

Aus dem Institut für Sportwissenschaft
(Direktor: Prof. Dr. med. Burkhard Weisser)
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Der Einfluss von chronologischem Alter, pubertärer
Entwicklung, Körperkomposition und anthropometrischen
Parametern auf die aerobe Leistungsfähigkeit
von 11-15 jährigen männlichen Leistungssportlern**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

**Jutta Noffz
aus Bremen**

Kiel 2015

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Burkhard Weisser

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Andreas Koch

Tag der mündlichen Prüfung: 02.06.2016

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 02.06.2016

gez.: Priv. Doz. Dr. med. Tobias Ankermann

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Körperliche Aktivität in Kindheit und Jugend.....	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	2
1.3 Fragestellung	3
2 Theoretischer Hintergrund.....	3
2.1 Entwicklung im Kindes- und Jugendalter	3
2.1.1 Definition von Pubertät und Adoleszenz.....	3
2.1.2 Hormonelle Regulation in Pubertät und Adoleszenz.....	4
2.1.3 Entwicklung der Körpergröße	5
2.1.4 Entwicklung von Körpergewicht und Körperzusammensetzung.....	6
2.1.5 Entwicklung des Body Mass Index	6
2.1.6 Endogene und exogene Einflussfaktoren auf Wachstum und Entwicklung	7
2.1.7 Entwicklung motorischer Fertigkeiten	8
2.1.8 Entwicklung der Kraft	9
2.1.9 Entwicklung der Ausdauer.....	10
2.1.10 Der säkulare Trend	12
2.1.11 Der Pubertätsstatus.....	13
2.1.12 Objektive Verfahren zur Bestimmung des Pubertätsstatus	14
2.1.13 Subjektive Verfahren zur Bestimmung des Pubertätsstatus	16
2.2 Energetische Aspekte der körperlichen Leistungsfähigkeit	17
2.2.1 Energiebereitstellung in der Muskelzelle	18
2.3 Leistungsdiagnostik.....	19
2.3.1 Prinzipien der Ergometrie	20
2.3.2 Laufband- versus Fahrradergometrie in der Pädiatrie.....	20
2.3.3 Bestimmung der PWC 170.....	22
2.3.4 Laktatleistungsdiagnostik	23
2.3.5 Laktatleistungsdiagnostik in der Pädiatrie.....	25
2.4 Messung der Körperzusammensetzung	26
2.4.1 Die Messung der Hautfaltendicke (Calipometrie).....	28
2.4.2 Dual Röntgen Absorptiometrie (DEXA).....	28
2.4.3 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)	28

3	Methodik	29
3.1	Studienvorbereitungen	30
3.2	Stichprobe	30
3.3	Untersuchungsablauf	31
3.4	Statistische Analyseverfahren	34
3.4.1	Deskriptive Statistik	34
3.4.2	Untersuchungsgruppen	34
3.4.3	Signifikanztest zum Mittelwertvergleich	35
3.4.4	Einfaktorielle Varianzanalyse	36
3.4.5	Korrelationskoeffizient nach Pearson	37
3.4.6	Multiple lineare Regressionsanalyse	37
4	Ergebnisse	38
4.1	Beschreibung der Stichprobe	39
4.2	Vergleich der Stichprobe mit der Referenzpopulation	40
4.3	Entwicklung ausgewählter Parameter im Altersgang	42
4.3.1	Einfluss des CAs auf anthropometrische Parameter und die Körperkomposition	43
4.3.2	Einfluss des CAs auf die aerobe Leistungsfähigkeit	44
4.4	Entwicklung ausgewählter Parameter abhängig von der biologischen Reife	45
4.4.1	Einfluss des BAs auf anthropometrische Parameter	45
4.4.2	Einfluss des BAs auf die aerobe Leistungsfähigkeit	46
4.5	Vergleich des Einflusses von chronologischem Alter und biologischem Alter auf ausgewählte Parameter	47
4.5.1	Einfluss auf anthropometrische Maßzahlen und Körperkomposition	48
4.5.2	Einfluss auf die aerobe Leistungsfähigkeit	49
4.6	Korrelationen zwischen dem chronologischen Alter sowie dem biologischen Alter und Anthropometrie, Körperkomposition und aerober Leistungsfähigkeit	50
4.6.1	Korrelation zwischen dem CA sowie dem BA und den anthropometrischen Parametern	51
4.6.2	Korrelation zwischen dem CA sowie dem BA und Parametern der Körperkomposition	52
4.6.3	Korrelationen zwischen dem CA sowie dem BA und Parametern der aeroben Leistungsfähigkeit	52
4.7	Modelle zur Vorhersage der aeroben Leistungsfähigkeit	53
4.7.1	Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der $PWC170_{Watt}$	55
4.7.2	Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der $PWC170_{Watt/kgKG}$	56
4.7.3	Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der ANS_{Watt}	55

4.7.4	Multipl. Regressionsmodell zur Vorhersage der $ANS_{Watt/kgKG}$	57
5	Diskussion.....	57
5.1	Methodenkritik.....	57
5.1.1	Probandenkollektiv.....	58
5.1.2	Befragung der Probanden/Erziehungsberechtigten.....	58
5.1.3	Anthropometrie und Körperkomposition.....	58
5.1.4	Bestimmung der Leistungsfähigkeit.....	59
5.1.5	Bestimmung des biologischen Alters.....	59
5.2	Ergebnisdiskussion.....	60
5.2.1	Die Stichprobe.....	60
5.2.2	Vergleich mit der Referenzpopulation.....	61
5.2.3	Entwicklung ausgewählter Parameter im Altersgang..... und bei zunehmender Reife.....	62
5.2.4	Korrelation zwischen Lebensalter bzw. Reife und ausgewählten Parametern.....	63
5.2.5	Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage der aeroben Leistungsfähigkeit.....	65
6	Zusammenfassung.....	67
7	Anhang.....	70
8	Literaturverzeichnis.....	82
9	Danksagung.....	90
10	Lebenslauf.....	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wachstumsgeschwindigkeit kaukasischer Jungen im Alter von 2 17 Jahren in cm/Jahr mit Angabe der 3., 50. und 97. altersentsprechenden Perzentile sowie Markierung der PHV bei etwa 14 Jahren (Prader et al. 1989).....	5
Abbildung 2: Differenzierung motorischer Fähigkeiten nach Bös aus "Erster Deutscher Jugendsportbericht 2003" (Schmidt 2003).	8
Abbildung 3: Alters- und geschlechtsspezifische Mittelwertverläufe beim Fahrrad-Ausdauererprobungstest im Rahmen des Motorik Moduls der KIGGS, N=3410.....	11
Abbildung 4: Relative alters- und geschlechtsspezifische Mittelwertverläufe beim Fahrrad-Ausdauererprobungstest im Rahmen des Motorik Moduls der KIGGS, N=3410 (Bös 2009; Opper et al. 2007).	11
Abbildung 5: Der säkulare Trend in Japan zwischen 1950 und 1990 (Cole 2003).	12
Abbildung 6: Skizzierte Darstellung der Tanner Stadien (Tanner 1962).....	14
Abbildung 7: Mittleres Auftreten einiger Items aus der PDS +/- 1 SD.	17
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Körperzusammensetzung im 1-, 2-, 3- und 4- Kompartimentmodell (TBW=total body water).....	26
Abbildung 9: Studiendesign der vorliegenden Untersuchung.....	30
Abbildung 10: Zusammensetzung der Stichprobe nach Sportarten mit Angabe der Anzahl untersuchter Athleten.....	39
Abbildung 11: Verteilung der Pubertätspunkte in unterschiedlichen Altersgruppen.	43
Abbildung 12: Zusammensetzung der verschiedenen Altersgruppen in %.	47
Abbildung 13: Zusammensetzung der verschiedenen Entwicklungsgruppen in %.....	47
Abbildung 14: Zusammenhang zwischen CA und Körpergröße.....	52
Abbildung 15: Zusammenhang zwischen BA und Körpergröße.....	52
Abbildung 16: Zusammenhang zwischen CA und Muskelmasse (kg).....	52
Abbildung 17: Zusammenhang zwischen BA und Muskelmasse (kg).....	52
Abbildung 18: Zusammenhang zwischen CA und PWC 170 (Watt).	53
Abbildung 19: Zusammenhang zwischen BA und PWC 170 (Watt).	53
Abbildung 20: Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der absoluten PWC 170.	56
Abbildung 21: Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der relativen PWC 170.	56
Abbildung 22: Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der absoluten ANS.....	55
Abbildung 23: Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der relativen ANS.....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Unterschiedliche Prozesse der Energiegewinnung (modifiziert nach Bernitzki).....	19
Tabelle 2:	Vergleich von Laufband- und Fahrradergometrie in der pädiatrischen Leistungsdiagnostik modifiziert nach BarOr und Kroidl (BarOr 1983; Kroidl und Schwarz 2010).	22
Tabelle 3:	Übersicht über Methoden zur Körperzusammensetzung modifiziert nach (Fusch 2005; Herm 2003).	27
Tabelle 4:	Verwendete Apparaturen und Verfahren mit den korrespondierenden Parametern.	34
Tabelle 5:	Einteilung der Gruppen nach chronologischem Alter.	35
Tabelle 6:	Einteilung der Gruppen nach biologischem Alter.	35
Tabelle 7:	Signifikanzschranken.....	36
Tabelle 8:	Interpretation verschiedener Effektstärken nach der Konvention von Cohen.	37
Tabelle 9:	Interpretation des Korrelationskoeffizienten r (Kuckartz et al. 2013).	37
Tabelle 10:	Interpretation der Vorhersagekraft von korrigiertem R ² (Bühner und Ziegler 2008).	38
Tabelle 11:	Beschreibung der Stichprobe.....	40
Tabelle 12:	Vergleich ausgewählter Parameter der Stichprobe mit der Referenzpopulation.....	41
Tabelle 13:	Anthropometrische Maßzahlen und Parameter der Körperkomposition in unterschiedlichen Altersgruppen.....	44
Tabelle 14:	Aerobe Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen Altersgruppen.	45
Tabelle 15:	Anthropometrische Maßzahlen und Parameter der Körperkomposition in unterschiedlichen Entwicklungsgruppen.	46
Tabelle 16:	Aerobe Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen Entwicklungsgruppen.....	47
Tabelle 17:	Vergleich der Altersgruppen mit den Entwicklungsgruppen in Bezug auf Anthropometrie und Körperkomposition.	48
Tabelle 18:	Vergleich der Altersgruppen mit den Entwicklungsgruppen in Bezug auf die aerobe Leistungsfähigkeit.	50
Tabelle 19:	Korrelation zwischen dem chronologischen Alter (CA) sowie dem biologischen Alter (BA) auf anthropometrische Parameter (AV=abhängige Variable; UV=unabhängige Variable).	51
Tabelle 20:	Korrelation zwischen dem chronologischen Alter (CA) sowie dem biologischen Alter (BA) und Parametern der Körperkomposition (AV=abhängige Variable; UV=unabhängige Variable).	52
Tabelle 21:	Korrelation zwischen dem chronologischen Alter (CA) sowie dem biologischen Alter (BA) und Parametern der aeroben Leistungsfähigkeit (AV=abhängige Variable; UV=unabhängige Variable).	53

Abkürzungsverzeichnis

ADP	Adenosindiphosphat
AHA	American Heart Association
ANOVA	Analysis of variance (Varianzanalyse)
ANS	Anaerobe Schwelle (hier: 4mmol-Laktat Schwelle)
ATP	Adenosintriphosphat
BA	biologisches Alter
BAL	Bundesausschuss Leistungssport
BMI	Body Mass Index
bzw.	beziehungsweise
CA	chronologisches Alter
CAU	Christian-Albrechts-Universität
cm	Zentimeter
DEXA	dual energy X-ray absorptiometry
DHES	Dehydroepiandrosterone
et al.	et alii bzw. et aliae
FH	follikelstimulierendes Hormon
GH	Wachstumshormon
GnRH	Gonadotropin-releasing-Hormon
HF	Herzfrequenz
Hz	Hertz
IGF-1	Insulin-like growth factor-1
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
KIGGS	Kinder- und Jugendgesundheitssurvey
KSV Holstein	Kieler Sportverein Holstein
LH	lutinisierendes Hormon
M	Mittelwert
Max	Maximum
Min	Minimum
min	Minute
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MoMo	Motorik Modul (Teil der KIGGS)
mV	Millivolt
MW	Mittelwert
n	Probandenzahl
NLZ	Nachwuchs Leistungszentrum

n. s.	nicht signifikant
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PBIP	Picture-Based Interview about Puberty
PDS	Pubertal Development Scale
PHV	Peak hight velocity (größte Wachstumsgeschwindigkeit)
PWC 170	physical working capacity 170
r	Korrelationskoeffizient
RDBMS	Relationales Datenbankmanagementsystem
SD	standard deviation (Standardabweichung)
vgl.	vergleiche
WHO	World Health Organization
β	Beta
η^2	(partielles) Eta-Quadrat

1 Einleitung

1.1 Körperliche Aktivität in Kindheit und Jugend

Körperliche Aktivität, spielerisches Kräftemessen, Grenzen erfahren und verschieben sind elementare Bestandteile einer gesunden kindlichen Entwicklung. Durch körperliche Aktivität werden sowohl motorische als auch kognitive und soziale Kompetenzen von Kindern und Jugendlichen positiv beeinflusst (Schmidt 2003). Laut KIGGS Studie¹ sind 89,9 % der 11 bis 17 jährigen männlichen Jugendlichen in Deutschland mindestens einmal pro Woche in ihrer Freizeit körperlich aktiv, 64,7 % sind mindestens dreimal wöchentlich körperlich aktiv und 28,2 % verhalten sich entsprechend der WHO Empfehlung mit fast täglicher körperlicher Aktivität (Horch und Atzpodien 2007). Obwohl der Sport im Leben vieler Kinder und Jugendlicher eine zentrale Rolle einnimmt, beschäftigt sich die Wissenschaft erst seit Mitte des letzten Jahrhunderts systematisch mit den physiologischen Besonderheiten dieser Altersgruppe. Als Meilenstein der Leistungsphysiologie von Kindern und Jugendlichen gilt das 1983 erschienene Lehrbuch „*Pediatric Sports Medicine for the Practitioner*“ (Bar-Or 1983). Ein wichtiger Anstoß für das gesteigerte Interesse war die Ausweitung des Leistungssports in immer jüngere Altersklassen. Vielfach werden aber die Forschungsmethoden aus der Erwachsenenforschung einfach auf die veränderte Zielgruppe angewendet und dabei bleiben die Besonderheiten des wachsenden, reifenden Organismus unberücksichtigt. Kinder und Jugendliche werden vielfach noch als kleine Erwachsene behandelt. Gerade die in der in der vorliegenden Untersuchung betrachtete Altersgruppe der 11- bis 15-Jährigen zeigt große Unterschiede bezüglich der körperlichen Entwicklung und des individuellen Reifegrades. Beim Beobachten von Sportveranstaltungen oder Wettkämpfen dieser Altersklassen ist es oft schwer zu glauben, dass alle Beteiligten dem gleichen Jahrgang angehören. Bei der Talentsichtung und Selektion im Leistungssport besteht das Risiko, dass die in ihrer körperlichen Entwicklung akzelerierten Individuen zunächst in eine Förderung aufgenommen werden, deren Leistung im Verlauf aber stagniert – und gleichzeitig die retardierten Athleten von den Trainern „aussortiert“ werden oder selber an Motivation verlieren, weil sie den Anforderungen und persönlichen Ansprüchen – wenn

¹ Im Auftrag des Robert Koch Instituts wurde der Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KIGGS) von Mai 2003 bis Mai 2006 bundesweit durchgeführt. Insgesamt wurden ca. 18000 repräsentativ ausgewählte Kinder und Jugendliche im Alter von 0 bis 17 Jahren untersucht. Innerhalb dieser Stichprobe haben 4529 Probanden im Alter von 4 bis 17 zusätzlich das Motorik Modul (MoMo) mit Untersuchungen der körperlichen Leistungsfähigkeit und zum Sportverhalten absolviert. Die Messungen wurden standardisiert und einheitlich qualitätskontrolliert durchgeführt. Damit wurden erstmals repräsentative Daten zum Gesundheitszustand von Kindern und Jugendlichen in der Bundesrepublik Deutschland gewonnen. Die im Rahmen von KIGGS und MoMo erhobenen Daten dienen in der vorliegenden Untersuchung als nationale Referenzpopulation.

auch nur passager – nicht mehr gerecht werden. Die Berücksichtigung des individuellen Entwicklungsstatus der körperlichen Reife gewinnt bei der Beurteilung von sportlichen Leistungen im Rahmen der Talentsichtung immer mehr an Bedeutung (Gastin et al. 2013). Allerdings haben sich dafür noch keine validen Methoden etabliert. Insbesondere in den Mannschaftssportarten mit ihren komplexen Anforderungen an die Athleten ist es schwierig, verlässliche Testbatterien zu entwickeln, um Talente zu identifizieren und zu selektieren. Einigkeit herrscht allein im Verzicht auf eindimensionale Auswahlprogramme (Reilly et al. 2000, Le Gall et al. 2010a).

Da sich während der Adoleszenz die geschlechtstypischen Unterschiede in der körperlichen Leistungsfähigkeit besonders stark ausprägen und sich die pubertären Veränderungen bei Jungen und Mädchen in Bezug auf Beginn, Länge und Ablauf unterscheiden, war es nötig, sich im Vorfeld der Untersuchung auf ein Geschlecht festzulegen. Nur so konnte eine ausreichend große Stichprobe untersucht werden, um im Verlauf verlässliche Ergebnisse zu generieren. Sowohl im Leistungssport als auch im Breitensport sind mehr männliche Jugendliche als gleichaltrige Mädchen aktiv (Finne et al. 2011). Diese Verteilung findet sich auch in den D-Kaderuntersuchungen des LSV Schleswig-Holstein wieder. So wurden im Jahr 2013 in der sportmedizinischen Abteilung der Christian-Albrechts-Universität 145 männliche und nur 112 weibliche Nachwuchsleistungssportler untersucht. In die vorliegende Untersuchung wurden ausschließlich männliche Athleten einbezogen.

1.2 Ziel der Arbeit

Gerade im Nachwuchsleistungssport gewinnt die Beurteilung der individuellen körperlichen Leistungsfähigkeit sowohl zur Trainingssteuerung als auch zur Talentauswahl immer mehr an Bedeutung. Dabei wird in der Regel das chronologische Alter als Vergleichsgröße herangezogen bzw. die Sportler werden innerhalb ihres Jahrgangs miteinander verglichen. In dieser Untersuchung wurde die pädiatrisch-medizinische Perspektive zur Bestimmung der körperlichen Reife mit sportmedizinischen Methoden zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Körperkomposition kombiniert. Nach Analyse der generierten Daten sollen Aussagen über den jeweiligen Leistungsstand der jugendlichen Athleten sowohl bezogen auf das biologische Alter als auch auf ihren individuellen Entwicklungsstand möglich sein. Ziel ist es den jugendlichen Athleten, ihren Eltern und Trainern valide Informationen über den aktuellen Status aber auch das Entwicklungspotential zu geben.

1.3 Fragestellung

Folgende Fragen sollen nach Analyse der generierten Daten beantwortet werden:

1. Wie unterscheiden sich männliche, jugendliche Leistungssportler in ihrer Anthropometrie, Körperkomposition und aeroben Leistungsfähigkeit von einer nationalen Referenzpopulation?
2. Wie verändern sich die Körperkomposition und Anthropometrie von männlichen Leistungssportlern zwischen 11 und 15 Jahren?
3. Welchen Einfluss haben Alter und Entwicklung von männlichen Adoleszenten auf die physical working capacity (PWC) und die aerobe Leistungsfähigkeit an der 4 mmol/l Laktatschwelle?
4. Welche Parameter haben den größten Vorhersagewert für die aerobe Leistungsfähigkeit von männlichen Leistungssportlern zwischen 11 und 15 Jahren?

2 Theoretischer Hintergrund

Im folgenden Kapitel werden zunächst einige für das Verständnis der Arbeit wichtige Begriffe definiert und die physiologischen Wachstums- und Entwicklungsprozesse beschrieben. Anschließend werden die Besonderheiten von Leistungsdiagnostik und Bestimmung der Körperkomposition von Kindern und Jugendlichen dargestellt.

2.1 Entwicklung im Kindes- und Jugendalter

Von der Befruchtung der Eizelle bis zum Tod durchläuft der Mensch einen Entwicklungsprozess. Der Wandel betrifft quantitative Veränderungen (Wachstum) und die Differenzierung von Organsystemen und ihre Vernetzung (Reifung). Dieser Prozess ist während der Kindheit und Jugend am stärksten ausgeprägt. Dabei kommt es zum Größenwachstum, zur Veränderung der Körperzusammensetzung, zur Veränderung der Körperproportion, zur Ausbildung der Geschlechtsreife, sowie zur Entwicklung der geistigen Fähigkeiten und der Ausbildung der individuellen Persönlichkeit (Koletzko 2012). Dieser Prozess weist bei Jungen und Mädchen quantitative und qualitative Unterschiede auf. Da im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ausschließlich männliche Probanden erfasst wurden, werden im Folgenden in erster Linie die Veränderungen bei Jungen beschrieben. Nur vereinzelt wird explizit auf die Besonderheiten bei Mädchen hingewiesen.

2.1.1 Definition von Pubertät und Adoleszenz

Kindheit und Jugend werden durch unterschiedliche Autoren in verschiedene Abschnitte unterteilt. Abhängig vom **chronologischen Alter** hat sich im deutschsprachigen Raum folgende Systematik der Entwicklungsstufen durchgesetzt:

Neugeborenes	1. – 28. Lebenstag
Säugling	29. Lebenstag – 1. Geburtstag
Kleinkind	2. – 3. Lebensjahr
Vorschulalter	4. – 6. Lebensjahr
Schulkindalter	7. – ca. 11. Lebensjahr
Erste puberale Phase (Pubeszenz)	ca. 12. – 15. Lebensjahr
Zweite puberale Phase (Adoleszenz)	ca. 14. – 19. Lebensjahr

(Marées und Heck 2006)

In den einzelnen Abschnitten werden typische Entwicklungsschritte, sogenannte Meilensteine der biologischen, psychologischen und sozialen Entwicklung erreicht. Das Untersuchungskollektiv der vorliegenden Arbeit befindet sich nach dieser Systematik mehrheitlich in der Pubeszenz bzw. der ersten puberalen Phase. „Kinder“ im Sinne des deutschen Jugendarbeitsschutzgesetzes sind Jungen und Mädchen, die noch nicht 15 Jahre alt sind. „Jugendliche“ sind bereits 15 aber noch nicht 18 Jahre alt (§ 2 Abs. 1-2 JArbSchG). Die WHO (Currie 2008) definiert für beide Geschlechter die Altersspanne von 10 bis 19 Jahren als Adoleszenz und schließt damit die gesamte Pubertät mit ein. Da diese Arbeit den Fokus auf die Heterogenität der untersuchten Stichprobe legt, wird im Verlauf die Definition der WHO verwendet. Als Pubertät wird im Folgenden altersunabhängig die Entwicklung zur sexuellen Reife (lat.: *pubertas* „Geschlechtsreife“) verstanden, diese endet individuell unterschiedlich mit dem Erreichen der Fortpflanzungsfähigkeit.

2.1.2 Hormonelle Regulation in Pubertät und Adoleszenz

Trotz intensiver Forschung ist der eigentliche Auslöser für die mit der Pubertät einhergehenden Veränderungen nach wie vor unbekannt (Lee und Styne 2013). Initial vermindert sich – wodurch auch immer getriggert – die Empfindlichkeit des hypothalamischen Pulsgenerators gegenüber den zirkulierenden Androgenen und Östrogenen. Durch die Abnahme der hemmenden Wirkung kommt es zu einer quantitativen Änderung der pulsatilen Ausschüttung von Gonadotropin Releasing Hormon (GnRH) im Hypothalamus. Die Häufigkeit der Ausschüttung und die jeweilige Menge des freigesetzten Hormons nimmt zu. Dadurch wird der Hypophysenvorderlappen zur Produktion der Gonadotropine LH (luteinisierendes Hormon) und FSH (follikelstimulierendes Hormon) angeregt. FSH wirkt hauptsächlich in den Gonaden, wo es an die Sertolizellen bindet und so die Spermatogenese fördert. LH und FSH wirken gemeinsam auf die letzten Stadien der Spermienreifung (Winter und Stier, Bernhard J. M 2011, Lee und Styne 2013). Bei den Jungen stimuliert LH außerdem die Reifung der Leydigzellen und die damit verbundene Testosteronproduktion. Vor der Pubertät liegt der Testosteronspiegel bei 5 - 10 ng/dl und steigt bis zum Erreichen der Geschlechtsreife auf Werte zwischen 319 – 775 ng/dl steil an. Eine moderate Zunahme kann noch bis in die dritte Lebensdekade beobachtet werden,

danach setzt individuell verschieden ausgeprägt eine Abnahme ein (Hiort 2002). Außerdem wird Testosteron zu Östradiol aromatisiert, welches die Ausschüttung von Wachstumshormon (GH) stimuliert. Das Wachstumshormon und der von ihm abhängige Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) fördern das Wachstum im Bereich der Epiphysenfugen der Röhrenknochen (Hills und Byrne 2010, Koletzko 2012). Nach Rogol et al. läuft diese Kaskade vor allem zu Beginn der Pubertät ab und ist mit verantwortlich für den Wachstumsspurt (Rogol et al. 2000). Die erhöhte Testosteronausschüttung bewirkt außerdem die sichtbaren körperlichen Veränderungen und Ausbildung der sog. sekundären Geschlechtsmerkmale: Wachstum von Hoden und Penis, Zunahme des Muskelquerschnitts und Umverteilung der Körpermasse mit Ausbildung der typisch männlichen Statur (breite Schultern, schmale Hüften). Diese Veränderung wird auch als 2. Gestaltwandel bezeichnet (Marées und Heck 2006). Zusätzlich erfolgt die Entwicklung der geschlechtstypischen Körperbehaarung, Wachstum des Kehlkopfes mit Veränderung der Stimme und Ausbildung des „Adamsapfels“.

2.1.3 Entwicklung der Körpergröße

Ein normales männliches Neugeborenes ist zwischen 48 und 56 cm groß (Rosario et al. 2011). Während der ersten zwei Lebensjahre wächst ein Säugling/Kleinkind 10 – 25 cm/Jahr und hat mit zwei Jahren etwa 50% der Erwachsenengröße erreicht. Mit Ausnahme eines kleinen Wachstumsschubs zwischen sechs und acht Jahren (siehe Abb. 1) liegt die normale Wachstumsgeschwindigkeit zwischen dem zweiten Geburtstag und dem pubertären Wachstumsschub bei 5-6 cm/Jahr.

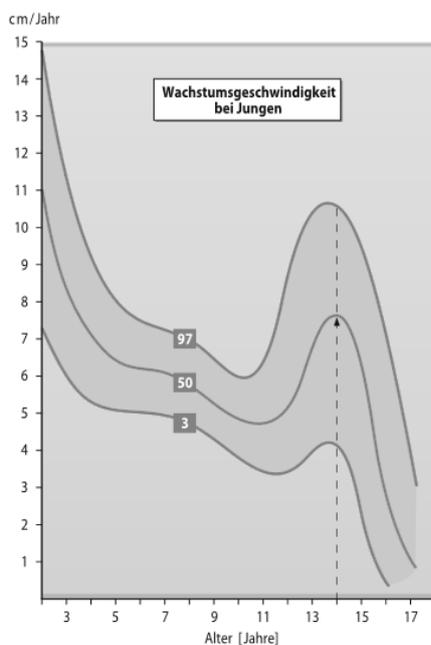


Abbildung 1: Wachstumsgeschwindigkeit kaukasischer Jungen im Alter von 2-17 Jahren in cm/Jahr mit Angabe der 3., 50. und 97. altersentsprechenden Perzentile sowie Markierung der PHV (Peak height velocity) bei etwa 14 Jahren (Prader et al. 1989).

Trotz großer interindividueller Schwankungen lässt sich festhalten, dass der Beginn des pubertären Wachstumsschubs von Jungen etwa zwei Jahre später als bei Mädchen erfolgt. In den westlichen Industrienationen liegt dieser Höhepunkt, die sog. Peak height velocity (PHV), bei Mädchen meist zwischen 10,3 und 12,1 Jahren. Bei Jungen liegt die PHV meist zwischen 13,4 und 14,4 Jahren (vgl. Abb. 1). Die maximale Wachstumsgeschwindigkeit beträgt dann knapp 9 cm/Jahr (Armstrong und McManus 2011, Koletzko 2012, Malina et al. 2013). Die Differenz in der Erwachsenengröße (Männer = Frauen + 13 cm) wird zu ca. 50 % durch das etwa zwei Jahre längere präpubertäre Wachstum und zu ca. 50 % durch das stärkere pubertäre Wachstum erklärt. Letzteres wird durch die kumulative Wirkung von Wachstumshormon (bei beiden Geschlechtern ähnlich aktiv) mit den testosteronabhängigen Wachstumseffekten erklärt (Koletzko 2012, Choukair und Bettendorf 2013). Bei beiden Geschlechtern erfolgt das Längenwachstum durch enchondrale Ossifikation in den Wachstumsfugen der langen Röhrenknochen. Mit der Verknöcherung der Epiphysenfugen endet das Längenwachstum (Choukair und Bettendorf 2013).

2.1.4 Entwicklung von Körpergewicht und Körperzusammensetzung

Das Körpergewicht eines Menschen verdreifacht sich in der Regel innerhalb des ersten Lebensjahrs, bis zum zweiten Geburtstag beträgt es in etwa das Vierfache des Geburtsgewichtes. Etwa ab dem zweiten Geburtstag kommt es zu einem diskreten, linearen Anstieg des Körpergewichts bis zum Beginn des pubertären Wachstumsschubs. Ein knappes halbes Jahr nach Einsetzen des Wachstumsschubs kommt es zu einem steileren Anstieg des Körpergewichts. Die Zunahme des Körpergewichts bei Jungen geht auch mit einer Verschiebung der Körperzusammensetzung einher. Die Muskelmasse nimmt relativ und absolut zu, der Körperfettanteil reduziert sich von ca. 16 % auf 12 – 14 % des Körpergewichts (Malina et al. 2004). Diese Werte gelten für die Mehrheit der Adoleszenten, werden aber durch genetische Vorgaben, Krankheiten, Bewegungsverhalten und Ernährungsgewohnheiten modifiziert.

2.1.5 Entwicklung des Body Mass Index

Der Body Mass Index (BMI) wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{BMI} = \text{Körpergewicht in kg} / (\text{Körpergröße in m})^2$$

Der BMI steigt bei Säuglingen und Kleinkindern in den ersten Lebensmonaten kontinuierlich an und erreicht ein erstes Maximum mit ca. 9 Monaten, dieses liegt bei Jungen etwas höher, als bei Mädchen. Danach sinkt der BMI zunächst stetig. Der folgende BMI Anstieg findet in den oberen Perzentilen früher statt, als in den unteren. Dies zeigt vermutlich die Entwicklung der akzelerierten Kinder und ist Ausdruck des fortgeschrittenen biologischen Alters im Vergleich zum chronologischen Alter. Der Wiederanstieg des BMI erfolgt in der 90. bzw. 97.

Perzentile zwischen 6 Monaten und zwei Jahren früher, als in den untersten Perzentilen. Auch die anschließende Zunahme des BMIs ist in den höheren Perzentilen ausgeprägter als in den unteren. Ab dem Alter von etwa 10 Jahren sind die BMI-Werte der Mädchen höherer, als die der Jungen, ab etwa 18 Jahre sind die Werte annähernd identisch. Da das Verhältnis von Körpergröße und Gewicht und damit definitionsgemäß auch der BMI im Altersgang erheblich variiert, gibt es für Kinder und Jugendliche keine simplen BMI-basierten Grenzwerte für Unter- oder Übergewicht (Neuhauser 2013). Nach den Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter (AGA) wurden die 2001 von Kromeyer-Hauschild publizierten alters- und geschlechtsspezifischen BMI-Perzentilen als Referenzwerte definiert. Anhand derer werden auch Übergewicht (BMI > 90. geschlechts- und altersentsprechenden Perzentile) und Adipositas (BMI > 97. geschlechts- und altersentsprechenden Perzentile) definiert (Kurth und Schaffrath Rosario 2010). Somit wird vom BMI auf den Körperfettgehalt geschlossen. Vergleichende Untersuchungen zeigen auch bei Kindern eine hohe Korrelation zwischen BMI, Gesamtkörperfettgehalt und subkutanem Fettgewebe ($r = 0,7 - 0,8$), (Wechsler 2003b), aber gerade bei der Beurteilung von sehr muskulösen und folglich auch sehr schweren Athleten ist die Problematik dieser Interpretation evident.

2.1.6 Endogene und exogene Einflussfaktoren auf Wachstum und Entwicklung

Sowohl der Beginn als auch das Tempo der pubertären Entwicklung unterliegen innerhalb der gesunden Population einer Normalverteilung. Dieser Entwicklungsprozess wird durch unterschiedliche Faktoren moduliert und gilt als Produkt aus Anlage und Umwelteinflüssen. Es wird geschätzt, dass 50 % - 80 % der Varianz durch genetische Anlagen bestimmt werden (Malina et al. 2004). Als entscheidender Faktor werden die sog. Pubertätsgene KISS1 und KISS1R angesehen (Tolson und Chappell 2012). Das Größenwachstum wird durch ein Zusammenspiel verschiedener Hormone reguliert. Den größten Einfluss haben somatotrope Hormone (GH), Sexualhormone, Glucocorticoide, Schilddrüsenhormone und Vitamin D. Als exogene Faktoren gelten Mangelernährung, chronische Erkrankungen und Umwelteinflüsse (Rogol et al. 2002, Choukair und Bettendorf 2013). Bei der Interaktion zwischen Ernährungsstatus und pubertären Entwicklung scheint das von den Adipozyten gebildete Hormon Leptin eine Schlüsselrolle zu spielen. Es wird bei anaboler Stoffwechsellage ausgeschüttet, bindet an hypothalamische Leptinrezeptoren und führt u.a. zu einem gesteigerten Sympathikotonus. Niedrige Leptinspiegel scheinen die pubertäre Entwicklung zu verzögern. Die genauen Zusammenhänge sind aber gerade für männliche Individuen noch nicht abschließend geklärt (Hiort et al. 2010, Elias 2012). Der Einfluss eines erhöhten Body Mass Indexes (BMI) auf die Abläufe während der Pubertät bei Jungen wird kontrovers diskutiert. Sandhu et al. schließen aus der Analyse von 1520 Personendaten, dass ein erhöhter präpubertärer BMI zu einem früheren Einsetzen der Pubertät führt

(Sandhu et al. 2006) während Buyken et al. nach der Auswertung von 215 Personendaten im Rahmen der „Dortmunder Nutritional and Anthropometric Longitudinally Designed Study“ (DONALD) zu dem Schluss kommen, dass ein erhöhter präpubertärer BMI keinen Einfluss auf den Beginn der Pubertät hat. Allerdings laufen die typischen pubertätsbedingten Veränderungen in Abhängigkeit vom BMI schneller ab und die Jungen erreichen so schneller einen fortgeschrittenen Pubertätsstatus. (Buyken et al. 2009). Im Gegensatz dazu kann ein intensives leistungsorientiertes Training insbesondere in Kombination mit hypokalorischer Ernährung die pubertäre Entwicklung verzögern (Georgopoulos et al. 2010). Es gibt aber keine Hinweise dafür, dass intensives Training die Erwachsenengröße beeinflusst. Thomis und Kollegen konnten bei männlichen Turnern lediglich ein im Vergleich zur Normalbevölkerung erhöhtes Alter während der PHV nachweisen (Thomis et al. 2005).

