist unstrittig.

So ist der negative Zusammenhang zwischen dem BMI und der Ausdauerleistungsfähigkeit vielfach belegt (u.a. Bös et al., 2009a; Tomkinson & Olds 2007; Wagner et al., 2010)

Der BMI ist jedoch in seiner Aussagekraft umstritten, da er lediglich das Verhältnis von Körpergröße und Körpergewicht berücksichtigt und die Qualität der Körpermasse keine Rolle spielt. Daher scheint ein Maß, wie die fettfreie Masse, die angibt, wie viel aktive Körpermasse vorhanden ist, ein geeigneteres konstitutionelles Merkmal zu sein. Abnehmende $VO_2\text{max}$ -Werte bei Mädchen werden oftmals der Tatsache zugeschrieben, dass Mädchen ab der Pubertät an Fettmasse zunehmen. Die $VO_2\text{max}$ deshalb auf die fettfreie Masse zu beziehen scheint daher vielversprechend um die geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Leistungsfähigkeit zu erklären. Studienergebnisse weisen jedoch uneinheitliche Ergebnisse aus. Während Ergebnisse von Andersen (1974), Davies (1972) und Bouchard (1986) weiterhin geschlechtsspezifische Unterschiede zugunsten negativer Werte bei Mädchen zeigten, verschwanden die geschlechtsspezifischen Unterschiede bei de Marées (1989), Betz (1993), Rost (1993), Armstrong (1991) und Hollmann (1986), was darauf hinweist, dass sich die aerobe Leistungsfähigkeit von Mädchen entweder gleich oder geringer darstellt (vgl. Andersen, 1974, Davies, 1972, Bouchard, 1986, de Marées, 1989, Betz, 1993, Rost, 1993, Armstrong, 1991, Hollmann, 1986, zit. nach Portela, 1996, S. 41 f). Erschwerend kommt hinzu, dass die zuverlässige Bestimmung der fettfreien Masse sehr aufwendig ist. Es existieren eine Reihe verschiedener

Messmethoden, deren Ergebnisse untereinander oft nicht vergleichbar sind. Dieses Problem könnte die uneinheitliche Studienlage erklären. Nichtsdestotrotz scheint gesichert, dass sich die geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Leistungsfähigkeit nicht allein auf den Anteil der fettfreien Körpermasse zurückführen lassen.

2.2.3.4 *Genetischer Faktor*

Der genetische Faktor kann als Talent für Ausdauersportarten interpretiert werden und spielt eine größere Rolle als noch früher angenommen. Die maximale Sauerstoffaufnahme wird von genetischen Anlagen (hauptsächlich vom angeborenen Muskelfasertyp, bestimmt. Die VO_2 max kann durch Training höchstens um 50 % gesteigert werden (Martin et al. 1999, S. 124)

Die biologische Variabilität wird dabei besonders im Maximalbereich deutlich. Nach de Marées (2003, S. 438) beträgt der Einfluss genetischer Komponenten auf die individuelle Leistungsfähigkeit 60-70 %.

2.2.3.5 *Motivation*

Vor dem Hintergrund der Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen durch motorische Tests, gilt die Motivation bzw. Anstrengungsbereitschaft als schwer zu kontrollierende Störvariable. Koch et al. (2011) haben dieses im Rahmen des Projektes „Komm mit in das gesunde Boot“ untersucht. 294 Kinder absolvierten dabei den 6-Minuten-Lauf, dabei wurden sowohl anthropometrische Daten erfasst und Herzfrequenzwerte mittels zwei Elektroden an der Brust erhoben. Durch den erfassten Herzfrequenzverlauf während des 6-Minuten-Laufs konnte eine mittlere Herzfrequenz von über 90 % der maximalen HF aufgezeichnet werden. Diese Ergebnisse zeigen eine konstant hohe Anstrengungsbereitschaft der Kinder. Daher stellt der 6-Minuten-Lauf in dieser Hinsicht ein valides Testinstrument dar (vgl. Koch et al., 2011, S. 229).

2.2.4 Physiologische Faktoren der Ausdauer von Kindern und Jugendlichen

Neben der Zunahme an Körperlänge und Körpermasse ist die Entwicklung im Kindesalter auch gleichzeitig geprägt durch die einsetzende Differenzierung und Reifung der Organgewebe (de Marées, 2003, S. 488). Zentrale Systeme die als

Voraussetzung für Ausdauerleistungen gelten, sind das Herz- Kreislauf-System, die Muskulatur und das Atmungssystem. Diese Systeme sind abhängig von morphologischen Entwicklungen und unterscheiden sich zwischen Heranwachsenden und Erwachsenen. Die Entwicklung dieser Systeme zu kennen ermöglicht es Ergebnisse von physiologischen Untersuchungen besser interpretieren zu können.

2.2.4.1 Herz-Kreislauf-System

Die meisten Messgrößen, mit denen die Herzkreislaufleistung bestimmt werden kann (maximales Schlagvolumen, $VO_2\text{max}$, Herzgröße, aerobe Kapazität, anaerobe Kapazität) sind bei Kindern geringer ausgebildet als bei Erwachsenen, einzige Ausnahme ist die maximale Herzfrequenz, die mit zunehmendem Alter kontinuierlich abnimmt. (vgl. Osterburg, 2004, S. 151).

Die entwicklungsbedingte Zunahme der absoluten Werte der Herzgröße und das damit einhergehende größere Schlagvolumen führen zu einer kontinuierlichen Abnahme der Herzfrequenz über das Lebensalter. Querschnittstudien zeigen einen Abfall der Ruheherzfrequenz von etwa 85 S/Min vom 4. Lebensjahr zu 60 S/Min im 18. Lebensjahr (vgl. Armstrong et al., 2000, S. 256). Zu dem Rückgang der maximalen Herzfrequenz über die Lebensspanne gibt es die eine einfache Faustregel 220 S/Min – Lebensalter. Empirische Untersuchungen zeigten, dass das Geschlecht, Trainingszustand und Körpergewicht Einfluss auf die maximale Herzfrequenz hat. Sie gilt jedoch als nicht, oder kaum trainierbar und kann daher nicht zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit verwendet werden (Hohmann, et al., 2014, S. 58).

Herzfrequenzparameter zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit heranzuziehen, ist speziell bei Kindern umstritten. Da die Herzfrequenz im Alter unabhängig vom Trainingszustand abnimmt, können vor allem bei Kindern wachstumsbedingte Effekte nur schwer von trainingsbedingten unterschieden werden (vgl. Portela, 1996, S. 24).

Die Herzgröße gilt als Prädiktor für die Ausdauerleistungsfähigkeit. In jedem Lebensalter entspricht die durchschnittliche Herzgröße in etwa der geballten Faust. Im Alter von sieben Jahren beträgt die absolute Herzmasse ca. 100g. Die altersabhängigen starken Unterschiede relativieren sich bei Bezug auf das

Körpergewicht, die relative Herzgröße beträgt bei untrainierten Kindern ca. 12ml/kg, bei ausdauertrainierten Kindern 15-18 ml/kg. Bei Erwachsenen zeigen sich vergleichbare Werte für die relative Herzgröße. (vgl. de Marées, 2003, S. 504).

Das kindliche kardiovaskuläre System reagiert auf aerobe Ausdauerbelastungen wie das eines Erwachsenen, die Herzgröße und $VO_2\text{max}$ nimmt zu und die Ruheherzfrequenz nimmt ab. Die Anpassungserscheinungen erfolgen sogar schneller als bei Erwachsenen (Rowland, 1993, S. 369). Die These der Nichtvollwertigkeit des Kinderherzens gilt mittlerweile als überholt.

2.2.4.2 *Atmungssystem*

Das Atmungssystem ist verantwortlich für die Sauerstoffversorgung des Organismus. Die Lunge ist das zentrale Organ des Atmungssystems und dessen Leistungsfähigkeit kann über die Messparameter Vitalkapazität, Atemäquivalent und Atemminutenvolumen gemessen werden.

Die Vitalkapazität bezeichnet das Volumen, das nach maximaler Einatmung maximal ausgeatmet werden kann (de Marées, 2003, S. 224). Sie erhöht sich mit zunehmendem Alter. Die Vitalkapazität ist die älteste Größe der Lungenfunktionsdiagnostik, jedoch wird ihre Aussagekraft oft überschätzt. Die Vitalkapazität ist eng mit Körpergröße, Alter und Geschlecht verbunden, obwohl oftmals eine Korrelation zwischen Vitalkapazität und $VO_2\text{max}$ besteht, ist die Variation der Vitalkapazität bei gleicher Sauerstoffaufnahme häufig enorm (Hollmann & Strüder, 2009, S. 374).

Das Atemäquivalent gilt als Maß für die Atmungseffizienz. Das Atemäquivalent ist definiert als Quotient zur Erfassung der Luftmenge (in Litern), die ventiliert werden muss, um 1 Liter Sauerstoff aufzunehmen. Sie gilt als Maß der Ökonomie der Atmung (de Marées, 2003, S. 241). Ein kleines Atemäquivalent entspricht einer ökonomischen Atmung, denn zur Aufnahme von einem Liter Sauerstoff wird entsprechend wenig Atemminutenvolumen benötigt, d.h., die „Ausschöpfung“ der eingeatmeten Sauerstoffmenge ist groß (ebd., S. 241). Kinder weisen bei submaximaler und maximaler Belastung höhere Atemäquivalentwerte auf als Erwachsene. Daraus ergibt sich, dass Kinder unter Belastung ineffizienter atmen, da sie pro Liter aufgenommenem Sauerstoff mehr atmen müssen. Die Werte von Kindern für das Atemäquivalent betragen 30 bis 40:1, das bedeutet, Kinder müssen 30 bis 40 Liter für jeden Liter aufgenommenen Sauerstoff ventilieren (vgl. Portela, 1996, S. 17). Die

pulmonalen Größen sind sehr stark von der Körperkonstitution abhängig. Anhand der momentanen Erkenntnisse kann davon ausgegangen werden, dass die aerobe Leistungsfähigkeit bei Gesunden nicht durch die pulmonalen Größen limitiert ist, die Ventilation stellt keine Begrenzung für die maximale Sauerstoffaufnahme dar und ist daher kein valider Parameter für die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit (vgl. Portela, 1996, S. 17 f.).

Das Atemminutenvolumen setzt sich aus Atemfrequenz (AF) und Atemzugvolumen (V_T) zusammen. Bei körperlicher Arbeit nimmt zunächst das Atemminutenvolumen zu, wenige Sekunden später auch die Atemfrequenz. Im Grenzbereich der körperlichen Leistungsfähigkeit geht das Atemzugvolumen wieder zurück, zugunsten einer nochmaligen Steigerung der Atemfrequenz (Hollman et al., 2006, S. 92).

Im Laufe der Kindheit vergrößert sich mit Zunahme von Körpergröße und Körpergewicht auch die pulmonale Leistungsfähigkeit. Im Vergleich zu Jugendlichen und Erwachsenen zeigen Kinder in Ruhe und bei Belastung eine höhere Atemfrequenz und ein höheres Atemzugvolumen. Durch eine erhöhte Atemfrequenz kompensieren Kinder ihre geringere Atemtiefe. Die Atemfrequenz reduziert sich pro Lebensjahr um durchschnittlich 3 Atemzüge pro Minute. Jugendliche im Alter von 15 Jahren besitzen eine Atemfrequenz von 45 bis 50 pro Minute. Das Atemminutenvolumen ist das Produkt aus Atemzugvolumen und Atemfrequenz (de Marées, 2003, S. 225). Es ist für die Sauerstoffversorgung des Körpers und die Eliminierung von Kohlendioxid zuständig. Das Atemminutenvolumen fällt als Folge eines verbesserten Ausdauertrainingszustandes auf gegebenen submaximalen Belastungsstufen geringer aus (Hollmann & Strüder, 2009, S. 374). Die absoluten Werte der Ventilation (Atemminutenvolumen) sind bei Kindern geringer als bei Erwachsenen, und ab der Pubertät bei Mädchen geringer als bei Jungen (ebd., 2009, S. 505). Allerdings relativiert sich dies, wenn die Werte in Beziehung zu Kilogramm Körpergewicht gesetzt werden. Dadurch ergeben sich nur geringe Unterschiede beim Atemminutenvolumen von Kindern und Erwachsenen, Kinder weisen unter submaximalen Belastungen höhere Werte auf als Erwachsene. Diese erhöhten Werte ergeben sich durch die gesteigerte Atemfrequenz bei Belastung. Im Jugendalter verliert die gesteigerte Atemfrequenz zugunsten der Steigerung der Atemtiefe an Bedeutung. Anhand der beobachteten erhöhten Werte von Kindern wurden auf eine verminderte aerobe Leistungsfähigkeit von Kindern geschlossen. Allerdings stellte

sich heraus, dass die Ventilation alleine keinen Aufschluss über die Atmungsfähigkeit liefert. So zeigte sich das Verhältnis von Atemvolumen und Totraumvolumen bei Kind und Erwachsenen identisch. Da der Totraum die Diffusion beeinflusst und heute angenommen wird, dass die Qualität des Gasaustausches nicht durch das Atemminutenvolumen, sondern durch die alveoläre Ventilation bestimmt ist, scheint das Atmungssystem des Kindes durchaus einen adäquaten Gasaustausch zu ermöglichen. Der Nachteil des zu hohen Atemminutenvolumens scheint der höhere Bedarf an Sauerstoff für die Atemmuskulatur zu sein (BarOr, 1979, zit. nach Portela, 1996, S. 16).

2.2.4.3 *Muskulatur*

Bis zum Eintritt der Pubertät unterscheidet sich die Muskelmasse bei Jungen und Mädchen kaum, sie beträgt ungefähr 27 % der gesamten Körpermasse. Mit Beginn der Pubertät, hauptsächlich durch die hormonellen Veränderungen bedingt, kommt es zu ausgeprägten geschlechtsspezifischen Unterschieden. Bei den Jungen steigt der Muskelanteil auf 41,8 %, bei den Mädchen auf 35,8 %. Bei Betrachtung der Muskelfaserzusammensetzung fällt auf, dass Kinder einen größeren Anteil an ST-Fasern (langsam kontrahierende Typ-1-Fasern) aufweisen, so dass die relativ gute Ausdauerleistungsfähigkeit im aeroben Bereich bei Kindern unterstützt wird. 5-Jährige besitzen 65 % ST-Fasern im Vergleich zu ca. 50 % St-Fasern bei 20-Jährigen. Daher haben Kinder eine geringere glykolytische aber höhere oxidative Leistungsfähigkeit (Wahl, Sperlich & Mester, 2009, S. 11). Auch der geringere Muskelfaserdurchmesser bei Kindern fördert den oxidativen Stoffwechsel, da die zu transportierenden Stoffe kürzere Diffusionswege zurücklegen.

2.2.4.4 *Zusammenfassung*

Die Ausbildung der einzelnen Bausteine der an der Ausdauer beteiligten Systeme sowie deren Funktionalität sind bei Kindern teilweise unterschiedlich ausgeprägt als bei Erwachsenen. Sie sind durchaus leistungsfähig, arbeiten aber meist noch nicht ganz so ökonomisch. Das Verständnis der Funktionalität der einzelnen Bausteine ermöglicht es, Belastungsuntersuchungen adäquat zu interpretieren und die richtigen Schlüsse zu ziehen (vgl. Portela, 1996, S. 35).

Mit Ausnahme der maximalen Herzfrequenz, sind alle Messgrößen des Herz-Kreislauf-Systems (z.B. max. Schlagvolumen, Herzgröße) bei Kindern geringer ausgebildet als bei Erwachsenen. Das liegt unter anderem daran, dass diese Messparameter hoch korrelieren mit konstitutionellen Merkmalen wie Körpergröße und Körpergewicht. Die Herzgröße entspricht in jedem Alter in etwa der geballten Faust. Die Anpassungsreaktionen des Herz-Kreislauf-Systems auf Ausdauerbelastungen sind bei Heranwachsenden vergleichbar zu den Anpassungsreaktionen bei Erwachsenen.

Die absolute Leistungsfähigkeit des Atmungssystems, gemessen über die Vitalkapazität und das Atemminutenvolumen, ist bei Kindern und Jugendlichen geringer als bei Erwachsenen. Relativiert zum Körpergewicht nivellieren sich diese Unterschiede. Die Atemeffizienz ist bei Kindern geringer als bei Erwachsenen, das bedeutet, Kinder müssen pro Liter aufgenommenen Sauerstoff eine größere Menge Luft ventilieren.

Der Anteil der Muskulatur ist bei Kindern deutlich geringer als bei Erwachsenen, jedoch besitzen Kinder einen höheren Anteil an ST-Fasern.

Der Vorteil der $VO_2\text{max}$ zur Beurteilung der Ausdauer ist, dass sie alle der oben beschriebenen beteiligten Systeme des Sauerstoffverbrauchsmechanismus in einem Wert zusammenfasst. Wenn jedoch so viele Einflussfaktoren in einem Wert zusammengefasst werden, gehen zwangsläufig viele Informationen verloren. Ein so komplexes Konstrukt, wie die Ausdauerleistungsfähigkeit kann mit einem Wert nicht hinreichend genau beschrieben werden.

2.2.5 Ausdauertraining im Kindes- und Jugendalter

Zur programmatischen Ausgestaltung des Ausdauertrainings lässt sich feststellen, dass lange Zeit ein reines aerobes Training propagiert wurde und vor den Gefahren von intensiven anaeroben Reizen gewarnt wurde. Diese Gefahren gelten jedoch mittlerweile als weniger gravierend und auch kurze, intensive und damit anaerobe Trainingsbelastungen haben bei Kindern und Jugendlichen ihre Berechtigung.

Es ist unstrittig, dass bei Heranwachsenden die Trainierbarkeit der Ausdauerleistungsfähigkeit unter aerober Energiebereitstellung ohne Einschränkungen

gegeben ist (Martin et al., 1999). Weineck (2010) formuliert für das Ausdauertraining mit Kindern und Jugendlichen folgende Grundsätze. Erstens, das Ausdauertraining im Kindes- und Jugendalter hat einen Schwerpunkt auf der Bildung von Grundlagenausdauer und eine Verbesserung der aeroben Kapazität. Zweitens, sollten Läufe zwischen 600 bis 1200m vermieden werden, da sie zu starke anaerobe Anteile haben, besser sind Minutenläufe mit Soll- anstatt Mussanforderungen. Drittens, sollte das Ausdauertraining sich eher an größeren Umfängen orientieren, nicht an größeren Intensitäten. Und viertens, sollte das Ausdauertraining mit seinen Methoden und Inhalten abwechslungsreich, kurzweilig und angepasst sein an das Alter der Teilnehmer.

Hohe Intensitäten im Ausdauertraining und damit ein verstärktes anaerobes Ausdauertraining im Kindesalter zu vermeiden, scheint nicht mehr uneingeschränkt gültig zu sein. Die eingeschränkte Trainierbarkeit der anaeroben Ausdauer wird häufig mit der verminderten Laktattoleranz von Kindern begründet.

Aktuelle Erkenntnisse propagieren jedoch ebenso intensive Trainingsmethoden, da diese dem kindlichen Bewegungsmuster entsprechen und Kinder durchaus anaerobe Kapazitäten besitzen. Zudem bedeutet eine geringer ausgeprägte anaerobe Leistungsfähigkeit nicht automatisch auch eine geringere anaerobe Belastbarkeit. Es könnte auch argumentiert werden, dass durch die geringeren maximalen Laktatwerte die anaerobe Überlastungsgefahr bei Kindern und Jugendlichen geringer ausfällt. Es gibt keine Hinweise auf eine reduzierte anaerobe Belastbarkeit, daher ist „...davon auszugehen, dass sich der Stoffwechsel von Kindern und Jugendlichen unter höherer Azidosebelastung ebenso ausbremst (z.B. durch Enzymhemmung), wie dies bei Erwachsenen der Fall ist.“ (Hartmann et al., 2010, S. 140).

Fürsprecher für ein anaerobes Ausdauertraining finden sich zunehmend in der aktuellen Literatur (u.a. Hottenrott & Gronwald, 2009; Hartmann et al, 2010; Kappenstein & Ferrauti, 2015). Wichtig ist, dass die Trainingsmethoden kindgerecht sind.

Bei der Trainingsgestaltung ist es sinnvoll das Training auf mehrere Einheiten pro Woche zu verteilen. Mehrere kurze Trainingsreize sind wirksamer als ein langer Trainingsreiz pro Woche. Regelmäßigkeit und Kontinuität sind wesentlich für eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Hohe Trainingsumfänge werden zwar von Kindern toleriert, sie stehen aber nicht im Zusammenhang mit Spitzenleistungen

im Erwachsenenalter. Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist nicht auf Dauer speicherbar und sollte daher nur soweit ausgeprägt werden, wie es aktuell sinnvoll ist. Zudem prägen lange Ausdauerbelastungen einen Bewegungstereotyp aus. Daher ist es trainingsmethodisch und pädagogisch wenig sinnvoll Kindern und Jugendlichen extreme Langzeitausdauerbelastungen abzufordern (Hottenrott, 2010, S. 178).

Intervallförmige Trainingsmethoden sind daher zu bevorzugen. Auf kurze, intensive Reize (bis zu 15 Sekunden) sollten jedoch Phasen mit geringer oder mäßiger Aktivität folgen. Diese Intervalle scheinen einen wichtigen Einfluss auf die kardiovaskulären und metabolischen Anpassungen der Kinder zu haben. (Zahner et al., 2005). Hinzu kommt, dass Kinder über eine gute Erholungsfähigkeit bei kurzzeitigen intensiven Belastungen verfügen. Das liegt unter anderem an der geringeren Muskelmasse und der damit verbundenen kürzeren Diffusionswege der zu transportierenden Stoffe (Falk & Dotan 2006, S. 111).

Der Einsatz von Musik und Zusatzgeräten kann speziell bei Jugendlichen eine motivierende Wirkung haben. Auch ein Ausdauertraining in veränderter Umgebung (im Wasser, auf Eis oder Schnee usw.) bringt Abwechslung und Spaß. Ausdauertraining in Gruppen, mit- oder gegeneinander, fördert die soziale Kompetenz (Zahner et al., 2005).

Generell sollte das Ausdauertraining altersgerecht sein. Das bedeutet abwechslungsreich, vielseitig und spaßorientiert. Ziel sollte sein, dass die Heranwachsenden Freude an ausdauernden Bewegungsformen entwickeln. Ein gut dosiertes Ausdauertraining im Kindesalter ist zum einen eine hervorragende Grundlage von spezifischem Leistungstraining im Erwachsenenalter, zum anderen ein wirksamer Schutzfaktor für die Gesundheit.

2.2.6 Zusammenfassung Ausdauer von Kindern und Jugendlichen

Aus leistungsphysiologischer Sicht besitzen Kinder und Jugendliche eine hohe Ausdauerleistungsfähigkeit und gute Trainierbarkeit der aeroben Energiebereitstellung. In allen Abschnitten des Schulkindalters und der Pubertät sind Anpassungsprozesse ausdauerbestimmender organisch-energetischer Systeme gegeben (Martin et al., 1999, S. 54). Eine früher weit verbreitete Meinung, dass ein Kinderherz nicht „vollwertig“ ist, gilt heute als überholt (Weineck, 2010, S. 345). Aus

physiologischer Sicht sind Kinder sogar ermüdungswiderstandsfähiger als Erwachsene, da sie weniger Muskelmasse besitzen und weniger Typ-II-Fasern aktivieren können und daher nicht in der Lage sind ihre physiologischen Reserven in gleichem Maße auszuschöpfen wie Erwachsene (Ratel, Duche & Williams, 2006, S. 1058).

Ausdauertraining zeigt bei Heranwachsenden prinzipiell die gleichen Anpassungserscheinungen wie bei Erwachsenen. (u.a. Malina 2004; Hollmann & Strüder, 2009; Conzelmann, 2009). Die trainingsbedingten Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme sind jedoch vor allem bei Kindern deutlich geringer als bei Erwachsenen. Erwachsene können durch adäquates Training ihre $VO_2\text{max}$ um durchschnittlich 20 % steigern, bei Kindern verbessert sich die $VO_2\text{max}$ im Mittel nur um 5 bis 6 % durch Ausdauertraining (Rowland, 2005). Die trainingsbedingten Verbesserungen der Ausdauerleistung sind daher oft auf eine Verbesserung der Technik und eine Ökonomisierung des Bewegungsablaufes zurückzuführen.

Die Regenerationsfähigkeit nach Belastungen ist bei Kindern teilweise besser als bei Erwachsenen. Dies liegt unter anderem an der geringeren Muskelmasse und den damit verbundenen kürzeren Diffusionswegen der zu transportierenden Stoffe. Dadurch sind Kinder in der Lage, nach kurzen intensiven Belastungen schneller zu regenerieren als Erwachsene (Falk & Dotan 2006, S. 111).

Die anaerobe Leistungsfähigkeit ist bei Heranwachsenden eingeschränkt. Die Fähigkeit der Muskulatur des Kindes zur anaeroben Energiebereitstellung ist deutlich geringer ausgebildet als bei Erwachsenen und die Azidosetoleranz ist bei Kindern weniger ausgeprägt. Die Laktattoleranz nimmt mit dem Alter zu (Martin et al., 1999, S. 137; de Marées, 2003, S. 510)

Generell wird die Leistungsfähigkeit durch den wachstumsbedingten hohen Ruheenergieumsatz gemindert (de Marées, 2003). Für eine aussagekräftige Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit müssen bei Heranwachsenden immer das Alter, das Geschlecht, der Reifezustand sowie die Konstitution berücksichtigt werden (Armstrong & Welsman, 2007, S. 23).

3 Forschungsstand

3.1 Ausdauerdiagnostik

Die Ausdauerleistungsdiagnostik ist seit Jahrzehnten ein wichtiger Gegenstand der Forschung in Sportmedizin und Sportwissenschaft. Im Laufe der Zeit haben sich zahlreiche Test- und Untersuchungsverfahren entwickelt. Sie dienen sowohl eine groben Abschätzung der Ausdauer, als auch einer gezielten individuellen Diagnostik der Leistungsfähigkeit (vgl. Bös 2001, S. 258). Ziel der Ausdauerleistungsdiagnostik ist es den aktuellen Leistungsstand einer Person zu beurteilen, um anschließend das Training individuell, gezielt und effizient steuern zu können. In nahezu allen Anwendungsfeldern wie beispielsweise dem Gesundheits-, Breiten- und Leistungssport ist die Ausdauerleistungsdiagnostik ein sinnvolles und oft verwendetes Element der Trainingssteuerung.

Die Ausdauerleistungsfähigkeit lässt sich über verschiedene Parameter erfassen. In der physiologischen Ausdauerleistungsdiagnostik hat sich neben der Laktat- und Hämoglobinwertbestimmung international vor allem die Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂max) als klassische Standardmessgröße zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit durchgesetzt. Wird die Ausdauer über sportmotorische Tests erfasst, wird die Ausdauer in der Regel über die erbrachte Leistung (Geschwindigkeit, Strecke, Watt) bewertet.

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die Ausdauerdiagnostik gegeben, indem zuerst ein Überblick zu Ausdauer-testverfahren gegeben wird, anschließend sportmedizinische und sportmotorische Ausdauer-testverfahren genauer vorgestellt werden. Abschließend wird auf die drei Testverfahren 6-Minuten-Lauf, Shuttle Run und die Physical Work Capacity 170 (PWC₁₇₀) detailliert eingegangen, da diese Verfahren im empirischen Teil der Arbeit überprüft werden.

3.1.1 Systematisierung von Ausdauer-testverfahren

In Bezug auf die Systematisierung können Testverfahren in dosierte/undosierte Verfahren, sportartspezifische/sportartunspezifische sowie Labortests/Feldtests eingeteilt werden (vgl. de Marées, 2003, S. 442). Andere Autoren unterscheiden in direkte und indirekte Verfahren (vgl. Bös, 2001, S. 258). In dieser Arbeit wird im ersten Schritt in sportmotorische Testverfahren und apparative bzw. sportmedizinische Testverfahren unterschieden.

Mit sportmotorischen Tests werden Untersuchungen bezeichnet, die außerhalb des Labors stattfinden und unter Trainings- bzw. Wettkampfbedingungen durchgeführt werden. Ein großer Vorteil der sportmotorischen Tests ist, dass sportartspezifisch belastet werden kann (vgl. de Marées, 2003, S. 442). Über die Erfassung der motorischen Leistung wird auf die zugrunde liegende motorische Fähigkeit (z.B. Ausdauer) geschlossen. Jedoch wird die Spezifität oft auf Kosten der Standardisierung hergestellt. Die Messung der Ausdauerleistungsfähigkeit mittels motorischer Tests erfolgt daher nicht direkt. Anhand von maximalen bzw. submaximalen Belastungen erfolgt eine indirekte Abschätzung bzw. Bestimmung der Sauerstoffaufnahmekapazität und somit der Ausdauerleistungsfähigkeit (vgl. Bös, 2001, S. 258).

Bei apparativen Verfahren hingegen werden die Parameter meist unter streng standardisierten Bedingungen im Labor erhoben. Allerdings ist die direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse aufgrund der fehlenden Spezifität der Tests häufig nicht gegeben (Bsp.: Ein Laufband-Test ist für einen Radrennfahrer nicht spezifisch genug). Heutzutage ist es möglich, eine Atemgasanalyse zur Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme mit portablen Messsystemen im Feld, beispielsweise in einem Sportspiel, vorzunehmen. Bei den apparativen Verfahren wird z.B. die maximale Sauerstoffaufnahme unter maximaler Ausbelastung direkt bestimmt (vgl. Bös, 2001, S. 258). Es wird die organismische Reaktionen auf die motorische Belastung gemessen (vgl. Conzelmann & Blank, 2009, S. 168). Tabelle 7 zeigt einen Überblick von publizierten Ausdauer-testverfahren.

