



Titel der Magisterarbeit:

Die Trainierbarkeit der aeroben und anaeroben Ausdauer bei Kindern
und Jugendlichen

von

Marielouise Nitsch

zur Erlangung des Mag. rer. nat. der Sportwissenschaften

Wien, Februar 2010

Matrikelnummer 0153213

066826 Magisterstudium der Sportwissenschaften

Betreuer: Ass. Prof. Dr. med. Gerhard Smekal

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract.....	5
2	Einleitung	6
3	Motorische Beanspruchungsformen und Altersstufen.....	7
3.1	Spätes Schulkindalter.....	7
3.1.1	Ausdauer.....	7
3.1.2	Kraft	8
3.1.3	Schnelligkeit.....	9
3.1.4	Flexibilität	9
3.1.5	Koordination	10
3.2	Pubeszenz	11
3.2.1	Ausdauer.....	11
3.2.2	Kraft	12
3.2.3	Schnelligkeit.....	12
3.2.4	Flexibilität	13
3.2.5	Koordination	13
3.3	Adoleszenz	14
3.3.1	Ausdauer.....	14
3.3.2	Kraft	15
3.3.3	Schnelligkeit.....	16
3.3.4	Flexibilität	16
3.3.5	Koordination	16
4	Das Atmungssystem	17
4.1	Vitalkapazität.....	17
4.2	Atemminutenvolumen (Ventilation).....	19

4.3	Atemäquivalent	20
4.3.1	Ventilatory Anaerobic Threshold	21
4.4	Atemparameter während körperlicher Belastung.....	22
5	Herz – Kreislauffunktion	34
5.1	Kardiovaskuläres System	34
5.2	Herzfrequenz.....	35
5.3	Schlagvolumen.....	36
5.4	Herzminutenvolumen	37
5.5	Herzvolumen	37
5.6	Die Veränderung kardialer Parameter während körperlicher Belastung.....	37
6	Aerobe Leistungsfähigkeit	55
6.1	Absolute Sauerstoffaufnahme	55
6.2	Relative Sauerstoffaufnahme	56
6.3	VO _{2max} als Maß der aeroben Leistungsfähigkeit	58
6.4	Veränderung der VO _{2max} durch aerobes Ausdauertraining.....	62
7	Anaerobe Leistungsfähigkeit	70
7.1	Metabolismus	70
7.1.1	Muskelenergetik	72
7.2	Untersuchungen zur anaeroben Leistungsfähigkeit	78
7.3	Trainierbarkeit der anaeroben Ausdauer	94
8	Resümee.....	102
9	Literatur	104
10	Abbildungsverzeichnis.....	109
11	Tabellenverzeichnis.....	112
12	Glossar.....	115

13	Erklärung.....	117
14	Lebenslauf.....	118

1 Abstract

This work focuses on the physical exercise capacity and performance of children and adolescents from a physiological point of view. Children have other physiological requirements than adults because of their smaller body size and body mass. The investigations relate to draw upon parameters such as cardiovascular and respiratory system and metabolism, to infer a comparison between children and adults and even between girls and boys can too. The key question is: How does a child's body, which is in the stadium of development, respond to aerobic and anaerobic stress?

Children and young people are often treated as "miniature adults" which does not correspond to their physiology. The latter is dynamic, because not every child is growing fast and just does not have the same strength, speed or endurance. The nature of the child is always referred to various training as long perennial Training is often too boring. Excessive training is also not in the nature of young people since the formation of high lactate levels in adulthood is possible. This point is at issue, since the performance of children can be improved quite well through training and children visiting regular training may well have adaptation phenomena.

During the recent work actual studies are focused. The main attention is given to findings in endurance exercise. It examines show how the child / youthful body reacts to aerobic and anaerobic stress with different extents and intensities, which physiological effects regular aerobic or anaerobic endurance exercise and how they develop compared to adults. The structure of this work begins with a general introduction to the various stages of development from child to adult. It will be discussed, the physical strain at different ages. The main part of this work is divided into four chapters. The first section responds to the differences in respiratory parameters, such as respiratory minute volume and vital capacity. The cardiovascular parameters as well as the gender or age differences are then contemplated. The two chapters of the main part concentrate on the aerobic and anaerobic capacity in the development, as oxygen uptake and lactate production. Finally a conclusion of the obtained knowledge is summarized in relation to the research question of the thesis.

2 Einleitung

Diese Arbeit beleuchtet die körperliche Belastungsfähigkeit und Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen von einem physiologischen Standpunkt aus. Kinder haben aufgrund ihrer geringeren Körpergröße und Körpermasse andere physiologische Voraussetzungen als ein ausgewachsener Mensch. Die Recherchen beziehen sich auf Parameter wie Herzkreislaufsystem und Atmung sowie den Metabolismus um daraus einen Vergleich zwischen Kindern und Erwachsenen bzw. auch zwischen Mädchen und Jungen ziehen zu können. Die Schlüsselfrage ist: Wie reagiert ein kindlicher Körper, der sich im Entwicklungsstadium befindet, auf aerobe und auch anaerobe Belastungen?

Oft werden Kinder und Jugendliche wie „Miniaturerwachsene“ belastet, was ihrer Physiologie nicht entspricht. Diese ist dynamisch, denn nicht jedes Kind wächst gleich schnell und hat auch nicht die gleiche Kraft, Schnelligkeit oder Ausdauer. Die Natur des Kindes ist sich immer unterschiedlich zu Belasten, in der Trainingswissenschaft auch Fahrten Spiel genannt, da ihm langes, ausdauerndes Training oft zu langweilig ist. Zu intensives Training liegt ebenfalls nicht in der Natur junger Menschen, da die Bildung hoher Laktatwerte erst im Erwachsenenalter möglich ist. Dieser Punkt steht zur Debatte, da sich die Leistungsfähigkeit der Kinder sehr wohl durch Training gut verbessern lässt und Kinder, die regelmäßigem Training nachgehen in dieser Beziehung sehr wohl Anpassungserscheinungen aufweisen.

Im Verlauf der Arbeit liegen aktuelle Studien in den Mittelpunkt. Das Hauptaugenmerk wird auf Untersuchungsergebnisse bei Ausdauerbelastungen gerichtet. Es wird untersucht wie der kindliche / jugendliche Körper auf aerobe und anaerobe Belastungen mit unterschiedlichen Umfängen und Intensitäten reagiert, welche physiologischen Auswirkungen regelmäßige aerobe oder anaerobe Ausdauerbelastungen haben und wie sie sich im Vergleich zu Erwachsenen verhalten.

Der Aufbau dieser Arbeit beginnt mit einer allgemeinen Einführung zu den verschiedenen Entwicklungsstufen vom Kind zum Erwachsenen. Es sollen die motorischen Beanspruchungsformen in verschiedenen Altersstufen diskutiert werden. Der Hauptteil der Arbeit gliedert sich in vier Kapitel. Im ersten Abschnitt wird auf die Unterschiede in den Atemparametern wie Atemminutenvolumen und Vitalkapazität eingegangen. Die Herzkreislaufparameter als auch die Geschlechts bzw. Altersunterschiede werden anschließend betrachtet. Die zwei Kapitel des Hauptteils konzentrieren sich auf aerobe und anaerobe Kapazitäten in der Entwicklung, welche Sauerstoffaufnahme und Laktatproduktion beinhaltet. Im abschließenden Fazit werden die gewonnen Erkenntnisse im Bezug zur Forschungsfrage dieser Diplomarbeit zusammengefasst.

3 Motorische Beanspruchungsformen und Altersstufen

„Die Ausdauerfähigkeit eines Kindes oder eines Jugendlichen entspricht relativ gesehen den Werten eines Erwachsenen, da die Herzgröße und maximale Sauerstoffaufnahme ebenso anpassungsfähig sind. Die absolute Ausdauerleistungsfähigkeit nimmt im Kindesalter ständig zu, wobei die relative im Laufe der Zeitspanne etwa gleich bleibt im Bezug zum Körper und Organwachstum. Nimmt man die maximale Sauerstoffaufnahme bei trainierten Kindern, so erreichen diese bereits Werte um 60ml/kg, was sich von Erwachsenen Werten nicht unterscheidet.“ (Weineck 2002; S.367)

Der folgenden Abschnitt geht auf die Besonderheiten der Entwicklung der motorischen Grundbeanspruchungsformen (Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Flexibilität, Koordination) im Schulkindalter bis hin zu Adoleszenz ein. Die Trainingsbelastungen sollten sich den altersphysiologischen Trainingsbedingungen anpassen. Die sensiblen Phasen müssen berücksichtigt werden um Überbelastungen und – beanspruchungen zu vermeiden.

3.1 Spätes Schulkindalter

Das späte Schulkindalter beginnt mit dem Alter von zehn Jahren und reicht bis zum Eintritt in die Pubertät. Diese beginnt bei Mädchen ca. mit elf / zwölf Jahren, bei Jungen etwas später mit zwölf / dreizehn Jahren:

3.1.1 Ausdauer

Im Vordergrund dieses Lebensabschnitts sollte die Ausbildung der allgemeinen Grundlagenausdauer stehen, da die Trainierbarkeit der aeroben Ausdauer recht gut ist und noch nicht ihr Maximum erreicht hat. Es kommt zu einer kontinuierlichen Abnahme der Herzfrequenz aufgrund des Längenwachstums und einer Zunahme des Herzschlagvolumens, sowie der maximalen Sauerstoffaufnahme. Weineck (2002, S368) zitiert Studien von Robinson die beweisen, dass Kinder im Alter von fünf bis zwölf Jahren bei Beginn einer Maximalbelastung schon in der ersten halben Minute 41 – 55 % der maximalen Sauerstoffaufnahme erreichen, während die Werte bei Erwachsenen bei 29 – 35 % liegen. Ausdauerbelastungen mit mittlerer Intensität führen in diesem Altersbereich zu einer Kapazitätserweiterung des aeroben Stoffwechsels mit gleichzeitiger Verbesserung der anaeroben Komponente. Ein anaerobes Training sollte jedoch überwacht und nicht allzu häufig vorkommen, da der Körper des Kindes mit Stoffwechselprodukten wie Laktat, die durch Training entstehen, schlechter umgeht als es Erwachsene können. Die anaerobe Schwelle liegt bei Kindern und Heranwachsenden etwas höher als bei Erwachsenen.

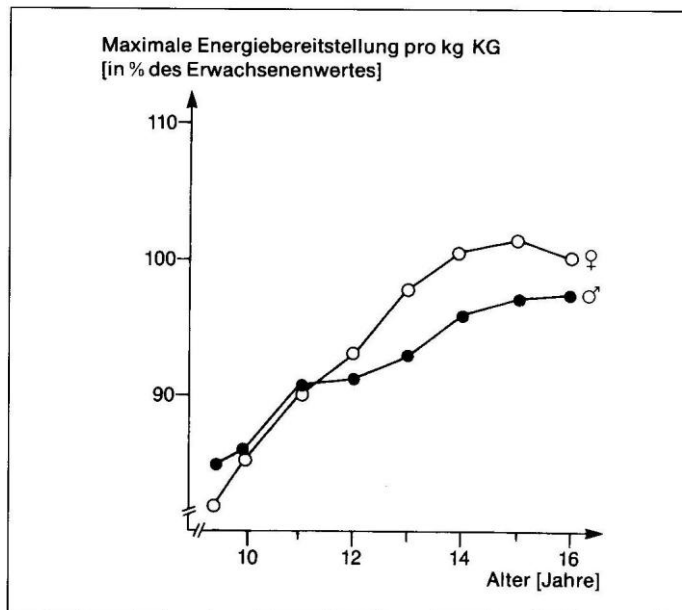


Abbildung 1 - Entwicklung anaerober Energiebereitstellung (Weineck, 2002, S368)

3.1.2 Kraft

Krafttraining fängt schon im Kleinkindalter an und kann mit richtiger Dosierung auch in diesem Alter durchgeführt werden. Wichtig dabei ist es die Belastbarkeit des passiven Bewegungsapparates zu berücksichtigen. Dieser ist im Schulkindalter sehr elastisch aber noch nicht sehr druck- und biegefest. Vor allem muss man den Bereich der Wirbelsäule und die Wachstumsfugen beachten, denn aufgrund auftretender Scherkräfte kann es zu Knorpelverletzungen kommen. Bis zum Alter von zehn Jahren gibt es kaum einen Geschlechterunterschied. Die Muskelkraft in dem Alter liegt im Vergleich zu Männern (25 Jahre) bei 40%. Kinder haben prozentuell einen Anteil von ca. 27% Muskelmasse vom Gesamtkörpergewicht (Schweizer/ Zahner, 3/1993, 18).

Kraft ist abhängig vom Lebensalter und der damit verbundenen Entwicklung. Eine tragende Rolle spielen die Last – Kraft Verhältnisse und Hebel die mit der Körpergröße, dem Längenwachstum und der Körperoberfläche auch abhängig vom Geschlecht sind. Laut de Marées (2003,497) verläuft die Entwicklung der Kraft bis zum zehnten Lebensjahr bei Jungen und Mädchen gleich, wobei Mädchen ca. 10% niedrigere Druckkraftwerte aufweisen. Allerdings sind die Werte in diesem Alter schon 60% der Entwicklungsmöglichkeit bei Mädchen, wo hingegen bei Jungen in diesem Alter erst 40% erreicht sind.

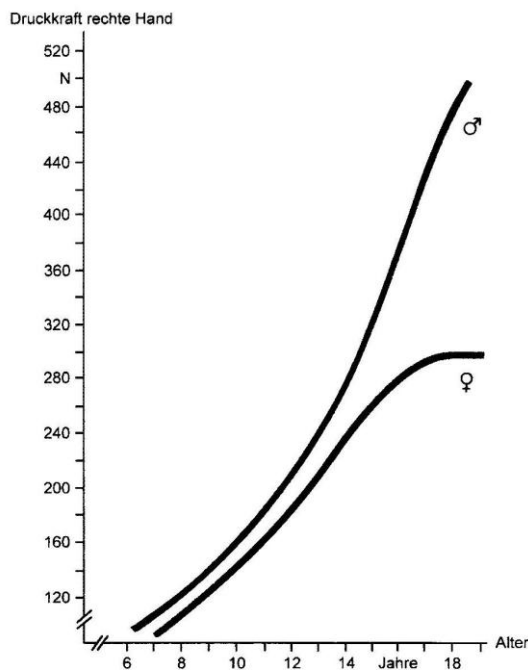


Abbildung 2 - Abhängigkeit der Druckkraft der rechten Hand vom Lebensalter (nach Smedley aus de Marèes 2003,498)

3.1.3 Schnelligkeit

Schnelligkeitstraining sollte in diesem Alter vor allem auf die Reaktionsgeschwindigkeit, das Beschleunigungsvermögen und die Schnellkoordination fokussiert sein. Aufgrund der kürzeren Latenz und Reaktionszeit bietet sich diese Art des Trainings an, auch wenn über die Bewegungsfrequenz unterschiedliche Meinungen existieren. Bei Untersuchungen von Lehmann (1993 in Weineck 1994, 471) zeigten sich zwischen dem sechsten bis neunten und zehnten bis zwölften Lebensjahr keine Verbesserungen in der zyklischen und azyklischen Schnelligkeit obwohl die Laufgeschwindigkeit als komplexe Leistung angestiegen ist. Hollmann (1990, 301) sieht im Alter von acht bis elf Jahren optimale Möglichkeiten zur Ausbildung der Bewegungsfrequenz. Ein weiterer Zuwachs in den folgenden Entwicklungsjahren liegt hauptsächlich an einem Kraftanstieg und der Verbesserung der Koordination. Schnellkraftausdauertraining ist in dieser Alterststufe noch nicht zu empfehlen da die anaerobe Leistungsfähigkeit noch nicht ausgereift ist.

3.1.4 Flexibilität

„Die Beweglichkeit ist die einzige motorische Hauptbeanspruchungsform, die bereits im späten Schulkindalter ihren Maximalwert erreicht, um dann wieder abzunehmen.“ (Hollmann / Hettinger 1980, 599)

Die Beweglichkeit nimmt im späten Schulkindalter nur mehr in bestimmten Gelenksbereichen zu und nur unter den Voraussetzungen wenn diese regelmäßig trainiert werden. Da in vielen

Sportarten schon in diesem Alter mit Leistungs- bzw. Hochleistungssport begonnen wird, ist es sinnvoll nur spezifische Dehnungsübungen auszuführen, ohne die wachstumsbedingte Belastbarkeit zu überschreiten. Übungen mit unphysiologischen Gelenksstellungen meint Weineck (1994, 531), sind zu vermeiden und durch andere zu ersetzen.

3.1.5 Koordination

Im späten Schulkindalter kommt es zum Abschluss der motorischen Hirnreife weshalb es in dieser Phase den steilsten Zuwachsraten der Koordination, vor allem im Bereich der muskulären Differenzierungsfähigkeit der Reaktions- Gleichgewichts, - und Rhythmisierungsfähigkeit, kommt. Eine wesentliche Rolle spielen auch die günstigen Kraft – Last Verhältnisse, die dem Erwachsenenkörper ähneln. (Weineck 2004, 829) Die Wahl der Trainingsinhalte und Methoden sollte im Bereich der Koordination des Trainings forciert werden. Die vielseitige Erweiterung des Bewegungsschatzes und das Erlernen sportlicher Grundtechniken sollten im Vordergrund stehen. Je nach Vorerfahrung und Art der Beanspruchung der Muskelgruppen wird das koordinative Optimum mit unterschiedlichem Alter erreicht. Die Trainingsbelastbarkeit geht hier bis zum Einsetzen eines Ermüdungszustandes. (Hollmann/ Hettinger 1990, 599)

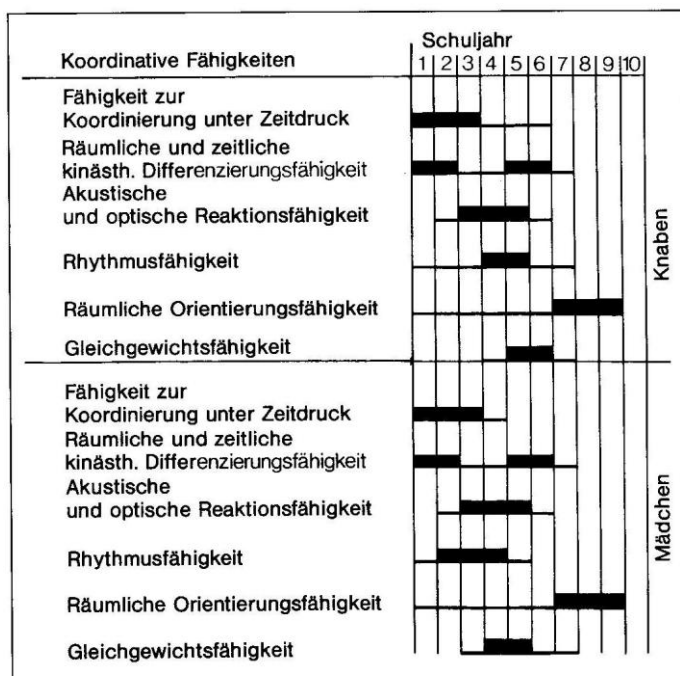


Abbildung 3 koordinative Fähigkeiten im Sportunterricht der Klassen 1 - 10 (Weineck 1994, 381)

3.2 Pubeszenz

Die Pubeszenz schließt an das späte Schulkindalter an. Daraus ergeben sich geschlechterspezifische Unterschiede. Bei Mädchen erstreckt sich diese Phase von elf bis vierzehn Jahren. Bei Jungen analog zum Unterschied im Schulkindalter etwa mit zwölf bis fünfzehn Jahren.

3.2.1 Ausdauer

Die höchste Trainierbarkeit der Ausdauer liegt in den Phasen des beschleunigten Wachstums. In der Pubertät kommt es zu großen organischen Veränderungen (Herzwachstum, Längenveränderung) weshalb der Zeitpunkt günstig und die Anpassungsfähigkeit des Körpers am Größten ist. Die Entwicklung der Ausdauer hat vor allem zum Zeitpunkt des puberalen Längenwachstumsschubs aufgrund eines günstigen Herz- Körpergewichtverhältnisses ihren optimalen Trainingszeitraum (Weineck 2004, 359). Es beginnt die Zunahme der anaeroben Leistungsfähigkeit aufgrund der verbesserten Sauerstoffaufnahme. Mädchen erreichen ihre besten Werte mit 14 Jahren. (Bar-Or 1986, 4)

Ab der ersten pubertären Phase kommt es zu einer höheren Belastungsfähigkeit, bzw. -verträglichkeit da die Herz und Lungengröße in dieser Altersstufe ihre maximale Steigerungsrate haben. Weiters kommt es zu den ersten Leistungsunterschieden die sich zugunsten der Jungen auswirkt. Mädchen erreichen zwischen zehn und zwölf Jahren ihre maximale relative aerobe Kapazität im Vergleich zu Jungen, die diese erst zwischen Zwölf und Vierzehn entwickeln.

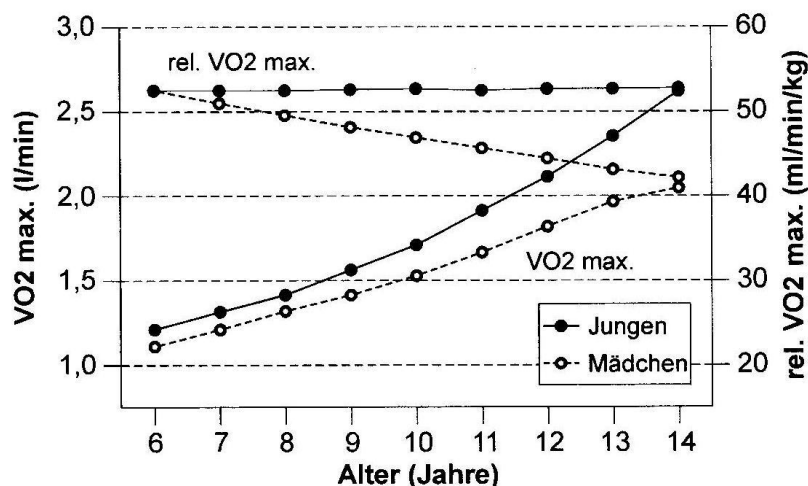


Abbildung 4 Durchschnittswerte der maximalen und relativen Sauerstoffaufnahme bei Mädchen und Jungen (Rowland 1990 nach Martin 1999, 129)

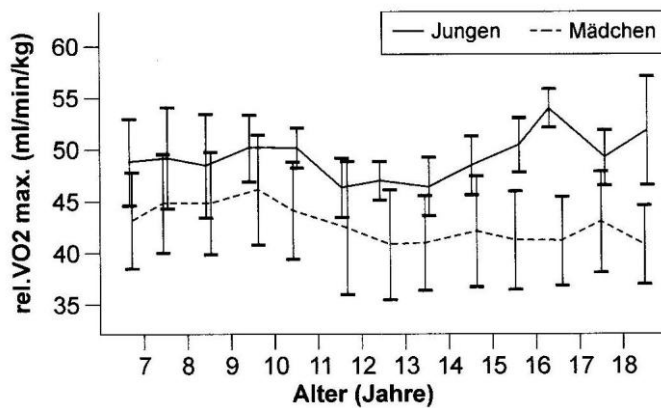


Abbildung 5 relative maximale Sauerstoffaufnahme(ml/kg/min) bei Mädchen und Jungen zwischen 6 und 18 Jahren (Klemmt1988, nach Martin 1999, 129)

3.2.2 Kraft

In der puberalen Phase kommt es zum ersten Längenwachstum weshalb sich die Körperproportionen eher ungünstig verändern. Die Hebelverhältnisse werden in ihrer Relation zum Leistungspotenzial der Muskulatur immer schlechter. Aufgrund hormoneller Veränderungen und damit verbundener morphologischer und funktioneller Veränderungen wird die mechanische Belastbarkeit herabgesetzt und das Risiko einer Fehlbelastung bzw. einseitiger Dauerbelastung steigt. Das Sexualhormon Testosteron verbessert die Trainierbarkeit der Kraft ins Positive. Die Muskelmasse steigt bei Mädchen auf ca. 36% und bei Jungen auf 42% an. (Weineck 2004, 601)

3.2.3 Schnelligkeit

Die Latenz.- und Reaktionswerte erreichen ihre Maximalwerte bis zum Ende der Pubeszenz, das heißt sie kommen an die Erwachsenenwerte heran. Die Bewegungsfrequenz ist in diesem Alter ausgereift und hat ihr Maximum zwischen 13 – 15 Jahren. (Weineck 1994, 472). Mädchen erfahren mit 14 Jahren ihre maximale Grundschnelligkeit, die bei Erwachsenen weiblichen Personen um 10 – 15% niedriger liegen als bei Männern. Die Geschwindigkeitszunahme ist bedingt durch die Verbesserung der Schnellkraft und der statischen Kraft, welche durch die Hormonausschüttung bewirkt wird. Vor allem bei Jungen lassen sich durch den Testosteronanstieg Maximalkraft, Schnellkraft und anaerobe Kapazität durch gezieltes Training deutlich verbessern (Hollmann/ Hettinger 1990, 302).

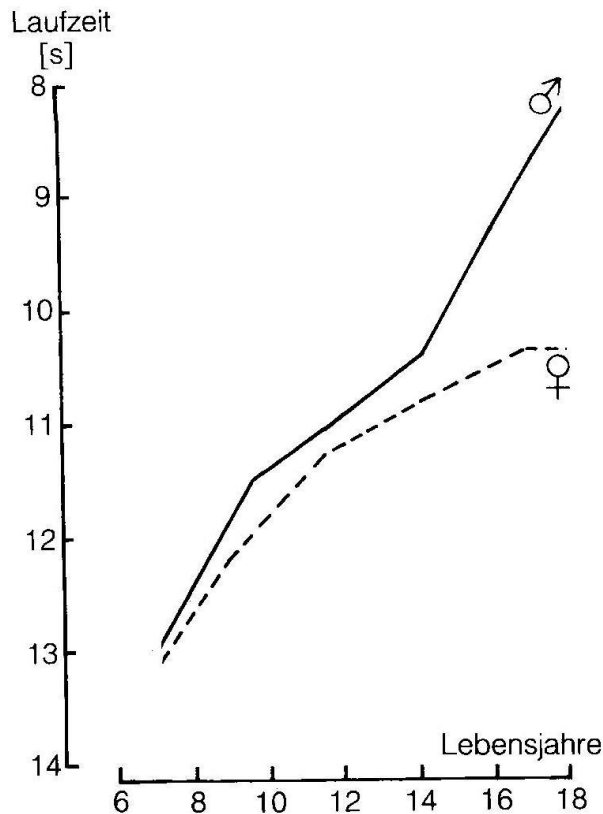


Abbildung 6 60m Laufzeiten in verschiedenen Altersstufen (Crasselt 1972 in Weineck 1994, 471)

3.2.4 Flexibilität

Der jährliche Körperlängenzuwachs kann bis zu acht Zentimeter betragen. Durch Hormonelle Einflüsse kommt es zu einer Verminderung der mechanischen Widerstandsfähigkeit des passiven Bewegungsapparats. Die Dehnfähigkeit der Muskeln und Sehnen hinkt dem Längenwachstum hinterher weshalb die Trainingsinhalte und Belastungen sorgfältig ausgewählt sein sollten. Zum Zeitpunkt des Wachstumsschubes ist die Belastbarkeit des Wachstumsknorpels und der Wirbelkörper vermindert. Aus diesem Grund sollten Torsions- und Biegebelastungen vermieden werden. (Weineck 2007, 788)

3.2.5 Koordination

Bedingt durch die Proportionsentwicklung kommt es zu Störungen, Stagnationen und Leistungsminderung der koordinativen Fähigkeiten. Das bedeutet das neu erlernen einer Bewegung schreitet nicht so schnell voran wie gewöhnlich. Bereits gefestigte Bewegungen bleiben allerdings erhalten und sind davon kaum betroffen. (Weineck2007, 828)

3.3 Adoleszenz

Die Adoleszenz bei Mädchen beginnt mit 13 und endet ca. mit 17 Jahren. Bei Jungen ist der Start mit ca. 14 und das Ende mit ca. 19 Jahren.

3.3.1 Ausdauer

In der Adoleszenz ist die Trainierbarkeit der Ausdauer sehr gut. Man kann die anaeroben Bereiche gut mit trainieren, da die hormonellen und enzymatischen Veränderungen zu einer besseren Laktatutilisation geführt haben. Jungen erreichen in dieser Lebensphase ihre maximale Sauerstoffaufnahme.

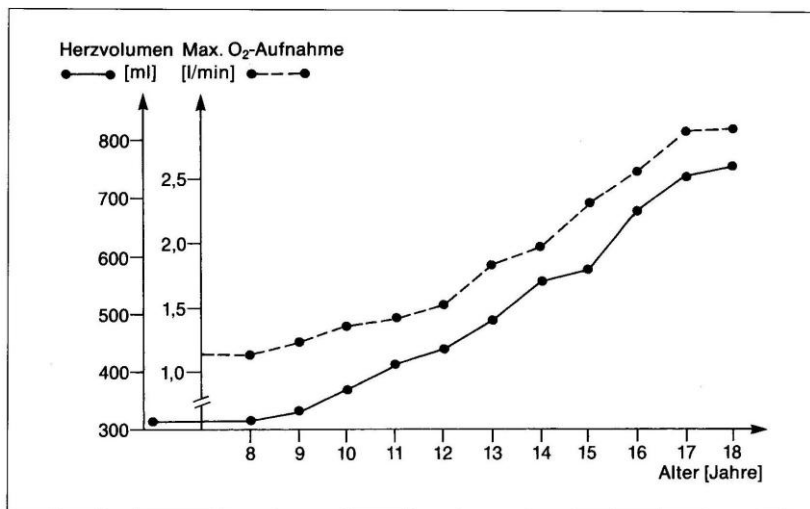


Abbildung 7 Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Laufe des Kindes und Jugendalters (korrelierende Parameter Herzvolumen und Max Sauerstoffaufnahme) (Hollmann / Bouchard 1970 nach Weineck 1994, 366)

„Trotz vereinzelter altersbedingter Besonderheiten zeigen Kinder und Jugendliche beim Ausdauertraining prinzipiell die gleichen Anpassungserscheinungen wie Erwachsene, wobei sich nicht nur die morphologischen, kardiopulmonalen Leistungsgrößen steigern, sondern sich auch physiologische Parameter, wie z.B. die „anaerobe“ Schwelle, entsprechend verändern.“ (Weineck 2007, S. 345)

Ausdauertraining kann bereits ab einem dem dritten Lebensjahr bei kindgerechter Ausführung durchgeführt werden, ohne den Körper zu überlasten. Ab dem frühen Schulkindalter kommt es zu einer Zunahme des Herzschlagvolumens mit gleichzeitiger Abnahme der Ruheherzfrequenz. Auffallend ist, dass das Herz-Kreislauf- System von Kindern und Jugendlichen genauso reagiert wie das eines Erwachsenen und somit eine positive Veränderung bei regelmäßigem aerobem Ausdauertraining zu erwarten ist. Die Absolute Ausdauerfähigkeit, welche durch Sauerstoffaufnahme und Herzgröße bestimmt wird, nimmt im Entwicklungsalter ständig zu. Beobachtet man aber die relative

Ausdauerleistungsfähigkeit, so fällt auf, dass dieser relativ gleich bleibt im Entwicklungsverlauf.

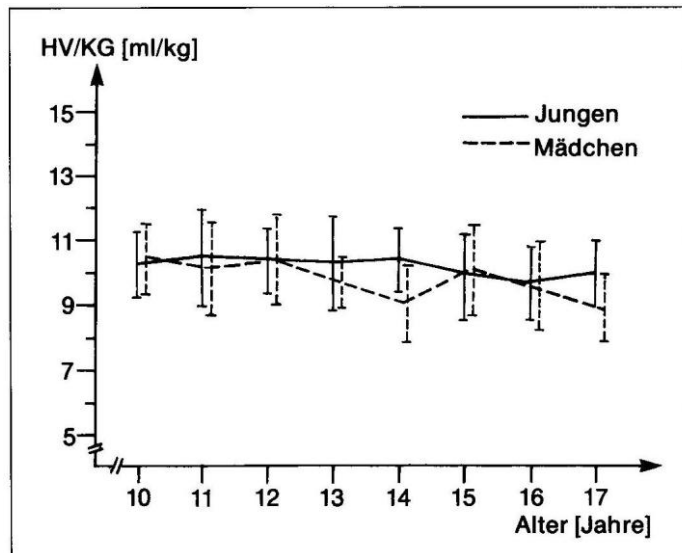


Abbildung 8 Verhalten des relativen Herzvolumens (pro kg Körpergewicht) bei Jungen und Mädchen (nach Hollman /Hettinger 1980, nach Weineck 1994, 367).

Langjährig trainierte Kinder und Jugendliche können ihre Toleranz bezüglich Laktat sehr gut steigern und ähnliche Blutlaktatwerte erreichen wie Erwachsene. Allerdings zeigen Untersuchungen von Lehmann et. al (aus Weineck 2002, 269), dass anaerobe Belastungen bei Kindern zu einem mehr als zehnfach erhöhtem Katecholaminspiegel führen. Hierbei stoßen Kinder an die Grenzen ihrer physiologischen Belastbarkeit, da die Erholungsfähigkeit beim Kind gegenüber dem Erwachsenen verringert ist.

Das Leistungsmaß der aeroben Ausdauer wird im Wesentlichen durch die maximale Sauerstoffaufnahme definiert, die auch bei trainierten Kindern höher ist als bei Untrainierten. Eine Fahrradergometrie im submaximalen Bereich bei sechs Jährigen Kindern hat ergeben, dass sie ohne weiteres bis zu 20 Minuten bei einer Belastung von einem Watt/kg Körpergewicht fahren können. (Klimt 2002, S.145f) Kindergarten und Vorschulkinder sind bei entsprechender Motivation schon zu beträchtlichen aeroben Ausdauerleistungen fähig, da das Herzkreislauf und Atmungssystem sowie der aerobe Energiestoffwechsel solche Belastungen gut toleriert.

3.3.2 Kraft

Aufgrund der Verbesserung der Körperproportionen und des Testosterons lassen sich in der Adoleszenz die höchsten Kraftzuwachsrate erzielen. Knaben erreichen ihr Kraftmaximum

zwischen dem 15 – 25. Lebensjahr, Mädchen zwischen dem 14 – 18. Lebensjahr. Aufgrund der zunehmenden Stabilisierung der Körperproportionen können die Belastungen und Trainingsmethoden aus dem Erwachsenentraining weitgehend übernommen werden. (Weineck 2007, 605)

3.3.3 Schnelligkeit

Eine uneingeschränkte Schulung konditioneller und koordinativer Aspekte des Schnelligkeitstrainings ist durchführbar. Die Trainingsinhalte und Trainingsmethoden unterscheiden sich kaum noch vom Erwachsenentraining. Stein (1993, nach Weineck 2007, 719) ist allerdings der Ansicht, dass in der Adoleszenz Hochleistungstrainingsmittel noch nicht verwendet werden sollten.

3.3.4 Flexibilität

Mit dem abgeschlossenen Längenwachstum der Pubeszenz kommt es in diesem Lebensabschnitt zum Breitenwachstum und somit zu einer Reharmonisierung der Körperproportionen. Da Mädchen in der körperlichen Entwicklung etwas voraus sind, schließen sich bei Ihnen schon die Wachstumsfugen, was die Beanspruchbarkeit des passiven Bewegungsapparates hinaufsetzt. Bei den Jungen verlangsamen sich alle Wachstumsparameter und es kommt zu einem schleichenden Übergang zum Erwachsenen. Die Zunehmende psychophysische Belastbarkeit ermöglicht ein Training das sich nur quantitativ noch vom Erwachsenentraining unterscheidet. (Weineck 2007, 789)

3.3.5 Koordination

Durch die Stabilisierung des psychophysischen Zustands kommt es zu einer Verbesserung der Bewegungsführung. Grund dafür sind die Verbesserung der motorischen Steuerungs-, Anpassungs-, Umstellungs- und Kombinationsfähigkeit. Ob männliche oder weibliche Athleten koordinativ leistungsfähiger sind ist ein umstrittener Punkt, da dies von der Versuchsanordnung abhängig ist. Ist die koordinative Leistung von Kraftkomponenten abhängig, sind Männer leistungstärker, bei feinmotorischen Handlungen sind Frauen führend. (Hollmann / Hettinger 1990, 153)

4 Das Atmungssystem

Um Gase mit der Umgebung auszutauschen, braucht der Körper ein Atmungssystem, auch genannt respiratorisches System. Den Gasaustausch in der Lunge bezeichnet man als äußere Atmung. Die innere Atmung ist ein Prozess, der in den Körperzellen stattfindet. Hier wird der Sauerstoff verbraucht und in ATP umgewandelt.

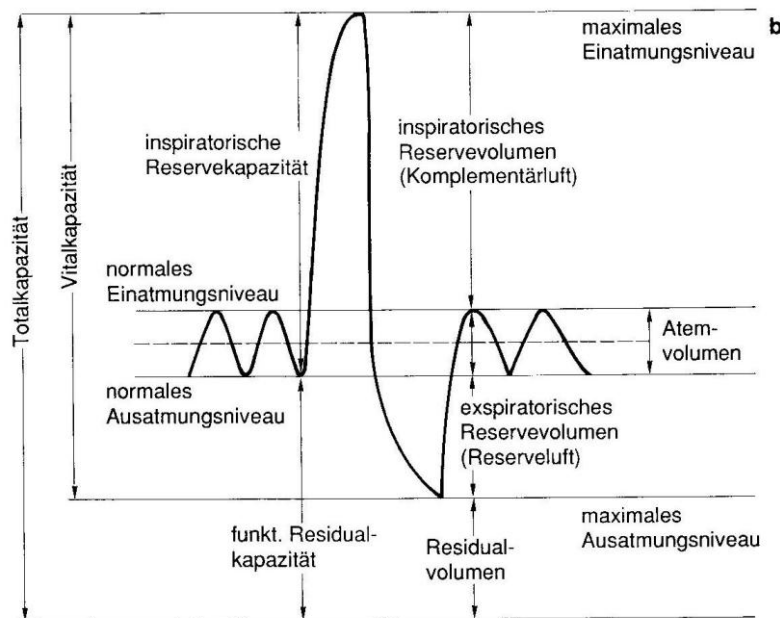


Abbildung 9 Terminologie Lungenvolumina. Prozentuale Anteile des Lungenvolumens an der Totalkapazität: Vitalkapazität 75%, Inspiratorische Reservekapazität 59%, Inspiratorisches Reservevolumen 49%, Atemvolumen 10%, funktionelle Residualkapazität 41%, Expiratives Reservevolumen 16%, Residual-Volumen 25% (Klimt 1992, 49)

4.1 Vitalkapazität

Als Vitalkapazität (=statistische Ventilationsgröße) wird dasjenige Luftvolumen bezeichnet, dass nach tiefer Einatmung maximal ausgeatmet werden kann. (Klimt 1992, 46)

Die Vitalkapazität ist ein Maß für die Dehnbarkeit von Lunge und Brust in Relation zur Atemmuskulatur. Sie ist abhängig von Alter, Geschlecht, Körperdimensionen, Körperpositionen und Ausdauerfähigkeit. Diese Komponente wird bei sportmedizinischen Untersuchungen meist bestimmt, doch wird ihre Wichtigkeit bezüglich der Aussage über die Ausdauerfähigkeit überschätzt. Die Vitalkapazität wird vor allem durch Körpergröße und -masse bestimmt. (Marès 2003, 238).