2.1.7 Entwicklung motorischer Fertigkeiten

Im deutschen Sprachraum hat sich die von Bös und Mechling 1983 vorgeschlagene Definition von Motorik weitgehend durchgesetzt. Danach wird Motorik als die Gesamtheit aller Steuerungs- und Funktionsprozesse verstanden, die der Haltung und Bewegung zugrunde liegen. Der Ausprägungsgrad der motorischen Fähigkeiten bestimmt die Qualität der beobachtbaren Bewegungshandlungen in Entwicklungs-, Lern-, und Leistungsprozessen. Motorische Fertigkeiten sind die sichtbaren Vollzüge bei solchen Bewegungshandlungen (Schmidt 2003). Abbildung 2 zeigt die Systematisierung der motorischen Fähigkeiten nach Bös.

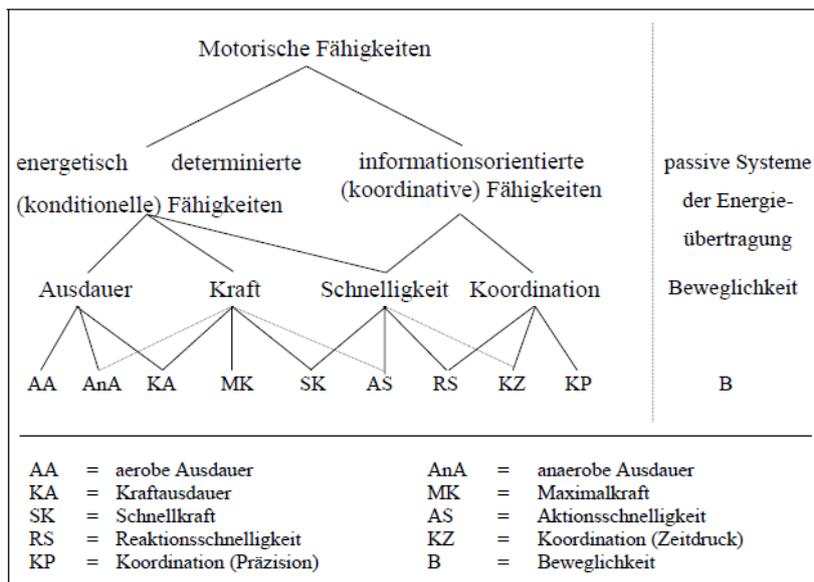


Abbildung 2: Differenzierung motorischer Fähigkeiten nach Bös aus "Erster Deutscher Jugendsportbericht 2003" (Schmidt 2003).

Die Entwicklung aller grundlegender motorischen Fähigkeiten ist sowohl reifungs- als auch übungsabhängig. So werden z.B. durch Reifung des zentralen Nervensystems die

Neugeborenenreflexe und provozierte posturale Reaktionen durch willkürlich kontrollierte Motorik abgelöst. Durch diesen physiologischen Prozess wird es dem Säugling z.B. erst möglich, gezielt nach Dingen zu greifen, diese auch wieder loszulassen oder von der einen in die andere Hand zu transferieren. Parallel zum Verlust der angeborenen Reflexmuster eignet sich der Säugling erste koordinative Bewegungsmuster an. Typische Beispiele sind die Kopfkontrolle, das gezielte Drehen aus der Rücken- in die Bauchlage und umgekehrt, gefolgt vom Robben, Krabbeln und freiem Sitzen. Bereits diese frühe Phase der motorischen Entwicklung wird stark durch Umwelteinflüsse wie Förderung durch Bezugspersonen, Anregung durch altersentsprechendes Spielzeug und Motivation durch Anerkennung oder die Anwesenheit anderer Kinder moduliert. Ein Mangel an Bewegungsraum und Bewegungsanregung führt zu einer globalen Entwicklungsverzögerung im motorischen, kognitiven und sozialen Bereich, dem sog. Deprivationssyndrom (Beneke und Hebestreit 2002). Im weiteren Kleinkind- und Vorschulalter werden weitere komplexe Bewegungsmuster erlernt, ökonomisiert und automatisiert. Aus Gehen wird Rennen, Springen, Klettern und Balancieren. Es kommt zum Erlernen erster sportartspezifischer Fertigkeiten, wie Zielwerfen das Schießen eines Balles. Im Grundschulalter von etwa sechs bis elf Jahren werden sowohl die energetisch determinierten als auch die informationsorientierten motorischen Fähigkeiten weiter verbessert. Der früheste Zeitpunkt zum Erlernen einer Bewegungsform ist individuell unterschiedlich und abhängig von den jeweiligen Wachstums-, Differenzierungs- und Reifungsvorgängen (Bar-Or 1983, Beneke und Hebestreit 2002, Keller 2006, Armstrong 2007, Koletzko 2012). Im Folgenden wird kurz die Entwicklung der für die vorliegende Arbeit relevanten motorischen Grundfertigkeiten im Altersgang dargestellt.

2.1.8 Entwicklung der Kraft

Muskelkraft ist keine Größe, die einfach zu bestimmen ist. Das komplexe Zusammenspiel aus muskulären, neuronalen und biomechanischen Faktoren macht es schwierig den Kraftzuwachs im Laufe der Entwicklung valide zu beschreiben. Viele Tests werden durch die individuelle Motivation oder intramuskuläre Koordination beeinflusst. Trotzdem herrscht bei Durchsicht der Literatur Einigkeit darüber, dass Kraftausdauer, Maximalkraft und Schnellkraft im Laufe der Kindheit kontinuierlich zunehmen. (Beneke und Hebestreit 2002, Armstrong 2007, Armstrong et al. 2011, Flanagan et al. 2014). Im Rahmen des Motorik Moduls der KIGGS-Studie wurde die dynamische Kraftausdauer der oberen Extremität und der stabilisierenden Rumpfmuskulatur durch Liegestütze getestet. Bei den 4529 untersuchten Kindern im Alter von vier bis 17 Jahren beiderlei Geschlechts zeigte sich bis zum Alter von 13 Jahren ein stetiger Anstieg der Mittelwerte in jeder Jahrgangsstufe. Allerdings stagnierten die Mädchen bei 13 Jahren, während der Mittelwert der Jungen bis zum Ende der Untersuchung weiter anstieg (Bös 2009). In einer Längsschnittuntersuchung mit 21 Jugendlichen über vier Jahre beschrieben De Ste Croix et al. einen Zuwachs der

isometrischen Maximalkraft bei Extension und Flexion im Knie und einen signifikanten Zusammenhang zwischen Kraftzuwachs und Zunahme an Körpergröße und Körpergewicht. Die größte Zunahme an Kraft scheint etwa ein Jahr nach dem maximalen Wachstumsschub (PHV) aufzutreten (De Ste Croix, Mark et al. 2003). Die unter 2.1.2 beschriebenen hormonellen Veränderungen – besonders der Anstieg von Testosteron während der Pubertät auf das etwa 30fache und der Anstieg der Wachstumshormonspiegel werden als Erklärung hierfür vermutet (Hiort 2002). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde keine Kraftmessung durchgeführt sondern die absolute Muskelmasse mit Hilfe der bioelektrischen Impedanzanalyse bestimmt.

2.1.9 Entwicklung der Ausdauer

Als Ausdauer wird die Fähigkeit bezeichnet, eine vorgegebene Leistung über eine möglichst lange Zeit zu erbringen. Diese wird auch als physische und psychische Ermüdungswiderstandsfähigkeit bezeichnet (Eisenhut und Zintl 2013). Nach Hollmann und Hettiger wird die Ausdauer von den meisten Autoren nach folgenden Kriterien systematisiert:

- Umfang der eingesetzten Muskulatur (lokal oder allgemein)
- Vorwiegende Art der Energiebereitstellung (aerob oder anaerob)
- Arbeitsweise der beanspruchten Muskulatur (statisch oder dynamisch)

Dabei wird jeweils zwischen der allgemeinen, sportartenspezifischen und der speziellen, sportartspezifischen Ausdauer unterschieden (Hollmann und Hettiger 2000, Beneke und Hebestreit 2002). Abbildung 3 zeigt die die Entwicklung der absoluten Leistung im sog. Fahrrad-Ausdauer test des Motorik Moduls der KIGGS-Studie. Als Kriterium für die Ausdauerleistungsfähigkeit wurde die PWC 170 (= physical working capacity 170) ermittelt. Diese beschreibt die Leistung in Watt, die der Proband bei einer Herzfrequenz von 170/min erbringt. Die Mittelwerte für die Ausdauerleistungsfähigkeit stiegen sowohl für die Jungen als auch für die Mädchen im Altersgang an. Dabei waren die Jungen durchgängig leistungsfähiger als die Mädchen. Beide Effekte (Alter, Geschlecht) waren signifikant, wobei die Effektstärke für das Alter ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,67$) wesentlich höher war als für das Geschlecht ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,20$). Bei genauer Betrachtung der Kurvenverläufe fällt auf, dass die Kurve der Mädchen linear über den gesamten Altersgang verläuft, während sich der Anstieg bei den Jungen ab 12 Jahren beschleunigt. Über die gesamte Altersspanne steigt der Wert bei den Jungen von 47,4 Watt auf 170,4 Watt (Anstieg von ca. 11 Watt/Jahr) und bei den Mädchen von 39,4 Watt auf 109,2 Watt (Anstieg von ca. 6 Watt/Jahr).

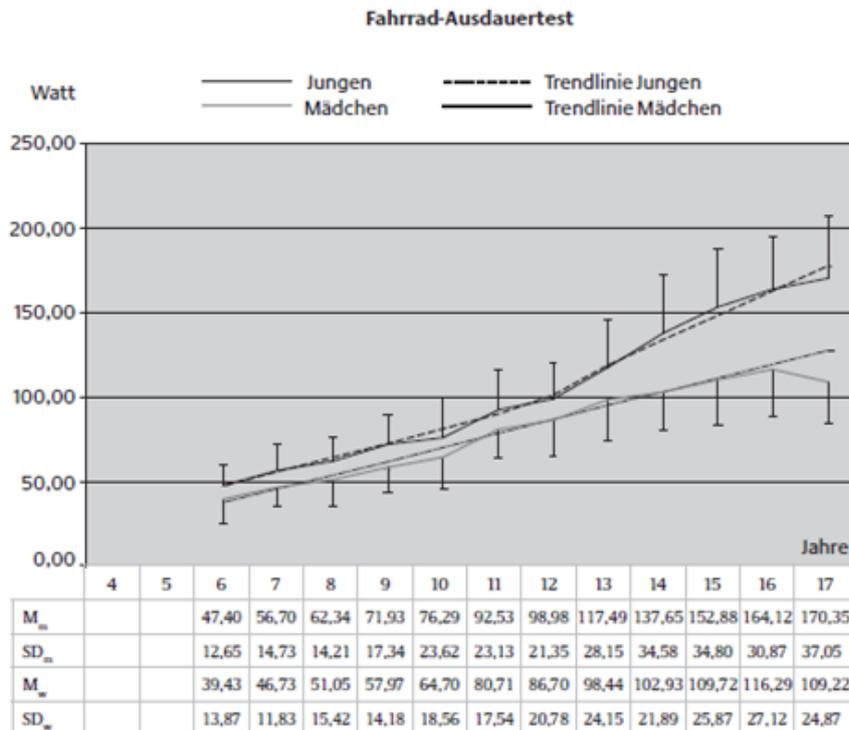


Abbildung 3: Absolute Alters- und geschlechtsspezifische Mittelwertverläufe beim Fahrrad-Ausdauererbst im Rahmen des Motorik Moduls der KIGGS-Studie, N=3410 (Bös 2009; Oppen et al. 2007).

Auch die Mittelwerte der relativen, körperrgewichtsbezogenen Ausdauerleistungsfähigkeit (PWC 170 in Watt/kg KG) stiegen für beide Geschlechter im Altersgang leicht an (vgl. Abb. 4), wobei die Effekte im Vergleich zur „absoluten“ Leistungsfähigkeit deutlich geringer waren.

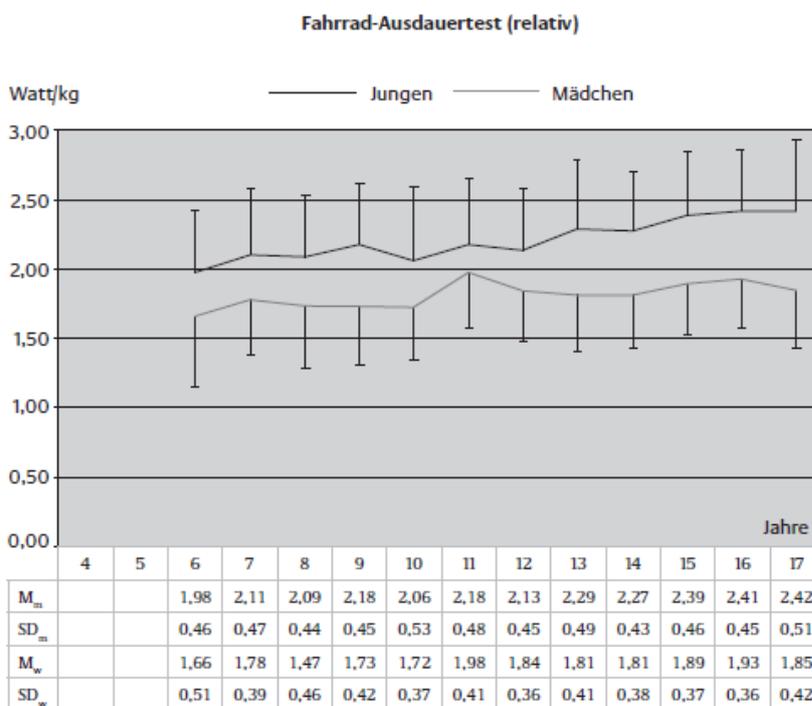


Abbildung 4: Relative alters- und geschlechtsspezifische Mittelwertverläufe beim Fahrrad-Ausdauererbst im Rahmen des Motorik Moduls der KIGGS-Studie, N=3410 (Bös 2009; Oppen et al. 2007).

Insgesamt waren die Jungen auch bei der Betrachtung der relativen Ausdauerleistungsfähigkeit durchweg leistungsfähiger als die Mädchen. Bei genauerer Betrachtung der Kurvenverläufe zeigt sich in Relation zur Bezugsgröße auch für die relative Ausdauerleistungsfähigkeit in Analogie zur absoluten PWC 170 ein stärkerer Anstieg bei den Jungen als bei den Mädchen und ein steilerer Kurvenverlauf ab dem 13. Lebensjahr.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ebenfalls die absolute und relative PWC 170 als ein Maß für die aerobe Leistungsfähigkeit bestimmt.

2.1.10 Der säkulare Trend

Der säkulare Trend (von lat. saeculum: Menschenalter, Generation) für Größe und Pubertät beschreibt die Veränderung der körperlichen Entwicklung von einer Generation zur nächsten (Gohlke und Woelfle 2009, Hermanussen 2013). Seit ca. 1850 wurde in Europa sowohl eine Zunahme der Körpergröße als auch eine Verschiebung der Pubertät hin zu immer jüngeren Kindern beobachtet (Cole 2003, Ong et al. 2006). Diverse Studien belegen für die letzten 200 Jahre in Nordamerika und Europa eine absolute Zunahme von Körpergröße und Körpermasse sowie eine Verkürzung der Wachstumsperiode. Das bedeutet, dass die Erwachsenengröße schneller und früher erreicht wird. Die durchschnittliche Größe von Niederländern betrug 1860 noch 165 cm, 1990 waren es bereits 181 cm, aktuell gelten die Niederländer als die „größte“ Nation weltweit mit einer durchschnittlichen Körpergröße von 184 cm bei jungen Männern und 171 cm bei jungen Frauen. Die Größenzunahme variiert von 3 mm/Dekade in Skandinavien bis zu 30 mm/Dekade in Süd- und Osteuropa. Generell kann man sagen, dass die meisten Kinder größer werden, als das gleichgeschlechtliche Elternteil, außerdem wird die Endgröße in jüngeren Jahren erreicht. Abb. 5 zeigt die Größenentwicklung japanischen Kindern zwischen 1950 und 1990.

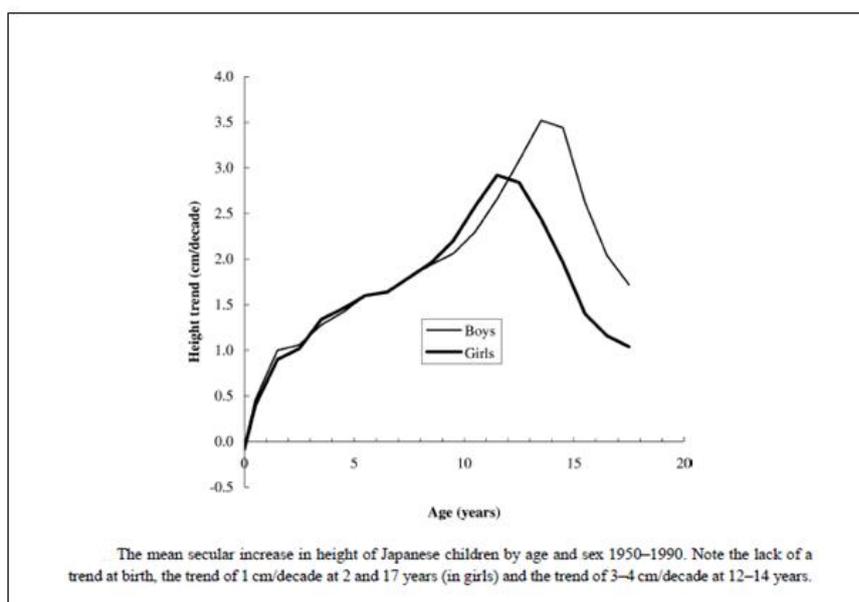


Abbildung 5: Der säkulare Trend in Japan zwischen 1950 und 1990 (Cole 2003).

Interessanterweise gibt es zur Zeit der Geburt keinen Größenunterschied zwischen den Jahren 1950 und 1990. Dieses Phänomen wurde auch in Europa bestätigt. Aber bereits im Alter von zwei Jahren erscheint eine Differenz von ca. 1 cm/Dekade oder 4 cm absolut. Diese Differenz zeigt sich auch im Vergleich der Erwachsenengröße der Frauen, Männer wurden ca. 1,5 cm/Dekade größer. Das heißt, die Zeit bis zum zweiten Geburtstag scheint entscheidend für Zunahme der Erwachsenengröße zu sein. Dies erklärt vermutlich auch das Phänomen, dass die Körpergröße am zweiten Geburtstag deutlich besser mit der Erwachsenengröße korreliert, als die Geburtsgröße (Choukair und Bettendorf 2013). Die höchsten Werte der beiden Kurven in Abb. 5 findet sich zwar im Alter von ca. 11 Jahren bei Mädchen und 14 Jahren bei Jungen, diese ist aber bedingt durch den früher einsetzenden puberalen Wachstumsschub. Dieser beginnt 1990 zwar früher als 1950, hört aber auch früher wieder auf. Als Ursache für den säkularen Wachstumstrend gelten verbesserte hygienische Bedingungen, eine reichhaltigere Ernährung und das seltenere Auftreten von Infektionskrankheit. Aktuelle Daten für Deutschland und Westeuropa zeigen, dass es in den letzten 30 Jahren zu einer Verlangsamung des Größenzuwachs/Dekade gekommen ist (Gohlke und Woelfle 2009). Es wird vermutet, dass die Kinder der jetzigen Adoleszenten nicht mehr größer werden, als das gleichgeschlechtliche Elternteil.

Als Indikator für die körperlichen Reife wird häufig das Menarchenalter verwendet, da es als objektives Kriterium für einen typischen Meilenstein während der weiblichen Pubertät gilt. In Europa fiel das Menarchenalter seit dem 19. Jahrhundert von nahezu 17 Jahren steil ab und stagniert in den meisten Ländern seit den 1960er Jahren bei ca. 13 Jahren. (Gohlke und Woelfle 2009). Euling et al. beschreiben ähnliche Ergebnisse nach der Analyse US amerikanischer Daten aus den Jahren 1940 bis 1994. Außerdem beklagen diese die dünne Datenlage in Bezug auf die männliche Pubertätsentwicklung. Repräsentative Daten würden erst seit 1963 existieren. Sie beschreiben zwar auch für die Jungen ein tendenziell früheres Einsetzen der Pubertät (Schamhaare und Stimmbruch) im Untersuchungszeitraum, legen sich aber nicht auf eine Anzahl von Jahren fest (Euling et al. 2008). In einer repräsentativen Erhebung in Deutschland wurde im Vergleich von 1981 mit 1994 eine Verschiebung des ersten Samenergusses (Ejakularche) um 1,7 Jahre von 14,2 Jahre auf 12,5 Jahre beobachtet (Kluge 1998). Es spricht also einiges dafür, dass auch die Pubertät der Jungen einem säkularen Trend unterliegt.

2.1.11 Der Pubertätsstatus

Aus den vorherigen Abschnitten geht hervor, dass es sich bei den Veränderungen während der Pubertät um ein komplexes Zusammenspiel interner und externer Faktoren handelt. Wenn auch bestimmte Veränderungen in relativ festgelegter Reihenfolgen ablaufen, so handelt es sich insgesamt um ein individuelles Geschehen. Es müssen Maße gefunden werden, um die fortschreitenden körperlichen Veränderungen zu quantifizieren oder

qualitativ zu beschreiben. In diesem Zusammenhang unterscheidet man das chronologische Alter (CA = die Zeitspanne von der Geburt bis zum Untersuchungszeitpunkt) vom biologischen Alter (BA = der Grad der biologischen Reife). In den beiden folgenden Abschnitten werden einige Methoden zur Bestimmung des BAs dargestellt.

2.1.12 Objektive Verfahren zur Bestimmung des Pubertätsstatus

1962 beschrieb **James M. Tanner** ein Schema zur Klassifikation sekundärer Geschlechtsmerkmale, welches noch heute angewendet wird. (Tanner 1962, Leidenberger et al. 2014). Bei den männlichen Jugendlichen werden bezogen auf die Genitalentwicklung (G1 – 5) und auf die Schambehaarung (PH = pubic hair 1 – 5) je fünf Stadien unterschieden. Das erste Stadium entspricht dem kindlichen, präpubertären Zustand, der letzte dem adulten. Der Status wird im Rahmen einer körperlichen Untersuchung ermittelt. Die erste sichtbare Veränderung findet in den Genitalen statt. Das Hodenvolumen, welches mit Hilfe eines Orchidometers ermittelt wird, vergrößert sich über 3 ml (G2). Kurz darauf erfolgt die Pubarche (PH2).

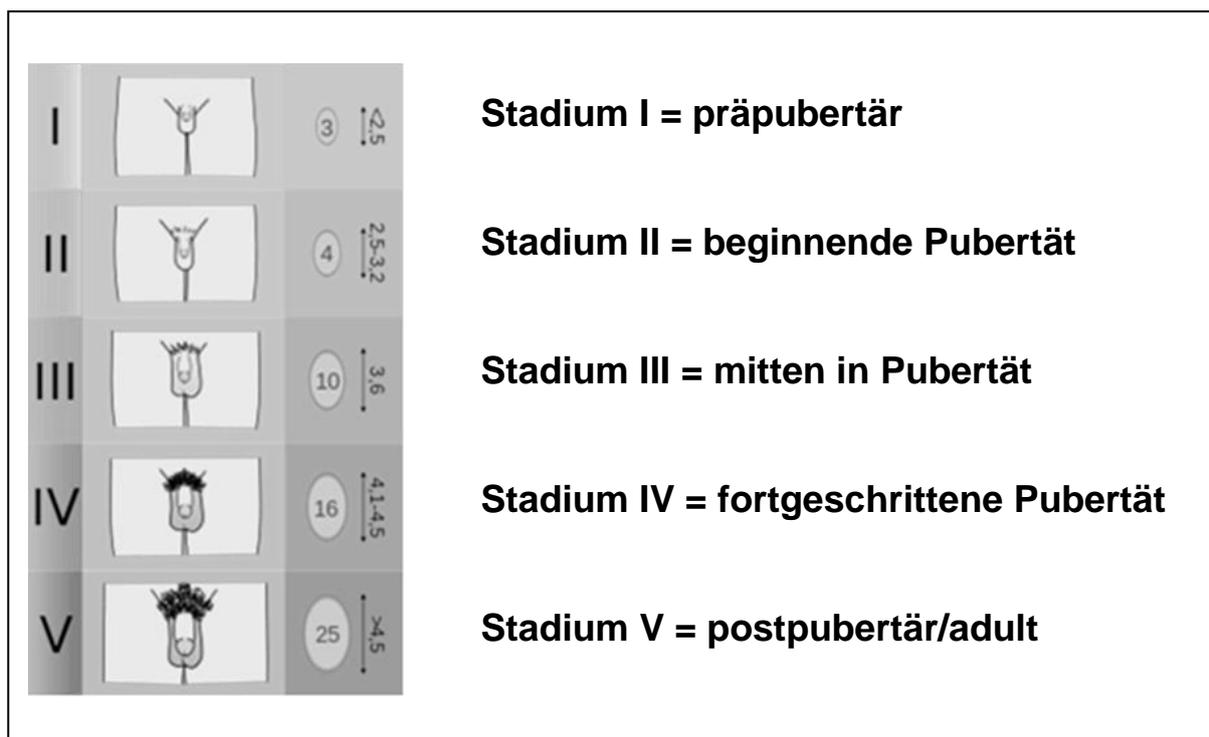


Abbildung 6: Skizzierte Darstellung der Tanner Stadien bei Jungen modifiziert (Tanner 1962).

Die Entwicklung von Stadium 2 bis zu Stadium 5 dauert etwa drei Jahre.

Eine weitere Möglichkeit zur objektiven Beurteilung des Reifegrades stellt die Bestimmung des sog. **Knochenalters** dar. Das wachsende Skelett unterscheidet sich vom adulten in erster Linie durch die offenen Epiphysenfugen. Es gibt aber auch deutliche Unterschiede in

Form und Größe einzelner Knochen sowie der Dicke der Kortikalis und der Struktur der Spongiosa (Leidenberger et al. 2014). Die heute immer noch am häufigsten angewendete Methode wurde bereits 1959 von Greulich und Pyle publiziert (Serinelli et al. 2011). Grundlage ist eine Röntgenuntersuchung der linken Hand, da diese bei den meisten Menschen die nicht dominante Hand darstellt und seltener von Frakturen betroffen ist. Anhand des Röntgenbildes werden die Knochenkerne der Handwurzelknochen sowie der Reifegrad der Epiphysenfugen beurteilt. Mit Hilfe von geschlechtsspezifischen Referenzbildern wird das Skeletalter des Kindes bestimmt. Dieses kann dem chronologischen Alter entsprechen, höher oder niedriger sein. Abweichungen, die innerhalb eines Jahres liegen, gelten als normal. Aus dem Skeletalter und der aktuellen Körpergröße lässt sich die prospektive Erwachsenengröße mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 1,6$ cm berechnen (Jüttner 2010). Die einfachste Methode zur Abschätzung der prospektiven Zielgröße ist mit Hilfe der Formel nach Tanner – unter Berücksichtigung der Körpergröße der leiblichen Eltern - möglich (Reisinger 2006, Koletzko 2012):

$$\text{Prospektive Zielgröße} = \frac{(\text{Größe des leib.Vaters} + \text{Größe der leib. Mutter})}{2} + 6,5\text{cm für Söhne}$$

Die Angabe der aktuellen Körpergröße in **% der prospektiven Zielgröße** ist ein weiterer Parameter zur Beschreibung der biologischen Reife. In großen Untersuchungen wurden Skeletalter und erreichte % der prospektiven Endgröße miteinander verglichen worden. Dabei wurden moderate bis hohe Übereinstimmungen beschrieben ($r > 0,7$) (Bielicki et al. 1984, Fragoso et al. 2015). Auch wenn die radiologische Bestimmung des Skeletalters als Goldstandard angesehen wird, so hat sich die Bestimmung der erreichten % der prospektiven Zielgröße nach der o.a. Formel in der Praxis mit gesunden Athleten bewährt (Lloyd et al. 2014).

In Kapitel 2.1.2 wurde bereits die große Bedeutung der hormonellen Kreisläufe auf die pubertäre Entwicklung dargestellt. Trotzdem ist es nicht leicht, mittels Bestimmung von Hormonspiegeln pubertäre Stadien zu definieren: die Geschlechtshormone unterliegen einer zirkadianen Rhythmik, d.h. die Blutspiegel verändern sich im Laufe des Tages um etwa 40%. Außerdem gibt es starke interindividuelle Schwankungen, so dass sich nicht einfach definierte Grenzwerte bestimmten Pubertätsstadien zuordnen lassen (Shirtcliff et al. 2009). Eine wirklich valide Aussage über den Pubertätsverlauf kann man nur machen, wenn die Hormonspiegel immer zur gleichen Tageszeit abgenommen werden, immer im selben Labor analysiert werden und über einen langen Verlauf – möglichst präpubertär beginnend – bestimmt werden. Trotz dieser methodischen Schwierigkeiten werden sowohl in der Forschung als auch in der klinischen Überwachung und Beurteilung der pubertären

Entwicklung Hormonbestimmungen durchgeführt. Dazu dient z.B. die Bestimmung von Testosteron und DHES (Dehydroepiandrosterone) im Speichel oder Blutserum (Duke et al. 2014).

2.1.13 Subjektive Verfahren zur Bestimmung des Pubertätsstatus

Im Rahmen von epidemiologischen Untersuchungen an gesunden Probanden ist es oft nicht möglich, den Pubertätsstatus mit den oben beschriebenen Verfahren objektiv zu bestimmen: Weder eine komplette körperliche Untersuchung der entkleideten Probanden mittels Orchidometer, noch eine Röntgen- oder Blutuntersuchungen kommen innerhalb dieses Settings in Frage. Also wurden subjektive Verfahren zur Bestimmung des Pubertätsstatus entwickelt. Im angloamerikanischen Sprachraum kommen vor allem zwei Verfahren zum Einsatz, welche im Folgenden vorgestellt werden: Beim **Picture-Based Interview about Puberty (PBIP)** werden den Jugendlichen Fotos oder Skizzen gezeigt, die entsprechend den fünf Tanner Stadien gestaltet sind (vgl. Abb. 6). Die Probanden markieren jeweils, in welchem Stadium sie sich zum Untersuchungszeitpunkt befinden. Bei Anwendung der **Pubertal Development Scale (PDS)** beantworten die Probanden fünf Fragen zur Entwicklung der sekundären Geschlechtsmerkmale (siehe Anhang E). In Abbildung 7 sind einige der unterschiedlichen Items mit dem mittleren Auftreten dargestellt. Die Antwortmöglichkeiten werden mit mindestens einem Punkt (noch keine Entwicklung) bis maximal vier Punkten (Entwicklung abgeschlossen) bewertet (Petersen et al. 1988). D.h. jeder Proband erreicht mindestens fünf und maximal 20 Punkte. Beide Verfahren sind wiederholt evaluiert und mit einer körperlichen Untersuchung verglichen worden (Carskadon und Acebo 1993, Coleman und Coleman 2002, Bond et al. 2006, Shirtcliff et al. 2009). Die Autoren kommen übereinstimmend zu dem Schluss, dass die körperliche Untersuchung des entkleideten Patienten durch einen erfahrenen Untersucher den Goldstandard darstellt, dass dies aber gerade bei der Untersuchung von gesunden Freiwilligen häufig nicht praktikabel ist. In dem Fall verfügen beide hier vorgestellten Verfahren über eine ausreichende Validität und Reliabilität. Hibberd und Kollegen untersuchten bei 61 körperlich aktiven Jungen im Alter von 6 – 16 Jahren den Zusammenhang zwischen PDS und Testosteronspiegel im Speichel und fanden hohe Korrelationen. Sie kamen zu folgendem Schluss: *„...PDS adequately predict salivary free testosterone levels in school-aged males and may be an appropriate tool to evaluate physical maturity in school-aged males quickly, cheaply, and accurately.“* (Hibberd et al. 2014). Shirtcliff et al. verglichen bei 160 Jugendlichen zwischen 9 und 14 Jahren die Ergebnisse der körperlichen Untersuchung mit denen von PBIP und PDS. Dabei fanden sie insgesamt gute Übereinstimmungen bei beiden Geschlechtern. Allerdings neigten die Jugendlichen dazu ihre Entwicklung zu überschätzen, wenn sie eher retardiert waren und umgekehrt haben die eher akzelerierten Jugendliche ihr Entwicklung eher niedriger eingeschätzt, als die untersuchenden Ärzte. Dies scheint den Wunsch der Adoleszenten zum

Ausdruck zu bringen, in einem Entwicklungsstadium wie die meisten Gleichaltrigen zu sein. Coleman und Coleman resümieren: „...*the concordance of self-assessment by teenager and physician under a variety of conditions indicates that self-perception of the level of sexual maturation by adolescents is highly accurate...in future research projects, investigators can allow teenagers to accurately designate their own level of sexual maturation.*” (Coleman und Coleman 2002). Bond et al. empfehlen dabei explizit die Pubertal Development Scale: „*The PDS is a useful alternative to assess pubertal status in epidemiological studies*” (Bond et al. 2006). Für diese liegt auch eine erste Evaluation einer deutschen Übersetzung vor, in dem die Autorin ebenfalls zu dem Schluss kommt, dass es sich um ein Erhebungsinstrument handelt, dessen Reliabilität und Validität positiv zu bewerten sind (Watzlawik 2009).

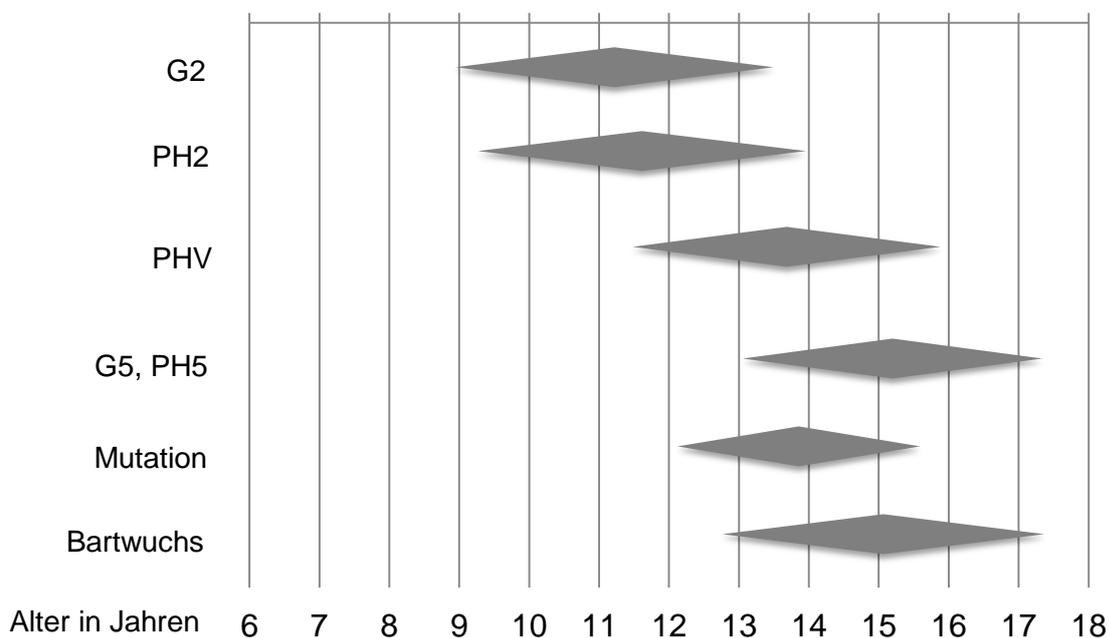


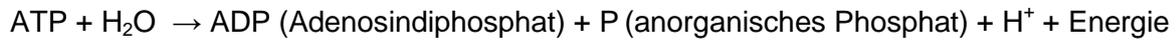
Abbildung 7: Mittleres Auftreten einiger Items aus der PDS +/- 1 SD.