Tab. 7 Messverfahren zur Erfassung der aeroben Ausdauer (Bös & Banzer, 2006, S. 251)

	Belastungs- art	Feldtests		Labortests	
		stufenförmig/ maximal	gleichförmig/ submaximal	stufenförmig/ maximal	gleichförmig/ submaximal
	Fahrrad	telemetrische Spirometrie (G, HF, AP, LP)		Fahrrad-Spiroergometrie (W/kg, HF, RR, EKG, AP, LP)	
direkte Bestimmung	Laufen/ Gehen	telemetrische Spirometrie (G, HF, AP, LP)		Laufband-Spiroergometrie (G, HF, RR, AP, LP)	
	Treppe/ Stufe	telemetrische Spirometrie (TF, HF, AP, LP)			
	sonstige Ergometer			Arm-Spiroergometrie (W/kg, HF, RR, EKG, AP, LP)	
	Fahrrad	Feldstufentest (G, HF, LP)		Stufentest/Belastungs-EKG (W/kg, HF, EKG, RR, LP)	Astrand-Rhyming-Test ¹⁰⁾ (HF); PWC _{130,150,170} ¹¹⁾ (W/kg bei HF)
indirekte Bestimmung	Laufen/ Gehen	Feldstufen/Zweistreckentest ¹⁾ (G, HF, LP) Shuttle Run ²⁾ (Strecke) Conconi-Test ³⁾ (G, HF)	6-Min-Lauf ⁴⁾ Cooper-Test ⁵⁾ (gelaufene Strecke); Walking-Test ⁶⁾ (Laufzeit, HF)	Stufentest, z.B. Bruce ⁸⁾ - oder Balke ⁹⁾ - Protokoll (G, HF, LP)	Single-Stage-Submaximal Laufband-Test ¹²⁾ (HF)
	Treppe/ Stufe		Harvard-Step-Test ⁷⁾ (Zeit, EHF)		Queens-College Step-Test ¹³⁾ (Zeit, EHF)
	sonstige Ergometer				Kletterstufen-Test ¹⁴⁾ (HF, EKG)

(G: Geschwindigkeit, W/kg: Watt pro kg Körpergewicht, TF: Trittfrequenz, HF: Herzfrequenz, EHF: Erholungsherzfrequenz; RR: Blutdruck, EKG: Elektrokardiographie, AP: Atemparameter, LP: Laborparameter)
¹⁾ Szögy, 1987; ²⁾ Léger, Mercier, Gadoury & Lambert, 1988 ³⁾ Conconi, Ferrari, Ziglio, Droghetti & Codeca, 1982;
⁴⁾ Bös & Wohlmann, 1987; ⁵⁾ Cooper, 1977; ⁶⁾ UKK, 1987; ⁷⁾ Brouha, Graybiel & Heath, 1943; ⁸⁾ Bruce, Kusumi & Hosmer, 1973; ⁹⁾ Balke & Ware, 1959; ¹⁰⁾ Astrand & Rhyming, 1954; ¹¹⁾ Wahlund, 1948; ¹²⁾ Ebbeling, Ward, Puleo, Widrick & Rippe, 1991; ¹³⁾ McArdle, Katch, Pechar, Jacobson & Ruck, 1972; ¹⁴⁾ Kaltenbach, 1974;

3.1.2 Sportmedizinische Tests zur Beurteilung der Ausdauer

Anfangs dienten sportmedizinische Untersuchungen dazu, Erkrankungen die eine Gegenanzeige für eine sportliche Belastung darstellen oder die sportliche Leistungs-

fähigkeit beeinträchtigen zu erkennen. Es wurden hierfür insbesondere klinische Untersuchungsverfahren aus dem Bereich des (Lungen- und Herzkreislaufsystems) pulmokardiovaskulären Systems unter Belastungsbedingungen eingesetzt, da bei vielen sportlichen Belastungen die Organsysteme am höchsten beansprucht werden und im Falle einer Erkrankung eine Gefährdung für das Individuum darstellen. Aus diesen Verfahren hat sich ein Untersuchungsverfahren für die Gesundheit herausgebildet, welches sowohl für die Leistungssportler, als auch für die Breitensportler oder Sporttreibende in der Prävention und Rehabilitation angewandt werden kann (vgl. Dickhut et al., 2011, S. 186).

Zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit werden im sportmedizinischen Bereich die Bestimmung der erbrachten physikalischen Leistung, der Stoffwechselmetabolismus, die Herzfrequenzregulation und die Atemgase herangezogen. Besonders wichtig ist hierbei die Kenntnis des aerob-anaeroben Überganges der Energiebereitstellung, weil ab dieser Intensität die innere Belastung überproportional bei der Steigerung der Belastungsintensität zunimmt und die Gefahr der Überbelastung wächst. Sowohl absolute Herzfrequenzbereiche, als auch die absolute Laktatkonzentration sind daher für die individuelle Trainingssteuerung ungeeignet, da sie nicht die hohe interindividuelle Varianz berücksichtigen. Am besten lassen sich Hilfen zur Trainingssteuerung in Form von prozentualen Angaben zur individuellen Dauerleistungsgrenze oder zur individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme definieren (Dickhut et al. 2011, S. 246).

Medizinische Messverfahren bilden die komplexeste Möglichkeit, Leistungen zu messen und geben präzise Auskünfte über den körperlichen Leistungszustand und die Ausprägung sportlicher Fertigkeiten. Diese Verfahren finden meist im Labor auf dem Laufband oder dem Fahrradergometer statt, können aber mittlerweile mit portablen Messsystemen auch im Feld eingesetzt werden. Die wichtigsten sportmedizinischen Messparameter in der Ausdauerdiagnostik sind die Herzfrequenzsteigerung und maximale Herzfrequenz, die Sauerstoffaufnahme-fähigkeit (vgl. Abschnitt 2.3) und die Laktatkonzentration zur Bestimmung der aerob-anaeroben Schwelle (Martin, Carl & Lehnertz, 2001, S. 187). Auch bei sportmedizinischen Verfahren kann zwischen anaeroben und aeroben Verfahren unterschieden werden. Im Folgenden werden jeweils einige Beispiele zu den Verfahren

gegeben und die anaerobe Schwelle erläutert. Als sogenannter Goldstandard gelten in der Sportmedizin spiroergometrische Messverfahren (Bös & Banzer 2006, S. 252).

3.1.2.1 *Anaerobe Ausdauer tests*

In der Sportmedizin ist die Erfassung der anaeroben Leistungsfähigkeit bzw. Arbeitskapazität viel schwieriger und problematischer als die der aeroben Leistungsfähigkeit. Die für die anaeroben Stoffwechselprozesse benötigten Substrate liegen in der Muskelzelle vor und können nur durch muskelbiotische Analysen und Magnetresonanzpektroskopie direkt gemessen werden (de Marées, 2003, S. 476). Die Belastungsintensität muss bei anaeroben Tests so hoch gewählt werden, dass die aerobe Energieversorgung keine wesentliche Rolle mehr spielen kann. Somit sollte die maximale Belastungszeit 30-35 Sekunden nicht überschreiten. Auf Laufbändern ist dies aufgrund der hohen Beschleunigung nur mit größerem Aufwand möglich. Mit dem Fahrradergometer oder Ruderergometer kann dies besser durchgeführt werden. In der Praxis werden Fahrradergometer und Laufband oft auch zur Erfassung der aeroben Ausdauer verwendet. Um den aeroben Anteil an der Energiebereitstellung möglichst gering zu halten, sollte die Belastungsintensität deutlich über der Dauerleistungsgrenze oder der maximalen Sauerstoffaufnahme gewählt werden. Die dann erbringbare Leistung pro Zeit wird als Arbeitskapazität gewertet. Im Routinetest kann die anaerob-alakatische nicht von der anaerob-laktatischen Leistungsfähigkeit bzw. Kapazität getrennt werden. Zudem sind anaerobe Testverfahren auf die maximale Mitarbeit der zu testenden Personen angewiesen und somit nicht motivationsunabhängig (Dickhut et al. 2011, S. 242).

3.1.2.2 *Die anaerobe Schwelle*

Die anaerobe Schwelle wird in der Regel über die die Laktat-Leistungskurve ermittelt und repräsentiert das maximale Laktat-Steady-State. Sie ist die obere Grenze des aerob-anaeroben Übergangs und stellt einen physiologischen Breakpoint dar (Kindermann, 2004, S. 161). Bei länger dauernden Belastungen oberhalb der anaeroben Schwelle steigt die Laktatkonzentration im Blut trotz konstanter Intensität an. Als anaerobe Schwelle wird daher auch die Leistung bezeichnet, bei der ein relativ flacher Verlauf der Laktatwerte in einen steilen Verlauf übergeht (Mocellin & Gildein 1995, S. 291). Der Beginn des aerob-anaeroben Übergangs wird durch die aerobe Schwelle definiert, den des ersten Laktatanstiegs. Individuelle anaerobe Schwellen

erlauben gegenüber fixen Laktatschwellen eine zuverlässigere Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit und Intensitätssteuerung (Kindermann, 2004, S. 161).

Leistungen unterhalb der anaeroben Schwelle können über längere Zeit ausgeführt werden und Leistungen oberhalb der anaeroben Schwelle nur für kurze Zeit. Grund für die steigende Laktatkonzentration ist die zunehmende anaerob-laktazide Energiegewinnung. Infolge des Sauerstoffdefizits kann die erforderliche Energie nicht mehr auf aerobem Weg bereitgestellt werden. Die anaerobe Schwelle liefert also einen Hinweis darauf, in welchem Bereich Belastungen über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden können. Zudem gibt sie Auskunft über den Trainingszustand des Sportlers, sodass eine genauere Trainingsplanung möglich ist.

Bei 4 mmol/l Blutlaktat an der anaeroben Schwelle ist der Punkt des maximalen Laktat „steady state“ (Maxlass), d.h. dem Laktatgleichgewicht, erreicht (Zintl & Eisenhut 2004, S. 72). Bei Untrainierten und Hoch-Ausdauertrainierten entspricht die starre Festlegung der anaeroben Schwelle bei einem Wert von 4 mmol/l meist nicht den individuellen Verhältnissen des Muskelstoffwechsels und der Laktatkinetik. Bei Untrainierten liegt die Schwelle oft über 4 mmol/l (5-6 mmol/l) und bei Ausdauertrainierten verschiebt sich die Schwelle nach unten (2,5-3 mmol/l). Aufgrund dessen wurde die individuelle anaerobe Schwelle eingeführt und als der Punkt in der Laktatkurve definiert, an dem die kritische Steigung beginnt (vgl. Zintl & Eisenhut 2004, S. 73, Hollmann 2006, S. 338). Mocellin & Gildein (1995, S. 292) geben an, dass bei Kindern zwischen 11 und 12 Jahren die anaerobe Schwelle im Mittel bei einer Sauerstoffaufnahme von 80 % liegt. Im Laufe der Zeit nimmt der Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme, bei dem die Laktatschwelle bestimmt wird, von etwa 80 % auf 70 % ab. Somit kann als Vorteil die Bestimmung der aeroben Fähigkeit mit Hilfe der anaeroben Schwelle bei submaximaler Belastung statt maximaler Belastung gutgeschrieben werden. Die anaerobe Schwelle ist daher ein zuverlässiger und praktikabler Parameter in der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung (Kindermann, 2004, S. 162). Vor allem im Leistungssport hat die Laktatdiagnostik daher einen hohen Stellenwert in der individuellen Leistungsbeurteilung und der Trainingssteuerung.

3.1.2.3 *Aerobe Ausdauer*tests

Im Bereich der Sportmedizin existiert eine Vielzahl von Belastungsverfahren zur Erfassung der sportartübergreifenden Ausdauer. Diese unterscheiden sich durch das gewählte Testverfahren (Fahrrad-, Laufbandergometer), dem gewählten Belastungsschema (gleichförmig vs. stufenförmig, submaximal vs. maximal) oder auch dem jeweils erhobenen leistungsdiagnostischen Parameter (Atmungssystem, Herz-Kreislauf-System, Energiestoffwechsel).

Prinzipiell kann die maximale aerobe Leistungsfähigkeit durch einen Belastungstest abgeschätzt werden, der von einer niedrigen Intensität bis zur maximalen Intensität ansteigt. Dabei ist es wichtig, dass die sportartspezifische Muskulatur belastet wird, da andernfalls die maximal mögliche Sauerstoffaufnahme nicht erreicht wird (Dickhut et al. 2011, S. 235). Allerdings interessieren im Leistungssport oft nicht die maximale aerobe Kapazität, sondern vielmehr die Dauerleistungsgrenze, welche angibt, bis zu welcher maximalen Belastungsintensität ein annäherndes Gleichgewicht der Belastungsreaktion vom Organismus geregelt werden kann. In diesen Fällen muss die Belastungsdauer über 20 Minuten liegen. Aus Gründen der Praktikabilität werden in der Regel Tests mit ansteigender Belastungsintensität eingesetzt, die in der Regel 15 bis 35 Minuten dauern (ebd., S. 235). Im Folgenden werden aerobe Labor- und Feldstufentests vorgestellt.

Labortests

Die beliebtesten Belastungsuntersuchungen im Labor sind die Ergometrien. Dabei werden physiologische Parameter während einer Belastung gemessen, beobachtet und analysiert. Herzfrequenz, Blutdruck, Leistung, Belastungsempfinden und Belastungs-Elektrokardiogramm (EKG) sind hier die wichtigsten Messgrößen. Außerdem lassen sich eine Reihe von hämodynamischen (Herzminutenvolumen, pulmonalarterieller Druck), pulmonalen (Atemfrequenz), metabolischen (Laktat, Sauerstoffaufnahme) und andere Funktionsparameter bestimmen. Labortests sind dadurch charakterisiert, dass die Testbedingungen hoch standardisiert sind und die Störeinflüsse minimiert werden können. Mit Hilfe von Ergometrien lassen sich wichtige Aussagen über Belastbarkeit, Leistungsfähigkeit und den Trainingszustand treffen. Anhand des Verlaufs und des Schwerpunktes der Intensität wird auch zwischen

submaximalen gleichförmigen Testverfahren und maximalen Ausbelastungstests unterschieden. Für die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_2max) werden meist Ergometrietests mit Atemgasanalyse, die sogenannten Spiroergometrien, durchgeführt (vgl. Rost 2001, S. 335).

Generell lassen sich bei den Ergometrien verschiedene Formen unterscheiden. Es gibt die dosierten und undosierten Verfahren. Zu den undosierten Verfahren zählen „die Treppe hoch laufen“ oder Kniebeugen. Diese undosierten Verfahren werden heute meist nicht mehr eingesetzt. Von Bedeutung sind daher die dosierten Verfahren, zu denen Fahrrad-, Laufband-, Ruder-, und Drehkurbelergometrie zählen. Eine weitere Unterscheidung wird in den sportartspezifischen und sportartunspecificen Testverfahren vorgenommen. Während ein Fahrradergometertest für den Läufer unspezifisch ist, ist er für den Fahrradfahrer spezifisch. Dasselbe gilt umgekehrt für das Laufband (vgl. Rost 2001, S. 50).

Bei Ergometrien ist ein standardisiertes Belastungsschema wichtig. Üblicherweise werden stufenförmig ansteigende Belastungen gewählt (vgl. Rost 2001, S. 52).

Die weit verbreitetste Ergometrieform ist die Fahrradergometrie. Für die Fahrradergometrie existieren eine Reihe von unterschiedlichen Belastungsschemas, die alle das Ziel haben, die Probanden möglichst adäquat zu belasten. Tabelle 8 zeigt einen Überblick verbreiteter Belastungsschemas für die Fahrradergometrie.

Tab. 8 Überblick Belastungsschemas für die Fahrradergometrie

Stufenprotokoll	Abkürzung	Ausgangsbelastung	Steigerung pro Stufe	Stufendauer	Zielgruppe
World Health Organisation	WHO	25 W	25 W	2 min	Untrainierte
		50 W	25 W	2 min	Trainierte
Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin & Prävention	DGSP	25 W	25 W	2,3 oder 5 min	Patienten
		50 W	50 W	2,3 oder 5 min	Untrainierte
Deutsche Gesellschaft für Kinderkardiologie / Motorik-Modul (MoMo)	GWSP	0,5 W/Kg Körpergewicht	0,5 W/Kg Körpergewicht	2 min	Kinder, Untrainierte, Trainierte
Bundesausschuss für Leistungssport	BAL	100 W	50 W	3 min	trainierte Leistungssportler

Um ein schonenderes Verfahren der Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit zu ermöglichen, werden auch submaximale Belastungstests mit gleichförmiger Belastungsanforderung vor allem bei Risikopatienten, aber auch teilweise bei Kindern, durchgeführt. Ein Beispiel hierfür ist die „Physical Working Capacity“ (PWC) (vgl. Abschnitt 4.4)

Feldstufentest

Unter Feldtests werden Untersuchungen verstanden, die in der Regel beim Training oder Wettkampf außerhalb der definierten Bedingungen eines Labors durchgeführt werden. Von Vorteil ist die hohe Validität von Messgrößen hinsichtlich der leistungsbestimmenden und leistungsbegrenzenden Größen. Diese Untersuchungen finden meist in Form von Lauftests statt und sie können sportartspezifisch in großen Gruppen durchgeführt werden. Feldtests spielen dann eine große Rolle, wenn sich eine sportartspezifische Belastung im Labor nicht oder nicht ausreichend simulieren

lässt. Vor allem bei Disziplinen wie Skilanglauf, Eisschnelllauf oder auch Rudern und Schwimmen ist dies der Fall. Allerdings bringen Felduntersuchungen auch ihre Nachteile mit sich. Ein wesentlicher Nachteil können die nicht immer konstant bleibenden Randbedingungen bei Nichthallensportarten sein. Hier seien das Wetter (Temperatur, Wind, Luftfeuchtigkeit) oder das Streckenprofil genannt. Grundsätzlich können Feldtests aber mit der gleichen Fragestellung wie Labortests durchgeführt werden. Sowohl Laktatbestimmungen, als auch Herzfrequenzbestimmungen oder Bestimmungen der aeroben Leistungsfähigkeit sind im Feld möglich. Der technisch-organisatorische Aufwand kann allerdings beträchtlich höher werden, oder man ist an spezielles Equipment gebunden (vgl. Dickhut et al. 2011, S. 242).

Zum wohl bekanntesten Feldstufentest zählt der Conconi-Test, der 1982 von Conconi, Ferrari, Ziglio, Droghetti und Codeca entwickelt wurde. Er misst die Ausdauerleistung anhand der Herzfrequenz. Der Conconi-Test basiert auf der Beziehung zwischen Herzfrequenz und Laufgeschwindigkeit. Die anaerobe Schwelle wird am „Conconi-Knick“ definiert (vgl. Bös & Banzer 2006, S. 252). Weitere Feldtests sind Mehrstreckentests, Lauf- /Radstufentests (+ Spirometrie) und Laktatstufentests.

3.1.3 Sportmotorische Tests zur Beurteilung der Ausdauer

Allgemein betrachtet sind Motorische Tests wissenschaftliche Routineverfahren zur Untersuchung eines oder mehrerer theoretisch definierbarer und empirisch abgrenzbarer Persönlichkeitsmerkmale. Gegenstandsbereiche sind das individuelle, allgemeine und spezielle motorische Fähigkeitsniveau. Ziel ist eine möglichst quantitative Aussage über den relativen Grad der individuellen Merkmalsausprägung. Tests müssen unter Standardbedingungen durchgeführt werden und statistischen Gütekriterien des jeweiligen testtheoretischen Modells genügen“ (Bös 2001, S. 533).

Zum Einsatz kommen sportmotorische Tests in einer Vielzahl von sportwissenschaftlichen Fragestellungen und sie kommen in drei Aufgabenbereichen zum Einsatz: Leistungsdiagnostik, Entwicklungsdiagnostik und Talentdiagnostik (Meinel & Schnabel 2007, S. 383). Bei der Anwendung von diagnostischen Verfahren muss die Zielstellung klar definiert sein. Eines der Ziele kann sein, den aktuellen Leistungsstand zu ermitteln, was eine IST-Diagnose ermöglicht. Dieser aktuelle IST-Wert dient den trainingswissenschaftlichen Bereichen und der Einschätzung des Leistungs-

niveaus. Ein weiteres Ziel der Diagnostik kann die Ermittlung von Leistungsveränderungen darstellen. Diese Verlaufsdiagnose setzt Testwiederholungen voraus und findet vor allem in Entwicklungs- und Trainingsprozessen, sowie der Talentsuche seine Anwendung. Durch die aktuelle Leistung und deren Veränderung über definierte Zeiträume können zukünftige Leistungsentwicklung prognostiziert werden (vgl. Bös 1987, S. 43).

Im Gegensatz zu sportmedizinischen Tests, werden in der Wissenschaft die allgemeinen und spezifischen sportmotorischen Tests teilweise kritisch betrachtet. Die Aussagen von Feldtests zur aeroben Leistungsfähigkeit seien schlechter als die Resultate von standardisierten Laboruntersuchungen (Shephard, 1993, S. 196).

Die Validität von motorischen Tests ist im Vergleich zu sportmedizinischen Tests in der Regel niedriger. So ist beispielsweise die aerobe Ausdauer mittels spirometrischer Verfahren wesentlich differenzierter zu diagnostizieren als mit Ausdauerläufen (Beck & Bös 1995, S. 11). Der hohe technische und kostenintensive Aufwand der benötigten Geräte ist zwar für den Hochleistungssport und spezifische Fragestellungen notwendig, allerdings für die Anwendung auf niedrigerem Leistungsniveau, wie beispielsweise dem Fitness- und Gesundheitssport so nicht umsetzbar. Es mussten also alternative Lösungen gefunden werden. Sportmotorische Tests stellen für die Diagnose motorischer Leistungsfähigkeit eine praktikable Option dar, weil sie eine hohe Korrelation zu den Ergebnissen der labordiagnostischen Verfahren vorweisen können (Beck & Bös 1995, S. 11).

Sportmotorische Ausdauer-Testverfahren lassen sich in anaerobe und aerobe Ausdauer-Testverfahren unterscheiden. Die Beurteilung der anaeroben Ausdauerleistung ist vor allem bei Kindern umstritten. Im Bereich der Erwachsenenendiagnostik gibt es dennoch einige Tests zur Kontrolle der anaeroben Laktat- und Alaktat-Kapazität und Leistungsfähigkeit, welche ebenso bei Kindern angewandt werden können. Klassische Verfahren zur Bestimmung der anaeroben Ausdauer sind der Wingate-Anaerobic Test (WAnT) und der Treppentest von Margaria (de Marées, 2003, S. 476). Beim Treppentest muss nach einer Beschleunigungsphase in der Ebene mit maximaler Geschwindigkeit eine Treppe erstiegen werden. Aus der Vertikalgeschwindigkeit und der von der Körpermasse abhängigen Gewichtskraft wird die Leistung in Watt berechnet. Beim Wingate-Anaerobic Test muss 30 Sekunden bei maximaler Pedalgeschwindigkeit auf einem Fahrradergometer

getreten werden. Die nach 3 bis 5 Sekunden erreichte „peak power“ sowie der Leistungsabfall in den 30 Sekunden werden für die Bewertung der anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeit herangezogen.

Für die aerobe Ausdauer im Allgemeinen und die allgemeine dynamische aerobe Ausdauer im speziellen existiert eine Vielzahl von sportmotorischen Testverfahren. Das liegt daran, dass Daten der aeroben Ausdauer für viele Bereiche eine hohe Relevanz besitzen, insbesondere für den Gesundheitssport (vgl. Blank & Conzelmann, 2009, S. 168). Im Bereich der sportmotorischen Tests dominieren die sogenannten Lauftests. Diese werden unterschieden in Distanzläufe, bei denen eine vorgegebene Distanz in möglichst kurzer Zeit zurückgelegt werden muss, und in Zeitläufe, bei denen eine vorgegebene Distanz in möglichst kurzer Zeit zurück gelegt werden muss. Zu den Distanzläufen zählen beispielsweise der 1000m-Lauf, der 3000m Lauf und der 1-Meilen-Lauf oder auch der 600m Walking Test.

Die bei diesen Tests benötigte Zeit wird erfasst und zusätzlich kann die Belastungs-herzfrequenz bei der Laufleistung ermittelt und die Sauerstoffaufnahme mit Hilfe einer Formel berechnet werden.

In Deutschland ist der 6-Minuten-Lauf der am weitesten verbreitete Ausdauer test für Kinder und Jugendliche. International wird der 20m Shuttle Run in zahlreichen Studien eingesetzt. Der Messparameter PWC_{170} ist eine anerkannte Variante mit der im Rahmen des Motorik-Moduls eine repräsentative Stichprobe von 6-17 Jahren in Deutschland getestet wurde. Im Gegensatz zum 20m Shuttle Run und dem 6-Min-Lauf ist die PWC kein sportmotorischer Test in engeren Sinne, sondern ein apparatives Testverfahren, das als Labortest bzw. sportmedizinischer Test gilt. Diese drei Testverfahren werden im Folgenden detaillierter vorgestellt und anschließend anhand von eigenen empirischen Daten verglichen und hinsichtlich ihrer Aussagekraft für Kinder und Jugendliche bewertet.

3.1.4 Gütekriterien motorischer Testverfahren

Motorische Testverfahren sind empirische Untersuchungsmethoden, die unter standardisierten Bedingungen durchgeführt werden und bei denen die klassischen Hauptgütekriterien der Validität (Gültigkeit), Objektivität (Unabhängigkeit) und Reliabilität (Zuverlässigkeit) unverzichtbar sind. „Nur bei hinreichenden Güte werten

[...] einer Messung können die Messresultate auch sinnvoll weiterverarbeitet und interpretiert werden“ (Bös, Hänsel & Schott, 2004, S. 22 f.).

Unter Validität wird die Gültigkeit einer Messung im Hinblick auf das Messziel verstanden. Misst der Test wirklich das Merkmal, was er zu erfassen vorgibt und demnach messen soll. Die Validität wird meist als wichtigstes der drei klassischen Gütekriterien gesehen, wobei Objektivität und Reliabilität mitunter als Voraussetzung für die Validität zu betrachten sind. Ungenaue Messinstrumente oder Störgrößen bei der Durchführung, Auswertung oder Interpretation der Messergebnisse können die Validität in Frage stellen. Die Validität lässt sich in Inhaltsvalidität, Konstruktvalidität und Kriteriumsvalidität unterscheiden (Bortz & Döring, 2005, S. 200).

Die Reliabilität, als Maß für die Zuverlässigkeit einer Messung, gibt den „Grad der Genauigkeit von Messergebnissen in Abhängigkeit vom Messinstrument und vom gemessenen Merkmal“ (Bös et al., 2004, S. 22) an. Sie spiegelt wider wie genau der Test „ein bestimmtes Persönlichkeits- oder Verhaltensmerkmal misst, unabhängig davon, ob er dieses Merkmal auch zu messen beansprucht“ (Lienert, 1989, S. 14 zitiert nach Bös, Pfeifer, Stoll, Tittlbach & Woll, 2001, S. 547). Es geht somit um die Replizierbarkeit von Messergebnissen unter gleichen Bedingungen. Je nach Reliabilitätsart werden verschiedene Verfahren zur Reliabilitätsbestimmung benutzt (ebd., 2001, S. 548).

Die Objektivität eines Tests gibt an, in welchem Ausmaß die Testergebnisse vom Testanwender unabhängig sind (Bortz & Döring, 2005, S. 195). Es existieren drei Unterformen der Objektivität: die Durchführungsobjektivität, die Auswertungsobjektivität und die Interpretationsobjektivität (ebd., 2005, S. 195).

Neben diesen Hauptgütekriterien existieren auch noch Nebengütekriterien wie Testökonomie, Vergleichbarkeit und Normierung. Diese genannten Kriterien sind vor allem für die praktische Anwendung von Bedeutung (Bös et al., 2004, S. 23 f.).

3.2 Physical Working Capacity 170 (PWC₁₇₀)

Die PWC - Physical Working Capacity¹ (Arbeitskapazität) - gibt die in Watt angegebene erzielte Leistung an, „[...] die bei einer gegebenen Pulsschlagzahl erreicht wird oder theoretisch erreicht werden würde. Dementsprechend wird sie mit dem Index der jeweils angestrebten Pulsfrequenz versehen“ (Rost & Hollmann, 1982, S. 82). Die PWC ist daher keine Testform, sondern ein Messparameter oder Leistungskriterium, die bei einer standardisierten Belastung bestimmt wird.

Bei stufenförmiger Belastung steigt die Herzfrequenz linear an und die Ausdauerleistungsfähigkeit wird an der Art des Herzfrequenzanstiegs festgemacht. Je flacher der Anstieg, desto besser die Ausdauerleistungsfähigkeit. Bei der PWC₁₇₀ wird die Leistung an der Herzfrequenz von 170 bestimmt. Weit verbreitet ist auch die PWC₁₅₀ und PWC₁₃₀ bei der Untersuchung von leistungsschwächeren oder älteren Personen, wobei hier die Leistung bei einer Pulsfrequenz von 150 bzw. 130 bestimmt wird.

Die PWC kann bei jeder Art von Ergometrie bestimmt werden (Ruderergometer, Laufband, Fahrradergometer etc.). Die Herzfrequenz reagiert jedoch auf verschiedene Belastungsformen unterschiedlich, daher sind die PWC-Ergebnisse nur vergleichbar, wenn sie mit der gleichen Belastungsform erhoben wurde. Die Bestimmung auf dem Fahrradergometer ist die gängigste Methode, daher wird im Folgenden nur noch auf die PWC, erhoben auf einem Fahrradergometer, eingegangen.

Exkurs zur geschichtlichen Entwicklung der Fahrradergometrie

Das erste Fahrradergometer der Welt entstand 1896 in Paris. Der Franzose Bouny wollte die Kraftanstrengung eines Radrennfahrers messen und installierte hierzu eine mechanische Bremse direkt am Hinterrad eines aufgebockten vorderradlosen Fahrrades. Voigt, Zuntz und Caspari stellten 1911 fahrradergometrische Untersuchungen mit ebenfalls eigenen Konstruktionen von mechanischer Bremsung an. Derartige mechanische Prinzipien benutzte auch der Franzose Amar bei seinen Untersuchungen 1907 bis 1909. Einen Fahrradergometer mit elektromagnetischer Bremse entwickelte erstmals die amerikanische Arbeitsgruppe um Atwater und Benedict 1912, die in den Jahren zuvor für ihre Untersuchungen ein stationäres

¹ In der Literatur wird die PWC teilweise auch als Physical Work Capacity bezeichnet (u.a. Astrand, 1958)

Fahrrad benutzen, welches einen Dynamo antrieb um anhand dessen Stromerzeugung und Erwärmung der verrichteten Arbeit zu messen (vgl. Hollmann & Strüder 2009, S. 337). Zwanzig Jahre später führten Kelso und Hellebrandt ein Fahrradergometer ein, welches über einen elektrischen Generator gebremst wurde. Die ersten wirbelstromgebremsten Ergometer wurden von der Hamburger Firma Dargatz in den 30er Jahren entwickelt. Auf Anregung der amerikanischen Autofirma Chrysler entwickelten 1974 Hollmann und Liesen den ersten vollelektronischen und computerisierten Fahrradergometer (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 341)

Für nichtstationäre Leistungsmessungen am Fahrrad hat Schoberer 1987 ein Leistungsmessgerät, das sogenannte SRM-Trainingsystem (Schoberer-Rad-Messtechnik) entwickelt, bei dem die Kraft, die beim Treten auf Kurbel und Kettenblatt wirkt, durch einen Biegebalken erfasst wird (vgl. Hollmann et al. 2006, S. 41).

Heute handelt es sich bei der Fahrradergometrie um die international übliche ergometrische Belastungsmethode. Der Vorteil der drehzahlunabhängigen Ergometer besteht darin, dass die untersuchte Person ihre Umdrehungszahl beliebig in Abhängigkeit von der Belastungsintensität und dem damit verbundenen Belastungsempfinden wählen kann (vgl. Hollmann et al., 2006, S. 38 f.).

Die 1948 von der Arbeitsgruppe um Wahlund eingeführte ergometrische Bestimmung der Physical Working Capacity auf dem Fahrradergometer, stellt eine bedeutende leistungsmedizinische Kenngröße dar und hat in der Sport- und Arbeitsmedizin eine sehr große Bedeutung erlangt. Der Vorteil der PWC liegt neben der Beurteilbarkeit im Submaximalbereich darin, dass sie motivationsunabhängig ist. Die Ergebnisse reichen für eine Einschätzung der Leistungsfähigkeit bzw. der zugehörigen Herzfrequenz an der anaeroben und aeroben Schwelle aus. Zudem ist die PWC weitgehend altersunabhängig, da sich für gleiche Belastung die Frequenz in Abhängigkeit vom Lebensalter kaum ändert (vgl. Kim 2001, S. 80; Hollmann et al. 2006, S. 97). Der theoretische Ansatz der Ausdauermessung mit der PWC_{170} geht von einem linearen Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme zwischen 50 % und knapp 100 % der maximalen Sauerstoffaufnahme aus. Aufgrund eines häufig nicht linearen Frequenzanstieges und der individuell bedingten Variabilität der maximalen Herzfrequenz, lässt sich die maximale Sauerstoff-

aufnahme aus submaximaler Herzfrequenz und Leistungswerten jedoch nur mit einem Variationskoeffizienten von 10 bis 15 % genau berechnen (Shephard, 1993, S. 195).