Vergleicht man die Ergebnisse von Kindern und Jugendlichen so zeigt sich, dass höhere Werte bei größeren Körpern nachgewiesen wurden. Die Vitalkapazität steigt während der körperlichen Entwicklung an und nimmt vom Kindsalter zum Jugendlichen bzw. Erwachsenen entsprechend zu.

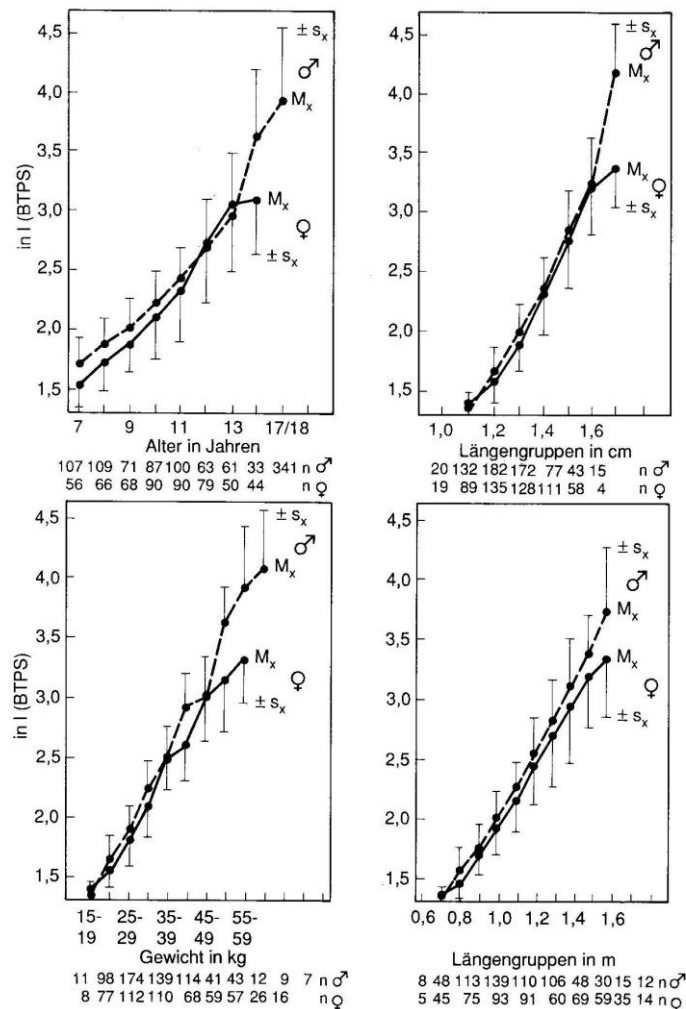


Abbildung 10 Mittelwerte (M_x) und mittlere quadratische Streuung(± s_x) der Vitalkapazität, geordnet nach Alters-, Längen-, Gewichts und Körperoberflächengruppen sowie Geschlecht. n= Anzahl der Personen (Klimt 1992, 47)

Würde man die Vitalkapazität als Marker der aeroben Ausdauer nehmen, so hätten Kinder aufgrund ihrer niedrigeren Ergebnisse eine schlechte aerobe Kapazität. Die maximale aerobe Leistungsfähigkeit läge dann bei Jungen zwischen 19 – 20 Jahren und bei Mädchen bei ca. 15 Jahren. Laut Hollmann (in Klimt 1992, 47) kann die Vitalkapazität nur eingeschränkt Auskunft über die kardiopulmonare Leistungsfähigkeit geben.

4.2 Atemminutenvolumen (Ventilation)

Das Atemminutenvolumen ergibt sich aus dem Atemzugsvolumen und der Atemfrequenz, welche in einer Minute ventiliert werden kann. Die Ventilation dient der Sauerstoffversorgung des Körpers und gleichzeitige Eliminierung von Kohlendioxid.

Bei körperlicher Arbeit steigt das Atemminutenvolumen (V_E) zu. Bei Ausdauertrainierten kommt es hauptsächlich zu einer Vergrößerung des Atemzugsvolumens, wo hingegen bei weniger Trainierten die Atemfrequenz steigt. Laut Marées (2003, 240) hat der Ausdauertrainierte bei gleicher submaximaler Belastung, aufgrund einer kleineren Totraumventilation, ein kleineres V_E als der Untrainierte. Das V_E hängt auch mit der Sauerstoffaufnahme zusammen. Bis zu einer Belastungsintensität von 50% der max. Sauerstoffaufnahme nimmt das V_E gleichzeitig mit der Sauerstoffaufnahme linear zu. Bei intensiveren Belastungen kommt es zu einem exponentiellen Anstieg des V_E .

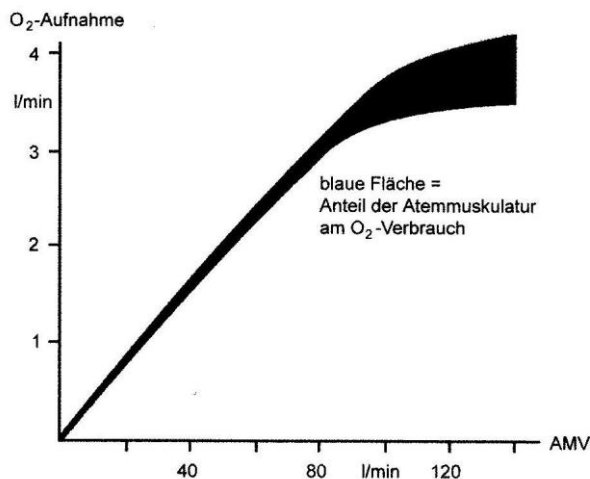


Abbildung 11 Beziehung zwischen Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme (Marées 2003, 241)

Vergleicht man Werte der Erwachsenen mit Kindern, so haben diese absolut gesehen wesentlich kleinere Ventilationswerte, welche auf ein Defizit in der ventilatorischen Kapazität hinweisen. Bei den Relativwerten, bezogen auf Körpergröße pro Kilogramm, besteht zwischen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen nur ein geringer Unterschied.

Absolut gesehen steigt die Ventilation mit dem Alter an. Während ein 6 Jahre altes Kind ein maximales Atemminutenvolumen von 30 – 40l/min erbringen kann, steigt dieses beim jungen Erwachsenen auf 100 - 120l/min oder darüber. Gewichtsbezogen unterscheidet sich die maximale Ventilation bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen nur wenig. Das submaximale, auf Kilogramm Körpergewicht bezogene, Atemminutenvolumen liegt andererseits beim Kind höher, ein Unterschied, der sich in Abhängigkeit vom Lebensalter vermindert. Im Alter von 6 Jahren kann das relative Atemminutenvolumen noch um 50% höher liegen als mit 17 Jahren. Hieraus scheint eine niedrigere

„ventilatorische Reserve“ des Kindes hervorzugehen. [...] Kinder weisen im Vergleich zu Jugendlichen und Erwachsenen für eine gegebene Sauerstoffaufnahme ein höheres Atemminutenvolumen auf, der Anstieg der Atemintensität folg eher. Hieraus könnte gefolgert werden, dass die Atmung von Kindern weniger ökonomisch erfolgt. Wird dagegen die maximale Atmung prozentual gegen die maximale Sauerstoffaufnahme aufgetragen, so ergibt sich, dass keine altersbezogenen Unterschiede hinsichtlich des steilen Atemanstiegs zu beobachten sind. (Bar – Or 1986, 38).

Das Verhalten der Ventilation während der Entwicklung zeigt einen stetigen Anstieg. Kinder mit sechs Jahren haben ein maximales V_E von ca. 30 – 40 l/min das im Laufe des älter Werdens auf 100 – 120 l/min ansteigt. Bei submaximaler Belastung zeigt die relative Ventilation eine Abnahme. (Bar-Or 1986, 38). Bei den Einzelbestandteile des V_E , Atemzugvolumen und Atemfrequenz, so zeigt ein Kind im Vergleich zu Jugendlichen und Erwachsenen sowohl in Ruhe als auch unter Belastungen eine höhere Atemfrequenz bei gleichzeitig niedrigerem Atemzugsvolumen. (Hollman 1986, 32; Bar – Or 1986, 39). Sobald bei Kindern die Belastung steigt wird dies mit einer Erhöhung der Atemfrequenz ausgeglichen, welche sich in der Entwicklung zum Erwachsenen vermindert; gleichzeitig kommt es zu einer Erhöhung des Atemzugvolumens. Dieses Verhalten führt zu einer Ökonomisierung der Atmung.

4.3 Atemäquivalent

Das Verhältnis von V_E (l/min) und der Sauerstoffaufnahme (l/min) ergibt das Atemäquivalent (V_E/VO_2). Für gewöhnlich haben Kinder ein höheres Atemäquivalent als Erwachsene, da ihre Respiration unökonomischer ist. Bar-Or (1986, 38) beschreibt das Atemäquivalent als einen Parameter, der über die Effizienz der Respiration Auskunft gibt. Je höher die Werte des Atemäquivalents desto geringer sei die Respirationseffizienz. Die höheren Werte der Kinder beschreibt er als selbstverständlich, da das Atemäquivalent als Ausdruck der Atemeffizienz hergenommen wird und Kinder pro aufgenommenen Liter Sauerstoff mehr ventilieren müssen. (Marées 1989, 386). Bar-Or (1986, 40) begründet die schlechtere Atemökonomie mit dem größeren Sauerstoffbedarf der kindlichen Muskulatur.

Das V_E/VO_2 steigt bei Belastungen über der anaeroben Grenze. Nixon beschreibt beim Atemäquivalent auch das V_E/VCO_2 , also das Atemäquivalent von Kohlendioxid. Sie sieht die Möglichkeit der Auswertung von V_E/VO_2 und V_E/VCO_2 als eine nicht invasive Methode um Informationen bezüglich der Ventilation bei Belastung herauszufinden. Über das Atemäquivalent ist es möglich die anaerobe Grenze zu bestimmen. (Nixon in Armstrong, Mechelen 2000, 50). Die anaerobe Schwelle ist der Punkt, an dem das Atemäquivalent seinen tiefsten Wert erreicht, auch bezeichnet als respiratorische Schwelle.

4.3.1 Ventilatory Anaerobic Threshold

Die VAT (ventilatory anaerobic threshold) wird in der Literatur auch oft als anaerobic threshold oder aerob – anaerobe Laktatschwelle bezeichnet. Nixon (2000, 50) beschreibt die anaerob ventilatorische Grenze während der Belastung als Punkt, an dem das Atemminutenvolumen unproportional zur Sauerstoffaufnahme ansteigt.

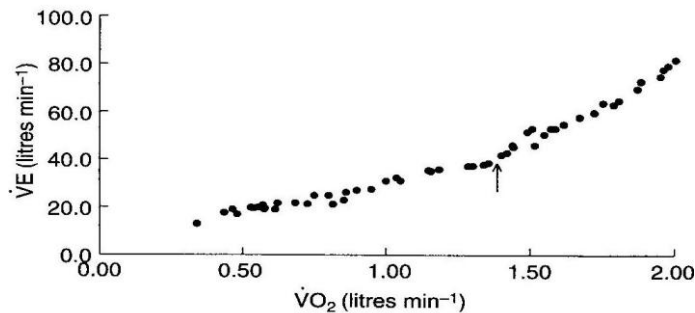


Abbildung 12 respiratorische Schwelle (durch Pfeil markiert) Nixon (2000, 50)

Diese Meßmethode eignet sich gerade für Kinder, da sie nicht invasiv ist und keine maximale Ausbelastung fordert. Es hat sich gezeigt, dass die Sauerstoffaufnahme gute Auskünfte über die Ausdauerleistungsfähigkeit gibt. Bei Kindern stellt jedoch der Bestimmung der respiratorischen Schwelle ein Problem dar, da diese von der pulmonalen Größe, den Körperdimensionen und der somatischen Entwicklung abhängig ist. Aus diesem Grund dürfen Tests zwischen den unterschiedlichen Altersstufen nicht hinsichtlich Verbesserung der Leistungsfähigkeit verglichen werden, da die meisten Lungenfunktionen mit dem Alter und im Laufe der körperlichen Entwicklung sich zu ihrem Maximum entwickeln. Tut man dies doch, käme man zu der Fehlinterpretation einer verbesserten Kapazität des Atmungssystems. Das Atemäquivalent nimmt mit steigendem Alter ab. Bar-Or (1986, 41) weist darauf hin, dass die Lungengröße stark durch die Körpergröße determiniert ist und dass man Reifung mit Entwicklung nicht gleichsetzen kann. Dies erschwert die Differenzierung der Veränderung zwischen Wachstums und trainingsbedingten Effekten.

Tabelle 1- Atmungsfunktion während körperlicher Belastung im Vgl. zwischen Kindern und Erwachsenen (Bar - Or 1986, S38)

Funktion	Kindliche Reaktion im Vgl. zum Erwachsenen
Maximale AMV pro kg Körpergewicht	Gleich
Submaximales AMV pro kg Körpergewicht	Höher
Punkt des optimalen Wirkungsgrades der Atmung	Früher oder gleich
Maximale und submaximale Atemfrequenz	höher
Maximales Atemzugsvolumen zu Vitalkapazität	niedriger
Submaximales Atemzugsvolumen zu Vitalkapazität	Gleich oder niedriger
Maximales und submaximales Atemäquivalent	Höher
Totraum zu Atemvolumen	Gleich
Partialdruck des arteriellen CO ₂	Etwas niedriger

4.4 Atemparameter während körperlicher Belastung

Wie schon erwähnt hängen, Atemminutenvolumen (V_E) und Atemzugsvolumen (V_T) mit Körpergröße und Masse zusammen. Armstrong (1997) untersucht in seiner Studie welchen Einfluss diese anthropometrischen Größen auf submaximale und maximale Belastung bei Mädchen und Jungen hat. Es wurden alle Schulkinder im Alter von $11,1 \pm 0,4$ Jahren in Exeter (UK) zu der Teilnahme an der Längsschnittuntersuchung eingeladen. Es gab 745 freiwillige Kinder wovon 40% geeignet waren. Beim Versuch Bias samples aufzudecken, wobei Körpergewicht und -größe der Teilnehmer mit denen verglichen wurde, die nicht teilnehmen wollten gab es keinen signifikanten Unterschied, sowohl bei Mädchen als auch bei Jungen. 25% der Kinder wurden in den Schulen zufällig ausgewählt wovon 101 Buben und 76 Mädchen waren. Das Alter wurde aus dem Geburtsdatum und dem Tag der Auswertung berechnet. Die sexuelle Reife nach dem Tanner – Index bestimmt. Es gab nur Teilnehmer der Tannerstufe 1. Die Körpergröße, Körpermasse, Hautfaltendicke und das dynamische Lungenvolumen wurde nach Vorgaben von Weiner und Lourie getestet. (Armstrong 1997, 1555)

V_E , VO_2 und weitere respiratorische Parameter wurden während intermittierender stufenweiser Belastung am Laufband ausgetestet. Die Probanden hatten ein drei minütiges Warm-up bei 6km/h. Die vier anschließenden Belastungsperioden dauerten jeweils drei Minuten bei 7 bis 10 km/h. Die höchste Geschwindigkeitsstufe bei 10 km/h wurde anschließend konstant gehalten, nur mehr die Steigung änderte sich um 2,5% nach jeder Belastungsperiode. Zwischen den einzelnen Stufen wurde den Kindern eine Pause von 1 min erlaubt. Wenn die Probanden schon vor der letzten Stufe Ermüdungserscheinungen wie Abflachung der Herzfrequenz, RER (Respiratory exchange ratio) mindestens bei 0,1 gezeigt haben, so wurde der Maximalwert der VO_2 als maximaler Index herangezogen und der Laufbandtest am nächsten Tag bei 8km/h wiederholt. Während der Belastung wurde die Atemluft mittels eines online Analyse Systems analysiert. Die Herzfrequenz wurde über ECG sowie die Blutlaktatwerte nach jeder Belastungsstufe gemessen.

Tabelle 2 - Alter, Körpermaße und Ventilationsparameter in Ruhe bei Kindern getrennt nach Geschlecht nach Armstrong (1997, S1556)

	Boys (n=101)	Girls (n=76)
Age, yr	11.1 (0.4)	11.0 (0.4)
Stature, m	1.45 (0.06)	1.44 (0.08)
Mass, kg	36.3 (6.1)	34.7 (5.2)
Sum of skinfolds, mm	19.4 (9.0)	21.1 (7.2)
Hemoglobin concentration, g/L	13.5 (0.6)	13.6 (0.7)
FVC, L	2.50 (0.37) [†]	2.19 (0.40)
Adjusted FVC, L	2.43 [†]	2.18
FEV ₁ , L	2.20 (0.30) [†]	1.97 (0.35)
Adjusted FEV ₁ , L	2.15 [†]	1.96
FEV ₁ /FVC, %	88.4 (5.6) [†]	90.1 (6.0)
Predicted MVV, L	82.38 (11.28) [†]	73.70 (13.03)

*Values are expressed as mean (SD).

[†]Significant difference between groups: $p < 0.001$.

[‡]Significant difference between groups: $p < 0.05$.

Zur Datenanalyse wurden die Parameter mittels deskriptiver Statistik analysiert. Um einen Vergleich bei gleicher relativer Sauerstoffaufnahme zwischen Mädchen und Jungen zu erhalten wurden Variablen in einem Bereich von 70 – 75% und 80 – 85% der maximalen VO_2 berechnet.

Bei den Ergebnissen kam heraus, dass es keine signifikanten Geschlechterunterschiede ($p > 0,05$) bei Alter, Größe, Gewicht, Hautfaltendicke und Hämoglobinwerte im Blut gibt. Sowohl FVC (forcierte Vitalkapazität) als auch FEV₁ (Einsekundenkapazität) weisen eine signifikante Korrelation zwischen Gewicht und Größe auf.

Tabelle 3 - Pearson correlation Coefficients among stature, mass and ventilatory variables in prepubescent children by sex*(Armstrong 1997, S 1556)

	Boys		Girls	
	Stature	Mass	Stature	Mass
FVC	0.588	0.601	0.632	0.516
FEV ₁	0.576	0.517	0.667	0.495
Peak $\dot{V}_E$	0.431	0.458	0.535	0.623
Peak $\dot{V}_T$	0.579	0.538	0.526	0.436
$\dot{V}_E$ at 70-75% of peak $\dot{V}_{O_2}$	0.442	0.613	0.614	0.707
$\dot{V}_T$ at 70-75% of peak $\dot{V}_{O_2}$	0.458	0.406	0.348 NS	0.248 NS
$\dot{V}_E$ at 80-85% of peak $\dot{V}_{O_2}$	0.413	0.686	0.300 [†]	0.633
$\dot{V}_T$ at 80-85% of peak $\dot{V}_{O_2}$	0.571	0.609	0.468	0.256 NS

*All coefficients significant ($p < 0.001$) except [†] $p < 0.05$ and NS $p > 0.05$. Sample sizes for resting and peak variables, boys $n = 101$ and girls $n = 76$; at 70-75% peak $\dot{V}_{O_2}$, boys $n = 63$, girls $n = 31$; at 80-85% peak $\dot{V}_{O_2}$, boys $n = 58$, girls $n = 42$.

Jungen hatten signifikant größere ($p > 0,001$) FVC, FEV₁ und erwartete MVV (Maximal Voluntary Ventilation) Werte als Mädchen. Diese wiesen dafür signifikant ($p > 0,05$) größere FEV₁ / FVC ratio auf. Mittelwerte für das FVC bezogen auf Körpergröße und Masse bleibt signifikant größer bei Jungen im Vergleich zu Mädchen, ebenso die Einsekundenkapazität (FEV₁) bei $p > 0,001$. Das Atemzugvolumen ($\dot{V}_T$) und Atemminutenvolumen ($\dot{V}_E$) bei maximaler Sauerstoffaufnahme korrelieren signifikant mit Körpergröße und Gewicht im Gegensatz zur Rf (Respiratory frequency) die keine Signifikanz aufweist im Bezug auf anthropometrische Daten.

Tabelle 4 - peak ventilatory data of prepubescent children by sex* (Armstrong 1997, 1556)

	Boys (n=101)	Girls (n=76)
$\dot{V}_T$, L	1.14 (0.21) [†]	0.96 (0.20)
Adjusted $\dot{V}_T$, L	1.10 [†]	0.95
$\dot{V}_T$ /FVC, %	46.0 (7.7)	44.7 (9.4)
Rf, breaths/min	52.2 (9.7)	53.2 (11.6)
Rf/ $\dot{V}_T$	48.35 (16.40) [†]	59.99 (27.26)
$\dot{V}_E$, L/min	58.42 (10.49) [†]	49.62 (8.58)
Adjusted $\dot{V}_E$, L/min	56.60 [†]	49.60
$\dot{V}_E$ /predicted MVV, %	71.6 (13.2)	68.9 (14.8)
$\dot{V}_{O_2}$, L/min	1.81 (0.26) [†]	1.51 (0.22)
Adjusted $\dot{V}_{O_2}$, L/min	1.76 [†]	1.52
Ventilatory equivalent for oxygen	29.8 (3.2)	29.5 (3.1)
Ventilatory equivalent for carbon dioxide	27.9 (2.4)	28.7 (2.2)
RER	1.07 (0.07)	1.04 (0.07)
Blood lactate, mmol/L	4.8 (1.4)	5.0 (1.5)
Heart rate, beats/min	200 (7)	201 (6)

*Values are expressed as mean (SD).

[†]Significant difference between groups: $p < 0.001$.

[‡]Significant difference between groups: $p < 0.01$.

Jungen zeigten sowohl bei der relativen als auch bei der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$) signifikant höhere Werte, ebenso bei den Mittelwerten des Atemminutenvolumens und dem Atemvolumen. Keine Geschlechterdifferenzen bei maximaler $\dot{V}_{O_2}$ findet man in RER, Atemfrequenz, dem Blutlaktat sowie beim $\dot{V}_T$ /FVC ratio als auch beim $\dot{V}_E$ /MVV. Bei Mädchen

ist eine höhere R_f/V_T vorzufinden. Jungen zeigten sowohl bei relativen Werten als auch beim absoluten Atemvolumen signifikant höhere Werte in allen submaximalen Belastungsstufen. Die Mittelwerte des Atemminutenvolumens betrugen 33,21 bei Jungen und 33,61 bei Mädchen und waren somit nicht signifikant, ebenso beim zweiten Versuch.

Bei den Belastungsstufen zwischen 70 – 75% und 80 – 85% der $\dot{V}O_2\text{max}$ konnten keine Geschlechterdifferenzen festgestellt werden bei R_f , V_T/FVC , RER, Herzfrequenz, Blutlaktat und Atemäquivalent O_2 und CO_2 .

Tabelle 5 - Ventilatory responses of prepubescent girl (n=76) running at various treadmill velocities* (Armstrong 1997, S.1557)

	Running Velocity, km/h			
	7	8	9	10
V_T , L	0.83 (0.18)	0.84 (0.17)	0.88 (0.17)	0.91 (0.18)
Adjusted V_T , L	0.82	0.84	0.88	0.89
V_T/FVC , %	38.6 (8.5)	39.4 (8.5)	40.9 (7.6)	42.3 (8.3)
R_f , breaths/min	38.9 (11.4)	41.1 (10.2)	45.8 (10.8)	50.1 (11.2)
R_f/V_T	51.9 (28.4)	52.4 (22.4)	55.6 (23.3)	59.4 (27.0)
$\dot{V}_E$, L/min	30.76 (5.77)	33.47 (5.77)	39.17 (7.15)	44.41 (7.41)
Adjusted $\dot{V}_E$, L/min	30.85	33.58	39.33	44.66
% peak $\dot{V}O_2$	74.6 (7.1)	80.1 (7.8)	87.1 (7.9)	94.3 (7.2)
Ventilatory equivalent for oxygen	24.2 (2.8)	24.6 (2.1)	26.5 (2.6)	28.1 (2.6)
Ventilatory equivalent for carbon dioxide	26.2 (2.6)	26.2 (2.1)	27.0 (2.3)	27.8 (2.2)
RER	0.93 (0.05)	0.94 (0.04)	0.98 (0.05)	1.01 (0.06)

*Values are expressed as mean (SD).

Tabelle 6 - Ventilatory responses of prepubescent boys (n=101) running at various treadmill velocities* (Armstrong 1997, S.1557)

	Running Velocity, km/h			
	7	8	9	10
V_T , L	0.95 (0.23)	0.97 (0.25)	0.98 (0.24)	1.02 (0.24)
Adjusted V_T , L	0.91	0.93	0.94	0.98
V_T/FVC , %	38.2 (8.5)	39.2 (9.0)	39.5 (7.8)	41.1 (7.5)
R_f , breaths/min	34.3 (11.5)	37.1 (11.5)	41.0 (10.2)	44.6 (10.7)
R_f/V_T	40.5 (23.9)	47.7 (23.4)	45.6 (19.3)	47.2 (19.5)
$\dot{V}_E$, L/min	30.92 (7.11)	34.14 (7.27)	38.96 (8.69)	44.26 (9.74)
Adjusted $\dot{V}_E$, L/min	29.55	32.79	37.23	42.35
% peak $\dot{V}O_2$	67.0 (8.9)	72.5 (8.6)	78.5 (9.4)	85.1 (8.8)
Ventilatory equivalent for oxygen	23.0 (2.9)	23.6 (2.8)	24.8 (2.9)	26.1 (3.2)
Ventilatory equivalent for carbon dioxide	25.5 (2.6)	25.7 (2.5)	26.1 (2.5)	26.7 (2.5)
RER	0.90 (0.06)	0.92 (0.05)	0.95 (0.05)	0.98 (0.06)

*Values are expressed as mean (SD).

Auch bei dieser Studie wird ersichtlich, dass Jungen ein signifikant höheres Atemvolumen und Atemminutenvolumen vorweisen, speziell bei 80 – 85% der $\dot{V}O_2\text{max}$ und bei Parametern, die sich auf die Körpergröße und -Masse beziehen.

Tabelle 7 - Ventilatory data of prepubescent children by sex, exercising at 70 to 75% of peak $\dot{V}O_2$ * (Armstrong 1997, S.1558)

	Boys (n=63)	Girls (n=31)
$\dot{V}_T$, L	0.98 (0.24) [†]	0.88 (0.20)
Adjusted $\dot{V}_T$, L	0.95	0.87
$\dot{V}_T$ /FVC, %	40.0 (8.1)	40.6 (9.4)
Rf, breaths/min	36.2 (11.4)	35.9 (9.6)
$\dot{V}_E$, L/min	33.81 (6.67) [‡]	30.22 (4.93)
Adjusted $\dot{V}_E$, L/min	32.78 [‡]	30.20
$\dot{V}O_2$, L/min	1.31 (0.20) [§]	1.12 (0.17)
% peak $\dot{V}O_2$	72.7 (1.7)	72.2 (1.7)
Ventilatory equivalent for oxygen	23.3 (2.9)	24.1 (2.4)
Ventilatory equivalent for carbon dioxide	25.3 (2.6)	26.0 (2.3)
RER	0.92 (0.05)	0.93 (0.06)
Blood lactate, mmol/L	1.8 (0.8)	2.2 (0.7)
Heart rate, beats/min	170 (12)	170 (12)

*Values are expressed as mean (SD)

[†]Significant difference between groups: $p < 0.05$.

[‡]Significant difference between groups: $p < 0.01$.

[§]Significant difference between groups: $p < 0.001$.

Tabelle 8 - Ventilatory data of prepubescent children vs. sex, exercising at 80 to 85% of peak $\dot{V}O_2$ * (Armstrong 1997, S.1558)

	Boys (n=58)	Girls (n=42)
$\dot{V}_T$, L	1.01 (0.23) [†]	0.85 (0.17)
Adjusted $\dot{V}_T$, L	0.97 [†]	0.84
$\dot{V}_T$ /FVC, %	40.6 (6.8)	39.5 (8.9)
Rf, breaths/min	42.3 (11.4)	43.2 (11.3)
$\dot{V}_E$, L/min	41.02 (7.35) [†]	35.30 (6.19)
Adjusted $\dot{V}_E$, L/min	39.81 [†]	35.27
$\dot{V}O_2$, L/min	1.49 (0.22) [†]	1.26 (0.17)
% peak $\dot{V}O_2$	82.7 (1.7)	82.4 (1.9)
Ventilatory equivalent for oxygen	25.0 (2.7)	24.9 (3.3)
Ventilatory equivalent for carbon dioxide	26.2 (2.5)	26.5 (2.7)
RER	0.95 (0.05)	0.94 (0.06)
Blood lactate, mmol/L	2.2 (0.9)	2.4 (0.6)
Heart rate, beats/min	182 (12)	179 (12)

*Values are expressed as mean (SD).

[†]Significant difference between groups: $p < 0.001$.

Die Einsekundenkapazität (FEV_1) und die forcierte Atemkapazität ist bei Jungen signifikant höher, jedoch nicht bei den relativen Werten bei ähnlichen anthropometrischen Werten, hier zeigen Mädchen höhere Parameter

Die Ergebnisse der Einsekundenkapazität und der forcierte Atemkapazität stimmen laut Armstrong (1997, 1558) mit Studien von de Muth und Dockery überein. Bei absoluten Zahlen dieser Parameter erreichen Jungen die höheren Werte, bei einem Verhältnis FEV_1 zu FVC erreichen Mädchen mit ähnlichem Körperbau bessere Werte als Jungen. Woran das liegt ist unklar. Armstrong vermutet, dass nicht geschlechtsreife Mädchen größere Atemwege im Vergleich zur Lunge haben und dadurch auch eine größere Ventilationsperfusionshomogenität erreichen. Die maximale Sauerstoffaufnahme von 1,81 l/min bei Jungen und 1,51 l/min bei Mädchen deckt sich mit den Angaben der Literatur, die

den männlichen Probanden signifikant höhere Werte nachsagt, sogar wenn es keine Unterschiede in Körpergröße, Hämoglobinkonzentration, subkutanem Fett oder gewohnter körperlicher Aktivität gibt. In dieser Studie wurden Körpergröße und Körpermasse als Kovarianten zur Untersuchung des Atemminutenvolumens und des Tidalvolumens bei maximaler Sauerstoffaufnahme herangezogen. In einer Studie von Mercier et al (1991 in Armstrong 1997,1558) wurden bei 11 – 15 jährige Jungen allometrische Exponenten für max. V_E von 2,06 für Körpergröße und 0,68 für Körpergewicht evaluiert, welche der Theorie der geometrischen Ähnlichkeit entsprechen.

“However, these authors did not combine both anthropometric measures in a single allometric analysis. In the present sample, both stature and mass proved to be significant covariates in the log-linear ANCOVA investigating V_E and V_T at peak VO_2 in boys and girls, despite the homogeneity in their physical characteristics. Furthermore, the deviation of the exponents from the values assumed by ratio scaling confirms that V_E and V_T at peak VO_2 do not increase in direct proportion with increases in body size. These findings suggest that the conventional approach of accounting for body size differences in the interpretation of children ventilatory data, e.g., by dividing by either body mass or stature, is inappropriate.” (Armstrong 1997)

Armstrong fand heraus, dass V_E und V_T bei maximaler Sauerstoffaufnahme nicht proportional zur Körpergröße ansteigt. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass eine Interpretation der Ventilationsparameter durch Ausschluss von Körpergröße oder -Masse nicht aussagekräftig sein kann. Das höhere Atemminutenvolumen und Tidalvolumen der Jungen bei maximaler Sauerstoffaufnahme erklärt die höheren VO_{2max} Werte bei Kindern dieses Alters. Das V_E bei submax. VO_2 ist jedoch kein sehr aussagekräftiger Parameter, da die Werte der VO_2 vom Belastungsprotokoll abhängig sind. Bei Betrachtung der relativen Ergebnisse (V_E/VO_2 ; V_E/VCO_2 ; V_T/FVC) bei maximaler Belastung gibt es kaum Unterschiede zwischen den Geschlechtern. In Abb. 13 und Abb.14 sieht man den Anstieg des Atemminutenvolumens und seinen Komponenten (V_T und Rf) mit ansteigender Geschwindigkeit, ähnlich wie die Ratio V_T/FVC ; V_E/VO_2 und V_E/VCO_2 die zu ihren Maxima steigen. Aus diesem Grund wird angenommen, dass Kinder im Vergleich zu Erwachsenen eine überhöhte ventilatorische Reaktion bei einer bestimmten metabolischen Belastung haben.

Im Vergleich dazu gibt es eine Studie von Rowland und Cunningham (1997) die eine Veränderung der Atemparameter innerhalb von fünf Lebensjahren untersucht. Es wurden 20 Kinder, davon 11 Jungen und 9 Mädchen auf einem Laufbandergometer bei submaximaler und maximaler Belastung über fünf Jahre untersucht. Das Durchschnittsalter lag bei 9,2 Jahren (range 7,9 – 10,3 years). Am Ende der Studie hatten drei der Mädchen bereits ihre erste Menstruation und sieben von zehn Jungen waren bereits im Stimmbruch und hatten die

erste Gesichtsbehaarung. Diese Kinder zeigten somit erste Anzeichen der Pubertät. Die Laufbandergometrie fand jährlich in einem Labor statt. Es gab ein zweiminütiges Warm-up bei 3, 25mph und 6% Neigung. Das Testprotokoll beinhaltet ein steady- state 4 min walk bei 3,25mph, 8% Neigung. Die Steigung wurde jede Minute um 2% erhöht bis zu Erschöpfung. Die Geschwindigkeit betrug je nach Proband zwischen 3,25 und 3,75 mph. Submaximales V_E , V_T und R_f wurden als Mittelwerte ab der vierten Minute des steady-state walks ermittelt. Maximalwerte wurden aus den zwei höchsten erreichten Punkten in der letzten Belastungsminute errechnet. Als Richtwerte für eine Ausbelastung wurden die Herzfrequenz (>190 Schläge/min) und der maximale Respirationsquotient (>1) herangezogen.

Wie auch schon bei Armstrong konnten in dieser Studie keine signifikanten Geschlechterunterschiede in Körpergröße und –gewicht beobachtet werden, obwohl Jungen in allen Altersstufen größer und schwerer waren. (Siehe Tab 10)

Tabelle 9 - weight and height changes with age: mean (SD) values (Rowland; Cunningham 1997, 328)

	Year				
	1	2	3	4	5
Weight, kg					
Boys	37.1 (6.1)	42.3 (7.4)	47.3 (9.2)	54.3 (12.6)	57.5 (14.2)
Girls	35.4 (11.1)	40.2 (14.0)	43.5 (14.7)	49.8 (16.7)	57.3 (18.8)
Height, cm					
Boys	142 (4)	148 (5)	154 (6)	161 (7)	168 (7)
Girls	140 (9)	145 (10)	151 (10)	159 (9)	165 (8)

Die Mittelwerte der Anfangsstudie für die maximale Sauerstoffaufnahme lagen bei 48,9 (7,2) l/kg/min bei Jungen und bei 47,4 (6,4) l/kg/min bei Mädchen. In den Tab.10 und 11 sind die physiologischen Parameter bei submaximaler und maximaler Belastung aufgelistet. Es gibt keine signifikanten Geschlechtsunterschiede über die fünf Jahre im Hinblick auf Atemminutenvolumen, Tidalvolumen und Atemfrequenz zu erkennen.

Tabelle 10 - Submaximal physiologic variables with age: Mean(SD) values (Rowland; Cunningham 1997, S 329)

	Year				
	1	2	3	4	5
$\dot{V}_E$, L/min					
Boys	34.2 (5.0)	36.0 (5.5)	39.7 (9.2)	39.8 (9.6)	40.8 (10.6)*
Girls	34.9 (10.0)	36.6 (12.5)	40.2 (17.6)	40.2 (14.0)	43.4 (16.2)*
$\dot{V}_E$, L/kg/min					
Boys	0.93 (0.11)	0.86 (0.13)	0.84 (0.11)	0.74 (0.08)	0.71 (0.08)*
Girls	1.00 (0.13)	0.92 (0.09)	0.91 (0.12)	0.81 (0.06)	0.75 (0.06)*
V_T , L					
Boys	0.84 (0.10)	0.89 (0.10)	1.00 (0.09)	1.08 (0.14)	1.25 (0.17)*
Girls	0.76 (0.18)	0.85 (0.23)	0.90 (0.22)	1.04 (0.32)	1.19 (0.39)*
V_T , L/kg					
Boys	0.023 (0.002)	0.021 (0.002)	0.021 (0.003)	0.020 (0.001)	0.022 (0.002)
Girls	0.028 (0.003)	0.021 (0.002)	0.021 (0.002)	0.021 (0.003)	0.021 (0.002)
f_R , b/min					
Boys	43 (8)	42 (8)	41 (9)	38 (5)	34 (6)*
Girls	47 (10)	44 (11)	43 (9)	39 (8)	38 (9)*
$\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$					
Boys	31.45 (5.10)	28.61 (3.11)	28.27 (2.75)	27.74 (2.88)	26.34 (2.66)* [†]
Girls	32.28 (2.80)	30.90 (2.47)	30.66 (3.85)	30.18 (1.89)	29.05 (2.34)* [†]

*p<0.05 for time for the 5 years.

[†]p<0.05 for gender for years 2 to 5.

Die Veränderungen der absoluten Parameter sind bei submaximalen und maximalen Belastungen gleich. Es kommt zu einem linearen Anstieg der $\dot{V}_E$, einem kurvenförmigen Anstieg des V_T und einem progressiven Abfall der Atemfrequenz. Der durchschnittliche Anstieg pro Jahr betrug 8,81l für $\dot{V}_E$ und 0,20l für V_T . In Relation zu anthropometrischen Daten hat sich in den fünf Jahren kaum etwas verändert. Das submaximale V_T , mit einem Mittelwert von 21, 8 (2,2)mL/kg, hat sich nicht signifikant verändert. Als Konsequenz ist die submaximale Atemfrequenz von 45 auf 36 Züge / min gesunken, was den progressiven Abfall der $\dot{V}_E$ /kg erklärt.

Tabelle 11 - Maximal physiologic variables with age: Mean (SD) values (Rowland, Cunningham 1997, S329)

	Year				
	1	2	3	4	5
$\dot{V}_E$, L/min					
Boys	65.9 (8.0)	78.2 (9.3)	85.5 (12.3)	94.4 (13.1)	105.1 (16.3)*
Girls	64.1 (11.9)	71.0 (14.1)	76.3 (19.8)	83.1 (18.0)	95.3 (22.7)*
$\dot{V}_E$, L/kg/min					
Boys	1.82 (0.35)	1.89 (0.27)	1.85 (0.31)	1.79 (0.27)	1.86 (0.31)
Girls	1.90 (0.32)	1.88 (0.43)	1.82 (0.34)	1.74 (0.28)	1.71 (0.38)
V_T , L					
Boys	1.07 (0.11)	1.27 (0.13)	1.37 (0.17)	1.55 (0.17)	1.95 (0.38)*
Girls	1.07 (0.25)	1.17 (0.33)	1.27 (0.33)	1.41 (0.38)	1.75 (0.53)*
V_T , L/kg					
Boys	0.029 (0.002)	0.030 (0.003)	0.029 (0.002)	0.029 (0.004)	0.034 (0.004)
Girls	0.030 (0.002)	0.029 (0.002)	0.029 (0.004)	0.028 (0.003)	0.031 (0.004)
f_R , b/min					
Boys	65 (10)	62 (7)	63 (7)	61 (7)	57 (9)*
Girls	63 (8)	63 (10)	61 (7)	60 (6)	57 (4)*
$\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$					
Boys	37.15 (3.54)	35.29 (1.72)	34.44 (2.32)	35.90 (2.76)	34.05 (2.58)* [†]
Girls	39.64 (2.26)	39.22 (3.35)	37.98 (2.30)	39.50 (2.04)	39.37 (3.88)* [†]

*p<0.05 for time for the 5 years.