2.2 Energetische Aspekte der körperlichen Leistungsfähigkeit

Das Wissen über die biochemischen Prozesse im kindlichen Skelettmuskel während körperlicher Aktivität ist limitiert: Aus ethischen Gründen ist es kaum möglich gesunden Probanden Muskelbiopsien zur genauen Analyse zu entnehmen, wie es in der Erwachsenenphysiologie seit ca. 1960 üblich ist. In den meisten Studien – wie in der vorliegenden – wird indirekt von der Laktatbestimmung im kapillaren Blut auf den Muskelstoffwechsel geschlossen. Im Folgenden werden kurz die Prinzipien der Energiebereitstellung dargestellt. Dabei wird vorausgesetzt, dass es bei diesen biochemischen Prozessen keine grundlegenden Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen gibt (Armstrong 2007).

2.2.1 Energiebereitstellung in der Muskelzelle

Komplexe organische Moleküle enthalten Energie in Form von atomaren Bindungen. Bei der Lösung einer Bindung wird Energie frei. Grundlage jeder Muskelkontraktion ist der von ATPase katalysierte Abbau von Adenosintriphosphat (ATP):



Der Vorrat an ATP in den Muskelzellen wäre bereits nach ca. drei Muskelkontraktionen aufgebraucht, es wird aber parallel zum Abbau wieder resynthetisiert. Kurzgefasst kann man sagen, dass bei gesunden Menschen die Fähigkeit der Muskelzelle ATP zu regenerieren den leistungslimitierenden Faktor einer Ausdauerleistung darstellt. Zur Resynthese von ATP wird Energie benötigt, diese kann über unterschiedliche Stoffwechselwege bereitgestellt werden: Aerob, d.h. durch Verbrennung von Substraten unter Sauerstoffverbrauch und Entstehung von Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) oder anaerob, d.h. ohne Bereitstellung von Sauerstoff. Bei der anaeroben Energiebereitstellung wird nochmals zwischen anaerob-laktaziden (anaerobe Glykolyse) und der Kreatinphosphatspaltung unterschieden. Letztere wird auch anaerob-alktazid genannt, da weder Sauerstoff benötigt noch Laktat gebildet wird (Hollmann und Hettinger 2000, Marées und Heck 2006, Dickhuth und Badtke 2010).

Tabelle 1 zeigt die unterschiedlichen Formen der Energiebereitstellung in der Muskelzelle, um die ATP Resynthese zu gewährleisten. Aus didaktischen Gründen erfolgt die getrennte Darstellung, in vivo finden aber immer mehrere Prozesse parallel statt. Das Ausmaß und der jeweilige Anteil der einzelnen Reaktion an der Energiegewinnung sind von der Art der Belastung, den genetischen Voraussetzungen des Individuums und dem Trainingszustand abhängig. Außerdem wird die Art des dominierenden Stoffwechselweges von der rekrutierten Muskelzelle beeinflusst. Grob vereinfacht kann man anhand unterschiedlicher enzymatischer Ausstattung und differentem Kontraktionsverhalten zwei verschiedene Muskelfasertypen unterscheiden:

1. Die Fast-Twitch-Faser (FT-Faser), für schnelle, intensive Muskelbeanspruchung. Diese zeichnen sich durch einen hohen Anteil von energiereichen Phosphaten, hoher ATPase Aktivität und guter Enzymausstattung für die anaerobe Energiegewinnung aus.
2. Die Slow-Twitch-Faser (ST-Faser). Diese werden vor allem für langdauernde, dynamische Aktivitäten rekrutiert. Sie zeichnen sich durch eine hohe Aktivität von Enzymen zur aeroben Energiegewinnung und einen deutlich bessere Mitochondrienausstattung aus (McArdle et al. 2010).

Tabelle 1: Unterschiedliche Prozesse der Energiegewinnung (modifiziert nach Bernitzki).

Beanspruchung	Energiebereitstellung in der Muskelzelle			
	anaerob Belastung		aerobe Belastung	
	alaktazid	laktazid	glykolytisch	lypolytisch
Substrat	ATP, Kreatinphosphat	Glukose	Glukose + O ₂	Fettsäuren + O ₂
Produkte	ADP, Kreatin	Laktat	CO ₂ + H ₂ O	CO ₂ + H ₂ O
Energiebilanz	1 mol ATP / mol KrP	2 mol ATP / mol Glukose	38 mol ATP / mol Glukose	129 mol ATP / mol C ₁₆ H ₃₂ O ₂
Nutzungsdauer	7 – 10 s	40 – 90 s	60 – 90 min.	nahezu unerschöpflich
ATP Bildungsrate/ min.	4,4 mmol	2,4 mmol	1,0 mmol	0,4 mmol
bevorzugter Muskelfasertyp	FT-Faser	FT-Faser	ST-Faser	ST-Faser
Beginn der ATP Bildung	ohne Verzögerung	schnell	langsam beginnend	langsam beginnend
Bedeutung	Sofortdepot, reicht für wenige und schnell aufeinanderfolgende Kontraktionen mit maximaler Belastung (Laufstart, Gewichtheben)	dominant bei kurzen, intensiven Belastungen (200 m Lauf)	dominant bei Belastungen zwischen 2,5 und 90 min.	langandauernde Belastungen mit niedriger Intensität

2.3 Leistungsdiagnostik

Mit Hilfe der Leistungsdiagnostik wird die aufgabenspezifische Leistungsfähigkeit eines Individuums untersucht. Im Kindesalter dient die Untersuchung der Objektivierung der Leistungsfähigkeit, der Beurteilung der Belastbarkeit (= die Belastung, die ohne negative Auswirkungen auf den Organismus toleriert wird) und zur Trainingsberatung gesunder und kranker Probanden.

2.3.1 Prinzipien der Ergometrie

Unter einer Ergometrie versteht man eine standardisierte Belastungsuntersuchung, welche die Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität erfüllt. Damit wird deutlich, dass sog. „undosierte“ Belastungen, wie Treppenlaufen, Kniebeugen oder Hampelmänner aufgrund der nicht standardisierten Belastung nicht den Vorgaben einer Ergometrie entsprechen. Grundsätzlich wird zwischen einem Labortest und einem Feldtest unterschieden. Letztere kommen nach wie vor bei der sportartspezifischen Untersuchung von größeren Gruppen bzw. Mannschaften zur Anwendung. In der Forschung und klinischen Diagnostik werden aber vor allem Labortests durchgeführt. Die Umgebungsbedingungen lassen sich so leichter standardisieren, die Überwachung kardiopulmonaler Parameter ist verlässlicher und im Notfall kann eine medizinische Intervention leichter erfolgen. Während der Untersuchung muss der Proband entweder eine stetig ansteigende Leistung (Rampenprotokoll) oder eine stufenförmig ansteigende Leistung (Stufenprotokoll) erbringen. Der Organismus reagiert mit kardiopulmonalen und metabolischen Anpassungsmechanismen. Diese werden während der Untersuchung dokumentiert und dienen der Auswertung. Mögliche Indikationen für eine ergometrische Untersuchung in der Pädiatrie sind modifiziert nach Hebestreit 2010:

- Bestimmung der Leistungsfähigkeit
- Generieren von Informationen für die Trainingsberatung
- Dokumentation von Trainingseffekten
- Stimulation pathologischer Reaktionen
- Dokumentation des Verlaufs einer Erkrankung
- Abschätzen der Prognose
- Ausschluss oder Nachweis einer eingeschränkten Belastbarkeit

2.3.2 Laufband- versus Fahrradergometrie in der Pädiatrie

Grundsätzlich stehen Ruder-, Handkurbel-, Laufband- und Fahrradergometrie zur Verfügung. Eine Untersuchung auf dem Ruderergometer ist aufgrund der hohen technischen Anforderungen nur Sportlern der entsprechenden Sportart vorbehalten. Aufgrund der schnellen Ermüdung der lokalen Muskulatur, die in der Regel keine Ausbelastung zulässt, ist auch das Handkurbelergometer nur für spezielle Fragestellungen in der Pädiatrie geeignet und findet keine Anwendung in Reihenuntersuchungen. Die Fahrradergometrie im Sitzen ist die gebräuchlichste Belastungsform in Mitteleuropa, während in Nordamerika bevorzugt die Laufband- und Handkurbelergometrie zur klinischen Diagnostik verwendet wird (Löllgen et al. 2010). Die Laufbandbelastung entspricht am ehesten einer physiologischen Alltagsbelastung des Menschen. Aufgrund der guten Dosierung von Geschwindigkeit und Steigung können theoretisch bereits Kinder im Kindergartenalter untersucht werden (Hebestreit 2010). Wir haben allerdings wiederholt die Erfahrung gemacht, dass Kinder, die zum ersten Mal auf einem Laufband laufen, sehr ängstlich sind und aus Unsicherheit die Untersuchung vor der

Ausbelastung abbrechen. Die American Heart Association schreibt diesbezüglich in ihren Guidelines zum Clinical Stress Testing in the Pediatric Age Group: *"...even though almost every child older than 3 years can walk fast or run routinely, exercising on a treadmill is not a natural form of walking[...]it is recommended to judge this on a case-by-case basis."* (Paridon et al. 2006). Für Querschnittuntersuchungen größerer Gruppen scheint das Laufband also nicht optimal geeignet zu sein.

Fahrradergometer sind günstiger in der Anschaffung, benötigen weniger Platz und sind deutlich leiser während des Betriebes. Die Überwachung von Herzfrequenz und Atemgasen sowie das Ableiten eines EKGs während der Untersuchung sind weniger artefaktreich. Aufgrund anatomischer und physiologischer Besonderheiten ist die Fahrradergometrie in der Regel ab dem 5. Lebensjahr bzw. ab einer Körpergröße von > 110 cm geeignet, sofern sich das Fahrradergometer (horizontale und vertikale Anpassung von Lenkstange und Sattel) auf die Größe des Kindes einstellen lässt (Hebestreit, Förster et al. 2009). Durch eine körperrgewichtbezogene Auswertung wird eine gute Vergleichbarkeit der erzielten Ergebnisse erreicht (Rost 1998). Besonders geeignet sind elektrisch gebremste Geräte, bei denen sich der Widerstand an die Trittfrequenz des Probanden anpasst. Die Vor- und Nachteile beider Belastungsformen sind in Tabelle 2 nochmals zusammengefasst. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass Boileau et al. bereits 1977 beschrieben haben, dass bei Jungen im Alter von 10 – 14 Jahren die maximal erreichte Sauerstoffaufnahme auf dem Laufband etwa 10% höher ist, als bei einer Untersuchung auf dem Fahrradergometer (Boileau et al. 1977). Diese Ergebnisse wurden im Verlauf wiederholt bestätigt (Paridon et al. 2006, Armstrong 2007). Auch die Art des Belastungsprotokolls (Stufe, Rampe, Länge der einzelnen Belastungsstufen, Zunahme der Geschwindigkeit oder Steigung auf dem Laufband...) hat Einfluss auf die gemessenen kardiopulmonalen und metabolischen Parameter (Hebestreit, Graf und Predel 2010, McArdle et al. 2010). Im Rahmen eines Rampenprotokolls für Kinder und Jugendliche sind mindestens Stufenlängen von drei Minuten erforderlich, um ein steady-state der physiologischen Parameter (z.B. Herzfrequenz und Laktatkonzentration im Serum) zu erreichen (Massin 2014). Die vielen potentiellen Einflüsse verdeutlichen, dass bei der Interpretation von leistungsdiagnostischen Ergebnissen das Belastungsprotokoll und die Art der Belastung berücksichtigt werden müssen.

Tabelle 2: Vergleich von Laufband- und Fahrradergometrie in der pädiatrischen Leistungsdiagnostik modifiziert nach BarOr und Kroidl (BarOr 1983; Kroidl und Schwarz 2010).

	Laufbandergometrie	Fahrradergometrie
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - physiologische Belastungsform - viel aktivierte Muskelmasse - ab ca. 3 Jahren möglich - max. Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenzen können erreicht werden 	<ul style="list-style-type: none"> - weit verbreitet, bessere Vergleichbarkeit - geringere Anschaffungskosten - geringerer Platzbedarf - mobiles Testgerät - EKG, RR weniger Artefakte - kapillare Blutentnahme während Belastung möglich - erbrachte Leistung kann präzise in Watt angegeben werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - höhere Anschaffungskosten - Angst der Probanden vor Stürzen - höherer Personalbedarf - nicht portabel - für Querschnittuntersuchung wenig geeignet - erbrachte Leistung in Watt wird nur abgeschätzt 	<ul style="list-style-type: none"> - unphysiologische Belastungsform - muskuläre Ermüdung evtl. leistungslimitierend - Einfluss von Übergewicht geringer

2.3.3 Bestimmung der PWC 170

Zur Bestimmung der submaximalen Leistungsfähigkeit wird auch in der Kinderheilkunde häufig die PWC 170 ermittelt. Dazu absolviert der Proband entsprechend eines vorab festgelegten Stufenprotokolls eine Belastungsuntersuchung auf dem Fahrradergometer. Zum Ende jeder Belastungsstufe wird die Herzfrequenz (HF) dokumentiert. Der Test wird beendet, wenn die HF über 170/min angestiegen ist. Entsprechend der u.a. Formel wird die erbrachte Leistung in Watt bei einer Herzfrequenz von 170/min durch lineare Interpolation berechnet (Hollmann et al. 2006).

$$\text{PWC 170} = P_1 + (P_2 - P_1) \times (170 - HF_1) / (HF_2 - HF_1)$$

P_1 = Leistung in Watt an der Belastungsstufe unterhalb einer HF von 170/min
 P_2 = Leistung in Watt an der Belastungsstufe oberhalb einer HF von 170/min
 HF_1 = Herzfrequenz am Ende der dreiminütigen Belastung unterhalb einer HF von 170/min
 HF_2 = Herzfrequenz am Ende der dreiminütigen Belastung oberhalb einer HF von 170/min

Das Ergebnis wird als absoluter Wert in Watt oder als relativer Wert bezogen auf das Körpergewicht in Watt/kgKG angegeben. Je höher die ermittelten (relativen) Werte sind, desto höher ist die aerobe Leistungsfähigkeit des Probanden einzuschätzen. Bei zunehmender körperlicher Belastung steigt der Sauerstoffbedarf des Organismus und als Reaktion darauf steigt die Herzfrequenz zunächst linear an. Im Verlauf nähert sie sich asymptotisch der maximalen Herzfrequenz. Die maximale Herzfrequenz eines Individuums ist unabhängig vom Trainingszustand, die Steilheit des Anstiegs, d.h. bei welcher Leistung das Maximum erreicht wird, gibt aber Auskunft über die individuelle Leistungsfähigkeit. Die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit eines Probanden wird also umso höher eingeschätzt, je geringer der Anstieg der Herzfrequenz bei Zunahme der Belastung ist. Da die maximale Herzfrequenz mit zunehmendem Alter kontinuierlich abnimmt, eignet sich der Wert aber nicht für den Vergleich unterschiedlicher Altersgruppen. Eine Herzfrequenz von 150/min entspricht bei einem 20 Jährigen etwa 75 % seiner maximalen Herzfrequenz, bei einem 60 Jährigen etwa 96 % der maximalen Herzfrequenz. (Gore et al. 1999, Finger et al. 2013). Die Leistungsfähigkeit jüngerer Personengruppen wird also beim Vergleich unterschätzt. Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich bezogen auf das Lebensalter um eine relativ homogene Stichprobe, die aus nur fünf Jahrgängen besteht. Trotzdem gibt Hebestreit zu bedenken, dass auch bei Kindern und Jugendlichen die maximale Herzfrequenz im Einzelfall zwischen 175/min und 225/min liegen kann. Im ersten Fall würde die Leistung, die im Rahmen einer PWC 170 ermittelt wird fast einer Ausbelastung des Probanden entsprechen, während im zweiten Fall der Proband bei einer Herzfrequenz von 170/min noch eine erhebliche Leistungsreserve hätte. Im ersten Fall würde man die kardiologische Leistungsfähigkeit des Probanden anhand der PWC 170 überschätzen, im zweiten Fall eher unterschätzen (Beneke und Hebestreit 2002, Löllgen et al. 2010). Generell ist bei Anwendung und Interpretation der PWC 170 zu bedenken, dass die ermittelten Resultate bei Einnahme von β -Blockern oder bei Herzerkrankungen mit pathologischem Herzfrequenzverhalten unter Belastung nicht valide sind.

2.3.4 Laktatleistungsdiagnostik

Vor über 200 Jahren entdeckte und isolierte der schwedische Chemiker Carl W. Scheele das Laktat aus Sauermilch, worauf der Name „mjölksyra“ (Milchsäure) zurückgeht. In der zweiten Dekade des letzten Jahrhunderts entwickelten die Physiologen Archibald Vivian Hill (Cambridge) und Otto Fritz Meyerhof (CAU Kiel) durch umfangreiche Experimente die Grundlage für das Verständnis der Bedeutung von Sauerstoff, Wasserstoff und Laktat für

den Muskelstoffwechsel. Dafür erhielten die beiden Wissenschaftler 1922 den bisher einzigen Nobelpreis für arbeitsphysiologisch-biochemische Forschung (Beneke 2014). Die Messung der Blutlaktatkonzentration während einer standardisierten körperlichen Belastung (Ergometrie) gehört heute zu den typischen Techniken der sportmedizinischen Diagnostik. Die generierten Ergebnisse dienen der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung. Selbst in Ruhe wird im Skelettmuskel Laktat produziert. Wie in 2.2.1 beschrieben verändert sich mit steigender Belastung nur der Anteil und das Ausmaß der verschiedenen Stoffwechselwege. Die metabolische Leistungsdiagnostik dient der Differenzierung der beiden Hauptwege zur Energiebereitstellung und ATP-Resynthese im Muskel: der oxidativen Energiebereitstellung und der anaeroben Glykolyse (vgl. Tabelle 1). Eine stärkere Laktatbildung bei gleicher Leistung wird als geringere Kapazität der oxidativen Enzyme der Muskelzelle interpretiert. Das heißt also nicht automatisch, dass in der Muskelzelle zu wenig Sauerstoff zur Verfügung steht - wie fälschlicherweise oft angenommen wird - sondern dass die zur Verfügung stehenden oxidativen Enzyme ausgelastet sind. Indirekt lassen sich also aus der Blutlaktatkonzentration (BLK) hauptsächlich Rückschlüsse auf den muskulären Metabolismus ziehen. Die BLK ist das Ergebnis aus Laktatproduktion im Zytosol der Muskelzelle, der Diffusion zwischen wasserlöslichen Kompartimenten, dem Laktatabbau im peripheren Gewebe (Leber, Gehirn, Niere) sowie dem oxidativem Abbau in der aktuell nicht arbeitenden Muskulatur (Dickhuth und Badtke 2010, Röecker et al. 2010). Bei einer Laktatkonzentration über 10 mmol/l liegt die Halbwertszeit bei etwa 15 min. Eine aktive Erholung mit moderater Intensität bei einer Herzfrequenz von 100-120/min. kann die Laktatelemination deutlich beschleunigen. (Grosser et al. 2012). Auf Grundlage dieses Verständnisses wurden laktatdiagnostische Testverfahren entwickelt. Im Rahmen eines Stufenprotokolls wird zum Ende jeder Belastungsstufe die Herzfrequenz dokumentiert und eine Blutprobe entnommen. Aus letzterer wird die Laktatkonzentration in mmol/l bestimmt. Zu Beginn der Belastungsuntersuchung bleibt der Laktatwert konstant, steigt nur etwas an oder es kommt sogar zu einer sog. „Laktatsenke“, d.h. es werden Werte unterhalb des Ausgangswertes vor Beginn der Belastung gemessen. Als Erklärung dafür wird eine vermehrte Rekrutierung von Slow-Twitch-Fasern und damit eine Zunahme der Aktivität von Laktat eliminierenden Enzymen angenommen. Bei ansteigender Belastung steigt der Anteil der anaeroben Glykolyse an der Gesamtenergiebereitstellung und es kommt zu einer zunehmenden Produktion von Laktat. Der erste messbare Anstieg der Laktatkonzentration wird nach Wasserman als „Lactate threshold“ (LT1) bezeichnet (Wasserman 1986). Die Leistung, bei der sich Laktatproduktion und Elimination über einen vorher definierten Zeitraum, z.B. 30 min während einer konstanten Belastung die Waage halten, wird als „maximaler Laktat-Steady-State“ (MLSS) bezeichnet. Für die genaue Ermittlung der MLSS sind immer mehrere, an verschiedenen Tagen durchzuführende und jeweils mind. 30 min.

dauernde Untersuchungen nötig. Aus testökonomischen Gründen ist die Ermittlung dieses Wertes für die Routine daher nicht geeignet. Bei weiter steigender Belastung übersteigt die Laktatproduktion die Kapazitäten der Elimination. Das System kommt aus dem Gleichgewicht und es kommt zu einem exponentiellen Anstieg der Laktatkonzentration im Blut. In den letzten fünf Jahrzehnten wurden mehr als 60 verschiedene Konzepte zur Bestimmung unterschiedlicher Laktatschwellen publiziert (Dörr 2000, Faude et al. 2009, Beneke et al. 2011), wobei alle unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen. In der vorliegenden Untersuchung wurde die sog. 4 mmol/Schwelle nach Mader ermittelt (Mader und Heck 1986). Die Autoren entwickelten dieses Konzept nach der Analyse empirischer Untersuchungen, bei denen sie zeigen konnten, dass bei den meisten Probanden der anaerobe Übergang bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l lag. Dies Konzept gilt als relativ gut validiert (Dörr 2000) und zeichnet sich durch hohe Testökonomie, Objektivität und Reliabilität aus (Pfitzinger und Freedson 1998). Im Rahmen einer ergometrischen Untersuchung wird eine Laktatleistungskurve erstellt. Mittels linearer Interpolation wird sowohl die Leistung ermittelt, bei der der Laktatwert rechnerisch 4 mmol/l beträgt, als auch die mit dieser Leistung korrespondierende Herzfrequenz errechnet. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff anaerobe Schwelle (ANS) synonym mit der 4 mmol-Laktatschwelle verwendet.

2.3.5 Laktatleistungsdiagnostik in der Pädiatrie

Die Grundlagen des Muskelstoffwechsels, wie sie in Kap. 2.1.1 beschrieben wurden gelten prinzipiell auch für die Untersuchung von Adoleszenten. Trotzdem lassen sich die Untersuchungen und die Interpretation der Ergebnisse nicht unkritisch von Erwachsenen auf diese Altersgruppe übertragen, da der kindliche Muskelstoffwechsel einige Besonderheiten aufweist. Bereits 1938 zeigte Robinson, dass die Laktatakkumulation bei maximaler und submaximaler Belastung bei Kindern niedriger ist, als bei Erwachsenen. Damit zeigte er erstmals indirekt, dass die anaerobe Leistungsfähigkeit von Kindern möglicherweise nicht so hoch ist, wie die von Erwachsenen. Er interpretierte die Ergebnisse aber eher als Motivationsdefizit, „*their unwillingness to continue work after cease to entertain them.*“ (Robinson 1938, Bar-Or 2000). 1997 publizierten Pfitzinger und Freedson ein Review zum Anstieg der Blutlaktatkonzentration bei Kindern und Jugendlichen während körperlicher Belastung im Verhältnis zur maximalen Sauerstoffaufnahme. Sie analysierten dabei 12 Publikationen aus den Jahren 1980 – 1996 mit insgesamt 650 Probanden. Sie schlossen, dass die maximalen Laktatkonzentrationen der Kinder deutlich unter denen von Erwachsenen liegen (Pfitzinger und Freedson 1997). Dabei wurde aber nicht zwischen Jungen und Mädchen differenziert, Trainingsgewohnheiten wurden nicht in der Auswertung berücksichtigt und die gerade bei Jungen in der Pubertät veränderte Körperkomposition mit Zunahme der absoluten und relativen Muskelmasse wurde nicht beachtet. Wenn man die

maximalen Laktatkonzentrationen auf die Muskelmasse bezieht, so kommen Beneke et al. zu dem Schluss, dass die pro kg Muskelmasse erbrachte anaerobe Leistungsfähigkeit präpubertärer Kinder möglicherweise sogar höher ist, als die von postpubertären Probanden. Damit ist die Aussage, dass Kinder über eine reduzierte anaerobe Kapazität verfügen, zumindest kritisch zu bewerten (Beneke und Hebestreit 2002, Armstrong und Barker 2012). Wie bereits bei der PWC 170 beschrieben, so lassen sich auch die Ergebnisse der Laktatleistungskurven von Kindern nicht undifferenziert mit denen von Erwachsenen vergleichen, sie eignen sich aber sehr wohl für den inter- und intraindividuellen Vergleich innerhalb einer entwicklungs-homogenen Stichprobe. Beneke resümiert in einer aktuellen Übersichtsarbeit zum Thema Laktat und Trainingssteuerung bei Kindern: „*Ob und ab welchem Alter Laktatmessungen tatsächlich eingesetzt werden sollten, muss im Einzelfall entschieden werden*“ (Beneke 2014).

2.4 Messung der Körperzusammensetzung

Die verschiedenen Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beruhen auf unterschiedlichen Modellen. Je nach Modell ergeben sich Messverfahren, mit denen einzelne Bestandteile oder Kompartimente gemessen werden, um dann Rückschlüsse auf den gesamten Organismus zu ziehen. Je nach zugrunde liegender Vorstellung kann der menschliche Organismus in mehrere Bestandteile „zerlegt“ werden. Wird ausschließlich das Körpergewicht gemessen, spricht man vom 1-Kompartimentmodell. Das einfachste Modell zur Unterteilung der Körperzusammensetzung ist das sog. 2-Kompartimentmodell. Dabei wird zwischen Fettmasse (FM) und fettfreier Körpermasse (FFM oder lean body weight) unterteilt (siehe Abb. 8).

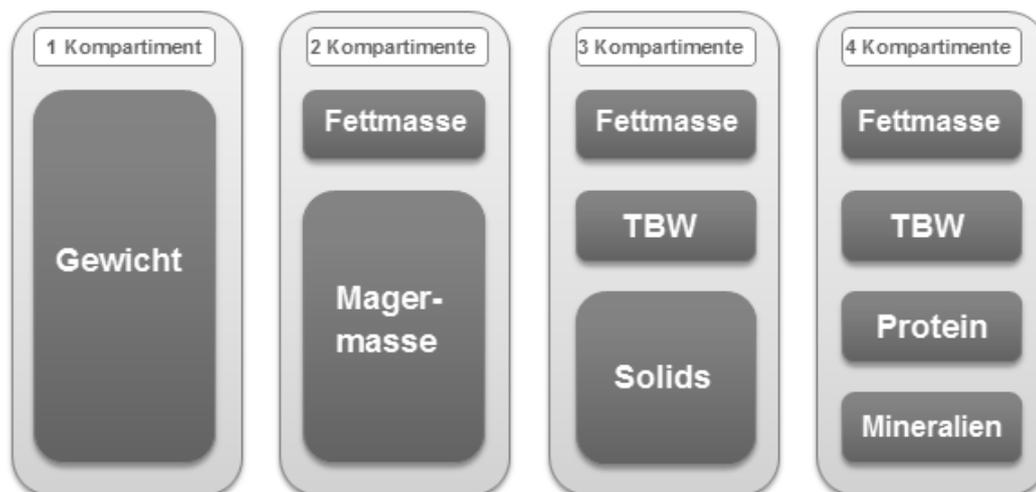


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Körperzusammensetzung im 1-, 2-, 3- und 4-Kompartimentmodell (TBW=total body water).

Aufgrund der hydrophoben Eigenschaften der Fettmasse ist davon auszugehen, dass sich das gesamte Körperwasser (total body water = TBW) in der fettfreien Körpermasse befindet. Bei dieser Differenzierung von Fettmasse, TBW und festen Bestandteilen spricht man vom drei Kompartimentmodell. Aufgrund unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften lassen sich die festen Bestandteile noch in Mineralien und Proteine unterteilen (Fusch 2005). In Tabelle 3 werden unterschiedliche Methoden, die zur Bestimmung der Körperkomposition verwendet werden, mit ihren korrespondierenden Kompartimentmodellen dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht über Methoden zur Körperzusammensetzung modifiziert nach Fusch 2005; Herm 2003.

Methode	Gemessenes Kompartiment	Anschaffungskosten	Bemerkungen
Calipometrie	Fettmasse	20 – 500 €	Nach kurzer Einarbeitung gute Objektivität und Reliabilität. Je dicker die Fettschicht desto ungenauer.
Unterwasser Densitrometrie	Fettmasse, fettfreie Masse	ca. 30.000 €	Bestimmung von Körpervolumen und Körperdichte, Umrechnung auf Körperfettmasse.
Isotopenverdünnungs-Methode	Fettfreie Masse	ca. 5.000 €	Wasserlösliches Isotop wird injiziert, verteilt sich in FFM, nach Blutentnahme wird Konzentration bestimmt und FFM errechnet. Untersuchungsdauer ca. 1h. Cave: Strahlenbelastung.
DEXA-Methode	Fettmasse, Fettfreie Masse, Knochen-mineralien	> 500.0000 €	Belastung mit Röntgenstrahlen, geschultes Fachpersonal und spezielle Räumlichkeiten erforderlich.
Mehrfrequenz-BIA	Fettmasse, Proteine, Körperwasser, Knochenmineralien	5.000 – 20.000 €	Cave: sehr unterschiedliche Gerätetypen auf dem Markt, bei Messungen diese immer mit angeben.

Drei besonders in der Kinderheilkunde etablierte Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung werden in den folgenden Unterkapiteln etwas genauer dargestellt.

2.4.1 Die Messung der Hautfaldendicke (Calipometrie)

Dabei handelt es sich um ein kostengünstiges, leicht zu erlernendes und nicht invasives Verfahren, welches nur ein Minimum an Kooperation von den Probanden benötigt und bereits bei Neugeborenen durchgeführt werden kann. (Schmelzle und Fusch 2002, Fusch 2005). Mit Hilfe eines speziellen Messgerätes (Caliper) wird die Dicke des subcutanen Fettgewebes an standardisierten Hautstellen gemessen. In der Pädiatrie wird üblicherweise über dem M. biceps, über dem M. trizeps, subscapular und iliacal gemessen. Im englischsprachigen Raum und bei der Untersuchung von Athleten hat sich der Standard der International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK-Standard) mit acht Messstellen durchgesetzt (Malina et al. 2004, Raschka 2006, Stewart et al. 2011, Stewart und Sutton 2012). Die gemessenen Werte in mm werden addiert und über eine Regressionsgleichung, die auch das Geschlecht, die Körpergröße, das Lebensalter und das Körpergewicht als weitere Prädiktoren berücksichtigt, wird die Fettmasse berechnet. Auf Basis des 2-Kompartimentmodells werden die errechneten Werte extrapoliert und ein Ergebnis für die Körperfettmasse (in kg) und den Körperfettanteil (in % des Körpergewichts) des Probanden ermittelt.

2.4.2 Dual Röntgen Absorptiometrie (DEXA)

Bei diesem Verfahren werden zwei energetisch unterschiedliche Arten von Röntgenstrahlen durch den gesamten Organismus geleitet. Die verschiedenen Gewebe schwächen die Strahlen unterschiedlich stark ab. Ein Detektor misst diese Abschwächung und berechnet auf Basis eines 3-Kompartimentmodells Fettmasse, fettfreie Masse und Knochenmasse (Maitrayee et al. 2011). Die DEXA-Technik ist schnell, präzise und hat sich als Referenzmethode in Labor und Klinik bei der Untersuchung von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen etabliert (Goran et al. 1998, Fusch 2005, Plank 2005, Stewart und Sutton 2012). Auch wenn die applizierte Strahlendosis mit $< 1,5$ m Sievert sehr gering ist, sollte die Indikation zur Anwendung im Kindesalter wohl überlegt sein. Diese ist medizinischem Fachpersonal mit einem Fachkundenachweis gemäß der Röntgenschutzverordnung vorbehalten.

2.4.3 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Die BIA-Geräte messen den Körperwiderstand gegenüber einem schwachen Wechselstrom, der durch den Körper geleitet wird. Die unterschiedlichen Körperkompartimente unterscheiden sich in ihrer Leitfähigkeit, daraus wird die Körperzusammensetzung errechnet.

Die verschiedenen Geräte unterscheiden sich in ihren Elektroden (Anzahl, Art, Platzierung), in der verwendeten Frequenz (Single- oder Multifrequenz) und der Körperposition (stehend oder liegend) des Probanden während der Messung. Außerdem werden empirische Schätzwerte für Alter, Geschlecht oder Aktivitätsniveau unterschiedlich stark berücksichtigt (Eisenkolbl et al. 2001, Fusch 2005, Cleary et al. 2008). Die Singlefrequenzmethode basiert auf einem 2-Kompartimentmodell. Anhand ihrer Leitungsfähigkeit wird die fettfreie Masse, welche viel Wasser und Elektrolyte enthält und ein guter Leiter ist, von der hydrophoben Fettmasse, welche ein schlechter Leiter ist, unterschieden. Die Mehrfrequenzmethode beruht auf einem 3- oder 4-Kompartimentmodell, entsprechend kann die jeweilige Masse für Mineralien, Proteine, Körperwasser und Fett ermittelt werden. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von Evaluierungsstudien zur Messgenauigkeit von Bioelektrischen Impedanzanalysen auch mit Kindern durchgeführt. Dabei wurde zumeist ein Vergleich zwischen Hautfaltendicke Messung, DEXA und BIA durchgeführt. Zusammenfassend kann man sagen, dass der Körperfettgehalt im Allgemeinen mit allen drei Methoden vergleichbar valide, reliabel und objektiv gemessen werden kann. Nur bei stark übergewichtigen Kindern zeigten die BIA-Messungen Schwächen in der Messgenauigkeit (Rolland-Cachera 1993, Gutin et al. 1999, Tomczak 2003, Espana Romero et al. 2009, Lim et al. 2009, Silva et al. 2013, Talma et al. 2013). Einschränkend ist zu den Studien zu sagen, dass bei den Metaanalysen nicht immer deutlich wurde, mit welchen BIA-Geräten die Studien durchgeführt wurden. Talma et al. analysierten 50 Publikationen, die BIA mittels 8 polarer Multifrequenzanalyse bei Kindern und Jugendlichen durchführten und kamen zu folgendem Schluss: *„We found strong evidence for a good reliability[...] Our systematic review suggests that BIA is a practical method to estimate percentage bodyfat in children and adolescents“* (Talma et al. 2013). Dieses Verfahren wurde auch in der vorliegenden Untersuchung angewendet. Entsprechend dem 4-Kompartimentmodell werden Ergebnisse für Körperwasser, Proteine, Mineralien und Körperfettmasse angegeben und die Skelettmuskelmasse nach entsprechenden Regressionsgleichungen errechnet (siehe Ergebnisbogen im Anhang G). Als Referenzwerte für die mittels BIA ermittelten Körperfettangaben von Kindern und Jugendlichen aus Deutschland gelten die 2012 federführend vom Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der CAU publizierten Perzentilen (Plachta-Danielzik et al. 2012).