Da die angestrebte Herzfrequenz nur selten auf einer bestimmten Leistungsstufe zu beobachten ist, muss die Ermittlung der PWC in einem Stufentest durch graphische oder rechnerische Interpolation geschehen. Wenn die Herzfrequenz nicht erreicht wird ist eine Extrapolation in eingeschränktem Maße über ca. 10 Herzschläge möglich. Ansonsten sollte besser die PWC_{150} oder PWC_{130} verwendet werden (Rost & Hollmann 1989, S. 82 ff).

Die Berechnung des absoluten PWC_{170} -Wertes erfolgt nach folgender Formel, gemäß dem Verfahren der linearen Interpolation (in Anlehnung an Hollmann et al., 2006, S. 96):

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \cdot \frac{(170 - Hf_1)}{(Hf_2 - Hf_1)}$$

W_1 stellt die Belastungsstufe dar, auf der die Zielfrequenz gerade noch nicht erreicht wird (knapp unter 170 Schläge/min). W_2 ist die Stufe, bei der die Frequenz 170 gerade überschritten wird. Hf_1 und Hf_2 sind die auf W_1 und W_2 gemessenen Frequenzen. Die grafische Ermittlung der PWC_{170} ist in Abbildung 8 dargestellt.

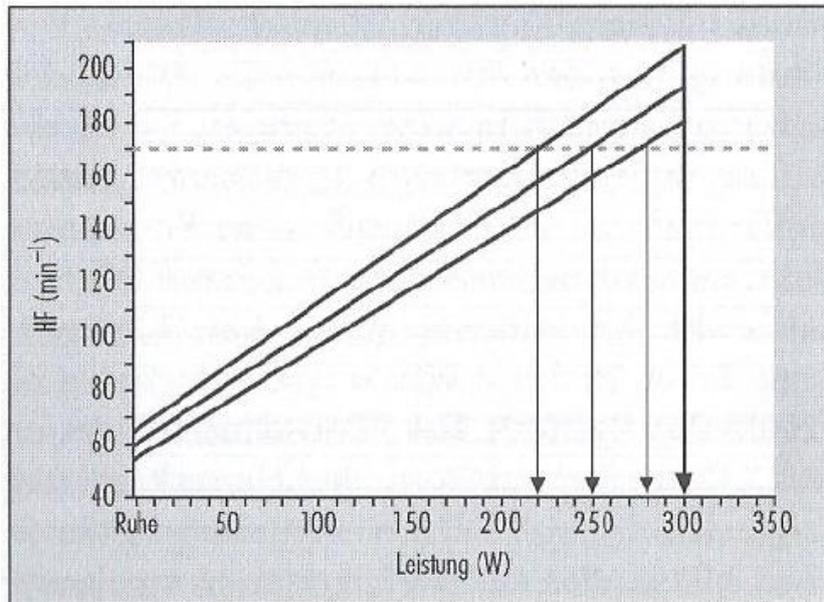


Abbildung 8 Grafische Ermittlung der PWC_{170} (Hollmann et al., 2006, S. 97)

Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit auf dem Fahrradergometer erfolgt in der Regel relativ zum Körpergewicht, das heißt der PWC-Wert wird durch das Körpergewicht geteilt um die relative PWC zu erhalten. Bei der Verwendung von absoluten PWC-Werten, wird die Leistungsfähigkeit von übergewichtigen bzw. schweren Probanden überschätzt und die Leistung von untergewichtigen bzw. leichten Probanden unterschätzt. Die relative Leistung ermöglicht einen aussagekräftigen Vergleich zwischen allen Personen (Rost & Hollmann, 1982, 85; de Marées, 2003, S. 461; Hollmann et al., 2006, S. 96).

3.2.1 Normwerte PWC_{170}

Die Beurteilung der PWC-Werte wird dadurch erschwert, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Belastungsprotokolle existiert. Das Belastungsprotokoll beeinflusst die PWC-Werte (vgl. Bland, 2012), tendenziell führen höhere Inkremente und eine höhere Anfangslast auch zu höheren PWC-Werten (vgl. Gruse, 2013). Daher müssen bei den existierenden Normwerten die verwendeten Belastungsprotokolle berücksichtigt werden. Im Gesundheitssport ist das WHO-Protokoll weit verbreitet (Rost & Hollmann, 1982), die Anfangslast und Inkremente betragen beim WHO-Protokoll 25 Watt und die Stufendauer ist 2 Minuten (25w - 25w - 2 min). Im Kinder und Jugendbereich werden oft gewichtsbezogene Belastungsprotokolle verwendet, bei denen die Anfangslast und die Inkremente sich am Körpergewicht orientieren. Für

leistungstärkere eignet sich das Gießener Protokoll (1 W/Kg Körpergewicht - 1 W/Kg Körpergewicht – 2 min) (vgl. Nowacki & Schäfer, 1984) oder die im Motorik-Modul verwendete modifizierte Variante (0,5 W/Kg Körpergewicht - 0,5 W/Kg Körpergewicht – 2 min).

Der PWC-Wert ist für Erwachsene ein altersunabhängiger Wert. Das bedeutet ältere Menschen weisen auf der gleichen Belastungsstufe im Mittel etwa die gleiche Herzfrequenz wie jüngere Menschen auf (de Marées, 2003, S.461). Für die PWC₁₇₀ finden sich in der Literatur einige Normwerte. Mittelwerte für die PWC₁₇₀ für Erwachsene wurden unter anderem vom Berliner Arbeitskreis unter Dransfeld und Mellerowicz mit 3 Watt/kg Körpergewicht bei Männern und 2,5 Watt/kg Körpergewicht bei den Frauen mit einer Streuung um $\pm 0,5$ Watt angegeben und in Untersuchungen von Franz und Mellerowicz bestätigt (Franz et al., 1984). Von Rost und Hollmann (1989, S. 84) wurden für gesunde, untrainierte erwachsene Probanden mit 2,5 Watt/kg bei Männern und 2,0 Watt/kg bei Frauen niedrigere Mittelwerte für die PWC₁₇₀ ermittelt. Diese Werte wurden auch von Hollmann bei aktuelleren Publikationen angegeben (Hollmann et al., 2006, S. 96).

Normwerte für Kinder und Jugendliche wurden von Mocellin und Gildein (1995, S. 293) publiziert (s. Tabelle 9). Diese basieren jedoch auf einer Untersuchung mit lediglich 43 Probanden.

Tab. 9 Mittelwerte für die relative PWC₁₇₀ bei Kindern und Jugendlichen

Alter (Jahre)	Jungen (W/kg)	Mädchen (W/kg)
6,5	1,80	1,49
7,5	1,93	1,57
8,5	2,04	1,63
9,5	2,14	1,70
10,5	2,22	1,75
11,5	2,30	1,79
12,5	2,39	1,81
13,5	2,47	1,82
14,5	2,53	1,78
15,5	2,56	1,77
16,5	2,59	1,76
17,5	2,59	1,75

Aktuellere Normwerte, die im Rahmen des Motorik-Moduls von 2003 bis 2006 mit über 3000 Probanden erhoben wurden, zeigen vergleichbare Werte. Die PWC-Werte steigen mit dem Alter für beide Geschlechter an. Bei den Mädchen zeigt sich lediglich ein leichter Anstieg von 6 bis 17 Jahren von 1,66 bis 1,85 W/kg. Bei den Jungen steigt die PWC_{170} von 1,98 bis 2,42 W/kg. In Abbildung 9 sind die Werte für die relative PWC tabellarisch und grafisch dargestellt.

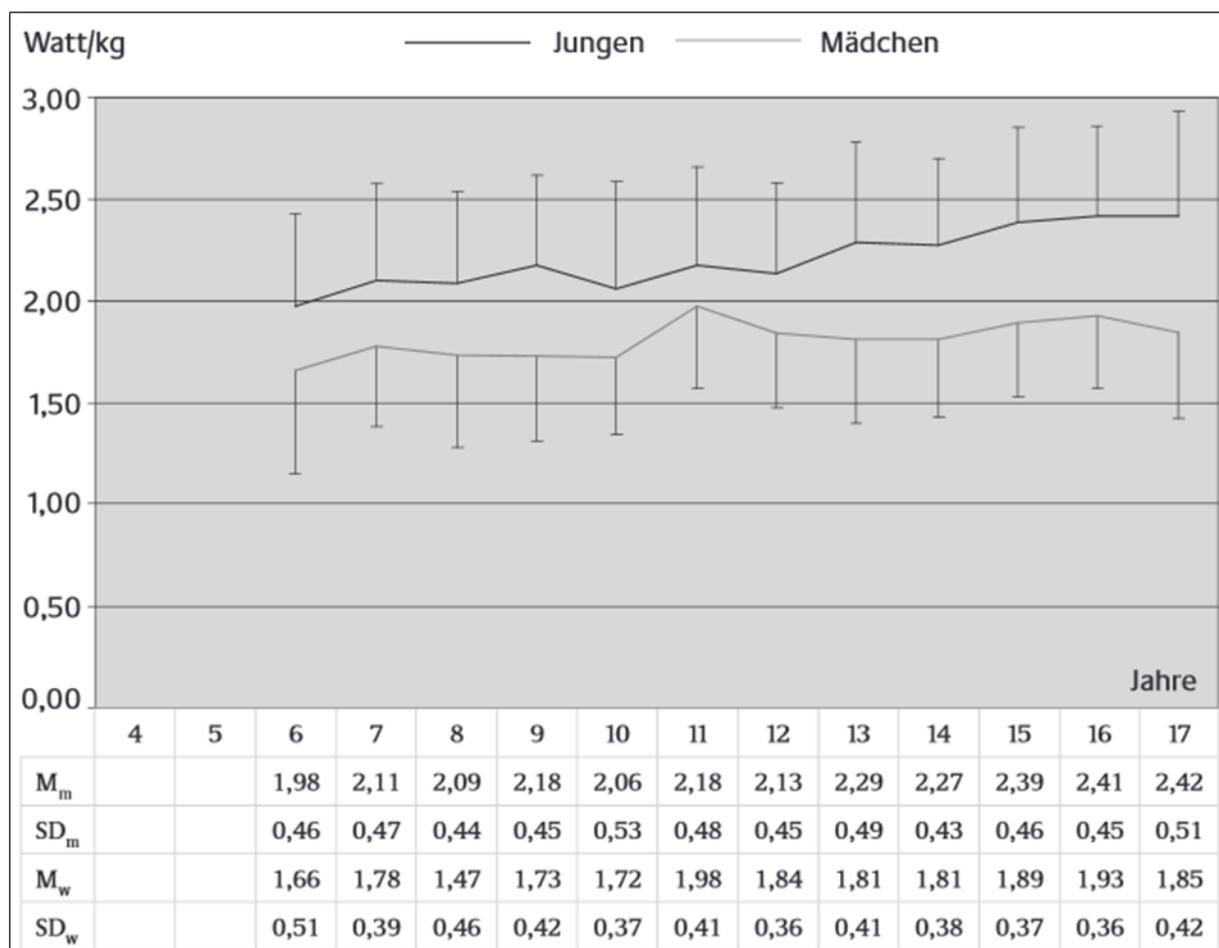


Abbildung 9 Mittelwerte und Standardabweichung der relativen PWC_{170} aus dem Motorik-Modul (Bös et al., 2009a)

3.2.2 Validität des PWC_{170}

Ein Test ist dann ein wissenschaftliches Untersuchungsverfahren wenn er den Hauptgütekriterien genügt (Lienert 1989, nach Bös 2001, S. 544). Unter den Hauptgütekriterien Validität, Objektivität, und Reliabilität gilt die Validität als Königskriterium.

Die Validität, auch Gültigkeit genannt, gibt den Grad der Gültigkeit der Messung an, mit dem der Test das zu prüfende Persönlichkeitsmerkmal auch wirklich misst. Es wird in Inhalts-, Konstrukt- und Kriteriumsvalidität (externe Validität) unterschieden, wobei die Inhaltsvalidität meist nicht anhand eines Korrelationskoeffizienten untersucht wird, sondern häufig theoretisch gestützt erfolgt. Konstruktvalidität beschreibt die Korrelation zwischen Test und einer nicht messbaren Dimension (z.B. Angst). Die Überprüfung erfolgt anhand des Zusammenhangs zwischen angeleiteten Fähigkeitskonstrukten und den entsprechenden Testergebnissen. Das wichtigste Maß ist die Kriteriumsvalidität. Hier wird durch den Vergleich mit einem Test, dessen Validität bereits hinreichend nachgewiesen ist, die Gültigkeit überprüft (vgl. Bortz & Döring, 2005, S. 200).

Das derzeit anerkannteste Kriterium zur Validierung von aeroben Ausdauer- testverfahren ist die $VO_2\text{max}$ (vgl. Abschnitt 2.3). Für erwachsene Probanden werden in der Literatur überwiegend sehr hohe Zusammenhänge zwischen der PWC_{170} und der gemessenen $VO_2\text{max}$ angegeben. Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = .95$ bei einer Studie mit 100 untrainierten 18 bis 39-jährigen Männern und $r = .90$ bei Jugendlichen Jungen zeigte Franz et al. (1984), dass die PWC_{170} , hinsichtlich des Kriteriums $VO_2\text{max}$, sehr valide ist. Der hohe Zusammenhang des PWC_{170} mit der $VO_2\text{max}$ bei Erwachsenen und damit die gute Validität, wird von weiteren Studien bestätigt (u.a. Burke 1976; Skender, 2011). Bei Kindern und Jugendlichen ist die Studienlage hinsichtlich der Korrelation von PWC_{170} und der $VO_2\text{max}$ und damit der Validität der PWC_{170} sehr uneinheitlich.

Die Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Studien zur Validität der PWC_{170} bei Kindern und Jugendlichen.

Tab. 10 Korrelation des PWC_{170} und der VO_2max bei Kindern und Jugendlichen

Jahr	Autor	Protokoll	Stichprobe	Ergebnis Validität PWC_{170}/VO_2max
1971	Mocellin et al.	(1W/Kg-1W/Kg-6min)	n=19 (männlich) Alter:13-14 J.	r = .78 ($p \leq 0.5$)
1984	Vogelaere et al.	60 U/min (1W/Kg-1W/Kg-4min)	n=90 m=43, w=47 Alter: 6-12 J.	r = .69 ($p \leq 0.5$) m: r = .69 ($p \leq 0.5$) w: r = .67 ($p \leq 0.5$) 6-7 J: r = .08 (n.s.) 8-9 J: r = .33 (n.s.) 10-11 J: r = .71 ($p \leq 0.5$)
1984	Franz et al.	50 U/min (25W-25W-2min)	n=88 (männlich) 13-15 J. Ø14,2 J.	r = .87 ($p \leq 0.5$)
1988	Petzl et al.	(1W/Kg-0,5W/Kg-3min)	n=165 (männlich) 10-14 J.	r = .53 ($p \leq 0.5$) 10-10.9 J: r = .12 (n.s.) 11-11.9 J: r = .59 ($p \leq 0.5$) 12-12.9 J: r = .57 ($p \leq 0.5$) 13-13.9 J: r = .52 ($p \leq 0.5$) 14-14.9 J: r = .67 ($p \leq 0.5$)
1990	Boreham et al.	Eurofit 60 U/min	n=48 m=22, w=18 14-16 J. Ø 15,5 J.	Gesamt: r = .84 ($p \leq 0.5$) Jungen: r = .67 ($p \leq 0.5$) Mädchen: r = .67 ($p \leq 0.5$)
1992	Mahoney	Eurofit 60 U/min VO_2max auf dem Laufband	n=20 m=10, w=10 Ø 12 J.	Jungen: r = .64 (n.s.) Mädchen: r = .54 (n.s)
1993	Rowland et al.	50 U/min (25W-20W-3min)	n=35 m=18, w=17 9-11 J. Ø 10,3	Jungen: r = .65 ($p \leq 0.5$) Mädchen: r = .48 ($p \leq 0.5$)
2006	Heyman et al.	60 U/Min (30W-18W-2min)	n=17 (männlich) 8-13 J. Ø 10 J.	r = .81 ($p \leq 0.5$)
2012	Bland et al.	60 U/min 20 W ≤ 50 Kg 30 W ≥ 50 Kg [2 min Stufendauer]	n=50 m=31, w=19 11-16 J. Ø 13,7 J.	r = .70 ($p \leq 0.5$)

Auffällig ist die Vielzahl von unterschiedlichen Belastungsprotokollen die verwendet wurden. Bei der Messung der $VO_2\text{max}$ und der PWC_{170} gibt es Unterschiede in allen angegebenen Parametern (Anfangslast, Inkremente, Stufendauer, Trittfrequenz, verwendeter Fahrradergometer). Da die ermittelten PWC-Werte von dem verwendeten Belastungsprotokoll abhängig sind (Bland et al., 2014; Gruse, 2013), ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur eingeschränkt gegeben. Zudem sind die Studien unterschiedlich gut kontrolliert und die getesteten Probandengruppen sehr uneinheitlich. Streng genommen ist daher eine gemeinsame Betrachtung und Mittelwertbildung der Korrelationskoeffizienten aus den unterschiedlichen Studien nicht zulässig. Alle relevanten Ergebnisse sind in Tabelle 10 angegeben. Die folgende Zusammenfassung der Ergebnisse dient der Veranschaulichung der Erkenntnisse.

Insgesamt neun publizierte Untersuchungen zum Zusammenhang von PWC_{170} und der $VO_2\text{max}$ konnten gefunden werden. Die Studienlage ist geprägt von Studien aus den siebziger, achtziger und neunziger Jahren. Aktuelle Studien gibt es mit Ausnahme der Untersuchung von Heymann et al. (2006) und Bland et al. (2012) nicht. Die Probandenzahl streut von 17 bis 165 und beträgt im Durchschnitt 58 Probanden. Im Durchschnitt über die neun Studien zeigt sich ein hoher Korrelationskoeffizient von $r = .70$ zwischen der PWC_{170} und der $VO_2\text{max}$. Die Werte streuen dabei von $r = .48$ bis $r = .84$. Die angegebenen Werte für altersspezifische Subgruppen sind geringer. Das könnte damit erklärt werden, dass bei Subgruppen die Datenvarianz kleiner ist als bei der Gesamtstichprobe und dies zu niedrigeren Korrelationskoeffizienten führt. Anders ausgedrückt, aufgrund einer großen Altersspanne liegt eine hohe Datenvarianz in den bewerteten Parametern vor, wenn die Parameter altersabhängig sind. Die hier betrachteten Parameter ($VO_2\text{max}$ und PWC_{170}) sind altersabhängig, dadurch ist die Korrelation der Gesamtpopulation automatisch größer als bei den Alterssubgruppen.

Validität alters- und geschlechtsspezifisch

Eine geschlechtsspezifische Betrachtung der Validitätskoeffizienten zeigt keine relevanten Geschlechtsunterschiede in der Validität des PWC₁₇₀ (s. Tabelle 11).

Tab. 11 Die Validität des PWC₁₇₀ geschlechtsspezifisch

Autor	Jungen	Mädchen
Mahoney 1992	r = 0.64 (n.s.) N = 10	r = 0.54 (n.s.) N = 10
Rowland 1993	r = 0.65 (p ≤ 0.5) N = 18	r = 0.48 (p ≤ 0.5) N = 17
Boreham 1990	r = 0.67 (p ≤ 0.5) N = 22	r = 0.67 (p ≤ 0.5) N = 8
Vogelaere 1984	r = 0.69 (p ≤ 0.5) n = 43	r = 0.67 (p ≤ 0.5) N = 47
Skender 2011*	r = 0.73 (p ≤ 0.5) N = 117	r = 0.80 (p ≤ 0.5) N = 27
*Erwachsene Stichprobe 18 bis 69 Jahre		

Die altersspezifische Betrachtung zeigt für Grundschul Kinder lediglich geringe bis mittlere Korrelation zwischen der PWC₁₇₀ und der VO₂max (r = .08 - r = .65) Besonders bei jüngeren Kindern ist oft die Ermüdung der Oberschenkelmuskulatur leistungsbegrenzend und führt zu einem vorzeitigen Abbruch der Untersuchung (vgl. Hebestreit 1997, S. 1329). Vogelaere et al. (1984) und Petzl et al. (1988) weisen explizit darauf hin, dass die PWC₁₇₀ für die Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit in diese Altersgruppe nicht geeignet ist. Im Besonderen für die 6 bis 8-Jährigen finden sich gar keine oder nur niedrigere Zusammenhänge zwischen der PWC₁₇₀ und der VO₂max.

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Validitätskoeffizienten der Alterssubgruppen. Tendenziell steigen mit höherem Alter auch die Validitätskoeffizienten, die Validität nimmt also mit dem Alter zu.

Tab. 12 Die Validität des PWC₁₇₀ nach Altersgruppen

	6-10 Jahre	11-13 Jahre	14-18 Jahre
PWC₁₇₀	.08 - .65 $\bar{\phi}$.33	.48 - .81 $\bar{\phi}$.58	.67- .87 $\bar{\phi}$.77

3.3 6-Minuten-Lauf

Der 6-Minuten-Lauf wurde von Bös und Wohlmann 1987 publiziert und mit neuen Durchführungsbestimmungen 2001 aktualisiert (Bös et al., 2001). Er ist Bestandteil vieler Testbatterien (DMT 6-18, AST, Emotikon, WIAD etc.) und gilt daher in Deutschland gegenwärtig als weit verbreitetster Ausdauer-test für Kinder und Jugendliche. Der 6-Minuten-Lauf wurde auf Basis des 12-Minuten-Laufes (Cooper-Test) modifiziert und an die Anforderungen der Ausdauerdiagnostik bei Heranwachsenden angepasst. Die optimale Dauer eines Ausdauer-tests wird bei Kindern und Jugendlichen in der Literatur kontrovers diskutiert. Je höher die Laufbelastungen desto höher sind die Anteile der aeroben Energiebereitstellung. Jedoch stellt sich bei Kindern die Herausforderung, Demotivation und Monotonie zu umgehen. Im Vergleich zum Erwachsenen, stellt der kindliche Organismus bei Belastung deutlich schneller auf einen aeroben Stoffwechsel um und kann die notwendige Steigerung der Sauerstoffaufnahme rascher erreichen (de Marées, 2003, S. 505), zudem überwiegen die aeroben Anteile bereits bei einer Ausdauerbelastung von 6 Minuten deutlich (vgl. Neumann et al., 2001, S. 159).

Daher hat sich der 6-Minuten-Lauf als Ausdauer-test für Kinder und Jugendliche in Deutschland etabliert. Er beinhaltet auf der einen Seite eine ausreichende Ausdauerbeanspruchung, andererseits ist er mit dem reduzierten zeitlichen Umfang für Kinder motivierender und zudem ökonomisch. Die Laufbahn des 6-Minuten-Laufes führt um die Begrenzungslinien des Volleyballfeldes. An den Eckpunkten (50 cm nach innen versetzt) und an den Längsseiten sind Hütchen aufgestellt. Eine Laufrunde hat die Länge von 54 Metern. Die Versuchspersonen sollen beim 6-Minuten-Lauf versuchen, das Volleyballfeld so oft wie möglich zu umrunden, also in der vorgegebenen Zeit so viel Strecke wie möglich zu absolvieren (vgl. Bös, 2001, S. 18). Bei jüngeren und laufunerfahrenen Probanden hat es sich bewährt, die Geschwindigkeit in den ersten beiden Laufrunden durch das Testpersonal vorzugeben.

Aus Gründen der Standardisierung wird bei der Testdurchführung eine Tempovorgabe, die sich an den Durchschnittszeiten der altersgleichen Norm orientiert, empfohlen (Bös et al., 2009b, S 37). Der 6-Minuten-Lauf kann auch im Freien auf der 400m-Bahn durchgeführt werden. Die im Freien gemessenen Ergebnisse sind jedoch nicht vergleichbar mit Ergebnissen, die in der Halle gemessen werden. In einer

Studie wurden die Laufleistungen beim 6-Minuten-Lauf zwischen Halle und Stadionrunde verglichen. Im Durchschnitt erzielten die Probanden im Stadion um 7 % bessere Ergebnisse (vgl. Büchele, 2013).

Die Leistungen aus Distanzläufen und zeitbezogenen Läufen werden oftmals für die Schätzung der VO_2 max verwendet. Während die Ergebnisse von Distanzläufen in der Regel in Zeiten ausgedrückt werden, und zeitbezogene Läufe in der zurückgelegten Distanz, können die Laufleistungen auch als durchschnittliche Laufgeschwindigkeit dargestellt und damit verglichen werden. Da die massenspezifische VO_2 und VO_2 max linear mit Geschwindigkeit und maximaler Geschwindigkeit variieren, sollte die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit die VO_2 besser widerspiegeln, da sie den Sauerstoffverbrauch pro Leistung aufzeigt. Bei der Laufgeschwindigkeit zeigt sich auch eine bessere Normalverteilung als bei den Messparametern Distanz oder der Zeit.

3.3.1 Normwerte 6-Minuten-Lauf

Für den 6-Minuten-Lauf wurde eine Reihe von alters- und geschlechtsspezifischen Normwerten publiziert. Eine umfangreicher Überblick findet sich bei Beck und Bös (1995, S. 46). Aktuelle Normwerte wurden im Rahmen der Entwicklung des Deutschen Motorik-Test 6-18 erstellt und publiziert (Bös et al., 2009b). In Tabelle 13 sind diese Normwerte dargestellt.

Tab. 13 Mittelwerte und Standardabweichungen für den 6-Minuten-Lauf (aus Bös, 2009b)

Alter (Jahre)	Jungen mw (s)	Mädchen mw (s)
6	859 m (119)	790 m (109)
7	903 m (125)	828 m (114)
8	947 m (131)	866 m (119)
9	991 m (138)	904 m (124)
10	1036 m (144)	942 m (129)
11	1080 m (150)	980 m (135)
12	1124 m (156)	1004 m (138)
13	1169 m (162)	1004 m (138)
14	1213 m (168)	1004 m (138)
15	1257 m (175)	1004 m (138)
16	1302 m (181)	1004 m (138)
17	1346 m (187)	1004 m (138)

3.3.2 Validität des 6-Minuten-Laufs

Die Validität des 6-Minuten-Laufs wurde in einer Reihe von Untersuchungen überprüft. Da der 6-Minuten-Lauf speziell für Kinder und Jugendliche konzipiert wurde existieren keine Studien für erwachsene Probanden.

Jackson und Coleman (1976) haben mit 22 männlichen und 25 weiblichen Probanden von 9-11 Jahren den 6-Minuten-Lauf und eine VO_2 max Messung auf dem Laufband durchgeführt. Sie ermittelten Korrelationskoeffizienten von $r = .71 - .82$. Lawrenz & Stemper (2010, S.105) untersuchten 34 Kinder zwischen 8-10 Jahren und haben Korrelationskoeffizienten von $r = .46$ für den Zusammenhang zwischen 6-Minuten-Lauf und der VO_2 max bei einem Ausbelastungstest mit spiroergometrischer Atemgasuntersuchung auf einem Laufband ermittelt. Ein Teil der Probanden hatte bereits Erfahrung mit Lauftests, bei ihnen war die Korrelation mit $r = .63$ höher. Die Autoren bescheinigen dem 6-Minuten-Lauf daher nur eine geringe Aussagekraft bei der Ermittlung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit.

Van Mechelen und Kollegen (1986) untersuchte 82 Jungen und Mädchen zwischen 12 und 14 Jahren mit dem 20m Shuttle Run, dem 6-Minuten-Lauf und einer VO₂max Messung auf dem Laufband. Der 6-Minuten-Lauf wies mit $r = .63$ ($m = .51$, $w = .45$) etwas niedrigere Korrelationen als der 20m Shuttle Run auf. Der 20m Shuttle Run ist daher für die Autoren der validere Ausdauerstest.

Von Haaren et al. (2011, S. 353) führten eine vergleichbare Studie mit 30 sportlich aktiven Kindern (9-11Jahre) durch und ermittelten eine höhere Korrelation zwischen dem 6-Minuten-Lauf und der VO₂max ($r = .69$) im Vergleich zum 20-Meter Shuttle-Run ($r = .52$). Für die männlichen Probanden ist die Korrelation mit $r = .80$ höher als für die weiblichen Probanden ($r = .68$). Sie bewertet daher den 6-Minuten-Lauf für diese junge Zielgruppe als valideres Testverfahren im Vergleich zum 20m Shuttle Run.

Faude et al. (2004) untersuchte 30 Jungen und Mädchen von 11-13 Jahren mit einem Fahrradausdauerstest (P_{max} , PWC₁₇₀), dem 20m Shuttle Run und dem 6-Minuten-Lauf. Der 6-Minuten-Lauf korreliert hoch mit beiden Testverfahren ($r = .87$ bzw. $r = .83$) und wird daher als adäquates Testverfahren zur Beurteilung der kardiopulmonalen Ausdauer eingestuft. Ein Überblick der beschriebenen Untersuchungen ist in Tabelle 14 dargestellt.

Tab. 14 Validität des 6-Minuten-Laufs bei Kindern und Jugendlichen

Jahr	Autor	Stichprobe	Referenzgröße	Ergebnisse
1976	Jackson & Coleman	N = 47; m = 22; w = 25 9-11 Jahre	VO ₂ max (Laufband)	$r = .71 - .82$
1986	van Mechelen et al.	N = 82; m = 41; w = 41 12-14 Jahre	VO ₂ max (Laufband)	$r_{Vomax} = .63$ $m: r = .51$ $w: r = .45$
2004	Faude et al.	N = 30; m = 15; w = 15 11-13 Jahre	Shuttle Run PWC ₁₇₀	$r_{PWC170} = .87$ $r_{Shuttle} = .83$
2011	von Haaren et al.	N = 25, m = 12; w = 13 9 – 11 Jahre Ø = 10,2 Jahre	VO ₂ max (Laufband) Shuttle Run	$r_{Vomax} = .69$ $m: r = .80$ $w: r = .68$ $r_{Shuttle} = .74$
2010	Lawrenz & Stemper	N = 34; m = 12; w = 22 8-10 Jahre	VO ₂ max (Laufband)	$r_{Vomax} = .53$
2011	Ratzinger	N = 41; m = 13; w = 28 Ø = 8,02	Shuttle Run	$r = .66$ $m: r = .69$ $w: r = .64$

Die Studienlage verdeutlicht, dass der 6-Minuten-Lauf vermehrt bei Kindern und Jugendlichen zwischen 6 und 14 Jahren durchgeführt wird. Die Werte für die Validität streuen von $r = .53 - .87$, dem 6-Minuten-Lauf kann daher insgesamt eine mittlere bis hohe Validität bescheinigt werden.

Bei der Betrachtung der Geschlechtergruppen fällt auf, dass durchweg die männlichen Probanden leicht höhere Korrelationswerte aufweisen. Ein Vergleich der Altersgruppen ist aufgrund der geringen Anzahl an Studien, sowie den unterschiedlichen Referenzgrößen, an denen der 6-Minuten-Lauf validiert wurde, nicht möglich.