[†]p<0.05 for gender for each of the 5 years.

Bei maximaler Belastung blieb V_T mit einem Mittelwert von 29, 8 (1,) mL/kg stabil. Die Atemrate sank von 64 auf 57 Züge/min. Ein Trend für einen Abfall der relativen $V_{E_{max}}$ konnte beobachtet werden, ist allerdings nicht statistisch signifikant ($p>0,05$). Einzig ein Trend eines leichten Abfalls der $V_{E_{max}}$ konnte bei Mädchen entdeckt werden, die Werte der Buben blieben hingegen stabil. Die Mittelwerte des max. Atemminutenvolumens betrugen 1,84 (0,04) L/kg. Ist während der fünf Jahre bei beiden Geschlechtern V_E/VO_2 progressiv abgefallen, nur die bei den maximalen Werten der Mädchen, waren jedes Jahr signifikant höher als bei Jungen

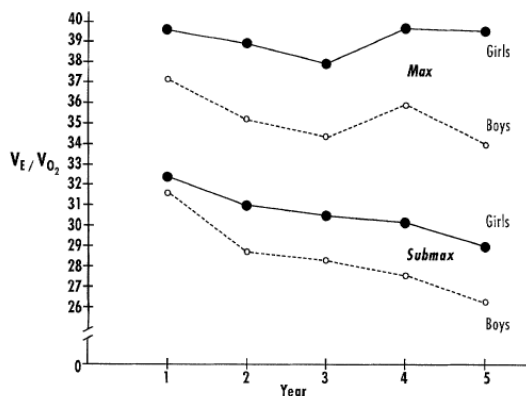


Abbildung 13: changes in V_E/VO_2 at maximal and submaximal exercise in boys and girls according to age (Rowland, Cunningham 1997, S331)

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei einer vorgegebenen Belastung das Atemvolumen mit dem Kindesalter ansteigt, aber nicht aufgrund des Körperwachstums. Im Gegensatz zum Tidalvolumen dass in Proportion zur Körpermasse ansteigt, während die Atemfrequenz bei submaximaler Belastung sinkt. Das Resultat daraus ist, dass das submaximale V_E langsamer ansteigt als man es im Bezug auf die Körpermasse erwarten würde. Das wird ebenfalls durch stetigen Abfall des V_E/VO_2 mit dem Alter bestätigt. Der einzig auffallende Geschlechterunterschied ist bei der Größe des V_E/VO_2 beobachtbar, bei denen Mädchen in allen Altersstufen höhere Werte haben. Der Grund dafür ist noch ungeklärt. Ebenso verhält es sich bei der relativen V_T per kg, das gleich bleibt während die Rf sinkt.

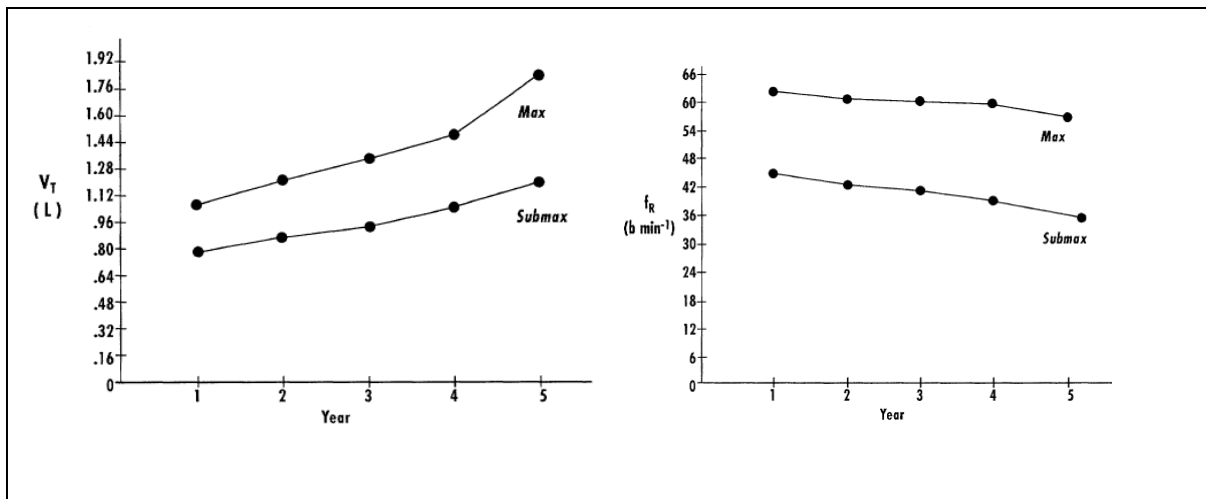


Abbildung 14: Changes in submaximal and maximal V_T (left) and f_R (right) with age (Rowland, Cunningham 1997, S330)

Bei maximaler Belastung war der Abfall der relativen V_E statistisch nicht signifikant. V_E/VO_2 sank mit zunehmendem Alter, wobei auch hier die Jungen bessere Werte hatten als Mädchen.

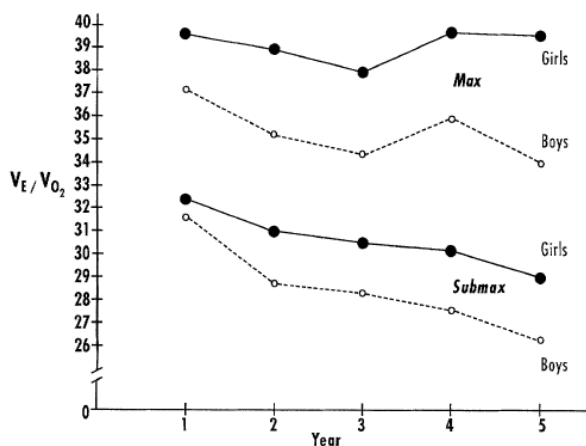


Abbildung 15: Changes in V_E/VO_2 at maximal and submaximal exercise in boys and girls according to age (Rowland, Cunningham 1997, S331)

Bei maximaler Belastung stellt die V_E keinen Terminus für die aerobe Fitness alleine dar, da diese bei steigendem Lungenvolumen besser wird und durch pubertäre Veränderungen in der Laktatproduktion beeinflusst ist. Beim relativen $V_{E\max}$ findet man in diesen Studien unterschiedliche Resultate. Während bei Rowland und Cunningham die Werte bei Jungen recht stabil bleiben 1,82 – 1,89 ml/kg/min, kommt es bei Mädchen zu einem ständigen Abfall 1,90 - 1,70ml/kg/min. Definitive Normwerte für das Atemminutenvolumen bei Kindern gibt es nicht. Die Studien beschreiben das maximale relative V_E meist bei 1,60 – 1,90l/kg/min, bezogen auf die Körpergröße liegt es bei ca. 0,5l/m/min. Armstrong ist der Meinung, dass die V_E und Körpergrößenrelationen von den Belastungsmodalitäten abhängig ist.

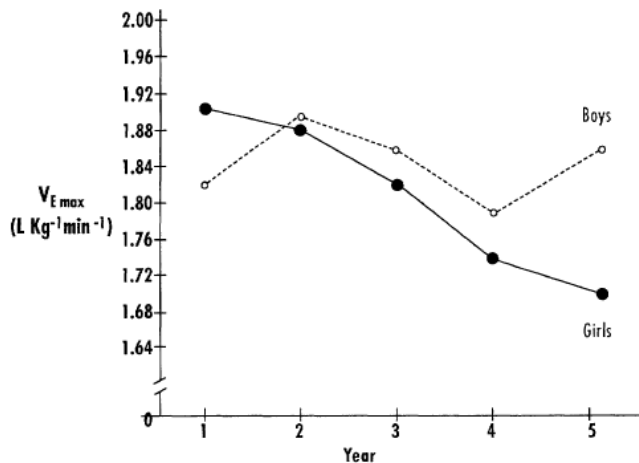


Abbildung 16: Changes in max V_E per kilogram in boys and girls with age (Rowland, Cunningham 1997, S330)

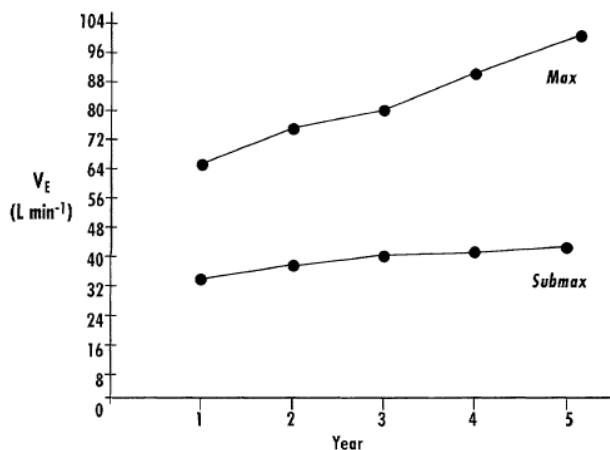


Abbildung 17: Changes in maximal and submaximal V_E with age (Rowland, Cunningham 1997, S330)

Die meisten Studien geben an, dass das absolute V_E mit dem Alter ansteigt und eine Reflektion des größeren Tidalvolumen während des Wachstums ist. Die Unterschiede in der V_E bezogen auf die Körpergröße könnten durch die Atemfrequenz beeinflusst sein. Eine größere Rf/V_T ratio steigert die Ventilation. Bei Erwachsenen steigt das V_T bis zu 60% der Vitalkapazität bei moderater Belastung an und bildet dann ein Plateau, jede intensivere Belastung führt zu einem Anstieg der Atemfrequenz. Es gibt die Annahme, dass dies bei Kindern anders ist als bei Erwachsenen. Das würde bedeuten, dass der relative Einfluss von Veränderungen der Atemwege und Lungenwiderstände während der Belastung von der biologischen Reife abhängig sind. Boule et al (nach Rowland 2005, 145) fand heraus, dass V_T während eines maximalen Ergometertests bei Kindern zwischen sechs und fünfzehn Jahren linear ansteigt, während die Atemfrequenz ein Plateau der maximalen Leistung bei 67% bildete. Armstrong (1997) beschreibt einen Anstieg der Parameter V_T und Rf während

einer Belastungssteigerung. Durch einen Anstieg der Rf/V_T ratio deutet er an, dass ein großer Zusammenhang zwischen der Atemfrequenz und dem damit entstehenden Atemminutenvolumen besteht. Während ansteigender Belastung blieb V_T als Anteil der V_E relativ stabil mit Werten von 38 und 41%.

Beim Atemäquivalent hat sich gezeigt, dass Kinder in allen Belastungsstufen hyperventilieren, was durch ihr V_E/VO_2 erklärt wird. Es kann ein allmählicher Abfall bei der Entwicklung beobachtet werden, der bei Kindern zwischen acht und 16 Jahren von 34 auf 24 abfällt (laut Andersen in Rowland 2005, 146). Geschlechterunterschiede konnten weder bei Armstrong noch bei Cunningham gefunden werden, allerdings ist bei diesem Wert die Intensität der Belastung zu berücksichtigen, da das V_E/VO_2 von der Laktatproduktion beeinflusst wird.

Zusammenfassend kann man den Schluss ziehen, dass sich das Verhaltensmuster der Atmung bei Kindern und Erwachsenen wenig unterscheidet. Es gibt einige funktionelle und anatomische Charakteristiken, die sich gegen Ende der Pubertät ändern. Es hat sich gezeigt, dass Kinder im Vergleich zu Erwachsenen hyperventilieren und dass das Atemminutenvolumen bei vorgegebenem Stoffwechselanteil (V_E/VO_2) höher ist in allen Belastungsstufen. Die Kurve der V_E zu VCO_2 sinkt mit steigendem Alter. Obwohl Kinder weniger Azidose entwickeln (aufgrund geringerer Laktatproduktion), ist ihr Atmungsausgleich erhöht. Kinder atmen schneller um ein bestimmtes V_E zu erreichen, was durch ihre kleinere Lunge und somit auch ihr niedrigeres Tidalvolumen erklärbar ist.

5 Herz – Kreislauffunktion

Das Herz- Kreislaufsystem verbindet alle Körperorgane funktionell miteinander. Es dient zur Versorgung der Zellen, zum Sauerstofftransport und zum Abtransport von Stoffwechselprodukten. Dieses System lässt sich unterteilen in den großen Körperkreislauf und den kleinen Lungenkreislauf, dessen Zentrum das Herz ist. Der Körperkreislauf ist für die Versorgung der Organe zuständig, der Lungenkreislauf dient dem Gasaustausch. (Weineck 1994, 124).

Im Folgenden wird eingegangen auf:

- die Anpassungsfähigkeit des Herzkreislaufsystems bei Kindern
- aerobe Leistungsfähigkeit Kinder
- und welche Herzkreislaufgrößen als Indikatoren für die Ermittlung und Beurteilung der Leistungs-, Anpassungs- und Belastungsfähigkeit wichtig sind.

5.1 Kardiovaskuläres System

Das kardiovaskuläre System ist ein komplexes Transportsystem des menschlichen Körpers, das anatomisch aus dem Herzen und den Blutgefäßen besteht und für die Aufrechterhaltung des Blutkreislaufs verantwortlich ist (flexicon doccheck, 20.10.2009)

Das kardiovaskuläre System lässt sich in ein Hochdrucksystem (linke Kammer in der Systole) und das Niederdrucksystem(rechter Vorhof, rechte Kammer) einteilen. Die Aufgabe des Hochdrucksystems ist die Versorgung der Gewebe mit Blut. Das Niederdrucksystem führt das Blut zum Herzen zurück. (Marès 2003, 249).

Über das kardiovaskuläre System kommt sauerstoffangereichertes Blut ins Muskelgewebe, wo der Sauerstoff zur Energiegewinnung vorbereitet wird. Gleichzeitig transportiert das Blut CO₂ zur Lunge und die Substrate (Glykogen, Fett, Eiweiß), Hormone und Mineralien zum Erfolgsorgan. Belastet man nun den Körper, so steigt die Sauerstoffanforderung im Muskelgewebe. Damit der Sauerstoffbedarf zur Energieherstellung gedeckt werden kann muss die Herzarbeit durch Erhöhung des Herzminutenvolumens (Q) intensiviert werden.

Das Herzminutenvolumen ist die Blutmenge, die das Herz pro Zeiteinheit fördert (Einheit: l/min). Das Q entspricht der vom Herzen in einer Minute ausgeworfenen Blutmenge. (Marès 2003, 254)

$Q = \text{Herzfrequenz} \times \text{Schlagvolumen}$

5.2 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz (Hf) ist eine der am meisten untersuchten Parameter in der Leistungsphysiologie, da sie eine verhältnismäßig leichte Größe darstellt und gut interpretierbar ist. Bei der Messung ist sie abhängig von der Körperposition (stehend, sitzend, liegend), der Belastungsart (statisch, dynamisch) dem Geschlecht, der körperlichen Fitness und der Umwelt (Hitze, Kälte, Höhe). Mit der Hf kann man die kardiovaskuläre Belastungen untersuchen und mit dem Energieumsatz in Verbindung bringen da sie eine enge Verbindung zum Stoffwechsel hat. Eine Vorhersage der maximalen Sauerstoffaufnahme ist möglich. Die Frequenzzunahme bei körperlicher Belastung gibt Auskunft über den momentanen Trainingszustand einer Person.

Die Herzgröße verändert sich mit zunehmendem Alter. Die Anzahl der Herzmuskelfasern bleibt im Verlaufe der Entwicklung gleich, es verändert sich Länge und Dicke. Durch die steigende Muskelfaserlänge kommt es zu einer Frequenzabnahme des Herzschlages. Aufgrund richtigen Trainings kommt es zusätzlich zu einer Vergrößerung des Herzzinnenraums und des Schlagvolumens wodurch sich die Herzarbeit ökonomisiert. Laut Martin et al (1999, 46) zeigen mehrere Studien, dass alle Parameter des Herzens eine Größen und Funktionszunahme in Abhängigkeit zum Alter haben. Der Abfall der Herzfrequenz ist vor allem in der Pubertät deutlich zu erkennen. Zwischen 10 und 18 Jahren kommt es bei beiden Geschlechtern, Mädchen und Jungen, zu einem Abfall von durchschnittlich 0,6 Schlägen / min pro Jahr. Wobei Mädchen bei gleichen Beanspruchungssituationen meist 5 Schläge höher liegen als Jungen.

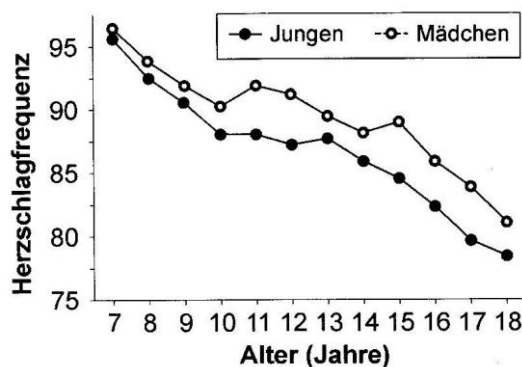


Abbildung 18 Mittelwerte der Herzschlagfrequenz bei Belastung (Martin, Nicolaus, Ostrowski, Rost 1999, 46)

Die maximale Herzfrequenz von Kindern und Jugendlichen kann Werte von 195 – 215 Schlägen / min erreichen. Geschlechterspezifische Unterschiede bei gleicher Belastungsintensität führt Bar – Or (1989, 26) auf das niedrigere Schlagvolumens bei Mädchen oder auch auf die geringere körperlichen Aktivität der Mädchen zurück.

Testet man die aerobe Belastbarkeit bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen bei möglichst vergleichbarer Belastung, so stellt man fest, dass die Herzfrequenz bei Kindern höher ist als bei Jugendlichen und diese wieder höher als bei Erwachsenen. Die Herzfrequenz bei submaximaler Belastung liegt näher bei ihrem Maximalwert als bei Erwachsenen. Hollmann (1991, 747) meint, dass auch bei maximaler Belastung die Herzfrequenz bei Kinder höher ist. Seine Untersuchungen zeigen, dass Mädchen und Jungen mit zehn Jahren auf einen Bereich zwischen 200 und 220 Schlägen pro Minute kommen.

Die kardiale Reserve ist die Differenz zwischen submaximaler und maximaler Herzfrequenz. Geht man nun von dieser, so schreibt Bar Or (1986, 27) Kindern eine kleinere Reserve zu. Die Größe der kardialen Reserve ist ein Maß für die aerobe Leistungsfähigkeit, da das Ausmaß des Anstiegs der Herzfrequenz zeigt was bis zum maximalen Bereich noch möglich ist. Je höher die Differenz, desto besser ist die aerobe Kapazität. Da Kinder schon bei submaximaler Belastung mit einer höheren Herzfrequenz reagieren, haben sie keine große Steigerungsmöglichkeit auf die maximal mögliche Herzfrequenz, was wiederum bedeuten würde, dass sie eine verminderte aerobe Leistungsfähigkeit haben.

5.3 Schlagvolumen

Das Schlagvolumen ist im Vergleich zwischen Kindern und Erwachsenen in allen Belastungsstufen deutlich niedriger. Je kleiner das Kind, desto größer ist der Unterschied. Ein ähnliches Ergebnis findet man im Geschlechtervergleich in dem Mädchen niedrigere Werte haben als Jungen. Während einer Belastung erfolgt beim Kind keine Volumenregulation wie beim Erwachsenen, sondern eine Herzfrequenzregulation, wodurch ein leicht erniedrigtes Herzminutenvolumen (Q) bei jeder Belastungsintensität entsteht (Bar – Or 1986, S24). Nach Angaben von Bar-Or (1986, S25) scheint bei Kindern die „hypokinetische“ Belastungsreaktion stark ausgeprägt zu sein, weshalb ein Verdacht einer niedrigen aeroben Kapazität bei Kindern aufkommt, da der Sauerstofftransport nicht ausreichend sein könnte. Deshalb stellt sich die Frage, ob das kleinere Schlagvolumen die aerobe Leistungsfähigkeit des Kindes beschränkt.

Das Schlagvolumen wird durch das Alter, die Körperposition und die Herzgröße beeinflusst. Krovetz et al beschreibt einen Korrelationskoeffizienten r zwischen 0,87 und 0,90 zwischen dem Schlagvolumen, der Körpermasse und Körperoberfläche, speziell in Rückenlage bei Kindern und Jugendlichen. Die Abhängigkeit zwischen Schlagvolumen und Körpergewicht wurde ebenfalls von Sproud und Simpson bestätigt. Das Schlagvolumen bei Kindern erreicht in Ruhe Werte von 40 – 45ml und kann bei Belastung auf Werte bis zu 63ml ansteigen. (Armstrong, Mechelen 2000, S 164)

Bei gesunden, untrainierten Kindern steigt das Schlagvolumen bei niedriger Belastungsintensität um 30 – 40 %. Bei größerer Belastung steigt es stetig an, bis es bei Ausbelastung zu einem Plateau kommt. Diese Reaktionen konnten laut Armstrong und Mechelen (2000, S166) in mehreren Studien beobachtet werden. Jungen haben ein größeres Schlagvolumen als Mädchen bei gleichen submaximalen Belastungen.

5.4 Herzminutenvolumen

Das Herzminutenvolumen (Q) ergibt sich aus der Herzfrequenz und dem Schlagvolumen und drückt sich durch die Formel $Q = Hf \times SV$ aus. Je höher das Herzminutenvolumen, desto größer ist der Sauerstofftransport und die aerobe Fähigkeit. Durch das Q wird die Pumpleistung des Herzens festgestellt, welche wiederum von der Größe des Herzens abhängig ist. Ausdauertrainierte Sportler haben vor allem bei höheren Belastungen ein größeres maximales Q als Untrainierte. Kinder weisen im Vergleich zu Erwachsenen ein niedriges Q auf. Dieses niedrige Herzminutenvolumen kann nicht vollständig durch die im Vergleich höhere Herzfrequenz ausgeglichen werden. Nach Bar-Or (1986, S25) liegt die Sauerstoffaufnahme bei Kindern um 1 – 3l/min niedriger als bei Erwachsenen. Dieses Merkmal verändert sich mit dem Alter, was bedeutet, dass mit der Zunahme der Herzgröße das Schlagvolumen und Q ansteigen. Geht man nun davon aus, dass die aerobe Kapazität hauptsächlich vom Q abhängt, so würde das bedeuten, dass Kinder eine geringere oder begrenzte aerobe Leistungsfähigkeit besitzen.

5.5 Herzvolumen

Der Quotient (Herzvolumen / kg KG) bleibt im Alter zwischen einem Jahr bis 40 Jahren bei einem durchschnittlichen Wert von 11,5ml annähernd gleich. Dies beweist, dass das Herzwachstum mit dem Körperlängenwachstum parallel einhergeht. Somit ergeben sich schon bei Kindern Unterschiede in den relativen Herzvolumina. Bei ausdauertrainierten Kindern konnten Keul, Simon u. Reindell (nach Klimt 1992, 146) feststellen, dass sie ein signifikant größeres relatives Herzvolumen von 14,3ml/kg KG gegenüber 12, 8ml/kg KG von nicht trainierten Kindern haben. Ebenfalls konnte festgestellt werden, dass sich mit zunehmendem Alter auch geschlechterspezifische Unterschiede entwickeln, die sich zugunsten der Jungen auswirken.

5.6 Die Veränderung kardialer Parameter während körperlicher Belastung

Das Verhältnis von Herzfrequenz, Schlagvolumen, Herzminutenvolumen und Energiestoffwechsel zueinander unterscheidet sich, bei steigender Belastung, von ihren Ruhewerten. Die Herzfrequenz unter maximaler Belastung bleibt bei Kindern unverändert,

sodass die Verbesserung des Q und des Schlagvolumens auf die Größe des linken Ventrikels zurückzuführen ist. Die Herzfrequenz bei Kindern steigt wie bei Erwachsenen stetig mit progressiver Belastung an. Ab einer bestimmten Belastungsstufe kommt es zu einer Abflachung der Herzfrequenzkurve, die laut Rowland (2005, S 117) bei Kindern bei 60% der VO_{2max} auftritt. Die Herzfrequenz sinkt mit der körperlichen Entwicklung, welches das Wachstum der Herzgröße und damit verbundener Steigerung des Schlagvolumens widerspiegelt. Nach Turley (1997) ist während submaximaler steady-state Belastung die Herzfrequenz und der peripherer Widerstand bei Kindern höher während Schlagvolumen und Herzminutenvolumen kleiner sind. Das maximale Schlagvolumen beträgt zwischen 58 und 63ml bei Jungen, Mädchen liegen für gewöhnlich 5ml niedriger. Ein Geschlechterunterscheid beim Q wird nicht beschrieben, diese steigt nur im Vergleich zur Sauerstoffaufnahme. Ein Anstieg des Q beginnt bei Belastung durch eine Steigerung der Herzfrequenz und des Schlagvolumens. Bei 50 – 60 % der max. VO_2 bildet das Schlagvolumen ein Plateau und jeder weitere Anstieg des Q kommt durch eine erhöhte Herzfrequenz.

Eine Studie von Turley und Wilmore (1997) untersuchte 24 Kinder, davon jeweils eine Hälfte Jungen und eine Hälfte Mädchen, bei maximaler und submaximaler Belastung. Die Kinder waren zwischen sieben und neun Jahren, körperlich aktiv, nahmen aber an keinem regelmäßigen Training teil. Die Probanden wurden bei sechs Laborbesuchen untersucht. Beim ersten wurden anthropometrische Werte und die VO_{2max} bestimmt.

Tabelle 12 - Physical characteristics of the subjects (aus Turley und Wilmore 1997, S.827)

	Boys		Girls	
VAR	MEAN	± SD	MEAN	± SD
Age (yr)	9.1	0.7	8.8	0.7
Height (cm)	134.4	6.3	132.6	6.3
Weight (kg)	29.5	4.3	28.5	4.8
Fat mass (kg)	4.8	1.8	4.9	2.0
Body fat (%)	15.8	4.3	16.8	4.4
FFM (kg)	24.7	3.1	23.6	3.1
BMI (kg x m ²)	16.2	1.5	16.2	2.0
BSA	1.06	0.10	1.02	0.11
LLV (L)	2.86	0.54	2.94	0.58
[Hb] (g x dL ⁻¹)	13.2*	0.8	13.5†	0.7

FFM, fat free mass; BMI, body mass index; BSA, body surface area; LLV, lean leg volume; [Hb], hamoglobin concentration.

*N=9, †N=8

Beim zweiten Besuch wurde das submaximale steady-state bei 4mph am Laufband getestet sowie eine Ausbelastung am Radergometer mit 20 – 30 Minuten Pause zwischen den Untersuchungen. Bei den folgenden vier Besuchen wurden die Probanden entweder am Laufband oder am Ergometer submaximal belastet, wobei am letzten Untersuchungstag eine M-Mode Echokardiographie gemacht wurde um die Dimensionen des linken Ventrikels in Ruhe bzw. unmittelbar vor Belastung zu bestimmen, sowie eine Blutprobe gleich anschließend an die Belastung für die Hämoglobinwerte. Der Untersuchungszeitraum betrug zwei bis vier Wochen, wobei zwischen den Tests mindestens 24 Stunden liegen mussten.

Tabelle 13 - Echokardiographic information (Turley und Wilmore 1997, S 827)

Variable	Boys (N = 12)		Girls (N = 12)	
	Mean	±SD	Mean	±SD
SWTd (mm)	6.6	0.7	6.3	0.8
LVIDd (mm)	40.9	3.3	38.3	2.9
PWTd (mm)	6.7	0.5	6.4	0.6
SWTs (mm)	9.1	0.7	8.7	0.4
LVIDs (mm)	26.9	2.3	25.9	1.8
PWTs (mm)	9.3	0.9	8.8	0.7
LVM (g)	78.8*	12.2	66.0	11.6
SF (%)	34.1	3.8	32.3	4.4

SWTd, SWTs, septal wall thickness in diastole and systole; LVIDd, LVIDs, left ventricular internal diameter in diastole and systole; PWTd, PWTs, posterior wall thickness in diastole and systole; LVM, left ventricular mass; SF, shortening fraction.

* Significant difference ($P \leq 0.05$) between boys and girls.

Der maximale Ausbelastungstest wurde nach einer drei bis fünf minütigen Eingewöhnungsphase bei 3mph und 0,0% Steigung begonnen. In der zweiten und dritten Minute wurde die Steigung um 2,5% erhöht, in der vierten Minute die Geschwindigkeit auf 5,0mph gesteigert. In der fünften Minute mussten die Probanden bei 5,5mph gehen oder laufen. In Minute sechs und sieben kommt es jeweils zu einer Steigerung von 2,5 % der Neigung. Anschließend wurde die Geschwindigkeit um 0,5mph/min erhöht bis zur vollkommenen Erschöpfung. Am Radergometer fuhren die Kinder in der ersten Minute bei 65 - 75 U/min. Ab der zweiten Minute kommt es zu einem Anstieg der Belastung um 20 Watt welche nachher minütlich um 15 Watt bis zu Ausbelastung erhöht wird.

Tabelle 14 - maximal treadmill and cycle ergometer data (Turley und Wilmore 1997, S927)

Variable	Boys (N = 12)		Girls (N = 12)	
	Mean	±SD	Mean	±SD
Treadmill				
VO _{2max} (L·min ⁻¹)	1.6*	0.21	1.51*	0.23
(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	54.4*	5.5	53.1*	4.4
HR (beats·min ⁻¹)	200*	11	202*	9
RER	1.08	0.06	1.10	0.05
Cycle ergometer				
VO _{2max} (L·min ⁻¹)	1.49	0.20	1.33	0.26
(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	50.7	4.6	47.0	5.5
HR (beats·min ⁻¹)	195	10	199	8
RER	1.09	0.05	1.12	0.07

VO₂, oxygen consumption; HR, heart rate; RER, respiratory exchange ratio.

* Significant difference ($P \leq 0.05$) between treadmill and cycle ergometry.

Auch die submaximalen Belastungen wurden sowohl auf dem Ergometer als auf dem Laufband getestet. Nach einer Aufwärmphase von drei bis fünf Minuten mussten die Probanden bei 3 – 5 mph gehen bzw. laufen. Von Ergebnissen einer Pilotstudie (nach Turley und Wilmore) wurde herausgefunden, dass Kinder nur in der Lage sind steady-state zu erreichen, wenn die am Laufband bei 3 und 5mph am selben Tag belastet werden. Daher erledigten die Probanden beim zweiten Besuch 20 – 30 Minuten vor dem VO_{2max} Test bei 4mph ihren submaximalen Test am Laufband. Am Ergometer wurden die Kinder bei 20, 40 und 60 W bei 65 ± 5 U/min belastet. Das submaximale steady-state wurde bei einer Herzfrequenzvarianz von ± 5 Schlägen/min und drei aufeinanderfolgenden 20 sec Werten für VO₂ und VCO₂ von $\pm 10\%$ definiert. Bei erreichtem steady-state wurden Q, HF, VO₂ und Blutdruckwerte bestimmt.

Wie in Tab 14 ersichtlich wurden bei der echokardiographischen Untersuchung keine hoch signifikanten Geschlechterunterschiede festgestellt. Einzig ein Trend zu höheren Werten der männlichen Probanden ist beobachtbar. Bei der linken Ventrikelmasse ohne Belastung fand man signifikant höhere Werte bei Jungen (78,8g) als bei Mädchen (66,6g). Die Reliabilität für alle kardiovaskulären Parameter sowohl beim Ergometertest als auch auf dem Laufband war bei beiden Geschlechtern sehr hoch. Maximale Ergometer und Laufbanddaten zeigt Tab 14. Es sind hier keine signifikanten Geschlechterunterschiede zu erkennen. Die Werte am Laufband sind bei VO_{2max} und bei der Herzfrequenz signifikant höher als am Radergometer.

Tabelle 15 zeigt submaximale kardiovaskuläre Daten von Mädchen und Jungen bei ansteigender Belastung. Es kommt zu einem Anstieg von Q, Hf und arteriovenöser Sauerstoffdifferenz ($a\text{-VO}_{2\text{Diff}}$) bei beiden Geschlechtern und beiden Untersuchungsmodalitäten. Der mittlere Blutdruck steigt mit der Belastung am Ergometer bei beiden und am Laufband nur bei Jungen an. Mädchen zeigten hier keinen signifikanten

Anstieg, der systolische Blutdruck veränderte sich nur bei 3 und 4mph, dann nicht mehr.

Tabelle 15 Submax treadmill and cycle ergometer cardiovascular data (Turley und Wilmore 1997, S828)

TABLE 5. Submaximal treadmill and cycle ergometer cardiovascular data.

Ergometer/Work Rate	$\dot{Q}$ (L·min ⁻¹)	SV (mL)	HR (beats·min ⁻¹)	a- $\dot{V}O_2$ diff (mL·100 mL ⁻¹)	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	MBP (mmHg)	TPR (units)
Boys								
CY 20 W	6.8 ± 1.0	60.5 ± 10.2	114.0 ± 12.0	8.2 ± 1.4	113.0 ± 9.9*	61.6 ± 3.9§	78.7 ± 5.8*	11.7 ± 1.5
CY 40 W	8.3 ± 1.2†	61.7 ± 11.7	135.8 ± 14.7†	9.6 ± 1.2†	122.8 ± 10.9*†	62.9 ± 6.3	82.9 ± 7.2*†	10.2 ± 1.4†
CY 60 W	9.4 ± 1.6†	61.9 ± 13.1	153.1 ± 14.9†	11.1 ± 1.4†	131.7 ± 8.9†	68.7 ± 7.3*†	89.7 ± 6.9*†	9.8 ± 1.4
TM 3 mph	6.7 ± 1.0	57.7 ± 9.3	116.5 ± 10.8	8.7 ± 0.8	122.0 ± 8.1	62.5 ± 4.4§	82.3 ± 4.9	12.6 ± 1.0
TM 4 mph	8.6 ± 0.9†	60.7 ± 7.5	142.9 ± 15.6*†	10.1 ± 1.1†	134.8 ± 14.1†	66.2 ± 10.8	89.1 ± 11.2†	10.4 ± 1.0†
TM 5 mph	10.1 ± 1.2†	60.5 ± 7.6	168.3 ± 13.7†	11.6 ± 0.8†	145.9 ± 10.6†	69.2 ± 9.4*	94.7 ± 8.8*†	9.5 ± 1.2
Girls								
CY 20 W	6.6 ± 0.5	56.3 ± 7.6	118.9 ± 12.2	7.8 ± 0.6	105.2 ± 57.1	57.1 ± 7.3	73.2 ± 5.9	11.2 ± 1.0
CY 40 W	8.1 ± 0.4†	57.8 ± 7.0	140.8 ± 15.9†	9.3 ± 0.7†	115.1 ± 6.4†	57.6 ± 7.2	76.7 ± 6.5†	9.6 ± 0.9†
CY 60 W	9.1 ± 0.8†	57.6 ± 9.2	159.7 ± 18.1†	10.8 ± 0.7†	127.0 ± 4.6†	61.2 ± 6.2	83.1 ± 4.5†	9.2 ± 0.9
TM 3 mph	6.5 ± 0.8	55.6 ± 8.5	118.2 ± 11.9	8.5 ± 0.6	115.3 ± 8.7	60.4 ± 6.5	78.6 ± 6.1	12.3 ± 1.4
TM 4 mph	8.5 ± 1.1†	54.9 ± 7.0	155.5 ± 11.7†	10.2 ± 0.7†	128.1 ± 10.7†	59.9 ± 8.7	82.6 ± 8.2	9.9 ± 1.0†
TM 5 mph	9.7 ± 1.12†	57.1 ± 7.9	171.5 ± 12.1†	11.6 ± 0.7†	136.5 ± 12.8	59.3 ± 10.2	84.9 ± 8.6	8.9 ± 1.0†

Values listed as mean ± SD. $\dot{Q}$, cardiac output; SV, stroke volume; HR, heart rate; a- $\dot{V}O_2$ diff, arterial-mixed venous oxygen difference; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; MBP, mean blood pressure; TPR, total peripheral resistance; CY, cycle ergometer; TM, treadmill.

* Significantly different ($P \leq 0.05$) from girls.

† Significantly different ($P \leq 0.05$) from the previous work rate.

§ Significantly different ($P \leq 0.05$) from third work rate.

Die einzige signifikante Differenz zwischen Jungen und Mädchen war das Blutdruckverhalten mit Ausnahme der 4mph Belastung am Laufband. Die Differenz des mittleren Blutdrucks bei den Geschlechtern ist mit einem signifikant höheren systolischen Blutdruck bei Jungen am Ergometer bei 20 und 40 Watt und dem signifikant höheren diastolische Blutdruck bei 60 Watt erklärbar. Trotz keiner signifikanten Unterschiede zeigt sich ein Trend bei den Geschlechtern. Die Herzfrequenz ist wie auch schon früher in dieser Arbeit erwähnt konsequent niedriger, das Schlagvolumen, die VO_2 und das Blutdruckverhalten höher bei Jungen. Die Tendenz des höheren SV und der niedrigeren Hf bei Jungen liegt wahrscheinlich am größeren LVM (linke Ventrikelgröße) und leicht erhöhten VO_{2max} Werten. Zwei Querschnittstudien von Rowland (2000) beschreiben eine höhere VO_{2max} bei ausdauertrainierten Kindern aufgrund ihres höheren Schlagvolumens. Aber ob diese Verbesserung der kardialen Kapazitäten ein Trainingseffekt ist oder genetische Faktoren dafür verantwortlich sind, kann in diesen Studien schwer ermittelt werden. Bei Erwachsenen ist der Anstieg der VO_{2max} abhängig von kardiovaskulären und peripheren Adaptationen, die sich im $\dot{Q}$ und der a- $\dot{V}O_{2Diff}$ widerspiegeln. zeigen. Folgende Studie von Obert et al. (2003) soll den Effekt von Ausdauertraining bei gesunden Kindern, bezogen auf die kardiovaskuläre Funktion, zeigen.

Obert, et al (2003) untersuchten 35 Kinder aus zwei unterschiedlichen Schulen. Zehn Mädchen und neun Jungen aus einer Schule trainierten 13 Wochen nach einem vorgegebenen Ausdauerprogramm. Eine weitere Gruppe von Kindern (sieben Mädchen, neun Jungen) der anderen Schule dient als Kontrollgruppe. Das Ausdauertraining wurde drei Mal pro Woche für ein bis eineinhalb Stunden durchgeführt. Schwerpunkt war eine aerobe

Belastung als Intervall oder Dauerlauftraining. Die Trainingsintensitäten wurden über die Herzfrequenz gesteuert und mussten über 90 Schläge / min haben oder bei 80% der individuellen maximalen Hf liegen. Von allen Kindern wurden anthropometrische Daten, eine M - Mode Echokardiographie, Blutwerte und respiratorische Daten aufgezeichnet.