3 Methodik

Um mögliche Unterschiede in der Anthropometrie zwischen einer Referenzpopulation und männlichen jugendlichen Leistungssportlern zu quantifizieren und zur Überprüfung des Einflusses der biologischen Reife auf die körperliche Leistungsfähigkeit wurde ein Studiendesign entwickelt. Es handelt sich hierbei um eine Unterschieds- und

Korrelationsstudie, diese wurde als klassische Querschnittstudie durchgeführt (Bortz et al. 2009). Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Rekrutierung der Probanden, den Untersuchungsablauf, die Methoden der Datenerhebung, der Datenverarbeitung sowie der angewendeten statistischen Methoden. Das Studiendesign wird in Abb. 9 zusammengefasst dargestellt.

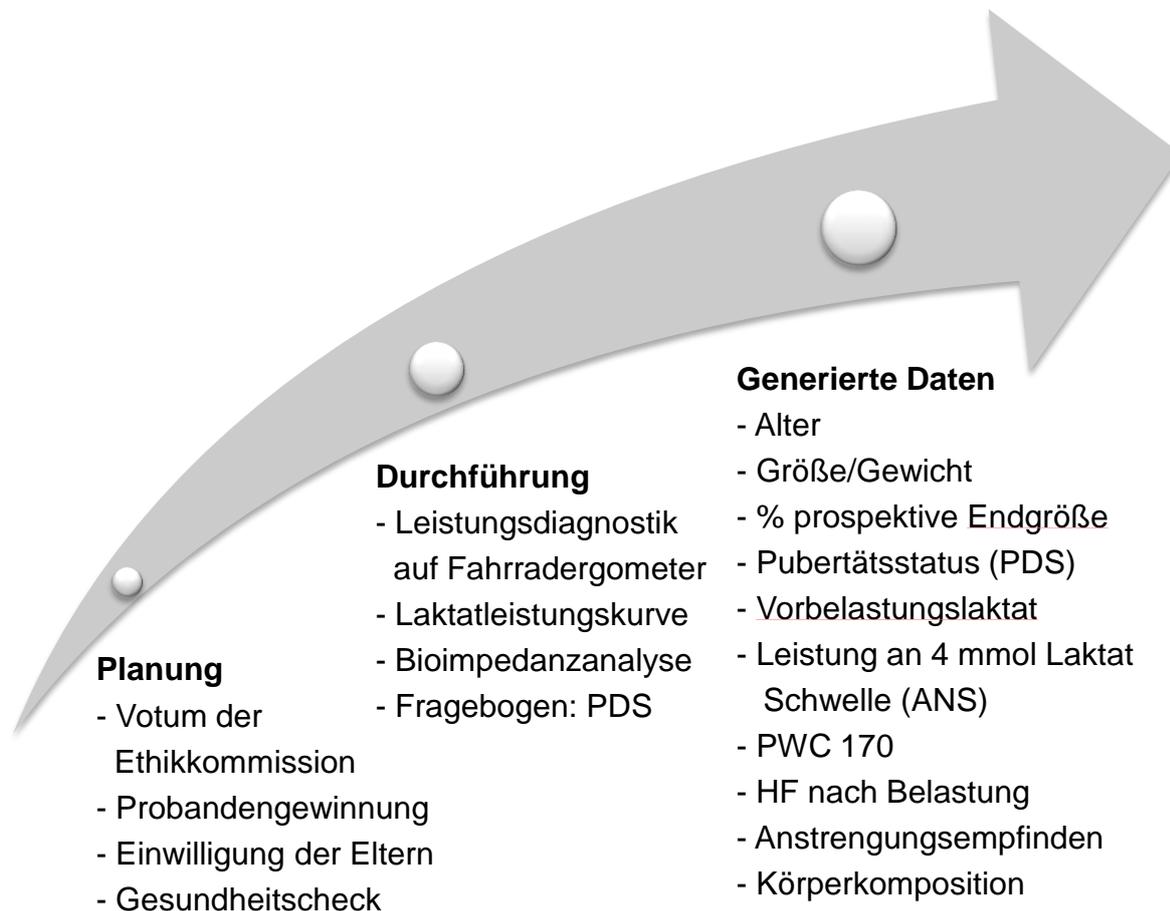


Abbildung 9: Studiendesign der vorliegenden Untersuchung.

3.1 Studienvorbereitungen

Zunächst wurde ein positives Votum der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel eingeholt (siehe Anhang J). Anschließend wurden der Geschäftsführer des Handballverbandes Schleswig-Holstein sowie der Jugendkoordinator des NLZ (Nachwuchsleistungszentrum) des Kieler Sportvereins Holstein über die Studie informiert und um Mithilfe bei der Rekrutierung von Probanden gebeten. Das gemeinsame Anschreiben an die Eltern der Fußballer befindet sich im Anhang A.

3.2 Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus 136 männlichen Leistungssportlern zwischen 11 und 15 Jahren. Diese wurden im Rahmen von D-Kader Untersuchungen in der Sportmedizin der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, aus dem NLZ der KSV Holstein und über den Handballverband Schleswig-Holstein rekrutiert.

Einschlusskriterien:

- männliches Geschlecht
- Tag der Untersuchung zwischen dem 11. und 16. Geburtstag
- D-Kader Zugehörigkeit oder Mitglied einer Auswahlmannschaft
- eigene Motivation für die Untersuchung
- schriftliches Einverständnis der Erziehungsberechtigten (siehe Anhang B)
- positiver Gesundheitscheck (siehe Anhang C)
- Fieber- und Infektfreiheit sowie subjektives Wohlbefinden
- adäquate Sportkleidung
- nicht länger als drei Stunden nüchtern
- Abwesenheit von Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien:

- relative und absolute Kontraindikationen entsprechend den Empfehlungen der American Heart Association (AHA) zur Leistungsdiagnostik von Kindern (Paridon et al. 2006): u.a. bekannte hypertrophe Cardiomyopathie und Patienten mit Marfan Syndrom nach Synkopen
- chronische Erkrankungen, die Wachstum, Entwicklung oder die körperliche Leistungsfähigkeit beeinträchtigen, z.B. Klinefelter-Syndrom oder Prader-Willi Syndrom
- Medikamenteneinnahme, die Wachstum, Entwicklung oder die körperliche Leistungsfähigkeit beeinträchtigen, z.B. orale Glucocorticoide, Beta-Blocker oder subkutane Applikation von Wachstumshormonen

Insgesamt wurden 137 Sportler rekrutiert. Ein Proband erlitt im Rahmen der ersten kapillären Blutentnahme eine Synkope, so dass anschließend auf die Belastungsuntersuchung verzichtet wurde. Somit bestand die untersuchte Stichprobe aus 136 Probanden.

3.3 Untersuchungsablauf

Zwischen August 2012 und Juni 2013 wurden die Untersuchungen in den Räumen der Sportmedizin der Christian-Albrechts-Universität in Kiel durchgeführt. Die Untersuchungen fanden immer nach einem standardisierten Ablauf statt. Die Verfasserin war stets anwesend und wurde bei der Durchführung durch drei Studierende aus dem Masterstudiengang Sportwissenschaften der CAU sowie zwei medizinisch-technische Assistentinnen der Abteilung unterstützt.

Nachdem die Probanden die unterschriebene Einverständniserklärung und den „Gesundheitscheck“ ausgehändigt hatten, wurde sie gebeten, die Toilette zu besuchen und

Sportkleidung anzuziehen. Sie wurden über den Untersuchungsablauf aufgeklärt und ermuntert bei Fragen oder Unklarheiten direkt nachzufragen. Jedem Teilnehmer wurde eine Untersuchungsnummer zugewiesen, um die spätere Datenverarbeitung und Auswertung pseudonymisiert durchzuführen.

Zunächst wurden die Probanden gebeten Schuhe und Socken auszuziehen und es wurde mittels eines Stadiometers der Firma seca die Körpergröße bestimmt. Entsprechend internationaler Konvention wurde auf die horizontale Ausrichtung der Frankfurter Ebene (= gedachte Verbindung vom unteren Rand der Augenhöhle bis zum äußeren Gehörgang) geachtet (Hermanussen 2013). Anschließend erfolgte die Bestimmung des Körpergewichtes und die segmentale Körperanalyse mittels acht polarer bioelektrischer Impedanzanalyse auf der InBody 520 Waage. Das Gerät misst die Impedanz bei drei verschiedenen Frequenzen (5 Hz, 50 Hz, 500 Hz) und in fünf verschiedenen Segmenten (rechtes Bein, linkes Bein, rechter Arm, linker Arm, Rumpf). Zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit wurde danach eine Belastungsuntersuchung auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Nach Anpassung von Sattelhöhe und Lenkerstellung an die Versuchsperson erfolgte die erste kapilläre Blutentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen zur Bestimmung des Vorbelastungslaktats. Die Laktatkonzentration wurde mit einem Photometer der Firma Lange bestimmt. Die Qualitätskontrollen und Analysen wurden standardisiert nach den Herstellervorgaben durchgeführt (siehe Anhang F). Außerdem wurde vor der Belastung der Blutdruck bestimmt und drei Elektroden zur Überwachung von Herzfrequenz und EKG am Probanden fixiert. Die Probanden wurden angewiesen eine Trittfrequenz von 60-80/min einzuhalten, diese wurde ihnen auf dem Display des Ergometers kontinuierlich angezeigt. Es wurde ein auf die Zielgruppe angepasstes Ergometrie-Protokoll des Bundesausschuss für Leistungssport (BAL-Schema) angewendet (Graf und Höher 2009). Die Belastung begann mit 1 Watt/kgKG, gerundet auf ein Vielfaches von 25. In den letzten 30 Sekunden jeder 3-Minuten Stufe wurde das individuelle Belastungsempfinden mittels Borg-Skala abgefragt, die Herzfrequenz wurde in den letzten 10 Sek. jeder Minute abgelesen und dokumentiert. Nach jeder Stufe wurde in einer möglichst kurzen Pause erneut kapilläres Blut zur Laktatbestimmung entnommen. Bei jeder Stufe wurde die Belastung um 0,5 Watt/kgKG, gerundet auf ein Vielfaches von 25, gesteigert. Die Belastung wurde beendet, wenn die Herzfrequenz über 170/min und das Belastungsempfinden mindestens 17 (= sehr anstrengend) auf der Borgskala erreicht hatte.

Folgende Abbruchkriterien waren entsprechend den AHA Guidelines im Vorfeld festgelegt worden (Paridon et al. 2006):

- Subjektive Erschöpfung, auffällige Blässe, Dyspnoe, Schwindel, Kopfschmerz oder Angina pectoris
- Erregungsrückbildungsstörung (z.B. ST-Senkungen $> 0,2$ mV, oder ST-Hebungen)
- Signifikante Herzrhythmusstörungen (z.B. Vorhofflimmern oder Vorhofflattern)
- Erregungsleitungsstörungen (z.B. AV-Blockierungen)
- Unphysiologisch schneller Anstieg oder Abfall der Herzfrequenz
- Unzureichender Blutdruckanstieg oder Blutdruckabfall
- Blutdruckanstieg > 250 mmHg systolisch oder > 125 mmHg diastolisch
- Versagen der Überwachungsgeräte

Eine Untersuchung musste wegen subjektiver Erschöpfung (Borg 20) bei einer Herzfrequenz unterhalb von 170/min abgebrochen werden, alle anderen wurden nach Erreichen der definierten Zielkriterien beendet. Nach der Belastung folgte eine dreiminütige Erholungsphase, davon 1 min. aktiv. In dieser Zeit wurde weiterhin das EKG registriert und die Herzfrequenz dokumentiert.

Im Anschluss an die Belastungsuntersuchung füllten die Probanden die deutsche Übersetzung der PDS zur Selbsteinschätzung der pubertären Entwicklung aus (siehe Anhang E) (Petersen et al. 1988). Abschließend wurde den Probanden eine Kopie des Ergebnisbogens der bioelektrischen Impedanzanalyse sowie ihre individuellen Laktatleistungskurven mit Angabe der PWC 170 ausgehändigt und erläutert (siehe Anhang H). Die gesamte Untersuchung dauerte etwa 50 min. je Proband.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die verwendeten Apparaturen und Verfahren sowie die gemessenen Parameter.

Während der Untersuchung wurde ein Messprotokoll geführt (siehe Anhang D). Die erhobenen Daten wurden später in ein relationales Datenbankmanagementsystem (RDBMS) übertragen. Mit Hilfe von linearen Interpolationen wurden aus den Rohwerten die PWC 170 in Watt und Watt/kgKG sowie die Leistung bei 4 mmol/l Laktat in Watt und in Watt/kgKG errechnet. Außerdem wurde nach der Tanner Formel die prospektive Zielgröße errechnet und die aktuell erreichten % der prospektiven Zielgröße angegeben.

Tabelle 4: Verwendete Apparaturen und Verfahren mit den korrespondierenden Parametern.

Apparatur/Verfahren	Parameter
Stadiometer der Firma seca	Körpergröße (cm)
Bioelektrisches Impedanzanalysegerät InBody 520 der Firma JP Global Markets	Körpergewicht (kg) Körperfett (absolut in kg, relativ % des KGs) Muskelmasse (absolut in kg) Body Mass Index (kg/m ²)
Überwachungsmonitor der Firma Servomed SERVOMED SMS 182	Herzfrequenz 3-Kanal EKG Rhythmusstreifen
Fahrradergometer der Firma Ergoline ergoselect 100 Typ P	Belastung in Watt PWC 170 (absolut: Watt, relativ: Watt/kgKG)
Photometer LKM 140 der Firma Hach Lange	Laktat in mmol/l
Befragung der Eltern (siehe Gesundheitscheck)	Prospektive Zielgröße (%)
Selbsteinschätzung des subjektiven Belastungsempfinden mittels Borg Skala (Borg 2004)	Punktwert 6 – 20
Selbstbeurteilung der pubertären Entwicklung mittels PDS (Petersen et al. 1988)	Punktwert 5 – 20
Befragung der Probanden nach ihrem Geburtsdatum	Chronologisches Alter am Tag der Untersuchung, Angabe als Dezimalzahl

3.4 Statistische Analyseverfahren

Nach Abschluss aller Untersuchungen wurden die Daten in Microsoft Excel übertragen und mittels SPSS (Superior Performing Statistical Software) 22.0 ausgewertet.

3.4.1 Deskriptive Statistik

Diese dient zur Beschreibung der untersuchten Stichprobe. Die Verteilung der wichtigsten erhobenen Parameter wurde durch die Kenngrößen Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) und Spannweite (Range) dargestellt.

3.4.2 Untersuchungsgruppen

Um den Einfluss des chronologischen Alters und der biologischen Reife auf ausgewählte Parameter zu untersuchen, wurden verschiedene Gruppen gebildet. Das chronologische Alter (CA) wurde für jeden Probanden am Tag der Untersuchung bestimmt und als

Dezimalzahl angegeben. Der jüngste Teilnehmer der Studie war 11,0 Jahre alt, der älteste 15,9 Jahre. Es wurden drei Gruppen gebildet, die jeweils etwa 1,5 Lebensjahre umfassen. Die Stichprobe wird damit in junge Probanden (CA 1), Probanden mittleren Alters (CA 2) und ältere Probanden (CA 3) unterteilt.

Tabelle 5: Einteilung der Gruppen nach chronologischem Alter.

CA (Jahre)	Gruppeneinteilung	n (Anzahl)
11,0 – 12,7	CA 1	23
12,8 – 14,4	CA 2	47
14,5 – 15,9	CA 3	66

Durch Auswertung des PDS-Fragebogens zur Selbsteinschätzung der pubertären Entwicklung wurde das biologische Alter der Probanden ermittelt (Petersen et al. 1988). Theoretisch sind Werte zwischen 5 und 20 Punkten möglich, in der Untersuchung reichte die Spanne von minimal 5 Punkten (kindlicher, präpubertärer Zustand) bis 19 (adult, vollständige Geschlechtsreife ist eingetreten, Pubertät ist abgeschlossen). Die Einteilung aufgrund des biologischen Alters (BA) basierend auf dem PDS-Punktwert ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Einteilung der Gruppen nach biologischem Alter.

PDS Punktwert	Gruppeneinteilung	n (Anzahl)
5 – 9	BA 1	41
10 – 14	BA 2	56
15 – 19	BA 3	39

3.4.3 Signifikanztest zum Mittelwertvergleich

Bei der Interpretation von Messwerten spricht man von einem Alpha-Fehler, wenn die Nullhypothese verworfen wird, obwohl sie zutrifft. Die Wahrscheinlichkeit, bei der Datenanalyse einen Alpha-Fehler zu begehen, wird als Signifikanzniveau oder Irrtumswahrscheinlichkeit bezeichnet. Zum statistischen Nachweis von Unterschieden und Effekten werden verschiedene Signifikanztests verwendet. Die Auswahl eines adäquaten Tests richtet sich laut Bender et al. (Bender et al. 2007) nach:

- der Zahl der zu analysierenden Stichproben
- dem Abhängigkeitsstatus der Stichproben
- dem Messniveau

- der Verteilung der zu analysierenden Zielvariable.

In dieser Arbeit wurde der t-Test für unabhängige Stichproben angewendet, um die Mittelwerte von zwei unterschiedlichen Stichproben miteinander zu vergleichen und die Unterschiede auf Signifikanz zu überprüfen (z.B. BA 1 und CA 1). Der t-Test setzt Homoskedastizität also gleiche Varianzen in den zu vergleichenden Gruppen voraus. Diese wurde mit Hilfe des Levene-Test überprüft. Relevante Kennzahlen für den t-Test sind der t-Wert und das dazugehörige Signifikanzniveau p (vgl. Tabelle 7) (Hirsig 2001).

3.4.4 Einfaktorielle Varianzanalyse

Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA = analysis of variance) wurde verwendet, um die Mittelwerte aus mehr als zwei unabhängigen Stichproben miteinander zu vergleichen und die Unterschiede auf Signifikanz zu überprüfen. Sie stellt also eine Erweiterung des t-Tests für den Vergleich von mehr als zwei Mittelwerten dar. Als Voraussetzung für die ANOVA wurde ebenfalls die Varianzhomogenität überprüft. Die Varianz innerhalb der Gruppe mit der Varianz zwischen den Gruppen (= Varianzanalyse) verglichen. Wenn sich die Gruppen unterscheiden, ist die Varianz innerhalb der Gruppe klein und zwischen den Gruppen groß. Der Kennwert der ANOVA wird als p angegeben. Die bei der Interpretation dieses Wertes geltenden Signifikanzschranken sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Signifikanzschranken.

Größe des p Werte	Interpretation
$p > 0,05$	nicht signifikant (n. s.)
$p \leq 0,05$	signifikant (*)
$p \leq 0,01$	sehr signifikant (**)
$p \leq 0,001$	höchst signifikant (***)

Im Anschluss an die ANOVA wurde der Scheffé-Test als Post-hoc Verfahren verwendet, um festzustellen, zwischen welchen Gruppen Mittelwertunterschiede bestehen, die für das signifikante Ergebnis ausschlaggebend sind (Bender et al. 2007, Höhne 2013, Sedlmeier und Renkewitz 2013). Außerdem wird bei signifikanten Ergebnissen immer der Determinationskoeffizient Eta-Quadrat (η^2) ermittelt. Dieser Wert gibt dimensionslos die Effektstärke der abhängigen Variablen auf die unabhängige Variable an und ist damit ein Maß für die „Bedeutsamkeit“ der Signifikanz. Eta-Quadrat kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Multipliziert man die Effektstärke η^2 mit 100% so erhält man die Varianzaufklärung. Die Interpretation der Werte erfolgt nach der in Tabelle 8 dargestellten Konvention von Cohen (Kuckartz et al. 2013).

Tabelle 8: Interpretation verschiedener Effektstärken nach der Konvention von Cohen.

Effektstärke	Interpretation
$\eta^2 \geq 0,01$	kleiner Effekt
$\eta^2 \geq 0,06$	mittlerer Effekt
$\eta^2 \geq 0,14$	großer Effekt

3.4.5 Korrelationskoeffizient nach Pearson

Um Zusammenhänge zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen zu beschreiben, wurde der Korrelations-Koeffizient nach Pearson ermittelt. Der Korrelationskoeffizient r kann Werte zwischen -1 und +1 einnehmen. Bei einem positiven Wert besteht eine positive lineare Beziehung („je mehr desto mehr“), bei einem negativen Wert besteht eine negative lineare Beziehung („je mehr, desto weniger“). Ist $r = 0$ besteht kein Zusammenhang. Zur Interpretation von r gibt es in der Literatur unterschiedliche Vorschläge, in dieser Untersuchung wurde die Konvention von Kuckartz et al. (2013) angewendet. Für die Stärke des Zusammenhanges ist das Vorzeichen irrelevant, die Interpretation kann analog auf negative Korrelationen angewendet werden.

Tabelle 9: Interpretation des Korrelationskoeffizienten r (Kuckartz et al. 2013).

Größe von r	Stärke des Zusammenhang
$0,00 \leq r < 0,10$	kein Zusammenhang
$0,10 \leq r < 0,30$	geringer Zusammenhang
$0,30 \leq r < 0,50$	mittlerer Zusammenhang
$0,50 \leq r < 0,70$	hoher Zusammenhang
$0,70 \leq r < 1,00$	sehr hoher Zusammenhang

3.4.6 Multiple lineare Regressionsanalyse

Im Rahmen der multiplen Regression wird die Kriteriumsvariable (= abhängige Variable) durch mehrere Prädiktoren (= unabhängige Variablen) vorhergesagt. Das heißt theoriebasiert wird ein Modell entworfen und mit Hilfe der multiplen Regression überprüft. Dieses strukturprüfende Verfahren dient nicht dazu Kausalität zu beweisen, sondern überprüft das Modell. Korrelation kann grundsätzlich nur auf Kausalität hinweisen, sie ist eine notwendige aber keine hinreichende Bedingung für Kausalität. In der vorliegenden Untersuchung wurden verschiedene Modelle zur Vorhersagbarkeit der aeroben

Leistungsfähigkeit entwickelt. Das sog. Bestimmtheitsmaß *korrigiertes R^2* gibt Auskunft über den prädiktiven Wert des Modells. Multipliziert mit 100 kann man angeben, wie viel Prozent der Varianz das Modell aufklärt. Laut Bühner und Ziegler (2008) wird für die Interpretation von R^2 die in Tab. 10 dargestellte Konvention angewendet:

Tabelle 10: Interpretation der Vorhersagekraft von korrigiertem R^2 (Bühner und Ziegler 2008).

Größe des korr. R^2	Interpretation
korr. $R^2 \geq 0,02$	kleine Vorhersagekraft
korr. $R^2 \geq 0,15$	mittlere Vorhersagekraft
korr. $R^2 \geq 0,35$	starke Vorhersagekraft

Vor der Durchführung einer multiplen linearen Regressionsanalyse müssen verschiedene statistische Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Die Zusammenhänge müssen linear sein
2. Das Modell muss vollständig sein, d.h. es dürfen keine wichtigen Prädiktoren weggelassen werden
3. Die Daten sollten hinreichend normalverteilt sein
4. Residuen sollten gleichverteilt sein (Homoskedastizität)
5. Prädiktoren dürfen nicht zu stark korrelieren (Multikolarität)

Aus diesem Grund muss zunächst die sog. Kolaritätsdiagnose durchgeführt werden. Es erfolgt eine Angabe der Kennwerte Toleranz und VIF, um die Multikolarität der Prädiktoren abzuschätzen.

Außerdem werden bei der multiplen Regression immer die standardisierten Regressionsgewichte als β -Werte angegeben. Damit lassen sich die unterschiedlichen Prädiktoren direkt miteinander vergleichen. Die Prädiktoren können innerhalb eines Modells einen signifikanten Einfluss auf die Kriteriumsvariable haben oder nicht. Die dem Modell zugrunde liegende Theorie entscheidet, ob es sinnvoll ist Prädiktoren auch bei fehlender Signifikanz im Modell zu belassen (Bühner und Ziegler 2008). Bei der Modellerstellung ist außerdem zu berücksichtigen, dass bei jedem zusätzlichen Prädiktor das R^2 größer wird, dadurch wird das Modell aber nicht automatisch immer besser.

4 Ergebnisse

Zunächst folgt eine Beschreibung der Stichprobe mittels deskriptiver Statistik, dann der Vergleich ausgewählter Parameter mit der Referenzpopulation aus der KIGGS Studie und den Referenzperzentilen zum Körperfettanteil. Anschließend werden ausgewählte Parameter in Abhängigkeit von Alter und Entwicklung dargestellt. Es folgt der Vergleich zwischen den drei vorher definierten Altersgruppen (jung, mittleres Alter und alt) mit den drei

Entwicklungsgruppen (vor oder zu Beginn der Pubertät, in der Mitte, am Ende bzw. postpubertär). Danach werden Zusammenhänge zwischen chronologischem Alter bzw. biologischem Alter und ausgewählten Parametern dargestellt. Abschließend werden Modelle zur Vorhersage der aeroben Leistungsfähigkeit mittels multipler Regression überprüft.

4.1 Beschreibung der Stichprobe

Insgesamt gingen 136 Datensätze in die Auswertung ein. Es wurden Sportler aus sieben verschiedenen Sportarten untersucht. Dabei stellten Fußballer ($n = 75$) und Handballer ($n = 47$) die größten Gruppen, gefolgt von den Schwimmern ($n = 10$). Aus den übrigen Sportarten wurde je ein Athlet untersucht. Die genaue Aufteilung ist Abbildung 10 zu entnehmen.

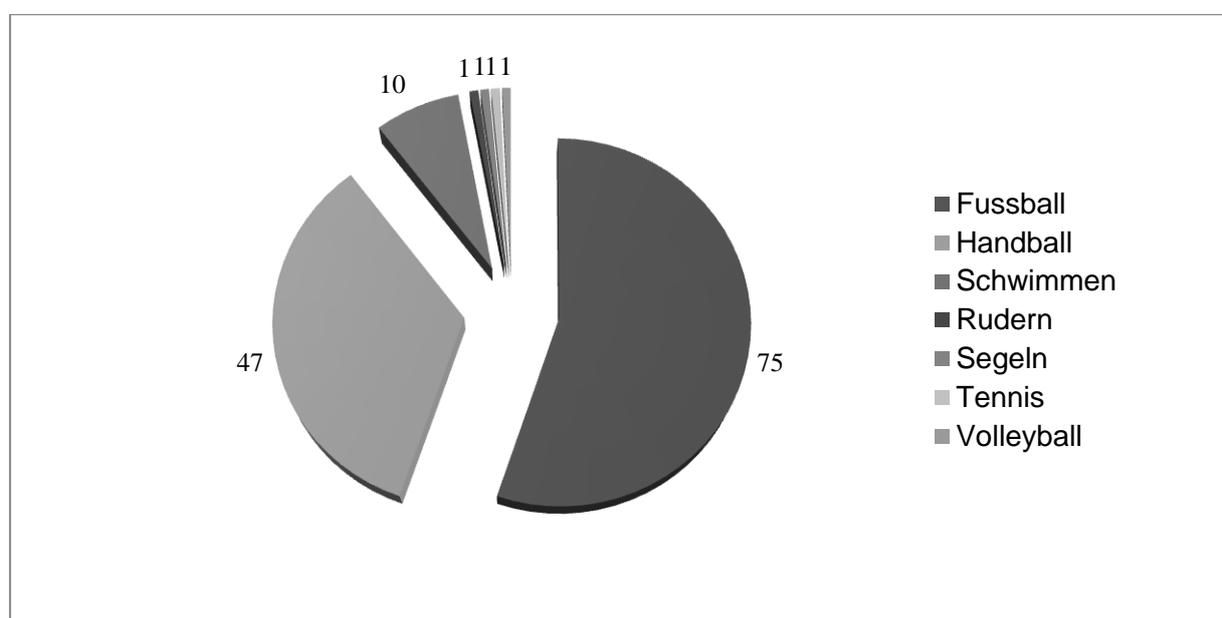


Abbildung 10: Zusammensetzung der Stichprobe nach Sportarten mit Angabe der Anzahl untersuchter Athleten.

Tabelle 11 zeigt eine Übersicht der Ergebnisse mit den jeweiligen arithmetischen Mitteln (MW), der Standardabweichung (SD) und der Spanne. Das chronologische Alter lag entsprechend den Einschlusskriterien zwischen 11 und 15,9 Jahren, der Mittelwert bei 14,1 Jahren ($\pm 1,3$). Der Pubertätsstatus, gemessen anhand der PDS lag im Durchschnitt bei 11,9 Punkten ($\pm 3,7$). Der niedrigste Punktwert war 5, dies entsprach einem kindlichen, präpubertären Status; maximal wurden 19 Punkte erreicht, welches einem adulten Status mit abgeschlossener Pubertät und vollständiger Geschlechtsreife entsprach. Die Probanden waren im Mittel 170,8 cm (± 13 cm) groß und 59,6 kg ($\pm 14,6$ kg) schwer. Die prospektive Zielgröße war zum Untersuchungszeitpunkt im Durchschnitt zu 93,5 % ($\pm 6,3$ %) erreicht. Der Mittelwert für die absolute aerobe Leistungsfähigkeit gemessen mittels PWC 170 betrug im Durchschnitt 165,4 Watt (± 47 W), die Spanne reichte von 71 Watt bis 275 Watt. Die relative PWC 170 lag im Durchschnitt bei 2,8 Watt/kgKG ($\pm 0,4$ Watt/kgKG). Die aerobe

Leistungsfähigkeit gemessen an der 4 mmol Laktatschwelle (ANS) wurde für 128 Probanden ermittelt, da sechs Teilnehmer nach dem Erreichen der Kriterien für eine Beendigung der Belastung ($HF \geq 170/\text{min}$ und $Borg \geq 17$) einen Laktatwert $< 4 \text{ mmol/l}$ aufwiesen und somit nicht in die Auswertung eingehen konnten. Die mittlere ANS lag bei 149 Watt ($\pm 35,4 \text{ W}$) absolut und relativ bezogen auf das Körpergewicht bei 2,5 Watt/kgKG ($\pm 0,5 \text{ Watt/kgKG}$). Der submaximale Laktatwert, gemessen nach der jeweils letzten Belastungsstufe betrug im Durchschnitt 6,16 mmol/l ($\pm 1,85 \text{ mmol/l}$).

Tabelle 11: Beschreibung der Stichprobe.

Parameter (Einheit)	MW (\pm SD)	Spanne
Alter (Jahre)	14,1 ($\pm 1,3$)	11,0 – 15,9
Körpergröße (cm)	170,8 ($\pm 13,0$)	137,0 – 194,0
Körpergewicht (kg)	59,6 ($\pm 14,6$)	30,8 – 96,5
Body Mass Index (kg/m^2)	20,1 ($\pm 2,6$)	15,2 – 29,8
Körperfett (kg)	6,1 ($\pm 3,7$)	1,5 – 22,0
Körperfett (%)	10,0 ($\pm 4,6$)	3,0 – 24,8
Skelettmuskelmasse (kg)	30,0 ($\pm 7,6$)	14,7 – 47,2
Skelettmuskelmasse (%)	50,3 ($\pm 2,9$)	40,0 – 55,0
PDS (Punkte)	11,9 ($\pm 3,7$)	5,0 – 19,0
erreichte Zielgröße (%)	93,5 ($\pm 6,3$)	79,0 – 106,0
Laktat vor Belastung (mmol/l)	1,5 ($\pm 0,38$)	0,9 – 3,9
PWC 170 _{Watt} (Watt)	165,4 (± 47)	71,0 – 275,0
PWC 170 _{Watt/kgKG} (Watt/kgKG)	2,8 ($\pm 0,4$)	1,4 – 4,1
ANS _{Watt} (Watt)	149 ($\pm 35,4$)	78,0 – 264,0
ANS _{Watt/kgKG} (Watt/kgKG)	2,48 ($\pm 0,52$)	1,0 – 3,9
LA _{submax} (mmol/l)	6,16 ($\pm 1,85$)	2,6 – 12,9

Erläuterung: Basis: n = 136, bei laktatbezogenen Parametern n = 128; MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, ANS = anaerobe Schwelle = Leistung bei Laktat 4 mmol/l
LA_{submax} = höchste gemessener Laktatwert, gemessen am Ende der Belastung

4.2 Vergleich der Stichprobe mit der Referenzpopulation

Tabelle 12 zeigt einen Vergleich der anthropometrischen Messgrößen der Untersuchung mit den Ergebnissen aus dem Kinder und Jugendgesundheitsurvey des Robert-Koch Instituts. Entsprechend den Empfehlungen zur Interpretation der Daten zur Vermeidung systematischer Fehler wird der jeweilige Median einer Altersgruppe der Stichprobe mit der

50. Perzentile in der Mitte des Jahrgangs verglichen. Z.B. wird die Gruppe der 11-Jährigen mit der 50. Perzentile für 11,5 Jährige verglichen. Außerdem ist die jeweilige Perzentile für die Stichprobe angegeben (Robert Koch Institut 2013).

Tabelle 12: Vergleich ausgewählter Parameter der Stichprobe mit der Referenzpopulation.

Altersgruppe	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m ²)	PWC 170 (Watt)	PWC 170 (Watt/kgKG)	Körperfett (%)
11 Jahre (n = 11)						
Referenz	149	41	18,2	89,5	2,2	19,4
Stichprobe	150	41	17,9	105	2,6	10,2
Perzentile	54. P.	50. P.	50. P.	78. P.	80. P.	10. P.
12 Jahre (n = 19)						
Referenz	155	46	19,0	101	2,2	17,9
Stichprobe	157	47	17,9	109	2,5	11,9
Perzentile	58. P.	54. P.	35. P.	64. P.	75. P.	15. P.
13 Jahre (n = 24)						
Referenz	163	52	19,4	118	2,2	17,7
Stichprobe	167	55	19,5	150	2,8	9,0
Perzentile	68. P.	60. P.	50. P.	88. P.	90. P.	8. P.
14 Jahre (n = 47)						
Referenz	171	59	20,2	133	2,4	17,6
Stichprobe	175	62	19,9	180	2,9	7,7
Perzentile	72. P.	60. P.	50. P.	94. P.	87. P.	3. P.
15 Jahre (n = 35)						
Referenz	175	64	20,8	148	2,4	17,8
Stichprobe	180	73	21,4	205	3,0	8,5
Perzentile	74. P.	75. P.	60. P.	95. P.	92. P.	3. P.

Erläuterung: Angabe von Median der Referenzpopulation, dieser entspricht der 50. altersentsprechenden Perzentile, gefolgt vom Median der Stichprobe sowie Angabe des Perzentilenranges der Stichprobe

Da in der KIGGS Untersuchung der Körperfettgehalt mittels Calipometrie bestimmt wurde, dienen zum Vergleich der Körperfettwerte die 2012 von Mitarbeitern des nationalen Referenzzentrums für Körperzusammensetzung am Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der CAU publizierten „BIA-Perzentilen“ für deutsche Kinder und Adoleszenten als Bezugsgröße (Plachta-Danielzik et al. 2012).