3.4 20m Shuttle Run

Der 20m Shuttle Run wurde Anfang der Achtziger Jahre von Luc Léger entwickelt. Ursprünglich wurde der Shuttle Run mit 2-min-Stufen durchgeführt, welche später auf 1-min-Stufen herabgesetzt wurden (Léger & Lambert, 1982, S.2). Der Test ist heute weit verbreitet und wird vor allem im Bereich der Ausdauerdiagnostik von Heranwachsenden häufig verwendet. Vor allem in den anglo-amerikanischen Raum wird er zur Beurteilung der aeroben Ausdauer häufig eingesetzt. Er besteht aus einer Reihe von Stufen, die jeweils eine Minute dauern und eine gewisse Anzahl an 20 Meter langen Runden, sogenannten Shuttle, beinhalten, die je nach Geschwindigkeit 7 oder mehr pro Stufe (1 min) betragen. In der Literatur finden sich verschiedene Bezeichnungen wie „20-m Shuttle-Run“ (auch in der deutschen Literatur verwendet), „20 Meter Pendellauf“, „multistage 20 metre shuttle run test“, „Beep-Test“. Die Geschwindigkeit des 20m Shuttle Run wird über ein Tonband oder eine CD durch Signaltöne bestimmt. Mit jeder Stufe steigt die geforderte Geschwindigkeit, bis der Teilnehmer die 20-Meter-Linie dreimal hintereinander nicht rechtzeitig erreicht. Der 20m Shuttle Run bietet eine gute material- und kostengünstige Alternative zu Labortests, da anhand seiner Ergebnisse relativ zuverlässig auf die maximale Sauerstoffaufnahme geschlossen werden kann (vgl. Rowland, 2007, S. 10). Allerdings sehen Lamb & Rogers den 20m Shuttle Run als nicht reliabel genug an, um Veränderungen der $VO_2\text{max}$ aufzuzeigen (vgl. Lamb & Rogers, 2007, S. 1). Léger et al. (1988) haben anhand von Studien eine Schätzformeln entwickelt, mit deren Hilfe anhand der Ergebnisse des 20m Shuttle Runs die $VO_2\text{max}$ geschätzt werden kann.

Im Laufe der Jahre wurden auch weitere Schätzformeln für die Bestimmung der $VO_2\text{max}$ entwickelt. Der 20m Shuttle Run bietet den Vorteil, dass er auf kleinstem Raum durchführbar und sehr praktikabel ist und sich deshalb auch für den schulischen Gebrauch eignet. Das Problem des Erlernens der Geschwindigkeitseinschätzung wird durch die akustische Geschwindigkeitsvorgabe minimiert. Des Weiteren ist der Test ansteigend und daher über den größten Teil des Testverlaufs submaximal, eine maximale Anstrengung wird erst gegen Ende des Tests verlangt. Die leistungsstärksten Probanden beenden den Test als letzter, was bedeuten könnte, dass der psychologische Nachteil der Schlechtesten wegfällt (vgl. Liu, Plowman & Looney, 1992, S. 360f). Zudem können die Umweltbedingungen kontrolliert werden, da der Test auch drinnen durchgeführt werden kann. Da die Geschwindigkeit des 20m Shuttle Run von außen vorgegeben wird, sind kognitive Aspekte der maximalen Belastung weniger wichtig. Außerdem können die Testpersonen genauer vom Testpersonal beobachtet werden. Der intermittierende Charakter des 20m Shuttle Runs kann Vor- und Nachteile haben. Während die Vorteile bereits erläutert wurden, ist ein denkbarer Nachteil die Möglichkeit der lokalen Ermüdung der Beinmuskulatur durch das Stoppen und Anlaufen. Außerdem ist seine Charakteristik eher der einer Sportart ähnlich. Der Shuttle Run ist heute zwar weit verbreitet, allerdings existieren etliche methodische Unterschiede in der Durchführung. Das ursprüngliche 1-min-Protokoll von Léger et al. beginnt mit einer Geschwindigkeit von 8,5 km/h und steigert die Geschwindigkeit um 0,5 km/h pro Minute. Abweichend hiervon werden in der Literatur Protokolle verwendet, die die erste Stufe bei 8 km/h, die zweite Stufe bei 9 km/h ansetzen und erst danach um 0,5 km/h steigern oder generell bei 8 km/h starten. Zusätzlich existieren die verschiedensten CDs und Kassetten, unterschiedliche Datenbeschreibungen und Testprotokolle. Individuelle Resultate wurden als Anzahl der absolvierten Stufen, Laufgeschwindigkeit bei der letzten vollständig absolvierten Stufe, Anzahl der absolvierten Runden innerhalb der Stufen, Zeitdauer des Tests oder anhand von Schätzformeln in $VO_2\text{max}$ umgerechnet, angegeben. Tomkinson et al. (2000) empfehlen die genaue Testablaufbeschreibung oder die Verwendung eines einheitlichen Protokolls und die Angabe des 20m Shuttle Run Ergebnisses bestenfalls in der Laufgeschwindigkeit der letzten komplett absolvierten 1 min-Stufe (km/h).

Für die Messung der sportartspezifischen Ausdauer in Spielsportarten haben sich in den letzten Jahren 2 Varianten des 20m Shuttle Run etabliert. Der Yo-Yo Test, oder besser die Yo-Yo Tests wurden 1996 vom dänischen Fußballtrainer Jens Bangsbo entwickelt, und stellen eine Art Pendellauf dar (vgl. Bangsbo, Iaia & Krstrup, 2008; Bangsbo, 2005). Es existieren drei Variationen des Tests, die alle leicht unterschiedliche Anforderungen an das aerobe und anaerobe Energiebereitstellungssystem stellen. Analog zum 20m Shuttle Run muss der Proband bei steigender Geschwindigkeit zwischen zwei 20m entfernten Markierungen hin- und her laufen, bis das Tempo nicht mehr gehalten werden kann. Im Unterschied zum 20m Shuttle Run gibt es nach 40m Belastung eine kurze aktive Pause. Dadurch ähnelt die Belastung den Anforderungen von Spielsportarten wie Fußball, Basketball oder Handball.

Eine weitere Variante ist der von Martin Buchheit entwickelte 30-15 Intermittent Fitness Test (30-15 IFT). Bei diesem Test handelt es sich ebenfalls um einen Pendellauf mit akustischer Tempovorgabe. Jedoch ist beim 30-15 IFT nicht die Distanz festgelegt, sondern die Belastungsdauer. Das Belastungsgefüge besteht aus 30-sekündigen Shuttle, gefolgt von 15-sekündigen aktiven Regenerationsphasen. Beginnend bei 8 km/h, wird die Geschwindigkeit bis zur Ausbelastung von Shuttle zu Shuttle um 0,5 km/h gesteigert. Neben der Bestimmung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, werden mit dem Test individuelle Trainingsbereiche für das High Intensity Intervalltraining bestimmt (Buchheit, 2008).

3.4.1 Normwerte 20m Shuttle Run

Das Ergebnis des 20m Shuttle Runs wird in der Regel mit der erreichten Laufgeschwindigkeit oder der erreichten Stufe bzw. der Testdauer angegeben. Die exakte Testdauer in Sekunden ist dabei der exakteste Messwert. Normwerte wurden unter anderem bei Beck & Bös (1995) und Léger et al. (1988) veröffentlicht.

3.4.2 Validität des 20m Shuttle Runs

Für erwachsene Probanden ist die hohe Validität des 20m Shuttle Runs hinreichend belegt (Léger & Lambert, 1982; Paliczka et al., 1987; Ramsbottom et al., 1988; Grant et al., 1995; Takashi et al., 2004; Bamdyopadhyay, 2011; Paradisis et al., 2014),

allerdings gilt die Abschätzung der $VO_2\text{max}$ anhand von Testergebnissen des 20m Shuttle Runs als eher ungenau (Cooper, Baker, Tong, Roberts & Hanford, 2005).

In einem systematischen Literaturreview, bei dem auch die Qualität und Güte der recherchierten Studien berücksichtigt wurde, kommen Castro-Pinero und Kollegen zu dem Ergebnis, dass dem 20m Shuttle Run mit hohem Evidenzgrad eine gute Kriteriumsvalidität für Jugendliche bescheinigt werden kann (Castro-Pinero, Artero, Espana-Romero, Ortega, Sjostrom, Suni & Ruiz, 2010).

Mayorga-Vaga und Kollegen kommen in ihrer Meta-Analyse hinsichtlich der Validität des 20m Shuttle Run zu einem vergleichbaren Ergebnis. Die Autoren bescheinigen dem 20m Shuttle Run eine mittlere bis hohe Kriteriumsvalidität ($r = .66$ - $r = .84$ mit der $VO_2\text{max}$). Unter Berücksichtigung weiterer Variablen wie Alter, Geschlecht und BMI werden die Korrelationen noch höher, durchschnittlich $r = .94$ für Erwachsene und $r = .78$ für Kinder (Mayorga-Vega, Aguilar-Soto & Viciano, 2015).

Im Folgenden werden die gefundenen Untersuchungen zur Validität des 20m Shuttle Run bei Kindern und Jugendliche detailliert vorgestellt.

Van Mechelen et al. (1986) untersuchte 82 Jungen und Mädchen zwischen 12 und 14 Jahren mit dem 20m Shuttle Run, dem 6-Minuten-Lauf und einer $VO_2\text{max}$ Messung auf dem Laufband. Der 20m Shuttle Run wies mit $r = .76$ ($m = .68$, $w = .69$) höhere Korrelationen als der 6-Minuten-Lauf auf und wird daher von den Autoren als valides und für den Sportunterricht geeignetes Ausdauerestverfahren bewertet.

In der Untersuchung von Liu et al. (1992) wurden 48 Probanden von 12-15 Jahren mit dem 20m Shuttle Run und einem $VO_2\text{max}$ -Test auf dem Laufband untersucht. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten von $r = .69$ zeigen eine gute Validität des 20m Shuttle Runs.

Suminski et al. (2003) untersuchte 125 hispanische Kinder zwischen 10 und 12 Jahren mit dem Ergebnis, dass der 20m Shuttle Run ein valider Test zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit für diese Zielgruppe ist.

Takahashi et al. (2004) überprüfte die Validität des 20m Shuttle Run bei 155 Erwachsenen und 132 Kindern und Jugendlichen aus Japan. Er ermittelte für beide Gruppen sehr hohe Korrelationskoeffizienten mit $r = .88$ für die Erwachsenen und $r = .80$ für die Kinder und Jugendlichen.

In der Untersuchung von van Haaren et al. (2011) wurde der 20m Shuttle Run, der 6-Minuten Lauf und eine VO₂max Messung auf dem Laufband mit 25 Jungen und Mädchen zwischen 9 und 11 Jahren durchgeführt. Für den 20m Shuttle Run wurden dabei mit $r = .52$ signifikant niedrigere Korrelationswerte mit der VO₂max ermittelt als für den 6-Minuten-Lauf ($r = .69$). Die Ergebnisse des 6-Minuten-Lauf und des 20m Shuttle Runs korrelieren mit $r = .74$. Für diese Stichprobe wird daher der 6-Minuten Lauf als geeigneterer Ausdauerstest im Vergleich zum 20m Shuttle Run eingestuft. In der Tabelle 15 sind die Studie zur Validität des 20m Shuttle Run bei Kindern und Jugendlichen aufgelistet.

Tab. 15 Validität des 20m Shuttle Runs bei Kindern und Jugendlichen

Jahr	Autor	Stichprobe	Referenzgröße	Ergebnisse
1986	van Mechelen et al.	N = 82; m = 41; w = 41 12-14 Jahre	6-Min-Lauf Laufband (VO ₂ max)	r = .76 m: r = .68 w: r = .69
1992	Liu et al.	N = 48; m = 22; w = 26 12-15 Jahre	Laufband (VO ₂ max)	r = .69 m: r = .65 w: r = .51
2003	Suminski et al.	N = 125; m = 58; w = 67 10-12 Jahre	Laufband (VO ₂ peak)	r = .63 m: r = .58 w: r = .55
2004	Faude et al.	N = 30; m = 15; w = 15 11-13 Jahre	PWC ₁₇₀ 6-Min-Lauf	r _{PWC170/Shuttle} = .80 r _{PWC170rel/Shuttle} = .82 r _{6Min/Shuttle} = .83
2004	Matsuzaka et al.	N = 132; m = 62; w = 70 8-17 Jahre (Kinder)	Laufband (VO ₂ max)	r = .80
2011	von Haaren, B. et al.	N = 25, m = 12; w = 13 Ø = 10,2 Jahre	6-Min-Lauf Laufband (VO ₂ max)	r _{Vomax/Shuttle} = .52 m: r = .29 w: r = .58 r _{6Min/Shuttle} = .74
2011	Ratzinger	N = 41; m = 13; w = 28 Ø = 8,02	6-Min-Lauf Shuttle Run	r _{6Min/Shuttle} = .66 m:r _{6Min/Shuttle} = .69 w:r _{6Min/Shuttle} = .64

Eine geschlechtsspezifische Betrachtung der Ergebnisse zeigt kaum Unterschiede. Lediglich bei den Untersuchung von van Haaren et al. (2011), bei der die Mädchen deutlich höhere Validitätskoeffizienten erzielten ($r = .58$ vs. $r = .29$) und bei der Untersuchung von Liu et al. (1992), bei der die Jungen höhere Korrelationen aufwiesen ($r = .65$ vs. $r = .51$) zeigen sich nennenswerte Unterschiede.

Eine altersspezifische Betrachtung der Ergebnisse in der alle Studien berücksichtigt wurden, die die $VO_2\text{max}$ als Referenzgröße verwendet haben (van Mechelen et al., 1986; Liu et al., 1992; Suminski et al., 2003; von Haaren et al., 2011) ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tab. 16 Die Validität des 20m Shuttle Run nach Altersgruppen

	9-10 Jahre	11-14 Jahre	15-18 Jahre
20m Shuttle Run	$r = .52$.63 - .76 $r = .58$	$r = .80$

Die meisten Studien wurden mit Probanden zwischen 10 und 14 Jahren durchgeführt. Nur je eine Studie wurde mit jüngeren und älteren Probanden gefunden. Die jüngsten Probanden waren in der Studie von von Haaren et al. (2011) 9 Jahre alt. Aufgrund der komplexen Durchführung scheint der 20m Shuttle Run auch nicht für jüngere Kinder geeignet zu sein. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Validität des 20m Shuttle Runs mit dem Alter ansteigt. Diese ansteigende Validität setzt sich bis in das Erwachsenenalter fort in der nahezu alle Untersuchungen Zusammenhänge zwischen dem 20m Shuttle Run und der $VO_2\text{max}$ von $r = .80$ und höher berichten (Paliczka et al., 1987; Ramsbottom et al., 1988; Grant et al., 1995; Takashi et al., 2004; Bamdyopadhyay, 2011).

4 Empirische Untersuchung

4.1 Ziele und Fragestellung

Ausdauer testverfahren sind für unterschiedliche Zielgruppen und verschiedene Settings von großer Relevanz. Die wichtigsten Settings, in denen sportmotorische Testaufgaben durchgeführt werden sind die Schule und der Verein. In Vereinen muss die Leistungsfähigkeit von homogenen, leistungsstarken Probanden gemessen werden und es steht die sportartspezifische Ausdauer im Vordergrund. Unabhängig vom Leistungsniveau, sei es in der Kreisliga oder in der Bundesliga, möchte die Trainerin oder der Trainer mit einem Testverfahren feststellen, wie das aktuelle Leistungsniveau seiner Schützlinge ist. Mit den Ergebnissen kann das Training zum einen optimal gesteuert werden, zum anderen kann die Effektivität von Trainingsmaßnahmen überprüft werden.

Ein Test muss daher möglichst präzise Aussagen über relevante Leistungsmerkmale ermöglichen. Die Ausdauer, die sich aus verschiedenen Arten und Typen zusammensetzt (s. Abschnitt 2.1), ist in nahezu jeder sportlichen Disziplin leistungsrelevant. Mit zunehmendem Leistungsniveau steigt auch der Grad der Professionalisierung und es steigen die finanziellen Ressourcen. Sportmedizinische Testverfahren wie Laktatstufentests oder Spiroergometrie werden jedoch fast ausschließlich im Profisport durchgeführt. Im Nachwuchsbereich kommen sportmedizinische Verfahren, wenn überhaupt, bei Kaderathleten in wenigen Disziplinen zum Einsatz. Ökonomische sportmotorische Testverfahren sind daher für einen deutlich größeren Anteil von Vereinssportlerinnen und Sportlern von Interesse.

Im zweiten wichtigen Anwendungsfeld, dem Schulsport, steht die Beurteilung der allgemeinen dynamischen Ausdauer von meist heterogenen Probanden im Vordergrund. In einer Schulklasse befindet sich häufig das gesamte Spektrum der motorischen Leistungsfähigkeit. Es gibt leistungsschwache als auch sportlich talentierte Schülerinnen und Schüler. Das eingesetzte Testverfahren muss ökonomisch und praktikabel durchführbar sein, da finanzielle oder personelle Ressourcen für die Testdurchführung in der Regel nicht vorhanden sind.

In dieser Arbeit wurde im Theorieteil der Forschungsstand zu denen im Kinder und Jugendalter weit verbreiteten Ausdauer-Testverfahren, der 6-Minuten-Lauf, der 20m Shuttle Run und die Physical Working Capacity 170 (PWC₁₇₀) aufgearbeitet. Aufbauend darauf werden die Ergebnisse von vergleichenden Untersuchungen, die im Rahmen von Projekten am Institut für Sport und Sportwissenschaft des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführt wurden, berichtet. Kinder und Jugendliche zwischen 6 und 18 Jahren wurden mit den Testverfahren PWC₁₇₀ (erhoben auf dem Fahrradergometer), dem 6-Minuten-Lauf und dem 20m Shuttle Run getestet. Zusätzlich wurde mit einer Teilstichprobe die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) mittels spiroergometrischer Analysen gemessen, um anhand eines externen Referenzwertes Aussagen zur Validität treffen zu können.

Ziel der Arbeit ist es die Eignung der Testverfahren hinsichtlich unterschiedlicher Altersgruppen und Stichproben zu bewerten.

Mit Hilfe der durchgeführten Studien sollen folgende offene Fragestellungen beantwortet werden.

1. Ist eine aussagekräftige Ausdauer-Testung bei Grundschulkindern möglich?
2. Wie hoch ist die Kriteriumsvalidität des 6-Minuten-Lauf, des 20 Shuttle Run und der PWC₁₇₀?
3. Sind die Ergebnisse des 6-Minuten-Laufs, des 20m Shuttle Run und des PWC₁₇₀ miteinander vergleichbar?
4. Welchen Einfluss hat das Geschlecht und das Alter auf die Ergebnisse der Ausdauer-Testverfahren 6-Minuten-Lauf, 20m Shuttle Run und PWC₁₇₀?

4.2 Methodik

Für die Datenauswertung wurden die Daten aus 5 Teilstudien herangezogen. Die 5 Studien wurden von 2010 bis 2013 im Rahmen von Projekten des Instituts für Sport und Sportwissenschaft des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführt. In der Tabelle 17 sind die wichtigsten Informationen zu den 5 Studien zusammengefasst. In Abschnitt 4.2.1 werden die 5 Studien detailliert beschrieben. In Abschnitt 4.2.2 erfolgt eine Beschreibung der Erhebungsinstrumente, gefolgt von einer Erläuterung der verwendeten statistischen Methoden zur Datenauswertung (Abschnitt 4.2.3) und der Stichprobenbeschreibung (Abschnitt 4.2.4).

Tab. 17 Verwendete Testaufgaben, Studienziel und Stichprobenbeschreibung der 5 Teilstudien

	Testaufgaben	Studienziel	Stichprobe	
			N	Alter
Bad Schönborn-Studie (1)	6-Min-Lauf PWC ₁₇₀	Vergleich von 6-Minuten-Lauf und PWC ₁₇₀	280	6-10 Jahre
Thüringen-Studie (2)	6-Min-Lauf 20m Shuttle Run	Vergleich von 6-Minuten-Lauf und 20m Shuttle Run	137	11-18 Jahre
Nagold-Studie (3)	6-Min-Lauf 20m Shuttle Run PWC ₁₇₀	Vergleich von 6-Minuten-Lauf, 20m Shuttle Run und PWC ₁₇₀	117	11-17 Jahre
VO ₂ max-Studie (4)	6-Min-Lauf 20m Shuttle Run PWC ₁₇₀ VO ₂ max	Überprüfung der Validität von 6-Min-Lauf, 20m Shuttle Run und PWC ₁₇₀ anhand der zusätzlich gemessenen VO ₂ max als Referenz.	23	11-14 Jahre
PWC ₁₇₀ -Studie (5)	PWC ₁₇₀ VO ₂ max	Überprüfung der Validität des PWC ₁₇₀ anhand der zusätzlich gemessenen VO ₂ max als Referenz.	40	7-18 Jahre

4.2.1 Beschreibung der fünf Teilstudien

4.2.1.1 Bad Schönborn-Studie (Studie 1)

Im Rahmen der Studie „Gesundheit zum Mitmachen für Kinder“ wurden in den beiden Grundschulen der Gemeinde Bad Schönborn in Baden alle Grundschüler hinsichtlich ihrer Motorik untersucht. Die Studienergebnisse sind unter anderem in der Masterarbeit von Katrin Merk publiziert (Merk, 2011).

Alle Kinder, deren Eltern dieser Untersuchung schriftlich in Form eines Elternbriefes zustimmten, konnten auf freiwilliger Basis während der Schulzeit an der motorischen

Testung teilnehmen. Der Testzeitraum erstreckte sich vom 11. Mai bis 26. Juli 2010. Zuerst wurden die Kinder der Michael-Ende-Schule in der Schönbornhalle getestet, anschließend die Kinder der Franz-Josef-Kuhn Grundschule in Langenbrücken. Alle Kinder haben zunächst in einer Einzeltestung alle Testaufgaben des Motorik-Moduls, einschließlich der PWC₁₇₀-Messung auf dem Fahrradergometer absolviert. Im Abstand von 7-10 Tagen erfolgte die Durchführung des 6-Minuten-Laufs in Gruppen von bis zu 12 Kindern. Durchgeführt wurden die Tests von geschulten Testleiterinnen und Testleitern des Motorik-Moduls.

Tab. 18 Übersicht Bad Schönborn-Studie (Studie 1)

	N	Alter	Größe	Gewicht	Testaufgaben
Bad Schönborn-Studie (1)	m = 138	Ø 8,7	136,2 cm	31,3 kg	6-Min-Lauf
6-10 Jahre	w = 142	Ø 8,4	134,7 cm	30,5 kg	PWC ₁₇₀
	ges = 280	Ø 8,6	135,5 cm	30,9 kg	

4.2.1.2 Thüringen-Studie (Studie 2)

In einem Gymnasium in Thüringen wurden im Rahmen eines Forschungsmoduls von Friedolin Steinhardt die Klassenstufen sechs, neun und elf mit dem 20m Shuttle Run und dem 6-Minuten-Lauf getestet (Steinhardt, 2012). Die Klasse sechs war eine gemischte Klasse mit Jungen und Mädchen, bei der neunten und elften Klasse handelte es sich um reine Jungenklassen. Die Tests wurden in Absprache mit der Schulleitung und der Sportlehrer im Sportunterricht durchgeführt. Die Datenerhebung fand im März 2012 statt. Die Reihenfolge der Ausdauer-tests wurde randomisiert. Die Tests fanden im Abstand von 7 Tagen zur gleichen Tageszeit in der gleichen Sportstunde statt. Alle Probanden absolvierten eine kurze standardisierte Erwärmung vor der Testdurchführung.

Tab. 19 Übersicht Thüringen-Studie (Studie 2)

	N	Alter	Größe	Gewicht	Testaufgaben
Thüringen-Studie (2)	m = 102	Ø 14,3	171,2 cm	58,8 kg	6-Min-Lauf
11-18 Jahre	w = 35	Ø 11,5	156,4 cm	43,7 kg	Shuttle Run
	ges = 137	Ø 13,6	167,4 cm	54,9 kg	

4.2.1.3 Nagold-Studie (Studie 3)

Die sportmotorischen Tests 6-Minuten-Lauf, Shuttle-Run und PWC₁₇₀ wurden im Otto-Hahn-Gymnasium in Nagold in Absprache mit der Schulleitung im Sportunterricht durchgeführt. Die Studienergebnisse wurde unter anderem in der Masterarbeit von Andreas Roth berichtet (Roth, 2012). Die Tests fanden zwischen März und April 2012 jeweils montags und freitags sowohl vormittags als auch nachmittags statt. Getestet wurden zwei fünfte Klassenstufen, eine neunte Klassenstufe und zwei zehnte Klassenstufen. Im Vorfeld der Untersuchung mussten die Eltern für ihre Kinder eine Einverständniserklärung ausfüllen, um die Eltern einerseits über die Ausdauerstudie zu informieren und andererseits gesundheitliche Risiken auszuschließen.

Tab. 20 Übersicht Nagold-Studie (Studie 3)

	N	Alter	Gewicht	Testaufgaben
Nagold-Studie (3)	m = 74	Ø 13,4	57,8 kg	6-Min-Lauf
11-17 Jahre	w = 43	Ø 12,6	49,5 kg	Shuttle Run
	ges = 117	Ø 13,1	54,1 kg	PWC ₁₇₀

4.2.1.4 VO₂max-Studie (Studie 4)

In dieser Untersuchung wurden 23 männliche Jugendliche aus Karlsruhe im Rahmen der Zulassungsarbeit von Andrea Huber untersucht (Huber, 2013). Die Probanden im Alter zwischen 10 und 14 Jahren wurden mit dem 6-Minuten-Lauf, dem 20m Shuttle Run und einer maximalen Ausbelastung auf dem Fahrradergometer, mit der PWC₁₇₀ und der VO₂max als Messparameter, getestet. Bei dem Fahrradergometertest wurde das WHO-Protokoll (25 W - 25 W - 2 min) verwendet. Die drei Tests fanden an drei unterschiedlichen Terminen statt. Zwischen den Testterminen lagen 4 bis 9 Tage. Die Testreihenfolge war randomisiert. Die Probanden dokumentierten ihren Sportbezug und ihr Aktivitätsverhalten mit Hilfe eines Fragebogens. Auf dem Fahrradergometer wurden die maximale Herzfrequenz und die Leistung in Watt, sowie die PWC₁₇₀ und die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) mit einer Spiroergometrie erfasst. Jeder Teilnehmer absolvierte zusätzlich den 6-Minuten-Lauf und den 20m Shuttle-Run.

Tab. 21 Übersicht VO₂max-Studie (Studie 4)

	N	Alter	Größe	Gewicht	Testaufgaben
VO₂max-Studie (4) 11-14 Jahre	m = 23	Ø 12,3	158,3 cm	46,7 kg	6-Min-Lauf Shuttle Run PWC ₁₇₀ VO ₂ max

4.2.1.5 PWC₁₇₀-Studie (Studie 5)

In dieser Studie wurden 41 männliche Probanden zwischen 7 und 18 Jahren untersucht, mit dem Ziel die Kriteriumsvalidität der PWC₁₇₀ zu bestimmen. Die kompletten Ergebnisse werden in den Masterarbeiten von Jennifer Gruse und Marlene Lohn berichtet (Gruse, 2013; Lohn, 2013). Die Durchführung der Studie erfolgte in Karlsruhe und Kornwestheim von März bis April 2013. Mit jedem der teilnehmenden Probanden wurden individuelle Termine vereinbart. Vorab wurden jedem Probanden per Email ausführliche Informationen zur geplanten Studie und den einzelnen Testabläufen (Fahrradergometrie, Laktat, Spiroergometrie), sowie die Einverständniserklärungen zur Testteilnahme zugesandt. Der Testablauf wurde von den Probanden stets unter vorgegebenen, standardisierten Rahmenbedingungen absolviert. Während der gesamten Testphase waren immer mindestens zwei Testhelfer vor Ort um einen reibungslosen Ablauf zu ermöglichen.

Vor Beginn der Testung erfolgte die Erhebung der anthropometrischen Daten sowie Trainingsalter, -häufigkeit und sportliches Aktivitätsniveau mittels Fragebogen. Nach Anlegung eines Polar-Brustgurtes und Messung des Ruhepulses, erfolgte das individuelle Einstellen des Sattels, der Pedale und des Lenkers auf den Probanden um ein optimales Treten der Probanden zu ermöglichen.

Zudem wurden die Testpersonen an das Spiroergometriegerät angeschlossen und die Spirometrie-Maske angelegt. Die Probanden wurden mit dem WHO-Protokoll (25 W - 25 W - 2 min) getestet und angehalten sich bis zur maximalen Erschöpfung zu belasten. Die Parameter der Atemgasanalyse wurden auf den Laptop übertragen und gespeichert.

Tab. 22 Übersicht PWC₁₇₀-Studie (Studie 5)

	N	Alter	Größe	Gewicht	Testaufgaben
PWC₁₇₀-Studie (5)	m = 41	Ø 13,4	162,8 cm	54,5 kg	PWC ₁₇₀
7-18 Jahre					VO ₂ max

4.2.2 Beschreibung der verwendeten Testverfahren

4.2.2.1 6-Minuten-Lauf

Der 6-Minuten-Lauf wurde in der Bad Schönborn-Studie (Studie 1), der Thüringen-Studie (Studie 2), der Nagold-Studie (Studie 3) und der VO₂max-Studie (Studie 4) durchgeführt. Die Durchführung erfolgte analog der von Bös publizierte Variante (Bös et al., 2001). In dieser Form ist der 6-Minuten-Lauf auch Bestandteil des Deutschen Motorik-Tests 6-18 (DMT 6-18). Der Test wurde in der Turnhalle mit bis zu 12 Testpersonen zeitgleich durchgeführt. Teststrecke war das mit Pylonen markierte Volleyballfeld. Die zurückgelegte Strecke in Metern wurde zur Auswertung herangezogen.

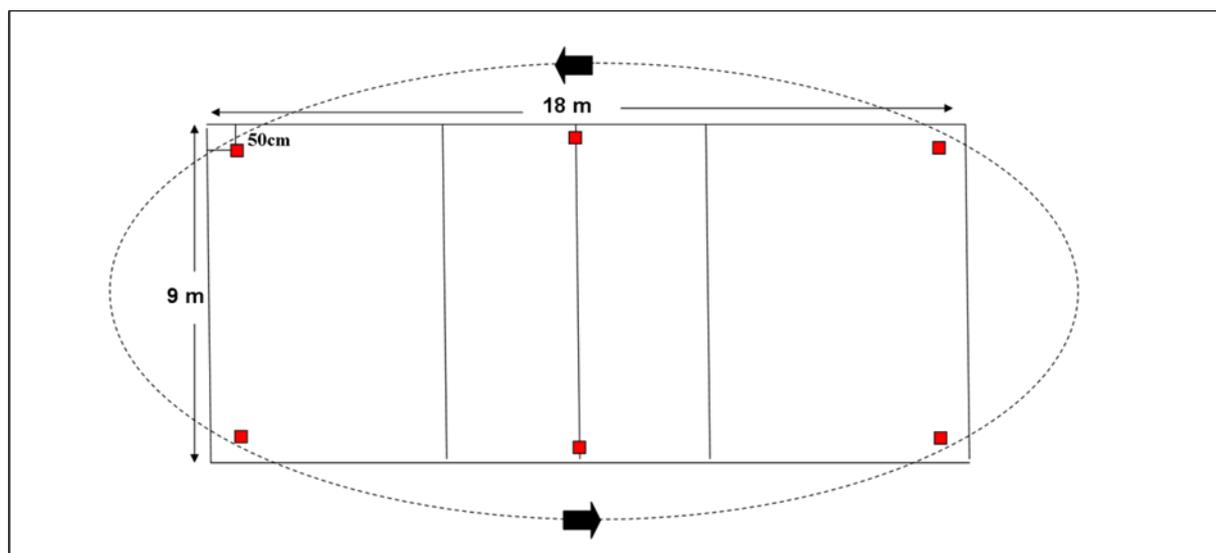


Abbildung 10 Aufbau 6-Minuten-Lauf

4.2.2.2 20m Shuttle Run

Der 20m Shuttle Run wurde nach den Vorgaben von Léger et al. (1988) in der Thüringen-Studie (Studie 2), der Nagold-Studie (Studie 3) und Vo₂max-Studie (Studie 4) durchgeführt. Die Testpersonen mussten dabei eine markierte 20m Bahn mit steigendem Tempo hin und her laufen. Das Anfangstempo betrug 8 km/h, diese

wurde nach einer Minute auf 9 km/h und jede weitere Minute um 0,5 km/h gesteigert. Die Durchführung erfolgte immer in einer Turnhalle. Für die Markierung der 20m-Bahn wurden die Außenlinien des Handballfeldes verwendet. Die akustische Tempovorgabe erfolgt mit Hilfe einer Audio CD, die mit einem portablen CD-Spieler abgespielt wurde. Der Test wurde mit bis zu 15 Testpersonen zeitgleich durchgeführt. Die Testdauer in Sekunden wurde zur Testauswertung herangezogen. Die absolvierten Runden und Stufen (Level und Shuttle) wurden ebenfalls notiert.