Tabelle 16 subjects characteristics (nach Obert et al 2003, S202)

	Experimental group		Control group	
	Before	After	Before	After
Age (months)				
Boys	126 ± 4	130 ± 4 [*]	128 ± 4	132 ± 4 [*]
Girls	125 ± 3	130 ± 5 [*]	128 ± 6	132 ± 6 [*]
Body height (cm)				
Boys	142 ± 5	144 ± 6 [*]	143 ± 5	145 ± 5 [*]
Girls	140 ± 5	142 ± 5 [*]	138 ± 7	140 ± 8 [*]
Body mass (kg)				
Boys	37.5 ± 5.4	38.5 ± 5.3 [*]	36.9 ± 6.1	37.4 ± 6.0 [*]
Girls	36.7 ± 5.8	38.0 ± 6 [*]	32.2 ± 3.0	33.4 ± 4.1 [*]
Body fat mass (%)				
Boys	20.2 ± 6.8	20.2 ± 6.6	16.0 ± 6.6	15.6 ± 5.75
Girls	26.4 ± 6.7 ^{††}	25.8 ± 7.0 ^{††}	22.6 ± 4.2	22.5 ± 4.6 [†]
Leg muscle mass (kg)				
Boys	4.85 ± 0.52	4.87 ± 0.53	5.07 ± 0.70	5.09 ± 0.69
Girls	4.35 ± 0.48 [†]	4.36 ± 0.49 [†]	4.02 ± 0.49 [†]	4.05 ± 0.46
Haemoglobin (g dL⁻¹)				
Boys	13.6 ± 1.4	13.1 ± 0.7	13.8 ± 2.0	13.9 ± 1.2
Girls	13.3 ± 0.7	12.9 ± 1.0	14.7 ± 1.2	14.1 ± 1.3

^{*}P < 0.001 vs. prestudy period; [†]P < 0.05 and ^{††}P < 0.01 vs. boys

Zur Bestimmung der max. Hf mussten Kinder einen maximalen Ergometertest machen. Nach einem drei minütigen Warm-up bei 35 Watt wurde alle drei Minuten der Widerstand um fünf Watt erhöht, so lange bis die Kinder 70 U/min nicht mehr halten konnten. Die Echokardiographie wurde nach der Dopplermethode ausgewertet, die Atemparameter (VO₂; V_E; RER) mittels Gasanalyse ausgewertet. Blutproben wurden ausgewertet und der Blutdruck während der Belastung überprüft.

Die Ergebnisse in beiden Gruppen zeigen wie erwartet ein signifikanter Anstieg am Ende der Studie bei allen biometrischen Parametern. Es gab keine Geschlechterunterschiede beim Alter, der Größe oder dem Gewicht sowie der BSA (body surface area). Sowohl in der Experimentengruppe (EG) als auch in der Kontrollgruppe (KG) hatten Mädchen einen signifikant höheren Körperfettanteil und weniger Muskelmasse am Bein. Die Hämoglobinkonzentration hat sich in keiner der beiden Gruppen innerhalb der 13 Wochen verändert.

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse der metabolischen und kardiovaskulären Parameter

aufgelistet. Bei männlichen und weiblichen Probanden der EG hat das Training die VO_{2max} , das Q_{max} und SV_{max} unter maximaler Belastung gesteigert, sowie den diastolischen Blutdruck und den SVR (systolic ventricular resistance) gesenkt. Es wurde kein signifikanter Unterschied in maximaler Hf, $a-VO_{2Diff}$ und SAP (systolic pressure) gefunden. In Ruhe ist die Herzfrequenz der EG gesunken sowie das SV angestiegen.

Tabelle 17: resting and maximal metabolic and cardiovascular data (Obert et al. 2003, S203)

	Experimental group				Control Group			
	Rest		Maximal exercise		Rest		Maximal exercise	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
VO_2 (mL min ⁻¹ kg ⁻¹)								
Boys	7.0 ± 0.7	7.0 ± 0.6	44.1 ± 6.1	50.9 ± 6.7***	8.0 ± 1.9	7.5 ± 1.9	51.5 ± 6.3	50.3 ± 6.1
Girls	6.9 ± 1.3	6.7 ± 1.1	40.9 ± 8.9	44.2 ± 8.4†*	8.8 ± 1.8	8.8 ± 2.4	42.4 ± 5.6††	42.6 ± 5.7††
HR (beat min ⁻¹)								
Boys	86 ± 10	76 ± 11*	202 ± 7	201 ± 6	83 ± 17	81 ± 18	199 ± 9	197 ± 11
Girls	95 ± 8	86 ± 6*	202 ± 7	200 ± 5	84 ± 7	84 ± 9	204 ± 5	204 ± 6
Q-I (L min ⁻¹ BSA ⁻¹)								
Boys	3.3 ± 0.6	3.2 ± 0.6	10.5 ± 1.8	12.1 ± 1.5**	2.8 ± 0.5	2.7 ± 0.4	9.7 ± 0.8	9.8 ± 1.0
Girls	3.1 ± 0.5	3.1 ± 0.5	9.4 ± 1.4†	10.4 ± 1.0†**	2.9 ± 0.5	2.8 ± 0.6	9.4 ± 1.2†	9.4 ± 1.7†
SV-I (mL BSA ⁻¹)								
Boys	38.6 ± 7.4	43.1 ± 5.5*	52.2 ± 8.2	60.2 ± 7.2**	35.2 ± 6.3	34.8 ± 5.9	49.1 ± 4.8	49.6 ± 5.4
Girls	33.3 ± 6.2	36.1 ± 4.9*	46.5 ± 6.8†	51.9 ± 4.3†**	34.1 ± 6.1	32.9 ± 6.3	46.1 ± 6.0†	46.0 ± 8.7†
AVO-D (mL 100 mL ⁻¹)								
Boys	6.7 ± 1.8	6.8 ± 1.5	13.0 ± 2.1	13.1 ± 1.9	8.8 ± 2.1	8.5 ± 2.0	15.6 ± 1.5	15.2 ± 1.3
Girls	6.7 ± 0.9	6.7 ± 1.4	13.2 ± 1.6	13.0 ± 1.9	9.0 ± 2.8	9.5 ± 3.4	13.1 ± 2.8†	13.3 ± 1.9†
SBP (mmHg)								
Boys	114 ± 16	102 ± 8	139 ± 12	138 ± 15	97 ± 7	95 ± 8	121 ± 14	127 ± 17
Girls	107 ± 17	99 ± 11	126 ± 19	133 ± 18	101 ± 8	101 ± 12	135 ± 14	132 ± 15
DBP (mmHg)								
Boys	64 ± 7	64 ± 8	62 ± 7	58 ± 5**	63 ± 4	60 ± 4	57 ± 7	53 ± 7
Girls	59 ± 8†	58 ± 6†	61 ± 7	58 ± 6**	61 ± 9†	56 ± 7†	57 ± 7	55 ± 7
SVR (U.I.)								
Boys	20.8 ± 5.0	19.4 ± 3.5	7.1 ± 1.5	5.8 ± 0.9***	22.1 ± 5.5	21.2 ± 4.2	7.1 ± 0.9	6.7 ± 0.8
Girls	20.3 ± 4.2	18.7 ± 2.8	7.5 ± 1.2	6.6 ± 0.8†***	23.6 ± 5.0	23.7 ± 7.6	7.5 ± 0.7	7.5 ± 1.2

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ vs. prestudy period; † $P < 0.05$, †† $P < 0.01$ vs. boys.

VO_2 , oxygen uptake; HR, heart rate; Q-I, cardiac output indexed to body surface area; SV-I, stroke volume indexed to body surface area; AVO-D, arterio-venous oxygen difference; SBP and DBP, systolic and diastolic blood pressures, respectively; SVR, systemic vascular resistances.

Unter Berücksichtigung der Körpergröße haben sich in der Kontrollgruppe weder metabolische noch kardiovaskuläre Konstanten verändert. In beiden getesteten Gruppen existierte keine Geschlechterdifferenz bei der max. Hf, $a-VO_{2Diff}$, systolischem und diastolischem Blutdruck. Auffallend ist jedoch, dass Jungen sowohl in der VO_{2max} , Q_{max} als auch SV_{max} höhere Werte erzielten, Mädchen der EG Gruppe höhere SVR_{max} (systemic vascular resistance) hatten. In Ruhe unterschieden sich nur die DAP(diastolic pressure) Parameter zwischen den Geschlechtern. Das Schlagvolumen (siehe Abb. 18) hat sich weder bei Mädchen noch bei Jungen der EG wesentlich verändert. Nach einem anfänglichen Anstieg, bildet es ein Plateau, das bis zur vollkommenen Erschöpfung gehalten wird. Jedoch war bei beiden Geschlechtern das SV in Ruhe deutlich niedriger als bei submaximaler und maximaler Belastung. In der KG kam es zu keinen Veränderungen des Schlagvolumens.

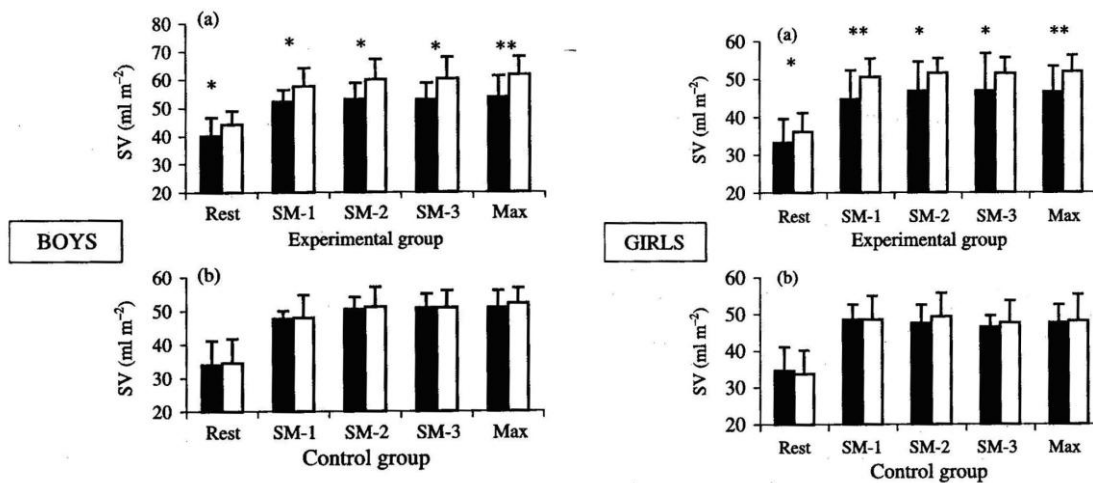


Abbildung 19 - SV kinetics boys and girls (Obert et al 2003, S204)

Bei beiden Geschlechtern fand man signifikante Veränderungen in der Hf und dem SV vor und nach dem Test, hinweisend darauf, dass bei gegebener VO_2 die Herzfrequenz nach dem Training niedriger und das SV höher war. Die echokardiographischen Daten blieben bei der KG unverändert. In der EG jedoch kam es zu einer signifikanten Vergrößerung der linken Ventrikelkammer sowie zu einer Hypertrophie, jedoch keine Verdickung der Herzwand. Die systolische Funktion wurde nicht beeinträchtigt während der diastolische Funktionsindex E und E/A nach dem Training angestiegen ist.

Tabelle 18: Echocardiography Doppler measurements (Obert et al. 2003, S205)

	Experimental group		Control group	
	Before	After	Before	After
LVEDd (cm BSA ^{-1/2})				
Boys	3.89 ± 0.09	4.11 ± 0.16**	3.93 ± 0.19	4.00 ± 0.22**
Girls	3.74 ± 0.15†	3.93 ± 0.19†**	3.79 ± 0.15†	3.86 ± 0.17†**
ST (cm BSA ^{-1/2})				
Boys	0.62 ± 0.10	0.53 ± 0.07	0.60 ± 0.07	0.59 ± 0.08
Girls	0.52 ± 0.06	0.51 ± 0.05	0.55 ± 0.06	0.51 ± 0.04
PWT (cm BSA ^{-1/2})				
Boys	0.57 ± 0.05	0.56 ± 0.07	0.56 ± 0.07	0.54 ± 0.06
Girls	0.50 ± 0.08†	0.50 ± 0.06†	0.52 ± 0.05†	0.55 ± 0.05†
LVM (g BSA ^{-3/2})				
Boys	50.6 ± 9.8	60.0 ± 6.6**	57.9 ± 11.0	61.4 ± 6.3
Girls	38.4 ± 7.2††	50.7 ± 6.1††**	47.1 ± 9.5††	52.1 ± 3.9††
SF (%)				
Boys	35.8 ± 5.7	33.8 ± 2.5	34.9 ± 3.2	33.2 ± 4.7
Girls	36.2 ± 4.4	34.8 ± 4.9	32.8 ± 3.3	33.7 ± 6.2
EF (%)				
Boys	73.0 ± 6.3	70.8 ± 3.4	72.2 ± 3.9	69.8 ± 6.0
Girls	73.7 ± 5.3	71.9 ± 6.2	69.5 ± 4.3	70.2 ± 8.0
E (m s ⁻¹)				
Boys	0.96 ± 0.11	1.05 ± 0.13*	0.91 ± 0.05	0.92 ± 0.08
Girls	0.89 ± 0.15	0.92 ± 0.12*	0.96 ± 0.11	0.92 ± 0.15
A (m s ⁻¹)				
Boys	0.52 ± 0.13	0.53 ± 0.17	0.42 ± 0.06	0.43 ± 0.06
Girls	0.49 ± 0.09	0.40 ± 0.06	0.48 ± 0.09	0.49 ± 0.09
E/A				
Boys	1.95 ± 0.49	2.16 ± 0.69*	2.18 ± 0.29	2.18 ± 0.36
Girls	1.86 ± 0.45	2.35 ± 0.38*	2.06 ± 0.36	1.91 ± 0.37

* $P < 0.05$, ** $P < 0.001$ vs. prestudy period; † $P < 0.05$, †† $P < 0.001$ vs. boys.

LVEDd, left ventricular end-diastolic diameter; ST, interventricular septal thickness; PWTd, end-diastolic posterior wall thickness; LVM, left ventricular mass; FS, shortening fraction; EF, ejection fraction; E, peak velocity of early diastolic rapid inflow; A, peak velocity of late diastolic rapid inflow.

Obert et. al (2003) meint, dass die VO_{2max} nur aufgrund des verbesserten Schlagvolumens steigt. Diese Adaptation ist geschlechterunabhängig ähnlich wie der Anstieg der Herzgröße, was ein Grund für das gesteigerte SV sein könnte. Das SV_{max} ist bei Jungen (+15%) größer als bei Mädchen (+11%) was ihre verbesserte maximale Sauerstoffaufnahme erklärt. Eine einzige weitere Längsschnittstudie hat den Effekt von Training auf die kardiale Funktion untersucht. Diese Studie von Eriksson et al. (1973) offenbart, dass aerobes Training nur Veränderungen des Schlagvolumens zeigt. Das SV wird durch viele Faktoren beeinflusst wie Füllungsphase, Kontraktilität, Kammerdimensionen, etc.

„Preload constitutes an undeniable parameter that influences cardiac filling and therefore SV [...] left ventricular enlargement constitutes another important mechanism by which SV could have improved“ (Obert et. al 2003, S204)

In seiner Studie ist eine signifikante Vergrößerung des linken Ventrikels sowohl im Bezug zur Größe als auch zur Masse erkennbar. Eine weitere Studie Oberts et al (2004) fand signifikante Unterschiede der linken Ventrikelgröße bei gut ausdauertrainierten Kindern. Die Unterteilung der Probanden fand in drei Gruppen je nach Aktivität statt. Die Gruppe mit den aktivsten Kindern wurden höhere LVIDd (LV internal dimension at end diastole), LVIDs (LV internal dimension at end systole), und LVM (left ventricular mass) nachgewiesen, allerdings gab es keine Unterschiede der Gruppen bezüglich der ST (interventricular septal thickness) und der PWT (posterior wall thickness). Darüber hinaus fand man in Oberts Studie (2003), dass die Parameter $pLVEDd$ und pSV bzw. pVO_{2max} stark korrelieren.

Tabelle 19: Matrix of correlations between percentage variations of cardiovascular variables after training in the trained group (Obert et al. 2003, S205)

	pVO_{2max}	pSV_{rest}	pSV_{max}	pQ_{max}	$pAVO-D_{max}$	$pSVR_{max}$	pE	pA	pE/A	$pLVEDd$	pST	$pPWTd$
pSV_{rest}	0.47**	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
pSV_{max}	0.55***	0.73***	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
pQ_{max}	0.58***	0.71***	0.98***	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—
$pAVO-D_{max}$	0.17	-0.42*	-0.69***	-0.68***	1.00	—	—	—	—	—	—	—
$pSVR_{max}$	-0.47**	-0.52***	-0.85***	-0.86***	0.55***	1.00	—	—	—	—	—	—
pE	0.12	0.20	0.12	0.12	-0.07	-0.24	1.00	—	—	—	—	—
pA	-0.05	-0.14	-0.12	-0.10	0.09	0.05	0.02	1.00	—	—	—	—
pE/A	0.10	0.23	0.19	0.17	-0.13	0.17	0.39*	-0.88*	1.00	—	—	—
$pLVEDd$	0.56***	0.35*	0.51**	0.50**	-0.12	-0.60***	0.18	-0.25	0.31	1.00	—	—
pST	-0.22	-0.11	-0.11	-0.15	-0.07	0.14	0.14	-0.30	0.31	-0.28	1.00	—
$pPWT$	-0.21	-0.26	-0.13	-0.16	0.04	0.12	0.06	0.09	0.01	-0.19	0.24	1.00
$pLVM$	0.23	0.18	0.31	0.27	-0.12	-0.35	0.22	-0.42*	0.50*	0.65***	0.39*	0.37*

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

VO_{2max} , maximal oxygen uptake; Q, cardiac output; SV, stroke volume; AVO-D, arterio-venous oxygen difference; SVR, systemic vascular resistances; E, peak velocity of early diastolic rapid inflow; A, peak velocity of late diastolic rapid inflow; LVEDd, end-diastolic left ventricular internal diameter; ST, interventricular septal thickness; PWT, end-diastolic posterior wall thickness; LVM, left ventricular mass.

Die Entwicklung des linken Ventrikels war bei Mädchen und Jungen ähnlich und stimmt laut Obert (2003) mit anderen Studien überein. Es gibt zwei Ansätze, die die Vergrößerung des

Ventrikels beschreiben. Der erste von Moore und Palmer (1999), die bei Tieren durch vermehrte Ausdauerbelastung ein Wachstum der Myocyten im Herzen festgestellt haben. Das führt zu einer Vergrößerung der Herzkammer führt und das wiederum zu einem gesteigerten Schlagvolumen. Ein weiterer Ansatz ist, dass die LVED Adaptation durch eine erhöhte Diastole auftritt. Klar erkennbar ist, dass das SV in der ersten submaximalen Belastungsstufe nicht ansteigt und während maximaler Belastung stabil bleibt. Ebenfalls auffällig ist ein hoher signifikanter Zusammenhang zwischen $pSV_{\max}$ und pSV_{rest} . Eine weitere Studie von Nottin et al (2002) zeigt, dass bei ausdauertrainierten Kindern im Vergleich zur Kontrollgruppe das SV aufgrund des höheren LVEDd von Ruhe zur Maximalbelastung höher ist. Der periphere Widerstand ist ein weiterer Einflussfaktor.

„Systemic vascular resistance, used as an index of afterload, can be considered as another factor affecting SV. “ (Obert et. al 2003, 206)

Es gab eine beobachtbar hohe Signifikanz der $pSV_{\max}$ und der pSVR, was bedeutet, dass eine Verminderung des peripheren Widerstands eine Steigerung des SV hervorruft. Zusätzlich fanden Obert et. al (2003) heraus, dass bei Jungen der Abfall größer ist als bei Mädchen was deren größeres $SV_{\max}$ nach dem Training erklären würde. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu Erikssons et. al (nach Obert et al 2003) Untersuchungen, die ähnliche $SVR_{\max}$ Werte für die Trainingsgruppe und die Kontrollgruppe bekamen. Dennoch muss erwähnt werden, dass wie es nach dem Ausdauertraining, wie bei Erwachsenen, zu peripheren vaskulären Veränderungen gekommen ist, induziert durch einen Anstieg der arteriellen Füllung und einer Blutgefäßerweiterung der aktiven Muskulatur. In Übereinstimmung mit weiteren Studien (Rowland et. al (2000), Nottin et. al (2002)) fand man keinen Trainingseffekt bei der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz bei beiden Geschlechtern. Zusammenfassend kann man sagen, dass bei dieser Studie Kinder ihre Sauerstoffaufnahme durch aerobes Training verbessern konnten. Bei Mädchen und Jungen erfolgte die Verbesserung der $VO_{2\max}$ durch eine Vergrößerung des Schlagvolumens, welches durch eine optimierte Füllungs- und Auswurfsphase und durch eine Vergrößerung und des linken Ventrikels erreicht wird. Die höheren Werte der Jungen werden durch ihr höheres SV begründet.

Im Vergleich zu Erwachsenen berichten Turley und Wilmore (1997), das Kinder ein niedrigeres SV haben als Erwachsene, was dazu führt, dass auch ihr Herzminutenvolumen geringer ist. Das niedrigere Schlagvolumen wird durch eine höhere Herzfrequenz ausgeglichen. Turley und Wilmore (1997) untersuchten 24 Kinder im Alter zwischen sieben und neun Jahren (zwölf Jungen, zwölf Mädchen) und 24 Erwachsene zwischen 19 und 26 Jahren (zwölf Männer, zwölf Frauen). Alle Probanden waren körperlich aktiv, nahmen aber an keinem regelmäßigen Training teil. Das Studiendesign verlangte sechs Besuche im

Labor. In der ersten Untersuchung wurden die VO_{2max} und anthropometrische Daten bestimmt. Kinder wurden beim zweiten Besuch submaximal am Laufband bei 4mph und am Ergometer belastet. Erwachsene hatten einen Maximaltest am Ergometer. Die darauffolgenden Untersuchungen wurden bei drei unterschiedlichen submaximalen Belastungen am Ergometer gemacht um eine Regressionsgerade für einen breiten Bereich der VO_2 zu erhalten. Die Ventrikeldimensionen wurden beim letzten Besuch über eine M-mode Echokardiographie gemessen. Ebenso wurden in den Blutwerten vor und nach der Belastung die Hämoglobinwerte zu bestimmt, damit das Herzminutenvolumen kalkuliert werden konnte.

Am Laufband wurden Kinder bei 3.0mph bei 0% Steigung in der ersten Minute belastet. Anschließend kam zu einem 2,5% Anstieg der Steigung in Minute zwei und drei. Bei Beginn der vierten Minute wurde die Geschwindigkeit auf 5mph angehoben und eine weitere Minute auf 5,5mph. In Minute sechs und sieben kam es zu einem weiteren Anstieg um 2,5%. Jede weitere Minute wurde die Geschwindigkeit um 0,5 mph bis zu maximalen Leistung der Kinder erhöht. Das Belastungsprotokoll der Erwachsenen begann mit 3mph in der ersten Minute mit einem sukzessiven Anstieg der Geschwindigkeit von 0,5mph bis zu 6,5 – 7,5 mph abhängig von der körperlichen Fitness der Probanden. Nach dem Erreichen der maximalen Geschwindigkeit wurde die Steigung um 2,5 % bis zur Erschöpfung erhöht.

Auf dem Ergometer wurden unterschiedliche Belastungsprotokolle für Kinder und Erwachsene gewählt. Kinder kurbelten ohne Widerstand bei 65 – 75 U/min in der ersten Minute. Ab der zweiten Minute wurde um 20 Watt erhöht, mit anschließender Erhöhung von 15 W pro Minute bis zu Ausbelastung. Erwachsene musste bei gleicher Umdrehungszahl bei 50 Watt beginnen und ihre Stufen wurden jeweils um 25 Watt pro Minute erhöht.

Die submaximalen Tests am Laufband wurden bei 3,0, 4,0 und 5,0mph bei Kindern und bei 3,0 und 5,0mph bei Erwachsenen bei ca. 60% der VO_{2max} gemacht. Dieses Belastungsprotokoll wurde so gewählt um bei relativ gleicher Belastung von Kindern und Erwachsene die Werte vergleichen zu können. Am Ergometer trainierten die Kinder bei 20, 40 und 60 Watt während Erwachsene bei 40 und 60 Watt bei ca. 60 % der VO_{2max} belastet wurden. Beide Gruppen mussten bei 65 ± 5 U / min treten. Submaximale und metabolische Daten wurden während der steady-state Phase bestimmt. Das erreichte steady-state wurde wie folgt definiert: Die Herzfrequenzaktivität bei ± 5 Schlägen / min bleibt und drei aufeinanderfolgende 20 sec für VO_2 und CO_2 Produktion bei ± 10 % blieben. Im Durchschnitt brauchten beide Gruppen drei bis sechs Minuten um ein steady-state zu erreichen welches sie 14 – 18 Minuten halten konnten.

In Tabelle 20 findet man die Auflistung der körperlichen Daten der Probanden. Kinder haben

in allen Variablen signifikant niedrigere Werte als Erwachsene mit Ausnahme des relativen Körperfett und der Verkürzungszeit. Der relative Körperfettanteil war bei Frauen am höchsten und im Vergleich zwischen Männer und Jungen gab es keinen signifikanten Unterschied.

Tabelle 20: physical characteristics of subjects (Turley and Wilmore 1997, S 951)

Variable	Boys	Girls	Men	Women
Age, yr ^f	9.1 ± 0.7	8.8 ± 0.7	22.8 ± 2.0	23.6 ± 2.1
Height, cm ^{a,f}	134.4 ± 6.3	132.6 ± 6.3	180.6 ± 4.2	166.0 ± 3.1
Weight, kg ^{a,f}	29.5 ± 4.3	28.5 ± 4.8	80.0 ± 5.0	63.3 ± 8.2
BMI, kg/m ² ^f	16.2 ± 1.5	16.2 ± 2.0	24.6 ± 1.4	22.9 ± 2.5
BSA ^{a,f}	1.04 ± 0.10	1.02 ± 0.11	2.01 ± 0.08	1.71 ± 0.13
Fat, % ^{a,c,d,e}	15.8 ± 4.3	16.8 ± 4.4	13.6 ± 2.9	23.1 ± 5.2
Fat mass ^{a,f}	4.8 ± 1.8	4.9 ± 2.0	10.8 ± 2.7	14.8 ± 4.6
FFM, kg ^{a,f}	24.7 ± 3.1	23.6 ± 3.1	69.3 ± 4.6	48.5 ± 5.3
[Hb], g/dl ^{a,b,c}	13.2 ± 0.8*	13.5 ± 0.7†	15.9 ± 1.2	14.3 ± 1.0
LVM, g ^{a,f}	78.8 ± 12.2	66.0 ± 11.6	202.5 ± 26.9	140.6 ± 31.0
SF, %	34.1 ± 3.8	32.3 ± 4.4	32.9 ± 5.1	32.1 ± 3.2

Values are means ± SD. BMI, body mass index; BSA, body surface area; FFM, fat free mass; [Hb], hemoglobin concentration; LVM, left ventricular mass; SF, shortening fraction. * $n = 9$; † $n = 8$. Significant difference ($P \leq 0.05$): ^abetween men and women; ^bbetween men and boys; ^cbetween men and girls; ^dbetween women and boys; ^ebetween women and girls; ^fbetween both men and women compared with both boys and girls.

Die $\dot{V}O_{2\max}$ war signifikant höher bei Männern im Vergleich zu Frauen, Jungen gegenüber Mädchen und Frauen gegenüber Kindern. Die relative $\dot{V}O_{2\max}$ unterschied sich zwischen den Kindern und im Vergleich Kinder zu Männern nicht, war aber wesentlich niedriger bei Frauen. Die maximale Herzfrequenz war ebenso signifikant niedriger bei Frauen in der Gegenüberstellung zu den anderen Gruppen.

Tabelle 21: Treadmill and cycle ergometer maximal data (Turley und Wilmore 1997, S 951)

Variable	Boys	Girls	Men	Women
Treadmill				
$\dot{V}O_{2\max}$, l/min ^{a,f}	1.60 ± 0.21	1.51 ± 0.23	4.23 ± 0.52	2.95 ± 0.44
$\dot{V}O_{2\max}$, ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ ^{a,d,e}	54.4 ± 5.5	53.1 ± 4.4	53.2 ± 5.3	46.9 ± 4.3
HR, beats/min ^{d,e}	200 ± 11	202 ± 9	198 ± 10	192 ± 6
RER ^f	1.08 ± 0.06	1.10 ± 0.05	1.20 ± 0.06	1.20 ± 0.06
Cycle ergometer				
$\dot{V}O_{2\max}$, l/min ^{a,f}	1.49 ± 0.20	1.33 ± 0.26	3.93 ± 0.64	2.66 ± 0.52
$\dot{V}O_{2\max}$, ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ ^{a,d,e}	50.7 ± 4.6	47.0 ± 5.5	48.9 ± 6.7	41.9 ± 5.4
HR, beats/min ^{d,e}	195 ± 10	199 ± 8	192 ± 10	185 ± 8
RER ^f	1.09 ± 0.05	1.12 ± 0.07	1.21 ± 0.05	1.24 ± 0.06

Values are means ± SD. $\dot{V}O_{2\max}$, maximal O₂ consumption; HR, heart rate; RER, respiratory exchange ratio. Significant difference ($P \leq 0.05$): ^abetween men and women; ^bbetween men and boys; ^cbetween men and girls; ^dbetween women and boys; ^ebetween women and girls; ^fbetween both men and women compared with both boys and girls.

In beiden Gruppen gab es signifikante Differenzen der Sauerstoffaufnahme bei gleicher Belastung sowohl am Ergometer als auch auf dem Laufband. In Tab. 23 und 24 finden sich

die Ergebnisse der Laufband und Radergometer Tests. Um die signifikanten Differenzen der kardiovaskulären Veränderungen zwischen den Gruppen bei äquivalenten $\dot{V}O_2$ Stufen zu vergleichen wurden Regressionsgeraden erstellt und statistisch verglichen.

Tabelle 22: Cycle ergometer and treadmill submaximal metabolic and cardiovascular data by work rates for boys and men (Turley und Wilmore 1997, S952)

Ergometer/Work Rate	$\dot{V}O_2$, l/min	$\dot{V}O_2$, ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	$\dot{V}O_2$, % $\dot{V}O_{2max}$	RER	$\dot{Q}$, l/min	SV, ml	HR, beats/min	(a- $\bar{v}$) O_2 , ml/100 ml	TPR, units	SBP, mmHg	DBP, mmHg
Boys											
Cycle 20 W	0.55 ± 0.06	18.6 ± 2.1	37.4 ± 5.0	0.90 ± 0.03	6.8 ± 1.0	60.5 ± 10.2	114.0 ± 12.0	8.2 ± 1.4	11.7 ± 1.5	113.0 ± 9.9	61.6 ± 3.9
Cycle 40 W	0.78 ± 0.06*	26.5 ± 3.1*	53.1 ± 6.9*	0.91 ± 0.03*	8.3 ± 1.2*	61.7 ± 11.7*	135.8 ± 14.7*	9.6 ± 1.2*	10.2 ± 1.4*	122.8 ± 10.9*	62.9 ± 6.3*
Cycle 60 W	1.02 ± 0.06*	34.7 ± 4.7*	69.5 ± 9.0*	0.93 ± 0.04	9.4 ± 1.6*	61.9 ± 13.1*	153.1 ± 14.9*	11.1 ± 1.4*	9.8 ± 1.4*	131.7 ± 8.9*	68.7 ± 7.3
Tm 3 mph	0.57 ± 0.07*	19.3 ± 1.4*	35.7 ± 3.6*	0.90 ± 0.03	6.7 ± 1.0*	57.7 ± 9.3*	116.0 ± 10.8*	8.7 ± 0.8	12.6 ± 1.6*	122.0 ± 8.1*	62.5 ± 4.4*
Tm 4 mph	0.86 ± 0.10	30.1 ± 5.1	54.7 ± 8.5	0.91 ± 0.05	8.6 ± 0.9	60.7 ± 7.5	142.9 ± 15.6	10.1 ± 1.1	10.4 ± 1.0	134.8 ± 14.1	66.2 ± 10.8
Tm 5 mph	1.17 ± 0.14*	39.3 ± 2.6*	72.8 ± 7.0*	0.94 ± 0.03	10.1 ± 1.2*	60.5 ± 7.6*	168.3 ± 13.7*	11.6 ± 0.8*	9.5 ± 1.2*	145.9 ± 10.6*	69.2 ± 9.4
Men											
Cycle 40 W	0.93 ± 0.07	11.6 ± 0.9	24.0 ± 3.6	0.89 ± 0.02	11.4 ± 1.4	129.4 ± 22.2	91.8 ± 9.6	8.2 ± 1.0	8.5 ± 1.0	140.5 ± 13.1	72.4 ± 5.2
Cycle 60 W	1.09 ± 0.07	13.7 ± 1.0	28.3 ± 4.4	0.91 ± 0.02	12.4 ± 1.6	126.8 ± 20.5	97.8 ± 10.5	8.9 ± 1.0	7.9 ± 0.7	147.1 ± 13.5	72.0 ± 6.1
Cycle 60%	2.44 ± 0.37	30.5 ± 3.8	62.1 ± 2.7	0.97 ± 0.03	19.7 ± 3.0	136.1 ± 25.5	146.2 ± 11.5	12.4 ± 1.2	5.9 ± 0.7	191.4 ± 22.7	77.4 ± 7.3
Tm 3 mph	1.02 ± 0.10	12.8 ± 0.8	24.1 ± 2.4	0.89 ± 0.03	12.3 ± 1.6	135.7 ± 24.6	92.0 ± 10.4	8.4 ± 0.9	7.9 ± 1.0	144.4 ± 11.6	70.1 ± 6.1
Tm 5 mph	2.43 ± 0.23	30.3 ± 1.7	57.6 ± 6.8	0.93 ± 0.02	19.3 ± 2.1	133.7 ± 23.8	146.2 ± 15.5	12.7 ± 1.3	5.5 ± 0.8	172.9 ± 20.9	68.9 ± 9.3
Tm 60%	2.61 ± 0.23	32.7 ± 2.2	61.7 ± 3.4	0.93 ± 0.02	19.8 ± 2.6	128.0 ± 26.7	153.5 ± 12.2	13.3 ± 1.0	5.4 ± 1.0	171.8 ± 13.7	69.8 ± 12.3

Values are means ± SD. Cycle, cycle ergometer; W, watts; Tm, treadmill; mph, miles/h; 60%, 60% maximal $\dot{V}O_2$ consumption ($\dot{V}O_{2max}$). SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure. *Significantly different ($P \leq 0.05$) from men at same work rate on same exercise modality.

Tabelle 23: Cycle ergometer and treadmill submaximal metabolic and cardiovascular data by work rates for girl and women (Turley und Wilmore 1997, S953)

Ergometer/Work Rate	$\dot{V}O_2$, l/min	$\dot{V}O_2$, ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	$\dot{V}O_2$, % $\dot{V}O_{2max}$	RER	$\dot{Q}$, l/min	SV, ml	HR, beats/min	(a- $\bar{v}$) O_2 , ml/100 ml	TPR, units	SBP, mmHg	DBP, mmHg
Girls											
Cycle 20 W	0.51 ± 0.05	18.3 ± 3.0	39.8 ± 8.8	0.90 ± 0.03	6.6 ± 0.5	56.3 ± 7.6	118.9 ± 12.2	7.8 ± 0.6	11.2 ± 1.0	105.2 ± 57.1	57.1 ± 7.3
Cycle 40 W	0.75 ± 0.06	26.7 ± 5.0*	57.9 ± 13.9*	0.91 ± 0.03	8.1 ± 0.4*	57.8 ± 7.0*	140.8 ± 15.9*	9.3 ± 0.7*	9.6 ± 0.9	115.1 ± 6.4*	57.6 ± 7.2*
Cycle 60 W	0.98 ± 0.06	33.9 ± 5.3*	72.0 ± 8.0*	0.93 ± 0.05	9.1 ± 0.8*	57.6 ± 9.2*	159.7 ± 18.1*	10.8 ± 0.7*	9.2 ± 0.9	127.0 ± 4.6	61.2 ± 6.2*
Tm 3 mph	0.55 ± 0.07*	19.4 ± 2.0*	36.7 ± 3.7*	0.89 ± 0.03	6.5 ± 0.8*	55.6 ± 8.5*	118.2 ± 11.9*	8.5 ± 0.6	12.3 ± 1.4*	115.3 ± 8.7*	60.4 ± 6.5*
Tm 4 mph	0.87 ± 0.15	30.8 ± 4.3	58.4 ± 9.3	0.93 ± 0.04	8.5 ± 1.1	54.9 ± 7.0	155.5 ± 11.7	10.2 ± 0.7	9.9 ± 1.8	128.1 ± 10.7	59.9 ± 8.7
Tm 5 mph	1.13 ± 0.14*	39.5 ± 3.0*	74.7 ± 5.2*	0.93 ± 0.03	9.7 ± 1.12*	57.1 ± 7.9*	171.5 ± 12.1*	11.6 ± 0.7*	8.9 ± 1.0*	136.5 ± 12.8*	59.3 ± 10.2
Women											
Cycle 40 W	0.79 ± 0.05	12.6 ± 0.9	30.6 ± 5.2	0.90 ± 0.05	9.6 ± 1.0	97.9 ± 9.1	94.8 ± 11.8	8.3 ± 0.8	9.3 ± 0.9	127.1 ± 13.7	68.8 ± 10.5
Cycle 60 W	0.97 ± 0.05	15.4 ± 1.4	37.6 ± 7.0	0.92 ± 0.04	10.6 ± 1.1	102.1 ± 10.7	106.0 ± 11.5	9.2 ± 0.8	8.8 ± 1.1	135.0 ± 12.3	70.8 ± 9.6
Cycle 60%	1.69 ± 0.32	26.6 ± 3.3	63.6 ± 1.5	0.98 ± 0.04	14.3 ± 1.6	100.0 ± 1.6	143.7 ± 9.4	11.8 ± 1.2	7.3 ± 0.8	163.4 ± 19.2	73.8 ± 9.3
Tm 3 mph	0.81 ± 0.13	12.8 ± 0.9	27.6 ± 3.8	0.88 ± 0.04	9.6 ± 1.4	100.4 ± 14.8	96.3 ± 13.9	8.5 ± 0.7	9.5 ± 1.4	132.1 ± 15.3	68.5 ± 10.1
Tm 5 mph	1.85 ± 0.25	29.4 ± 2.3	63.3 ± 9.9	0.94 ± 0.04	14.9 ± 1.6	101.9 ± 12.5	147.3 ± 16.2	12.5 ± 1.1	6.6 ± 0.9	154.7 ± 14.4	68.1 ± 11.8
Tm 60%	1.81 ± 0.26	28.6 ± 3.1	61.0 ± 2.1	0.92 ± 0.02	14.7 ± 1.8	98.6 ± 13.6	149.3 ± 10.5	12.3 ± 1.0	7.0 ± 1.3	158.5 ± 17.2	71.5 ± 13.4

Values are means ± SD. Definitions as in Tables 1–4. *Significantly different ($P \leq 0.05$) from women at same work rate on same exercise modality.