Die Mediane für Größe und Gewicht liegen in den Gruppen der 11- bis 13-Jährigen auf der 50. altersentsprechenden Perzentile bzw. knapp darüber. Bei den 15-Jährigen liegen sie etwa auf der 75. Perzentile. Die BMI Werte der Stichprobe sind in der Gruppe der 12-Jährigen im Vergleich am niedrigsten, sie liegen auf der 35. Perzentile, d.h. in der Referenzpopulation haben von 100 gleichaltrigen Kindern 65 einen höheren BMI und nur 35 einen niedrigeren. In den anderen Altersgruppen befindet sich der Median für den BMI knapp unterhalb oder knapp oberhalb der 50. Perzentile. Am gravierendsten sind die Unterschiede zwischen der Stichprobe und der Referenzpopulation in der aeroben Leistungsfähigkeit und dem Körperfettanteil. Sowohl in der relativen PWC 170, bezogen auf das Körpergewicht als auch in der absoluten PWC 170 liegen die Ergebnisse der Stichprobe in allen Altersgruppen deutlich oberhalb der Norm. Mit Ausnahme der 12-Jährigen kann man sagen, dass der Prozentrang mit zunehmendem Alter zunimmt. Die 15-Jährigen liegen mit ihrem Median für die absolute PWC 170 mit 205 Watt auf der 95. Perzentile, mit der relativen PWC 170 von 3,0 Watt/kgKG auf der 92. Perzentile. Ähnlich verhält es sich mit dem Körperfettanteil. Auch hier nimmt die Differenz zwischen Stichprobe und Normpopulation mit Ausnahme der 12-Jährigen mit zunehmendem Alter zu. Die 11-Jährigen liegen noch auf der 10. Perzentile, die 15-Jährigen nur noch auf der 3. Perzentile.

4.3 Entwicklung ausgewählter Parameter im Altersgang

Naturgemäß nimmt die biologische Reife im Altersgang zu. Bei der Verteilung der PDS Punkte, also bei dem Grad der körperlichen Reife, ist diese Zunahme zwar stetig aber nicht linear. Abbildung 11 zeigt die unterschiedliche Streuung der Ergebnisse innerhalb der PDS in den unterschiedlichen Altersklassen. Auffällig ist die Homogenität in der Gruppe der 11-Jährigen, die Ergebnisse streuen kaum um den Median von 6. Die größte Streuung und damit die größte Heterogenität in Bezug auf die biologische Reife zeigen sich in den Gruppen der 13-Jährigen (7 – 16 PDS Punkte) und 14-Jährigen (9 – 17 PDS Punkte).

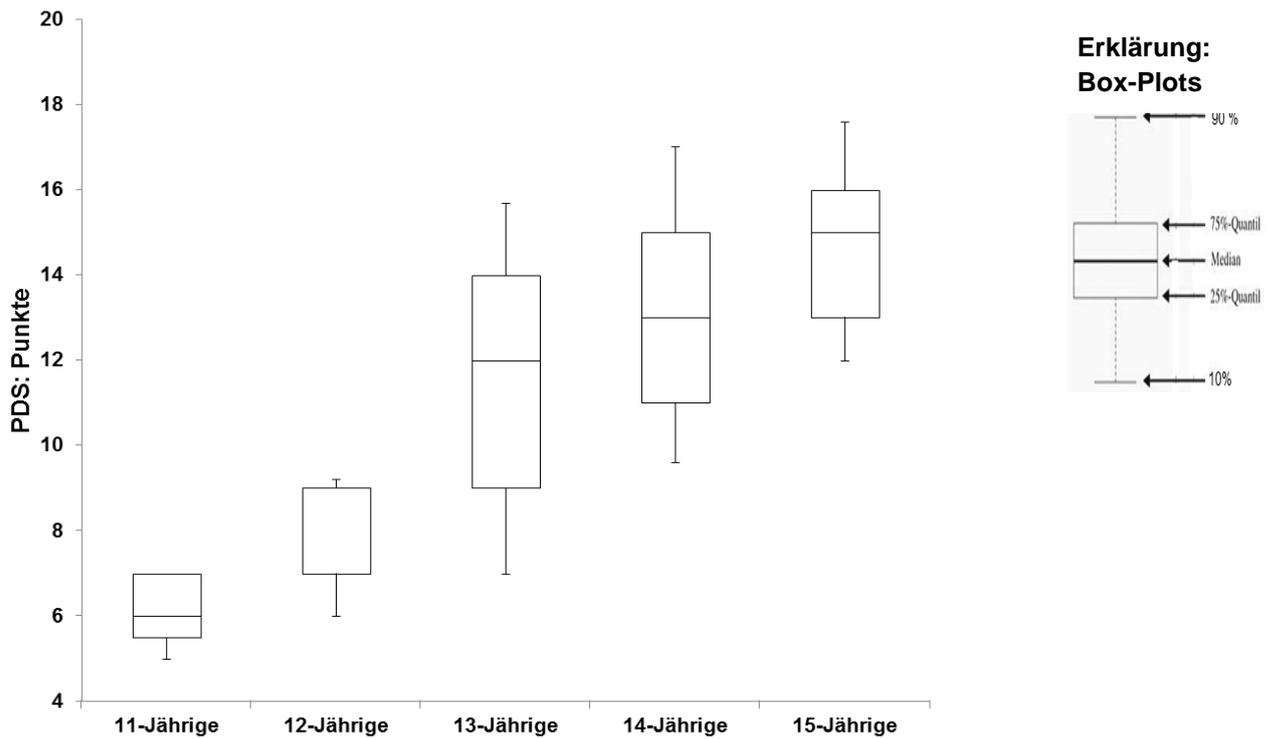


Abbildung 11: Verteilung der Pubertätspunkte in unterschiedlichen Altersgruppen.

Im Folgenden werden unterschiedliche Parameter in Bezug auf ihre Veränderung bei zunehmendem Alter genauer betrachtet. Dazu wird überprüft, ob zwischen den drei in Kapitel 3.4.2 definierten Altersgruppen der jungen Probanden (CA1: 11,0 -12,7 Jahre), den Probanden mittleren Alters (CA2: 12,8 – 14,4 Jahre) und den älteren Probanden (CA3: 14,5 – 15,9 Jahre) signifikante Unterschiede bestehen. Außerdem wird die Größe des Alterseffekts angegeben.

4.3.1 Einfluss des CAs auf anthropometrische Parameter und die Körperkomposition

Mit Ausnahme des Körperfettanteils, stiegen alle anthropometrischen Maßzahlen und die untersuchten Parameter bezüglich der Körperkomposition mit zunehmendem Alter signifikant an. Besonders ausgeprägt war der Effekt bei der Körpergröße und der Muskelmasse. Beim Vergleich der Altersgruppen konnten in den meisten Fällen signifikante Unterschiede nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 13). Nur beim Anteil der Muskelmasse am gesamten Körpergewicht bestanden ausschließlich signifikante Unterschiede zwischen den jungen Probanden und den beiden anderen Gruppen und somit keine signifikanten Unterschiede zwischen der mittleren Altersgruppe und den älteren Probanden. Die absolute Menge an Körperfett und der Körperfettanteil bezogen auf das Körpergewicht unterscheiden sich in den verschiedenen Altersgruppen nicht signifikant.

Tabelle 13: Anthropometrische Maßzahlen und Parameter der Körperkomposition in unterschiedlichen Altersgruppen.

Parameter	CA1 (11–12,7 J) n = 23 MW ± SD	CA2 (12,8–14,4 J) n = 47 MW ± SD	CA3 (14,5–15,9 J) n = 66 MW ± SD	*F	*p-Wert	η ²
Körpergröße (cm)	151 ± 7,8	167 ^a ± 8,8	179 ^{ab} ± 8,3	94,3	≤ 0,001	0,59
Körpergewicht (kg)	40,4 ± 5,6	54,2 ^a ± 9,3	69,0 ^{ab} ± 11,9	69,2	≤ 0,001	0,51
BMI (kg/m ²)	17,7 ± 1,5	19,4 ^a ± 1,8	21,4 ^{ab} ± 2,7	25,9	≤ 0,001	0,28
Körperfettmasse (kg)	4,9 ± 2,4	5,4 ± 2,4	7,0 ± 4,6	8,2	n. s.	0,06
Körperfettanteil (%)	11,7 ± 4,7	9,7 ± 4,1	9,5 ± 4,9	2,1	n. s.	0,03
Muskelmasse (kg)	19,7 ± 2,7	27,7 ^a ± 5,2	35,2 ^{ab} ± 5,4	92,0	≤ 0,001	0,58
Muskelanteil (%)	48,0 ± 2,7	50,0 ^a ± 2,7	51,2 ^a ± 2,7	11,3	≤ 0,001	0,15
erreichte Zielgröße (%)	84,1 ± 3,8	92,0 ^a ± 4,9	97,4 ^{ab} ± 4,1	77,1	≤ 0,001	0,54
PDS (Punkte)	7,0 ± 1,4	11,2 ^a ± 3,4	14,2 ^{ab} ± 2,5	10,5	≤ 0,001	0,49

Erläuterung: * berechnet mit der einfaktoriellen ANOVA; ^a Post-hoc Vergleich (Scheffé-Test): signifikant verschieden ($p \leq 0,05$), sehr signifikant ($p \leq 0,01$), höchst signifikant ($p \leq 0,001$) von CA1; ^b Post-hoc Vergleich (Scheffé-Test): signifikant verschieden ($p \leq 0,05$), sehr signifikant ($p \leq 0,01$), höchst signifikant verschieden ($p \leq 0,001$) von CA2; n. s. = nicht signifikant, $p > 0,05$

4.3.2 Einfluss des CAs auf die aerobe Leistungsfähigkeit

Die absolute körperliche Leistungsfähigkeit nimmt mit zunehmendem Alter zu. Bei der absoluten PWC 170 zeigen sich signifikante Mittelwertunterschiede zwischen allen Gruppen. Bei der absoluten ANS sind die Unterschiede zwischen der mittleren Gruppe (CA2) und den älteren Probanden (CA3) sowie zwischen den jungen (CA1) und den ältesten (CA3) signifikant. Die relative körperliche Leistungsfähigkeit, bezogen auf das Körpergewicht der Probanden, unterscheidet sich nicht signifikant im Altersgang. Bezogen auf die PWC 170 in Watt/kgKG zeigt sich aber eine leichte Zunahme mit ansteigendem Alter, bei der ANS in Watt/kgKG zeigt sich eine leichte negative Tendenz. Alle diesbezüglichen Ergebnisse sind Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: Aerobe Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen Altersgruppen.

Parameter	CA1 (11–12,7 J) n = 23 (20) MW ± SD	CA2 (12,8–14,4 J) n = 47 (44) MW ± SD	CA3 (14,4–15,9 J) n = 66 (63) MW ± SD	*F	*p-Wert	η ²
PWC 170 _{Watt}	106 ± 14,6	152 ^a ± 38,0	195 ^{ab} ± 34,7	64,7	≤ 0,001	0,50
PWC 170 _{Watt/kgKG}	2,60 ± 0,3	2,75 ± 0,48	2,85 ± 0,45	2,9	n. s.	0,04
ANS _{Watt}	114 ± 20,3	137 ^a ± 29,4	167 ^{ab} ± 31,4	30,2	≤ 0,001	0,35
ANS _{Watt/kgKG}	2,80 ± 0,33	2,45 ^a ± 0,56	2,42 ^{ab} ± 0,47	5,0	≤ 0,05	0,08

Erläuterung: * berechnet mit der einfaktoriellen ANOVA; ^a Post-hoc Vergleich (Scheffé-Test): signifikant verschieden ($p \leq 0,05$) von CA1; ^b Post-hoc Vergleich (Scheffé-Test): signifikant verschieden ($p \leq 0,05$) von CA2; n. s. = nicht signifikant, $p > 0,05$

4.4 Entwicklung ausgewählter Parameter abhängig von der biologischen Reife

Im Folgenden wird die Entwicklung anthropometrischer Maßzahlen, der Körperkomposition sowie die Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der biologischen Reife untersucht. Dazu werden die drei, in Kapitel 3.4.2 anhand des biologischen Alters definierten Gruppen, miteinander verglichen.

4.4.1 Einfluss des BAs auf anthropometrische Parameter

Die anthropometrischen Maßzahlen Körpergröße und Körpergewicht unterschieden sich zwischen den unterschiedlichen Entwicklungsgruppen signifikant. Beim BMI und den Parametern der Körperkomposition ließ sich kein signifikanter Unterschied sondern nur eine leichte Tendenzen und geringe Effekte zwischen den Mittelwerten der einzelnen Gruppen nachweisen (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Anthropometrische Maßzahlen und Parameter der Körperkomposition in unterschiedlichen Entwicklungsgruppen.

Parameter	BA1 (5 - 9*) n = 41 MW ± SD	BA2 (10 – 14*) n = 56 MW ± SD	BA3 (15 – 19*) n = 39 MW ± SD	**F	**p- Wert	η ²
Alter (Jahre)	12,7 ± 1,1	14,6 ^a ± 0,8	15,0 ^a ± 0,7	76,3	≤ 0,001	0,53
Körpergröße (cm)	157 ± 9,3	173 ^a ± 8,1	182 ^{ab} ± 7,5	97,4	≤ 0,001	0,59
Körpergewicht (kg)	45,1 ± 8,3	61,5 ^a ± 11,5	72,0 ^{ab} ± 10,1	71,0	≤ 0,001	0,52
BMI (kg/m ²)	18,2 ± 1,9	20,3 ^a ± 2,5	21,7 ^{ab} ± 2,4	23,6	≤ 0,001	0,26
Körperfettmasse (kg)	5,2 ± 2,5	6,2 ± 4,6	6,9 ± 3,3	2,2	n. s.	0,03
Körperfettanteil (%)	11,3 ± 4,6	9,5 ± 5,2	9,2 ± 3,4	2,4	n. s.	0,04
Muskelmasse (kg)	21,8 ± 4,3	31,0 ^a ± 5,2	37,0 ^{ab} ± 4,6	104	≤ 0,001	0,6
Muskelanteil (%)	48 ± 2,7	51 ^a ± 3,0	52 ^{ab} ± 2,1	15	≤ 0,01	0,18
erreichte Zielgröße (%)	86,3 ± 4,1	95,1 ^a ± 3,9	98,8 ^{ab} ± 3,7	111	≤ 0,001	0,63

Erläuterung: *Punkte auf Pubertal Development Scale, ** berechnet mit der einfaktoriellen ANOVA; ^a Post-hoc Vergleich (Scheffé-Test): signifikant verschieden ($p \leq 0,05$) von CA1; ^b Post-hoc Vergleich (Scheffé-Test): signifikant verschieden ($p \leq 0,05$) von CA2; n. s. nicht signifikant, $p > 0,05$

4.4.2 Einfluss des BAs auf die aerobe Leistungsfähigkeit

Die absolute körperliche Leistungsfähigkeit nimmt mit fortschreitender biologischer Reife zu. Sowohl bei der absoluten PWC 170 als auch bei der absoluten Leistung an der 4 mmol/l Laktatschwelle (ANS) zeigen sich signifikante Mittelwertunterschiede zwischen allen drei Gruppen. Die relativen Ergebnisse der körperlichen Leistungsfähigkeit, bezogen auf das Körpergewicht der Probanden sind nicht signifikant verschieden zwischen den unterschiedlichen Entwicklungsgruppen. Bezogen auf die PWC 170 in Watt/kgKG zeigt sich aber eine leichte Zunahme mit zunehmender Reife. Alle diesbezüglichen Ergebnisse sind Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16: Aerobe Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen Entwicklungsgruppen.

Parameter	BA1 (5 – 9*) n = 41 (35) MW ± SD	BA2 (10 – 14*) n = 56 (55) MW ± SD	BA3 (15 – 19*) n = 39 (37) MW ± SD	**F	**p-Wert	η ²
PWC 170 _{Watt}	121 ± 30	169 ^a ± 38,5	206 ^{ab} ± 29,8	64,1	≤ 0,001	0,49
PWC 170 _{Watt/kgKG}	2,68 ± 0,38	2,77 ± 0,53	2,88 ± 0,37	3,4	n. s.	0,03
ANS _{Watt}	122 ± 27,8	147 ^a ± 28,5	167 ^{ab} ± 31,5	30,5	≤ 0,001	0,33
ANS _{Watt/kgKG}	2,69 ± 0,5	2,41 ± 0,48	2,42 ± 0,50	3,8	n. s.	0,05

Erläuterung: *Punkte auf Pubertal Development Scale, ** berechnet mit der einfaktoriellen ANOVA; ^a Post-hoc Vergleich (Scheffé-Test): signifikant verschieden (p ≤ 0,05) von CA1; ^b Post-hoc Vergleich (Scheffé-Test): signifikant verschieden (p ≤ 0,05) von CA2; n. s. = nicht signifikant, p > 0,05

4.5 Vergleich des Einflusses von chronologischem Alter und biologischem Alter auf ausgewählte Parameter

Im folgenden Kapitel soll untersucht werden, ob signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen (CA1-3) und den Entwicklungsgruppen (BA1-3) in Bezug auf die anthropometrischen Maßzahlen, die Parameter der Körperkomposition oder der aeroben Leistungsfähigkeit bestehen. Zur Veranschaulichung der Gruppenzusammensetzung dienen Abb.12 und Abb. 13. Wieder zeigt sich das bereits in Kapitel 4.3 beschriebene Phänomen der geringen Variabilität der jüngeren Probanden in Bezug auf ihre pubertäre Entwicklung bzw. ihre biologische Reife.

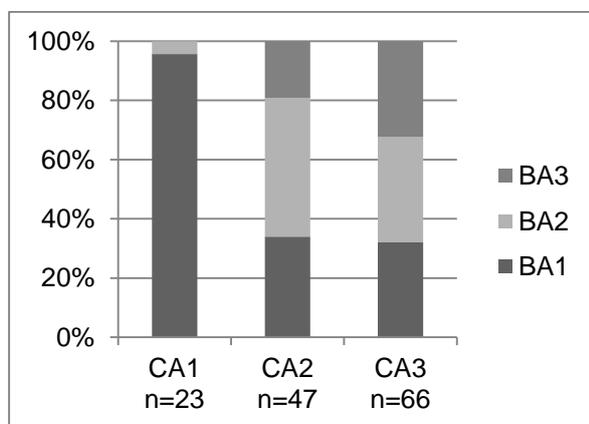


Abbildung 12: Zusammensetzung der verschiedenen Altersgruppen in %

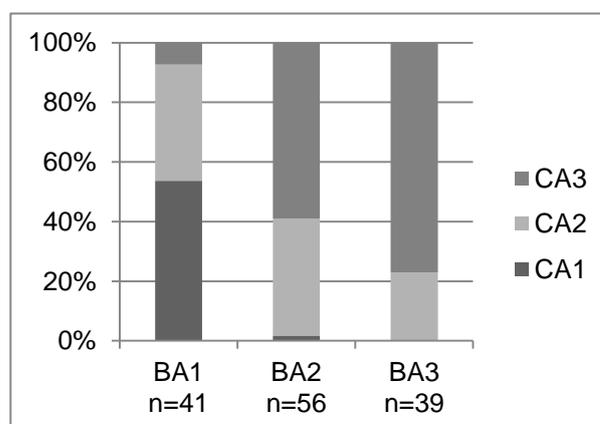


Abbildung 13: Zusammensetzung der verschiedenen Entwicklungsgruppen in %

4.5.1 Einfluss auf anthropometrische Maßzahlen und Körperkomposition

Tabelle 17 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der verschiedenen Alters- und Entwicklungsgruppen. Es fanden sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf das Lebensalter (zwischen der jeweils ersten und zweiten Gruppe) und die biologische Reife (zwischen der zweiten und dritten Gruppe). Außer beim Körperfettgehalt zeigten alle Parameter der Anthropometrie und Körperkomposition beim Vergleich der verschiedenen Untersuchungsgruppen bei wenigstens einer Untergruppe signifikante Unterschiede.

Tabelle 17: Vergleich der Altersgruppen mit den Entwicklungsgruppen in Bezug auf Anthropometrie und Körperkomposition.

Parameter	Gruppe	N	MW ± SD	*t	*p-Wert
Alter (Jahre)	CA1	23	12,0 ± 0,6	3,7	≤ 0,001
	BA1	41	12,7 ± 1,1		
	CA2	47	13,7 ± 0,5	6,0	≤ 0,001
	BA2	56	14,6 ± 0,8		
	CA3	66	15,2 ± 0,5	1,8	n. s.
	BA3	39	15,0 ± 0,7		
Pubertät (PDS Punkte)	CA1	23	7,0 ± 1,4	0,6	n. s.
	BA1	41	7,1 ± 1,3		
	CA2	47	11,2 ± 3,4	2,3	≤ 0,05
	BA2	56	12,4 ± 1,3		
	CA3	66	14,2 ± 2,5	4,8	≤ 0,001
	BA3	39	16,2 ± 1,2		
Körpergröße (cm)	CA1	23	151 ± 7,8	2,0	≤ 0,05
	BA1	41	157 ± 9,3		
	CA2	47	167 ± 8,8	3,1	≤ 0,05
	BA2	56	173 ± 8,1		
	CA3	66	179 ± 8,3	1,7	n. s.
	BA3	39	182 ± 7,5		
Körpergewicht (kg)	CA1	23	40,4 ± 5,6	2,0	≤ 0,05
	BA1	41	45,1 ± 8,3		
	CA2	47	54,2 ± 9,3	3,0	≤ 0,05
	BA2	56	61,5 ± 11,5		
	CA3	66	69,0 ± 11,9	1,3	n. s.
	BA3	39	72,0 ± 10,1		

Tabelle 17 Fortsetzung

Parameter	Gruppe	N	MW ± SD	*t	*p-Wert
BMI (kg/m ²)	CA1	23	17,7 ± 1,5	1,1	n. s.
	BA1	41	18,2 ± 1,9		
	CA2	47	19,4 ± 1,8	2,1	≤ 0,05
	BA2	56	20,3 ± 2,5		
	CA3	66	21,4 ± 2,7	0,5	n. s.
	BA3	39	21,7 ± 2,4		
Körperfett (%)	CA1	23	11,7 ± 4,7	0,4	n. s.
	BA1	41	11,3 ± 4,6		
	CA2	47	9,7 ± 4,1	0,2	n. s.
	BA2	56	9,5 ± 5,2		
	CA3	66	9,5 ± 4,8	0,1	n. s.
	BA3	39	9,2 ± 3,4		
Muskelmasse (kg)	CA1	23	19,7 ± 2,7	2,2	≤ 0,05
	BA1	41	21,8 ± 4,3		
	CA2	47	27,7 ± 5,2	3,3	≤ 0,001
	BA2	56	31,0 ± 5,2		
	CA3	66	35,2 ± 5,4	0,2	n. s.
	BA3	39	37,0 ± 4,6		

Erklärung: *berechnet mit t-Test für unabhängige Stichproben, vgl. Tabelle 6 Signifikanzschranken

4.5.2 Einfluss auf die aerobe Leistungsfähigkeit

Beim Vergleich der unterschiedlichen Gruppen in Bezug auf die körperliche Leistungsfähigkeit unterscheiden sich nur die jüngsten Probanden (CA1) von den wenig entwickelten (BA1) sowie die mittleren Alters (CA2) von denen mit mittlerer biologischen Reife (BA2) in Bezug auf die absolute PWC 170. Besonders hervorzuheben ist, dass sich die verschiedenen Alters- und Entwicklungsgruppen weder in der absoluten ANS noch in der relativen aeroben Leistungsfähigkeit ($ANS_{\text{Watt/kgKG}}$ und $PWC170_{\text{Watt/kgKG}}$) signifikant voneinander unterscheiden (vgl. Tab. 18).

Tabelle 18: Vergleich der Altersgruppen mit den Entwicklungsgruppen in Bezug auf die aerobe Leistungsfähigkeit.

Parameter	Gruppe	N	MW \pm SD	*t	*p-Wert
PWC 170_{Watt}	CA1	23	106 \pm 14,6	2,2	$\leq 0,05^*$
	BA1	41	121 \pm 30,0		
	CA2	47	152 \pm 38,0	2,2	$\leq 0,05^*$
	BA2	56	169 \pm 38,5		
	CA3	66	195 \pm 34,7	1,6	n. s.
	BA3	39	206 \pm 29,8		
PWC 170_{Watt/kgKG}	CA1	23	2,60 \pm 0,3	0,9	n. s.
	BA1	41	2,68 \pm 0,38		
	CA2	47	2,71 \pm 0,48	0,2	n. s.
	BA2	56	2,77 \pm 0,53		
	CA3	66	2,85 \pm 0,45	0,3	n. s.
	BA3	39	2,88 \pm 0,37		
ANS_{Watt}	CA1	20	114 \pm 20,3	1,1	n. s.
	BA1	35	122 \pm 27,8		
	CA2	44	137 \pm 29,4	1,0	n. s.
	BA2	55	147 \pm 28,5		
	CA3	63	167 \pm 31,4	1,3	n. s.
	BA3	37	176 \pm 31,5		
ANS_{Watt/kgKG}	CA1	20	2,80 \pm 0,33	0,9	n. s.
	BA1	35	2,69 \pm 0,5		
	CA2	44	2,45 \pm 0,56	0,4	n. s.
	BA2	55	2,41 \pm 0,48		
	CA3	63	2,42 \pm 0,47	0,02	n. s.
	BA3	37	2,42 \pm 0,50		

Erklärung: *berechnet mit *t*-Test für unabhängige Stichproben; vgl. Tabelle 6 Signifikanzschranken

4.6 Korrelationen zwischen dem chronologischen Alter sowie dem biologischen Alter und Anthropometrie, Körperkomposition und aerober Leistungsfähigkeit

Nachdem unterschiedliche Alters- und Entwicklungsgruppen miteinander verglichen wurden, werden im folgenden Abschnitt Stärke und Richtung von Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen chronologisches Alter und biologisches Alter und den abhängigen

Variablen der Körperkomposition, Anthropometrie und Leistungsfähigkeit untersucht und gegenüber gestellt.

4.6.1 Korrelation zwischen dem CA sowie dem BA und den anthropometrischen Parametern

Tabelle 19 zeigt die Zusammenhänge zwischen CA und BA auf ausgewählte anthropometrische Parameter. Wie zu erwarten war, ließen sich starke positive Zusammenhänge sowohl zwischen CA und anthropometrischen Parametern als auch zwischen BA und anthropometrischen Parametern nachweisen. Der Vergleich zeigt aber, dass zwischen dem BA und den anthropometrischen Parametern ein größerer Zusammenhang besteht, als zwischen CA und anthropometrischen Parametern. So trägt das BA 65,7 % zur Varianzaufklärung der Körpergröße bei, das CA hingegen 61,9 % (vgl. Abb. 14 und Abb. 15); bei der erreichten Zielgröße sind es für das BA 67,9%, für das CA 60,4 % (jeweils $p \leq 0,001$).

Tabelle 19: Korrelation zwischen dem chronologischen Alter (CA) sowie dem biologischen Alter (BA) auf anthropometrische Parameter.

AV	UV	*r	r ²	p-Wert
Körpergröße (cm)	CA	0,787	0,619	≤ 0,001
	BA	0,810	0,657	≤ 0,001
Zielgröße (%)	CA	0,777	0,604	≤ 0,001
	BA	0,824	0,679	≤ 0,001
Körpergewicht (kg)	CA	0,736	0,541	≤ 0,001
	BA	0,789	0,622	≤ 0,001
BMI (kg/m²)	CA	0,535	0,286	≤ 0,001
	BA	0,596	0,355	≤ 0,001

Erläuterung: *r = Korrelationskoeffizient nach Pearson; r² = Bestimmtheitsmaß; AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable; vgl. Tabelle 6 Signifikanzschranken

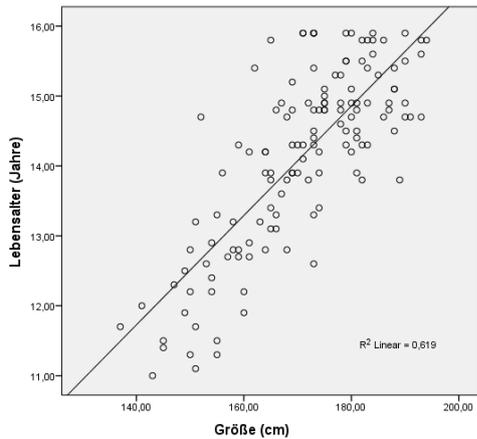


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen CA (Jahre) und Körpergröße (cm).

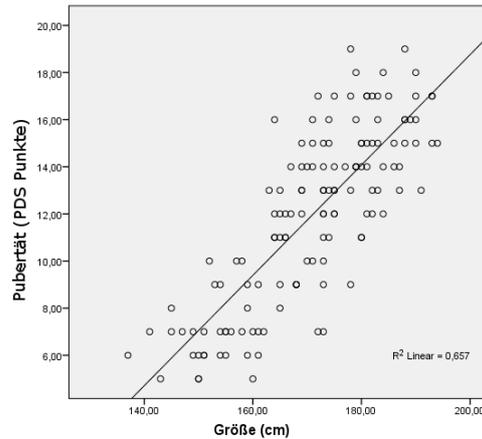


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen BA (PDS Punkte) und Körpergröße (cm).

4.6.2 Korrelation zwischen dem CA sowie dem BA und Parametern der Körperkomposition

Tabelle 20 zeigt die Korrelationen zwischen dem CA sowie dem BA und Parametern der Körperkomposition. Zwischen biologischem Alter und Körperfettanteil bestand keine signifikante Korrelation ($r = 0,147$; $p > 0,05$). Zwischen chronologischem Alter und dem Körperfettanteil konnte hingegen ein positiver Zusammenhang gezeigt werden ($r = 0,208$; $p \leq 0,05$).

Tabelle 20: Korrelation zwischen dem chronologischen Alter (CA) sowie dem biologischen Alter (BA) und Parametern der Körperkomposition.

AV	UV	*r	r ²	p-Wert
Körperfett (%)	CA	0,208	0,043	≤ 0,05
	BA	0,147	0,022	n. s.
Körperfett (kg)	CA	0,191	0,036	≤ 0,05
	BA	0,236	0,056	≤ 0,01
Skelettmuskelmasse (%)	CA	0,463	0,214	≤ 0,001
	BA	0,416	0,173	≤ 0,001
Skelettmuskelmasse (kg)	CA	0,798	0,637	≤ 0,001
	BA	0,846	0,715	≤ 0,001

Erläuterung: *r = Korrelationskoeffizient nach Pearson; r² = Bestimmtheitsmaß; AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable; vgl. Tabelle 6 Signifikanzschranken

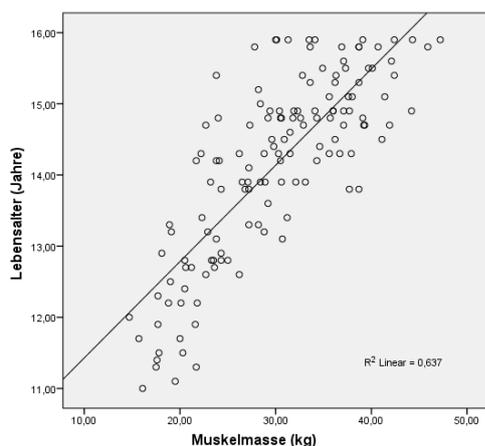


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen CA (Jahre) und Muskelmasse (kg).

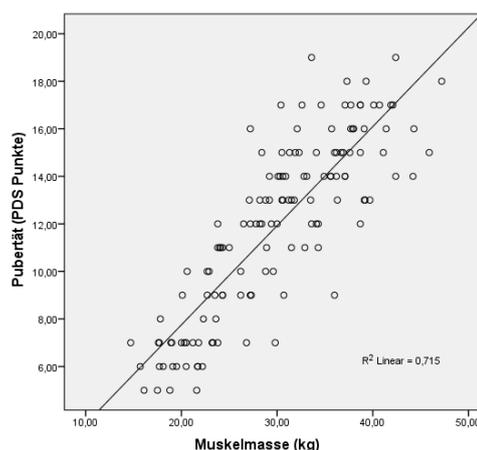


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen BA (PDS Punkte) und Muskelmasse (kg).

4.6.3 Korrelationen zwischen dem CA sowie dem BA und Parametern der aeroben Leistungsfähigkeit

Der Tabelle 21 sind die Zusammenhänge zwischen chronologischem Alter (CA) bzw. biologischem Alter (BA) und Vorbelastungslaktat sowie den Parametern der aeroben Leistungsfähigkeit zu entnehmen. Auffällig ist, dass weder zwischen CA und Vorbelastungslaktat noch zwischen BA und Vorbelastungslaktat ein signifikanter Zusammenhang bestand. Nebenbei sei bemerkt, dass sich ebenfalls kein Zusammenhang zwischen dem Laktat vor der Belastung und einem anderen erhobenen Parameter nachweisen ließ, insbesondere nicht zu der relativen oder absoluten Muskelmasse, zu den Parametern der körperlichen Leistungsfähigkeit oder anthropometrischen Messwerten. Quantitativ betrachtet steigt die mittlere aerobe Leistungsfähigkeit (PWC 170) zwischen dem 12. und 16 Lebensjahr von 105 Watt auf 205 Watt, dies entspricht einem Anstieg von etwa 20 Watt/Jahr. Hoch signifikante Zusammenhänge ($p \leq 0,001$) ließen sich sowohl zwischen CA als auch zwischen BA und der absoluten körperlichen Leistungsfähigkeit gemessen anhand der PWC 170 in Watt und der ANS in Watt nachweisen. Dabei ließen sich 55,7 % der Varianz innerhalb der PWC 170 in Watt durch das CA aufklären ($r = 0,746$, $p \leq 0,001$) und 58,2 % durch das BA ($r = 0,763$, $p \leq 0,001$). Für die relative Leistungsfähigkeit und das CA bzw. BA konnte für die $PWC\ 170_{Watt/kgKG}$ ein schwacher positiver und für die $ANS_{Watt/kgKG}$ ein schwacher negativer Zusammenhang gezeigt werden. Tendenziell war der Einfluss des CA bezogen auf die relative PWC 170 etwas größer als der des BAs, bezogen auf die relative ANS verhielt es sich umgekehrt, der Einfluss des BAs war etwas größer, als der des CAs.

Tabelle 21: Korrelation zwischen dem chronologischen Alter (CA) sowie dem biologischen Alter (BA) und Parametern der aeroben Leistungsfähigkeit.