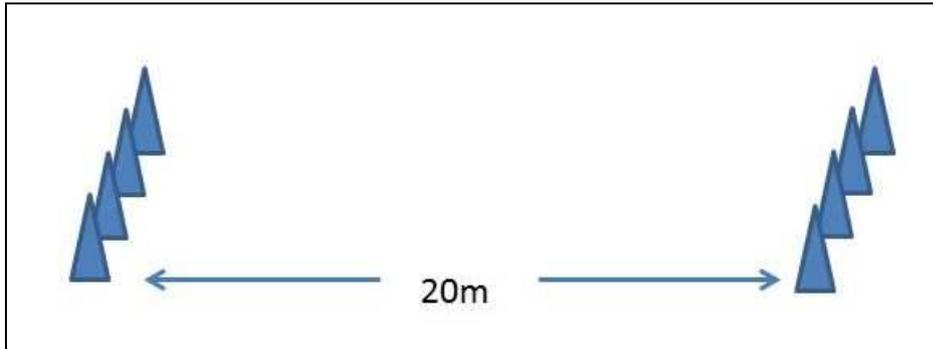


Abbildung 11 Aufbau 20m Shuttle Run

4.2.2.3 Fahrradergometrie

Die Fahrradergometrie wurde in der Bad Schönborn-Studie (Studie 1), der Nagold-Studie (Studie 3) und der PWC₁₇₀ Studie (Studie 5) durchgeführt. Das verwendete Fahrradergometer war in jeder Studie das ERG 911S. Die Sattelhöhe und die Höhe des Lenkers wurden für jeden Probanden individuell angepasst. Der Sattel wurde so eingestellt, dass bei gestrecktem Bein die Fußsohle bequem auf dem durchgetretenen Pedal auflag. Die Probanden wurden angewiesen, fortlaufend eine Trittfrequenz von 70-80/min einzuhalten.



Abbildung 12 Fahrradergometer ERG 911S

In der Bad Schönborn-Studie (Studie 1) wurde das gewichtsbezogene Belastungsprotokoll analog der Durchführung im Motorik-Modul (vgl. Bös et al., 2009) verwendet. Die Anfangslast beträgt hierbei die Hälfte des Körpergewichts in Watt und um diese Wattzahl wurde die Belastung alle 2 Minuten gesteigert ($1/2 \text{ W/kg} - 1/2 \text{ W/kg} - 2 \text{ min}$). In der Nagold-Studie und der PWC_{170} Studie (3 und 5) erfolgte die Belastungssteigerung anhand des WHO-Belastungsprotokolls. Die Anfangslast beträgt hierbei 25 Watt und diese wird alle 2 Minuten um 25 Watt gesteigert. Nach Beendigung des Tests folgte eine Nachbelastung von 2 bis 3 Minuten bei niedriger Wattzahl zur aktiven Erholung.

Die Messung des PWC_{170}

Die PWC_{170} wurde mit einem Fahrradergometer erfasst. Die Herzfrequenz wurde mit codierten Polaruhren durchgängig erfasst. Zu Beginn der Messung wurde der Ruhepuls der Probanden im Sitzen notiert und auf Kommando mit der ersten Wattstufe gestartet. Alle zwei Minuten wurde die zu tretende Wattzahl je nach Belastungsprotokoll erhöht. Kurz vor Ende der jeweiligen Stufe, wurden Herzfrequenz und Wattzahl notiert. Der Test wurde solange durchgeführt, bis die Probanden eine Herzfrequenz von 180 Schlägen pro Minute erreichten.

VO₂max-Messung

Die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme erfolgte mit dem Spiroergometrie-System Metasoft 3.



Abbildung 13 Spiroergometriegerät Meta Max 3B und Fahrradergometer ERG 911S

Die Eichung des Testgerätes erfolgte nach Herstellerangaben der Firma Cortex mittels Druck-, Gas- und Volumenkalibration. Zudem wurde stets darauf geachtet, dass der Raum, in dem die Spiroergometrie stattfand, stets gut belüftet war (Fenster, Ventilatoren), da auch die Umgebungsbedingungen und Einflussfaktoren (wie bspw. Raumtemperatur, keine beengende Kleidung, Erkrankungen sowie keine großen sportlichen/anstrengenden Aktivitäten vor der Testung) beachtet werden sollten.

Die Testperson wurde vor Beginn der Durchführung manuell im Spiroergometrie-System Metasoft 3 erfasst. Neben der richtigen Einstellung des Fahrradergometers auf die Größe des Probanden wurde gleichzeitig die passende Maskengröße mittels Anpassung ermittelt. Über die Maske werden die Ventilations- und Atemgas-Parameter aufgenommen. Wichtig hierbei ist die Beachtung eines luftundurchlässigen Abschlusses der Maske (Dichtigkeitsprobe), damit die Ergebnisse der Atemgasanalyse nicht verfälscht werden.

4.2.2.4 Untersuchungsmaterialien

Im Folgenden werden die Materialien aufgelistet, die zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Testaufgaben benötigt wurden. Als Fahrradergometer wurde das Modell ERG 911S von der Herstellerfirma Ergosana verwendet. Durch eine

flexible Steuertechnik konnte über den Fahrradcomputer für beide Testprotokolle die Belastungsdauer, Belastungsintensität und Belastungssteigerung manuell eingegeben werden. Die Atemgasmessung erfolgte mit dem Spiroergometriegerät MetaMax 3B der Firma Cortex.

Zudem sind spezielle Materialien für die Laktatmessung (Kapillarblutabnahme) wie Finalgonsalbe, Lanzetten, heparinisierte Mikrobehälter und Kapillarröhrchen verwendet worden.

Tab. 23 Überblick über die verwendete Testmaterialien und deren Verwendungszweck

Material	Verwendung
Brustgurte & Pulsuhr (Firma Polar)	Messung und Kontrolle der Herzfrequenz
Einverständniserklärungen (Fahrradergometrie, Spiroergometrie, Laktat)	Einholen des Einverständnisses von Eltern/ Erziehungsberechtigten
Fahrradergometer ERG 911S (Firma Ergosana)	Durchführung der Fahrradergometrie
Materialien für die Laktatmessung	Blutabnahme am arterialisierten Ohrläppchen
Laptop	Aufzeichnung, Speicherung der erhobenen Daten
Spiroergometriegerät MetaMax 3B (Firma Cortex)	Messung und Aufzeichnung der am Gasstoffwechsel beteiligten Parameter wie VO_2 , CO_2 , RQ, HF
Personenwaage Seca Robusta	Ermittlung des Körpergewichts

4.2.3 Statistik

Die erhobenen Daten wurden gesammelt und mittels IBM SPSS 20.0 und Microsoft Office Excel 2010 ausgewertet. Verteilungseigenschaften der wichtigsten erfassten Messgrößen wurden durch die Kenngrößen Mittelwert (MW), Standardabweichung (S) beschrieben. Die Korrelationskoeffizienten wurden nach Pearson berechnet. Es wurde ein Signifikanzniveau von $p \leq 0.05$ (signifikant), respektive $p \leq 0.01$ (hoch signifikant) festgelegt. Die Testung auf signifikante Mittelwertunterschiede wurde mittels T-Test für verbundene Stichproben berechnet und bei unabhängigen

Stichproben, je nach vorliegender Bedingung (in Abhängigkeit vom F-Test) mittels T-Test für homogene oder heterogene Varianzen. Für die Berechnung von Mittelwertunterschieden bei mehr als zwei Stichproben wurden Varianzanalysen (einfaktorielle Anova) berechnet.

4.2.4 Stichprobe

Die Daten aus den fünf beschriebenen Teilstudien wurden ausgewertet. Die Tabelle 24 gibt einen Überblick über die Stichprobe und die durchgeführten Ausdauer- und Ausdauer-Verfahren.

Tab. 24 Stichprobenbeschreibung

	Anzahl	Alter (mw)	Größe (mw)	Gewicht (mw)	Ausdauer- test- verfahren
Bad Schönborn-Studie (1) 6-10 Jahre	m = 138	8,7	136,2 cm	31,3 kg	6-Min-Lauf, PWC ₁₇₀
	w = 142	8,4	134,7 cm	30,5 kg	
	ges = 280	8,6	135,5 cm	30,9 kg	
Thüringen-Studie (2) 11-18 Jahre	m = 102	14,3	171,2 cm	58,8 kg	6-Min-Lauf, Shuttle Run
	w = 35	11,5	156,4 cm	43,7 kg	
	ges = 137	13,6	167,4 cm	54,9 kg	
Nagold-Studie (3) 11-17 Jahre	m = 74	13,4		57,8 kg	6-Min-Lauf, Shuttle Run, PWC ₁₇₀
	w = 43	12,6		49,5 kg	
	ges = 117	13,1		54,1 kg	
VO₂max-Studie (4) 11-14 Jahre	m = 23	12,3	158,3 cm	46,7 kg	6-Min-Lauf, Shuttle Run, PWC ₁₇₀ , VO ₂ max
PWC₁₇₀ Studie (5) 7-18 Jahre	m = 41	13,4	162,8 cm	54,5 kg	PWC ₁₇₀ , VO ₂ max
Gesamt	m = 297	11,9	153,1 cm	46,7 kg	6-Min-Lauf, Shuttle Run, PWC ₁₇₀ , VO ₂ max
	w = 218	9,7	139,0 cm	36,2 kg	
	ges = 598	11,09	147,8 cm	42,7 kg	

4.3 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse unterteilt in Altersgruppen und Geschlecht, jeweils für die fünf Teilstudien und für die Gesamtstichprobe dargestellt. Für die Auswertung in Altersgruppen wurden drei Gruppen gebildet. Erstens das mittlere Kindes- oder Grundschulalter (6-10 Jahre), zweitens das späte Kinderalter (11-13 Jahre) und drittens das Jugendalter (14-18 Jahre).

Zu Beginn werden die Ergebnisse in Abschnitt 4.3.1 deskriptiv für die Gesamtstichprobe und die fünf Teilstudien dargestellt. In Abschnitt 4.3.2 werden die in der Einleitung formulierten Forschungsfragen beantwortet:

1. Ist eine aussagekräftige Ausdauermessung bei Grundschulkindern möglich?
2. Wie hoch ist die Kriteriumsvalidität des 6-Minuten-Laufs, des 20m Shuttle Runs und der PWC₁₇₀?
3. Sind die Ergebnisse des 6-Minuten-Laufs, des 20m Shuttle Run und der PWC₁₇₀ miteinander vergleichbar?
4. Welchen Einfluss hat das Geschlecht und das Alter auf die Ergebnisse der Ausdauer-testverfahren 6-Minuten-Lauf, 20m Shuttle Run und PWC₁₇₀?

4.3.1 Deskriptive Darstellung der Ergebnisse

Insgesamt wurden in den 5 Teilstudien 598 Kinder und Jugendliche hinsichtlich ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit getestet. In Tabelle 25 sind Mittelwerte und Standardabweichung der erhobenen Messparameter unterteilt in die drei Altersgruppen und Geschlecht dargestellt.

Tab. 25 Deskriptive Ergebnisse der Gesamtstichprobe

Alter		Jungen			Mädchen		
		N	Mittelwert	S	N	Mittelwert	S
6-10	Größe (cm)	161	136,86	8,88	147	134,54	8,56
	Gewicht (kg)	173	32,35	7,83	154	30,80	7,25
	PWC _{170rel} (W/kg)	160	2,02	0,42	145	1,68	0,37
	6-Minuten Lauf (m)	166	1041	134	156	959	120
	20m Shuttle Run (sec)	30	338,17	123,62	17	268,59	100,38
	VO ₂ max _{rel}	24	46,50	6,31	9	45,11	8,68
	Alter	178	8,90	1,15	156	8,51	1,22
11-13	Größe (cm)	55	153,89	7,72	44	155,64	7,09
	Gewicht (kg)	65	41,41	8,16	57	43,41	8,15
	PWC _{170rel}	30	2,65	0,63	16	1,95	0,50
	6-Minuten Lauf (m)	74	1200	130	57	1093	91
	20m Shuttle Run (s)	68	385,03	136,22	52	304,62	128,35
	VO ₂ max _{rel}	23	52,17	8,91	5	52,80	6,53
	Alter	80	11,65	0,68	57	11,32	0,47
14-18	Größe (cm)	97	177,95	7,09			
	Gewicht (kg)	126	67,56	10,96	21	55,29	8,08
	PWC _{170rel}	49	2,48	0,49	11	1,91	0,50
	6-Minuten Lauf (m)	112	1293	146	21	1100	47
	20m Shuttle Run (s)	109	511,82	124,87	20	334,45	63,20
	VO ₂ max _{rel}	25	47,56	7,85			
	Alter	136	15,72	1,16	21	14,67	0,48

Auffällig ist, dass sich die höchsten Werte für die PWC₁₇₀ und VO₂max von den 11 bis 13-jährigen Probanden erzielt wurden. Beide Messwerte sind als relative Parameter weniger vom Alter beeinflusst als absolute Messparameter, eine Abnahme im höheren Jugendalter ist aber untypisch und deutet auf Besonderheiten der Stichprobe hin.

Ergebnisse Bad Schönborn-Studie (1)

In der Bad Schönborn-Studie wurden 286 Grundschul Kinder mit dem 6-Minuten-Lauf und der PWC₁₇₀ getestet. In Tabelle 26 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die erhobenen Messparameter dargestellt.

Tab. 26 Deskriptive Ergebnisse der Bad Schönborn-Studie (1)

Alter		Jungen			Mädchen		
		N	Mittelwert	S	N	Mittelwert	S
6	Größe (cm)	4	124,00	5,60	6	122,58	8,96
	Gewicht (kg)	4	23,80	3,36	6	22,70	4,21
	6-Minuten Lauf (m)	4	954	99,38	6	873	86,38
	PWC _{170rel}	4	1,83	0,28	6	1,61	0,21
	PWC _{170abs}	4	43,49	8,24	6	36,02	3,28
7	Größe (cm)	21	125,10	6,40	35	128,41	6,14
	Gewicht (kg)	21	23,95	3,39	35	26,91	4,78
	6-Minuten Lauf (m)	21	979	122,12	35	892	99,69
	PWC _{170rel}	21	1,95	0,21	35	1,67	0,33
	PWC _{170abs}	21	46,51	7,01	35	44,65	9,79
8	Größe (cm)	29	134,38	7,20	31	130,89	5,02
	Gewicht (kg)	29	31,22	6,82	31	27,83	4,21
	6-Minuten Lauf (m)	29	1009	135,90	31	949	122,72
	PWC _{170rel}	29	1,93	0,34	31	1,78	0,31
	PWC _{170abs}	29	59,78	15,61	31	49,26	10,60
9	Größe (cm)	38	138,34	5,91	39	137,32	7,17
	Gewicht (kg)	38	31,88	5,72	39	32,19	5,77
	6-Minuten Lauf (m)	38	1020	156,57	39	1000	135,46
	PWC _{170rel}	38	1,93	0,37	39	1,63	0,32
	PWC _{170abs}	38	60,40	11,36	39	52,21	12,57
10	Größe (cm)	45	142,00	6,47	27	143,75	4,82
	Gewicht (kg)	45	35,16	7,34	27	36,11	7,82
	6-Minuten Lauf (m)	45	1075	113,01	27	975	88,59
	PWC _{170rel}	45	1,97	0,39	27	1,57	0,40
	PWC _{170abs}	45	68,72	16,29	27	55,17	12,37

Die Testergebnisse der Bad Schönborn-Studie (1) weisen einen typischen Verlauf für Grundschulkinder auf. Alle Werte steigen von 6 bis 10 Jahre kontinuierlich an. Eine Ausnahme bilden die Werte für den relativen PWC₁₇₀ bei den Mädchen, hier weisen die 8-Jährigen die höchsten Werte auf, sowie die 6-Minuten-Lauf Ergebnisse der 10-jährigen Mädchen, die unter dem Niveau der 9-jährigen Mädchen liegen. Das Leistungsniveau der getesteten Bad Schönborner Grundschulkinder liegt bei dem 6-Minuten-Lauf 0,2 bis 08 Standardabweichungen über den Normwerten des Deutschen Motorik-Test (Bös et al., 2009b) Die Werte der PWC_{170rel} liegen durchweg leicht unter der bundesdeutschen Normwerte des Motorik-Moduls (Bös et al., 2009a).

Der Vergleich mit den Normwerten ist in den Abbildungen 14 und 15 mit Hilfe von Z-Werten dargestellt. Ein Z-Wert von 100 entspricht exakt dem Durchschnitt der Normstichprobe. 10 Z-Wertpunkte entsprechen einer Standardabweichung.

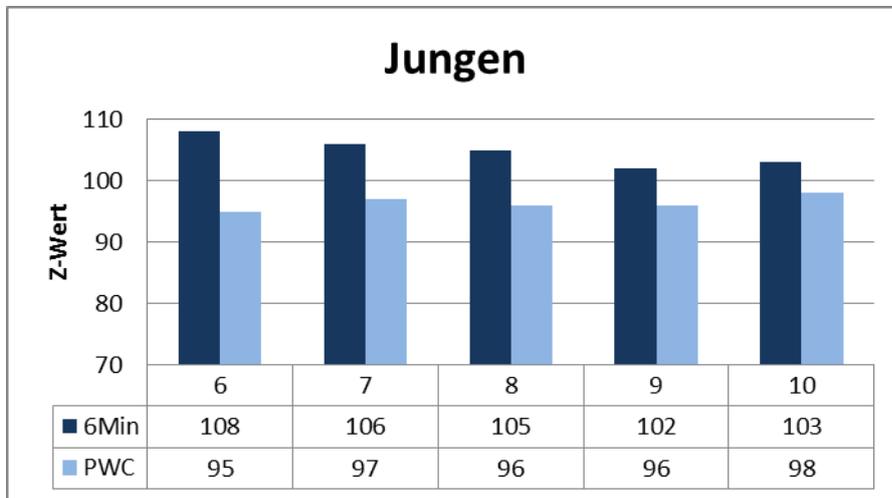


Abbildung 14 Z-Werte der Jungen der Bad Schönborn-Studie (1) nach Alter

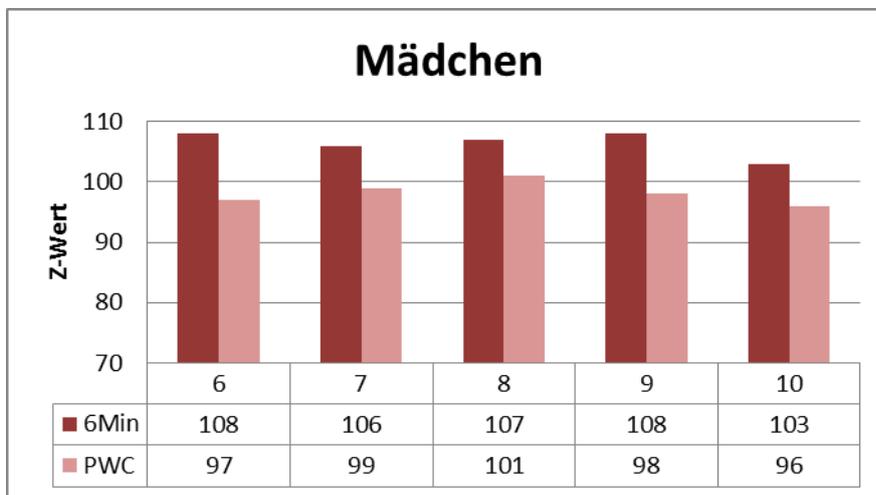


Abbildung 15 Z-Werte der Mädchen der Bad Schönborn-Studie (1) nach Alter

Ergebnisse der Thüringen-Studie (2)

In der Thüringen-Studie (2) wurden 137 Kinder und Jugendliche eines Gymnasiums mit dem 6-Minuten-Lauf und dem 20m Shuttle Run getestet. In Tabelle 27 sind die Mittelwerte und Standardabweichung für die erhobenen Messparameter dargestellt.

Tab. 27 Deskriptive Ergebnisse Thüringen-Studie (2)

Alter		Jungen			Mädchen		
		N	Mittelwert	S	N	Mittelwert	S
11-13	Alter	31	11,68	0,54	35	11,49	0,51
	Größe (cm)	31	155,13	6,93	35	156,40	7,25
	Gewicht (kg)	31	42,00	7,66	35	43,74	7,68
	6-Minuten Lauf (m)	31	1187,52	115,30	35	1104,51	90,56
	20m Shuttle Run (sec)	31	343,19	118,05	35	320,97	99,83
14-18	Alter	71	15,54	1,16			
	Größe (cm)	71	178,18	7,01			
	Gewicht (kg)	71	66,11	10,79			
	6-Minuten Lauf (m)	71	1277,01	151,78			
	20m Shuttle Run (sec)	71	500,13	125,57			

Die Testergebnisse der Thüringen-Studie (2) weisen einen typischen Verlauf für Kinder und Jugendliche auf. Die 11 bis 13-jährigen Jungen sind etwas leistungsfähiger als die Mädchen und die Leistung nimmt mit dem Alter zu. Das Leistungsniveau im 6-Minuten-Lauf liegt durchweg leicht über dem Niveau der Normwerte. Für den 20m Shuttle Run existieren keine bundesweiten Normwerte.

Ergebnisse der Nagold-Studie (3)

In der Nagold-Studie (3) wurden 115 Kinder und Jugendliche eines Gymnasiums in Nagold mit dem 6-Minuten-Lauf, dem 20m Shuttle Run und der PWC₁₇₀ (erhoben auf dem Fahrradergometer mit dem WHO-Protokoll) getestet. In Tabelle 28 sind die Mittelwerte und Standardabweichung für die erhobenen Messparameter, unterteilt in die drei Altersgruppen und Geschlecht, dargestellt.

Tab. 28 Deskriptive Ergebnisse Nagold-Studie (3)

Alter		Jungen			Mädchen		
		N	Mittelwert	S	N	Mittelwert	S
6-10	Alter	17	10,00	0,00	9	10,00	0,00
	Gewicht (kg)	12	42,42	8,04	7	42,30	10,59
	6-Minuten Lauf (m)	16	1086,00	125,03	9	1038,67	87,42
	20m Shuttle Run (sec)	17	267,47	110,20	8	196,75	64,27
	PWC _{170rel}	11	2,17	0,51	7	2,02	0,72
11-13	Alter	18	11,06	0,24	13	11,08	0,28
	Gewicht (kg)	10	39,89	6,25	13	43,98	10,98
	6-Minuten Lauf (m)	18	1159,50	97,63	13	1054,08	89,62
	20m Shuttle Run (sec)	17	313,76	102,88	12	181,58	108,01
	PWC _{170rel}	10	2,42	0,66	12	1,94	0,56
14-17	Alter	39	16,00	0,56	21	14,67	0,48
	Gewicht (kg)	29	70,36	13,41	21	55,29	8,08
	6-Minuten Lauf (m)	39	1326,67	132,09	21	1099,52	46,60
	20m Shuttle Run (sec)	36	536,47	122,71	20	334,45	63,20
	PWC _{170rel}	23	2,34	0,52	11	1,91	0,50

Die Testergebnisse in der Nagold-Studie (3) weisen einen typischen Verlauf auf. Nahezu alle Werte steigen mit dem Alter kontinuierlich an und die Leistung der Jungen ist durchweg höher als die Leistung der Mädchen. Eine Ausnahme bilden wieder die relativen PWC₁₇₀-Werte. Hier weisen bei den Jungen die 11 bis 13-Jährigen die höchsten Werte auf. Bei den Mädchen weisen die Jüngsten die höchsten relativen PWC-Werte auf, die Unterschiede sind jedoch marginal.

Ergebnisse der VO₂max-Studie (4)

In der VO₂max-Studie (4) wurden 23 Jungen zwischen 10 und 14 Jahren mit dem 6-Minuten-Lauf und dem 20m Shuttle Run getestet. Zusätzlich wurde die VO₂max auf dem Fahrradergometer (WHO-Protokoll) getestet. Die Mittelwerte und Standardabweichung der erhobenen Messparameter sind in Tabelle 29 dargestellt.

Tab. 29 Dekriptive Ergebnisse der VO₂max-Studie (4)

	N	Mittelwert	S
Alter	23	12,30	0,97
Größe	16	158,31	7,96
Gewicht (kg)	16	46,70	10,29
6-Minuten Lauf (m)	23	1288	101
20m Shuttle Run (sec)	19	525,00	94,96
VO₂max_{rel}	16	53,94	9,55
VO₂max_{abs}	16	2,49	0,59

Die Werte im 6-Minuten-Lauf liegen deutlich über den Normwerten des Deutschen-Motorik-Tests (Bös et al., 2009a). Der durchschnittliche Z-Wert liegt bei 110, die Leistung liegt damit eine Standardabweichung über dem Durchschnitt der Normstichprobe.

Ergebnisse PWC₁₇₀ Studie (5)

In der PWC₁₇₀-Studie (5) wurden 41 sportlich aktive männliche Kinder und Jugendliche auf dem Fahrradergometer (WHO-Protokoll) getestet. Für die Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit wurden die PWC₁₇₀ und die VO₂max bestimmt. Die Mittelwerte die Standardabweichung der erhobenen Messparameter sind in Tabelle 30 dargestellt.

Tab. 30 Deskriptive Ergebnisse der PWC₁₇₀ Studie (5)

		N	Mittelwert	S
6-10	Alter	11	8,64	1,29
	Größe (cm)	11	137,36	9,39
	Gewicht (kg)	11	30,85	6,09
	PWC _{170rel} (W/kg)	11	2,80	0,33
	PWC _{170abs} (W)	11	86,26	18,51
	VO _{2maxrel}	11	44,09	6,86
11-13	Alter	6	11,83	0,41
	Größe (cm)	6	147,67	4,08
	Gewicht (kg)	6	37,32	3,56
	PWC _{170rel} (W/kg)	6	3,01	0,42
	PWC _{170abs} (W)	6	111,88	15,80
	VO _{2maxrel}	6	46,67	4,13
14-18	Alter	24	15,96	1,65
	Größe (cm)	24	178,29	6,80
	Gewicht (kg)	24	69,60	6,42
	PWC _{170rel} (W/kg)	24	2,61	0,46
	PWC _{170abs} (W)	24	181,28	34,12
	VO _{2maxrel}	23	48,04	8,01

Die Testergebnisse in der PWC₁₇₀-Studie (5) weisen für nahezu alle Messwerte einen typischen Altersverlauf auf. Die absolute PWC₁₇₀ und die relative VO_{2max} steigen mit zunehmendem Alter an. Bei der relativen PWC₁₇₀ weisen die 11 bis 13-Jährigen die höchsten PWC_{170rel} Werte auf. Auffällig ist die große Differenz der PWC_{170rel} zwischen den 11 bis 13-Jährigen (3,01 W/kg) und den 14 bis 18-Jährigen (2,61 W/kg). Der Wert der 14 bis 18-Jährigen liegt dabei sogar unter dem Wert der 6 bis 10-Jährigen (2,80).

Der Vergleich der relativen und absoluten PWC-Werte mit der bundesdeutschen Normstichprobe (Bös et al., 2009a) zeigt, dass die durchschnittlichen Werte der Probanden in allen Altersgruppen weit über der Normstichprobe liegen. Die Werte der 6 bis 10-Jährigen und der 11 bis 13-Jährigen (relativ und absolut) sind weit überdurchschnittlich und liegen über dem Prozentrang von 80. Die absoluten Werte der 14 bis 18-Jährigen sind ebenso weit überdurchschnittlich (> PR 80) und die relativen Werte liegen zwischen Prozentrang 70 und Prozentrang 80.

4.3.2 Formulierte Forschungsfragen

Die auf dem aufgearbeiteten Forschungsstand basierenden und in der Einleitung formulierten Forschungsfragen werden in diesem Kapitel nacheinander mit Hilfe der eigenen Daten beantwortet.

(1) Ist eine aussagekräftige Ausdauermessung bei Grundschulkindern möglich?

In der Analyse des Forschungsstandes wurde festgestellt, dass mit dem 6-Minuten-Lauf, dem 20m Shuttle Run und der PWC₁₇₀ viele Daten im Grundschulalter erhoben werden. Studien zur Validität gibt es für alle drei Testverfahren in dieser Altersgruppe jedoch vergleichsweise wenige. Nahezu keine Daten gibt es zur Validität von 6 und 7-Jährigen.

In den eigenen Studien wurde der 20m Shuttle Run nicht mit Grundschulkindern durchgeführt, da der Schwerpunkt in dieser Altersgruppe auf denen in Deutschland weiter verbreiteten PWC₁₇₀ und 6-Minuten-Lauf lag. Bei der PWC₁₇₀ und dem 6-Minuten-Lauf ist die Datenlage für Grundschulkindern dünn und heterogen. Der PWC₁₇₀ wird überwiegend eine niedrige Validität bescheinigt, dem 6-Minuten-Lauf eine mittelhohe (s. Kapitel 4). In die Beantwortung dieser Forschungsfrage wurden die Daten der Bad Schönborn-Studie (1) und PWC₁₇₀-Studie (5) ausgewertet. In der Bad Schönborn-Studie wurden die PWC₁₇₀ und der 6-Minuten-Lauf in zwei Grundschulen durchgeführt, in der PWC₁₇₀-Studie wurde die Validität der PWC₁₇₀ mit männlichen Jugendlichen zwischen 7 und 18 Jahren mit der VO₂max überprüft, davon waren 12 Probanden jünger als 11 Jahre (7 – 10 Jahre; \bar{x} 8,7 Jahre) und wurden für die Auswertung berücksichtigt.

Die Daten der Bad Schönborn-Studie (1) wurden mittels Korrelationen nach Pearson für die PWC₁₇₀ und den 6-Minuten-Lauf, getrennt nach Alter und Geschlecht, ausgewertet. In Tabelle 31 sind diese Korrelationen dargestellt.

Tab. 31 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für den 6-Minuten-Lauf und die PWC₁₇₀

Alter (N)	Mädchen (n=134)	Jungen (n=131)	Gesamt (n=265)
7 (N=56)	.11	.31	.29*
8 (N=60)	.03	.12	.14
9 (N=77)	.20	.40**	.36**
10 (N=72)	-.06	.61**	.57**
gesamt	.14	.39**	.34**

*p < 0.05; **p < 0.01

Die Korrelationen sind für die Mädchen sowohl gesamt als auch für die einzelnen Altersstufen sehr gering. Für die Jungen sind die Korrelationen niedrig bis mittelhoch. Lediglich für die 9 und 10-jährigen Jungen sind die Korrelationen signifikant ($p < 0.1$). Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden Testverfahren in dieser Altersgruppe nicht das gleiche messen und sind ein Indiz dafür, dass die Ausdauermessung in dieser Altersgruppe problematisch ist.

Die Berechnung der Korrelation zwischen PWC₁₇₀-Leistung und der VO₂max für die 12 männlichen Probanden zwischen 6 und 10 Jahren der Teilstudie 5 ist niedrig ($r = .28$; $p = \text{n.s.}$). In der gleichen Studie wurden auch 29 Probanden zwischen 11 und 18 Jahren untersucht. Bei ihnen ist die Korrelation zwischen PWC₁₇₀ und VO₂max deutlich höher ($r = .50$; $p < .05$)

Die Ergebnisse stützen die Vermutung, dass eine aussagekräftige Messung der Ausdauer im Grundschulalter nur eingeschränkt möglich ist. Es ist anzunehmen, dass die altersspezifischen Ergebnisse vom Leistungsniveau moderiert werden und bei leistungsstarken Grundschulkindern die Ausdauer besser gemessen werden kann, als bei leistungsschwachen Grundschulkindern.