Das Herzminutenvolumen bei bestimmter $\dot{V}O_2$ war bei Jungen niedriger als bei Männern und

bei Mädchen minder als bei Frauen, sowohl am Ergometer als auch am Laufband. In den Kurven der Abbildung 20 erkennt man, dass die Kinder deutlich niedrigere Werte haben als Erwachsene in beiden Belastungsmodalitäten.

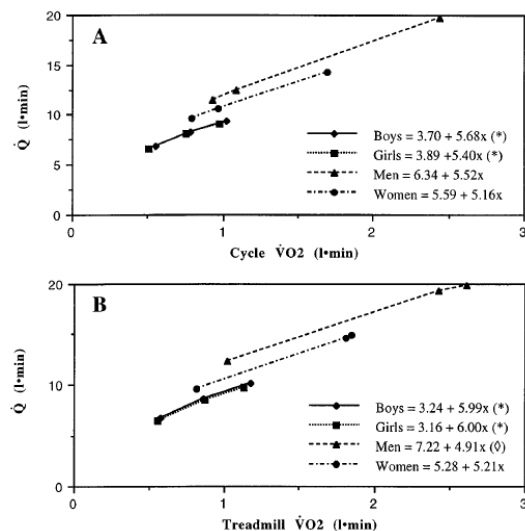


Fig. 1. Cardiac output ($\dot{Q}$) on O_2 consumption ($\dot{V}O_2$) for cycle ergometer (A) and treadmill (B). Insets: regression equations used in statistical analysis. * Intercept significantly different from corresponding adult value; $P \leq 0.05$. ◊ Intercept significantly different from women; $P \leq 0.05$.

Abbildung 20: Cardiac output (Q) on O_2 consumption ($\dot{V}O_2$) for cycle ergometer (A) and treadmill (B) (Turley und Wilmore 1997, S.953)

Bei der mittleren Herzfrequenz gab es keine signifikanten Unterschiede der Regressionsgeraden zwischen Männern und Jungen sowie Mädchen und Frauen. Die Gerade der männlichen Probanden war signifikant höher als die der weiblichen.

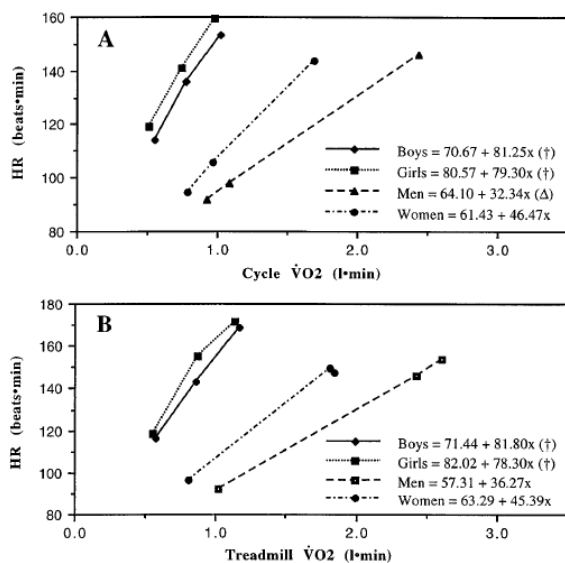


Fig. 2. Heart rate (HR) on $\dot{V}O_2$ for cycle ergometer (A) and treadmill (B). Insets: regression equations used in statistical analysis. † Slope significantly different from corresponding adult value; $P \leq 0.05$. Δ Slope significantly different from women; $P \leq 0.05$.

Abbildung 21: heart rate (HR) on $\dot{V}O_2$ for cycle ergometer (A) and treadmill (B)

In Bezug auf das SV bei gegebener $\dot{V}O_2$ war der Abschnitt zwischen Jungen vs. Männern und Mädchen vs. Frauen signifikant niedriger in beiden Modalitäten obwohl die Kurven dieser Beziehungen zwischen den Gruppen nicht unterschiedlich waren.

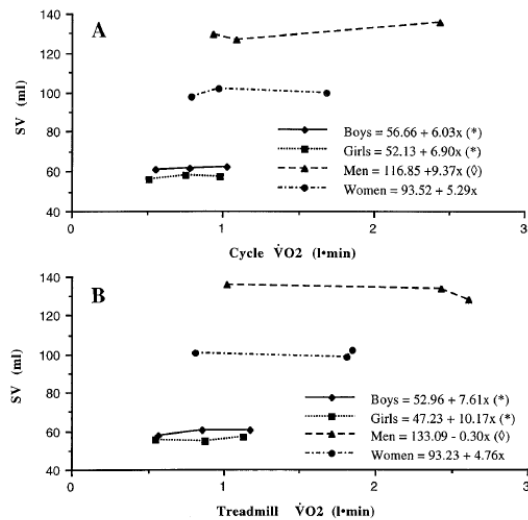


Fig. 3. Stroke volume (SV) on $\dot{V}O_2$ for cycle ergometer (A) and treadmill (B). Insets: regression equations used in statistical analysis. * Intercept significantly different from corresponding adult value; $P \leq 0.05$. ◇ Intercept significantly different from women; $P \leq 0.05$.

Abbildung 22: Stroke volume (SV) on $\dot{V}O_2$ for cycle ergometer (A) and treadmill (B) (Turley und Wilmore 1997, S954)

Die folgende Abbildung 23 zeigt die $a\text{-}\dot{V}O_{2\text{Diff}}$ zu $\dot{V}O_2$ Beziehung in allen Gruppen. Die Kurve der Jungen ist deutlich höher als die der Männer, ebenso verhält es sich bei den weiblichen Probanden.

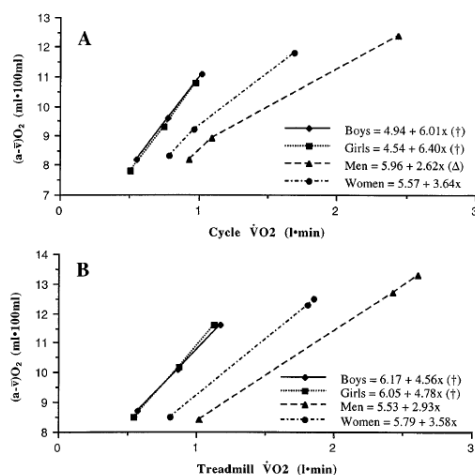


Fig. 4. Arterial-mixed venous O_2 difference $[(a-v)\dot{V}O_2]$ on $\dot{V}O_2$ for cycle ergometer (A) and treadmill (B). Insets: regression equations used in statistical analysis. † Slope significantly different from corresponding adult value; $P \leq 0.05$. Δ Slope significantly different from women; $P \leq 0.05$.

Abbildung 23: Aterial-mixed venous O_2 difference ($a\text{-}v \dot{V}O_2$) on $\dot{V}O_2$ for cycle ergometer (A) and treadmill (B) (Turley und Wilmore 1997, S954)

Der periphere Widerstand war bei Jungen und Mädchen ebenfalls signifikant höher als bei Männern und Frauen. Jungen erreichten bei diesem Parameter im Vergleich zu Mädchen signifikant höhere Werte.

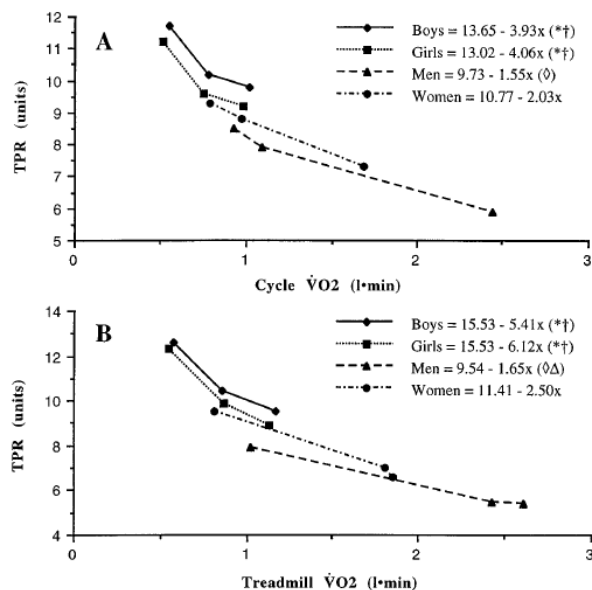


Fig. 5. Total peripheral resistance (TPR) on $\dot{V}O_2$ for cycle ergometer (A) and treadmill (B). Insets: regression equations used in statistical analysis. * Intercept significantly different from corresponding adult value; $P \leq 0.05$. † Slope significantly different from corresponding adult value; $P \leq 0.05$. ◇ Intercept significantly different from women; $P \leq 0.05$. Δ Slope significantly different from women; $P \leq 0.05$.

Abbildung 24: Total peripheral resistance (TPR) on VO_2 for cycle ergometer (A) and treadmill (B) (Turley und Wilmore 1997, S954)

Die Ergebnisse dieser Studie weisen auf, dass das Q von Kindern bei vorgegebener VO_2 ist signifikant niedriger als bei Erwachsenen, sowohl am Laufband als auch auf dem Ergometer. Das niedrigere Q begründen die Autoren mit einem niedrigeren Schlagvolumen der Kinder welches die gesteigerte Herzfrequenz nicht kompensieren kann. Die höheren $a-VO_{2Diff}$ Werte sollen das niedrigere Q kompensieren, wobei bei dieser Interpretation die Rezirkulationszeiten beachtet werden müssen. Unterschiedliche Rückführungszeiten können Auswirkungen auf das Q haben wenn die CO_2 – rebreathing Methode angewendet wird. Bei einer VO_2 von 1,0 L/min waren die Q Ergebnisse bei 2,5 und 1,5L/min niedriger am Radergometer und um 2,9 und 1,3 L/min niedriger am Laufband bei Jungen vs. Männern und Mädchen vs. Frauen. Das niedrigere Q bei submaximaler Belastung stimmt mit einer Studie von Nottin et al (2002) überein, der bei einer Untersuchung am Radergometer mit vier Belastungsstufen Männer und Jungen verglichen hat. Turley und Wilmore (1997, S955) beschreiben, dass in älteren Studien von Godfrey et al, Bevegard und Gadhoke und Jones keine Differenzen der Q bei submaximaler Belastung gefunden wurden. Der Grund für solche Diskrepanzen ist ungewiss. Das SV ist bei gegebener VO_2 bei Kindern niedriger aufgrund ihrer kleineren Körpergröße. Diese Herzdaten stimmen mit der aktuellen Literatur

überein. Nimmt man die relativen Maße, also das SV im Bezug zur Körperoberfläche, so relativieren sich die Ergebnisse. Die Autoren nehmen an, dass die niedrigere $Q - VO_2$ Relation bei Kindern ein Indikator für ihre geringere funktionale myokardiale Reserve ist. Die Steigerung des Q bei ansteigender VO_2 ist entsprechend der Veränderungen des SV und der Hf. Nach Fick'schem Gesetz steigen die $a-VO_{2Diff}$ und die Herzfrequenz bei Kindern steiler an, sodass sie ähnliche Werte der VO_2 wie Erwachsene haben.

„Thus, the cardiovascular response of children seems to be normal for their size. Our similar $Q-VO_2$ slopes in children and adults further support this normal cardiovascular response for children to exercise that is relative to their body size.“ (Turley und Wilmore 1997, S955)

Bei der LVM (left ventricular mass) in Bezug auf die FFM (fat free mass) gab es keine signifikanten Unterschiede weder bei den männlichen (Jungen $3,21 \pm 0,49$; Männer $2,92 \pm 0,29$) noch bei den weiblichen (Mädchen $2,81 \pm 0,36$; Frauen $2,89 \pm 0,50$) Probanden mit der Vermutung, dass die Herzgröße, welche für das Schlagvolumen maßgebend ist, während körperlicher Belastung nicht ungleich ist. Die Autoren dieser Studie nehmen an, dass das SV mit der bewegten Muskelmasse in Verbindung steht. Sodass Kinder aufgrund ihrer geringeren Muskelmasse einen verminderten preload haben und somit auch ein kleineres SV. Zusätzlich kommt es durch ihren erhöhten peripheren Widerstand zu einem höheren afterload, der einer der Hauptfaktoren des SV ist. Eine höhere Herzfrequenz und niedrigeres Schlagvolumen im Gegensatz zu Erwachsenen erfolgt also durch einen kleineren Muskelmassenanteil im Vergleich zur Körpergröße. Das niedrigere Schlagvolumen und die höhere Herzfrequenz bei submaximaler Belastung schreiben Turley und Wilmore (1997) kleineren Herzen der Kinder und niedrigerem Blutvolumen zu. Zusätzlich ist die höhere Herzfrequenz der Kinder in Relation mit ihrer Muskelarbeit zu setzen, sodass sie bei gleicher Arbeit wie Erwachsene mit höherer relativer Intensität belastet werden. Die Möglichkeit, dass Kinder für die gleiche Belastung wie Erwachsene weniger Muskelmasse bewegen ist in anderen Studien als ein möglicher Mechanismus für die höhere $a-VO_{2Diff}$ bewiesen (Bar-Or et.al 1971; Rode et al.1973). Bei relativem Q und TPR (total peripheral resistance) zur FFM fanden Turley und Wilmore heraus, dass Kinder eine ein höheres relatives Q haben und einen niedrigeren TPR bei submaximaler Belastung. Da der Muskel bis zu 80 – 85% des Q bzw. der Durchblutung während der Belastung rezipiert, sind die Werte der Kinder bezogen auf die FFM der Q höher und der TPR niedriger. Aus diesem Grund könnte man sagen, dass Kinder nur aufgrund ihrer geringeren Muskelmasse „schlechtere“ Werte haben. Sobald diese in Relation gesetzt sind, gibt es keine signifikanten Differenzen. Die höhere $a-VO_{2Diff}$ zwischen Jungen und Männern, als auch Mädchen und Frauen bei gegebener VO_2 ist möglicherweise dadurch erklärbar, dass Kinder von den Werten her näher an ihrem Maximum sind. Turley und Wilmore (1997) spekulieren, dass die

höhere $a\text{-VO}_{2\text{Diff}}$ durch mehrere Faktoren beeinflusst ist:

- 1) Durch höhere Muskeldurchblutung
- 2) Besserer O_2 Abbau vom Hämoglobin
- 3) Dass die $a\text{-VO}_{2\text{Diff}}$ bei submaximaler Arbeit ihrem Maximalwert näher ist.

Auch Rowland et al (1997) berichtet von einer maximalen $a\text{-VO}_{2\text{Diff}}$ von $13,9 \pm 3,0$ und $17,2 \pm 4,5$ ml/L im Vergleich zwischen Jungen und Männern. Auch bei Nottin et al. (2002) kommt es zu signifikant höheren $a\text{-VO}_{2\text{Diff}}$ Werten bei Erwachsenen gegenüber Kindern in Ruhe, bei submaximaler als auch bei maximaler Belastung. Eine Längsschnittstudie von Cunningham et al nach Rowland et al (1997) fand die größte Steigerung dieses Parameters ein Jahr vor der Wachstumsspitze bei Jugendlichen, was den Werten von Nottin et al (2002) ähnelt. Diese altersabhängigen Differenzen könnten durch die größere Hämoglobinkonzentration nach der puberalen Phase erklärt werden. Eine andere Erklärung für die niederen Werte der Kinder könnte ihre reduzierte Kapazität für die Blutumverteilung von ruhendem Gewebe zum aktiven Muskel sein.

Zusammenfassend sind die Reaktionen und relativen Anpassungserscheinungen des Herzkreislaufsystems bei Kindern und Erwachsenen ähnlich. Die Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen betreffen vor allem periphere Faktoren sowie die Durchblutung der Muskulatur als Reaktion auf körperliche Belastung. Das niedrigere Schlagvolumen und die höhere Herzfrequenz bei Kindern, führen zu einem deutlich niedrigeren Herzminutenvolumen im Vergleich zu Erwachsenen. Diese Parameter stehen in Abhängigkeit zur Herzgröße, welche ab der Pubertät steigt. Aufgrund der geringeren Muskelmasse der Kinder kommt es zu niedrigeren absoluten Werten. Im Vergleich Mädchen und Jungen erreichen Jungen aufgrund ihres größeren linken Ventrikels ein höheres Q, der eng in Verbindung mit dem ebenfalls höheren Schlagvolumen steht.

6 Aerobe Leistungsfähigkeit

In einer Publikation von Klimt (1992, 146) heißt es, dass die maximale Sauerstoffaufnahme als direktes Maß der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit aufzufassen ist. Sie wird von exogenen und endogenen leistungsbegrenzenden Faktoren bestimmt und sei ein Synonym für aerobe Kapazität, maximale aerobe Kraft „Vita Maxima“.

Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) gibt an, wie viele Milliliter Sauerstoff der Körper im Zustand der Ausbelastung maximal pro Minute verwerten kann. Die Angabe erfolgt in Milliliter Sauerstoff pro Minute ($ml\ O_2/min$). Die VO_{2max} kann als Kriterium für die Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit eines Menschen herangezogen werden. (Wikipedia 25.10.2009)

Entscheidend bei der Sauerstoffaufnahme ist, wie viel Sauerstoff der Muskulatur für die Energiegewinnung zu Verfügung gestellt wird, denn je mehr Sauerstoff dem Muskel zur Verfügung steht, desto höhere Intensitäten sind in der Ausdauerbelastung möglich. Die Sauerstoffaufnahme wird durch drei Parameter bestimmt:

1. Atmung (= Sauerstoffzufuhr)
2. Herz – Kreislaufsystem (= Sauerstofftransport)
3. Muskelzelle (= Sauerstoffverwertung)

Die Sauerstoffaufnahme gilt als anerkanntes Maß der aeroben Leistungsfähigkeit und wird meist in Relation zur Körpermasse angegeben.

Laut Armstrong und Welsmann (2000, 173) ist sowohl bei Längs.- als auch Querschnittstudien herausgekommen, dass die Herzfrequenz bei maximaler Sauerstoffaufnahme unabhängig von Alter, Geschlecht, Entwicklung und Reifestadion ist.

6.1 Absolute Sauerstoffaufnahme

Die absolute Sauerstoffaufnahme wird in l/min dargestellt und zeigt bei Kindern kleinere Werte als bei Jugendlichen und diese kleinere Werte als Erwachsene. Aus diesem Grund ist bei einem Vergleich der absoluten Sauerstoffaufnahme eine Steigerung vom Kindes zum Erwachsenenalter festzustellen (Klimt 1992, 146). Laut Bar-Or (1993, 3) ist dieser Parameter bei Mädchen ab dem 14. Lebensjahr kaum noch zu steigern. Er beschreibt, dass bezogen auf die absoluten Werte die aerobe Leistungsfähigkeit bei jüngeren Kindern weniger entwickelt ist als bei Älteren. In weiteren Literaturangaben findet man ähnliche Angaben, nämlich dass sich die Vo_{2max} bei Mädchen ab dem 13. Lebensjahr im Vergleich

zu Jungen wesentlich verringert (Klimt 1992, 147; Weineck 2007, 348).

Da die VO_{2max} ein Maß zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit ist, könnten aus den Ergebnissen folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

- Mädchen sind weniger leistungsfähig als Jungen
- Die Leistungsfähigkeit bzw. Belastungsfähigkeit bei 14-jährigen Mädchen entwickelt sich nur mehr wenig weiter
- Die Leistungsfähigkeit bei größeren und schwereren Personen ist größer, was zeigt, dass die maximale Sauerstoffaufnahme von Körpergröße und Körpergewicht abhängig ist.

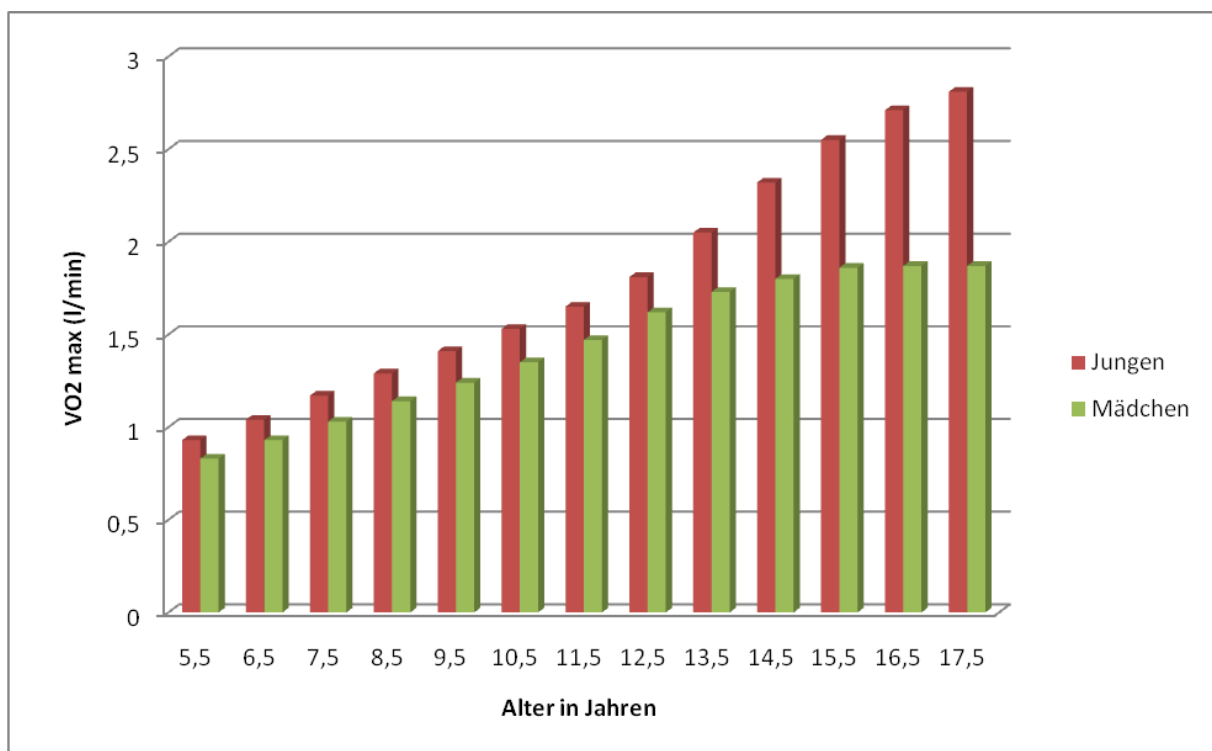


Abbildung 25 absolute Sauerstoffaufnahme (l/min) in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht nach Tab 5.1 in Klimt 1992,S147

6.2 Relative Sauerstoffaufnahme

Die relative Sauerstoffaufnahme für männliche Heranwachsende wird in der Literatur mit Mittelwerten von 45ml/min/kg Körpergewicht angegeben. Bezogen auf die fettfreie Körpermasse konnten Werte zwischen 45 – 54ml/min/kg in einem Alter von 15 Jahren festgestellt werden. Bei jungen, ausdauertrainierten Sportlern tritt in der relativen Sauerstoffaufnahme im Alternsgang keine wesentliche Änderung ein. Interessant ist dabei, dass trotz gleichbleibender relativer Sauerstoffaufnahme beträchtliche Veränderungen in der

Ausdauerleistungsfähigkeit möglich sind. Zurückzuführen ist das auf eine Ökonomisierung der Laufarbeit. Laut Weineck (2007, 349) bedeutet das, dass größere Kinder unter vergleichbaren Bedingungen eine höhere Ausdauerleistungsfähigkeit haben als kleinere.

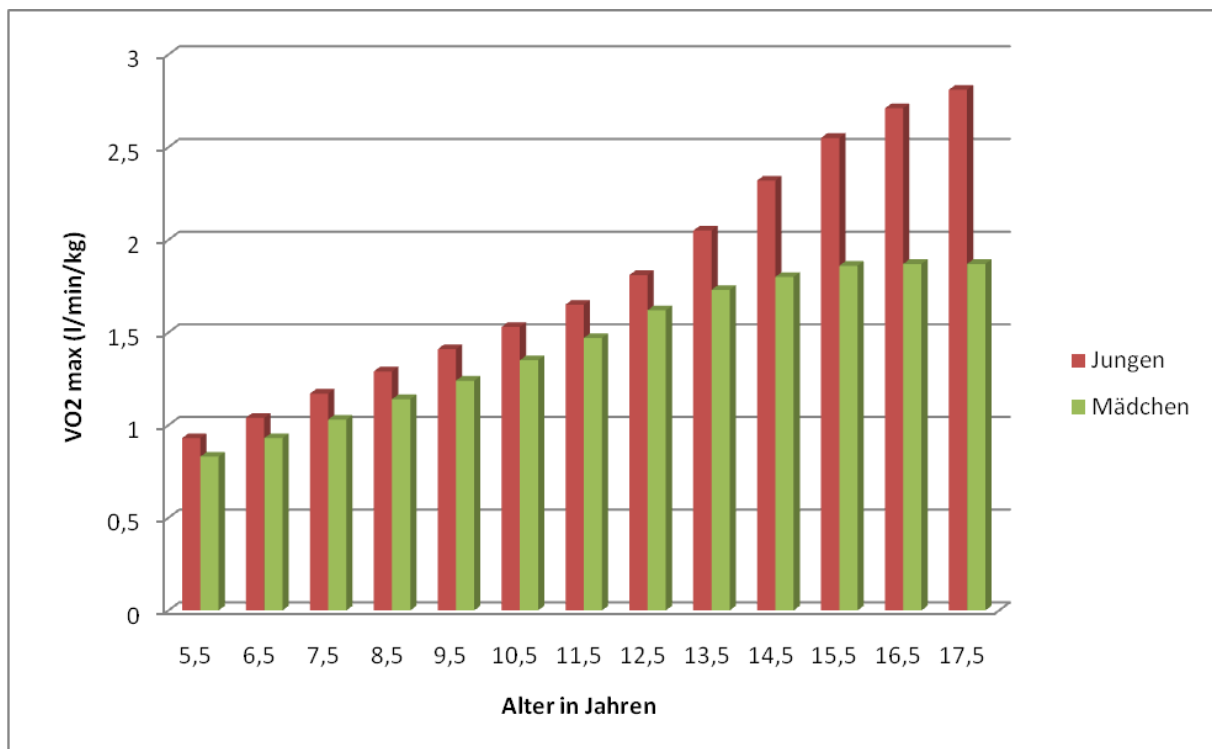


Abbildung 26 relative O₂ Aufnahme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht nach Tab 5.1 in Klimt 1992, S147

Erstaunlich ist jedoch, dass jüngere Kinder bei einer Herzfrequenz von 170 eine hohe relative Sauerstoffaufnahme haben, da eine Belastung in dem Herzfrequenzbereich für sie keine hohe kardiale Belastung darstellt. Es scheint, dass Kinder eine höhere kardiale Reserve vor einer Überbelastung haben, wodurch das kardiovaskuläre System geschützt wird. (Martin 1999, 130) Auch Kögler und Fehling kommen zu dem Ergebnis, dass die relative maximale Sauerstoffaufnahme im Altersverlauf nahezu gleich bleibt und sich durch Training beeinflussen lässt. Sie erklären das Ausbleiben eines weiteren Anstiegs dieses Parameters durch eine gute Adaptationsfähigkeit des Organismus. Sie schreiben:

Die bessere aerobe Leistungsfähigkeit der Jungen gegenüber Mädchen, der Trainierten gegenüber den Untrainierten und der Ausdauer gegenüber den Sportsportarten Trainierenden wird anhand der Untersuchungsergebnisse der körpermassenbezogenen maximalen Sauerstoffaufnahme besonders deutlich. Weibliche Ausdauertrainierte bewegen sich mit ihren Werten im Bereich männlicher Untrainierter (in Martin 1999, 130)

6.3 $\text{VO}_{2\text{max}}$ als Maß der aeroben Leistungsfähigkeit

„Aerobic fitness may be defined as the ability to deliver oxygen to the muscles and to utilize it to generate energy during exercise.“ (Armstrong 2006, 406)

Obwohl die $\text{VO}_{2\text{max}}$ ein limitierender Leistungsfaktor ist, umfasst sie nicht alle Aspekte der aeroben Leistungsfähigkeit. Die optimale Belastungsdauer, und –intensität, um eine $\text{VO}_{2\text{max}}$ bei Kindern zu erhalten, ist noch nicht ausgereift. Ihre natürlichen Belastungsmuster sind meist nur von kurzer Dauer und daher submaximal. Trotzdem ist die $\text{VO}_{2\text{max}}$ der meist dokumentierte Parameter, um kindliche Fitness festzustellen.

Welche Gewichtung hat die absolute und die relative Sauerstoffaufnahme bei der Interpretation der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit bei Kindern und Jugendlichen?

Die aerobe Kapazität wurde bislang traditionell insbesondere durch die Bestimmung der Herzgröße und der maximalen Sauerstoffaufnahme ermittelt. Diese Parameter beschreiben die aerobe Kapazität jedoch nur unzureichend. So wurden in den letzten Jahrzehnten die Rekorde in den Ausdauerdisziplinen erheblich verbessert, obwohl sich die weltbesten Athleten in den letzten 20 – 30 Jahren nur unwesentlich hinsichtlich der Herzgröße und Sauerstoffaufnahme unterscheiden. (Klimt 1992, 95)

Das Messen der $\text{VO}_{2\text{max}}$ ist die häufigste Methode zur Einschätzung der kardiopulmonaren Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen. Die Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle soll Auskunft über die aerobe Leistungsfähigkeit ohne maximaler Ausbelastung geben. In einer Studie von Baba et al (1999) wurde ein neuer kardiorespiratorischer Parameter untersucht, die oxygen uptake efficiency slope (OUES), welche eine logarithmische Kurve der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2\text{ml/min}$) und dem Atemminutenvolumen ($\text{V}_\text{E}/\text{min}$) während ansteigender Belastung untersucht. Die Leistungsüberprüfung wurde am Laufband ausgeführt und mit zwei Auswertungsmethoden interpretiert (Bruce Protokoll und RIS Protokoll) um den Einfluss der Auswertung zu erläutern. Bei beiden Auswertungsmethoden zeigte sich eine Übereinstimmung bei der OUES. Dies zeigt, dass dieser Parameter hohe Aussagekraft bezüglich bestimmter Leistungsparameter im Bezug auf Kinder und Jugendliche hat. Das Problem der Leistungsdiagnostiken bei Kindern zeigt sich im Belastungsprotokoll. Die meisten Methoden sind für Erwachsene konzipiert und haben Belastungen von zehn Minuten oder mehr. Aus diesem Grund wurde das RIS Protokoll adaptiert, um die Belastungsfähigkeit von Kindern besser zu repräsentieren. Normalerweise wird bei der Auswertung bei Kindern der Anstieg der $\text{VO}_{2\text{max}}$ hergenommen, um Aussagen über die Leistungsfähigkeit zu treffen. Baba et al (1999) meinen, dass bei Kindern und Jugendlichen selten das Plateau der maximalen Sauerstoffaufnahme bei maximaler Ausbelastung zu sehen ist.

Evaluation of exercise tolerance in children has traditionally been focused on the measurement of VO_{2max} . However, the true plateau of VO_2 while the work rate continues to increase, which is believed to be the most reliable criterion of maximal exercise in adults, is rarely seen in children and adolescents (Baba et al 1999)

Auch Armstrong (2006) beschreibt ein fehlendes Plateau oder eine Abflachung der Sauerstoffaufnahme während steigender Belastung. Diese physiologische Veränderung auf Belastung scheint bei Kindern und Jugendlichen nicht typisch zu sein.

The conventional criterion for the attainment of VO_{2max} during an exercise test is a levelling off or plateau in VO_2 despite an increase in exercise intensity, but over 50 years ago Astrand demonstrated that this response is not typical of the majority of children and adolescents. (Armstrong 2006)

In der alltäglichen Bewegung erreichen die wenigsten Kinder ihr Maximum der VO_2 . Diese Bereiche können meist nur im Labor erzielt werden. Zusätzlich ist die Untersuchungsmethode ein großer Einflussfaktor weshalb der Parameter der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme während ansteigender Belastung als Kriterium für die mögliche Leistungsfähigkeit hinterfragt werden sollte.

Eine andere sehr beliebte Methode zur Bestimmung der submaximalen Leistungsfähigkeit ist das VAT (ventilatory anaerobic threshold). Allerdings haben die Resultate bei Baba gezeigt, dass aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsprotokolle die Werte bis zu 30% schwanken, was eine aussagekräftige Interpretation nicht möglich macht. Seine Untersuchungen haben ergeben, dass OUES unabhängig vom Untersuchungsprotokoll den größten Aussagewert bezüglich Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen hat.

The results of our study suggesting that the OUES is virtually independent of treadmill protocol adds to the information about the usefulness of this measurement for the evaluation of exercise tolerance in the paediatric population. (Baba et al. 1999)

Armstrong (2006) beschreibt die VO_{2peak} als das meist genutzte Modell zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Kindern. Der Unterschied zur VO_{2max} liegt darin, dass die maximal erreichten VO_2 Werte herangezogen werden. Bei progressiven Belastungstests zeigen Kinder typische Ermüdungserscheinungen wie eine Abflachung der Herzfrequenz oder ein RER größer eins. Daraus kann die maximale Leistungsfähigkeit angenommen werden und VO_{2peak} reflektiert die Grenzen der Leistungsfähigkeit.

Bei Jungen zwischen acht bis sechzehn Jahren kommt es laut Literaturangaben zu einem linearen Anstieg der VO_2 (l/min) in Relation zum Alter. Bei Mädchen ist es ähnlich, nur dass die Kurve ab erreichtem 14. Lebensjahr abflacht. Den größten Anstieg zeigen Jungen zwischen 13 und 15 Jahren, während die Daten der Mädchen weniger beständig sind und

die VO_{2peak} bis zum 13. Jahr progressiv ansteigt und dann abflacht. Jungen erreichen ein höheres VO_{2peak} von der Pubertät an. Die Werte der Jungen steigen um 150% im Gegensatz zu den Mädchen, die nur zu 80% steigen (vgl. Armstrong 2006).

In einer Studie von Welsman et al. (1996) wurde zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit sowohl das allometrische Modell als auch Ratio verwendet um die VO_{2peak} bei Kindern und Erwachsenen zu vergleichen. Bei der Ratio Analyse (an Körpergewicht angeglichen) waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen zu erkennen. Die allometrische Methode hingegen zeigte einen signifikant progressiven Anstieg der VO_{2peak} über alle Altersgruppen, darauf hinweisend, dass relativ zur Körpergröße die VO_{2peak} der Männer eher ansteigt. Eine weitere Methode der Auswertung ist die Multilevelingtechnik, welche es ermöglicht Körpergröße, Alter und Geschlechtereffekte gleichmäßig aufzuteilen innerhalb allometrischer Bezugssysteme.

Armstrong und Welsman (2001) untersuchten mittels dieser Methode die VO_{2peak} bei elf bis siebzehn Jährigen und begründeten ihre Analyse mit 388 Determinanten. Sie bewiesen einen progressiven Anstieg der VO_{2peak} im Alter bei beiden Geschlechtern unabhängig vom Körpergewicht. Das Ausmaß des altersbezogenen Anstiegs war bei Mädchen geringer, mit einem Unterschied zwischen den Geschlechtern mit steigendem Alter. Diese Daten hinterfragen den konventionellen Blickwinkel der VO_{2peak} während des Wachstums. Während der Entwicklung von Kindern zu Jugendlichen sollte auch das biologische und chronologische Alter berücksichtigt werden. Eine Studie von 176 zwölfjährigen demonstrierte, dass VO_{2peak} in ratio mit Kilogramm Körpergewicht sich mit dem Reifegrad nicht verändert. Mit allometrischer Analyse kam es zu einem signifikant positiven Effekt der VO_{2peak} unabhängig vom Körpergewicht (Armstrong 1998). Ähnliche Ergebnisse erzielte Armstrong (2001) wenn er die Pubertätsstufen nach Tanner (2 – 5) mit einbezog bei elf bis siebzehn Jährigen. Die VO_{2peak} zeigte einen signifikant positiven Anstieg mit fortschreitender Entwicklung unabhängig von Alter und Körpergewicht an beiden Geschlechtern.

Tabelle 24: physical charaktertistics and peak exercise variables by sex and test. Values are means (standart devitation) (Armstrong et al 2001, S548)

	Boys				Girls			
	Test 1 <i>n</i> = 71	Test 2 <i>n</i> = 60	Test 3 <i>n</i> = 56	Test 4 <i>n</i> = 37	Test 1 <i>n</i> = 49	Test 2 <i>n</i> = 42	Test 3 <i>n</i> = 47	Test 4 <i>n</i> = 26
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)
Age (years)	11.1 (0.4)	12.1 (0.4)	13.1 (0.04)	17.0 (0.4)	11.2 (0.4)	12.2 (0.3)	13.2 (0.4)	17.0 (0.3)
Stature (m)	1.450 (0.061)	1.505 (0.076)	1.564 (0.093)	1.783 (0.064)	1.450 (0.060)	1.523 (0.077)	1.575 (0.077)	1.653 (0.075)**
Mass (kg)	36.6 (6.0)	40.7 (7.1)	45.9 (9.1)	68.9 (10.5)	36.3 (6.3)	43.1 (6.2)	48.9 (8.0)	60.5 (8.1)**
Sum of skinfolds (mm)	19.9 (10.2)	19.7 (9.0)	20.8 (10.7)	22.9 (9.3)	21.7 (8.8)	21.4 (7.5)	23.7 (8.4)	32.0 (10.0)**
Haemoglobin concentration (g·l ⁻¹)	136 (6)	135 (7)	137 (7)	146 (9)	136 (6)	134 (7)	135 (7)	136 (7)**
Peak oxygen uptake (l·min ⁻¹)	1.78 (0.24)	2.09 (0.31)	2.37 (0.45)	3.55 (0.55)	1.59 (0.26)**	1.93 (0.24)**	2.14 (0.30)**	2.39 (0.40)**
Heart rate (beats·min ⁻¹)	201 (7)	202 (7)	200 (8)	200 (5)	202 (7)	204 (7)	203 (7)	202 (8)
Respiratory exchange ratio	1.06 (0.07)	1.05 (0.04)	1.03 (0.06)	1.10 (0.06)	1.05 (0.06)	1.05 (0.05)	1.05 (0.06)	1.09 (0.10)

* $P < 0.05$

** $P < 0.01$ boys compared to girls within test

Tabelle 25: Multilevel regression models for peak oxygen uptake (*n*=388). Age was centered on the group mean age of 12, 9 years. *n.s.* Not signifikant (Armstrong et al 2001, S549)

Parameter	Model 1 Estimate (SE)	Model 2 Estimate (SE)
Fixed:		
Constant	-1.2023 (0.1474)	-1.9005 (0.1400)
Log _e mass	0.4454 (0.0460)	0.8752 (0.0432)
Log _e stature	1.0082 (0.1607)	n.s.
Log _e skinfolds	Not entered	-0.1656 (0.0174)
Age	0.0452 (0.0101)	0.0470 (0.0094)
Sex	-0.1608 (0.0135)	-0.1372 (0.0121)
Age×sex	-0.0258 (0.0051)	-0.0214 (0.0053)
Maturity 2	0.0511 (0.0116)	0.0341 (0.0094)
Maturity 3	0.0665 (0.0135)	0.0361 (0.0102)
Maturity 4	0.0988 (0.0169)	0.0537 (0.0116)
Maturity 5	0.0770 (0.0301)	n.s.
Random:		
Level 2 constant	0.0042 (0.0007)	0.0030 (0.0005)
Level 2 age	0.0002 (0.0001)	0.0004 (0.0001)
Level 1 constant	0.0033 (0.0004)	0.0032 (0.0004)
-2*log(like)	-844.2189	-870.6431

Die hierin beschriebenen Daten zeigen, dass eine Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen ohne Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Reife schwierig ist. Die Verwendung von Ratioskalen beinhalten Differenzen im Körpergewicht um die aerobe Leistungsfähigkeit innerhalb oder zwischen einzelnen Studien vergleichen zu können. Diese Daten müssen jedoch vorsichtig hinterfragt werden, da ein Anstieg der VO_{2peak} in direkter Proportion mit dem Körpergewicht kritisch zu hinterfragen ist.