AV	UV	*r	r ²	p-Wert
Laktat vor Belastung (mmol/l)	CA	0,174	0,030	n. s.
	BA	0,145	0,021	n. s.
PWC 170_{Watt}	CA	0,746	0,557	≤ 0,001
	BA	0,763	0,582	≤ 0,001
PWC 170_{Watt/kgKG}	CA	0,236	0,056	≤ 0,05
	BA	0,165	0,028	≤ 0,05
ANS_{Watt}	CA	0,619	0,383	≤ 0,001
	BA	0,606	0,367	≤ 0,001
ANS_{Watt/kgKG}	CA	- 0,205	0,042	≤ 0,05
	BA	- 0,261	0,068	≤ 0,01

Erklärung: *r = Korrelationskoeffizient nach Pearson; r² = Bestimmtheitsmaß; AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable; vgl. Tabelle 6 Signifikanzschranken

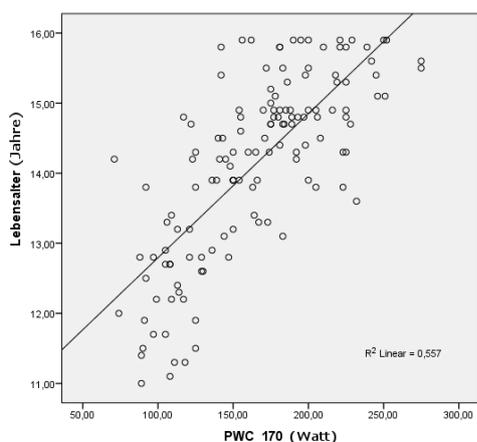


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen CA (Jahre) und PWC 170 (Watt)

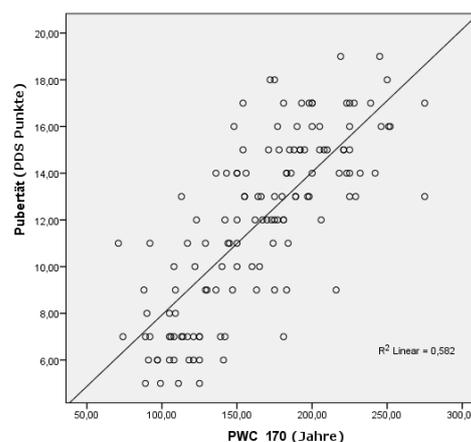


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen BA (PDS Punkte) und PWC 170 (Watt).

4.7 Modelle zur Vorhersage der aeroben Leistungsfähigkeit

Im abschließenden Teil des Ergebniskapitels werden vier Modelle zur Vorhersage der relativen und absoluten körperlichen Leistungsfähigkeit entwickelt und mittels multipler Regression getestet. Die in Kap. 3.4.6 genannten statistischen Voraussetzungen wurden überprüft und ließen das Verfahren zu. Als Kriteriumsvariable wird dabei die PWC 170 und die ANS verwendet. Zur besseren Vergleichbarkeit werden in allen vier Modellen dieselben

fünf Prädiktoren (CA, BA, Körperfettanteil, absolute Muskelmasse und erreichte % der errechneten prospektiven Endgröße) berücksichtigt.

4.7.1 Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der ANS_{Watt}

Abbildung 20 zeigt ein Modell zur Varianzaufklärung der absoluten ANS. Die standardisierten Regressionsgewichte wurden als β -Werte angegeben. Das korrigierte R^2 dieses Modells ist mit 0,554 sehr hoch und das Modell verfügt damit laut Konvention über eine sehr starke Vorhersagekraft (Bühner und Ziegler 2008). Die genannten Variablen trugen innerhalb dieses Modells 55,4 % zur Varianzaufklärung der absoluten ANS bei. Den größten Anteil hatte dabei die absolute Muskelmasse ($\beta = 0,959$)

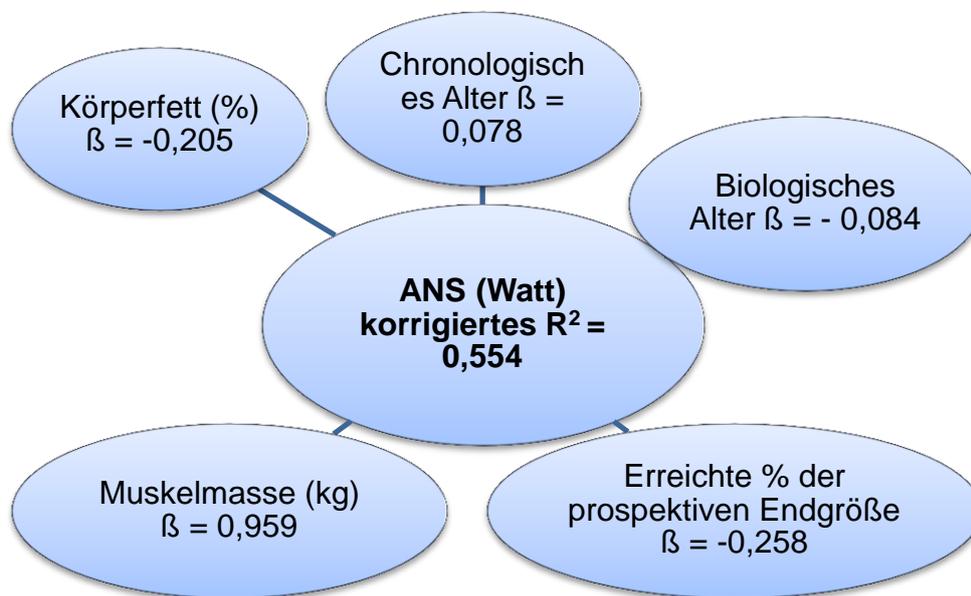


Abbildung 20: Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der absoluten ANS.

4.7.2 Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der PWC170_{Watt}

Abbildung 21 zeigt ein Modell zur Varianzaufklärung der absoluten PWC 170. Das korrigierte R^2 dieses Modells ist mit 0,776 sogar noch größer als in dem zuvor beschriebenen Modell. Folglich verfügt es damit laut Konvention ebenfalls über eine sehr starke Vorhersagekraft (Bühner und Ziegler 2008). Die genannten Variablen trugen innerhalb dieses Modells 77,6% zur Varianzaufklärung der absoluten PWC 170 bei. Den größten Anteil hatte dabei ebenfalls die absolute Muskelmasse ($\beta = 0,902$).

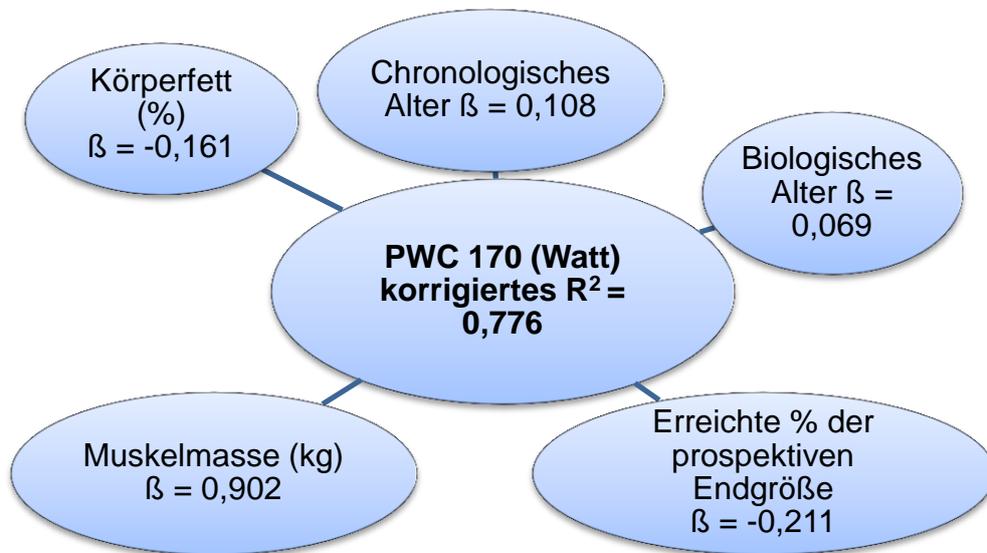


Abbildung 21: Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der absoluten PWC 170.

4.7.3 Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der PWC170_{Watt/kgKG}

Mit Hilfe des multiplen Regressionsmodells ließen sich nur 35,7 % der Varianz der relativen PWC 170 aufklären (vgl. Abb. 22). Dieser Wert liegt deutlich unter den zuvor beschriebenen Modellen. Lt. Interpretationskonvention verfügt das Modell aber dennoch über eine große Vorhersagekraft. Den größten Anteil zur Varianzaufklärung leistete in diesem Modell der Körperfettanteil ($\beta = -0,59$): je niedriger dieser war, desto höher war die PWC 170 in Watt/kgKG.

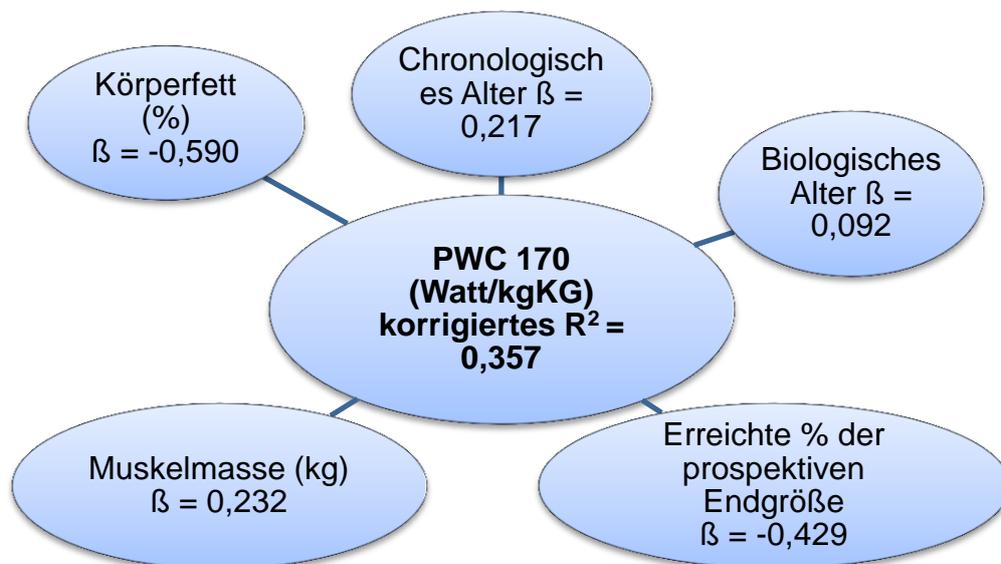


Abbildung 22: Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der relativen PWC 170.

4.7.4 Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der $ANS_{\text{Watt/kgKG}}$

Im Gegensatz zu den drei vorher beschriebenen Modellen verfügt dieses Modell nur über eine mittlere Vorhersagekraft ($0,15 \leq R^2 \leq 0,35$). Die fünf Prädiktoren trugen insgesamt 27,2 % zur Varianzaufklärung der relativen Leistungsfähigkeit bei 4 mmol/l Laktat bei (vgl. Abb. 23). Wie bereits bei der relativen PWC 170, so hatte auch in diesem Modell der Körperfettanteil den größten Anteil an der Varianzaufklärung. Der Zusammenhang war ebenfalls negativ ($\beta = -0,487$), d.h. je niedriger der Körperfettanteil war, desto höher war die $ANS_{\text{Watt/kgKG}}$.

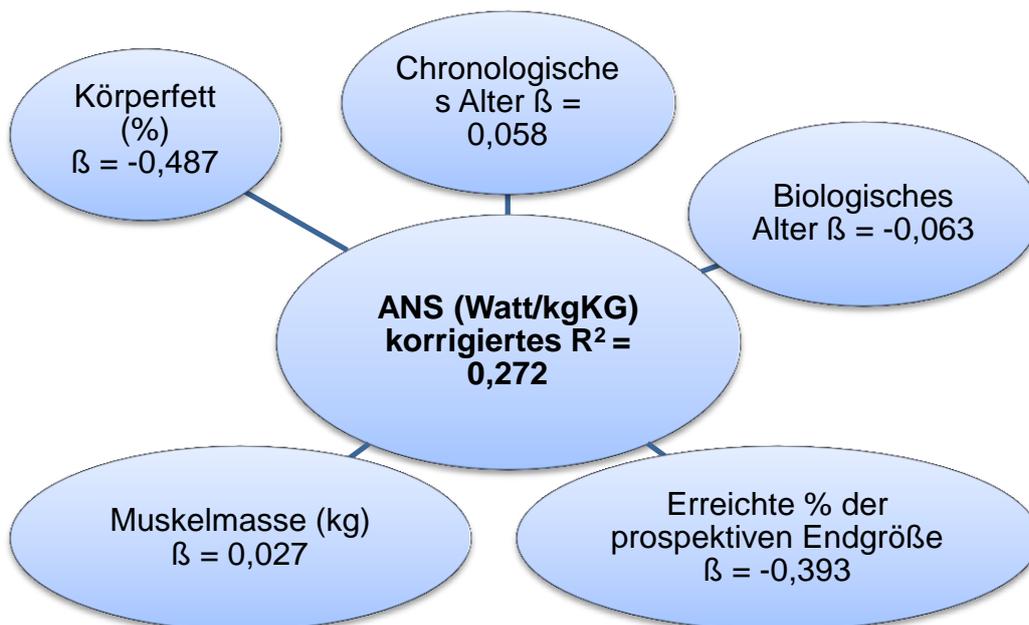


Abbildung 23: Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der relativen ANS.

5 Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die gewählten Methoden sowie die erhobenen Daten kritisch hinterfragt und bewertet. Es wird ein Bezug zu den in Kapitel 1.3 formulierten Forschungsfragen hergestellt und eine Einordnung in den aktuellen wissenschaftlichen Diskurs vorgenommen. Abschließend werden mögliche Ansatzpunkte für weiterführende Forschungsprojekte im Spannungsfeld zwischen Pädiatrie und Sportmedizin aufgezeigt.

5.1 Methodenkritik

In Kapitel 2 wurde bereits ausgiebig die Wahl der verwendeten Methoden begründet. Die Untersuchung wurde als Querschnittstudie durchgeführt. Dieses Verfahren gilt als zeitökonomisch und kostengünstig. Nur so konnte die hohe Probandenzahl von 136 realisiert werden. Alle Untersuchungen fanden im Untersuchungslabor der sportmedizinischen Abteilung an der CAU unter Verwendung der in Kapitel 3 beschriebenen Geräte statt. Diese

wurden regelmäßig entsprechend den Anforderungen der Geräteverordnung für medizinische Apparaturen (MPBetreibV) gewartet und geeicht. Die Autorin war bei allen Untersuchungen anwesend, so dass ein standardisierter Ablauf gewährleistet werden konnte. Im Folgenden werden die einzelnen Untersuchungsschritte kritisch betrachtet.

5.1.1 Probandenkollektiv

Zentrale Frage dieser Untersuchung war es, Einflussfaktoren auf die unterschiedlich stark ausgebildete aerobe Leistungsfähigkeit männlicher, jugendlicher Leistungssportler zu identifizieren und zu gewichten. Besonderes Interesse galt den Faktoren rund um die pubertäre Entwicklung und den damit verbundenen Wachstums- und Reifungsprozessen von männlichen Adoleszenten. Da sich die Forschungsfragen auf Leistungssportler bezogen, sind auch nur diese untersucht worden. Die größte Heterogenität in Bezug auf die pubertäre Entwicklung zeigte sich bei den 13- und 14-Jährigen, so dass bei nachfolgenden Untersuchungen an Jungen ein besonderer Fokus auf diese Altersgruppe gelegt werden sollte. Um allgemeingültige Aussagen treffen zu können, wäre es nötig, eine repräsentative Stichprobe mit Sportlern und Nichtsportlern beiderlei Geschlechts zu untersuchen.

5.1.2 Befragung der Probanden/Erziehungsberechtigten

Um die Ein- und Ausschlusskriterien zu überprüfen und die schriftliche Einwilligung zu erhalten, mussten alle potentiellen Probanden und ihre Erziehungsberechtigten vor der Untersuchung zwei Fragebögen ausfüllen (siehe Anhang B und C). In diesem Zusammenhang wurden ebenfalls die Körpergrößen der leiblichen Eltern erfragt, anhand derer die prospektive Endgröße der Athleten berechnet wurde. Es wäre genauer gewesen, diese Werte durch eine Messung zu bestimmen, das hätte aber vorausgesetzt, dass beide leiblichen Elternteile die Probanden zur Untersuchung begleiten. Dies wäre in vielen Fällen nicht umsetzbar gewesen, so dass insgesamt darauf verzichtet wurde und die Körpergrößen von den Eltern erfragt wurden. In einer folgenden Untersuchung könnte man die Fragebögen noch erweitern: Aspekte zum sozioökonomischen Hintergrund der Athleten und vor allem zur sportlichen Aktivität (Trainingsumfang, Inhalte, Intensität, Trainingsjahre in der Hauptsportart und Ergänzungssportarten) würden die Interpretationsmöglichkeiten der erhobenen Daten deutlich erweitern.

5.1.3 Anthropometrie und Körperkomposition

Eine Befragung von Eltern und Jugendlichen bezüglich des aktuellen Gewichtes und der aktuellen Körpergröße der Probanden ergibt keine hinreichend validen Ergebnisse. Wie Dalton et al. zeigen konnten, neigen beide Gruppen dazu das Körpergewicht zu unterschätzen sowie die Körpergröße zu überschätzen (Dalton et al. 2014). Aus diesem Grund wurden diese Parameter nicht erfragt sondern gemessen. Die verwendeten Methoden (Körpergewicht und Körperkomposition mittels BIA; Körpergröße mittels geeichtem

Stadiometers) gelten als valide, reliabel, objektiv und für die Altersklasse praktikabel (Silva et al. 2013, Talma et al. 2013). Auch wenn der BMI von Kindern und Jugendlichen im Allgemeinen eng mit dem Körperfettanteil korreliert ($r = 0,7 - 0,8$ (Wechsler 2003a, Wechsler 2003b)), so zeigt sich in der vorliegenden Untersuchung an Leistungssportlern ein geringerer Zusammenhang als in der Normalbevölkerung ($r = 0,5$). Darum wird empfohlen, weitere Parameter der Körperkomposition zu bestimmen (Kromeyer-Hauschild und Wabitsch 2001). In vielen aktuellen Studien mit jugendlichen Leistungssportlern wird dennoch ausschließlich der BMI (Meyer et al. 2005, Bernitzki 2006, Philippaerts et al. 2006, Le Gall et al. 2010b, Schoffl et al. 2011) oder der Körperfettanteil (Vandendriessche et al. 2012) berücksichtigt. Die genaue Analyse der Körperkomposition mittels bioelektrischer Impedanzanalyse innerhalb der vorliegenden Untersuchung hat den Erkenntnisgewinn, was die Zusammenhänge zwischen BA, CA, aerober Leistungsfähigkeit und Körperkomposition angeht erweitert, so dass auch bei künftigen Untersuchungen nicht darauf verzichtet werden sollte.

5.1.4 Bestimmung der Leistungsfähigkeit

In Kapitel 2.3 wurde bereits ausführlich dargelegt, warum die aerobe Leistungsfähigkeit mittels relativer und absoluter PWC 170 und ANS bestimmt wurde. Für die PWC 170 existieren valide Vergleichswerte einer repräsentativen Stichprobe, welche im Rahmen des KIGGS erhoben wurden. Die Probanden sollten sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchung anstrengen (subjektives Belastungsempfinden mind. 17 „sehr anstrengend“ auf der Borg Skala) aber nicht ausbelasten. Gerade in der untersuchten Altersgruppe erweist sich ein Ausbelastungstest aufgrund von mangelnder Motivation oder lokaler muskulärer Ermüdung oft als nicht praktikabel (Hebestreit 2004). Darum wurde darauf verzichtet. Wenn mehr zeitliche, ökonomische und personelle Ressourcen zur Verfügung stehen würden, könnte man mittels Spiroergometrie und Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme sowie der ventilatorischen Schwellen die körperliche Leistungsfähigkeit der Athleten noch besser beurteilen, da die Bestimmung der Blutlaktatkonzentration nur einen indirekten Schluss auf den Muskelstoffwechsel zulässt.

5.1.5 Bestimmung des biologischen Alters

Da es sich bei den Probanden um gesunde Freiwillige handelte, wurde aus Rücksicht auf deren Privatsphäre auf eine ärztliche Untersuchung des entkleideten Körpers verzichtet. In den Kapiteln 2.1.11 bis 2.1.13 wurden verschiedene Methoden zur Bestimmung des biologischen Alters vorgestellt und die Entscheidung für die Pubertal Development Scale (PDS) begründet. Das Ausfüllen der Fragebögen bereitete den Probanden kaum Schwierigkeiten. Im Untersuchungsraum war ein Tisch reserviert, was den Teilnehmern die Gelegenheit bot, den Fragebogen ungestört auszufüllen. Für evtl. Nachfragen standen die

Versuchsleiter zur Verfügung. Kritisch bleibt nur zu bemerken, dass zwar in großen englischsprachigen epidemiologischen Studien vor allem die PDS verwendet wird, in der deutschen KIGGS Untersuchung allerdings nicht. Dort wurde die biologische Reife durch eine Selbsteinschätzung der Pubesbehaarung nach Tanner anhand von Zeichnungen durch die Teilnehmer vorgenommen. Außerdem erfolgte eine dreistufige Beschreibung der Mutation (Stimmbruch): keine Veränderung der Stimme – Stimme schwankt – Stimme ist tief (Kahl et al. 2007). Zur besseren Vergleichbarkeit der Stichprobe mit der Referenzpopulation hätte man diese Informationen zusätzlich erfragen können.

5.2 Ergebnisdiskussion

Ziel dieser Arbeit war es den Einfluss von CA, BA, Körperkomposition und anthropometrischen Parametern auf die körperliche Leistungsfähigkeit männlicher jugendlicher Leistungssportler zu untersuchen. Im folgenden Abschnitt werden die in Kapitel 4 dargestellten Ergebnisse diskutiert und kritisch betrachtet.

5.2.1 Die Stichprobe

Insgesamt wurden die Datensätze von 136 jugendlichen Leistungssportlern analysiert. Aufgrund der Stichprobengröße lassen sich anhand der erhobenen Daten allgemeine Aussagen über männliche Leistungssportler der entsprechenden Altersgruppe treffen. Ziel war es, möglichst viele Probanden entsprechend den Einschlusskriterien zu rekrutieren. Dabei ergab eine etwas schiefe Altersverteilung mit einem MW von 14,1 Jahre (Spanne 11,0 – 15,9) und ungleichmäßige Aufteilung der betriebenen Sportarten (55 % Fußballer, 34 % Handballer; vgl. Abb. 10).

Trotzdem handelt es sich um eine homogene Stichprobe: fünf Jahrgänge gleichgeschlechtlicher Leistungssportler. Wenn man annimmt, dass ein 11 Jähriger als „Kann-Kind“ eingeschult wurde und im Verlauf noch ein Schuljahr übersprungen hat und ein 15 Jähriger regulär eingeschult wurde und ein Jahr wiederholt hat, könnten alle Probanden theoretisch gemeinsam die 8. Schulklasse besuchen. Wenn man unter dieser Perspektive die Beschreibung der Stichprobe betrachtet (vgl. Tabelle 10), beeindruckt die Heterogenität der Ergebnisse: Die Körpergröße variiert um den Faktor 1,4 (137 cm – 194 cm), das Gewicht um den Faktor 3,1 (30,8 kg – 96,5 kg) und die Skelettmuskelmasse um den Faktor 3,2 (14,7 kg – 47,2 kg). Die biologische Reife variiert von präpubertär, kindlich bis geschlechtsreif, adult. Dabei fällt auf, dass sich diesbezüglich die größte Heterogenität bei den 13- bis 14-Jährigen findet. In diese Zeit fällt bei den meisten Jungen auch das größte Längenwachstum (Malina et al. 2004). Diese Ergebnisse entsprechen denen der Referenzpopulation der KIGGS Untersuchung (Kahl et al. 2007, Hoffmann et al. 2014).

5.2.2 Vergleich mit der Referenzpopulation

Die innerhalb der Untersuchung erhobenen anthropometrischen Parameter wurden mit denen des Nationalen Kinder- und Jugendgesundheits surveys (KIGGS) verglichen (vgl. Tabelle 11). Die Mediane für Größe, Gewicht und BMI der 11- bis 13-Jährigen unterscheiden sich kaum zwischen den Sportlern und der Referenzpopulation. Erst bei den 14-Jährigen Athleten liegt der Median für die Größe auf der 72. Perzentile und für das Gewicht auf der 60. Perzentile. In der Gruppe der 15-Jährigen liegen beide Werte etwa auf der 75. Perzentile. Dies könnte Ausdruck einer möglichen Akzeleration der pubertären Entwicklung mit vorzeitigem Wachstumsschub bei den Sportlern sein. Dieses Phänomen wurde bereits von anderen Autoren bei jugendlichen Fußballern beschrieben, die den Reifegrad mit Hilfe von Selbsteinschätzungen bestimmt haben (Gastin und Bennett 2014) oder das chronologische Alter mit dem Skeletalter verglichen haben (Le Gall et al. 2010b, Le Gall et al. 2010b, Malina et al. 2010, Moore et al. 2010). Valente-dos-Santos und Kollegen haben 38 männliche Elite-Fußballspieler zwischen 10 und 15 Jahren über fünf Jahre untersucht, deren Skeletalter bestimmt und mit dem CA verglichen. Dabei war die Mehrheit (58 %) normal entwickelt d.h. es bestand weniger als ein Jahr Diskrepanz zwischen dem Skeletalter und dem CA, 13 % waren Spätentwickler und 29 % Akzelerierte (Valente-Dos-Santos et al. 2014).

Aufgrund der unterschiedlichen Methode zur Bestimmung des Pubertätsstatus lassen sich die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung nicht direkt mit denen des KIGGS vergleichen. Die Vergleiche der Körpergröße lassen aber indirekt den Schluss zu, dass es sich bei den untersuchten Leistungssportlern nicht per se um Frühentwickler handelt, diese aber im Vergleich zu Spätentwicklern überrepräsentiert scheinen. Dies spricht zumindest in Einzelfällen für eine Selektion aufgrund simpler Entwicklungsvorteile.

In allen Altersgruppen finden sich große Unterschiede der aeroben Leistungsfähigkeit zwischen den Ergebnissen des KIGGS und der vorliegenden Untersuchung (Bös et al. 2008, Bös 2009, Wagner et al. 2010). Aufgrund der differenzierten Ergebnisdarstellung des Fahrradausdauerfestes im Rahmen des Motorik Moduls des KIGGS war es möglich, den Probanden genaue Perzentilenränge zuzuordnen. Die Unterschiede fanden sich sowohl bei den absoluten Werten ($PWC\ 170_{Watt}$) als auch bei den relativen ($PWC\ 170_{Watt/kg\ KG}$). Bereits die 11-Jährigen Sportler liegen mit ihrem Median auf der 78. ($PWC\ 170_{Watt}$) bzw. 80. ($PWC\ 170_{Watt/kgKG}$) altersentsprechenden Perzentile. In der Gruppe der 12-Jährigen ist der Unterschied am geringsten ausgeprägt, aber immer noch deutlich (64. bzw. 75. Perzentile). 15-Jährigen liegen mit ihren Ergebnissen auf der 95. bzw. 92. altersentsprechenden Perzentile. Die in vielen Sportvereinen und Trainingsgruppen noch verbreitete Ansicht, dass ein Ausdauertraining bei präpubertären Kindern keinen Effekt zeigt, wurde vielfach wissenschaftlich widerlegt (Beneke und Hebestreit 2002, Armstrong und McManus 2011, Armstrong und McManus 2011, Kenney et al. 2012). Die vorliegende Studie zeigt

übereinstimmende Ergebnisse, auch wenn sich aufgrund des Studiendesigns nicht klären lässt, ob die Stichprobe wegen des Trainings so viel besser abschneidet, als die Referenzpopulation oder ob die bessere aerobe Leistungsfähigkeit ein Auswahlkriterium darstellt, weshalb die einzelnen Individuen für den jeweiligen Leistungssport gesichtet wurden. Die im Altersverlauf aber insgesamt zunehmende Differenz zwischen der Studiengruppe und der Referenzpopulation lässt zumindest vermuten, dass es sich um einen verstärkten Einfluss des systematischen Trainings handelt. Generell ist es bei der Beurteilung von Kindern und Jugendlichen problematisch, zwischen Trainings-, Wachstums- und Reifungseffekten zu differenzieren.

Beim Vergleich der BMI-Werte aus KIGGS und dem Körperfettanteil aus den „*BIA-Perzentilen für deutsche Kinder und Jugendliche*“ (Plachta-Danielzik et al. 2012) mit den Studienergebnissen ist bemerkenswert, dass sich die BMI Ergebnisse der Studienpopulation kaum von denen der Referenzpopulation unterscheiden. Diese schwanken immer um die 50. altersentsprechende Perzentile. Der Körperfettanteil liegt hingegen in allen Altersgruppen deutlich unterhalb des Durchschnitts: bei den 11-Jährigen auf der 10. Perzentile, bei den 12-Jährigen auf der 15. Perzentile, bei den 13-Jährigen auf der 8. Perzentile und bei den 14. und 15-Jährigen auf der 3. Perzentile (vgl. Tab. 11). Diese Ergebnisse unterstreichen die Limitation des BMIs bei der Beurteilung von jugendlichen Sportlern. Die übliche Verwendung zur Beurteilung des Ernährungszustandes und daraus abgeleitet der Definition von Unter-, Normal-, Übergewicht oder Adipositas mittels BMI-Wert ist für diese Bevölkerungsgruppe nicht valide. Hier sollte die bioelektrische Impedanz Analyse oder andere Verfahren zur Bestimmung des Körperfettanteils verwendet werden.

5.2.3 Entwicklung ausgewählter Parameter im Altersgang und bei zunehmender Reife

Die untersuchte Stichprobe wurde in die drei Altersgruppen CA1, CA2, CA3 unterteilt (vgl. Tab. 4). Diese unterschieden sich jeweils höchst signifikant ($p \leq 0,001$) in der Körpergröße, Körpergewicht, BMI, Muskelmasse (absolut und relativ), erreichten % der errechneten Zielgröße und den PDS-Punkten (vgl. Tab. 12). Die Probanden der jüngsten Gruppe waren im Schnitt 151 cm groß und 40,4 kg schwer und damit 28 cm kleiner und 28,6 kg leichter als die Probanden der ältesten Gruppe. Bei dem Vergleich der absoluten und relativen Fettmasse zwischen den unterschiedlichen Altersgruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Ursache dafür sind große interindividuelle Schwankungen mit sehr großen Standardabweichungen in den einzelnen Altersgruppen. In Bezug auf die aerobe Leistungsfähigkeit unterschieden sich die absoluten Ergebnisse ($PWC_{170_{Watt}}$ und ANS_{Watt}) zwischen den einzelnen Altersgruppen hochsignifikant ($p \leq 0,001$) und die Ergebnisse der relativen $ANS_{Watt/kgKG}$ signifikant voneinander ($p \leq 0,05$). Die Ergebnisse der $PWC_{170_{Watt/kgKG}}$ unterschieden sich zwischen den Altersgruppen nicht signifikant ($p > 0,5$), obwohl die

Mittelwerte leicht anstiegen. Dies entspricht - wenn auch auf deutlich höherem Niveau - den Ergebnissen des KIGGS (Bös et al. 2008, Abade et al. 2014). Auch Braden und Kollegen beschreiben in einer Metaanalyse von 14 Untersuchungen die signifikante Zunahme der absoluten aeroben Leistungsfähigkeit gemessen anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme in ml/min bei männlichen Probanden im Alter von 6 bis 15 Jahren und nur eine leichte Tendenz bezogen auf das Körpergewicht also der VO_2 max. in ml/kgKG/min. Sie fanden außerdem Parallelen in der Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme und dem zunehmendem Skeletalter (Braden und Carroll 1999).

Die Ergebnisse zwischen den drei Entwicklungsgruppen BA1, BA2, BA3 (vgl. Tab. 5) entsprechen denen des Altersvergleichs. Bis auf das absolute und relative Körperfett ($p > 0,5$) zeigten alle anthropometrischen und die Körperkomposition betreffenden Parameter hochsignifikante Unterschiede im Vergleich der unterschiedlichen Gruppen ($p \leq 0,001$). Auch die absolute aerobe Leistungsfähigkeit unterschied sich in den Gruppenvergleichen signifikant, während sich die körpergewichtsbezogenen Parameter ($PWC_{170_{Watt/kgKG}}$ und $ANS_{Watt/kgKG}$) in den unterschiedlichen Entwicklungsgruppen nicht signifikant voneinander unterschieden. Beim Vergleich der Altersgruppen CA 1-3 mit der jeweils korrespondierenden Entwicklungsgruppe BA1-3 zeigten sich nur bei einigen Parametern signifikante Unterschiede und diese waren meist nur schwach ausgeprägt (vgl. Tab. 16). Bezogen auf die aerobe Leistungsfähigkeit unterschieden sich nur CA1 vs. BA1 und CA2 vs. BA2 in der absoluten PWC_{170} signifikant ($p \leq 0,05$), alle anderen Gruppenvergleiche der unterschiedlichen leistungsdiagnostischen Parameter ergaben keine signifikanten Unterschiede. Das ist vor allem durch die Gruppenzusammensetzung zu erklären: Abb. 12 und Abb. 13 ist die jeweilige Zusammensetzung der Gruppen zu entnehmen. Daraus wird ersichtlich, dass z.B. die Gruppe CA1 fast ausschließlich aus Probanden der 1. Entwicklungsgruppe (BA1) bestand und in der Gruppe BA3 befanden sich fast ausschließlich Probanden, die CA3 zuzuordnen waren. Aus dieser Erkenntnis lassen sich zwei Schlussfolgerungen ziehen: 1. Sowohl das chronologische Alter als auch das biologische Alter sind je nach Fragestellung geeignet, um Gruppeneinteilungen in zukünftigen Untersuchungen vorzunehmen. 2. Die jeweils mittlere Gruppe (Alter: 12,8 J. - 14,4 J; Reife: 10 - 14 PDS Punkte) ist die heterogenste in ihrer Zusammensetzung und für weitere Untersuchungen am interessantesten.

5.2.4 Korrelation zwischen Lebensalter bzw. Reife und ausgewählten Parametern

In diversen nationalen und internationalen Untersuchungen mit jugendlichen Leistungssportlern wurden die körperlichen Veränderungen während der Pubertät dokumentiert. Dabei sind Fußballer die am besten untersuchte Subpopulation. Wie zu erwarten war, wurde übereinstimmend eine Zunahme von Körpergröße, Gewicht und sofern dokumentiert auch der Muskelmasse mit zunehmendem Lebensalter beschrieben (Huijgen et

al. 2010, Le Gall et al. 2010b). Meyer und Kollegen beobachteten über fünf Jahre 32 Fußballspieler der Saarlandauswahl, welche im Alter von 14 Jahren rekrutiert wurden. Dabei wurden jährlich anthropometrische Daten erhoben (Körpergewicht, Körpergröße, Körperfettanteil). Außerdem erfolgte jeweils eine Leistungsdiagnostik auf dem Fahrradergometer, Sprinttests und sportmotorische Tests. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass *„bei jugendlichen Fußballspielern zwischen 14 und 18 Jahren die Veränderungen leistungsphysiologisch relevanter Parameter in erster Linie auf das körperliche Wachstum zurückzuführen sind“* (Meyer et al. 2005). In dieser vom DFB geförderten Studie wurden aber keine reifebezogenen Parameter (z.B. Pubertätsstatus, Skeletalter oder erreichte % der errechneten Zielgröße) dokumentiert. Diese werden in der deutschsprachigen Literatur in der Regel nicht mit berücksichtigt. In der letzten Dekade gibt es aber zunehmend englische Publikationen, die diesen Einfluss mit betrachten (Rowland 2005, Armstrong und McManus 2011, Malina et al. 2013, Lloyd et al. 2014, Fragoso et al. 2015). Eine spanische Arbeitsgruppe beobachtete 38 Schüler einer Fußball-Eliteschule von 11 bis 15 Jahren. In dieser Zeit wurden 8 Messungen durchgeführt und anthropometrische Parameter, Körperfettgehalt und unterschiedliche leistungsdiagnostische Parameter dokumentiert. Als Maß für die pubertäre Reife wurden die erreichten % der errechneten Zielgröße bestimmt. Wie zu erwarten war, beschrieben auch diese Autoren einen signifikanten Zusammenhang ($p < 0,05$) zwischen chronologischem Alter und absoluter körperlicher Leistungsfähigkeit. Sie untersuchten aber mittels multipler Regression gezielt den Einfluss der biologischen Reife auf die körperliche Leistungsfähigkeit und kamen zu dem Schluss, dass akzelerierte Sportler bei der ersten Untersuchung bis zu 19 % bessere Ergebnisse in der kraftbetonten Leistungsdiagnostik (15-m Sprint; jump-and-reach Test) aufwiesen, diese aber im Altersgang eine geringere Verbesserung der Testergebnisse zeigten, als die Spätentwickler. Trotzdem waren auch am Ende des Untersuchungszeitraumes – mit 16 Jahren – weiterhin Unterschiede in der Performance zwischen den Früh- und Spätentwicklern nachweisbar. (Bidaurrezaga-Letona et al. 2015). In der vorliegenden Untersuchung wurden Korrelationen zwischen dem CA sowie dem BA und der Körperkomposition, anthropometrischen Parametern und den Ergebnissen der Leistungsdiagnostik errechnet. Wie bereits vielfach beschrieben, zeigten sich auch in dieser Untersuchung starke positive Zusammenhänge sowohl zwischen CA bzw. BA und den anthropometrischen Parametern ($p \leq 0,001$; $r^2 = 0,286 - 0,679$). Im Vergleich bestand zwischen BA und Körpergröße, Körpergewicht sowie BMI ein stärkerer Zusammenhang, als zwischen CA und den genannten Parametern (vgl. Tab. 18 sowie Abb. 14 und Abb. 15). Das ist besonders vor dem Hintergrund interessant, dass die Körpergröße von vielen Autoren als Selektionskriterium bei der Talentauswahl jugendlicher Fußballspieler identifiziert wurde

(Carling et al. 2009, Carling et al. 2009, Coelho E Silva, M J et al. 2010, Le Gall et al. 2010b, Fragoso et al. 2015).