(2) Wie hoch ist die Kriteriumsvalidität des 6-Minuten-Lauf, des 20m Shuttle Run und der PWC170?

Die Validität ist das wichtigste Testgütekriterium und gibt an, ob ein Test das misst, was er messen soll bzw. was er zu messen vorgibt (Bortz & Döring, 2005, S. 200). Sie kann in drei Hauptarten unterteilt werden: Inhaltsvalidität, Konstruktvalidität und Kriteriumsvalidität. Im Folgenden wird die Kriteriumsvalidität der Testverfahren 6-Minuten-Lauf, 20m Shuttle Run und PWC₁₇₀ analysiert. Diese ist definiert als Korrelation zwischen Testwert und Kriteriumswert (ebd, 2005, S. 200). Als Außenkriterium dient im ersten Schritt die VO₂max, im zweiten Schritt werden die Korrelationen mit den jeweils anderen Ausdauer-testverfahren betrachtet. In der Datenanalyse wurden die Daten der VO₂max-Studie und PWC₁₇₀ Studie (4 und 5) berücksichtigt, in diesen beiden Studien wurde die VO₂max mittels Spiroergometrie erhoben.

In der VO₂max-Studie (4) wurde der 20m Shuttle Run, der 6-Minuten-Lauf und eine VO₂max-Messung mit 23 Jungen zwischen 11 und 14 Jahren durchgeführt, in der

PWC₁₇₀-Studie (5) wurde während einer Fahrradergometrie (WHO-Protokoll) die PWC₁₇₀ und die VO₂max bei 41 männlichen Kindern und Jugendlichen zwischen 7 und 18 Jahren gemessen. Die Korrelationskoeffizienten bzw. Validitätskoeffizienten sind in Tabelle 32 dargestellt.

Tab. 32 Übersicht Validitätskoeffizienten nach Pearson für die Daten der Teilstudie 4 und 5

	20m Shuttle Run	PWC _{170rel}	VO ₂ max
6-Minuten-Lauf	.78** (N=19)	.71** (N=12)	.81** (N=16)
20m Shuttle Run		.46 (N=12)	.62* (N=12)
PWC_{170rel}			.43** (N=56)

*p < 0.05; **p < 0.01

Kriteriumsvalidität 6-Minuten-Lauf

Der 6-Minuten-Lauf weist den höchsten Validitätskoeffizienten mit dem Außenkriterium VO₂max auf ($r = .81$; $p < 0.1$). Die Korrelation mit dem 20m Shuttle Run, dem zweiten Lauftest, ist auf einem vergleichbaren Niveau ($r = .78$; $p < 0.1$) und auch die Korrelation mit der PWC₁₇₀ ist nur geringfügig niedriger ($r = .71$; $p < 0.1$).

Dem 6-Minuten-Lauf kann damit eine hohe Kriteriumsvalidität bescheinigt werden. Bemerkenswert ist insbesondere die hohe Korrelation mit der VO₂max und der PWC₁₇₀, da diese auf dem Fahrradergometer erhoben wurden. Die hohen Zusammenhänge zwischen Testaufgaben, die das gleiche Konstrukt mit unterschiedlichen Bewegungsformen messen (Laufen / Fahrradfahren), ist höher zu bewerten, als zwischen Testaufgaben die mit der gleichen Fertigkeit operationalisieren.

Kriteriumsvalidität 20m Shuttle Run

Der 20m Shuttle Run weist mit der VO₂max eine mittelhohe Korrelationen auf ($r = .62$; $p < 0.5$). Mit dem 6-Minuten-Lauf ist die Korrelation hoch ($r = .78$; $p < 0.1$) und mit der PWC₁₇₀ mittelhoch ($r = .46$; n.s.).

Dem 20m Shuttle Run kann damit eine akzeptable Kriteriumsvalidität für 11 bis 14-jährige männliche Probanden bescheinigt werden.

Kriteriumsvalidität PWC₁₇₀

Die PWC₁₇₀ weist mit der VO₂max eine mittelhohe Korrelationen auf ($r = .43$; $p < 0.1$). Mit den weiteren Testverfahren zeigen sich hohe Korrelationen mit dem 6-Minuten-Lauf ($r = .71$; $p < 0.1$) und mittelhohe mit dem 20m Shuttle Run ($r = .46$; n.s.). Die PWC₁₇₀ wurde während der Fahrradergometrie in der gleichen Testsituation wie die VO₂max erhoben. Diese Tatsache mindert den Wert der berechneten Korrelationskoeffizienten.

Zusammenfassend kann dem 6-Minuten-Lauf, sowohl mit der VO₂max als Kriterium als auch den weiteren Ausdauerests als Kriterium die höchste Validität für die getesteten Altersstufen attestiert werden.

(3) Sind die Ergebnisse des 6-Minuten-Laufs, des 20m Shuttle Run und der PWC170 miteinander vergleichbar?

Die Frage nach der Vergleichbarkeit der Ergebnisse der unterschiedlichen Ausdauer-testverfahren wird über Zusammenhangsberechnungen überprüft. Letztendlich soll damit auch geklärt werden, ob die Ausdauerestverfahren alternativ zueinander verwendet werden können.

Für die Beantwortung dieser Forschungsfrage wurden die Daten der Gesamtstichprobe und damit aller fünf Teilstudien analysiert (N = 598).

Tab. 33 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die Gesamtstichprobe

	20m Shuttle Run	PWC _{170rel}	VO ₂ max
6-Minuten-Lauf	.81** (N=295)	.54** (N=369)	.70** (N=46)
20m Shuttle Run		.52** (N=79)	.55** (N=42)
PWC_{170rel}			.43** (N=56)

*p < 0.05; **p < 0.01

Die Zusammenhangsberechnungen zeigt durchweg signifikante mittelhohe bis hohe Korrelationen. Die höchste Korrelation besteht zwischen den beiden Lauftests 20m Shuttle Run und 6-Minuten-Lauf ($r = .81$, $p < 0.1$) gefolgt von der Korrelation zwischen 6-Minuten-Lauf und VO₂max ($r = .70$, $p < 0.1$). Mittelhohe Korrelationen zeigen sich zwischen 6-Minuten-Lauf und PWC₁₇₀ ($r = .54$, $p < 0.1$), zwischen 20m

Shuttle Run und $VO_2\max$ ($r = .55$, $p < 0.1$), zwischen 20m Shuttle Run und PWC_{170} ($r = .52$, $p < 0.1$) und der niedrigste Zusammenhang zwischen PWC_{170} und $VO_2\max$ ($r = .43$, $p < 0.1$).

Im zweiten Schritt werden die Korrelationen für die drei Altersgruppen in Tabelle 34 dargestellt.

Tab. 34 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die Gesamtstichprobe unterteilt in Altersgruppen

	Altersgruppe	20m Shuttle Run	PWC_{170rel}	$VO_2\max$
6-Minuten-Lauf	6-10 Jahre	.56** (N=46)	.35** (N=293)	.53* (N=22)
	11-13 Jahre	.74** (N=120)	.68** (N=40)	.78** (N=22)
	14-18 Jahre	.84** (N=129)	.67** (N=36)	
20m Shuttle Run	6-10 Jahre		.25 (N=18)	.41 (N=22)
	11-13 Jahre		.54** (N=29)	.70** (N=18)
	14-18 Jahre		.70** (N=32)	
PWC_{170rel}	6-10 Jahre			.28 (N=12)
	11-13 Jahre			.36 (N=19)
	14-18 Jahre			.56** (N=25)

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Die altersspezifische Betrachtung zeigt, dass die Korrelationen durchgehend mit zunehmendem Alter höher werden. Die Korrelationen für die 14 bis 18-Jährigen sind durchgängig auf dem Ein-Prozent-Niveau signifikant. Die Korrelationen für die 11 bis 13-Jährigen ebenso, mit Ausnahme der Korrelation zwischen PWC_{170} und $VO_2\max$ ($r = .36$; n.s.). In der Altersgruppe der 6-10-Jährigen sind lediglich die Korrelationen mit dem 6-Minuten-Lauf signifikant. Bei der Interpretation der Signifikanzen sollte immer die Anzahl der Probanden (N) berücksichtigt werden, da der p-Wert direkt von N abhängig ist. Ebenso wird die Höhe der Korrelation (r) von N beeinflusst, da bei steigender Probandenanzahl in der Regel auch die Varianz in den Daten zunimmt und Heterogenität in den Daten korrelative Zusammenhänge begünstigt.

Im dritten Schritt werden die Korrelationen geschlechtsspezifisch in Tabelle 35 dargestellt.

Tab. 35 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die Gesamtstichprobe unterteilt nach Geschlecht

	Geschlecht	20m Shuttle Run	PWC _{170rel}	VO ₂ max
6-Minuten-Lauf	männlich	.82** (N=190)	.59** (N=197)	.43** (N=56)
	weiblich	.67** (N=75)	.24** (N=172)	
20m Shuttle Run	männlich		.51** (N=52)	.62* (N=12)
	weiblich		.33 (N=27)	
PWC_{170rel}	männlich			.44** (N=56)
	weiblich			

*p < 0.05; **p < 0.01

Die geschlechtsspezifische Betrachtung zeigt durchgängig für die männlichen Probanden höhere Korrelationen als bei den weiblichen Probanden. Jedoch muss auch dieses Ergebnis vor der Höhe der Probandenanzahl bewertet werden. In jeder vergleichbaren Zelle sind es weniger weiblich Probanden als männliche Probanden. Eine VO₂max-Messung wurde in keiner der 5 Teilstudien mit weiblichen Probanden durchgeführt. Für die Korrelation zwischen 6-Minuten-Lauf und PWC_{170rel} ist die Anzahl an weiblichen und männlichen Probanden annähernd gleich groß. Jedoch ist auch hier die Korrelation bei den männlichen Probanden mehr als doppelt so hoch wie bei den weiblichen Probanden (r = .59 respektive r = .24). Diese Daten stammen alle von 6 bis 10-Jährigen der Bad Schönborn-Studie (1).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse des 20m Shuttle Run und des 6-Minuten-Laufs gut miteinander vergleichbar sind. Dies gilt insbesondere für die männlichen Probanden und die Gruppe der Jugendlichen. Für die Grundschul Kinder zeigen die Zusammenhangsberechnungen für keine Testverfahren akzeptable Korrelationen, so dass die Ergebnisse der unterschiedlichen Ausdauer-testverfahren in dieser Altersgruppe nicht miteinander vergleichbar sind. Dies ist auch damit erklärbar, dass die Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit in dieser Altersgruppe generell problematisch ist (vgl. Kap. 3). Die Korrelationen der PWC₁₇₀ sind mit beiden Lauf tests (6-Minuten-Lauf und 20m Shuttle Run) auf einen niedrigen Niveau für die Gruppe der 6 bis 10-Jährigen und auf einem mittleren Niveau für

Kinder und Jugendliche über 10 Jahren. Ergebnisse einer PWC₁₇₀-Messung sind daher nicht vergleichbar mit den Ergebnissen des 6-Minuten-Laufs und des 20m Shuttle Run.

(4) Hat das Alter und das Geschlecht einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der Ausdauerstestverfahren 6-Minuten-Lauf, 20m Shuttle Run und PWC₁₇₀?

Einfluss Geschlecht

Der Einfluss des Geschlechts wurde mit Hilfe des T-Tests für unabhängige Stichproben für die drei Altersgruppen überprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 36 dargestellt.

Tab. 36 T-Test für unabhängige Stichproben für Mädchen und Jungen

Alter		Jungen			Mädchen			T-Test	
		N	mw	S	N	mw	S	t	p
6-10	Größe (cm)	149	136,5	9,00	138	134,2	8,61	2,33	.021
	Gewicht (kg)	161	32,31	7,98	145	30,80	7,40	1,85	.065
	PWC _{170rel} (W/kg)	160	2,02	0,42	145	1,68	0,37	7,41	.001
	6-Minuten Lauf (m)	154	1035	135	147	956	121	5,80	.001
	20m Shuttle Run (sec)	18	275	112	8	197	64	1,99	.001
	VO ₂ max _{rel}	12	43,92	6,57					
	Alter	166	8,86	1,17	147	8,44	1,22	3,07	.002
11-13	Größe (cm)	51	154,3	7,83	39	155,9	7,17	-1,16	.249
	Gewicht (kg)	61	41,58	8,21	52	43,56	8,33	-1,35	.180
	PWC _{170rel} (W/kg)	30	2,65	0,63	16	1,95	0,50	3,80	.001
	6-Minuten Lauf (m)	70	1207	127	52	1087	90	5,53	.001
	20m Shuttle Run (sec)	64	384	139	47	285	118	3,29	.001
	VO ₂ max _{rel}	19	54	8,6					
	Alter	76	11,68	0,68	52	11,35	0,48	3,41	.001
14-18	Größe (cm)	97	178,0	7,09					
	Gewicht (kg)	126	67,6	11,0	21	55,3	8,1	4,91	.001
	PWC _{170rel} (W/kg)	49	2,48	0,49	11	1,91	0,50	3,42	.001
	6-Minuten Lauf (m)	112	1292	146	21	1099	47	11,27	.001
	20m Shuttle Run (sec)	109	512	125	20	334	63	9,58	.001
	VO ₂ max _{rel}	25	47,56	7,85					
	Alter	136	15,72	1,16	21	14,67	0,48	7,27	.001

Das Geschlecht hat in jeder Altersgruppe einen signifikanten Einfluss auf die erhobenen Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit. Die männlichen Probanden

weisen in jeder Altersgruppe und in allen Parametern höhere Werte auf. In der Gruppe der 11 bis 13-Jährigen sind die Jungen etwas leichter und kleiner als die Mädchen, trotzdem ist ihre Leistung in jedem Testergebnis signifikant besser als das Ergebnis der Mädchen. Dieses Ergebnis ist theoriekonform.

Einfluss Alter

Der Einfluss des Alters wurde mit einer einfaktoriellen Anova überprüft. Da von den weiblichen Probanden nicht für alle Altersgruppen Daten vorliegen, wurden nur die männlichen Probanden in der Analyse berücksichtigt. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in der Tabelle 37 dargestellt.

Tab. 37 Varianzanalyse (Einfaktorielle Anova) mit Altersgruppen

	6-10 J (mw)	11-13 J (mw)	14-18 J (mw)	df	F	p
Größe	136,5 ± 9,0	154,3 ± 7,9	178,0 ± 7,1	2	746,5	.001
Gewicht	32,3 ± 8,0	41,6 ± 8,2	67,6 ± 11,0	2	529,8	.001
PWC _{170rel}	2,02 ± 0,42	2,65 ± 0,63	2,48 ± 0,50	2	35,2	.001
6-Minuten-Lauf (m)	1035 ± 136	1208 ± 127	1293 ± 146	2	119,7	.001
20m Shuttle Run (sec)	275 ± 112	384 ± 139	512 ± 125	2	37,4	.001
VO _{2maxrel}	43,9 ± 6,6	53,5 ± 8,6	47,6 ± 7,9	2	6,0	.004

Die Altersgruppe hat auf jeden Messparameter einen signifikanten Einfluss. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind weitestgehend identisch, wenn mit den exakten Jahrgängen anstatt der drei Altersgruppen gerechnet wird (siehe Tabelle 38). Auffällig sind die Ergebnisse der VO_{2max} und der PWC_{170rel}, da die mittlere Altersgruppe die höchsten Ergebnisse aufweist. Theoriekonform sind die Unterschiede bei den relativen Parametern deutlich geringer als bei den absoluten Messparametern.

Tab. 38 Varianzanalyse (Einfaktorielle Anova) mit Alter in Jahren

	df	F	p
Größe	14	236,8	.001
Gewicht	14	147,8	.001
PWC _{170rel}	14	9,40	.001
PWC _{170abs}	14	89,15	.001
6-Minuten-Lauf	12	43,41	.001
20m Shuttle Run	9	14,88	.001
VO _{2maxrel}	13	2,00	.032
VO _{2maxabs}	5	16,16	.001

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Geschlecht und das Alter theoriekonform einen starken Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit besitzen.

Das Geschlecht hat in jeder Altersgruppe einen signifikanten Einfluss auf alle Messparameter der Ausdauerestverfahren. Das Alter hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf alle Messparameter.

4.4 Diskussion

In den durchgeführten Studien wurden die drei Ausdauerestverfahren PWC₁₇₀-Ausdauerest auf dem Fahrradergometer, 6-Minuten-Lauf und 20m Shuttle Run mit Kindern und Jugendlichen von 6 bis 18 Jahren durchgeführt. Die VO₂max wurde bei einer Teilstichprobe erhoben und als externes Kriterium für die Überprüfung der Validität verwendet. Die VO₂max als Referenzkriterium ist jedoch – speziell für die Zielgruppe Kinder – nur eingeschränkt aussagekräftig (vgl. Abschnitt 2.3.4). Die erhobenen Daten wurden deskriptiv ausgewertet und anschließend die formulierten Forschungsfragen systematisch beantwortet.

Die Ergebnisse der durchgeführten Studien zeigen, dass die Validität eines Ausdauerestverfahren abhängig von der Altersgruppe ist. Die mit zunehmendem Alter steigenden Korrelationen zwischen den Testverfahren deuten darauf hin, dass die Validität mit dem Alter generell zunimmt. Unter 6 Jahren ist eine aussagekräftige Ausdauerestmessung nicht möglich. Ab 6 Jahren können Ausdauerestverfahren eingesetzt werden, jedoch ist eine valide Messung bei 6 bis 10-jährigen Probanden generell nur eingeschränkt möglich. Dies bestätigen sowohl die eigenen Ergebnisse als auch eine Vielzahl der publizierten Studien (u.a. Lawrenz & Stemper, 2012; Rowland et al., 1993, von Haaren et al., 2011; Vogelaere et al., 1984). Zum einen treten oft motivationale Probleme auf, zum anderen ist die der Messung zugrunde liegende Fertigkeit (Laufen bzw. Radfahren) oft nur unzureichend ausgebildet. Um nicht überwiegend die Vorerfahrung zu testen, sollte bei jungen bzw. ungeübten Probanden das ausdauernde Laufen oder auch der Ausdauerest an sich zuvor geübt werden (vgl. Lawrenz & Stemper, 2012). Nur dann besteht auch bei jungen und laufunerfahrenen Probanden die Möglichkeit, die aerobe Ausdauer aussagekräftig zu messen.

Die Analyse der Zusammenhänge zwischen den Testverfahren zeigte, dass die Vergleichbarkeit der PWC₁₇₀-Ergebnisse (erhoben auf dem Fahrradergometer) mit den Ergebnissen der Lauftests 6-Minuten-Lauf und 20m Shuttle Run nicht hoch ist. Dies ist auf die Vielzahl an unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Ergebnisse der Testverfahren zurückzuführen. Alle Testverfahren haben zwar die Herz-Kreislauf-Leistungsfähigkeit als Basis, allerdings kommen bei den Lauftests insbesondere die Lauftechnik und die Motivation hinzu, die das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Bei

der PWC_{170} haben vor allem die maximale Herzfrequenz und der Trainingszustand der beanspruchten Muskulatur einen signifikanten Einfluss auf das Testergebnis.

Die nach Altersgruppen getrennte Korrelationsmatrix verdeutlicht, dass für die 6 bis 10-Jährigen lediglich der 6-Minuten-Lauf empfohlen werden kann. Die Testdurchführung ist einfach und die muskulären Voraussetzungen für das Laufen sind in der Regel nicht leistungslimitierend. Die Durchführung des 20m Shuttle Run scheint für die Kinder zu komplex zu sein und die PWC_{170} (erhoben auf dem Fahrradergometer) hat vor allem bei Kindern zwei große messmethodische Probleme: Erstens fehlen den Kindern oft die muskulären Voraussetzungen um ihr Herz-Kreislauf-System adäquat zu belasten (Faude et al., 2004, S. 235). Zweitens ist die Varianz der maximalen Herzfrequenz bei Kindern höher als bei Jugendlichen oder Erwachsenen. Da die PWC_{170} signifikant mit der maximalen Herzfrequenz zusammenhängt - höhere HF_{max} -Werte führen zu niedrigeren PWC_{170} -Werten - beeinträchtigt dies die Vergleichbarkeit von PWC_{170} -Werten. Wird die VO_2max als externe Referenzgröße herangezogen, zeigt der 6-Minuten-Lauf auch für die 11 bis 14-Jährigen die höchsten Korrelationen ($r = .81$, $p < .01$). Mittelhohe Zusammenhänge zeigen sich mit dem 20m Shuttle Run ($r = .61$, $p < .05$) und der PWC_{170} ($r = .66$, $p < .01$).

Daraus kann gefolgert werden, dass die PWC_{170} geeignet ist für eine Grobeinschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit ab 11 Jahren. Für eine differenzierte Bewertung von homogenen Leistungsgruppen ist die PWC_{170} jedoch zu unpräzise und wird von einer Vielzahl von Störquellen beeinflusst. Für eine differenzierte Bewertung sind der 6-Minuten-Lauf und der 20m Shuttle Run besser geeignet. Der 20m Shuttle Run hat Vorteile bei älteren Jugendlichen und leistungsstarken Probandengruppen. Der 6-Minuten-Lauf ist – unter anderem aufgrund der einfacheren Testdurchführung – bei jüngeren Probanden unter 14 Jahren besser geeignet.

Tabelle 39 veranschaulicht die Eignung der drei Ausdauer-testverfahren bezogen auf die unterschiedlichen Altersgruppen.

Tab. 39 Eignung hinsichtlich unterschiedlicher Altersgruppen

	6-10 Jahre	11-13 Jahre	14-17 Jahre
6-Minuten-Lauf	+	++	0
20m Shuttle Run	-	+	++
PWC₁₇₀	-	0	+

-- vollkommen ungeeignet, - ungeeignet, 0 mäßig geeignet, + gut geeignet, ++ sehr gut geeignet

Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile der drei Testverfahren zusammengefasst und Empfehlungen für die Durchführung gegeben.

4.4.1 Bewertung PWC₁₇₀

Die PWC₁₇₀ ist ein submaximaler Belastungsparameter und dadurch motivationsunabhängig. Durch die fehlende Ausbelastung der Probanden kann die Ausdauerleistungsfähigkeit mit der PWC₁₇₀ nur mäßig genau bestimmt werden. Je jünger die Probanden sind, desto gravierender wirkt sich dieses Problem aus, da die maximale Herzfrequenz mit zunehmendem Alter sinkt. Dies bestätigen auch die in der Literatur recherchierten Validitätskoeffizienten, mit zunehmendem Alter steigt die Validität der PWC₁₇₀ (vgl. Abschnitt 4.5.2). Für Probanden unter 10 Jahren scheint eine valide Ausdauerermessung mit dem Kriterium PWC₁₇₀ nicht möglich (vgl. u.a. Petzl et al., 1988; Rowland et al., 1993). Das bestätigen auch die Ergebnisse der eigenen Untersuchung (Studie 1). Aufgrund eines häufig nicht linearen Frequenzanstieges und der individuell bedingten Variabilität der maximalen Herzfrequenz, lässt sich die maximale Sauerstoffaufnahme aus submaximaler Herzfrequenz und Leistungswerten nur mit einem Variationskoeffizienten von 10 bis 15 % genau berechnen (Shephard, 1993, S. 195). Die Ausdauerleistungsfähigkeit von homogenen Probandengruppen lässt sich mit der PWC₁₇₀ nicht differenziert bewerten. Zu diesem Ergebnis kamen auch bereits Mocellin und Bastanier (1976, S. 225). Sie stellten mit 17 bis 18-jährigen Probanden fest, dass eine zuverlässige Rangzuordnung mithilfe der PWC₁₇₀ nicht möglich ist.

Die allgemeinen Vorteile einer Fahrradergometrie sind der geringe Raumbedarf und die einfache Messung weiterer Parameter (z.B. Laktat oder Blutdruck) sowie die gute

Abstufbarkeit und Reproduzierbarkeit der Belastung (Hollmann et al., 2006, S. 40). Der spezielle Vorteil der PWC_{170} ist ihre Motivationsunabhängigkeit. Als submaximaler Parameter müssen sich Probanden nicht maximal belasten und das Risiko einer Überbelastung ist dadurch minimal.

Die Nachteile der Fahrradergometrie, die sich auch auf die PWC_{170} -Ergebnisse auswirken, sind die Abhängigkeit von der beanspruchten Muskulatur, den verwendeten Geräten und dem Belastungsprotokoll. Nur bei adäquaten muskulären Voraussetzungen lässt sich das Herz-Kreislauf-System so weit belasten, dass Rückschlüsse auf die Ausdauerleistungsfähigkeit gezogen werden können. Vor allem Kindern fehlen oft die muskulären Voraussetzungen mit der Folge einer vorzeitigen Ermüdung der Beinmuskulatur. Ein weiteres Problem bei der Arbeit mit Kindern stellen die verwendeten Geräte dar. Es gibt kaum kindgerechte Ergometer. Zwar sind die meisten Fahrradergometer höhenverstellbar und es gibt alternativ Pedalverkürzungen, aber eine optimale kindgerechte Sattel-, Lenker-, Sitz- und Pedalposition bei handelsüblichen Fahrradergometern, ist bei jüngeren oder kleineren Kindern kaum möglich. Dabei spielt die richtige Einstellung von Sattel, Pedal und Lenker eine wichtige Rolle und kann sich durchaus als leistungslimitierender Faktor negativ auf die Ergebnisse auswirken (Hollmann & Strüder, 2009). Die Abhängigkeit vom verwendeten Belastungsprotokoll (vgl. Abschnitt 4.5.1) macht die Verwendung von einheitlichen Protokollen notwendig um interindividuelle Vergleich zu ermöglichen. Für Kinder und Jugendliche ist das WHO-Protokoll (25W - 25W - 2min) zu empfehlen. Probanden ab 40kg Körpergewicht werden damit adäquat belastet (vgl. Gruse, 2013). Die Stufendauer von 2 Minuten wurde auch in einer weiteren Studie als optimal bewertet (Bland et al., 2011). Einziger Nachteil des WHO-Protokolls ist, dass die Testdauer für leistungsstarke Probanden über 20 Minuten betragen kann. Kinder unter 10 Jahren sind in der Regel leichter als 40kg. Für sie gibt es die Alternative des angepassten WHO-Protokolls (15W - 15W - 2min) (vgl. Gruse, 2013) oder ein gewichtsbezogenes Belastungsprotokoll (1/2 W/kg - 1/2 W/kg - 2min), wie es in der Baseline der Motorik-Modul-Studie verwendet wurde (Bös, 2009a, S 94).

Mit dem PWC_{170} -Ausdauerstest lässt sich die Ausdauerleistungsfähigkeit von Erwachsenen und Jugendlichen hinreichend genau bestimmen. Der Test hat jedoch zwei entscheidende Nachteile: Er ist abhängig von den muskulären Voraussetzungen und der maximalen Herzfrequenz. Kinder sind von diesen Nachteilen

aufgrund ihrer Physiologie stärker betroffen. Deshalb ist der PWC₁₇₀-Ausdauerstest für die Bewertung der Ausdauer von Kindern bis zu 10 Jahren nicht gut geeignet.

4.4.2 Bewertung 6-Minuten-Lauf

Der 6-Minuten-Lauf ist ein Lauftest mit gleichförmiger Belastung und wurde auf Basis des 12-Minuten-Laufes (Cooper-Test) modifiziert und an die Anforderungen der Ausdauerdiagnostik bei Heranwachsenden angepasst. Die optimale Dauer eines Ausdauerstests wird bei Kindern und Jugendlichen in der Literatur kontrovers diskutiert. Je länger die Laufbelastung ist umso höher sind die Anteile der aeroben Energiebereitstellung. Allerdings stellt sich bei Kindern die Herausforderung, Demotivation und Monotonie zu umgehen. Bei einer 6-minütigen Belastungsdauer überwiegen die aeroben Anteile der Energiebereitstellung (Neumann et al., 2001, S. 159). Der 6-Minuten-Lauf ist als Ausdauerstest für Kinder und Jugendliche in Deutschland etabliert und wird vielfach eingesetzt.

Die standardisierte Durchführung erfolgt in der Turnhalle um das Volleyballfeld (vgl. Bös et al., 2009b), der 6-Minuten-Lauf kann auch im Freien auf der 400-m-Laufbahn durchgeführt werden. Die Testergebnisse sind jedoch nicht miteinander vergleichbar. Büchele (2013) untersuchte den Einfluss der Laufstrecke (400-m-Laufbahn vs. Volleyballfeld) auf die Ergebnisse beim 6-Minuten-Lauf mit 42 Viertklässlern (Durchschnittsalter 10 Jahre) und 45 Studenten (Durchschnittsalter 21 Jahre). Altersunabhängig erzielten die Probanden auf der 400-m-Laufbahn im Durchschnitt um 7 % bessere Ergebnisse.

Die eigenen Untersuchungen zeigen, dass der 6-Minuten-Lauf das einzige Testverfahren ist, das Grundschulkindern problemlos absolvieren können. Die Korrelationskoeffizienten mit der VO₂max waren für Grundschulkindern mittelhoch ($r = .53$, $p < .01$) und für die 11 bis 13-Jährigen hoch ($r = .78$, $p < .01$). In der Literatur finden sich für Kinder (6-14 Jahre) vergleichbare Angaben zur Validität (vgl. Abschnitt 4.6.2). Mit den 14 bis 18-Jährigen wurde die VO₂max nicht erfasst. Mit dem 20m Shuttle Run zeigen sich insgesamt hohe Zusammenhänge ($r = .84$, $p < .01$) und mittelhohe mit der PWC₁₇₀ ($r = .67$, $p < .01$). In der Literatur finden sich keine Angaben zu Gütekriterien von über 14-Jährigen, da in diesem Alter fast ausschließlich alternative Testverfahren wie der Cooper-Test oder der 20m Shuttle Run durchgeführt werden. Der 6-Minuten-Lauf ist ein aussagekräftiges Testverfahren für

die Messung der Ausdauerleistungsfähigkeit für Kinder des mittleren und späten Kindesalters. Wie bei dem 20m Shuttle Run ist es jedoch zwingend notwendig, dass die Probanden ausreichend Lauferfahrung besitzen. Für ältere und leistungsstärkere Probanden ist die Durchführung des 6-Min-Laufes in der Sporthalle kritisch zu bewerten. Aufgrund der höheren Laufgeschwindigkeit sind die Kurvenradien beim Lauf um das Volleyballfeld zu eng und es kommt zu hohen Fliehkräften die sich negativ auf die Ergebnisse auswirken.

4.4.3 Bewertung 20m Shuttle Run

Der 20m Shuttle Run wurde Anfang der Achtziger Jahre von Luc Léger entwickelt (Léger & Lambert, 1982, S. 2). Der Test ist heute weit verbreitet und wird im Bereich der Ausdauerdiagnostik von Heranwachsenden häufig verwendet. Vor allem im anglo-amerikanischen Raum wird er zur Beurteilung der aeroben Ausdauer vielfach eingesetzt. Im Gegensatz zum 6-Minuten-Lauf ist die Belastung beim 20m Shuttle Run nicht gleichmäßig, sondern ansteigend und stufenförmig. Die Belastung ähnelt damit einer Laufbanduntersuchung. Der 20m Shuttle Run gilt daher als eine gute material- und kostengünstige Alternative zu Labortests, da anhand seiner Ergebnisse relativ zuverlässig auf die maximale Sauerstoffaufnahme geschlossen werden kann (vgl. Rowland, 2007, S. 10).