6.4 Veränderung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ durch aerobes Ausdauertraining

Die Anpassungserscheinungen des Herzkreislaufsystems durch Ausdauertraining sind bei Erwachsenen bereits häufig untersucht worden. Bei richtiger Belastungsdauer und -intensität lässt sich die $\text{VO}_{2\text{max}}$ zwischen 5 und 30% anheben. Ähnliche Verbesserungen findet man auch bei der Ventilation und der Ruheherzfrequenz. Das Ausmaß der Anpassung bei Kindern und Jugendlichen ist noch unklar und nicht so häufig untersucht.

Rowland und Boyajian (1995) untersuchten 47 Kinder (24 Mädchen, 13 Jungen) in einem Alter zwischen 10,9 – 12,8 Jahren. Die Eltern der Kinder wurden ob ihrer körperlichen Aktivität befragt und in fünf Klassen unterteilt: a) inaktiv > kein außerschulischer Sport b) gelegentlich aktiv > spielt manchmal draußen, c) moderat aktiv > nutzt Möglichkeiten um sich zu bewegen, d) aktiv > ergreift Initiative um sich zu bewegen mindestens drei Mal pro Woche, e) sehr aktiv > nimmt regelmäßig an außerschulischem Sport teil. Zu Beginn der Studie waren 73% der Kinder aktiv. 85% der Jungen wurden nach Tanner als präpubertär eingestuft und 75% der Mädchen als prämenstrual. Die Kinder wurden beim ersten Besuch, zu Beginn der Studie, am Laufband untersucht und anschließend 12 Wochen später zu Beginn der Trainingsphase. Nach Abschluss des Trainings erfolgte der letzte Labortest. Seine Studie nutze ein time series Design (AAB), was bedeutet, dass die Kinder die ersten beiden Male als A eingestuft wurden (untrainiert) und beim dritten Besuch als ihre eigene Kontrollperson in trainiertem Zustand herangezogen wurden. Das Trainingsprogramm war in den Schulunterricht eingebunden mit drei Mal 20 – 30 minütiger Belastung. Ein Drittel der Einheiten beinhalteten ein Zirkeltraining mit fünf minütigem Laufen, Aerobic Dance, Treppensteigen oder kontinuierlichem Basketballdribbling mit Korbwurf. Ausdauerläufe im Freien bildeten das zweite Drittel der Einheiten und das letzte wurde mit Ausdauerspielen und Basketball verbracht. Überprüft wurde die Belastungsintensität mittels Pulsgurt zur Messung der Herzfrequenz. Die Kinder sollten eine Herzfrequenz zwischen 160 und 170 Schlägen/min während der Belastung halten. Bei den Laboruntersuchungen wurden anthropometrische Daten wie Körpergewicht, Körpergröße und Hautfaltendicke abgenommen und ein Laufbandtest bis zur Erschöpfung durchgeführt. Nach einer Aufwärmphase von zwei Minuten wurde die Geschwindigkeit auf 3,25mph bei 6% Neigung für vier Minuten eingestellt. Die submaximalen Daten wurden in der letzten Minute dieser Belastungsstufe genommen. Die Geschwindigkeit wurde anschließend auf 3,5mph mit einem zusätzlichen Neigungsgrad von 2% gesteigert. Dieser wurde anschließend jede Minute bis zur vollständigen Erschöpfung erhöht.

Die Durchschnittswerte für Körpergewicht (44,1kg), Körpergröße (150cm) und Hautfaltendicke (24mm) für Jungen unterscheiden sich nur minimal von den Mädchen mit 43,1kg Körpergewicht, 151cm und 26mm Hautfaltendicke. Die $\text{VO}_{2\text{max}}$ zu Beginn der Studie

lag bei 46,1 (5,8) ml/kg/min bei den Jungen und bei 43,1 (5,6) ml/kg/min bei den Mädchen. Die durchschnittliche Herzfrequenz lag bei 166 Schlägen pro Minute. 57% der Kinder nahmen am organisierten Sportprogramm während der 12 wöchigen Kontrollstudie teil, 67% spielten weiter in Sportteams. Die ANOVA zeigt signifikant größere VO_{2max} Werte der Jungen in allen Tests. Die Mittelwerte der aeroben Leistungsfähigkeit waren bei beiden Geschlechtern während der Kontrollperiode nicht signifikant, allerdings stiegen die Werte durch das Training von 44,7 auf 47, 6 ml/kg/min an. Die Werte der VO_{2max} variierten von - 2,4% zu 19,7% wie in Abbildung 27 Distribution of aerobic responses to the 12-week training program (Rowland, Boyajian 1995, S656) dargestellt ist. 31 % der Kinder zeigten einen Anstieg der VO_{2max} von unter 3%. Geschlechterdifferenzen waren keine zu erkennen. (Jungen 7,4%, Mädchen 6,3%). Keine signifikanten Veränderungen fand man bei den aktiven Kindern. Einen signifikant negativen Zusammenhang des Anstiegs der VO_{2max} fand man bei Kindern die sich regelmäßig bewegten. Während der Kontrollperiode veränderten sich signifikant das Gewicht, die Körpergröße und das maximale ventilatorische Äquivalent für Sauerstoff. Die maximale Herzfrequenz und der Blutdruck veränderten sich nicht signifikant während der Trainingsperiode. Einzig die submaximale Herzfrequenz sank von 152 Schlägen/min auf 148 Schlägen /min.

Tabelle 26 Physiologic and Anthropometric Values Immediately Before (2) and After (3) Aerobic Training (Rowland, Boyajian 1995, S656)

	1	2	3
Weight (kg)	44.2 (7.8)	45.5 (8.3)*	47.2 (8.4)†
Height (cm)	151 (6)	152 (6)*	154 (7)†
Skinfold sum (mm)	24 (12)	24 (12)	25 (12)
Submaximal			
Heart rate (bpm)	152 (17)	152 (12)	148 (11)†
Respiratory rate (bpm)	38 (8)	38 (7)	37 (7)
Tidal volume (l)	.89 (.15)	.92 (.16)	.95 (.21)
VO_2 (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	25.2 (1.9)	25.3 (1.8)	24.5 (1.3)†
V_E/V_{O_2} (l/l)	29.4 (4.5)	29.0 (3.0)	28.8 (3.2)
Respiratory exchange ratio	.90 (.05)	.91 (.04)	.90 (.04)
Maximal			
Treadmill time (min)	10.23 (1.64)	10.38 (1.63)	11.39 (1.61)†
VO_2 (l min ⁻¹)	1.96 (.32)	2.02 (.35)	2.24 (.38)†
VO_2 (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	44.3 (5.8)	44.7 (5.8)	47.6 (6.4)†
Respiratory exchange ratio	1.12 (.06)	1.10 (.06)	1.12 (.05)
Heart rate (bpm)	201 (8)	200 (8)	201 (7)
V_E (l min ⁻¹)	75.5 (12.6)	75.1 (13.9)	85.6 (13.9)†
V_E (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	1.72 (.30)	1.67 (.28)	1.82 (.30)†
V_E/VO_2 (l/l)	38.7 (4.2)	37.4 (4.2)*	38.4 (3.6)
Respiratory rate (bpm)	60 (8)	58 (8)	60 (7)
Tidal volume (l)	1.35 (.26)	1.35 (.22)	1.50 (.27)†

Abbreviations: VO_2 , oxygen uptake; V_E , minute ventilation.

Values at (1) were recorded 12 weeks before the start of the training program.

* $P < .05$ time 1 versus time 2.

† $P < .05$ time 2 versus time 3.

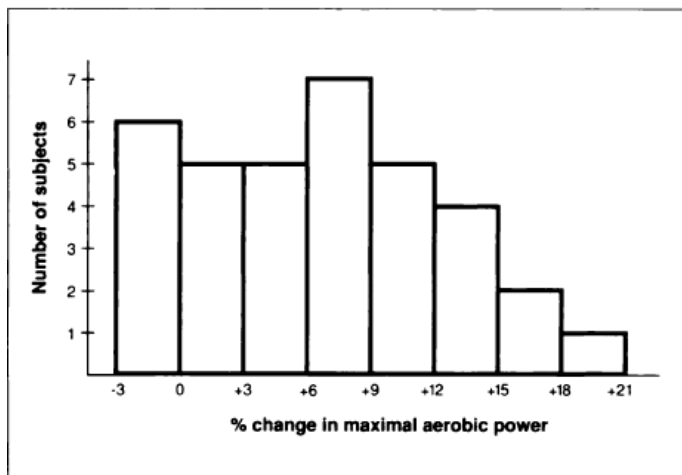


Abbildung 27 Distribution of aerobic responses to the 12-week training program (Rowland, Boyajian 1995, S656)

Aus diesem Grund kommen Rowland und Boyajian (1995) zu dem Schluss, dass Kinder auf strukturiertes aerobes Training Anpassungserscheinungen der VO_{2max} zeigen, auch wenn diese weniger hoch sind als bei Jugendlichen oder Erwachsenen. Unterschiede in den Untersuchungsgruppen (Reifegrad, physische Fitness) als auch die unterschiedlichen Trainingsprogramme könnten die Heterogenität der Ergebnisse erklären. Brown et al. (1972) zeigte ebenfalls einen Anstieg der VO_{2max} bei 26% Geländeläuferinnen nach einem intensiven Trainingsprogramm.

Andere Studien von Welsman et. al (1997) berichten von widersprüchlichen Ergebnissen. Sie untersuchten 51 Mädchen über acht Wochen. Richtwerte waren VO_{2peak} , submaximale Herzfrequenz und submaximales Blutlaktat welches bei einem Laufbandtest untersucht wurde. 17 Mädchen hatten ein Trainingsprogramm welches drei Mal pro Woche 40 Minuten dauerte. Zweimal die Woche hatten sie aerobe Spiele, Step Aerobic oder Tanz. Die dritte Einheit beinhaltete ein Zirkeltraining. 18 Mädchen bekamen ein Ergometertraining mit einem Warm-up von fünf Minuten. Anschließend mussten sie 20 Minuten bei 160 – 170 Puls treten. Die Kontrollgruppe erhielt keinen Trainingsplan. Diese Studie berichtet von keinem Trainingseffekt der VO_{2max} und nur leichten Verbesserungen der aeroben Fitness aufgrund der verbesserten Herzarbeit und verbesserter Blutlipide.

Tabelle 27 peak exercise responses and blood lipid pre- and post training. Values are mean (SD) (Welsman et. al 1997,S 141)

	<i>Aerobics (n=17)</i>	<i>Cycle ergometer (n=18)</i>	<i>Control (n=16)</i>
Peak $\dot{V}O_2$ (litres/min)			
Pre	1.58 (0.26)	1.76 (0.18)	1.72 (0.35)
Post	1.61 (0.23)	1.79 (0.14)	1.72 (0.37)
Peak heart rate (beats/min)			
Pre	208 (8)	210 (6)	208 (10)
Post	206 (7)	203 (4.3)*	209 (8)
Peak RER			
Pre	1.05 (0.04)	1.1 (0.04)	1.08 (0.06)
Post	1.05 (0.04)	1.05 (0.03)	1.07 (0.04)
Peak blood lactate (mmol/l)			
Pre	6.5 (1.4)	7.6 (1.9)	7.6 (2.4)
Post	6.6 (1.2)	6.1 (1.8)	7.4 (1.7)
Total cholesterol (mmol/l)			
Pre	Not sampled	5.12 (0.75)	5.50 (1.05)†
Post		4.67 (0.58)	4.96 (1.05)
HDL cholesterol (mmol/l)			
Pre	Not sampled	1.70 (0.88)	1.67 (0.42)†
Post		1.50 (0.43)	1.69 (0.27)

* Significantly different ($P < 0.01$) from pre-training value.

† n = 8.

RER, respiratory exchange ratio.

In der folgenden Studie von Mandigout et al. (2001) wurden 85 vorpubertäre Kinder untersucht. Alle Kinder waren körperlich aktiv, aber nahmen an keinem regelmäßigen Training teil. Die sexuelle Reife wurde nach den Stufen von Tanner sowohl vor als auch nach der Studienperiode bestimmt. Die Experimentengruppe (EG) und die Kontrollgruppe (CG) wurden von zwei verschiedenen Schulen gestellt. Die EG folgte einem 13 wöchigen Trainingsprogramm welches in den Schulunterricht einbezogen war. Beim Ergometertest zur Ausbelastung wurde noch vorher die VO_{2rest} genommen. Während der Untersuchung mussten 70rpm gehalten werden und nach der dreiminütigen Aufwärmphase wurden 17 – 20 Wattstufen, je nach Proband, alle drei Minuten erhöht bis die Umdrehungen nicht mehr gehalten werden konnten. Die Sauerstoffaufnahme (VO_{2ex}), die VCO_2 , V_E und RER wurden in jeder Belastungsstufe analysiert. Die VO_{2peak} wurde als maximaler Index zur Ausbelastung herangezogen. Der shuttle-run-test wurde zu Beginn der Trainingsphase von der EG durchgeführt. Dieser Test beinhaltet ein hin und her laufen für 20 Minuten um die maximale aerobe Geschwindigkeit zu evaluieren, damit das Trainingsprogramm individualisiert werden kann. Das 13-wöchige Ausdauerprogramm dauerte pro Einheit 1 bis 1,5 Stunden und wurde durch den Sportlehrer überwacht. Das Training war aufgeteilt in ein Intervalltraining (10 x 100m, 6 x 200m, 4 x 600m), ein langes Lauftraining (15 – 20 min, 1500 – 4500m) und eine Einheit mit aerobem Schwerpunkt (Schwimmen, Fußball, Basketball). Die Intensitäten sollten bei 75 – 80% der maximal möglichen Herzfrequenz der einzelnen Kinder liegen. Die statistische Analyse wurde durch Mittelwerte (SD) und die ANOVA dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen ergaben, dass es einen signifikanten Anstieg in allen biometrischen Variablen bis auf das Körperfett in % der EG nach den 13 Wochen gab.

Tabelle 28 Anthropometric variables (Mandigout et. al 2001, S11)

	EG (n = 35)			CG (n = 50)		
	Before	After	Anova	Before	After	Anova
Age						
Month						
B	128.1 ± 5.3	132.8 ± 5.5	SP:***	125.7 ± 5.9	130.5 ± 7.3	SP:***
G	125.9 ± 4.1	130.5 ± 4.3	G:NS	125.6 ± 10.8	129.6 ± 4.3	G:NS
Height						
cm						
B	142.8 ± 6.1	144.9 ± 6.3	SP:***	141.2 ± 4.7	143.6 ± 4.4	SP:***
G	140.0 ± 5.5	142.4 ± 5.9	G:NS	141.1 ± 5.5	143.1 ± 6.3	G:NS
Weight						
kg						
B	37.3 ± 7.5	38.1 ± 7.7	SP:***	37.2 ± 6.6	38.4 ± 7.2	SP:***
G	36.1 ± 6.00	38.1 ± 6.4	G:NS	36.9 ± 8.1	38.7 ± 8.5	G:NS
BF						
%						
B	17.5 ± 5.8	17.6 ± 6.2	SP:NS	16.2 ± 7.7	16.8 ± 7.6	SP:*
G	24.4 ± 5.1	24.8 ± 5.3	G:**	23.2 ± 5.5	23.4 ± 5.0	G:**
			SPxG:NS			SPxG:NS

EG: Experimental group, CG: Control group.

B: Boys, G: Girls; BF: Body fat mass.

SP: Study period; G: gender effect; SPxG: gender-study period.

NS: Non-significant, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Zu Beginn der Untersuchung gab es keine signifikanten Unterschiede in Größe und Gewicht zwischen Mädchen und Buben. Einzig beim Körperfett zeigten die weiblichen Probanden höhere Werte. Die VO_{2max} in absoluten Werten (L/min) stieg nach der Studienperiode in beiden Gruppen. Die relative VO_2 (ml/kg/min) stieg nur bei der EG. Ähnliche Resultate erhalten Mandigout et al (2001) bei der maximalen aeroben Kraft (P_{max}), wenn die auf Kilogramm Körpergewicht bezogen sind. Überdies war die relative VO_{2max} und P_{max} (W/kg) bei Mädchen niedriger als bei Jungen sowohl vor als auch nach der Trainingsperiode. In beiden Gruppen (EG und CG) kam es zu einem signifikanten Abfall der Hf_{max} bei der Abschlussuntersuchung, jedoch ohne Geschlechterdifferenzen.

Tabelle 29 Bioenergetic variables determined during maximal aerobic test (Mandigout et. al 1997, S.11)

	EG (n = 35)			CG (n = 50)		
	Before	After	Anova	Before	After	Anova
VO_{2max}						
$L \cdot min^{-1}$						
B	1.7 ± 0.3	1.84 ± 0.3	SP:***	1.6 ± 0.2	1.7 ± 0.2	SP:***
G	1.3 ± 0.2	1.57 ± 0.2	G:***	1.4 ± 0.2	1.5 ± 0.3	G:*
			SPxG:NS			SPxG:NS
VO_{2max}						
$ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$						
B	47.2 ± 7.9	49.2 ± 7.1	SP:***	46.1 ± 6.0	45.5 ± 7.6	SP:NS
G	38.6 ± 4.4	41.9 ± 4.6	G:***	39.6 ± 5.3	39.5 ± 5.8	G:***
			SPxG:NS			SPxG:NS
Hrmax						
$Beat \cdot min^{-1}$						
B	201 ± 5	197 ± 7	SP:***	200 ± 6	197 ± 7	SP:*
G	202 ± 6	197 ± 6	G:NS	199 ± 9	198 ± 6	G:NS
			SPxG:NS			SPxG:NS
Power						
$W \cdot kg^{-1}$						
B	3.0 ± 0.4	3.4 ± 0.5	SP:***	3.0 ± 0.5	3.0 ± 0.4	SP:NS
G	2.6 ± 0.4	2.8 ± 0.5	G:**	2.5 ± 0.3	2.5 ± 0.3	G:***
			SPxG:NS			SPxG:NS
RER						
B	1.18 ± 0.10	1.18 ± 0.07	SP:NS	1.18 ± 0.07	1.21 ± 0.08	SP:NS
G	1.16 ± 0.06	1.21 ± 0.08	G:NS	1.21 ± 0.07	1.24 ± 0.08	G:NS
			SPxG:NS			SPxG:NS
VE						
$L \cdot min^{-1}$						
B	65.8 ± 11.9	71.1 ± 11.5	SP:**	66.0 ± 11.2	72.1 ± 13.8	SP:***
G	56.2 ± 8.0	60.7 ± 8.2	G:**	58.9 ± 10.8	65.8 ± 13.2	G:*
			SPxG:NS			SPxG:NS

B: Boys, G: Girls.

VO_{2max} : Maximal oxygen uptake, Hrmax: maximal heart rate, VE: Ventilation, RER: Respiratory exchange ratio.

SP: study period; G: gender effect; SPxG: gender-study period.

NS: Non-significant, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Bei den submaximalen Tests fand man keine Geschlechterdifferenzen oder Unterschiede zwischen EG und CG sowohl vor als auch nach der Trainingsperiode der VO_{2ex} (l/min). Die EG zeigte einen signifikanten Abfall der Hf nach dem Training bei submaximaler Belastung. Bei Buben war zu beobachten, dass die Hf egal in welcher Gruppe immer niedriger war als bei Mädchen.

Tabelle 30 Submaximal bioenergetic data in EG and CG determined during the cycle ergometer test (Manigout et al 2001, S.12)

	35 Watts			52.5 Watts			70 Watts		
	Before	After	Anova	Before	After	Anova	Before	After	Anova
EG									
VO _{2net} (L.min ⁻¹)									
B	0.58 ± 0.1	0.49 ± 0.1	SP:NS	0.73 ± 0.1	0.71 ± 0.1	SP:NS	0.94 ± 0.1	0.92 ± 0.1	SP:NS
G	0.53 ± 0.1	0.54 ± 0.1	SPxG:NS	0.70 ± 0.1	0.72 ± 0.1	SPxG:NS	0.92 ± 0.1	0.97 ± 0.1	SPxG:NS
HR									
(BPM)									
B	138 ± 14	124 ± 10	SP:***	152 ± 16	139 ± 12	SP:***	164 ± 16	153 ± 12	SP:***
G	146 ± 18	132 ± 11	SPxG:NS	164 ± 16	154 ± 14	SPxG:NS	184 ± 14	173 ± 14	SPxG:NS
CG									
VO _{2net} (L.min ⁻¹)									
B	0.60 ± 0.1	0.58 ± 0.1	SP:NS	0.79 ± 0.1	0.77 ± 0.1	SP:NS	0.97 ± 0.1	0.96 ± 0.1	SP:NS
G	0.55 ± 0.1	0.56 ± 0.1	SPxG:NS	0.73 ± 0.1	0.72 ± 0.1	SPxG:NS	0.94 ± 0.1	0.95 ± 0.1	SPxG:NS
HR									
(BPM)									
B	133 ± 11	131 ± 8	SP:NS	149 ± 12	147 ± 11	SP:NS	167 ± 14	167 ± 12	SP:NS
G	141 ± 13	138 ± 11	SPxG:NS	160 ± 16	160 ± 16	SPxG:NS	180 ± 14	178 ± 14	SPxG:NS

EG: Experimental group, CG: control group, VO_{2net}: oxygen uptake, HR: Heart rate, B: boys, G: girls.

SP: study period; G: gender effect; SPxG: gender-study period.

NS: Non-significant, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Diese Studie fand keinen Geschlechterunterschied bei Anpassungserscheinungen auf aerobes Ausdauertraining. Die Ergebnisse vorliegender Studie, stehen im Einklang mit anderen Studien, die auch gezeigt haben, dass ein Ausdauertrainingsprogramm bei 80% der Hfmax, drei Mal pro Woche bei mehr als 20 Minuten zu signifikanten Verbesserungen der VO_{2max} von Buben führen kann. Bei Mädchen wurde dieser Parameter nur bei wenigen Studien untersucht (Welsman et. al 1997; Brown, et al 1972). Bei weiteren Studien (Welsman et. al 1997; McManus et al. 1997; Rowland und Boyajian 1995), welche ähnliche Trainingsperioden nutzten, gab es unterschiedliche Resultate. Rowland und McMagnus fanden einen signifikanten Anstieg der VO_{2max} nach dem Training, während Welsman et al keinen Unterschied erkennen konnte. Die Differenzen könnten durch die unterschiedliche aerobe Fitness der Kinder erklärt werden. Bei Welsman et. al (1997) war die relative VO_{2max} vor dem Training bei 50ml/kg/min. Um eine Steigerung dieser zu erhalten hätte er das Trainingsprogramm intensiver gestalten müssen. Hingegen war bei McMagnus (1997) die VO_{2max} anfangs niedriger (bei 43ml/kg/min) und stieg anschließend um 8% nach der Trainingsperiode an. Bei Rowland und Boyajian (1995) kam es mit 43,1 (5,6) ml/kg/min zu einer Steigerung von 6,3%. Dies entspricht den Werten der Studie von Manigout et al (2001) mit einer Steigerung von 9,1%. Obwohl es keinen signifikanten Geschlechterunterschied in

dieser Studie gegeben hat erreichten Mädchen nach dem Training mit 9,1% eine höhere Steigerung als Buben (4,6%). Eine Erklärung für die höheren Anstiegswerte der Mädchen könnten die geringeren aeroben Voraussetzungen sein.

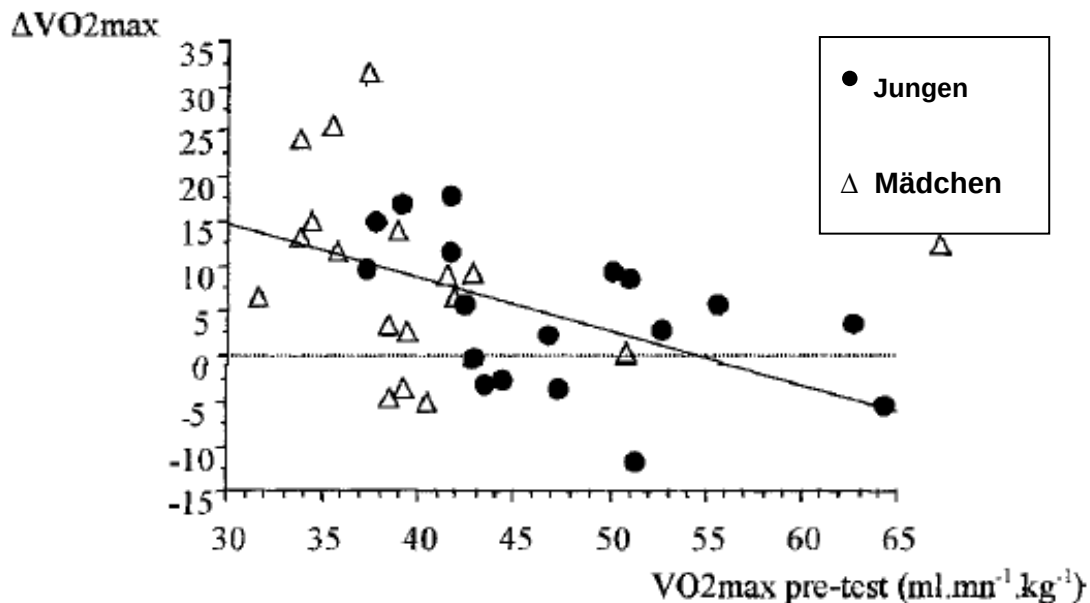


Abbildung 28 relationship between the percentage of VO_{2max} change after training and the VO_{2max} at the pre-test in EG (Mandigout et al 2001, S13)

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen der VO_{2max} vor der Trainingsperiode und der ΔVO_{2max} (= Unterschied zwischen vor und nach dem Training der VO_2), jedoch gibt es keine Geschlechterdifferenzen. Ähnliche Ergebnisse erhalten Rowland und Boyajian (1995), die annähernd gleiche Werte für Jungen und Mädchen festgestellt haben (Mädchen 6,3%, Buben 7,4%). Bei einer Metaanalyse über mehrere Studien kann man sagen, dass die VO_{2max} durchschnittlich um 5% steigt (Rowland und Boyajian 2001).

Im Vergleich zu Erwachsenen sind diese Werte niedrig, was an dem limitierten adaptiven Mechanismus zur Steigerung der VO_{2max} vor der Pubertät liegen kann. Wichtige Faktoren für eine Steigerung der VO_{2max} sind eine verbesserte Füllungsphase, Herzkontraktilität und ein verminderter Gefäßwiderstand, ebenso wie eine verbesserte aerobe Kapazität der Skelettmuskulatur (größere Konzentration von aeroben Enzymen, Myoglobin und Mitochondrien). Bisher gibt es keine Informationen, die die trainingsbezogenen Parameter mit den Veränderungen der Pubertät verbinden. Man kann jedoch sagen, dass aerobes Training einen Effekt auf die VO_{2max} bei Kindern hat und dass Mädchen und Jungen ähnlich darauf reagieren. Die Steigerung der VO_{2max} ist niedriger als bei Erwachsenen mit ähnlichen Trainingsprogrammen. Doch bisher konnte noch keine Begründung dafür gefunden werden.

Zu beachten ist, dass man bei der Untersuchung zwischen relativer und absoluter VO_2

unterscheidet, da die relativen Werte, bezogen auf die Körpermasse, im Vergleich genauer sind. Die Ergebnisse der VO_2 sollte am Besten im Bezug zu Körpergröße, Körpermasse und Alter gesehen werden, da eine Aussage auf die aerobe Leistungsfähigkeit sonst fehlinterpretiert werden kann.

7 Anaerobe Leistungsfähigkeit

Die anaerobe Leistungsfähigkeit ist ein Maß für die Größe der Leistung, welche ein Mensch unter anaeroben Stoffwechselbedingungen erbringen kann.

7.1 Metabolismus

Das Stoffwechselsystem versorgt den Muskel mit der notwendigen Energie. Diese Energie wird vorwiegend aus Nährstoffen wie Fett, Eiweiß und Kohlehydraten gewonnen, da bei ihrer Verbrennung energiereiche Substrate frei werden. Der primäre Energielieferant ist das ATP (Adenosintriphosphat), das in der Zelle nur begrenzt vorhanden ist. Um ATP zu gewinnen gibt es drei Möglichkeiten, entweder mit ausreichender Sauerstoffaufnahme (aerobe Belastungen), ohne ausreichende Sauerstoffaufnahme (Anaerobe Belastungen) oder über Laktatbildung (Milchsäurebildung). Laut Weineck (2000) unterscheiden wir vier Energiegewinnungssysteme:

1. Die anaerob - alaktazide Energiebereitstellung (Abbau von ATP zu ADP als primäre Energie)

Durch eine Muskelkontraktion kommt es durch Myosin ATP-ase sofort zu einer Spaltung von ATP zu ADP und bringt erste Energie für eine Belastungsdauer von zwei Sekunden. Um eine längere Belastung durchzuhalten muss die Resynthese von ATP durch sekundäre Energiequellen passieren.

2. Die anaerob – alaktazide Energiebereitstellung (Abbau von energiereichen Phosphaten und Kreatinphosphat)

Es kommt zu einer Spaltung von Kreatin die eine Resynthese für weitere zehn Sekunden ermöglicht. Diese Form der anaeroben Energiegewinnung bezeichnet man in der Literatur auch als alaktazide Phase. Hier kommt es noch zu keiner Laktatanhäufung da kein Sauerstoff verbrannt wird. Dauert eine intensive Belastung länger als zehn Sekunden, so muss der Körper auf das nächste energiereiche Substrat zugreifen.

3. Die anaerob – laktazide Energiebereitstellung (= anaerobe Glykolyse): Spaltung von Glykogen

Diese Form der Energiegewinnung ist bei intensiven Belastungen bis zu einer Minute möglich. Da nicht genug Sauerstoff zur Verbrennung zur Verfügung steht bildet sich bei der Glukosespaltung neben ATP auch Milchsäure (= Laktat). Bei Ausbelastungen können bei Erwachsenen Laktatwerte bis zu 25mmol/l im Blut erreicht werden.

4. Der aerob - alaktazide Energiegewinnung

a. Abbau von Glukose (= aerobe Glykolyse)

Durch den oxidativen Abbau von Glykose (= aerobe Glykolyse) kommt es zu einer höheren energetischen Ausbeute von ATP. Eine Belastungsdauer bis zu einer Stunde kann hier bewältigt werden. Bei längeren Belastungen steigt der Körper auf den nächsten Energielieferanten um.

b. Abbau von Fett(säuren) (= Lipolyse)

Bei weniger intensiven Belastungen über einer Stunde greift der Körper auf den oxidativen Fettabbau zurück. Es kommt zu einer Verstoffwechslung der körpereigenen Fette.

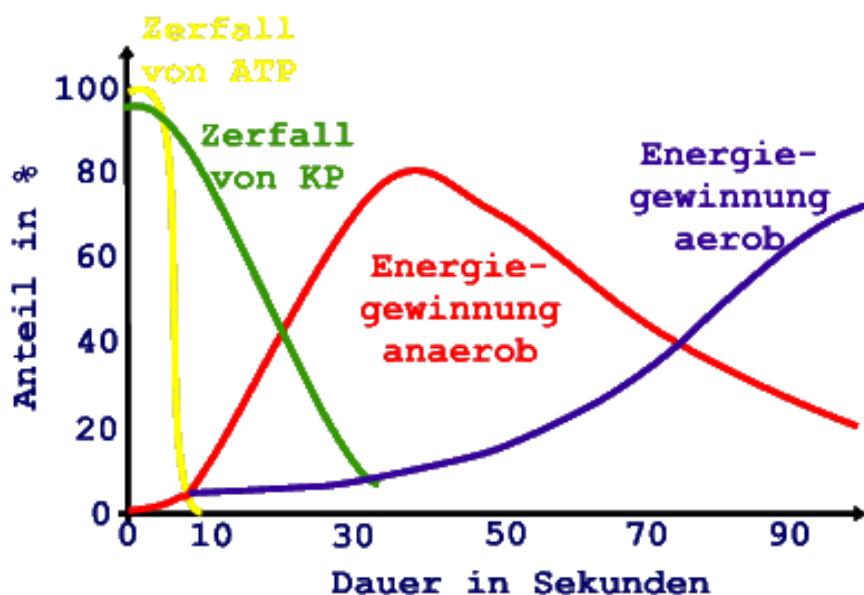


Abbildung 29 Energiegewinnung in Abhängigkeit von Belastungsintensität in % und Dauer der Belastung (www.lauftipps.ch)

Die Belastungskapazitäten des Individuums hängen von der Ausprägung dieses energetischen Systems ab. Durch Messen dieser Kapazitäten kann man in der Physiologie Prognosen über die Leistungsfähigkeit bzw. Leistungskapazität eines Individuums aussagen treffen. Es ist deshalb erforderlich, um nähere Informationen bezüglich der Leistungsfähigkeit bzw. der Kapazitäten von Kindern zu bekommen, bei den einzelnen energieliefernden Systemen zu prüfen, ob sich ein Unterschied zwischen Kindern und Erwachsenen finden lässt.

7.1.1 Muskelenergetik

Laut mehrerer Forschungsdaten sind die körpereigenen ATP Speicher (anaerob alaktazide Energiebereitstellung) bei Kindern und Erwachsenen gleich, da diese unabhängig von der Entwicklungsstufe sind. Erikson und Ferretti (nach van Praagh 2007) kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die peripheren energieliefernden Substrate für Kinder und Erwachsene gleich sind.

Tabelle 31 muscle metabolism at rest (child/adult values for glycogen) (van Praagh 2007, S29)

Authors	Methods	Age years	Sex	ATP mM · kg ⁻¹	PCr mM · kg ⁻¹	Glycogen mM · kg ⁻¹
Eriksson [13, 15]	biopsy	12–16	male	5	20	55/80
Ferretti et al. [16]	31PNMRS	8–13	male and female	C 13.6 AU A 11.9 AU p > 0.05	C 47.1 AU A 44.7 AU p > 0.05	

A = Adult; AU = arbitrary units; C = child.

In einer Studie von Lundberg et al (in Rowland 2005, 70) wurden bei 25 gesunden Kindern zwischen zwei Monaten und elf Jahren eine ATP Konzentration von $4,47 \pm 0,92$ mmol/kg in der Oberschenkelmuskulatur gemessen, wobei hier keine Korrelationen zwischen ATP und dem Alter gefunden werden konnten. Im Vergleich dazu wurde bei Karlson et.al eine Gruppe von 20 jährigen Männern untersucht, bei denen eine Konzentration von $3,8 \pm 0,2$ mmol/kg gemessen wurden. Eriksson und Saltin erreichten ähnliche Untersuchungsergebnisse bei Jungen zwischen 11 und 15 Jahren mit Werten von 4,8 – 5,1 mmol/kg. Ruhewerte des Phosphokreatins, ein Enzym dass für die Bildung von ATP zuständig ist, tendiert in dieser Altersgruppe anzusteigen

„14,5 mmol/kg in the youngest and 23,6 mmol/kg in the oldest“ (in Rowland 2005, 70)

ATP Konzentrationen scheinen bei der Biopsie des M. quadriceps femoris bei progressiver Belastung relativ gleich zu bleiben wo hingegen der Phosphokreatinlevel (PCr) schrittweise fällt. Der Abfall bei den älteren Probanden war um 50% größer als der der Jüngeren. ATP Konzentrationen in Ruhe sind unabhängig von Körpergröße, Entwicklung oder Kapazitäten des aeroben und anaeroben Metabolismus. (Rowland 2005, 70)

Erwachsene haben eine größere anaerobe Kapazität als Kinder aufgrund ihrer größeren glykolytischen Kapazität (anaerob laktazide Energiegewinnung). Der Glykolysepeicher wird mit zunehmendem Alter größer. Eriksson und Saltin beschreiben einen Anstieg des Glykogenspeichers im M. quadriceps femoris bei Jungen zwischen 11,5 bis 15,5 Jahren. Während progressiver Belastungen steigt die Rate der Glykogenutilisation mit dem Alter an (Rowland 2005, 77). Die Utilisationsrate beim Ältesten war drei Mal größer als beim jüngsten

Probanden. In Untersuchungen von Bar-Or, Keul und Kindermann beschreibt Martin (1999, 132), dass bei Kinder wesentlich niedrigere maximale Laktatwerte als bei Erwachsenen gefunden wurden. Während bei Erwachsene abhängig von Alter, Geschlecht, Trainingszustand und Belastungsform relativ hohe Werte bis zu 24mmol/l Laktat im Blut gefunden wurden, erreichten Kinder bei Messungen auch unter Maximalbelastung nur wesentlich niedrigere Werte von 6 – 11mmol/l. Aber wie schon bei Eriksson wird bei Studien von Bar-Or (1986, 199) ein altersbedingter Anstieg der Werte zwischen 6 und 18 Jahren beschrieben. Ebenso kamen Klemt und Rost (in Martin 1999, 132) bei ihren Untersuchungen auf solche Ergebnisse. Innerhalb des Kollektivs nehmen die Laktatwerte zwischen 6 und 18 Jahren bei beiden Geschlechtern ständig zu. Klemt stellt mit einer Ausnahme auch geschlechterspezifische Differenzen fest, nämlich das Mädchen bis zum 15. Lebensjahr über den Werten der Jungen liegen.