In der vorliegenden Untersuchung korrelieren die Ergebnisse der absoluten aeroben Leistungsfähigkeit (PWC 170 und ANS) hochsignifikant ($p \leq 0,001$) mit dem BA und dem CA. Bezogen auf die PWC 170 trägt das BA unwesentlich mehr zur Varianzaufklärung bei ($r^2 = 0,582$ versus $r^2 = 0,557$). Bei der ANS trägt das CA unwesentlich mehr zur Varianzaufklärung bei ($r^2 = 0,383$ versus $r^2 = 0,367$). Das heißt, es bestehen deutlich größere Zusammenhänge zwischen chronologischem Alter und biologischer Reife und der PWC 170 als zwischen CA/BA und der ANS. Die beiden Variablen CA und BA unterscheiden sich aber nicht gravierend, so dass man festhalten kann, dass keines der Verfahren zur Gruppenbildung eindeutige Vorteile gegenüber dem anderen zeigt.

Bei den körpergewichtsbezogenen Parametern der aeroben Leistungsdiagnostik, sind die Ergebnisse deutlich differenzierter zu betrachten. Zwischen der $PWC170_{Watt/kgKG}$ und CA sowie BA bestehen signifikante Zusammenhänge ($p \leq 0,05$), die Varianzaufklärung ist aber nur gering ($r^2 = 0,056$ bzw. $r^2 = 0,028$). Weder das chronologische Alter, noch das biologische Alter tragen viel zur Varianzaufklärung der $PWC170_{Watt/kgKG}$ bei. Zwischen der ANS_{kgKG} also der erbrachten Leistung/kgKG bei 4 mmol Laktat und dem BA bzw. dem CA besteht jeweils ein negativer Zusammenhang. Dieser ist für das BA ($r = -0,261$, $r^2 = 0,068$, $p \leq 0,01$) etwas stärker ausgeprägt, als für das CA ($r = -0,205$, $r^2 = 0,042$, $p \leq 0,05$). Einige Autoren haben eine geringere maximale Laktatkonzentrationen bei jüngeren Probanden beschrieben (Wahl et al. 2009, Beneke 2014). Das könnte bedeuten, dass die gewählte Laktatschwelle von 4 mmol bei den jüngeren Probanden fast schon eine Ausbelastung bedeutet, während sie für die älteren eher der Leistung an der 1. ventilatorischen Schwelle entspricht und somit noch eine größere Leistungsreserve bestände. Als mögliche Erklärung für geringere Laktatspiegel bei submaximalen Anstrengungen bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen wird eine verminderte Enzymaktivität der glykolytischer Enzyme diskutiert (Pfitzinger und Freedson 1997, Beneke und Hebestreit 2002). Wie diese durch Reifungsprozesse und Trainingseinflüsse verändert werden, ist weiterhin Gegenstand der aktuellen Forschung. Trotzdem belegt die vorliegende Untersuchung, dass es prinzipiell auch mit jungen Sportlern – also bereits mit 11-Jährigen – sinnvoll sein kann, eine laktatbasierte Leistungsdiagnostik durchzuführen.

5.2.5 Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage der aeroben Leistungsfähigkeit

Die Kernfrage dieser Arbeit beschäftigt sich mit den Zusammenhängen und Einflüssen von Wachstum, Entwicklung und Reife auf die aerobe Leistungsfähigkeit männlicher jugendlicher Leistungssportler. Es wurden vier Modelle entwickelt, um die Vorhersagekraft von jeweils fünf Prädiktoren (CA, BA, Körperfettgehalt, Muskelmasse und erreichte % der errechneten prospektiven Endgröße) auf die absolute und relative aerobe Leistungsfähigkeit mittels

multipler Regression zu überprüfen. Die vier Modelle verfügen über eine unterschiedlich hohe Vorhersagekraft. Die stärkste Vorhersagekraft hat das Modell zur Aufklärung der absoluten PWC 170 (korrigiertes $R^2 = 0,776$). Den größten Anteil an der Varianzaufklärung trägt dabei die absolute Muskelmasse bei ($\beta = 0,902$). Die Muskelmasse ihrerseits wird stark von äußeren Faktoren, wie Art, Umfang, und Intensität des Trainings beeinflusst. Außerdem unterliegt sie dem Einfluss von Lebensalter und pubertärer Entwicklung ($p \leq 0,001$). Dabei ist der Einfluss des BAs ($\beta = 0,069$) geringer, als der des CAs ($\beta = 0,108$). In der Literatur gibt es nur wenig vergleichbare Untersuchungen. Am ehesten lassen sich die Daten mit denen von Armstrong und Welsman vergleichen: In einer Übersicht zum Thema aerober Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen haben diese 6 Studien mit über 2500 Probanden zwischen 8 und 17 Jahren, deren maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) mittels Spiroergometrie ermittelt wurde, ausgewertet. Sie beschreiben eine Zunahme der VO_{2max} um 164 % bei männlichen Probanden zwischen 8 und 16 Jahren. Der stärkste jährliche Zuwachs wurde zwischen 13 und 15 Jahren dokumentiert (Armstrong und Welsman 2007). In einer eigenen Untersuchung entwickelten dieselben Autoren mittels multipler linearer Regression ein Modell zur Vorhersage der VO_{2max} . Als Prädiktoren verwendeten sie die Körpergröße, Körpergewicht, Hautfaltendicke, Alter und den Pubertätsstatus (im Rahmen einer körperlichen Untersuchung wurde die Schambehaarung beurteilt und nach Tanner in die Stadien PH 1 – PH 5 gruppiert). 132 männliche und weibliche Probanden wurde im Alter von 11 Jahren rekrutiert und mit 12, 13 und 17 Jahren nachuntersucht. Insgesamt gingen 388 Untersuchungen in die Analyse ein. Mit Hilfe ihres Modells ließen sich 88 % der Varianz aufklären. Den höchsten Anteil daran hatte die Hautfaltendicke. Ohne die Muskelmasse direkt zu quantifizieren, schlossen die Autoren: *„In conclusion a multiplicative allometric model has confirmed over a wide range of age our earlier finding that fat free mass appears to be the predominant influence in the increase of VO_{2peak} “* (Armstrong und Welsman 2001). Dieser Interpretation basiert auf einem 2-Kompartimentmodell (Körpergewicht = Fettmasse + fettfreie Masse) zur Körperzusammensetzung.

Auch das Modell zur Vorhersage der absoluten ANS (vgl. Abb. 22) verfügt laut Konvention über eine sehr starke Vorhersagekraft (korrigiertes $R^2 = 0,554$) und auch in diesem Modell hatte die Muskelmasse den größten Anteil an der Varianzaufklärung ($\beta = 0,959$).

Die beschriebenen Modelle zur Vorhersage der absoluten aeroben Leistungsfähigkeit ($PWC_{170_{Watt}}$ und ANS_{Watt}) stimmen mit dem Ergebnis von Armstrong und Wesman (2001) überein: Die größte Vorhersagekraft für die absolute aerobe Leistungsfähigkeit hat die absolute Muskelmasse. In der vorliegenden Untersuchung wurde diese direkt mittels 8-polarer Bioimpedanzanalyse bestimmt.

Die Vorhersagekraft der Modelle zur relativen aeroben Leistungsfähigkeit ist nicht so groß, wie bei den vorher beschriebenen Modellen. Laut Interpretations-Konvention verfügt das

Modell für die PWC $170_{\text{Watt/kgKG}}$ aber noch über eine starke Vorhersagekraft ($R^2 = 0,357$), während das Modell für die $\text{ANS}_{\text{Watt/kgKG}}$ ($R^2 = 0,272$) über eine mittlere Vorhersagekraft ($0,15 \leq R^2 \leq 0,35$) verfügt. Bereits 1982 schrieb Shepard: "*Performance tests are a complicated way of identifying fat children*" (Shepard 1982). Die Modelle zur Vorhersage der relativen Leistungsfähigkeit (vgl. Abb. 21 und Abb. 23) bestätigen diese Aussage erneut. In beiden Modellen hatte der Körperfettanteil den größten Anteil an der Varianzaufklärung ($\text{PWC } 170_{\text{Watt/kgKG}}$: $\beta = -0,59$; $\text{ANS}_{\text{Watt/kgKG}}$: $\beta = -0,484$). Aus der insgesamt aber geringeren Vorhersagekraft lässt sich schließen, dass die relative Leistungsfähigkeit von sehr viel mehr Faktoren beeinflusst wird, als die absolute.

6 Zusammenfassung

Obwohl allgemein akzeptiert ist, dass die körperlichen Veränderungen während der Pubertät gerade bei männlichen Jugendlichen (z.B. durch Zunahme der Körpergröße und der absoluten und relativen Muskelmasse) positiven Einfluss auf die körperliche Leistungsfähigkeit haben (Armstrong und Welsman 1994), wird der biologische Reifestatus nur in wenigen Untersuchungen berücksichtigt (Mota et al. 2002). Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss von chronologischem Alter, pubertärer Entwicklung, Körperkomposition und anthropometrischen Parametern auf die aerobe Leistungsfähigkeit von männlichen Leistungssportlern während der Pubertät zu untersuchen.

Methode: 137 männliche Leistungssportler im Alter von 11 bis 15 Jahren wurden rekrutiert. Nachdem alle Probanden und die gesetzlichen Vertreter ihre schriftliche Einwilligung erklärten, wurde die Körperkomposition mittels acht-polarer mehr frequentieller bioelektrischer Impedanzanalyse bestimmt. Im Rahmen einer Leistungsdiagnostik auf dem Fahrradergometer wurde die aerobe Leistungsfähigkeit gemessen. Dabei wurden jeweils die absolute und die relative, körperrgewichtbezogene PWC 170 sowie die Leistung bei einer Blut-Laktatkonzentration von 4 mmol/l bestimmt. Aus der Körpergröße der leiblichen Eltern wurde die prospektive Endgröße errechnet und mit der aktuellen Körpergröße der Athleten ins Verhältnis gesetzt. Zusätzlich bearbeiteten alle Probanden eine deutsche Übersetzung der Pubertal Development Scale (PDS) zur Selbsteinschätzung der pubertären Entwicklung.

Ergebnisse: Die Daten von 136 Sportlern gingen in die Auswertung ein. Aufgrund des Studiendesigns und der Stichprobenauswahl lassen sich nach der statistischen Auswertung und dem Vergleich mit einer für Deutschland repräsentativen Referenzpopulation folgende Kernaussagen für männliche Leistungssportler im Alter von 11 bis 15 Jahren formulieren:

- (1) Die anthropometrischen Daten der Stichprobe zeigen eine große Spannweite (Körpergröße: 137 cm – 194 cm; Gewicht: 30,8 kg – 96,5 kg; Muskelmasse: 14,7 kg – 47,7 kg).
- (2) Die größte Heterogenität in Bezug auf die biologische Reife (von kindlich, präpubertär bis zur fast vollständigen Geschlechtsreife) findet sich bei den 13- und 14-Jährigen.
- (3) Bereits im Alter von 11 Jahren unterscheiden sich die Leistungssportler in Bezug auf den Körperfettgehalt (10. Perzentile) und die aerobe Leistungsfähigkeit (ca. 80. Perzentile) gravierend von der Referenzpopulation; Körpergröße, Gewicht, BMI entsprechen etwa der 50. altersentsprechenden Perzentile.
- (4) Der BMI ist nicht geeignet, Rückschlüsse auf den Körperfettgehalt zu ziehen. Damit sind für diese Zielgruppe BMI-basierte Definitionen von Fettleibigkeit oder Adipositas ungeeignet.
- (5) Der Vorbelastungslaktat steht in keinem Zusammenhang zu chronologischem Alter, biologischer Reife, Anthropometrie, Körperkomposition oder aerober Leistungsfähigkeit. Seine Bestimmung ist entbehrlich.
- (6) In den mittels multipler linearer Regression geprüften Modellen zur Vorhersage der absoluten Leistungsfähigkeit hatte die Skelettmuskelmasse den höchsten Anteil an der Varianzaufklärung.
- (7) In den mittels multipler linearer Regression geprüften Modellen zur Vorhersage der relativen Leistungsfähigkeit hatte der Körperfettanteil den höchsten Anteil an der Varianzaufklärung.
- (8) Die Laktatleistungsdiagnostik ist auch für diese Altersgruppe eine praktikable Methode. Die Interpretation muss aber individuell erfolgen und ist vor allem für das Monitoring der Leistungsentwicklung geeignet.

Schlussfolgerung:

Jugendliche Leistungssportler nur fünf verschiedener Jahrgänge unterscheiden sich gravierend in ihrer Anthropometrie, der Körperkomposition, der biologischen Reife und ihrer aeroben Leistungsfähigkeit. In der Altersgruppe der 13- und 14-Jährigen zeigt die biologische Reife die größte Heterogenität. Dies muss bei der Trainingsplanung und Talentselektion berücksichtigt werden, um einerseits Überlastungen zu vermeiden und andererseits das Training effizient zu gestalten und einzelne Athleten nicht zu unterfordern. Talentierte aber in ihrer Entwicklung retardierte Athleten sollten gefördert und ermutigt werden, geduldig weiter zu trainieren und die biologische Entwicklung abzuwarten. Auch wenn sie passager ihren eigenen Ansprüchen im Vergleich mit anderen nicht mehr genügen, um einen frühzeitigen Rückzug aus dem (Leistungs-)Sport zu verhindern. Insgesamt besteht

weiterhin großer Forschungsbedarf, um die Interaktionen zwischen Trainingseinfluss, Wachstum und biologischer Reife auf die körperliche Leistungsfähigkeit, besser zu verstehen. Dabei sollten sowohl Sportler als auch Nicht-Sportler beiderlei Geschlechts untersucht werden und sofern es die ökonomischen Ressourcen zulassen, die maximale Sauerstoffaufnahme mittels Spiroergometrie bestimmt werden.

7 Anhang

- A Anschreiben Eltern
- B Einwilligung
- C Gesundheitscheck
- D Untersuchungsprotokoll
- E Fragebogen: Pubertal Development Scale (PDS)
- F Arbeitsanweisung für Laktatbestimmung
- G Ergebnisbogen InBody 520
- H Beispiel für Laktatleistungskurve
- I Borg Skala
- J Bescheid der Ethikkommission

Anhang A

Einladung zur sportmedizinischen Leistungsdiagnostik!

Liebe Holsteiner-Fußballer, liebe Eltern!

Die Sportmedizin der Kieler Universität unter der Leitung von Prof. Dr. med. B. Weisser sucht für eine wissenschaftliche Untersuchung zum Thema

„Einfluss der pubertären Entwicklung auf die körperliche Leistungsfähigkeit“ männliche Probanden im Alter von 11 bis 15 Jahren. Holstein Kiel möchte diese Untersuchung als Kooperationspartner unterstützen. Zudem hat die KSV ein Interesse an den Ergebnissen.



Im Rahmen dieser Studie wird mit Hilfe einer speziellen Waage die Körperzusammensetzung also der jeweilige Anteil von Wasser, Muskulatur und Fett bestimmt und die Verteilung im Körper dargestellt. Der Computerausdruck wird mit den Jugendlichen besprochen und sie können ihm Anschluss an die Untersuchung direkt mit nach Hause nehmen. Außerdem wird die Leistungsfähigkeit der Probanden auf einem Fahrradergometer gemessen und eine individuelle Laktatleistungskurve erstellt. Dazu wird nach unterschiedlichen Belastungen jeweils eine kleine Menge Kapillarblut aus dem Ohrläppchen entnommen. Die Ergebnisse der Leistungsdiagnostik werden den Trainern zur Verfügung gestellt, so dass diese das Training individuell gestalten

können. Daher ist es sinnvoll, dass die Mannschaften möglichst komplett an der Untersuchung teilnehmen. Sowohl die Ergebnisse der Waage als auch der Leistungsdiagnostik stehen im Rahmen der stattfindenden Spielerbewertungen zur Verfügung und können dort eingesehen und besprochen werden. Die persönlichen Daten der Spieler werden in der Uni pseudonymisiert und ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet. Die Untersuchungen finden im Institut für Sportmedizin der CAU Kiel, Olshausenstraße 74 während der Osterferien statt und dauern ca. 40 min.

Die Termine werden über die Trainer und das NLZ vergeben. Für die Untersuchung bringen die Athleten bitte Sportkleidung, das schriftliche Einverständnis der Erziehungsberechtigten sowie den „Gesundheitscheck“ mit (siehe Anhang).

Für Fragen stehen wir Euch und Ihnen gerne telefonisch oder per Email zur Verfügung!

Für die Sportmedizin

Jutta Noffz

FÄ Kinderheilkunde und Jugendmedizin

Tel.: 0431/ 8803779 (Labor)

jnoffz@email.uni-kiel.de

Für die KSV Holstein

Michael Schwennicke

Koordinator U16-U12

Tel.: 0431/389024-205

schwennicke@holstein-kiel.de



Lizensiertes sportmedizinisches
Untersuchungszentrum



Anhang B**Einwilligungserklärung für die Teilnahme an der Studie
„Einfluss der pubertären Entwicklung auf die körperliche
Leistungsfähigkeit“**

Name, Vorname des Kindes: _____ Geburtsdatum: _____

- 1) Ich habe den Informationsbogen gelesen und verstanden.
- 2) Ich habe die Fragen im Gesundheitscheck nach bestem Wissen beantwortet.
- 3) Die Teilnahme setzt einen positiven Gesundheitscheck voraus.
- 4) Die Teilnahme erfolgt auf eigene Gefahr.
- 5) Die Abteilung Sportmedizin des Instituts für Sportwissenschaft an der Christian-Albrechts-Universität haftet nicht für eventuelle Unfälle und Schäden.
- 6) Mir ist bewusst, dass keine Probandenversicherung besteht.
- 7) Die erhobenen Daten werden pseudonymisiert und ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet.
- 8) Es werden keine Blutproben gelagert.
- 9) Ich kann die jetzt erteilte Einwilligung jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen.

Ort, Datum: _____

Unterschrift des Probanden: _____

Unterschrift der/des Erziehungsberechtigten (1): _____

Unterschrift der/des Erziehungsberechtigten (2): _____

Anhang C**Gesundheitscheck**

1. Leidet Ihr Kind an einer chronischen Erkrankung? o ja o nein
Wenn ja, an welcher? _____
2. Nimmt es regelmäßig Medikamente ein? o ja o nein
Wenn ja, welche? _____
3. War Ihr Kind in den letzten 14 Tagen akut krank? o ja o nein
4. Ist ihr Kind jemals wegen Schwindel gefallen oder hat es schon mal das
Bewusstsein verloren? o ja o nein
Wenn ja, wann und in welchem Zusammenhang? _____
5. Gibt es in der Familie Fälle von plötzlichem Herztod? o ja o nein
Wenn ja, wer und in welchem Alter? _____
6. Kennen Sie einen Grund, warum Ihr Kind sich nicht körperlich anstrengen sollte?
o ja o nein
Wenn ja, welchen? _____
7. Hat Ihr Kind einen Migrationshintergrund? o ja o nein
Wenn ja, welchen? _____
8. Bitte beantworten Sie uns abschließend noch folgende Fragen:
Größe der leiblichen Mutter: _____cm
Größe des leiblichen Vaters: _____cm

Danke für Ihre Mitarbeit!

Anhang E

Fragebogen für Teilnehmer der Studie:

Einfluss der pubertären Entwicklung auf die körperliche Leistungsfähigkeit

Lieber Teilnehmer,

danke, dass du dir die Zeit nimmst, die folgenden Fragen zu beantworten.

Bitte fülle den Fragebogen vollständig aus. Wenn du dir bei einer Frage nicht sicher bist, entscheide dich für die Antwort, die am ehesten zutrifft.

Alle Angaben werden selbstverständlich vertraulich behandelt!

Heutiges Datum: _____ Geburtsdatum: _____

Wie häufig kommst du während einer normalen Woche durch sportliche Aktivität (Schulsport, Freizeit, Verein...) ins Schwitzen?

- 0-2 mal/Woche
- 3-5 mal/Woche
- Fast täglich

In der Pubertät kommen Jungen in den Stimmenbruch. Die Stimme wird langsam tiefer. In der Übergangsphase ändert sich die Stimmlage manchmal ganz unerwartet. Hat sich deine Stimme schon verändert?

- Meine Stimme hat sich noch nicht verändert.
- Meine Stimme hat sich etwas verändert.
- Meine Stimme hat sich deutlich verändert.
- Ich habe den Stimmenbruch schon hinter mir, meine Stimme entspricht der eines erwachsenen Mannes.

Hat bei dir das Wachsen der Barthaare bereits begonnen?

- Hat noch nicht begonnen.
- Ja, ein paar Barthaare wachsen an vereinzelt Stellen.
- Ja, viele Barthaare wachsen an mehreren Stellen.
- Mir wächst ein richtiger Bart wie bei einem erwachsenen Mann.

In der Pubertät bekommt man Haare unter den Achseln und im Schambereich. Hat bei dir das Wachsen der Haare an den genannten Stellen schon begonnen?

- Hat noch nicht begonnen.
- Fängt langsam an.
- Hat auf jeden Fall schon angefangen.
- Meine Körperbehaarung entspricht schon der eines erwachsenen Mannes.

In der Pubertät bekommen viele Jugendliche unreine Haut und Pickel. Wie ist es bei dir?

- Das hat bei mir noch nicht begonnen.
- Es fängt langsam an.
- Hat auf jeden Fall schon angefangen
- Es ist schon fast überstanden.

Während der Pubertät kommt es zu einem besonders schnellen Wachstum der Körpergröße. Hast du diesen „Wachstumsschub“ bei dir schon bemerkt?

- Bisher noch nicht.
- Er fängt gerade an.
- Er hat auf alle Fälle schon angefangen.
- Ich habe den Wachstumsspur schon hinter mir.

Hattest du schon mal Muskelkater?

- Ja
- Nein

Wenn ja, wie alt warst du ungefähr bei deinen ersten Muskelkater?
_____Jahre.

Wie viel Zeit verbringst du an einem normalen Tag mit Fernsehen, am Computer, mit dem iPod oder anderen Medien-Spielzeugen?

- Weniger als 1 Stunde/Tag
- 1-3 Stunden/Tag
- Mehr als 3 Stunden/Tag

Vielen Dank für deine Mitarbeit!

Anhang F Arbeitsanweisung für Laktatbestimmung

Dr. Lange Küvetten-Test



Lactat

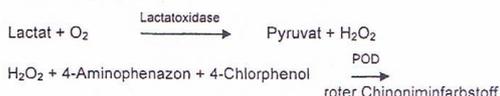
LKM 140

DR LANGE

LOX-PAP-Methode

Best.-Nr. LKM 140
40 Küvetten

Methode
LOX-PAP-Methode³⁾



Blut wird in der Pufferlösung sofort und vollständig hämolyisiert. Die Bestimmung des Lactatgehaltes im Blut erfolgt über ein Auswertverfahren, das im Photometer programmiert ist. Bei dieser Auswertung wird das Erythrocytenvolumen^{1,2)} der jeweiligen Probe berücksichtigt.

Wirksame Bestandteile

1. Pufferlösung (vorpipettiert in LKM 140)	Pipes-Puffer, pH 7,0: 20 mmol/l 4-Chlorphenol: 1,8 mmol/l Peroxidase: ≥ 100 U/l Natriumazid: $< 0,1$ % Detergenz: 0,2 %
2. Startreagenz (enthalten im Doppeverschluss)	4-Aminophenazon: 0,23 mmol/l Lactatoxidase: ≥ 450 U/l Peroxidase: ≥ 750 U/l

Gefahrstoffkennzeichnung

- Kein gefährliches Produkt im Sinne der EU-Richtlinie 67/548/EWG und Gefahrstoffverordnung.
- Bei dem Produkt handelt es sich im Sinne der EU-Richtlinien 67/548/EWG, 1999/45/EG und der Gefahrstoffverordnung um einen Gefahrstoff. Es ist als gesundheitsschädlich mit dem R-Satz 42/43 (Sensibilisierung durch Einatmen und Hautkontakt möglich) eingestuft.

Reagenzienvorbereitung und Haltbarkeit

Die Reagenzien sind gebrauchsfertig.
Die Reagenzien sind im Dunkeln aufbewahrt bei +2 °C bis +8 °C bis zu dem auf der Packung angegebenen Verfalldatum haltbar.
Das Startreagenz ist feuchtigkeitsempfindlich!
Bei Temperaturen unter 20 °C Küvette mit Startkappe auf Raumtemperatur bringen, bevor die Alufolie abgelöst wird, da sonst die Gefahr besteht, dass sich die Luftfeuchtigkeit auf das Pulver niederschlägt und eine unzureichende Lösung des Startreagenzes erfolgt.
Kontamination der Reagenzien muss unbedingt vermieden werden.

Probenmaterial

Blut (kapillär und venös), Plasma, Liquor
Zur Plasmagewinnung ca. 2 ml Blut mit 2 Tropfen Fluorid/EDTA (ca. 80 µl) mischen, innerhalb von 2 Stunden ca. 5 Minuten bei 3000 U/min zentrifugieren und überstehendes Plasma abtrennen.⁴⁾
Serum kann als Probenmaterial nicht eingesetzt werden.¹⁾
Stabilität des Lactats im abdekantierten Plasma bei +2 °C bis +8 °C: 24 Stunden¹⁾
Blut muss sofort in die Küvette LKM 140 pipettiert werden und kann dort bei Temperaturen unter 30 °C bis zu 2 Stunden, bei Temperaturen von +2 °C bis +8 °C 4 Stunden stehen bleiben. Bei Temperaturen über 30 °C muss der Lactatgehalt sofort bestimmt werden.
In der Sportmedizin (Trainingskontrolle) wird Kapillarblut mit 10 µl Einmalkapillaren aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen.

Bestimmungsansatz

Messwellenlängen: Miniphotometer 8/8 plus, LP 20,
LP 400/420 520 nm
Berechnungsformel einprogrammiert
Messtemperatur: +15 °C bis +37 °C
Messzeit: Automatische Regelung in Abhängigkeit von der Temperatur

Arbeitsgang

Einzelmessung (Miniphotometer 8 / LP 20)

In Küvetten-Test LKM 140 pipettieren:	
	Analyse
Probe	10 µl
Gut mischen.	

- ↪ Taste »Lac« bzw. »Mode« drücken
 - ↪ Küvette ins Photometer einsetzen und warten, bis die Registrierung angezeigt wird. Display: »01-1«
 - ↪ Küvette herausnehmen, Taste »Lac« bzw. »*« drücken - Zeitählung beginnt
 - ↪ Folie des Verschlusses abziehen, Kappe umdrehen und auf die Küvette schrauben
 - ↪ Mehrmalig kräftig mischen
 - ↪ Küvette ins Photometer einsetzen - Messung erfolgt nach ca. 3 Minuten
 - ↪ Ergebnis vom Display ablesen
- Bei sehr langsamem Reaktionsverlauf (Ursache z.B. Meßtemperatur unterhalb 20 °C) kann sich im Photometer die Meßzeit automatisch bis auf 12 Minuten verlängern.

Weitere Hinweise zur Serienmessung bitte den Bedienungsanleitungen entnehmen.

Leistungscharakteristik

Der Test ist zur Bestimmung von Lactat geeignet, der maximal einem Wert von 30 mmol/l (273 mg/dl) entspricht.
Typische Leistungsdaten sind im CE-Report DOC055.00.00140 zu finden. Erhältlich über E-Mail oder Papierform → Adresse Dr. Lange Berlin s.u.

Referenzwerte^{1,5,6,7)}

Plasma	1,06 - 1,89 mmol/l (9,6 - 17,1 mg/dl)
Blut	1,00 - 1,78 mmol/l (9,0 - 16,0 mg/dl)
Liquor, zentrifugiert	bis 2,8 mmol/l (bis 25,2 mg/dl)

Umrechnung in mg/dl: mmol/l x 9,01 = mg/dl

Hinweis

Die Pufferlösung (Küvette LKM 140) enthält als Konservierungsmittel Natriumazid (<0,1 %). Verschlucken, Berührung mit der Haut und Schleimhäuten vermeiden.

Qualitätskontrolle

Für die Qualitätskontrolle empfehlen wir das Lactat-Kontrollset LCQ 140. Die Standards müssen wie Blut oder Plasma zur Analyse eingesetzt werden.

Literatur

- Greiling H, Gressner AM. Lehrbuch der Klinischen Chemie und Pathobiochemie. Stuttgart: Schattauer, 1987:210-11
- Wandrup J, Trede K, Grinsted J, Jordening H. Clin Chem 1989; 35:1740-43
- Böning D, Clasing D, Weicker H. Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Stuttgart: Gustav Fischer, 1994
- Thomas L. Labor und Diagnose. 3rd rev. ed. Marburg: Die Medizinische Verlagsgesellschaft, 1988:249-56
- Laudahn G. Klin Wochenschr 1959; 37:850-58
- Henry RJ et al. Clinical Chemistry. 2nd rev. ed. New York: Harper & Row, 1974:1334
- Kleine TO, Baerlocher K, Niederer V, Keller H, Reutter F, Tritschler W, Bablok W. Die diagnostische Bedeutung der Laktatbestimmung im Liquor bei Meningitis. Dtsch Med Wschr 1979; 104:553



Hach Lange GmbH
Königsweg 10 • D-14163 Berlin • Germany
Telefon: +49 30 - 80986-0 • Telefax: +49 30 - 80986-270
www.drlangemed.de

Anhang G Ergebnisbogen InBody 520

Lookin' Body InBody Data Management System

InBody520 : 1 of 1

I.D. **[REDACTED]** (J010) ALTER 11,0Jahre Grösse 143,5cm Geschlecht männlich Datum 2012/08/26 15:10:19

biospace
biospace
biospace

Körperzusammensetzungsanalyse

Kompartimente	Werte	Gesamtkörperwasser	Weiche Magermasse	Fettfreie Masse	Gewicht	Normalbereich
Gesamtkörperwasser (l)	22,4	22,4	28,8	30,4	32,9	21,6 ~ 26,4
Proteine (l)	6,0					
Mineralien (kg)	1,97	In Lösung In Knochen: 1,60		2,01 ~ 2,45		
Körperfettmasse (kg)	2,5			4,6 ~ 9,3		

ICW = 13,9 / ECW = 8,5

Mineralien sind geschätzt

Ernährungsbewertung

Proteine	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Mangel	
Mineralien	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Mangel	
Fett	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Mangel	<input type="checkbox"/> Übermässig
Ödem	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Leichtes Ödem	<input type="checkbox"/> Ödem

Muskel-Fett Analyse

	Unter	Normal	Über	Einheit%	Normalbereich
Gewicht (kg)	55 70 85 100 115 130 145 160 175 190 205	32,9			32,7 ~ 44,3
Skelettmuskelmasse (kg)	70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170	16,1			15,5 ~ 18,9
Körperfettmasse (kg)	40 50 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480 500 520	2,5			4,6 ~ 9,3

Gewichtskontrolle

Gewicht	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Unter	<input type="checkbox"/> Über
Skelettmuskelmasse	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Unter	<input type="checkbox"/> Stark
Fett	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Unter	<input type="checkbox"/> Über

Adipositasdiagnose

	Unter	Normal	Über	Normalbereich
BMI (kg/m ²)	9,7 12,7 15,7 18,7 21,7 24,7 27,7 30,7 33,7 36,7 39,7	16,0		15,7 ~ 21,7
Prozent Körperfett (%)	0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50	7,6		10,0 ~ 20,0
Taille / Hüfte-Verhältnis	0,70 0,75 0,80 0,85 0,90 0,95 1,00 1,05 1,10 1,15 1,20	0,73		0,80 ~ 0,90

Adipositasdiagnose

BMI	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Unter	<input type="checkbox"/> Über	<input type="checkbox"/> Weit über
Prozent Körperfett	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Über	<input type="checkbox"/> Weit über	
Taille / Hüfte-Verhältnis	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Über	<input type="checkbox"/> Weit über	

Segmentale Analyse

	Unter	Normal	Über	Einheit%
Rechter Arm (kg)	55 70 85 100 115 130 145 160 175 190	1,33	125,8	
Linker Arm (kg)	55 70 85 100 115 130 145 160 175 190	1,38	130,8	
Rumpf (kg)	70 80 90 100 110 120 130 140 150 160	13,4	116,3	
Rechtes Bein (kg)	70 80 90 100 110 120 130 140 150 160	4,44	112,6	
Linkes Bein (kg)	70 80 90 100 110 120 130 140 150 160	4,42	112,1	

Ausgeglichenheit des Körperbaus

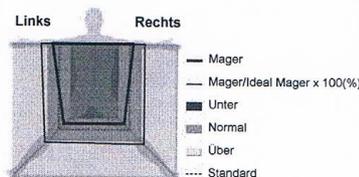
Ober	<input checked="" type="checkbox"/> Balanciert	<input type="checkbox"/> Leicht unbalanciert	<input type="checkbox"/> Sehr unbalanciert
Unter	<input checked="" type="checkbox"/> Balanciert	<input type="checkbox"/> Leicht unbalanciert	<input type="checkbox"/> Sehr unbalanciert
Ober-Unter	<input checked="" type="checkbox"/> Balanciert	<input type="checkbox"/> Leicht unbalanciert	<input type="checkbox"/> Sehr unbalanciert

- Adipositasgrad 85,4% (90~110)
- Körperzellmasse 19,9kg (19,3 ~ 23,5)
- Körpermineralmasse 1,60kg (1,65 ~ 2,01)
- Grundumsatz 1027kcal (1034~914)
- Armumfang 21,5cm
- Armmuskelfumfang 19,7cm

Gewichtskontrolle

Zielgewicht	38,5kg
Gewichtskontrolle	5,6kg
Fettkontrolle	3,3kg
Muskelkontrolle	2,3kg
Fitnessbewertung	74Punkte

Body Shape Grafik



Körperstärke

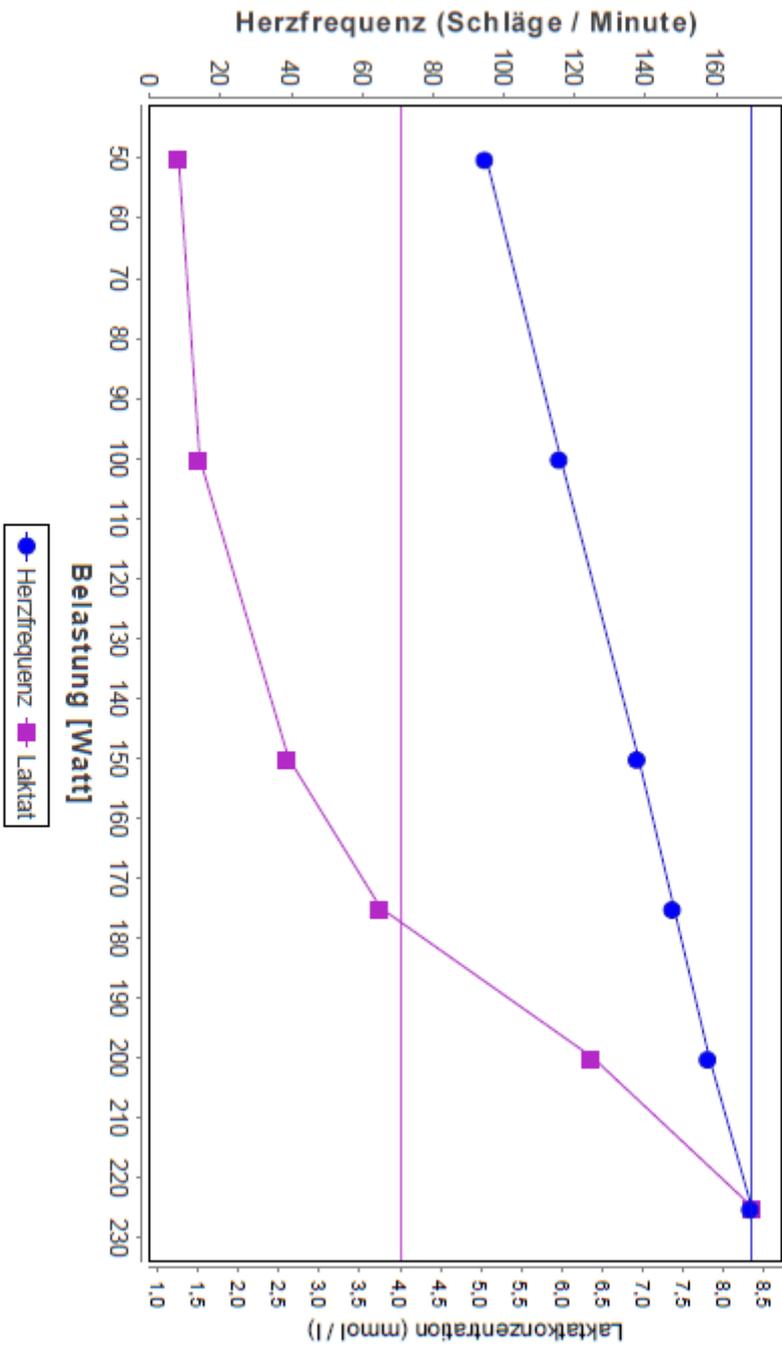
Ober	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Stark	<input type="checkbox"/> Schwach
Unter	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Stark	<input type="checkbox"/> Schwach
Muskel	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Muskulös	<input type="checkbox"/> Schwach

Anhang H Beispiel für Laktatleistungskurve

Olympiastützpunkt Hamburg-Kiel
Untersuchungszentrum Kiel:
Fahrradergometrie



Name: Mustermann, Max



Die 4-mmol/l Laktatschwelle wurde bei einer Herzfrequenz von 149 Schlägen/Minute erreicht.
Die PWC 170 liegt bei 4.0 Watt/kg Körpergewicht.