Die Ergebnisse der eigenen Datenerhebung zeigen für die 6 bis 10-Jährigen und die 11 bis 13-jährigen mittelhohe Zusammenhänge mit der $VO_2\text{max}$ ($r = .41$, n.s. und $r = .70$, $p < .01$). Für die Gruppe der 14 bis 18-Jährigen wurden keine Vergleichsdaten mit der $VO_2\text{max}$ erhoben. Es zeigen sich jedoch sehr hohe Zusammenhänge mit dem 6-Minuten-Lauf für die 14 bis 18-Jährigen ($r = .84$; $p < .01$). Dies zeigt, dass die beiden Lauftests 6-Minuten-Lauf und 20m Shuttle Run vergleichbare Ergebnisse liefern und gegenseitig alternativ eingesetzt werden können.

Die mit dem Alter steigenden Korrelationen mit einem Außenkriterium (z.B. einem anderen Ausdauerterst oder der $VO_2\text{max}$) decken sich mit Angaben aus der aktuellen Literatur. Mayorga-Vaga und Kollegen analysierten in ihrer Meta-Analyse 57 Studien hinsichtlich der Validität des 20m Shuttle Run. Die Autoren bescheinigen dem 20m Shuttle Run eine mittlere bis hohe Kriteriumsvalidität mit dem Kriterium $VO_2\text{max}$ ($r = .66 - r = .84$). Unter Berücksichtigung weiterer Variablen wie Alter, Geschlecht und

BMI werden die Korrelationen noch höher; durchschnittlich $r = .94$ für Erwachsene und $r = .78$ für Kinder (Mayorga-Vega et al., 2015).

Bei der Testdurchführung zeigte sich, dass jüngere Kinder Probleme mit der Durchführung haben. Sie haben Probleme, die steigende Geschwindigkeit korrekt einzuschätzen. Auch wenn begleitende Tempoläufer zur Orientierung der Probanden eingesetzt wurden, hatten einige Kinder Probleme, die 20-m-Bahnen in einem gleichmäßigen Tempo zu absolvieren. Probanden müssen daher über ausreichend Lauferfahrung verfügen, um den 20m Shuttle Run absolvieren zu können. Bei Probanden mit wenig Lauferfahrung – das sind in der Regel junge Probanden – ist ein vorheriges Üben der Testdurchführung zu empfehlen. Nur wenn die Testdurchführung von den Probanden beherrscht wird, besteht die Möglichkeit, mit dem 20m Shuttle Run die Ausdauer valide zu testen. Zudem zeigte sich bei der Testdurchführung häufig das Phänomen, dass die Probanden oft in Gruppen oder sogar alle gleichzeitig den Test beendeten. Sobald der erste Proband dem vorgegebenen Tempo nicht mehr folgen konnte und den Test abbrechen musste, beendeten unmittelbar darauf weitere Probanden den Test.

In der Endphase des 20m Shuttle Run müssten sich die Probanden maximal belasten um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Die Ergebnisse des 20m Shuttle Run sind daher aufgrund seines intermittierenden Charakters sehr stark motivationsabhängig.

Für Spielsportler wurden mittlerweile Varianten entwickelt, wie der Yo-Yo Intermittent Test oder der 30-15 Intermittent Fitness Test. Der Yo-Yo Intermittent Test wurde für Kinder modifiziert (modified YoYo IR1) und in einer Studie auf Gütekriterien für 6 bis 9-Jährige geprüft ($n = 32$). Die Ergebnisse bestätigen ihm eine gute Validität ($r = .69$ mit $VO_2\max$) und Test-Retest-Reliabilität ($r = .88$) (Ahler, Bendiksen, Krstrup, & Wedderkopp, 2012).

4.4.4 Ausdauer testverfahren im Schulsport

Wenn es um Ausdauer testverfahren von Kindern und Jugendlichen geht, ist der Schulsport das Anwendungsfeld mit der höchsten Probandenverfügbarkeit. Die Schule ist die einzige Institution, in der bundesweit alle Kinder und Jugendliche verfügbar sind und damit auch ein beliebtes Setting für die Durchführung von wissenschaftlichen Studien.

Die Sinnhaftigkeit motorischer Testverfahren im Allgemeinen auf Basis des fähigkeitsorientierten Ansatzes wird derzeit in der Sportwissenschaft jedoch kontrovers diskutiert (Hummel & Borchert, 2015). Befürworter verweisen auf den Voraussetzungscharakter von motorischen Fähigkeiten für nahezu alle Bewegungshandlungen (Worth, Albrecht, Wagner & Oberger, 2012), Gegner fordern eine stärkere Kompetenzorientierung im Sportunterricht und halten das Testen von motorischen Fähigkeiten im Sportunterricht für überflüssig (Hermann & Gerlach, 2014).

Von dieser Diskussion weitestgehend unberührt ist die Relevanz von Ausdauer-Testverfahren. Das Testen der motorischen Fähigkeit Ausdauer ist in hohem Maße akzeptiert und im Sportunterricht gängige Praxis. Dies ergibt sich zum einen aus der hohen gesundheitlichen Relevanz der aeroben Ausdauer, den vielfältigen Transferwirkungen der Ausdauer und der Nähe zu leichtathletischen Laufdisziplinen der Mittelstrecke (800 m, 1000 m, 3000 m).

Dass die Ausdauer im Sportunterricht getestet werden sollte ist unstrittig. Die Frage lautet daher, wie sich die Ausdauer aussagekräftig messen lässt. Aus ökonomischen Gründen scheiden aufwendige sportmedizinische Testverfahren aus. Daher kommen sowohl aus ökonomischen als auch aus inhaltlichen Gesichtspunkten nur Lauftests für die Anwendung im Sportunterricht infrage. Für Grundschul Kinder sollte der 6-Minuten-Lauf das Mittel der Wahl sein, für ältere Kinder und Jugendliche sind der 12-Minuten Lauf und der 20m Shuttle Run geeignete Alternativen.

Ausdauer-Testverfahren können zur Bewertung des Ist-Zustandes und zur Notengebung, oder zur Überprüfung von Ausdauer-Trainingsprogrammen verwendet werden. Neben der Leistungsbewertung besteht die Möglichkeit, mithilfe der Testverfahren den Schülerinnen und Schülern anschaulich theoretisches Wissen zu vermitteln. Die durch motorische Tests erhaltenen Informationen zur eigenen motorischen Leistungsfähigkeit ermöglichen es, die eigene Leistung zu verstehen und einschätzen zu können.

Aus pädagogischer Sicht ist es sinnvoll, intraindividuelle Vergleiche in den Vordergrund zu stellen. Diese bieten auch leistungsschwachen Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit bei Leistungsverbesserungen positive Rückmeldungen zu erhalten.

5 Zusammenfassung und Fazit

Die Bewertung von Ausdauer-testverfahren steht im Mittelpunkt dieser Arbeit. Dafür wurde im theoretischen Teil der Arbeit der Begriff Ausdauer definiert und die unterschiedlichen Ausdauerarten beschrieben. Die Ausdauer kann sehr weit gefasst werden. Der gemeinsame Nenner aller Definitionen ist das Merkmal „Widerstand gegen Ermüdung bzw. Ermüdungswiderstandsfähigkeit“ (u.a. Grosser & Zintl, 1989; Schnabel et al., 2011; Hohmann et al., 2014). Ein weiterer, oft genannter Aspekt ist die schnelle Regeneration nach Belastung. Vereinfacht wird die Ausdauer daher als *psychische und physische Ermüdungswiderstandsfähigkeit plus rasche Wiederherstellungsfähigkeit* definiert (Zintl & Eisenhut 2004, S. 30).

Der Bereich der Ausdauerleistungsfähigkeit und seiner Erfassung ist seit Jahrzehnten ein Schwerpunkt sportwissenschaftlicher und sportmedizinischer Untersuchungen. Zur Systematisierung der Ausdauer hat sich die Unterscheidung in die Belastungszeit (Kurzzeit, Mittelzeit, Langzeit), in die Energiebereitstellung (aerob vs. anaerob), in den Umfang der beteiligten Muskulatur (allgemein vs. lokal) sowie nach der Belastungsform (dynamisch vs. statisch) etabliert (vgl. Bös & Mechling, 1983; Hollmann & Strüder, 2009). Die allgemeine dynamische aerobe Ausdauer ist wichtigste Zielgröße von Ausdauer-testverfahren. Die Testverfahren zur Messung der anaeroben Ausdauer spielen eine untergeordnete Rolle und sind in der Regel nur in leistungssportlichen Settings relevant (vgl. Abschnitt 4.2.1).

Die Ausdauerleistungsfähigkeit gilt als gesundheitsrelevanteste motorische Fähigkeit. Insbesondere die aerobe Ausdauer ist ein aussagekräftiger Prädiktor für die Gesundheit (u.a. Kaminsky et al., 2013; Kodama et al., 2009; Ortega, et al., 2008). Für eine gezielte Förderung der Ausdauer ist es wichtig, die Ausdauerleistungsfähigkeit möglichst präzise diagnostizieren zu können. Dafür werden geeignete Ausdauer-testverfahren benötigt. Als Bruttokriterium für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit gilt die maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit ($VO_2\max$) (Hollmann & Strüder, 2009, S. 371).

Die $VO_2\text{max}$ ist daher eine wichtige sportmedizinische Messgröße, die die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems in einem Wert zusammenfasst. Sie hat einen hohen Voraussetzungscharakter für die Erbringung von definierten Ausdauerleistungen. Allerdings eignet sie sich nicht für differenzierte Diagnosen, insbesondere innerhalb homogener Personengruppen. Die gängige Praxis, die $VO_2\text{max}$ als alleiniges Kriterium für Validierungsstudien zu verwenden (u.a. Liu et al., 1992; Matsuzaka et al., 2004; Rowland et al., 1993; von Haaren et al., 2011), ist vor allem im Kindes- und Jugendalter kritisch zu bewerten. Die Relevanz der $VO_2\text{max}$ für die Leistungsbeurteilung wird in Abschnitt 2.3.3 ausführlich diskutiert.

Ausdauerestverfahren können eingeteilt werden in motorische Testverfahren und in sportmedizinische Testverfahren. Bei sportmotorischen Tests wird die Ausdauerleistungsfähigkeit über Fertigkeiten erschlossen. Sportmotorische Testverfahren messen physiologische Parameter der Herz-Kreislauf-Leistung. Die Herz-Kreislauf-Leistung ist zwar eine maßgebliche Voraussetzung für die Ausdauerleistungsfähigkeit, für eine Ausdauerleistung spielen jedoch noch weitere Faktoren, wie die Bewegungsökonomie, der Trainingszustand der beanspruchten Muskulatur, die Lauferfahrung sowie die Motivation eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund kann beispielsweise ein ermittelter $VO_2\text{max}$ -Wert eine Ausdauerleistung lediglich grob prognostizieren. Andersherum kann eine Leistung im Ausdauerest die $VO_2\text{max}$ oder andere kardiopulmonale Parameter nur mäßig genau beschreiben. Dieser Sachverhalt muss bei der Interpretation von sportmedizinischen und sportmotorischen Testverfahren berücksichtigt werden. Er ist in Abbildung 16 anschaulich dargestellt.

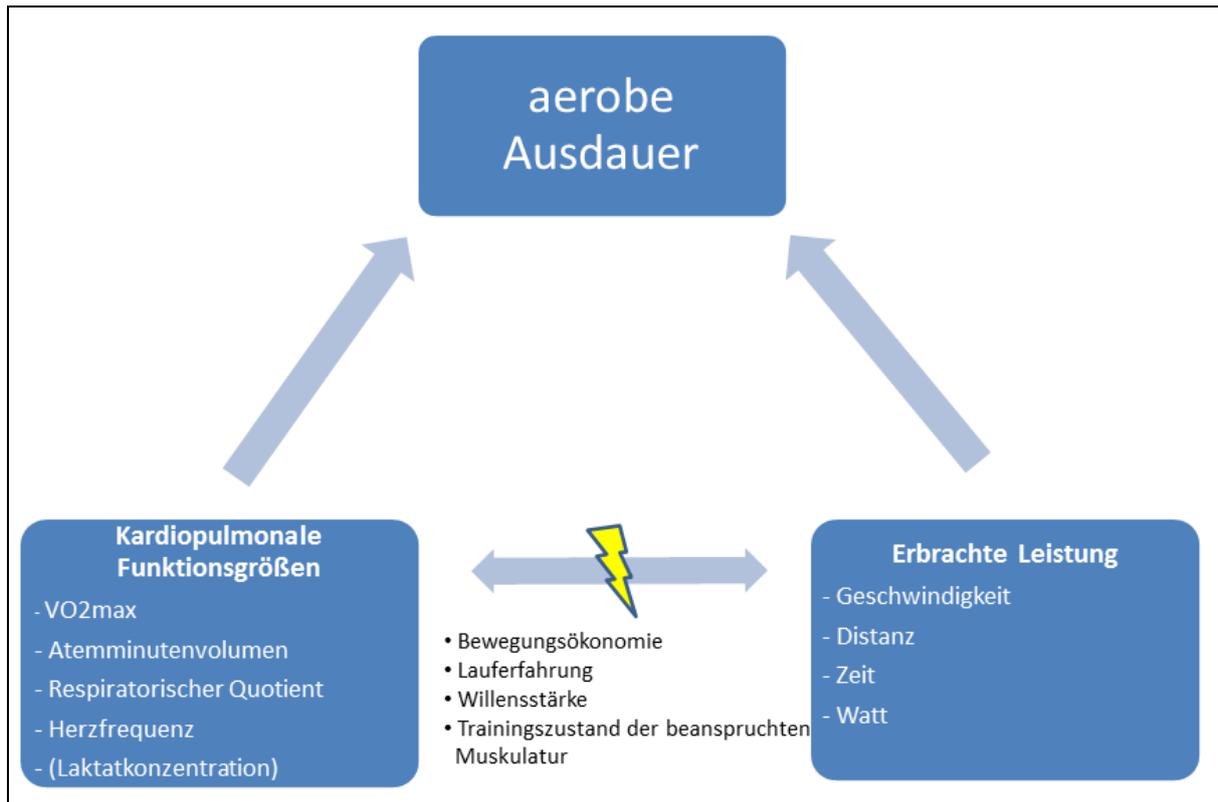


Abbildung 16 Zusammenhang von Leistungswerten, kardiopulmonalen Funktionsgrößen und aerober Ausdauer

Welches Ausdauerwertverfahren die aussagekräftigsten Ergebnisse liefert, ist immer abhängig von der Fragestellung und den Merkmalen der Probanden. Unstrittig ist, dass die Kombination von mehreren Messparametern die aussagekräftigsten Ergebnisse liefert. Als Goldstandard gilt die Kombination aus VO₂max-Messung und Laktatmessung mit den Leistungsdaten (Watt oder Geschwindigkeit) bei einer Ausbelastung auf einem Laufband oder Fahrradergometer. Mit diesen Werten kann die Ausdauerleistungsfähigkeit präzise und umfassend bewertet werden. allerdings ist solch eine sportmedizinische Untersuchung sehr zeit- und kostenintensiv. Dem Bewertungsergebnis einer kombinierten sportmedizinischen Untersuchung möglichst nahezukommen, ist das Ziel von sportmotorischen Testverfahren.

Lauftest vs. Fahrradergometrie

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung zeigten, dass die Ergebnisse von Lauftests mit den Ergebnissen einer Fahrradergometrie nur eingeschränkt miteinander vergleichbar sind. Generell sprechen viele Argumente für Lauftests zur Messung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Der generelle Vorteil der Lauftests ist die hohe Praktikabilität. Bei allen Tests hat die Aufgabenstruktur oder verwendete

Vortriebstechnik einen großen Einfluss auf die Tests. Speziell für Kinder ist das Laufen die alltagsspezifischste Bewegung. Je besser sie die Technik beherrschen, desto valider kann mit Lauftests die Ausdauer gemessen werden. Für Lauftests spricht zudem die Tatsache, dass das Gewicht durch die Aufgabenstruktur bereits angemessen berücksichtigt wird. Schwerere Probanden müssen ihr Gewicht bei jedem Schritt tragen. Dadurch können Leistungszunahmen nicht mit der größeren Körpermasse erklärt werden, wie beispielsweise bei Fahrradergometrien.

Tab. 40 Überblick Ausdauer-testverfahren

Testverfahren	Zielgröße	Aussagekraft Ausdauerleistungsfähigkeit
VO ₂ max-Messung Spiroergometrie	Aerober Energieumsatz Sauerstoffzufuhr (Atmung) Sauerstofftransport (Herz-Kreislauf) Sauerstoffverwertung (Muskelzelle)	Reduziert die komplexe Herz-Kreislauf-Leistung auf einen Wert. Nur eine von mehreren Voraussetzungen der Ausdauerleistungsfähigkeit
Laktatmessung	Stoffwechselsituation unter Belastung Anaerobe Schwelle	Sehr aussagekräftig für die Bestimmung von HF-abhängigen Trainingsbereichen. Das Ergebnis wird oft auf die Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle reduziert.
Cooper-Test, 6-Minuten-Lauf	Erreichte Strecke in Metern in definierter Zeit	Aussagekräftig bei gleichförmiger Belastung und entsprechender Belastungszeit.
20m Shuttle Run	Erreichte Stufe bei definierter Intensitätssteigerung	Aussagekräftig für motivierte Jugendliche und Erwachsene
PWC ₁₇₀ auf dem Fahrradergometer	Herzfrequenzanpassung bei definierter Belastung	Geeignet für intraindividuelle Vergleiche

Bei der Zielgruppe Kinder und Jugendliche ergeben sich einige Besonderheiten. Mit abnehmendem Alter lässt sich die Ausdauerleistungsfähigkeit schlechter messen. Das zeigt sich insbesondere an den niedrigeren Reliabilitäts- und Validitätskoeffizienten (vgl. Kap. 4). Dies hat mehrere Gründe: Kinder sind in Testsituationen oft ängstlicher und Umgebung sowie Personal können bedrohlich wirken. Für eine erfolgreiche Testdurchführung ist es daher wichtig, eine vertrauensvolle Atmosphäre zu schaffen, in der sich die kindlichen Probanden wohlfühlen und nicht gestresst sind. Das Testpersonal sollte freundlich und ruhig mit den Probanden umgehen und genügend Zeit für die Eingewöhnung an die Testsituation gewähren.

Während des Tests ist es wichtig, die Motivation von Kindern aufrechtzuerhalten. Oftmals fehlt den jungen Probanden die Erfahrung mit anstrengenden Ausdauerbelastungen. Bei einer Testwiederholung erzielen Kinder bei dem zweiten Test häufig bessere Ergebnisse. Daher empfiehlt es sich mit Kindern das Testverfahren vorab zu üben (vgl. Lawrenz & Stemper, 2012).

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die aerobe Ausdauer eine hohe Relevanz für die Gesundheit und die gesunde Entwicklung von Kindern und Jugendlichen besitzt und somit auch geeignete Diagnosemethoden immer benötigt werden. Sportmotorische Lauftests sollten hier das Mittel der Wahl sein. Für Grundschul Kinder hat sich gezeigt, dass der 6-Minuten-Lauf derzeit das einzige adäquate Testverfahren zu sein scheint, für Jugendliche ist der 20m Shuttle Run eine sinnvolle Alternative.

Literaturverzeichnis

- Ahler, T., Bendiksen, M., Krustrup, P. & Wedderkopp, N. (2012). Aerobic fitness testing in 6- to 9-year-old children: reliability and validity of a modified Yo-Yo IR1 test and the Andersen test. *European journal of applied physiology*, 112 (3), 871–876.
- Alfermann, D. (2009). Geschlechtstypik der motorischen Entwicklung. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann & Singer R. (Hrsg.), *Handbuch Motorische Entwicklung* (S. 251–260). Schorndorf: Hofmann.
- Armstrong, N. & van Mechelen, W. (Hrsg.) (2008). *Paediatric Exercise Science and Medicine* (2. Aufl.). Oxford University Press: Oxford.
- Armstrong, N., Welsman, J. & Winsley, R. (1996). Is peak VO₂ a maximal index of children's aerobic fitness? Ist bei Kindern ein VO₂-Plateau ein maximaler Index für aerobe Fitness? *International journal of sports medicine*, 17 (5), 356–359.
- Armstrong, N. & Welsman, J.R. (2007). Aerobic Fitness: What Are We Measuring? In G. Tomkinson & T. Olds (Hrsg.), *Pediatric Fitness. Secular trends and geographic variability* (Medicine and sport science, 50, S. 5–25). Basel: Karger.
- Armstrong, N. & Welsman, J.R. (2007). Aerobic fitness: what are we measuring? *Medicine and sport science*, 50, 5–25.
- Artero, E.G., España-Romero, V., Castro-Piñero, J., Ortega, F.B., Suni, J., Castillo-Garzon, M.J. & Ruiz, J.R. (2011). Reliability of Field-Based Fitness Tests in Youth. *International Journal of Sports Medicine*, 32 (03), 159–169.
- Åstrand, I. (1958). The Physical Work Capacity of Workers 50-64 Years Old. *Acta Physiologica Scandinavica*, 42 (1), 73–86.
- Babineau, C., Léger, L., Long, A. & Bosquet, L. (1999). Variability of maximum oxygen consumption measurement in various metabolic systems. *Journal of strength and conditioning research: the research journal of the NSCA*, 13 (4), 318–324.
- Bandyopadhyay, A. (2011). Validity of 20 meter multi-stage shuttle run test for estimation of maximum oxygen uptake in male university students. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 55 (3), 221–226.
- Bangsbo, J. & Lindquist, F. (1992). Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. *International journal of sports medicine*, 13 (2), 125–132.
- Bangsbo, J. (2005). *The Yo Yo tests*: Bfp Versand Lindemann.
- Bangsbo, J., Iaia, F.M. & Krustrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test. A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 38 (1), 37–51.

- Baquet, G., Berthoin, S., Dupont, G., Blondel, N., Fabre, C. & van Praagh, E. (2002). Effects of high intensity intermittent training on peak VO₂ in prepubertal children. Auswirkungen von hochintensivem Intervalltraining auf die maximale Sauerstoffaufnahme bei vorpubertären Kindern. *International journal of sports medicine*, 23 (6), 439–444.
- Baur, J., Bös, K., Conzelmann, A. & Singer R. (Hrsg.) (2009). *Handbuch Motorische Entwicklung* (2. komplett überarbeitete Auflage). Schorndorf: Hofmann.
- Baxter-Jones, A., Goldstein, H. & Helms, P. (1993). The development of aerobic power in young athletes. *Journal of applied physiology*, 75 (3), 1160–1167.
- Beck, J. & Bös, K. (1995). *Normwerte motorischer Leistungsfähigkeit*. Köln: Sport und Buch Strauss.
- Beltrami, F.G., Froyd, C., Mauger, A.R., Metcalfe, A.J., Marino, F. & Noakes, T.D. (2012). Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. *British journal of sports medicine*, 46 (1), 23–29.
- Beltrami, F.G., Wong, D.P. & Noakes, T.D. (2013). High prevalence of false-positive plateau phenomena during VO₂max testing in adolescents. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*.
- Bendiksen, M., Ahler, T., Clausen, H., Wedderkopp, N. & Krustrup, P. (2013). The use of Yo-Yo intermittent recovery level 1 and Andersen testing for fitness and maximal heart rate assessments of 6- to 10-year-old school children. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 27 (6), 1583–1590.
- Bernitzki, S. (2006). *Referenzwerte gesunder Kinder und Jugendlicher für die Sauerstoffaufnahme in Ruhe, an der individuellen anaeroben Schwelle und bei Ausbelastung auf dem Laufbandergometer*. Dissertation: Universität Bochum.
- Betz, M. & Hottenrott, K. (Hrsg.) (2010). *Training und Gesundheit bei Kindern und Jugendlichen. Aktuelle Beiträge zu Ehren von Prof. Dr. Dr. Ferdinand Klimt: Feldhaus, Ed. Czwalina; Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft*.
- Binkhorst, R., Saris, W., Noordeloos, A.M., van't Hof, M. & Haan, A. (1986). Maximal oxygen consumption of children (6 to 18 years) predicted from maximal and submaximal values in treadmill and bicycle tests. In J. Rutenfranz, R. Mocellin & F. Klimt (Hrsg.), *children and exercise XII* (International series on sport sciences, 17, S. 227–232). Champaign, Ill: Human Kinetics Books.
- Bland, J., Pfeiffer, K. & Eisenmann, J.C. (2012). The PWC170: comparison of different stage lengths in 11-16 year olds. *European journal of applied physiology*, 112 (5), 1955–1961.
- Boreham, C.A., Paliczka, V.J. & Nichols, A.K. (1990). A comparison of the PWC170 and 20-MST tests of aerobic fitness in adolescent schoolchildren. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 30 (1), 19–23.
- Bortz, J. & Döring, N. (2005). *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch) (3., überarb. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Bös, K. (1987). *Handbuch sportmotorischer Tests*. Göttingen: Hogrefe.

- Bös, K. (2001). *Handbuch motorische Tests. Sportmotorische Tests, motorische Funktionstests, Fragebogen zur körperlich-sportlichen Aktivität und sportpsychologische Diagnoseverfahren* (2. Aufl.). Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Bös, K. (2003). Motorische Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen. In W. Schmidt (Hrsg.), *Erster Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht* (S. 85–107). Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K. & Wohlmann, R. (1987). Allgemeiner Sportmotorischer Test (AST 6-11) zur Diagnose der konditionellen und koordinativen Leistungsfähigkeit. *Lehrhilfen für den Sportunterricht*, 36 (10), 145–156.
- Bös, K. & Banzer, W. (2006). Ausdauerfähigkeit. In K. Bös & W. Brehm (Hrsg.), *Handbuch Gesundheitssport* (S. 239–253). Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K. & Brehm, W. (Hrsg.) (2006). *Handbuch Gesundheitssport* (2. Vollst. überarb. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K., Hänsel, F. & Schott, N. (2004). *Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft*. Hamburg: Czwalina.
- Bös, K. & Mechling, H. (1983). *Dimensionen sportmotorischer Leistungen*: Hofmann.
- Bös, K., Schlenker, L., Büsch, D., Lämmle, L., Müller, H., Oberger, J. & Tittlbach S. (2009). *Deutscher Motorik-Test 6 - 18. (DMT 6 - 18)* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 186). Hamburg: Czwalina.
- Bös, K. & Wohlmann, R. *Konditionstest*. Projektabschlussbericht. Frankfurt (Main) / Heidelberg.
- Bös, K., Worth, A., Opper, E., Oberberger, J., Romahn, N., Wagner, M., Jekauc, D., Mess, F. & Woll, A. (2009). *Motorik-Modul. Eine Studie zur motorischen Leistungsfähigkeit und körperlich-sportlichen Aktivität von Kindern und Jugendlichen in Deutschland ; Abschlussbericht zum Forschungsprojekt* (Forschungsreihe / Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend, 5). Baden-Baden, Rostock: Nomos-Verlag.
- Büchle, L. (2013). *Einfluss der Laufstrecke auf die Ergebnisse des 6-Minuten-Laufs bei Kindern und jungen Erwachsenen*. unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Sport und Sportwissenschaft.
- Buchheit, M. (2008). The 30-15 Intermittent Fitness Test: Accuracy for Individualizing Interval Training of Young Intermittent Sport Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (2), 365–374.
- Buchheit, M. & Rabbani, A. (2013). 30-15 Intermittent Fitness Test vs. Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1: Relationship and Sensitivity to Training. *International journal of sports physiology and performance*.
- Burke, E.J. (1976). Validity of selected laboratory and field tests of physical working capacity. *Research quarterly*, 47 (1), 95–104.
- Castagna, C., Abt, G. & D'Ottavio, S. (2005). Competitive-level differences in Yo-Yo intermittent recovery and twelve minute run test performance in soccer referees.

- Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 19 (4), 805–809.
- Castagna, C., Impellizzeri, F.M., Chamari, K., Carlomagno, D. & Rampinini, E. (2006). Aerobic fitness and yo-yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: a correlation study. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 20 (2), 320–325.
- Castro-Pinero, J., Artero, E.G., Espana-Romero, V., Ortega, F.B., Sjostrom, M., Suni, J. & Ruiz, J.R. (2010). Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: a systematic review. *British journal of sports medicine*, 44 (13), 934–943.
- Conzelmann, A. & Blank, M. (2009). Entwicklung der Ausdauer. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann & Singer R. (Hrsg.), *Handbuch Motorische Entwicklung* (S. 167–186). Schorndorf: Hofmann.
- Cooper, S.M., Baker, J.S., Tong, R.J., Roberts, E. & Hanford, M. (2005). The repeatability and criterion related validity of the 20 m multistage fitness test as a predictor of maximal oxygen uptake in active young men. *British Journal of Sports Medicine*, 39 (4), e19.
- Cumming, G. & Danzinger, R. (1963). Bicycle ergometer studies in children: Correlation of Pulse Rate with Oxygen Consumption. *Pediatrics* (32), 202–208.
- Dickhut, H.-H., Röcker, K., Gollhofer, A., König, D. & Mayer, F. (2011). *Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin* (Sport und Sportunterricht, 16) (2. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Ekblom, B. (2009). Counterpoint: maximal oxygen uptake is not limited by a central nervous system governor. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 106 (1), 339-41; discussion 341-2.
- Falk, B. & Dotan, R. (2006). Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exercise and sport sciences reviews*, 34 (3), 107–112.
- Fargeas-Gluck, M.A. & Léger, L.A. (2012). Comparison of two aerobic field tests in young tennis players. *Journal of strength and conditioning research: the research journal of the NSCA*, 26 (11), 3036–3042.
- Förster, H., Windhaber, J. & Schober, P. (2009). Ergometrie im Kindes- und Jugendalter. *Sport- und Präventivmedizin: offizielles Organ der Österreichischen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention*, 39 (3), 7–13.
- Franz, I.-W., Wiewel, D. & Mellerowicz, H. (1984). Comparative measurements of VO₂max and PWC170 in schoolchildren. In H. Löllgen & H. Mellerowicz (Hrsg.), *Progress in Ergometry: Quality Control and Test Criteria. Fifth International Seminar on Ergometry* (S. 247–250). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (1995). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Teil 2: Anwendungsfelder. Schorndorf: Hofmann.
- Gamelin, F.-X., Coquart, J., Ferrari, N., Vodougnon, H., Matran, R., Léger, L. & Bosquet, L. (2006). Prediction of one-hour running performance using constant duration tests. *Journal of strength and conditioning research: the research journal of the NSCA*, 20 (4), 735–739.