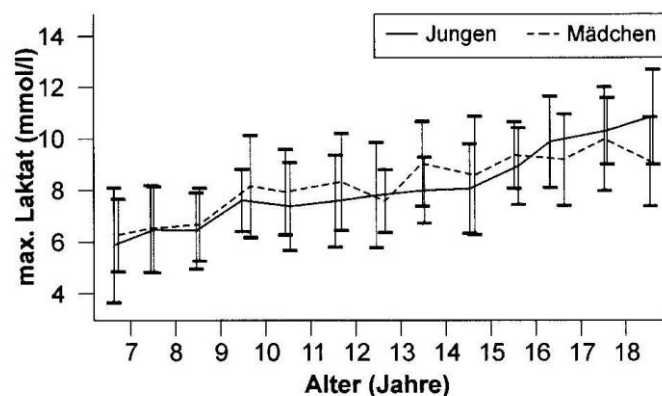


Abbildung 30 - Maximales Laktat in mmol/l Abhängig vom Lebensalter bei Mädchen und Jungen zwischen 6 und 18 Jahren nach Klemt (aus Martin 1999, 133)

Eine Erklärung für die geringeren Laktatwerte sieht Martin (1999, 132) in einer geringeren Aktivität der glykolytischen Enzyme, besonders der Phosphofruktokinase. Eine weitere Erklärung ist die raschere Sauerstoffdynamik bei Kindern, wobei es zu einem raschen Anstieg der Sauerstoffaufnahme kommt und die Kapazität im Vergleich zur anaeroben besser ausgeschöpft wird. Van Praagh (2007) berichtet ebenfalls von der Annahme, dass Kinder eine imitierte anaerobe Glykolyserate habe, da ihre Phosphofruktokinaseaktivität niedriger ist. Jedoch basieren die Untersuchungen der Phosphofruktokinase (PFK) auf Ruhewerten. Berg et. al und Haralambie (nach van Praagh 2007,30) fanden heraus, dass Jugendliche eine niedrigere glykolytische Enzymaktivität haben als Erwachsene. Die letzten 30 Jahre wurde davon ausgegangen, dass Kinder aufgrund ihres niedrigen Glykogengehalts und ihrer geringeren glykolytischen Enzymaktivität in Ruhe, niedrigere Laktatwerte erreichen. Um dieses näher zu untersuchen ist es notwendig eine Magnetresonanzspektroskopie durchzuführen, damit man intrazelluläre anorganische Phosphate (P_i), PCr, ATP und pH in

Ruhe, während und nach der Belastung messen zu können.

Zanconato et al (1993) untersuchte intramuskuläre Parameter während ansteigender Belastung (bis zu 125% der VO_{2max}). Dabei wurden P_i/PCr Profile und pH in der Wadenmuskulatur gemessen und die Daten zwischen Kindern und Erwachsenen verglichen. Kinder zeigten einen minimalen Abfall des pH während sie bei den P_i/PCr Werten nur 27% der Erwachsenen erreichten. Kuno et al (1995) kommt auf ähnliche Ergebnisse.

Tabelle 32 - muscle metabolism during exercise (van Praagh 2007, S30)

Authors	Methods	Age years	Sex	PCr:(PCr + P_i)	Intracellular pH
Zanconato et al. [21]	^{31}P NMRS (calf muscles)	7–10	male	higher*	higher*
Kuno et al. [22]	^{31}P NMRS (thigh muscles)	12–15 (T and UT)	male	higher*	higher*

T = Trained; UT = untrained; *Child-adult comparison.

Taylor et al (1997 nach Praagh 2007 und Petersen 1999) erhielt bei sechs bis zwölfjährigen höhere pH Werte und oxidative Kapazitäten als bei jungen Erwachsenen während der Belastung. Auch der metabolische Stoffwechsel erholte sich schneller nach Belastungsende. Diese Ergebnisse deuten an, dass bei gleicher relativer Intensität Kinder weniger durch anaerobe Glykolyse, als durch den oxidativen Stoffwechsel ihre Energie erhalten.

Petersen et al (1999) untersuchten achtzehn Mädchen im Alter von neun bis sechzehn Jahren eines Synchronschwimmvereins, die schon mindestens ein Jahr trainierten. Die Probandinnen wurden in vorpubertär (Pre) und Pubertär (Pub) nach Tanner eingestuft. Die Daten in Tabelle 33 zeigen, dass die zwei Gruppen signifikante Unterschiede in den anthropometrischen Charakteristiken haben. Die Pub waren signifikant größer, schwerer und älter als die Pre Gruppe.

Tabelle 33 - Physical characteristics of prepubertal and pubertal subjects (Petersen et al 1999, S2152)

	Pre (n = 9)	Pub (n = 9)
Age, yr	10.4 ± 0.5	15.0 ± 0.9*
Height, cm	141.3 ± 4.5	166.2 ± 5.8*
Mass, kg	36.2 ± 7.1	56.1 ± 4.7*
Combined Tanner stages	2.4 ± 0.7	7.8 ± 1.0*
Calf girth, cm	28.7 ± 2.6	33.4 ± 1.5*
Gastrocnemius CSA, cm ²	9.37 ± 2.12	15.11 ± 2.31*
Work at 140% MWC, J	309.77 ± 67.92	481.33 ± 59.92*
Work/CSA ratio, J/cm ²	34.22 ± 9.05	32.10 ± 3.63

Values are means ± SD. Pre, prepubertal; Pub, pubertal; CSA, cross-sectional area; MWC, maximal work capacity. *Significantly greater ($P < 0.01$) than Pre.

Die Probandinnen wurden vor der ³¹P-MRS an das Untersuchungsprotokoll der Plantarflexion gewöhnt. Sie mussten eine abgestufte Plantarflexion bei maximaler Belastung mit der rechten Wade ausführen. Der Test beinhaltete 30 Wiederholungen pro Minute während eines vorgegebenen Bewegungsradius des Fußgelenks. Der Widerstand wurde minütlich bis zur Erschöpfung erhöht. Die letzte Stufe wurde als 100% MWC (maximal work capacity) eingestuft. Nach einer kurzen Pause wurde das Bein gewechselt. Die Testpersonen führten dieselbe Testmodalität für zwei Minuten bei submaximaler (40%MWC) und zwei Minuten bei supramaximaler (140%MWC) aus. Vor den Belastungsserien wurden zwei Tests mit einer TRs (repetition time) von einer und zehn Sekunden gemacht, um den Effekt der Wiederholungszeit auf die Höchstwerte für P_i (intercellular inorganic phosphat) und PCr (Phosphocreatin) Stoffwechsel zu erhalten.

Es gab keinen signifikanten Unterschied bei submaximaler (40% MWC) oder supramaximaler (140% MWC) Belastung zwischen den zwei Untersuchungsgruppen wenn diese durch Muskelmasse und den m. gastrocnemius (CSA) bereinigt waren. Somit war die absolute Leistung der Pub größer und die relative Leistung gleich bei den Probandinnen. Das pH_i (intercellular pH) zeigte keinen Unterschied zwischen den Pre und Pub Gruppen. Die Abbildung 31 zeigt die Veränderung des P_i/PCr von der Ruhe bis zum Belastungsende an. Die P_i/PCr Werte unterscheiden sich kaum zwischen den Altersgruppen, weder in Ruhe noch bei Belastungssteigerung. Während submaximaler Belastung kommt es bei beiden Untersuchungsgruppen zu einem leichten Anstieg des P_i/PCr. Bei 140% MWC kommt es zu einem größeren Anstieg dieser Parameter mit Maximalwerten von 1,31±0,88 bei präpubertären Mädchen und 2,18±1,00 bei der pubertären Gruppe. Die Mittelwerte des P_i/PCr unterscheiden sich nicht.

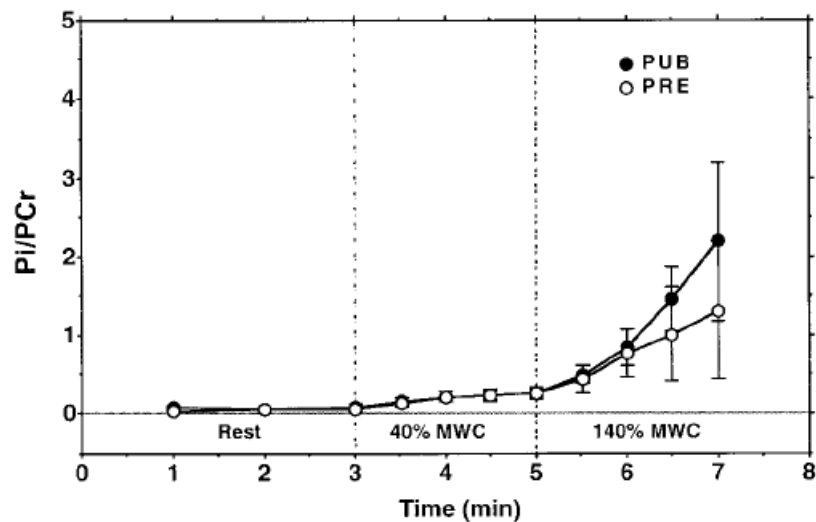


Fig. 2. Mean $\pm$ SD of ratio between P_i and phosphocreatine (PCr) (P_i/PCr) at rest and during submaximal (40% MWC) and supramaximal (140% MWC) exercise in Pre ($n = 9$) and Pub girls ($n = 9$).

Abbildung 31 - P_i/PCr Values at rest during 40%MWC and 140%MWC (Petersen et al 2007, S2153)

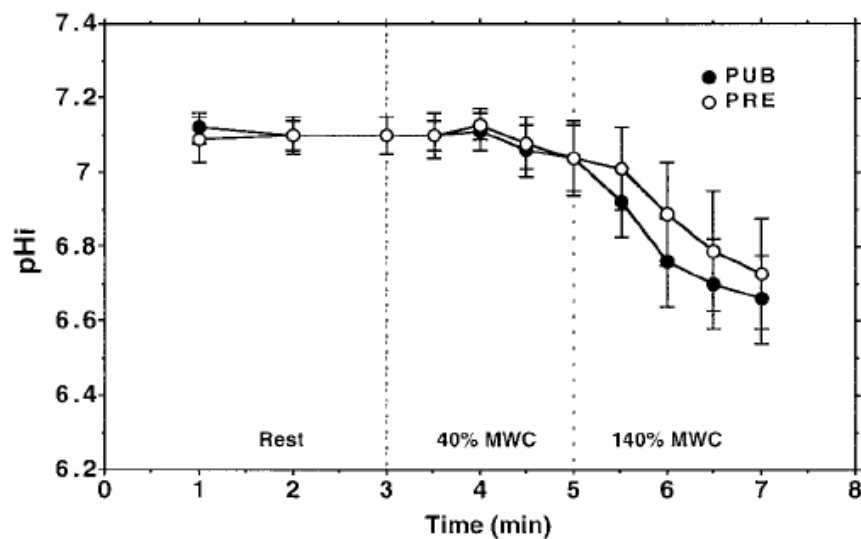


Fig. 1. Mean $\pm$ SD of intracellular pH (pH_i) at rest and during submaximal [40% maximal work capacity (MWC)] and supramaximal (140% MWC) exercise in prepubertal (Pre: $n = 9$) and pubertal girls (Pub: $n = 9$).

Abbildung 32 - Mean values for P_i/PCr at rest and during submaximal and supamaximal exercise (Petersen et al 2007, S2153)

Die meisten Studien bezüglich anaerobem Stoffwechsel berichten von niedrigeren Blutlaktatwerten bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen und verbinden damit auch eine niedrigere anaerobe Leistungsfähigkeit dieser. Petermann et al (2007) berichten davon, dass es eine Vielzahl von methodologischen Gründen gibt für die niedrigeren Werte der Kinder

einschließlich der Belastungsintensität um Spitzenlaktatwerte zu erreichen, Motivation der Probanden, Untersuchungstechniken und Muskelgröße. Es gibt jedoch keine Belege dass das ansteigende maximale Blutlaktat durch die sexuelle Reife beeinflusst wird. Zusätzlich meinen Petersen et al (2007), dass Laktat ein schwacher Parameter ist um die glykolytische Aktivität eines aktiven Muskels zu eruieren.

NMR (nuclear magnetic resonance) lässt eine Untersuchung von pH_i des gescannten Gewebes zu und damit aussagekräftigere Interpretationen des Stoffwechsels eines arbeitenden Muskels. Man kann die Balance zwischen H^+ Produktion und Beseitigung zum Untersuchungszeitpunkt feststellen. Die NMR Studien mit Kindern (Kuno et al 1995, Taylor et al 1997 nach Petersen et al 1999) neigen dazu das Konzept des Zusammenhangs zwischen Stoffwechsel und Reifegrad zu unterstützen. Diese berichten von einer geringeren glykolytischen Aktivität der Kinder im Vergleich zu Erwachsenen. Petersen et al (1999) erforschten die Einflüsse der Pubertät auf die metabolischen Charakteristiken des Muskels. In ihren Ergebnissen kommt es zu niedrigeren pH_i Werten in der Wadenmuskulatur während hoher Belastung. Zanconato et al (1993) arbeitete mit einem ähnlichen Untersuchungsprotokoll und berichtet von einem mittleren pH_i von 6,93 zu Belastungsende mit einem deutlichen Rückgang von 0,11pH Werten. Bei Petersen et al (1999) fand man Mittelwerte von 6,67 pH_i bei vorpubertären Mädchen, was einen Rückgang von 0,33pH Einheiten entspricht. Ähnlich ist es mit dem Pi/PCr Werten die bei Petersen et al (1999) deutlich niedriger waren ($0,54 \pm 0,12$) bei der Pre Gruppe als bei Zanconato et al ($1,31 \pm 0,88$). Die Differenzen könnten sich aus den leicht differierenden Untersuchungsprotokollen erklären. Die größere glykolytischen Beteiligung resultiert aus der supramaximalen Belastung der Studie von Petersen et al (1999). In dieser konnten keine signifikanten Differenzen in der metabolischen Reaktion auf die Belastung zwischen den zwei Altersgruppen gefunden werden. Die Beanspruchung war gleich, wenn man die Werte durch Körpergröße, Körpergewicht und CSA bereinigt hatte. Die metabolischen Reaktionen hatten eine ähnliche Größenordnung. Diese Beobachtung führt zu dem Schluss, dass Bioenergetik nicht vom Alter abhängig ist. Auch wenn die pH und Pi/PCR Werte zu Belastungsende nicht statistisch signifikant waren, so beschreiben Petersen et al (1999) doch einen Interaktionseffekt für Pi/PCR während supramaximaler Belastung. Dieser Befund in Kombination mit der Tendenz zu niedrigeren pH_i Werten für die Pub Gruppe könnten als Beweis für eine entwicklungsbezogene Differenz im Muskelmetabolismus sein.

Da nur wenige Studien über akute Reaktionen oder chronische Anpassungen der Skelettmuskulatur zu trainieren Kindern bekannt sind, ist es wichtig die Bioenergetik von Kindern weiter zu untersuchen. Ein Ansatz könnte darin bestehen Kinder mit ähnlichem chronologischen Alter und Reifestatus bezüglich morphologischen und bioenergetischen

Auswirkungen von Training zu untersuchen.

7.2 Untersuchungen zur anaeroben Leistungsfähigkeit

“Children are primarily more involved in playground activities that are better described as “repetitive sprint events” rather than long lasting exercises. However, somehow contradictory to this natural movement behaviour, children are also considered to have a lower short-term performance capacity compared to adolescents and adults” (Beneke, Hütler und Leithäuser 2007, 671)

Kinder weisen aufgrund ihrer geringeren Muskelgröße und neuromuskulären Koordination eine niedrigere Schnellkraftkapazität auf als Jugendliche und Erwachsenen. Hebestreit et al (1993) nehmen an, dass Kinder weniger auf den anaeroben als auf den aeroben Metabolismus bauen. Kombinierte Messungen der Kraft mit der anaerob alaktaziden, anaerob laktaziden und aeroben Energie zeigen deutlich, dass bei Erwachsenen das metabolische Profil des Wingate Anaerobic Tests (WAnT) hoch aerob ist, dominiert bei 50% Glykolyse, 30% Kreatinphosphat (PCr) Abfall und einem geringen Anteil von 20% aeroben Daten. Einen Vergleich zu Kindern gibt es nicht. Aktuelle WAnT Resultate können keine altersbezogenen Differenzen der Blutlaktatkonzentration reflektieren aufgrund des Muskellaktats aber einen schnelleren Laktatabbau im Blut bei Kindern. Folgende Studie von Beneke et al. (2007) analysiert mittels WAnT – Leistungstest absolute und relative aerobe sowie anaerobe Leistungsfähigkeit und die biochemische Effizienz, definiert als Kraft zu Energieverbrauch, bei Kindern und Jugendlichen.

Beneke et al (2007) untersuchten zehn männliche Kinder und zehn männliche Jugendliche mittels WAnT auf einem mechanisch gebremsten Radergometer. Die Probanden hatten ein fünfminütiges warm-up bei 0,5W/kg Körpergewicht mit zwei Sprints zu je drei Sekunden am Ende der dritten und vierten Minute als Vorbereitung zu absolvieren. Nach einer zehnminütigen Pause sollten die Testpersonen die Trittfrequenz auf ihr Maximum erhöhen (bei einem Widerstand von 7,5% des individuellen Körpergewichts nach einer 3sec Beschleunigungsphase). Die erreichte Trittfrequenz sollten sie für 30 sec halten. Nach dem Test wurden die Probanden weitere 20 Minuten beaufsichtigt. Das Blutlaktat (BLC) wurde von Kapillarblutproben aus dem Ohrläppchen analysiert. Gleich nach dem WAnT-Test, minütlich bis zur 10. Minute und danach jede zweite Minute nach dem Test.

Die mechanische Kraft, die während der Beschleunigungsphase vor der Bremskraftapplikation (Bremskraft IP) erzeugt wurde, wurde durch die Trittfrequenz bei der Beschleunigung des Widerstands und dem Moment der Massenträgheit des Schwungrads kalkuliert. Jede Beschleunigung oder Verlangsamung des Schwungrads wurde als Kraftkalkulation verwendet. WAnT Maximalkraft (PP) und Minimalkraft (MP) wurden aus den höchsten und niedrigsten Werten des Tests entnommen. Die durchschnittliche Kraft (AP) ist

der Mittelwert der Kraft die in fünf Sekunden aufgebracht wurde. Der Kraftabfall (PD) errechnet sich aus der Differenz der PP und der MP. Der Ermüdungsindex (FI) und Beschleunigungsindex (AI) sind ein Ausmaß des Kraftabfalls während des Tests und werden in % der PP ausgedrückt. Zur Analyse des BLC nutzen die Forscher das 3-Parametermodell.

- A = extravaskulärer Anstieg von Laktat während der Belastung
- k_1 = gleichbleibende Invasion
- k_2 = konstante Evasion von Laktat in und aus dem Blutkompartiment
- BLC_0 = Laktat vor dem Test

Zur Bestimmung der Muskellmasse wurde die lean leg volume (LLV) herangezogen. Die absolute Muskelmasse wurde aus der Körpermasse und der relative Muskelmasse, welche bei Jugendlichen 42% der Körpermasse ist, berechnet.

Tabelle 34 - Antropometric data (Beneke et al 2007, S672)

	Boys ($N = 10$)	Adolescents ($N = 10$)	t	Effect size (η^2)
Age (years)	11.8 (0.5)	16.3 (0.7)	-16.590***	0.973
Height (m)	1.51 (0.05)	1.81 (0.05)	-12.853***	0.954
Body mass (kg)	36.9 (2.5)	67.3 (4.1)	-10.035***	0.848
Muscle mass (kg)	13.0 (1.0)	28.2 (1.7)	-24.363*	0.970

Significant difference between children and adolescents:
 *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$,
 * $P < 0.05$

Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass die Geschwindigkeit (v), IP, PP, MP, AP und AI bei Kindern niedriger ist als bei Jugendlichen. Der Beschleunigungsindex (AI) ergab sich aus den Unterschieden der Kraft (alle $p < 0,05$) bei allen WAnT Segmenten außer nach zehn Sekunden Bremskraftanwendung (siehe Abb. 30). Indikatoren der Müdigkeit PD und FI waren nicht signifikant.

Tabelle 35 - Wingate anaerobic test performance (Beneke et al 2007, S673)

	Boys (<i>N</i> = 10)	Adolescents (<i>N</i> = 10)	<i>t</i>	Effect size (η^2)
<i>v</i> (min ⁻¹)	97.3 (13.2)	153.5 (12.3)	-9.859***	0.844
<i>IP</i> (W kg ⁻¹)	6.0 (1.6)	8.1 (1.1)	-3.367**	0.386
<i>PP</i> (W kg ⁻¹)	10.8 (0.7)	11.5 (0.6)	-2.556*	0.265
<i>MP</i> (W kg ⁻¹)	6.1 (0.7)	6.9 (0.9)	-2.518**	0.261
<i>AP</i> (W kg ⁻¹)	7.9 (0.5)	8.9 (0.7)	-3.754***	0.439
<i>PD</i> (W kg ⁻¹)	4.7 (0.9)	4.6 (0.9)	0.240	0.003
<i>AI</i> (%)	56.0 (14.9)	70.2 (9.4)	-2.556**	0.267
<i>FI</i> (%)	43.5 (6.6)	39.8 (7.4)	1.165	0.070

v Pedalling cadence at application of the braking force, *IP* power only acceleration against flywheel inertia, *PP* peak power, *MP* minimum power, *AP* average power, *PD* power drop, *AI* acceleration index, *FI* fatigue index, significant difference between children and adolescents: ****P* < 0.001, ***P* < 0.01, **P* < 0.05

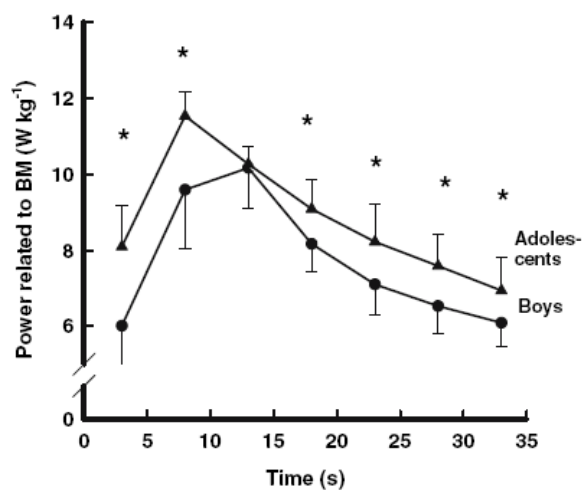


Abbildung 33 - Mechanical power during WAnT related to body mass in boys and adolescents (Beneke et al 2007, S674)

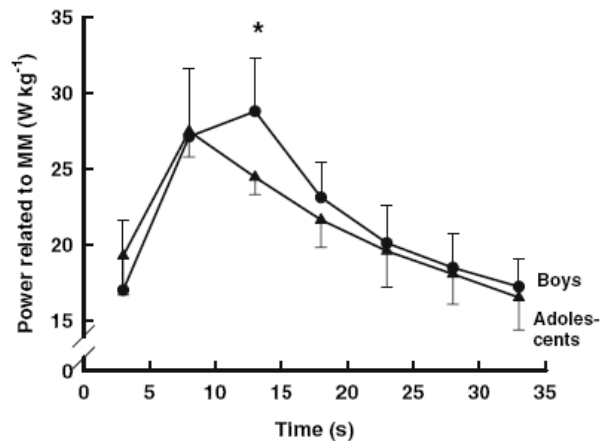


Abbildung 34 - Mechanical Power during WAnT related to muscle mass in boys and adolescents (Beneke et al 2007, S674)

Bezogen auf MM (muscle mass), PP(>MPP), und PC (>MPC) zeigten Kinder höhere Werte als Jugendliche. Hinsichtlich MM gab es keine Differenzen in der Bremskraft (IP>MIP), Minimalkraft (MP > MMP) und der mittleren Kraft (AP>MAP) wie Tabelle 36 zeigt. Der Unterschied von MP und MPD reflektiert eine größere muskuläre Leistungsfähigkeit nach zehn Sekunden Bremskraftanwendung bei Kindern.

Tabelle 36 - Performance and Energetics of WAnT related to muscle mass (Beneke et al 2007, S675)

	Boys (N = 10)	Adolescents (N = 10)	t	Effect size (η^2)
MIP (W kg _{MM} ⁻¹)	17.0 (4.6)	19.3 (2.6)	-1.361	0.095
MPP (W kg _{MM} ⁻¹)	30.5 (2.6)	27.5 (1.7)	3.044**	0.340
MMP (W kg _{MM} ⁻¹)	17.2 (2.0)	16.5 (2.1)	0.700	0.027
MAP (W kg _{MM} ⁻¹)	22.5 (1.8)	21.3 (1.6)	1.576	0.121
MPD (W kg _{MM} ⁻¹)	13.3 (2.7)	11.0 (2.3)	2.111*	0.197
MLR (mmol kg _{MM} ⁻¹ s ⁻¹)	0.70 (0.08)	0.68 (0.04)	0.522	0.015
MPCrR (mmol kg _{MM} ⁻¹ s ⁻¹)	0.60 (0.17)	0.52 (0.11)	1.265	0.082
$\dot{V}O_{2-MM}$ (ml kg _{MM} ⁻¹ s ⁻¹)	1.34 (0.13)	1.09 (0.13)	4.375***	0.515
P _{TOT-MM} (W kg _{MM} ⁻¹)	132.4 (12.6)	119.7 (8.5)	2.649*	0.280

MIP muscular power only acceleration against flywheel inertia, MPP muscular peak power, MMP muscular minimum power, MAP muscular average power, MPD muscular power drop, MLR rate of muscular lactate increase, MPCrR rate of muscular PCr decrease, $\dot{V}O_{2-MM}$ rate of muscular oxygen uptake, P_{TOT-MM} total muscular metabolic rate; significant difference between children and adolescents: ***P < 0.001, **P < 0.01, *P < 0.05

A (extravaskulärer Anstieg von Laktat während der Belastung) war niedriger kombiniert mit höheren k₂ Werten bei Kindern. Keine Differenz gab es bei k₁ (gleichbleibende Invasion) was besagt, dass Kinder (10,2mmol/L) ein niedrigeres Blutlaktat erreichen als Jugendliche (12,7mmol/L). Die VO₂ ist nicht signifikant. W_{BLC} (anaerobic lactic energy related to body mass) ist bei Kindern niedriger, wo hingegen keine Unterschiede in W_{PCr} (anaerobic alactic energy related to body mass), W_{AER} (aerobic energie related to body mass) und W_{TOT} (total metabolic energie related to body mass) auftreten. Bezogen auf die Muskelmasse und die

metabolischen Raten in Ruhe gibt es keine signifikanten Differenzen hinsichtlich muskulärer Veränderungen von Laktat oder Kreatinphosphat.

Tabelle 37 - kinetics of blood lactate concentration (BLC) and post WAnT oxygen uptake (Beneke et al 2007, S675)

	Boys (<i>N</i> = 10)	Adolescents (<i>N</i> = 10)	<i>t</i>	Effect size (η^2)
A (mmol l ⁻¹)	10.4 (1.1)	12.6 (0.7)	-5.177***	0.573
<i>k</i> ₁ (min ⁻¹)	0.865 (0.129)	0.708 (0.239)	1.828	0.157
<i>k</i> ₂ (min ⁻¹)	2.96 10 ⁻² (8.27 10 ⁻³)	1.97 10 ⁻² (9.55 10 ⁻³)	2.456**	0.251
A _{Ox} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	39.7 (3.7)	36.7 (5.3)	1.476	0.108
τ _{Aox} (min)	0.63 (0.15)	0.72 (0.18)	-1.173	0.071
B _{Ox} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	7.2 (2.9)	8.4 (1.9)	-1.158	0.069
τ _{Box} (min)	6.6 (2.5)	9.7 (1.4)	-3.415**	0.393

A extravascular increase of lactate, *k*₁ invasion constant (blood compartment), *k*₂ evasion constant (blood compartment), A_{Ox} amplitude of the fast component of the post WAnT oxygen uptake, τ_{Aox} time constant of the fast component of the post WAnT oxygen uptake, B_{Ox} amplitude of the slow component of the post WAnT oxygen uptake, τ_{Box} time constant of the slow component of the post WAnT oxygen uptake; significant difference between children and adolescents: ****P* < 0.001, ***P* < 0.01, **P* < 0.05

Tabelle 38 - Energetics of WAnT related to body mass (Beneke et al 2007, S.675)

	Boys (<i>N</i> = 10)	Adolescents (<i>N</i> = 10)	<i>t</i>	Effect size (η^2)
W _{TOT} (J kg ⁻¹)	1541.5 (140.1)	1655.5 (122.7)	-1.936	0.172
W _{BLC} (J kg ⁻¹)	687.6 (75.6)	798.2 (43.0)	-4.021***	0.473
W _{PCr} (J kg ⁻¹)	524.4 (148.2)	539.6 (117.4)	-0.254	0.003
W _{Aer} (J kg ⁻¹)	329.5 (29.2)	317.8 (36.6)	0.794	0.034
Rel.W _{BLC} (%)	44.9 (6.0)	48.5 (4.4)	-1.507	0.111
Rel.W _{PCr} (%)	33.6 (7.3)	32.3 (5.2)	0.453	0.011
Rel.W _{Aer} (%)	21.5 (2.1)	19.2 (2.1)	2.386*	0.312

W_{TOT} total metabolic energy related to body mass, W_{BLC} anaerobic lactic energy related to body mass, W_{PCr} anaerobic alactic energy related to body mass, W_{Aer} aerobic energy related to body mass; rel.W_{BLC} W_{BLC} related to W_{TOT}, rel.W_{PCr} W_{PCr} related to W_{TOT}, rel.W_{Aer} W_{Aer} related to W_{TOT}; significant difference between children and adolescents: ****P* < 0.001, ***P* < 0.01, **P* < 0.05

Laut Beneke et al (2007) ist diese Studie die Erste, die WAnT einschließlich der Schwungträgheit und dem korrespondierenden metabolischen Profil, basierend auf BLC und VO₂ während und nach dem WAnT in diesen Altersgruppen, vergleicht. Das erlaubt eine Annahme von altersbezogenen Differenzen der Leistungsfähigkeit, als auch ausgewählter Indikatoren der Energetik bei kurzen Maximalbelastungen, unter Berücksichtigung altersbedingter Einschränkungen der Glykolyse, PCr Abfall und oxidativer Rephosphorisation.

Die Maximalkraft.- (PP) und die Durchschnittskraftwerte (AP = average power) dieser Studie korrespondieren mit Resultaten von Falk und Bar-Or (1993). Vergleichbare Daten der Geschwindigkeit, Bremskraft (IP), Minimalkraft (MP), dem Kraftabfall (PD) und Ermüdungsindex (FI) gibt es keine. Beeindruckend große Differenzen der v, IP und des AI (36,6; 26,9 und 20,2%) sowie längere Akzelerationsphasen um PP zu erreichen, induzieren, dass die niedrigere Leistungsfähigkeit der PP, und vor allem von der AP, teilweise von dem Nachteil der Kinder kommt die Schwungradträgheit zu überwinden. Studien von Dore et al (2000) und van Praagh (2002) belegen, dass Kinder unter 14 Jahren geringere Bremskräfte

während des WAnT und ähnlichen Ergometertests haben. In Beneke et al (2007) Studie war eine Bremskraft entsprechend 7,5% des Körpergewichts offensichtlich kein Handicap für die Probanden. Die Bremskraft der Kinder war bezogen auf die Muskelmasse sogar um 18% höher als die der Jugendlichen.

Die Kombination von niedrigerem extravaskulärem Anstieg von Laktat während der Belastung, $\Delta\text{BLC}_{\text{max}}$, ähnlicher aeroben Energie bezogen auf die Körpermasse (W_{AER}), höherer relativer W_{AER} und schnellerer Laktatelimination aus dem Blut sind einheitlich mit der niedrigeren relativen Muskelmasse (Dore et. al 2000). Ebenso verhält es sich mit günstigeren Bedingungen wie der O_2 Versorgung des Muskels und dem aeroben Stoffwechsel bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen. Es gab keine Differenzen des PCr Abfalls und des Laktatvorkommens zwischen Kindern und Jugendlichen, welches verbunden war mit höheren aeroben Raten resultieren aus der höheren Kraft bezogen auf die Muskelmasse bei Kindern als Jugendlichen. (Beneke et al 2007). Dieses scheint zu beweisen, dass Kinder im Vergleich zu Jugendlichen günstigere Voraussetzungen hinsichtlich des aeroben Stoffwechsels haben.

Zusammengefasst unterstreicht diese Studie, dass die WAnT Leistungsfähigkeit und das BLC während der Pubertät höher sind als im Kindesalter. Die Untersuchung unterstützt die Hypothese, dass die häufig beschriebenen Laktatwerte der Kinder mit einer geringeren relativen Muskelmasse in Verbindung stehen. Die Adoleszenten dieser Studie zeigen ein ähnliches metabolisches Profil wie Erwachsene. Das max. BLC bei Jugendlichen ist höher als bei Kindern und scheint die Annahme zu unterstützen, dass Kinder eine geringere BLC Reaktion auf intensive Schnellkraftbelastungen zeigen als Jugendliche.

Eine weitere Studie von Beneke (2005) untersucht den Aspekt, der Blutlaktatkinetik bei intensiven Kurzzeitbelastungen im Vergleich zwischen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen. Die Aussage, dass Kinder mit der Entwicklung auch ihre Muskelglykogenraten verbessern ist mit Vorsicht zu genießen, da das BLC nicht nur den Anstieg des Laktats im Muskel anzeigt, sondern auch eine Anzahl an anderen Prozessen die den Transport von Laktat in und aus dem Blut modulieren. Dies kann nur mit einer Muskelbiopsie festgestellt werden und davon gibt es kaum Studien im Kindesalter. Aus diesem Grund werden die Daten mittels nuklearer Magnetresonanztomographie, einer invasiven Methode, untersucht. Ein Vergleich zwischen mehreren Studien mit einer Belastungsdauer von 30 Sekunden und derselben Methode für die BLC Auswertung zeigen, dass die höchsten Laktatwerte bei Entnahmen bis zur siebten Minute nach Belastungsende auftreten. Folgende Studie versucht das BLC nach dem WAnT bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen zu analysieren.

Beneke et. al (2005) untersuchte 15 vorpubertäre Buben, 12 männliche Jugendliche und 12

erwachsene Männer.

Tabelle 39 - Anthropometric data (Beneke et al 2005, S500)

	Boys	Adolescents	Adults
Age, yr	12.0±0.6	16.3±0.7*	27.2±4.5*†
Height, m	1.54±0.07	1.83±0.07*	1.83±0.06*
Body mass, kg	40.0±5.2	68.2±7.5*	81.6±6.9*†
Muscle mass, kg	14.3±2.1	28.6±3.4*	34.3±2.9*†

Values are means ± SD. *Significantly different from boys; †significantly different from adolescents ($P < 0.05$).

Zu Beginn wurde ein ansteigender Belastungstest am Radergometer durchgeführt. Teststart lag bei einem W/kg und wurde jede zweite Minute um 0,5W/kg erhöht. Der Belastungstest wurde abgebrochen sobald die individuelle Maximalkraft erreicht wurde. Der Test wurde benutzt um die P_{peak} , VO_{2peak} und BLC_{peak} zu untersuchen. VO_{2peak} wurde definiert als maximale Sauerstoffaufnahme gemittelt durch ein 30 Sekunden Segment der letzten Belastungsminute. Das Kapillarblut wurde während der letzten 15 Sekunden aller zweiminütigen Belastungsstufen und jede Minute, bis zur fünften nach dem Test, aus dem Ohrläppchen entnommen. BLC_{peak} ist der höchste BLC Wert in der Nachtestperiode. An einem weiteren Tag musste jeder Proband einen 30 Sekunden WAnT auf einem mechanisch gebremsten Ergometer durchführen. Nach einem fünfminütigen Warm-up bei 0,5W/kg, mit zwei inkludierten Sprints für drei Sekunden am Ende der vierten und fünften Minute, um die Testpersonen vorzubereiten, gab es eine Pause von zehn Minuten. Anschließend traten sie bei einem Widerstand von 7,5% des Körpergewichts nach einer Beschleunigungsphase von drei Sekunden. Nach dem Belastungstest wurden die Probanden weitere 20 Minuten in Ruhe untersucht, indem man ihnen Kapillarblut jede Minute bis zur zehnten Minute und alle zwei Minuten bis zur zwanzigsten abnahm.

Beim ansteigenden Belastungstest war BLC_{peak} niedriger bei Kindern als bei Jugendlichen, als bei Erwachsenen. P_{peak} war bei Jugendlichen höher als bei Kindern und Erwachsenen, während die relative P_{peak} zur Muskelmasse bei Erwachsenen niedriger war als bei Kindern und Jugendlichen. Keinen Unterschied gab es bei der VO_{2peak} innerhalb der drei Gruppen, erst im Bezug zur Muskellmasse hatten Erwachsenen niedrigere Werte als Kinder und Jugendliche.

Tabelle 40 Incremental loadtest (Beneke et al 2005, S501)

	Boys	Adolescents	Adults
P_{peak} , W/kg	3.9 ± 0.3	$4.3 \pm 0.5^*$	$3.7 \pm 0.6^\dagger$
$\dot{V}O_{2peak}$, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	50.8 ± 5.3	55.3 ± 6.0	51.0 ± 7.4
BLC_{peak} , mmol/l	8.6 ± 1.6	$12.0 \pm 0.9^*$	$12.7 \pm 1.3^*$
$P_{peak MM}$, W/kg	10.9 ± 0.8	10.4 ± 1.1	$8.9 \pm 1.4^{*\dagger}$
$\dot{V}O_{2peak MM}$, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	142.5 ± 13.9	131.9 ± 13.8	$121.3 \pm 17.6^{*\dagger}$

Values are means $\pm$ SD. P_{peak} , peak power; $\dot{V}O_{2peak}$, peak oxygen uptake; BLC_{peak} , peak blood lactate concentration; MM, related to muscle mass. *Significantly different from boys; † significantly different from adolescents ($P < 0.05$).

Tabelle 41 Lactate response to WAnT (Beneke et al 2005, S502)

	Boys	Adolescents	Adults
A, mmol/l	10.4 ± 1.2	$12.7 \pm 0.7^*$	$13.8 \pm 1.6^*$
k_1 , min^{-1}	0.865 ± 0.115	0.692 ± 0.221	0.687 ± 0.289
k_2 , min^{-1}	$2.87 \times 10^{-2} \pm 0.75 \times 10^{-2}$	$2.03 \times 10^{-2} \pm 0.89 \times 10^{-2}^*$	$1.99 \times 10^{-2} \pm 0.93 \times 10^{-2}^*$
AMM, mmol/kgMM	22.8 ± 2.8	22.7 ± 1.3	24.7 ± 2.8
BLC_{max} , mmol/l	10.2 ± 1.3	$12.7 \pm 1.0^*$	$13.7 \pm 1.4^*$
TBLC _{max} , min	4.1 ± 0.4	$5.5 \pm 0.7^*$	$5.7 \pm 1.1^*$
TP, min	8.3 ± 0.8	$11.0 \pm 1.4^*$	$11.5 \pm 2.2^*$

Values are means $\pm$ SD. A, lactate generated in the extravascular compartment during Wingate Anaerobic Test (WAnT); k_1 , constant of invasion into the blood compartment; k_2 , constant of evasion out of the blood compartment; BLC_{max} , highest BLC; TBLC_{max}, time of BLC_{max} ; TP, turn point, the time after that the decrease of the post-test BLC can be described monoexponentially. *Significantly different from boys ($P < 0.05$).

Unter WAnT Bedingungen hatten Jugendliche und Erwachsene ab der zweiten Minute nach Belastungsende höhere BLC Werte als Kinder. Zwischen Jugendlichen und Erwachsenen gab es keine Differenzen.