Anhang I Die Borg Skala

BORG SKALA

06	überhaupt keine Anstrengung
07	
08	extrem locker
09	
10	sehr locker
11	locker
12	
13	ein wenig anstrengend
14	
15	anstrengend
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	extrem anstrengend
20	maximale Anstrengung



Anhang J Bescheid der Ethik-Kommission

**MEDIZINISCHE FAKULTÄT
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL**

ETHIK-KOMMISSION



Universitäts-Kinderklinik · Schwanenweg 20 · 24105 Kiel

Prof. Dr. Burkhard Weisser
Jutta Noffz
Institut für Sportwissenschaft (ISW)
Abt. Sportmedizin
Olshausenstr. 74
24118 Kiel

Postadresse:
Arnold-Heller-Straße 3 / Haus 9
D-24105 Kiel

Telefon 04 31 / 597-18 09
Telefax 04 31 / 597-53 33

Datum: 6.8.2012

AZ - Kiel: D 433/12 (bitte stets angeben)
Projektplan: Einfluss der pubertären Entwicklung auf die körperliche Leistungsfähigkeit
Anschreiben mit Projektplan, Information für Eltern und Probanden, Einwilligungserklärung, Gesundheitscheck, Fragebogen zur Studie
Antragsteller: Prof. Dr. Burkhard Weisser, Jutta Noffz, Institut für Sportwissenschaft (ISW), Kiel
Datum des Antrages: 03.05.2012
Ihr Schreiben vom: 19.06.2012

Sehr geehrter Herr Kollege Weisser, sehr geehrte Frau Kollegin Noffz,
vielen Dank für Ihren obengenannten Antrag zur Beratung gemäß § 15 Berufsordnung (BO) der Ärztekammer Schleswig-Holstein. Nach Durchsicht der Unterlagen einschließlich Ihrer Stellungnahme vom 19.6.2012 durch die Geschäftsstelle, durch mich als Vorsitzenden sowie einen weiteren Gutachter bestehen gegen die Durchführung der Studie nunmehr keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken.

Es wird darauf hingewiesen, dass künftige Änderungen und Erweiterungen des Antrages der Ethik-Kommission anzuzeigen sind und gegebenenfalls eine erneute Beratung erforderlich machen.

Nach Abschluss der Studie erbittet die Kommission einen kurzen Bericht mit einem Hinweis, ob im Laufe der Studie ethische oder juristische Probleme aufgetreten sind.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen


Prof. Dr. med. H. M. Mehdorn
Vorsitzender der Ethik-Kommission


Dr. med. Christine Glinicke
Geschäftsführung der Ethik-Kommission

8 Literaturverzeichnis

- Abade EA, Gonçalves BV, Leite NM, Sampaio JE (2014) Time-motion and physiological profile of football training sessions performed by under-15, under-17 and under-19 elite Portuguese players. *Int J Sports Physiol Perform* 9:463–470.
- Armstrong N (2007) *Paediatric exercise physiology*. Churchill Livingstone, Edinburgh, New York.
- Armstrong N, Barker AR (2012) New insights in paediatric exercise metabolism. *Journal of Sport and Health Science* 1:18–26.
- Armstrong N, McManus AM (2011) Physiology of elite young male athletes. *Med Sport Sci* 56:1–22.
- Armstrong N, Tomkinson G, Ekelund U (2011) Aerobic fitness and its relationship to sport, exercise training and habitual physical activity during youth. *Br J Sports Med* 45:849–858.
- Armstrong N, Welsman JR (1994) Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev* 22:435–476.
- Armstrong N, Welsman JR (2001) Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol* 85:546–551.
- Armstrong N, Welsman JR (2007) Aerobic Fitness: What Are We Measuring? In: Tomkinson G, Olds T (eds) *Pediatric Fitness*. S. KARGER AG, Basel, pp 5–25.
- Bar-Or O (1983) *Pediatric sports medicine for the practitioner: From physiologic principles to clinical applications*. Springer, New York.
- Bar-Or O (2000) New and old in pediatric exercise physiology. *Int J Sports Med* 21 Suppl 2:S113-6; discussion S117.
- Bender R, Lange S, Ziegler A (2007) Wichtige Signifikanztests. *Dtsch. Med. Wochenschr.* 132 Suppl 1:e24-5.
- Beneke R, Hebestreit H (2002) *Kinder- und Jugendsportmedizin: Grundlagen, Praxis, Trainingstherapie; 41 Tabellen*. Thieme, Stuttgart [u.a.].
- Beneke R, Leithauser RM, Ochentel O (2011) Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int J Sports Physiol Perform* 6:8–24.
- Beneke R (2014) Laktat und Trainingssteuerung bei Kindern und Jugendlichen. *Monatsschr Kinderheilkd* 162:228–235.
- 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
- Bidaurrazaga-Letona I, Carvalho HM, Lekue JA, Santos-Concejero J, Figueiredo AJ, Gil SM (2015) Longitudinal field test assessment in a basque soccer youth academy: a multilevel modeling framework to partition effects of maturation. *Int J Sports Med* 36:234–240.
- Bielicki T, Koniarek J, Malina RM (1984) Interrelationships among certain measures of growth and maturation rate in boys during adolescence. *Ann Hum Biol* 11:201–210.
- Boileau RA, Bonen A, Heyward VH, Massey BH (1977) Maximal aerobic capacity on the treadmill and bicycle ergometer of boys 11-14 years of age. *J Sports Med Phys Fitness* 17:153–162.
- Bond L, Clements J, Bertalli N, Evans-Whipp T, McMorris BJ, Patton GC, Toumbourou JW, Catalano RF (2006) A comparison of self-reported puberty using the Pubertal Development Scale and the Sexual Maturation Scale in a school-based epidemiologic survey. *J Adolesc* 29:709–720.
- Borg G (2004) Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt* 101:1116–1121.

- Bortz J, Bortz-Döring, Döring N (2009) *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler; mit 87 Tabellen*, 4th edn. Springer-Medizin-Verl., Heidelberg.
- Bös K, Oberger J, Worth A, Opper E, Romahn N, Woll A, Wagner M (2008) *Motorik-Modul (MoMo): Normwerte zur motorischen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland*. *haltung und bewegung* 28:24–49.
- Bös K (2009) *Motorik-Modul: Eine Studie zur motorischen Leistungsfähigkeit und körperlich-sportlichen Aktivität von Kindern und Jugendlichen in Deutschland; Abschlussbericht zum Forschungsprojekt*, 1st edn. Nomos, Baden-Baden.
- Braden DS, Carroll JF (1999) Normative cardiovascular responses to exercise in children. *Pediatr Cardiol* 20:4-10; discussion 11.
- Bühner M, Ziegler M (2008) *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Pearson, München.
- Buyken AE, Karaolis-Danckert N, Remer T (2009) Association of prepubertal body composition in healthy girls and boys with the timing of early and late pubertal markers. *Am. J. Clin. Nutr.* 89:221–230.
- Carling C, Le Gall F, Reilly T, Williams AM (2009) Do anthropometric and fitness characteristics vary according to birth date distribution in elite youth academy soccer players? *Scand J Med Sci Sports* 19:3–9.
- Carskadon MA, Acebo C (1993) A self-administered rating scale for pubertal development. *Journal of Adolescent Health* 14:190–195.
- Choukair D, Bettendorf M (2013) Hormonelle Steuerung des Größenwachstums. *Gynäkologische Endokrinologie* 11:19–24.
- Cleary J, Daniells S, Okely AD, Batterham M, Nicholls J (2008) Predictive validity of four bioelectrical impedance equations in determining percent fat mass in overweight and obese children. *J Am Diet Assoc* 108:136–139.
- Coelho E Silva, M J, Figueiredo AJ, Simões F, Seabra A, Natal A, Vaeyens R, Philippaerts R, Cumming SP, Malina RM (2010) Discrimination of u-14 soccer players by level and position. *Int J Sports Med* 31:790–796.
- Cole TJ (2003) The secular trend in human physical growth: a biological view. *Econ Hum Biol* 1:161–168.
- Coleman L, Coleman J (2002) The measurement of puberty: a review. *Journal of Adolescence* 25:535–550.
- Currie C (2008) *Inequalities in young people's health: HBSC international report from the 2005/2006 Survey*. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- Dalton, William T 3rd, Wang L, Southerland JL, Schetzina KE, Slawson DL (2014) Self-reported versus actual weight and height data contribute to different weight misperception classifications. *South Med J* 107:348–355.
- De Ste Croix M, Deighan M, Armstrong N (2003) Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. *Sports Med* 33:727–743.
- Dickhuth H, Badtke G (eds) (2010) *Sportmedizin für Ärzte: Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP) ; mit 109 Tabellen*, 2nd edn. Dt. Ärzte-Verl, Köln.
- Dörr C (2000) *Untersuchung der Validität verschiedener Laktatschwellenkonzepte an Ausdauersportlern.: Dissertation*. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Duke SA, Balzer, Ben W R, Steinbeck KS (2014) Testosterone and Its Effects on Human Male Adolescent Mood and Behavior: A Systematic Review. *J Adolesc Health* 55:315–322.
- Eisenhut A, Zintl F (2013) *Ausdauertraining: Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung*, 8th edn. BLV Buchverl., München.

- Eisenkolbl J, Kartasurya M, Widhalm K (2001) Underestimation of percentage fat mass measured by bioelectrical impedance analysis compared to dual energy X-ray absorptiometry method in obese children. *Eur J Clin Nutr* 55:423–429.
- Elias CF (2012) Leptin action in pubertal development: recent advances and unanswered questions. *Trends Endocrinol. Metab.* 23:9–15.
- Espana Romero V, Ruiz JR, Ortega FB, Artero EG, Vicente-Rodriguez G, Moreno LA, Castillo MJ, Gutierrez A (2009) Body fat measurement in elite sport climbers: comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry. *J Sports Sci* 27:469–477.
- Euling SY, Herman-Giddens ME, Lee PA, Selevan SG, Juul A, Sørensen, Thorkild I A, Dunkel L, Himes JH, Teilmann G, Swan SH (2008) Examination of US puberty-timing data from 1940 to 1994 for secular trends: panel findings. *Pediatrics* 121 Suppl 3:S172-91.
- Faude O, Kindermann W, Meyer T (2009) Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med* 39:469–490.
- Finger JD, Gößwald A, Härtel S, Müters S, Krug S, Hölling H, Kuhnert R, Bös K (2013) Messung der kardiorespiratorischen Fitness in der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 56:885–893.
- Finne E, Bucksch J, Lampert T, Kolip P (2011) Age, puberty, body dissatisfaction, and physical activity decline in adolescents. Results of the German Health Interview and Examination Survey (KiGGS). *Int J Behav Nutr Phys Act* 8:119.
- Flanagan SD, Dunn-Lewis C, Hatfield DL et al. (2014) Developmental differences between boys and girls results in sex-specific physical fitness changes from fourth to fifth grade. *J Strength Cond Res*.
- Förster H, Windhaber J, Schober P (2009) Ergometrie im Kindes- und Jugendalter. *Sportmed Präventivmed* 39:7–13.
- Fragoso I, Massuca LM, Ferreira J (2015) Effect of birth month on physical fitness of soccer players (Under-15) according to biological maturity. *Int J Sports Med* 36:16–21.
- Fusch C (2005) Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung. In: Wabitsch M, Wabitsch-Hebebrand-Kiess-Zwiauher . (eds) *Adipositas bei Kindern und Jugendlichen: Grundlagen und Klinik ; mit 40 Tabellen. Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung.* Springer, Berlin [u.a.].
- Gastin PB, Bennett G, Cook J (2013) Biological maturity influences running performance in junior Australian football. *J Sci Med Sport* 16:140–145.
- Gastin PB, Bennett G (2014) Late maturers at a performance disadvantage to their more mature peers in junior Australian football. *J Sports Sci* 32:563–571.
- Georgopoulos NA, Roupas ND, Theodoropoulou A, Tsekouras A, Vagenakis AG, Markou KB (2010) The influence of intensive physical training on growth and pubertal development in athletes. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1205:39–44.
- Gohlke B, Woelfle J (2009) Growth and puberty in German children: is there still a positive secular trend? *Dtsch Arztebl Int* 106:377–382.
- Goran MI, Gower BA, Treuth M, Nagy TR (1998) Prediction of intra-abdominal and subcutaneous abdominal adipose tissue in healthy pre-pubertal children. *Int J Obes Relat Metab Disord* 22:549–558.
- Gore CJ, Booth ML, Bauman A, Owen N (1999) Utility of pwc75% as an estimate of aerobic power in epidemiological and population-based studies. *Med Sci Sports Exerc* 31:348–351.
- Graf C, Höher J (2009) *Fachlexikon Sportmedizin: Bewegung, Fitness und Ernährung von A - Z.* Deutscher Ärzte-Verlag.

- Graf C, Predel HG (2010) Ergometrie beim Sportler. In: Löllgen H, Erdmann E, Gitt AK (eds) Ergometrie. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 231–242.
- Grosser M, Starischka S, Zimmermann E (2012) Das neue Konditionstraining: Grundlagen, Methoden, Leistungssteuerung, Übungen, Trainingsprogramme, 11th edn. BLV, München.
- Gutin B, Litaker B, Islam S, Manos T., Smith C., Treiber F. (1999) Body-composition measurement in 9-11-y-old children by dual-energy X-ray absorptiometry, skinfold-thickness measurements, and bioimpedance analysis. *Am J Clin Nutr*:287–292.
- Hebestreit H Ergometrie in der Pädiatrie. In: Löllgen, Erdmann et al. 2010 – Ergometrie, pp 313–328.
- Hebestreit H (2004) Exercise testing in children — What works, what doesn't, and where to go? *Paediatric Respiratory Reviews* 5:S11.
- Hermanussen M (2013) Auxology: Studying human growth and development : with 89 tables/ Michael Hermanussen (ed.). With contributions by 56 internationally reputed experts. Schweizerbart Science Publ, Stuttgart.
- Hibberd EE, Hackney AC, Lane AR, Myers JB (2014) Assessing biological maturity: chronological age and the pubertal development scale predict free testosterone in adolescent males. *J. Pediatr. Endocrinol. Metab.*
- Hills AP, Byrne NM (2010) An overview of physical growth and maturation. *Med Sport Sci* 55:1–13.
- Hiort O (2002) Androgens and puberty. *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* 16:31–41.
- Hiort O, Danne T, Wabitsch M (2010) Pädiatrische Endokrinologie und Diabetologie. Springer Berlin Heidelberg.
- Hirsig R (2001) Statistische Methoden in den Sozialwissenschaften: Eine Einführung im Hinblick auf computergestützte Datenanalysen mit SPSS für Windows, 3rd edn. Seismo Verlag, Zürich.
- Hoffmann GF, Lentze MJ, Spranger P, Zepp F (2014) Pädiatrie: Grundlagen und Praxis, 4th edn. Springer Berlin, Berlin.
- Höhne A (2013) Pubertätsstatus vs. chronologisches Alter: Einfluss auf die Körperkomposition und die körperliche Leistungsfähigkeit von 11- bis 16-jährigen männlichen Leistungssportlern. Unveröffentlichte Masterarbeit im Ein-Fach-Studiengang Sportwissenschaft, Kiel.
- Hollmann W, Hettinger T (2000) Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin ; mit 101 Tabellen, 4th edn. Schattauer, Stuttgart [u.a.].
- Hollmann W, Strüder HK, Predel H, Tagarakis C (2006) Spiroergometrie: Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken. Schattauer, Stuttgart.
- Horch K, Atzpodi K (eds) (2007) Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Schleswig-Holstein. Robert Koch-Inst, Berlin.
- Huijgen BC, Elferink-Gemser MT, Post W, Visscher C (2010) Development of dribbling in talented youth soccer players aged 12-19 years: a longitudinal study. *J Sports Sci* 28:689–698.
- Jüttner V (2010) Vorhersagegenauigkeit der radiologischen Endgrößenbestimmung bei Jugendlichen: Dissertation der Medizinischen Fakultät der Universität Regensburg.
- Kahl H, Schaffrath Rosario A, Schlaud M (2007) Sexuelle Reifung von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. Ergebnisse des Kinder- und Jugendgesundheits surveys (KiGGS). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50:677–685.
- Keller H (2006) Motorische Entwicklung im Kindes- und Jugendalter. *Z Allg Med* 82:456–466.
- Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL (2012) Physiology of sport and exercise, 5th edn. Human Kinetics, Champaign, IL.

- Kluge N (1998) Sexualverhalten Jugendlicher heute: Ergebnisse einer repräsentativen Jugend- und Elternstudie über Verhalten und Einstellungen zur Sexualität. Juventa Verlag, Weinheim.
- Koletzko B (2012) Kinder- und Jugendmedizin, 14th edn. Springer, Berlin.
- Kromeyer-Hauschild K, Wabitsch M (2001) Perzentile für den Body-Mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben. *Monatsschr Kinderheilkd* 149:807–818.
- Kuckartz U, Rädiker S, Ebert T, Schehl J (2013) Statistik: Eine verständliche Einführung, 2nd edn. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, s.l.
- Kurth B, Schaffrath Rosario A (2010) Overweight and obesity in children and adolescents in Germany. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 53:643–652.
- Le Gall F, Carling C, Williams M, Reilly T (2010a) Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *J Sci Med Sport* 13:90–95.
- Le Gall F, Carling C, Williams M, Reilly T (2010b) Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *J Sci Med Sport* 13:90–95.
- Lee Y, Styne D (2013) Influences on the onset and tempo of puberty in human beings and implications for adolescent psychological development. *Horm Behav* 64:250–261.
- Leidenberger FA, Strowitzki T, Ortman O (eds) (2014) *Klinische Endokrinologie für Frauenärzte*, 5th edn. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Lim JS, Hwang JS, Lee JA, Kim DH, Park KD, Jeong JS, Cheon GJ (2009) Cross-calibration of multi-frequency bioelectrical impedance analysis with eight-point tactile electrodes and dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in healthy children aged 6-18 years. *Pediatr Int* 51:263–268.
- Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, Myer GD, De Ste Croix, Mark B A (2014) Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *J Strength Cond Res* 28:1454–1464.
- Löllgen H, Erdmann E, Gitt AK (eds) (2010) *Ergometrie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Mader A, Heck H (1986) A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold". *Int J Sports Med* 7 Suppl 1:45–65.
- Maitrayee P, Schöggel P, Viszeli J, Widhalm K (2011) Body Composition: DEXA- Dual Röntgen Absorptiometrie. *Journal für Ernährungsmedizin*:32–34.
- Malina RM, Baxter-Jones, Adam D G, Armstrong N, Beunen GP, Caine D, Daly RM, Lewis RD, Rogol AD, Russell K (2013) Role of intensive training in the growth and maturation of artistic gymnasts. *Sports Med* 43:783–802.
- Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O (2004) *Growth, maturation, and physical activity*, 2nd edn. Human Kinetics, Champaign, Ill.
- Malina RM, Peña Reyes, Maria Eugenia, Figueiredo AJ, Coelho E Silva, Manuel J, Horta L, Miller R, Chamorro M, Serratos L, Morate F (2010) Skeletal age in youth soccer players: implication for age verification. *Clin J Sport Med* 20:469–474.
- Marées Hd, Heck H (2006) *Sportphysiologie*, 9th edn. Sportverl. Strauß, Köln.
- Massin MM (2014) The role of exercise testing in pediatric cardiology. *Arch Cardiovasc Dis* 107:319–327.
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL (2010) *Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance*, 7th edn. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health, Philadelphia.

- Meyer T, Coen B, Urhausen A, Wilking P, Kindermann W (2005) Konditionelles Profil jugendlicher Fußballspieler. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 56:20–25.
- Moore SA, Moore M, Klentrou P, Sullivan P, Falk B (2010) Maturity status in male child and adolescent athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 50:486–493.
- Mota J, Guerra S, Leandro C, Pinto A, Ribeiro JC, Duarte JA (2002) Association of maturation, sex, and body fat in cardiorespiratory fitness. *Am J Hum Biol* 14:707–712.
- Neuhauser H (ed) (2013) Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KIGGS): Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes, 2nd edn, Berlin.
- Ong KK, Ahmed ML, Dunger DB (2006) Lessons from large population studies on timing and tempo of puberty (secular trends and relation to body size): the European trend. *Mol. Cell. Endocrinol.* 254-255:8–12.
- Paridon SM, Alpert BS, Boas SR et al. (2006) Clinical stress testing in the pediatric age group: a statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. *Circulation* 113:1905–1920.
- Petersen AC, Crockett L, Richards M, Boxer A (1988) A self-report measure of pubertal status: Reliability, validity, and initial norms. *J Youth Adolesc* 17:117–133.
- Pfizinger P, Freedson PS (1997) Blood lactate response to exercise in children.: Part 1, peak lactate concentration. *Pediatric Exercise Science*:210–222.
- Pfizinger P, Freedson PS (1998) The reliability of lactate measurements during exercise. *Int J Sports Med* 19:349–357.
- Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, van Renterghem B, Matthys D, Craen R, Bourgeois J, Vrijens J, Beunen G, Malina RM (2006) The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci* 24:221–230.
- Plachta-Danielczik S, Gehrke MI, Kehden B, Kromeyer-Hauschild K, Grillenberger M, Willhöft C, Bösy-Westphal A, Müller MJ (2012) Body fat percentiles for German children and adolescents. *Obes Facts* 5:77–90.
- Plank LD (2005) Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 8:305–309.
- Raschka C (2006) Sportanthropologie: Leitfaden der modernen, vergleichenden Sportanthropologie, Sportanthropometrie und trainingsrelevanten Konstitutionsbiologie, 1st edn. Sportverl. Strauß, Köln.
- Reilly T, Williams AM, Nevill A, Franks A (2000) A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *J Sports Sci* 18:695–702.
- Reisinger W (2006) Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter, 3rd edn. Thieme, Stuttgart, New York.
- Robert Koch Institut (ed) (2013) Referenzperzentilen für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KIGGS): Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes, 2nd edn.
- Robinson S (1938) Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Int Z Angew Physiol*:251–323.
- Röcker K, Prettin S, Pottgiesser T, Schumacher YO, Dickhuth HH (2010) Metabolische Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung in der Sportmedizin. *Sportmed Präventivmed* 40:6–12.
- Rogol AD, Clark PA, Roemmich JN (2000) Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity. *Am J Clin Nutr* 72:521S–8S.
- Rogol AD, Roemmich JN, Clark PA (2002) Growth at puberty. *Journal of Adolescent Health* 31:192–200.

- Rolland-Cachera MF (1993) Body composition during adolescence: methods, limitations and determinants. *Horm Res* 39 Suppl 3:25–40.
- Rosario AS, Schienkiewitz A, Neuhauser H (2011) German height references for children aged 0 to under 18 years compared to WHO and CDC growth charts. *Ann Hum Biol* 38:121–130.
- Rost R (1998) Leistungsfähigkeit und Trainierbarkeit des Herz-Kreislaufsystems im Kindes- und Jugendalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 146:702–711.
- Rowland TW (2005) *Children's exercise physiology*, 2nd edn. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Sandhu J, Ben-Shlomo Y, Cole TJ, Holly J, Davey Smith G (2006) The impact of childhood body mass index on timing of puberty, adult stature and obesity: a follow-up study based on adolescent anthropometry recorded at Christ's Hospital (1936-1964). *Int J Obes (Lond)* 30:14–22.
- Schmelzle HR, Fusch C (2002) Validation of neonatal skinfold thickness using dual-energy x-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr*:1096–1100.
- Schmidt W (2003) *Erster Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht*. Hofmann, Schorndorf.
- Schoffl I, Schoffl V, Dotsch J, Dorr HG, Jungert J (2011) Correlations between high level sport-climbing and the development of adolescents. *Pediatr Exerc Sci* 23:477–486.
- Sedlmeier P, Renkewitz F (2013) *Forschungsmethoden und Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*, 2nd edn. Pearson Studium ein Imprint von Pearson Deutschland, München.
- Serinelli S, Panetta V, Pasqualetti P, Marchetti D (2011) Accuracy of three age determination X-ray methods on the left hand-wrist: a systematic review and meta-analysis. *Leg Med (Tokyo)* 13:120–133.
- Shephard RJ (1982) *Physical activity and growth*. Year Book Medical Publishers, London.
- Shirtcliff EA, Dahl RE, Pollak SD (2009) Pubertal development: correspondence between hormonal and physical development. *Child Dev* 80:327–337.
- Silva AM, Fields DA, Sardinha LB (2013) A PRISMA-driven systematic review of predictive equations for assessing fat and fat-free mass in healthy children and adolescents using multicomponent molecular models as the reference method. *J Obes* 2013:148696.
- Stewart A, Marfwell Jones M, Olds T, Ridder H (2011) *International Standards for anthropometric assesment*. ISAK Lower Hutt, New Zealand.
- Stewart A, Sutton L (2012) *Body composition in sport, exercise, and health*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.
- Talma H, Chinapaw, M J M, Bakker B, HiraSing RA, Terwee CB, Altenburg TM (2013) Bioelectrical impedance analysis to estimate body composition in children and adolescents: a systematic review and evidence appraisal of validity, responsiveness, reliability and measurement error. *Obes Rev* 14:895–905.
- Tanner JM (1962) *Wachstum und Reifung des Menschen*. Thieme, Stuttgart.
- Thomis M, Claessens AL, Lefevre J, Philippaerts R, Beunen GP, Malina RM (2005) Adolescent growth spurts in female gymnasts. *The Journal of Pediatrics* 146:239–244.
- Tolson KP, Chappell PE (2012) The Changes They are A-Timed: Metabolism, Endogenous Clocks, and the Timing of Puberty. *Front Endocrinol (Lausanne)* 3:45.
- Tomczak J (2003) Körperanalysen: Die bioelektrische Impedanzanalyse BIA. *F.I.T. Wissenschaftsmagazin der Deutschen Sporthochschule Köln* 8:34–40.
- Valente-Dos-Santos J, Coelho-E-Silva MJ, Vaz V, Figueiredo AJ, Capranica L, Sherar LB, Elferink-Gemser MT, Malina RM (2014) Maturity-associated variation in change of direction and dribbling speed in early pubertal years and 5-year developmental changes in young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 54:307–316.

- Vandendriessche JB, Vaeyens R, Vandorpe B, Lenoir M, Lefevre J, Philippaerts RM (2012) Biological maturation, morphology, fitness, and motor coordination as part of a selection strategy in the search for international youth soccer players (age 15-16 years). *J Sports Sci* 30:1695–1703.
- Wagner M, Worth A, Schlenker L, Bös K (2010) Motorische Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter. *Monatsschr Kinderheilkd* 158:432–440.
- Wahl P, Bloch W, Mester J (2009) Moderne Betrachtungsweise des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie* 57:100–107.
- Wasserman K (1986) The anaerobic threshold: definition, physiological significance and identification. *Adv Cardiol* 35:1–23.
- Watzlawik M (2009) Die Erfassung des Pubertätsstatus anhand der Pubertal Development Scale. *Diagnostica* 55:55–65.
- Wechsler JG (2003a) *Adipositas: Ursachen und Therapie ; mit 97 Tabellen*. Blackwell-Verlag.
- Wechsler JG (ed) (2003b) *Adipositas: Ursachen und Therapie ; mit 97 Tabellen: Definition, Klassifikation und Messung der Adipositas*. Blackwell-Verlag.
- Winter R, Stier, Bernhard J. M (eds) (2011) *Jungen und Gesundheit: Ein interdisziplinäres Handbuch für Medizin, Psychologie und Pädagogik*. Kohlhammer, Stuttgart.

9 Danksagung

Ein besonderes Dankeschön geht an meinen Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Burkhard Weisser, der das gesamte Promotionsvorhaben immer positiv und konstruktiv begleitet hat und mir die Möglichkeit gegeben hat, ganz neue berufliche Wege zu gehen.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei allen Athleten und ihren Eltern bedanken, die sich trotz der vielfältigen Belastungen durch den Leistungssport die Zeit genommen haben, in die sportmedizinische Abteilung der Kieler Universität zu kommen, um an der Studie teilzunehmen. Ohne deren Engagement wäre die Untersuchung nicht möglich gewesen. In diesem Zusammenhang möchte ich mich besonders bei Michael Schwennicke, Koordinator im Nachwuchsleistungszentrum der KSV Holstein und Gerd Adamski, dem damaligen Geschäftsführer des Handballverbandes Schleswig-Holstein, für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Rekrutierung von Probanden und der Abstimmung von Untersuchungsterminen bedanken.

Bei den Mitarbeitern der Abteilung Sportmedizin an der CAU und den Sportstudierenden, die die Untersuchungen begleitet haben, bedanke ich mich herzlich für die verlässliche und harmonische Zusammenarbeit. Insbesondere bedanke ich mich bei Frau Dr. phil. Claudia Hacke für die Unterstützung bei allen statistischen Problemen sowie bei Herrn Dr. phil. Jan-Peter Brückner für die Durchsicht der Arbeit und die konstruktive Kritik.

Stellvertretend für meine Familie, die mich bei allen großen und kleinen Projekten immer kompromisslos unterstützt, geht ein ganz besonderer Dank an meine Kinder Bjarne Hach und Mathis Hach, die immer für Probedurchläufe und als Fotomodell zur Verfügung standen und mir täglich vor Augen führen, was Reife, Wachstum und Entwicklung in der Praxis bedeuten.

10 Lebenslauf

Name: Jutta Noffz
Geburtsdatum: 01.12.1968
Geburtsort: Bremen
Familienstand: verheiratet mit Dipl. Ing. Ralf Hach, 2 Kinder

1988 Allgemeine Hochschulreife, Schulzentrum Blumenthal/Bremen

Hochschulstudium:

WS 1988/89 Beginn des Medizinstudiums an der CAU Kiel

WS 1991/92 Studium von Medizin und Gesundheitswissenschaft an der
Rijksuniversiteit Limburg, Maastricht, NL

Aug. bis Dez. 1994 Pädiatrie PJ am Royal Cornwall Hospital, Truro, GB

November 1995 3. Staatsexamen Medizin an der CAU Kiel

Berufliche Tätigkeit:

01.06.96 – 24.03.05 Klinik für Kinder- und Jugendmedizin am FEK Neumünster

01.04.05 – 31.01.11 Mitarbeit in der kinderärztlichen Praxis von Frau Dr. med. I. Quoß in
Bordesholm

seit 01.01.2008 Notdienste in der kinderärztlichen Anlaufpraxis in Neumünster

seit 01.02.2011 Wissenschaftliche Mitarbeiterin (50%) an der CAU,
Institut für Sportwissenschaft, Abteilung Sportmedizin
Erstellen der vorliegenden Promotion

Mutterschutz/Elternzeit:

30.08.99 – 31.01.01

11.07.01 – 30.09.02

Weiterbildung:

November 2005 Anerkennung als Fachärztin für Kinder- und Jugendmedizin

Publikationen:

2012 Posterpräsentation, Kongress Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention:
Impfstatus jugendlicher Leistungssportler in Schleswig-Holstein

2014 Posterpräsentation, Kongress Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention:
Der Einfluss von Wachstum und Reife auf die aerobe Leistungsfähigkeit männlicher
Leistungssportler

2014 Posterpräsentation, 19th Annual Congress, European College of Sport Science:
Aerobic fitness in male elite athletes aged 11 – 16 years: The influence of age, maturation
parameters, and body composition