- Garcia-Molina, H., Ullman, J.D. & Widom, J. (2009). *Database systems*: Pearson Prentice Hall.
- Geiger, L.V. (1999). *Gesundheitstraining - biologische und medizinische Zusammenhänge, gezielte Bewegungsprogramme zur Prävention*. München: BLV-Buchverlag.
- Graf, C., Rost, R. & Abel, T. (2012). *Lehrbuch Sportmedizin. Basiswissen präventive therapeutische und besondere Aspekte*. (2. Aufl.). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Grant, S., Corbett, K., Amjad, A.M., Wilson, J. & Aitchison, T. (1995). A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 29 (3), 147–152.
- Gruse, J. (2013). *Vergleich von Belastungsprotokollen zur Ermittlung der Physical Work Capacity (PWC170)*. unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Sport und Sportwissenschaft.
- Haaren, B. von, Härtel, S., Seidel, I., Schlenker, L. & Bös, K. (2011). Die Validität des 6-Minuten-Laufs und 20m Shuttle Runs bei 9 bis 11-jährigen Kindern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 62 (11), 351–355.
- Hahn, K. (1998). *Reform mit Augenmaß. Ausgewählte Schriften eines Politikers und Pädagogen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Harre, D. (1982). *Trainingslehre. Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings* (9. Aufl.). Berlin: Sportverlag.
- Hartmann, U., Niessen, M., Marzin, T., Platen, P., Mank, D., Bartmus, U. & Hawener, I. (2010). *Krafttraining im Nachwuchsleistungssport unter besonderer Berücksichtigung von Ontogenese, biologischen Mechanismen und Terminologie*. Wissenschaftliche Expertise des BISp. Band I: Sportverlag Strauß.
- Haskell, W.L., Lee, I.-M., Pate, R.R., Powell, K.E., Blair, S.N., Franklin, B.A., Macera, C.A., Heath, G.W., Thompson, P.D. & Bauman, A. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*, 39 (8), 1423–1434.
- Hasselstrom, H., Hansen, S.E., Froberg, K. & Andersen, L.B. (2002). Physical fitness and physical activity during adolescence as predictors of cardiovascular disease risk in young adulthood. Danish Youth and Sports Study. An eight-year follow-up study. *International Journal of Sports Medicine*, 23 Suppl 1, S. 27-31.
- Hebestreit, H., Lawrenz, W., Zelger, O., Klenast, W. & Jüngst, B. (1997). Ergometrie im Kindes und Jugendalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde: Zeitschrift für Kinder- und Jugendmedizin*, 145, 1326–1336.
- Herrmann, C. & Gerlach, E. (2014). Motorische Basiskompetenzen in der Grundschule. Pädagogische Zielentscheidung und Aufgabenentwicklung. *Sportunterricht*, 63 (11), 322–328.
- Heyman, E., Briard, D., Dekerdanet, M., Gratas-Delamarche, A. & Delamarche, P. (2006). Accuracy of physical working capacity 170 to estimate aerobic fitness in prepubertal diabetic boys and in 2 insulin dose conditions. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 46 (2), 315–321.

- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2014). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (6. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. (1991). Faul oder fit? In: Ritzdorf, W.: *Bewegung: Freizeitsport – Wohlbefinden – Fitnesstraining – Entspannung*. Techniker Krankenkasse, Hamburg. unter http://www.johanniter.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/JUH/BW/RV_Stuttgart/PSNV/Bewegung_tkk.pdf.
- Hollmann, W. & Strüder, H.K. (2009). *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart: Schattauer.
- Hollmann, W., Strüder, H., Predel, H.-G. & Tagarakis, C. (2006). *Spiroergometrie. Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken*. Stuttgart: Schattauer.
- Hottenrott, K. (2010). Ausdauertraining im Kindes- und Jugendalter. In M. Betz & K. Hottenrott (Hrsg.), *Training und Gesundheit bei Kindern und Jugendlichen. Aktuelle Beiträge zu Ehren von Prof. Dr. Dr. Ferdinand Klimt* (S. 178–184): Feldhaus, Ed. Czwalina; Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft.
- Hottenrott, K. & Gronwald, T. (2009). *Ausdauertraining in Schule und Verein* (Praxisideen Bewegungskompetenzen, 38). Schorndorf: Hofmann.
- Huber, A. (2013). *Ausdauer-testverfahren für Kinder und Jugendliche – Empirische Untersuchung zum PWC170, 20m Shuttel Run Test und 6-Minuten-Lauf*. Zulassungsarbeit. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Ingebrigtsen, J., Brochmann, M., Castagna, C., Bradley, P., Ade, J., Krstrup, P. & Holtermann, A. (2013). Relationships between field performance tests in high-level soccer players. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*.
- Iohn, M. (2013). *Überprüfung der Validität des PWC170 mit der VO2max*. Masterarbeit. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Sport und Sportwissenschaft.
- Jackson, A. & Coleman, A. (1976). Validation of distance run tests for elementary school children. *Research quarterly*, 47 (1), 86–94.
- Janz, K.F., Dawson, J.D. & Mahoney, L.T. (2002). Increases in physical fitness during childhood improve cardiovascular health during adolescence: the Muscatine Study. *International Journal of Sports Medicine*, 23 Suppl 1, S.15-21.
- Joch, W. (1983). *Ausdauerleistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter*. Berlin: Bartels & Wernitz.
- Kaminsky, L.A., Arena, R., Beckie, T.M., Brubaker, P.H., Church, T.S., Forman, D.E., Franklin, B.A., Gulati, M., Lavie, C.J., Myers, J., Patel, M.J., Pina, I.L., Weintraub, W.S. & Williams, M.A. (2013). The Importance of Cardiorespiratory Fitness in the United States: The Need for a National Registry: A Policy Statement From the American Heart Association. *Circulation*, 127 (5), 652–662.
- Kappenstein, J. & Ferrauti, A. (2015). Intervallsprinttraining verbessert die aerobe Ausdauer im Grundschulalter. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 66 (05), 128–133.

- Kavanagh, T., Mertens, D.J., Hamm, L.F., Beyene, J., Kennedy, J., Corey, P. & Shephard, R.J. (2003). Peak oxygen intake and cardiac mortality in women referred for cardiac rehabilitation. *Journal of the American College of Cardiology*, 42 (12), 2139–2143.
- Kindermann, W. (2004). Anaerobe Schwelle. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (6), 161–162.
- Kindermann, W. & Meyer, T. (2003). Doubtful validity of the Yo-Yo intermittent recovery test. *Medicine and science in sports and exercise*, 35 (12), 2119; author reply 2120.
- Klaes, L., Cosler D., Rommel A. & Zens, Y.C. (2003). Dritter Bericht zum Bewegungsstatus von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. *Ergebnisse des Bewegungs-Check-Up im Rahmen der Gemeinschaftsaktion von AOK, DSB und WIAD*. Frankfurt am Main: Eigendruck.
- Klein, M., Emrich, E., Schwarz, M., Papathanassiou, V., Pitsch, W., Kindermann, W. & Urhausen, A. (2004). Sportmotorische Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen im Saarland. Ausgewählte Ergebnisse der IDEFIKS-Studie (Teil 2). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (9), 211–220.
- Koch, B., Weber S., Kobel S., Brandstetter S., Drayhaupt J., Wiedom M., Seufert T. & Steinacker J. M. (2011). 6-Minuten-Lauf zur Bestimmung der Ausdauerfähigkeit von Grundschulern: Eine Frage der Anstrengungsbereitschaft? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 62 (7-8), 229.
- Kodama, S., Saito, K., Tanaka, S., Maki, M., Yachi, Y., Asumi, M., Sugawara, A., Totsuka, K., Shimano, H., Ohashi, Y., Yamada, N. & Sone, H. (2009). Cardiorespiratory Fitness as a Quantitative Predictor of All-Cause Mortality and Cardiovascular Events in Healthy Men and Women. a meta-analysis. *JAMA*, 301 (19), 2024.
- Kretschmer, J. & Wirsching, D. (2007). *Mole. Motorische Leistungsfähigkeit von Grundschulkindern in Hamburg; Abschlussbericht zum Forschungsprojekt*. Hamburg: Moeve.
- Lamb, K.L. & Rogers, L. (2007). A re-appraisal of the reliability of the 20 m multi-stage shuttle run test. *European journal of applied physiology*, 100 (3), 287–292.
- Lawrenz, W. & Stemper, T. (2012). Vergleich von 6-Minuten-Lauf-Test und maximaler Sauerstoffaufnahme von 8-10-jährigen Schulkindern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63 (4), 102–105.
- Lee, D.C., Artero, E.G., Sui, X. & Blair, S.N. (2010). Mortality trends in the general population: the importance of cardiorespiratory fitness. *Journal of psychopharmacology (Oxford, England)*, 24 (4 Suppl), 27–35.
- Lee, D.C., Pate, R.R., Lavie, C.J., Sui, X., Church, T.S. & Blair, S.N. (2014). Leisure-Time Running Reduces All-Cause and Cardiovascular Mortality Risk. *Journal of the American College of Cardiology*, 64 (5), 472–481.
- Léger, L. & Gadoury, C. (1989). Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO₂max in adults. Die Validität des 20-m-Pendellaufs mit einer Belastungsstufendauer von 1 Minute zur Bestimmung der maximalen Sauer-

- stoffaufnahme von Erwachsenen. *Canadian journal of applied sport sciences*, 14 (1), 21–26.
- Léger, L., Massicotte, D., Gauthier, R., Tremblay, C., Cazorla, G. & Prat, J. (1992). Problems in establishing Canadian norms for the 20m shuttle run test of aerobic fitness. In E. van Praagh & J. Coudert (Hrsg.), *Pediatric work physiology. Methodological and pathological aspects* (Children and exercise, 16, S. 119–121). Paris, Milan, Barcelone: Masson.
- Léger, L., Mercier, D., Gadoury, C. & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. Der mehrstufige 20-m-Pendellauf-Test zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit. *Journal of sports sciences*, 6 (2), 93–101.
- Liu, N.Y.-S., Plowman, S.A. & Looney, M.A. (1992). The Reliability and Validity of the 20-Meter Shuttle Test in American Students 12 to 15 Years Old. *Research quarterly for exercise and sport*, 63 (4), 360–365.
- Löllgen, H., Böckenhoff, A. & Knapp, G. (2009). Physical Activity and All-cause Mortality: An Updated Meta-analysis with Different Intensity Categories. *International Journal of Sports Medicine*, 30 (03), 213–224.
- Löllgen, H. (2011). Editorial-Von der Sportmedizin zur Bewegungsmedizin: In der Evidenz angekommen!. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 62(5), 111.
- Löllgen, H. & Leyk, D. (2012). Prävention durch Bewegung. Bedeutung der körperlichen Leistungsfähigkeit. *Der Internist*, 53 (6), 663–670.
- Löllgen, H., Winter, Z.-J. & Erdmann, E. (Hrsg.) (1995). *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis*. Berlin [u.a.]: Springer.
- Löllgen, H. & Mellerowicz, H. (Hrsg.) (1984). *Progress in Ergometry: Quality Control and Test Criteria. Fifth International Seminar on Ergometry*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Marées, H. de (2003). *Sportphysiologie* (9. Aufl.). Köln: Sportverlag Strauß.
- Marschall, F., Feger, K. & Mueller, H. (2014). Biological Variability in Submaximal Parameters of Performance and Strain. *Journal of Excercise Physiology Online*, 17 (4), 102–112.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, 100) (3. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Martin, D., Nicolaus, J., Ostrowski, C. & Rost, K. (1999). *Handbuch Kinder- und Jugendtraining* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport). Schorndorf: Hofmann.
- Matsuzaka, A., Takahashi, Y., Yamazoe, M., Kumakura, N., Ikeda, A., Wilk, B. & Bar-Or, O. (2004). Validity of the Multistage 20-M Shuttle-Run Test for Japanese Children, Adolescents, and Adults. *Pediatric exercise science*, 16 (2), 113–125.
- Matthys, S.P.J., Vaeyens, R., Franssen, J., Deprez, D., Pion, J., Vandendriessche, J., Vandorpe, B., Lenoir, M. & Philippaerts, R. (2013). A longitudinal study of multidimensional performance characteristics related to physical capacities in youth handball. *Journal of sports sciences*, 31 (3), 325–334.

- Mayorga-Vega, D., Aguilar-Soto, P. & Viciano, J. (2015). Criterion-Related Validity of the 20-M Shuttle Run Test for Estimating Cardiorespiratory Fitness: A Meta-Analysis. *Journal of Sports Science and Medicine* (14), 536–547.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (Hrsg.) (2007). *Bewegungslehre - Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Mellerowicz, H. (1979). *Ergometrie*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Merk, K. (2011). *Körperzusammensetzung, motorische Leistungsfähigkeit und körperlich-sportliche Aktivität – eine empirische Untersuchung an Grundschulkindern in Bad Schönborn*. unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Sport und Sportwissenschaft.
- Meyer, T. & Kindermann, W. (1999). Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (9), 285–286.
- Meyer, T., Scharhag, J. & Kindermann, W. (2005). Peak oxygen uptake. Myth and truth about an internationally accepted reference value. *Zeitschrift für Kardiologie*, 94 (4), 255–264.
- Mocellin, R. & Bastanier, C. (1976). Zur Frage der Zuverlässigkeit der PWC170 als Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit bei der Beurteilung von Kindern mit Herzkrankheiten. *European Journal of Pediatrics*, 122 (3), 223-239.
- Mocellin, R. & Gildein, P. (1995). Ergometrie in der Pädiatrie. In H. Löllgen, Z.-J. Winter & E. Erdmann (Hrsg.), *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis* (S. 287–299). Berlin [u.a.]: Springer.
- Morris, J.N. & Crawford, M.D. (1958). Coronary Heart Disease and Physical Activity of Work. *British Medical Journal*, 2 (5111), 1485–1496.
- Nassis, G.P., Geladas, N.D., Soldatos, Y., Sotiropoulos, A., Bekris, V. & Souglis, A. (2010). Relationship between the 20-m multistage shuttle run test and 2 soccer-specific field tests for the assessment of aerobic fitness in adult semi-professional soccer players. *Journal of strength and conditioning research: the research journal of the NSCA*, 24 (10), 2693–2697.
- Netz, Y., Wu, M.-J., Becker, B.J. & Tenenbaum, G. (2005). Physical Activity and Psychological Well-Being in Advanced Age: A Meta-Analysis of Intervention Studies. *Psychology and Aging*, 20 (2), 272–284.
- Neumann, G. (1984). Metabole Grundlagen für die Beurteilung der Bewegungstherapie unter Beachtung der aerob-anaeroben Stoffwechselschwelle. *Zeitschrift für Physiotherapie*, 36 (2), 131–138.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Berbalk, A. (2001). *Optimiertes Ausdauertraining* (3. Aufl.). Aachen: Meyer und Meyer.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Hottenrott, K. (2000). *Alles unter Kontrolle*: Aachen: Meyer und Meyer.
- Neumann, R. (2013). *Analyse physiologischer Gesetzmäßigkeiten zu den Themenbereichen „Ausbelastungskriterien“ und „Nachbelastungsverhalten“ anhand der Ergebnisse ausdauerleistungsdiagnostischer Untersuchungen am*

- Institut für Sport und Sportwissenschaft des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) im Zeitraum 2007-2010. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT).*
- Noakes, T.D. (1997). 1996 J.B. Wolffe Memorial Lecture. Challenging beliefs: ex Africa semper aliquid novi. *Medicine and science in sports and exercise*, 29 (5), 571–590.
- Noakes, T.D. & Marino, F.E. (2009). Point: maximal oxygen uptake is limited by a central nervous system governor. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 106 (1), 338-9; discussion 341.
- Nowacki, P.E. & Schäfer, D. (1984). Die Physical Working Capacity (PWC 170) bei körper-gewichtsbezogener Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und ihre Bedeutung als Leistungsparameter in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Sportart. *Therapiewoche*, 34, 3835–3853.
- Ortega, F.B., Ruiz, J.R., Castillo, M.J. & Sjöström, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International journal of obesity (2005)*, 32 (1), 1–11.
- Paffenbarger, R.S., JR, Hyde, R.T., Hsieh, C.C. & Wing, A.L. (1986). Physical activity, other life-style patterns, cardiovascular disease and longevity. *Acta medica Scandinavica*, 711, 85–91.
- Paliczka, V.J., Nichols, A.K. & Boreham, C.A. (1987). A multi-stage shuttle run as a predictor of running performance and maximal oxygen uptake in adults. *British journal of sports medicine*, 21 (4), 163–165.
- Paradisis, G.P., Zacharogiannis, E., Mandila, D., Smirtiotou, A., Argeitaki, P. & Cooke, C.B. (2014). Multi-Stage 20-m Shuttle Run Fitness Test, Maximal Oxygen Uptake and Velocity at Maximal Oxygen Uptake. *Journal of Human Kinetics*, 41 (1), 81-87.
- Petzl, D., Haber, P., Schuster, E., Popow, C. & Haschke, F. (1988). Reliability of estimation of maximum performance capacity on the basis of submaximum ergometric stress tests in children 10-14 years old. *European Journal of Pediatrics*, 147 (2), 174–178.
- Portela, L.O. (1996). *Aerobe und anaerobe Ausdauer bei Kindern und Jugendlichen*. Dissertation. Hannover: Univerlag.
- Raczek, J. (2002). Entwicklungsveränderungen der motorischen Leistungsfähigkeit der Schuljugend in drei Jahrzehnten (1965-1995). Tendenzen, Ursachen und Konsequenzen. *Sportwissenschaft (Schorndorf)*, 32 (2), 201–216.
- Ramsbottom, R., Brewer, J. & Williams, C. (1988). A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 22 (4), 141–144.
- Ratel, S., Duche, P. & Williams, C.A. (2006). Muscle Fatigue during High-Intensity Exercise in Children. *Sports Medicine*, 36 (12), 1031–1065.
- Rost, R. (Hrsg.). (2001). *Lehrbuch der Sportmedizin*, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
- Rost, R. & Hollmann, W. (1982). *Belastungsuntersuchungen in der Praxis*: Thieme: Stuttgart.

- Rostgaard, T., Iaia, F.M., Simonsen, D.S. & Bangsbo, J. (2008). A test to evaluate the physical impact on technical performance in soccer. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 22 (1), 283–292.
- Roth, A. (2012). *Ausdauerdiagnostik im Kindes und Jugendalter*. unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Sport und Sportwissenschaft.
- Rowland, T.W., Rambusch, J.M., Staab, J.S., Unnithan, V.B. & Siconolfi, S.F. (1993). Accuracy of physical working capacity (PWC170) in estimating aerobic fitness in children. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 33 (2), 184–188.
- Rowland, T.W. (1993). Ausdauersport im Kindesalter. In R.J. Shephard, P.-O. Åstrand & G. Rost (Hrsg.), *Ausdauer im Sport: eine Veröffentlichung des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS* (S. 365–373). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Rowland, T.W. (2007). Evolution of maximal oxygen uptake in children. *Medicine and sport science*, 50, 200–209.
- Ruiz, J.R., Castro-Pinero, J., Artero, E.G., Ortega, F.B., Sjostrom, M., Suni, J. & Castillo, M.J. (2009). Predictive validity of health-related fitness in youth: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 43 (12), 909–923.
- Ruiz, J.R., Castro-Pinero, J., Espana-Romero, V., Artero, E.G., Ortega, F.B., Cuenca, M.M., Jimenez-Pavon, D., Chillon, P., Girela-Rejon, M.J., Mora, J., Gutierrez, A., Suni, J., Sjostrom, M. & Castillo, M.J. (2011). Field-based fitness assessment in young people: the ALPHA health-related fitness test battery for children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 45 (6), 518–524.
- Rusch, H. & Irrgang, W. (2002). Aufschwung oder Abschwung? Verändert sich die körperliche Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen oder nicht? *Haltung und Bewegung*, 22 (2), 5–10.
- Rutenfranz, J., Mocellin, R. & Klimt, F. (Hrsg.) (1986). *children and exercise XII* (International series on sport sciences, 17). Champaign, Ill: Human Kinetics Books.
- Schmidt, W. (Hrsg.) (2003). *Erster Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht*. Schorndorf: Hofmann.
- Schnabel, G., Harre, H.-D. & Krug, J. (2011). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft. Leistung, Training, Wettkampf* (2. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Shephard, R.J. (1993). Die maximale Sauerstoffaufnahme. In R.J. Shephard, P.-O. Åstrand & G. Rost (Hrsg.), *Ausdauer im Sport: eine Veröffentlichung des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS* (S. 191–198). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Skender, D. (2011). *Überprüfung der Validität der Physical Working Capacity zur Beurteilung der kardiopulmonalen Leistung*. unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Sport und Sportwissenschaft.
- Smirmaul, B.P.C., Bertucci, D.R. & Teixeira, I.P. (2013). Is the VO₂max that we measure really maximal? *Frontiers in physiology*, 4, 203.

- Spurway, N.C., Ekblom, B., Noakes, T.D. & Wagner, P.D. (2012). What limits VO₂max? A symposium held at the BASES Conference, 6 September 2010. *Journal of sports sciences*, 30 (6), 517–531.
- Steinhardt, F. (2012). *Vergleich verschiedener Feldtests zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen*. Forschungsmodul. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Ströhle, A. (2009). Physical activity, exercise, depression and anxiety disorders. *Journal of Neural Transmission*, 116 (6), 777–784.
- Suminski, R., Ryan, N., Poston, N. & Jackson, A. (2004). Measuring Aerobic Fitness of Hispanic Youth 10 to 12 years of Age. *International Journal of Sports Medicine*, 25 (1), 61–67.
- Talbot, L.A., Morrell, C.H., Metter, E.J. & Fleg, J.L. (2002). Comparison of cardiorespiratory fitness versus leisure time physical activity as predictors of coronary events in men aged or ≤ 65 years and > 65 years. *The American journal of cardiology*, 89 (10), 1187–1192.
- Thivierge, M. & Léger, L. (1989). Critical review of heart rate monitors. *Canadian Association for Health, Physical Education, and Recreation journal*, 55 (3), 26–31.
- Thomas, A., Dawson, B. & Goodman, C. (2006). The yo-yo test: reliability and association with a 20-m shuttle run and VO₂max. *International journal of sports physiology and performance*, 1 (2), 137–149.
- Tomkinson, G.R. (2011). Aerobic fitness thresholds for cardio metabolic health in children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 45 (9), 686–687.
- Tomkinson, G.R. & Olds, T.S. (2007). *Pediatric fitness. Secular trends and geographic variability* (Medicine and sport science, 50). Basel: Karger.
- Tomkinson, G.R., Léger, L.A., Olds, T.S. & Cazorla, G. (2003). Secular trends in the performance of children and adolescents (1980-2000): an analysis of 55 studies of the 20m shuttle run test in 11 countries. *Sports medicine*, 33 (4), 285–300.
- Tomkinson, G.R., Macfarlane, D., Noi, S., Kim, D.-Y., Wang, Z. & Hong, R. (2012). Temporal changes in long-distance running performance of Asian children between 1964 and 2009. *Sports medicine*, 42 (4), 267–279.
- Tomkinson, G.R. & Olds, T.S. (2007). Secular changes in pediatric aerobic fitness test performance: the global picture. *Medicine and sport science*, 50, 46–66.
- Tomkinson, G.R. & Olds, T.S. (2008). Field tests of fitness. In N. Armstrong & W. van Mechelen (Hrsg.), *Paediatric Exercise Science and Medicine* (S. 109-28.). Oxford: Oxford University Press.
- Twisk, J.W.R., Kemper, H.C.G. & van Mechelen, W. (2002). Prediction of cardiovascular disease risk factors later in life by physical activity and physical fitness in youth: general comments and conclusions. *International Journal of Sports Medicine*, 23 Suppl 1, 44–49.
- van Mechelen, W., Hlobil, H. & Kemper, H.C. (1986). Validation of two running tests as estimates of maximal aerobic power in children. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55 (5), 503–506.

- van Praagh, E. (2007). Anaerobic Fitness Tests: What Are We Measuring? In G. Tomkinson & T. Olds (Hrsg.), *Pediatric Fitness. Secular trends and geographic variability* (Medicine and sport science, 50, S. 26–45). Basel: Karger.
- Vogelaere, P. & Duquet, W. (1984). CT 170 Validation en fonction du VO₂max pour une population agee de 6 a 12 ans. *medicine du sport* (2), 236–242.
- Wagner, M., Worth, A., Schlenker, L. & Bös, K. (2010). Motorische Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter. Ausgewählte Ergebnisse des Motorik-Moduls (MoMo-Studie). *Monatsschrift Kinderheilkunde: Zeitschrift für Kinder- und Jugendmedizin*, 158 (5), 432–440.
- Weineck, J. (2007). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (15. Aufl.). Balingen: Spitta.
- Weineck, J. (2010). *Sportbiologie* (10. Aufl.). Balingen: Spitta.
- Woll, A. (2006). *Sportliche Aktivität, Fitness und Gesundheit im Lebenslauf*. Schorndorf: Hofmann.
- Worth, A., Albrecht, C., Wagner, M. & Oberger, J. (2012). Sportmotorische Tests im Sportunterricht. Eine kritische Diskussion und didaktische Schlussfolgerungen. *Sportunterricht*, 61 (8), 244–248.
- Zahner, L., Pühse, U., Stüssi C., Schmid J. & Dössegger A. (2005). *Aktive Kindheit - gesund durchs Leben. Bewegen - koordinieren - Kraft trainieren* (2. Aufl.). Magglingen: BASPO.
- Zintl, F. & Eisenhut, A. (2004). *Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung* (BLV-Sportwissen) (6. Aufl.). München: BLV-Buchverlag.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Position der Ausdauer innerhalb der Differenzierung der motorischen Fähigkeiten (nach Bös, 1987, S.94)	12
Abbildung 2:	Ausdauer als Element der Kondition (Zintl & Eisenhut 2004, S.33)	13
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der verschiedenen Formen von Ausdauerleistungsfähigkeit (Hollmann & Strüder, 2009, S.263)	15
Abbildung 4:	Beziehung zwischen Ruhepuls und 10-Jahres-Mortalität an koronaren Herzerkrankungen bei 1349 ehemals gesunden 40 bis 59-jährigen Männern (Schwandt, 1975, nach Frey & Hildenbrandt, 1995)	34
Abbildung 5:	Geschlechtsspezifischer Verlauf von 800m Zeiten (Joch, 198, S.19)	41
Abbildung 6:	Geschlechtsspezifischer Verlauf der Ausdauerleistungsfähigkeit	42
Abbildung 7:	Körperlängenentwicklung bei Jungen und Mädchen (Daten aus dem Motorik-Modul, Bös, 2009a)	51
Abbildung 8:	Grafische Ermittlung der PWC ₁₇₀ (Hollmann et al., 2006, S. 97)	79
Abbildung 9:	Mittelwerte und Standardabweichung der relativen PWC aus dem Motorik-Modul (Bös et al., 2009a)	81
Abbildung 10:	Aufbau 6-Minuten-Lauf	102
Abbildung 11:	Aufbau 20m Shuttle Run	103
Abbildung 12:	Fahrradergometer ERG 911S	104
Abbildung 13:	Abbildung 13 Spiroergometriegerät Meta Max 3B und Ergometer ERG 911S	105
Abbildung 14:	Z-Werte der Jungen der Studie 1 nach Alter	111
Abbildung 15:	Z-Werte der Mädchen der Studie 1 nach Alter	111
Abbildung 16:	Zusammenhang von Leistungswerten, kardiopulmonalen Funktionsgrößen und aerober Ausdauer	135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Strukturierung der Ausdauer nach verschiedenen Einteilungskriterien (modifiziert nach Zintl & Eisenhut, 2004, S. 35)	14
Tabelle 2:	Übersicht zu den Arten und Typen der Ausdauer (Zintl & Eisenhut, 2004)	21
Tabelle 3:	Abgrenzung der s Ausdauerarten (nach Neumann, 1984, S. 44)	22
Tabelle 4:	Faktoren die die maximale Sauerstoffaufnahme beeinflussen (Hollmann & Strüder, 2009, S. 327)	25
Tabelle 5:	Absolute und relative Normwerte der maximalen Sauerstoffaufnahme (Mocellin & Gildein, 1995, S. 294)	46
Tabelle 6:	Übersicht von absoluten VO ₂ max Werten von Kindern und Jugendlichen aus Längsschnittstudien (aus Armstrong & Welsman, 2007, S. 12)	48
Tabelle 7:	Messverfahren zur Erfassung der Ausdauer (Bös & Banzer, 2006, S. 251)	65
Tabelle 8:	Überblick Belastungsschemas für die Fahrradergometrie	71
Tabelle 9:	Mittelwerte für die relative PWC170 bei Kindern und Jugendlichen	80
Tabelle 10:	Korrelation des PWC170 und der VO ₂ max bei Kindern	83
Tabelle 11:	Die Validität des PWC170 geschlechtsspezifisch	85
Tabelle 12:	Die Validität des PWC170 nach Altersgruppen	85
Tabelle 13:	Mittelwerte und Standardabweichungen für den 6-Minuten-Lauf (aus Bös, 2009b)	88
Tabelle 14:	Validität des 6-Minuten-Laufs bei Kindern und Jugendlichen	89
Tabelle 15:	Validität des 20m Shuttle Runs bei Kindern und Jugendlichen	94
Tabelle 16:	Die Validität des 20m Shuttle Run nach Altersgruppen	95
Tabelle 17:	Verwendete Testaufgaben, Studienziel und Stichprobenbeschreibung der 5 Teilstudien	98
Tabelle 18:	Übersicht Stichprobe Bad Schönborn-Studie (1)	99
Tabelle 19:	Übersicht Stichprobe Thüringen-Studie (2)	99

Tabelle 20:	Übersicht Stichprobe Nagold-Studie (3)	100
Tabelle 21:	Übersicht Stichprobe VO ₂ max-Studie (4)	101
Tabelle 22:	Übersicht Stichprobe PWC ₁₇₀ -Studie (5)	102
Tabelle 23:	Überblick über die verwendete Testmaterialien und deren Verwendungszweck	106
Tabelle 24:	Stichprobenbeschreibung	107
Tabelle 25:	Deskriptive Ergebnisse der Gesamtstichprobe	109
Tabelle 26:	Deskriptive Ergebnisse der Bad Schönborn-Studie (1)	110
Tabelle 27:	Deskriptive Ergebnisse der Thüringen-Studie (2)	112
Tabelle 28:	Deskriptive Ergebnisse der Nagold-Studie (3)	113
Tabelle 29:	Deskriptive Ergebnisse der VO ₂ max-Studie (4)	114
Tabelle 30:	Deskriptive Ergebnisse der PWC ₁₇₀ -Studie (5)	115
Tabelle 31:	Korrelationskoeffizienten nach Pearson für den 6-Minuten-Lauf und die PWC170	116
Tabelle 32:	Übersicht Validitätskoeffizienten nach Pearson für die Daten der Teilstudie 4 und 5	118
Tabelle 33:	Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die Gesamtstichprobe	119
Tabelle 34:	Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die Gesamtstichprobe unterteilt in Altersgruppen	120
Tabelle 35:	Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die Gesamtstichprobe unterteilt nach Geschlecht	121
Tabelle 36:	T-Test für unabhängige Stichproben für Mädchen und Jungen	122
Tabelle 37:	Varianzanalyse (einfaktorielle Anova) mit drei Altersgruppen	123
Tabelle 38:	Varianzanalyse (einfaktorielle Anova) mit Alter in Jahren	124
Tabelle 39:	Eignung hinsichtlich unterschiedlicher Altersgruppen	127
Tabelle 40:	Überblick Ausdauer-testverfahren	136

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BMI	Body-Mass-Index
bspw. / bzw.	beispielsweise / beziehungsweise
ca.	circa
DMT	Deutscher Motorik-Test 6-18
ebd.	ebenda
Kg	Kilogramm
min	Minute / Minuten
MoMo	Motorik-Modul
MW	Mittelwert
N	Stichprobengröße
P	Leistung in Watt
p	(sig) Signifikanz
PWC ₁₇₀	Physical Working Capacity 170
r / r ²	Korrelationskoeffizient / Determinationskoeffizient
S	Standartabweichung
S / min	Schläge pro Minute
sek	Sekunde
Tab.	Tabelle
U/min	Umdrehungen pro Minute
vgl.	Vergleiche
VO ₂ max	maximale Sauerstoffaufnahme
VO ₂ peak	Maximal gemessene Sauerstoffaufnahme

Anhang

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass die vorliegende Dissertation mit dem Titel

**Ausdauerterstverfahren für Kinder und Jugendliche
Grundlagen, Forschungsstand und eigene empirische Untersuchung**

selbständig verfasst wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt sowie die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, durch Angabe der Quellen kenntlich gemacht wurden. Des Weiteren versichere ich, dass ich die Satzung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) [ehemals Satzung der Universität Karlsruhe (TH)] zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis beachtet habe. Diese Arbeit wurde nicht bereits anderweitig als Prüfungsarbeit verwendet.

Ort, Datum

Lars Schlenker