Tabelle 42 BLC bei WAnT (Beneke et al 2005, S501)

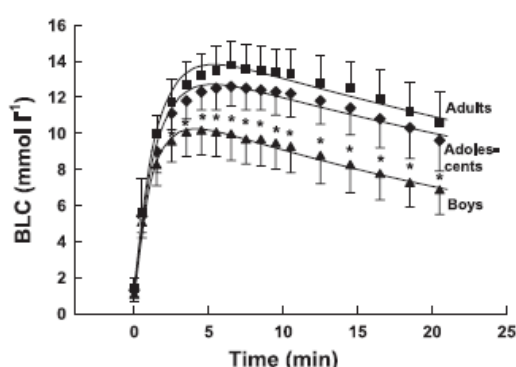


Fig. 1. Measured blood lactate concentration (BLC) response to a Wingate Anaerobic Test (WAnT) was lower ($*P < 0.05$) in boys ($\blacktriangle$) than in adolescents ($\blacklozenge$) and adults ($\blacksquare$); the dynamics of the BLC (solid curve line) shown as average of all individual curve approximations in each group was faster ($P < 0.05$) in boys, than adolescents and adults.

Die Test-by-Test Analyse der Kinetik jedes einzelnen WAnT brachte Ergebnisse der BLC-Varianz über $98,7 \pm 0,7\%$; $98,3 \pm 1,3\%$ und $97,2 \pm 2,6\%$, welche sich zwischen den drei Untersuchungsgruppen nicht unterschieden. Weitere Analysen der Residuen ergaben

Durbin-Watson Koeffizienten von 1,71; 1,56 und 1,12 bei Buben, Jugendlichen und Erwachsenen, welche zeigen, dass bei Erwachsenen das 4-Parameter Biexponentialmodell das BLC in der vierten Minute leicht überschätzt und zwischen der neunten und 16. Minute leicht unterschätzt. Bei Kindern und Jugendlichen war das nicht der Fall (Beneke et al 2005).

Der extravaskuläre Anstieg des Blutlaktats (A) und die Blutlaktatkonzentration waren niedriger, T_{BLC} (time of BLC) und T_P (turn point) bei Buben waren kürzer als bei den anderen beiden Gruppen. Das k_2 war bei Buben höher als bei Jugendlichen und Erwachsenen, was sich mit den Ergebnissen der vorherigen Studie deckt. A, BLC_{max} und k_2 wurde mit dem Alter in Beziehung gesetzt (siehe Abbildung 35)

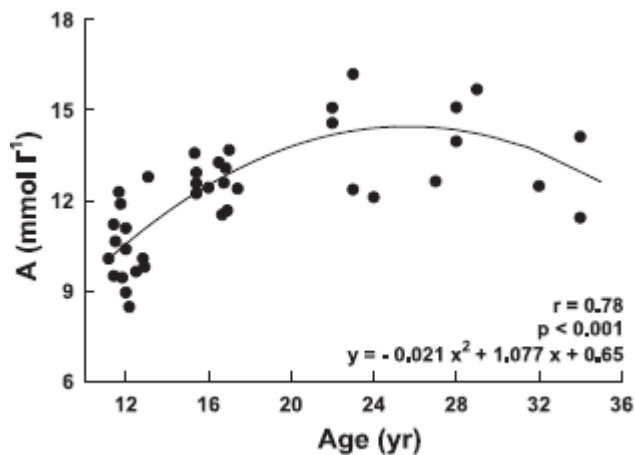


Abbildung 35 Lactate generates in the extravascular compartment (A) shows a maximum during the third decade of life (Beneke et al 2005, S501)

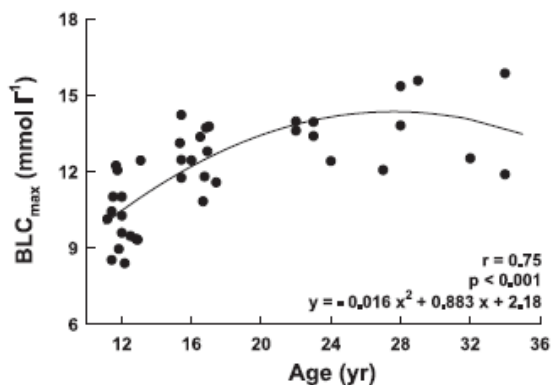


Abbildung 36 Maximum of the post-WAnT BLC (BLC_{max}) shows a maximum during the third decade of life (Beneke et al 2005, S501)

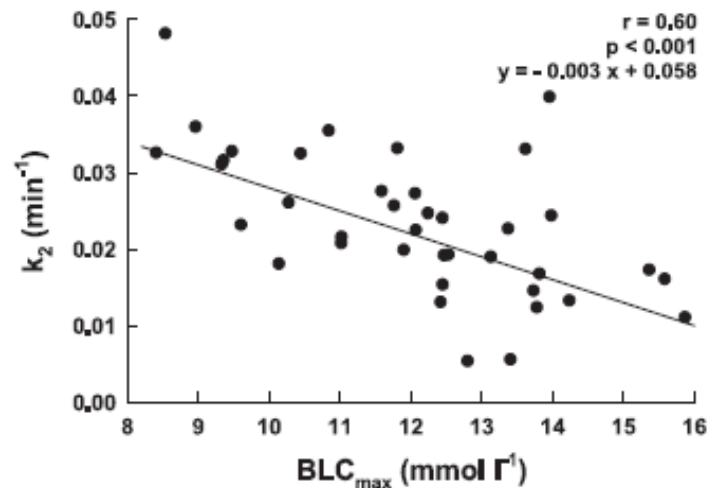


Abbildung 37 Velocity constant of lactate elimination from the blood compartment (k_2) decreases with an increase in the BLC_{max} (Beneke et al 2005, S502)

BLC_{max} war bei allen Probanden höher als BLC_{peak} , die Differenzen betrugen $1,5 \pm 1,1$ mmol/L, $0,7 \pm 0,8$ mmol/L und $1,1 \pm 1,0$ mmol/L und war bei Buben höher als bei Adoleszenten und Erwachsenen.

Bei Buben war die AP niedriger als bei Jugendlichen und Erwachsenen, während die PP nur bei Buben im Vergleich zu Erwachsenen niedriger war. Aber es gab keinen Unterschied zwischen Männern und Jugendlichen. Auch MP war bei Buben am niedrigsten. Bei Erwachsenen war der Kraftabfall am höchsten und zeigte keinen Unterschied zwischen Kindern und Jugendlichen bzw. Kindern und Erwachsenen. All diese Ergebnisse waren immer bezogen auf die Muskelmasse (MM) und es ergaben sich keine Differenzen zwischen den untersuchten Gruppen.

Tabelle 43 WAnT performance (Beneke et al 2005, S502)

	Boys	Adolescents	Adults
AP, W/kg	7.9 ± 0.6	$8.9 \pm 0.6^*$	$8.7 \pm 0.6^*$
PP, W/kg	10.7 ± 0.9	11.5 ± 0.6	$12.1 \pm 1.2^*$
MP, W/kg	6.0 ± 0.6	$6.9 \pm 0.8^*$	6.4 ± 0.7
PD, W/kg	4.7 ± 1.0	4.6 ± 1.0	$5.7 \pm 1.5^\dagger$
AP _{MM} , W/kgMM	22.1 ± 1.7	21.3 ± 1.4	20.7 ± 1.5
PP _{MM} , W/kgMM	29.9 ± 2.7	27.5 ± 1.8	28.8 ± 2.9
MP _{MM} , W/kgMM	16.8 ± 1.8	16.5 ± 2.0	15.2 ± 1.7
PD _{MM} , W/kgMM	13.1 ± 2.7	10.9 ± 2.4	13.6 ± 3.5

Values are means $\pm$ SD. AP, average power; PP, peak power; MP, minimum power; PD, power drop. *Significantly different from boys; † significantly different from adolescents ($P < 0.05$).

Diese Ergebnisse zeigen, dass Differenzen in der BLC zwischen Kindern und Erwachsenen größer sind, als zwischen Jugendlichen und Erwachsenen. Unterschiede in den Modellparametern zwischen Jungen, Jugendlichen und Erwachsenen unterstützen die Hypothese, dass der Unterschied in der BLC_{max} das Ergebnis eines geringeren ($P < 0,05$) extravaskulären Anstieg des Laktats ist, der durch den Stoffwechsel während sportlicher Aktivität in Verbindung mit einer schnelleren Beseitigung des BLC im intravaskulären Kompartiment erzeugt wird. Dieses scheint auch die Unterschiede in der T_{BLCmax} und dem T_P zu begründen. Die aktuellen Ergebnisse des niedrigeren BLC_{max} als ein Resultat niedrigeren extravaskulären Anstiegs des Laktats belegen nicht die Idee einer reduzierten Muskelglykogenrate von Kindern. Die größere Differenz zwischen der BLC_{max} und der BLC_{peak} bei Buben im Vergleich zu Jugendlichen und Erwachsenen begründet Beneke et al (2005) mit einem altersbezogenen Unterschied der intramuskulären Laktatlevel bei der VO_{2peak} während des ansteigenden Belastungstests. Unter der Annahme, dass die BLC_{peak} bei einem Laktatgleichgewicht erreicht wird, deuten die aktuellen BLC_{peak} Werte einen niedrigeren Anstieg des Muskellaktats in einem Bereich von $\sim 2\text{-}3\text{ mmol/kg}$ bei Jungen im Vgl. zu Jugendlichen und Erwachsenen an. Diese Differenz der Laktatreaktion bei WAnT kombiniert mit einer niedrigeren VO_{2peak} und Maximalkraft im Bezug zur Muskelmasse, könnte indirekt darauf hinweisen, dass Kinder eine höhere aerobe Enzymaktivität haben und eine schnellere VO_2 Kinetik als Erwachsene.

Der BLC Abbau war bei Kindern um 30% schneller als bei Jugendlichen und Erwachsenen, was die Hypothese erlaubt, dass Kinder unter Ruhebedingungen schneller Laktat abbauen als Erwachsene. Auf der anderen Seite, könnten diese Ergebnisse auch an den niedrigeren BLC Werten der Kinder falsch interpretiert sein. Das maximale Blutlaktat nach körperlicher Belastung bei Kindern ist im Vergleich zu Jugendlichen und Erwachsenen am niedrigsten. Die BLC Differenz scheint den niedrigeren extravaskulären Laktatanstieg bei maximalen Kurzzeitbelastungen bei gleichzeitig schnellerer BLC Elimination zu reflektieren. Dennoch unterstützt das nicht die Hypothese, dass Kinder eine niedrigere Muskelglykogenrate haben, sondern den aeroben Stoffwechsel favorisieren.

Ratel et al (2002) berichten, dass bei Erwachsenen während wiederholter intensiver Kurzzeitbelastungen mit einer 30 Sekunden Erholungszeit, die PP stark nachlässt. Sind die Erholungszeiten hingegen länger (50 – 60 Sekunden) so ist der Abfall der PP deutlich niedriger. Dieses Phänomen schreiben Ratel et al der unzureichenden Resynthese von PCr zu beziehungsweise einer schlechten Laktatakkumulation. Bezogen auf Kinder nimmt man nun an, dass diese mit eben beschriebenen Belastungen besser umgehen können, da sie eine höhere oxidative Muskelkapazität haben und schnellere PCr Resyntheseraten.

Ratel et al (2002) untersuchten elf vorpubertäre, neun pubertäre Jungen und zehn Männer. Beim ersten Besuch wurden die physiologischen Parameter der Testpersonen gemessen und anschließend ein fünf minütiges Warm-up auf dem Ergometer gemacht. Das Aufwärmen bestand aus fünf Minuten submaximalem treten, gefolgt von zwei kurzen Sprints (5s) gegen einen niedrigen Widerstand. Nach fünf Minuten Pause machten die Probanden noch einmal drei Sprints gegen unterschiedliche Widerstände (25, 50 und 75g/kg Körpergewicht). Daraus wurde die cycling peak power (CPP) berechnet und ebenso die Widerstände für die folgenden drei Besuche. Zusätzlich wurde nach einer fünfzehn minütigen Pause die $\dot{V}O_{2\max}$ durch einen Ausbelastungstest bestimmt. Bei einer Trittfrequenz von 60U/min war die anfängliche Kraft 30W bei den Jüngsten und 60 – 75W bei den Pubertären und Erwachsenen. Bei den folgenden drei Besuchen führten die Probanden nach einem Warm-up von sechs Minuten, überprüft durch die Herzfrequenz (140 – 150 Pre, 130 – 140 Pub, 120 – 130 Schläge/min Men), zehn kurze Sprints auf dem Radergometer mit unterschiedlichen Erholungszeiten aus. Die Erholungszeiten zwischen den zehn Sekunden Sprints betrugen 30 Sekunden (R30), 1 (R1) oder 5 (R5) Minuten. Alle Sprints wurden gegen einen Widerstand getreten, der 50% der optimalen Kraft (F_{opt}) entsprach. Die PP wurde bei jedem Sprint errechnet und definiert als „peak power produced at 50% F_{opt} “ (PP50). Die Blutproben wurden in Ruhe, vor und nach dem ersten Sprint genommen, anschließend nach dem dritten, fünften, siebten, neunten und zehnten Sprint.

Tabelle 44 - subjects' physical and physiological characteristics (Ratel et al 2002, S399)

	Pre (n = 11)	Pub (n = 9)	Men (n = 10)
Age (yr)	9.6 ± 0.7	15.0 ± 0.7***	20.4 ± 0.8***, ‡
Tanner stage	1	4 (3–5)	5
Height (cm)	137.0 ± 6.0	169.4 ± 2.6***	180.9 ± 3.8***, ‡
Body mass (kg)	31.7 ± 5.1	59.6 ± 3.6***	76.7 ± 7.5***, ‡
Body fat (%)	14.1 ± 4.0	9.8 ± 2.5*	11.1 ± 2.8
CPP (W)	301.2 ± 52.7	814.7 ± 144.5***	1097.5 ± 187.9***, ‡
CPP (W × kg ⁻¹ BM)	9.6 ± 0.9	13.6 ± 1.9***	14.3 ± 1.7***
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml × min ⁻¹ × kg ⁻¹ BM)	49.9 ± 7.0	58.3 ± 6.4*	54.5 ± 5.6

Values are mean ± standard deviation. Significant differences: *p < 0.05 from Pre, **p < 0.01 from Pre, ***p < 0.001 from Pre, † p < 0.01 from Pub, ‡ p < 0.01 from Pub. CPP was considered as the highest peak power obtained during the three sprints of the first session.

Die CPP war bei Pre signifikant niedriger als bei Pub und Männern, VO_{2max} (ml/kg Kg) zeigte keine Differenzen. Zwischen CPP und VO_{2max} konnten keine signifikanten Zusammenhänge bei Jungen und Pubertären gefunden werden, Männer zeigten hier einen negativen Zusammenhang zwischen VO_{2max} (ml/kg Kg) und CPP (W/kg Kg).

Die Zeitreihe des PP50 über die zehn Sprints wird in Abbildung 38 präsentiert. Bei den Buben blieb die PP50 unverändert unabhängig von der Erholungszeit. Mit 30 Sekunden Erholungszeit war PP50 während der zehn Sekunden Sprints bei Pub signifikant niedriger als bei Männern. Bei Pub fiel PP50 um 6,2% beim zweiten Sprint, 13,7% beim fünften und 18,5% beim zehnten Sprint. Männer hatten einen Abfall der PP50 von 6,2% beim zweiten, 19,2% beim fünften und 28,5% beim zehnten Sprint. Mit der einminütigen Erholungszeit gab es keine Unterschiede zwischen Pub und Männern, ebenso verhielt es sich bei R5.

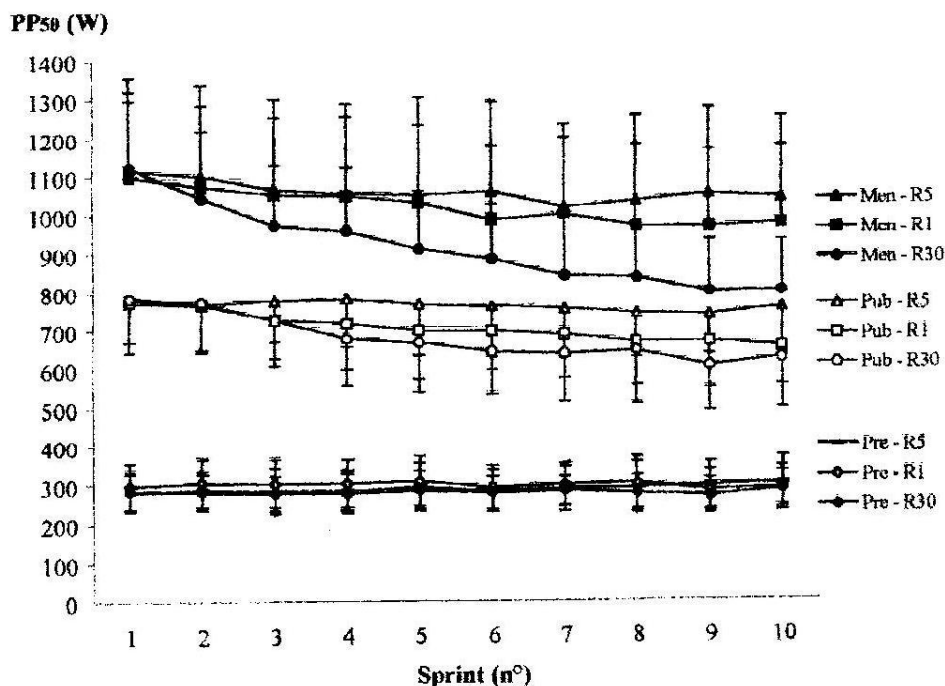


Abbildung 38 - Time course of peak power (PP50) during 10s sprints separated by either 30s (R30), 1min (R1) or 5min (R5) passive recovery intervals in prepubescent boys (Pre), pubescent boys (Pub) and men. (Ratel et al 2002, S399)

Vergleicht man den Effekt der Erholungszeit, so stellt man fest, dass der Abfall der PP50 vom ersten bis zum zehnten Sprint bei R30 und R1 sich bei Pub nicht signifikant unterscheidet. Die Abnahme der PP50 während der Sprints mit R30 und R1 waren signifikant im Vergleich zu PP50 bei R5. Bei Männern war der Abfall von PP50 signifikant höher bei R30 als bei R1 und R5. Zusätzlich tendierte die Abnahme des PP50 signifikant höher bei R1 zu sein als bei R5 ($p=0,068$).

Eine Korrelation zwischen der $\dot{V}O_{2\max}$ und den Zeiteinheiten des PP50 über die zehn Sekunden zeigten bei Pre und Pub keine Signifikanzen, unabhängig von den Erholungszeiten. Bei Männern kommt es zu einer negativen Korrelation der $\dot{V}O_{2\max}$ bei R30.

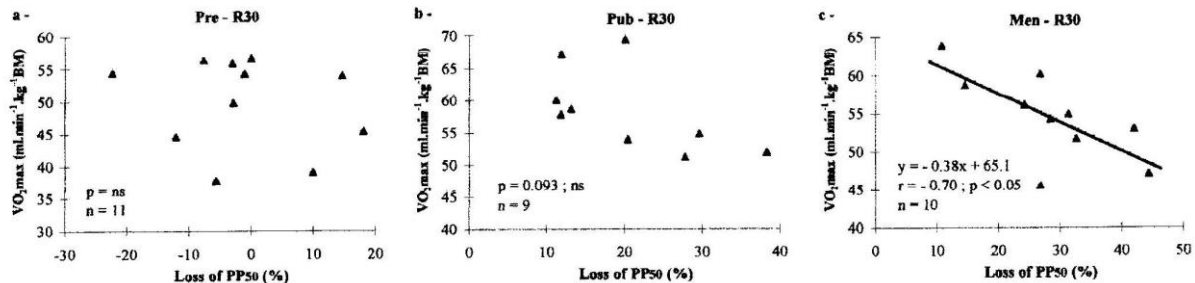


Fig. 3 Relationships between $\dot{V}O_{2\max}$ (ml·min⁻¹·kg⁻¹·BM) and the decrease of PP50 (expressed in percentage of the value of the first sprint) during the ten repeated 10 s sprint exercises separated by 30 s passive recovery intervals (R30) in (a) prepubescent boys (Pre), (b) pubescent boys (Pub) and (c) men, ns : non significant.

Abbildung 39 - Relationship between $\dot{V}O_{2\max}$ and the decrease of PP50 (Ratel et al 2002, S400)

Für jedes Erholungsintervall war der Anstieg des Laktats bei Pre signifikant niedriger als bei Pub und Männern. Zusätzlich war der Anstieg des Laktats bei Pub niedriger als bei Männern, signifikant niedriger jedoch nur bei R30 und R1. Bei Buben, als auch bei den Jugendlichen kam es zu keiner signifikanten Auswirkung der Erholungszeiten auf das Laktat. Bei Männern war der Anstieg nicht signifikant bei R30 im Vergleich zu R1, jedoch kann es zu einem flacheren Anstieg bei R5 als bei R30 und R1.

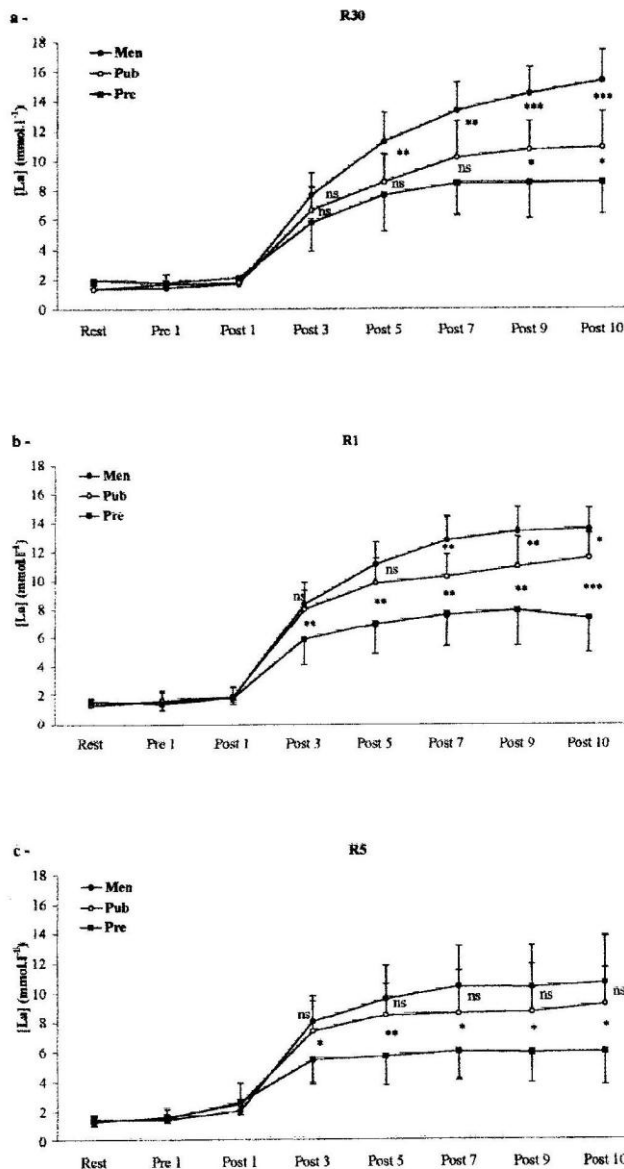


Fig. 4 Time course of blood lactate concentration ([La]) during ten 10 s cycling sprints separated by (a) 30 s (R30), (b) 1 min (R1), (c) 5 min (R5) passive recovery intervals in prepubescent boys (Pre), pubescent boys (Pub) and men. Pre 1 : before sprint 1; Post 1, 3, 5, 7, 9, and 10 : after sprint 1, 3, 5, 7, 9, and 10, respectively. ns non significant, * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Laktatwerte (mmol/l) nach dem zehnten Sprint bei R30, R1 und R5:

Pre: $8,1 \pm 2,3$, $6,8 \pm 1,5$, $6,1 \pm 2,3$

Pub: $10,9 \pm 2,4$, $11,6 \pm 1,6$, $9,3 \pm 1,5$

Men: $15,4 \pm 2,0$, $13,6 \pm 1,5$, $10,7 \pm 3,1$

Abbildung 40 - time of course of blood lactate concentration (Ratel et al 2002, S400)

Doré et al (2000) deuteten an, dass die CPP sich mit dem Bremswiderstand bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen ändert. Basierend darauf schlagen Doré et al (2000) einen Widerstand von 50g/kg Körpergewicht (Kg) für „all out“ Sprints vor. Die Bremskraft bei Ratel et al (2002) entspricht 50% der F_{opt} und war bei Pub und Männern nahe der 50g/kg Kg Grenze. Die PP50 Werte nach dem ersten Sprint unterschieden sich nicht signifikant vom CPP der ersten Untersuchung bei Buben, Jugendlichen und Männern und können somit als maximal angesehen werden. Die Ergebnisse dieser Studie (Ratel et al 2002) zeigen, dass vorpubertäre Jungen ihre PP50 während der zehn 10 Sekunden Sprints mit nur 30

Sekunden Pause gut halten können. Auf der anderen Seite brauchten Jugendliche und Erwachsene fünf Minuten Pause um PP50 zu halten. Laut Ratel et al (2002) entsprechen seine Ergebnisse vorangegangenen Studien, welche einen Abfall der PP50 von 16 – 18 % und 33% zeigten bei R30. Offensichtlich wird, dass Pre sich schneller von hoch intensiven Belastungen erholen als Pub oder Männer. Dafür beschrieben Ratel et al (2002) zwei mögliche Erklärungen. Die Erste ist, dass Kinder einen niedrigeren glykolytischen Stoffwechsel haben als Erwachsenen während intensiver Belastungen und zweitens bauen Kinder mehr auf den oxidativen Metabolismus als ihre erwachsenen Kollegen.

Bezogen auf das PCr beschreiben Ratel et al(2002), dass die Resynthesierung während der Erholungszeit abhängig ist von der oxidativen Kapazität des Muskels. Es hat sich gezeigt, dass bei Erwachsenen die Resynthese von PCr und die Erholung zur Ausgangsleistung bei Probanden mit mehr Typ I Muskelfasern schneller geht. Diese Hypothese wird durch die negative Korrelation von VO_{2max} bei R30 der vorliegenden Studie unterstützt. Dieser Zusammenhang wurde bei keinen anderen Erholungszeiten bewiesen. Das konnte die Tatsache erklären, dass PCr bei R1 und R5 besser resynthetisiert wurde, nachdem die Halbwertszeit von PCr bei Erwachsenen 22 Sekunden beträgt. Kuno et al (1995) zeigten, dass die Zeitkonstante der PCr Resynthese bei Kindern mit zwölf Jahren niedriger ist als bei Erwachsenen. Taylor et al (nach Ratel 2002) kommen auf ähnliche Ausgangswerte der PCr Resyntheserate die bei Kindern um das zweifache höher ist als bei Erwachsenen (63 ± 33 vs 34 ± 13 mM/min). Damit kommen Ratel et al (2002) auf das Resultat, dass das konstante Level der PP50 bei Pre und der niedrigere Abfall des PP50 bei Pub und Männern während der zehn Sprints bei R30, der schnelleren Erholung des PCr der Pre und Pub zugeschrieben werden kann, zusätzlich zu ihrer niedrigeren Muskellaktatkonzentration. Dipla et al (2009) stellen folgende Hypothesen zur schnelleren Erholung der Kinder auf:

„The advantage of children to resist fatigue and recover during high intensity intermittent exercise is due to their greater % of muscle fibers, less reliance on glycolytic metabolism, lower neuromuscular activation, less ability to activate type II fibers, better acid-base regulation and higher rate of PCr re-synthesis“ (Dipla et al 2009, 650)

Zusammenfassend kann man festhalten, dass Kinder sich von kurzen intensiven Belastungen schneller erholen als Jugendliche und Erwachsene. Während Kinder ihre PP bei R30 gut halten können bauchten ältere Probanden eine längere Erholungszeit von 5 min. Die schnellere Erholung der Kinder ist möglicherweise zurückzuführen auf ihre niedrigere Muskelglykogenaktivität und ihre effizientere oxidative Muskelaktivität, welche eine schnellere Regeneration des PCr erlaubt.

7.3 Trainierbarkeit der anaeroben Ausdauer

Viele Studien berichten von der Trainierbarkeit der anaeroben Ausdauer bei Erwachsenen jedoch gibt es wesentlich weniger Informationen über Kinder zu diesem Thema. Eine Möglichkeit diese zu untersuchen ist die nicht-invasive Methode eines „all-out“ Ergometertests, der als Index der anaeroben Leistungsfähigkeit geführt wird. Eine Steigerung der anaeroben Energiegewinnung ist in sportartspezifischen Gruppen bei Feldtests möglich. Martin (1994, 133ff) schreibt, dass Bohrmann, Balke und Peters festgestellt haben, dass Schwimmer und Läufer in Feldtest im Kurzzeitausdauerbereich enorm hohe Laktatwerte erreichen konnten.

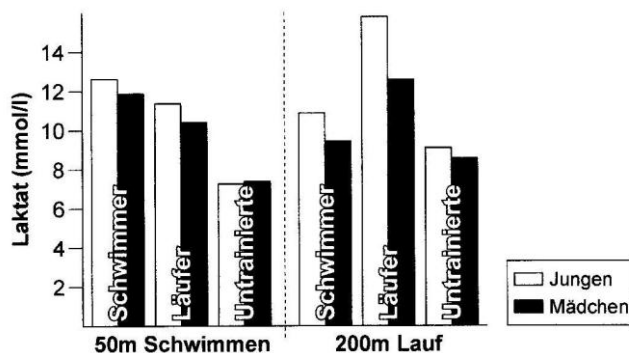


Abbildung 41 - Laktatakkumulation bei 9 Jährigen Mädchen und Jungen nach Kurzzeitausdauerbelastungen nach Bormann, Pahlke & Peters (nach Martin 1999, 134)

Es wird angenommen, dass Kinder unter Feldbedingungen die Möglichkeiten zur anaeroben Energiegewinnung besser nutzen können.

„Die im Schwimmen und in der Leichtathletik trainierenden Kinder erreichen unseres Erachtens deshalb so hohe Laktatkonzentrationen, weil sie durch zielgerichtetes Training gute Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitsvoraussetzungen sowie koordinative Fähigkeiten erworben haben, die auch den anaeroben Stoffwechsel fordern und deshalb fördernd beeinflussen können.“ (Borman, Pahlke und Peters nach Martin 1999, 134).

Eine Studie von Rotstein et al (1986) untersuchte den Trainingseffekt eines neun wöchigen Intervalltrainings bei 28 vorpubertären Kindern zwischen 10,2 und 11,6 Jahren. Der Test inkludierte eine Evaluation der anaeroben Leistungsfähigkeit in Form eines WAnT, die Beurteilung der VO_{2max} und die Anzeige der anaeroben Schwelle anhand eines ansteigenden Belastungstests und der Untersuchung von Blutlaktat. Die Probanden mussten ebenso eine Strecke von 1200m laufen um eine Verbindung zwischen den Laborwerten der VO_{2max} , anaeroben Schwelle und der anaeroben Kapazität beim Laufen herzustellen. Rotstein et al (1986) fanden heraus, dass zehn bis elfjährige Buben nach einem neunwöchigen Intervalltraining eine Verbesserung der anaeroben Kapazitäten schafften. Die

Durchschnittskraftwerte stiegen um 10%, die Maximalkraft (PP) um 14%. Das Training verbesserte unter anderem die VO_{2max} um 7% in absoluten Werten und um 8% pro kg Körpergewicht in relativen. Einen deutlichen Anstieg fand man auch in der Laufgeschwindigkeit an der anaeroben Schwelle, aber in relativen Zahlen (in Prozent des VO_{2max}) sank die anaerobe Schwelle um rund 4,4%. Es wurde festgestellt, dass ein angemessenes Training maximale aerobe Leistung und anaerobe Kapazität von vorpubertären Jungen verbessern kann.

„It is concluded that proper training may improve maximal aerobic power and anaerobic capacity of preadolescent boys. It is also concluded that anaerobic threshold measures are less sensitive to training regimen than VO_{2max} and that 1200-m running performance is strongly associated with both aerobic and anaerobic capacities and less with anaerobic threshold which in preadolescent seem to be higher than in adults.“ (Rotstein et al 1986, 1)

Aerobe Trainingsprogramme mit moderaten Belastungsintensitäten haben in Studien von McMagnus et al (1997) keinen Effekt auf die anaerobe Leistungsfähigkeit ergeben, während Levesque, et al (1997) signifikante Verbesserungen nach hoch intensivem Intervalltraining feststellen konnten.

McMagnus et al (1997) untersuchten fünfzehn Mädchen, die in drei Gruppen aufgeteilt wurden. Eine Radgruppe (CEE), eine Laufgruppe (SR) und eine Kontrollgruppe (C). Zu Beginn der Studie wurden anthropometrische Daten gemessen und die Probandinnen wurden an die Untersuchungsmethode gewöhnt. Beim zweiten Laborbesuch wurde ein Ausbelastungstest auf dem Laufband mit ansteigender unterbrechender Belastung durchgeführt wobei die Probandinnen ein Warm-up von drei Minuten bei einer Geschwindigkeit von 6,5 – 7km/h hatten. Nach einer kurzen Erholungsphase mussten die Mädchen drei Minuten bei 6,5km/h laufen und anschließend drei Minuten bei 8km/h. Danach wurde die Geschwindigkeit gehalten und die Steigung um 2,5% erhöht für weitere drei Minuten. Anschließend wurde alle zwei Minuten die Neigung um 2,5% gesteigert bis zu Ausbelastung. Jede Belastungsstufe wurde durch eine Pause von einer Minute unterbrochen.

Auf dem Radergometer gab es eine Aufwärmphase von drei bis vier Minuten bei 30 – 40W, unterbrochen durch drei maximale Sprints. Während des WAnT wurden die Mädchen dazu angehalten die Trittfrequenz bei 60 U/min bei geringem Widerstand zu halten. Anschließend mussten sie bei einer Belastung von 0,074N/kg Körpergewicht maximal treten. Die PP (peak power) wurde in einer fünf Sekunden Periode gemessen und die MP (mean power) während der 30 Sekunden Belastung.

Das Trainingsprogramm auf dem Ergometer beinhaltete 20 min bei einem Puls zwischen 160

– 170 Schlägen /min (entspricht 80 – 85% der Hf_{max}) dreimal pro Woche für acht Wochen. Die Laufgruppe hatte Sprintserien mit zehn bis 30 Sekunden Belastungszeit, dreimal die Woche. Die Probandinnen hatten immer dreizehn Sekunden Sprints und drei 30 Sekunden Sprints zu absolvieren, gefolgt von 30 Sekunden und 90 Sekunden Erholung. Nach zwei Wochen wurde die Anzahl der Läufe auf vier, anschließend auf fünf und schlussendlich auf sechs Sprints pro Belastungszeit. Nach der achtwöchigen Trainingspause unterzogen sich alle drei Gruppen wieder den aeroben und anaeroben Test der Eingangsuntersuchung.

Tabelle 45 - age and anthropometric data pretraining and post-training (McMagnus et al 1997, S458)

		Cycle ergometer trained (n = 12)	Spring running trained (n = 11)	Control (n = 7)
Age (y)	Pretraining	9.3 (0.5)	9.8 (0.4)	9.6 (0.5)
	Post-training	9.5 (0.5)	10.0 (0.4)	9.9 (0.5)
Stature (m)	Pretraining	1.30 (0.05)	1.37 (0.08)	1.39 (0.07)
	Post-training	1.31 (0.06)	1.38 (0.08)	1.40 (0.07)
Body mass (kg)	Pretraining	28.9 (5.4)	32.1 (4.6)	33.4 (4.6)
	Post-training	29.5 (5.5)	32.8 (4.6)	33.9 (4.4)

Values are mean (SD).

Alle Testpersonen waren als vorpubertär bei Tannerstufe 1 eingestuft. Beide Trainingsgruppen zeigten einen signifikanten Anstieg der VO_2 und der PP in fünf Sekunden ($p < 0,05$). Es gab jedoch keine signifikanten Differenzen zwischen den Werten vor und nach dem Training bei der MP über 30 Sekunden. Die Kontrollgruppe hatte keine Veränderungen der aeroben oder anaeroben Leistung.

Tabelle 46 - aerobic and anaerobic data pretraining and post-training (McMagnus et al 1997, S458)

		Treatment group		
		Cycle ergometer trained (n = 12)	Spring running trained (n = 11)	Control (n = 7)
Peak $\dot{V}O_2$ (l min ⁻¹)	Pretraining	1.30 (0.19)	1.54 (0.24)	1.49 (0.15)
	Post-training	1.43 (0.20)*	1.67 (0.22)*	1.46 (0.15)
Peak power in 5 s (W)	Pretraining	219.8 (56.7)	291.4 (59.9)	297.5 (75.2)
	Post-training	264.1 (62.9)* ^a	319.8 (57.4)* ^a	309.3 (49.9)
Mean power over 30 s (W)	Pretraining	175.1 (48.8)	229.6 (35.2)	210.7 (38.1)
	Post-training	174.3 (39.5) ^a	236.1 (36.5) ^a	205.7 (26.5)

Values are mean (SD).

*Significant at $p < 0.05$.

^an = 10.

Die SR Gruppe zeigte einen Anstieg von 8,4% der VO_2 welche nach McMagnus et al (1997) mit einer Studie von Rosenstein et al übereinstimmt. Dieser erhielt einen Anstieg von 8,1% bei Jungen nach einem achtwöchigen Trainingsprogramm. Zusätzlich verbesserte die Laufgruppe ihre PP bei fünf Sekunden um 9,7% was ein wenig niedriger ist als bei Rosenstein et al (13,1%). Die Radgruppe hatte einen größeren Anstieg der PP, nämlich um

20,2%. Dieser hohe Anstieg ist möglicherweise durch einen Lerneffekt zu begründen. Keine der Trainingsgruppen zeigte signifikante Veränderungen der MP über 30 Sekunden. Das könnte daran liegen, dass die Radgruppe zu niedrig trainiert hat und die Laufgruppe an den WAnT auf dem Radergometer nicht gewöhnt war. Jedoch beschreiben McMAGNUS et al (1997) dass der Anstieg der PP in fünf Sekunden niedriger ist als bei Jugendlichen und er somit zu dem Ergebnis kommt, dass es keine Anpassung an Training gibt bei vorpubertären Kindern.

Obert et al (2001) sind hingegen der Meinung, dass sowohl qualitative als auch quantitative Muskelfaktoren eine Steigerung der anaeroben Leistungsfähigkeit nach Training bringen können. Die Oberschenkelmuskelmass ist ein bestimmender Faktor der Leistung während eines „all-out“ Ergometertests. Relativ wenige Studien befassen sich mit der anaeroben Leistungsfähigkeit in Relation zur Muskelmasse. Einige haben die mechanischen Faktoren wie Geschwindigkeit und Kraft in Verbindung mit anaeroben Veränderungen nach dem Training begutachtet. Die Studie von Obert et al (2001) untersucht den Effekt eines aeroben Trainingsprogrammes auf die Maximalkraft, die während eines Kraft – Geschwindigkeitstests am Ergometer, von vorpubertären Kindern erreicht werden kann. Diese Forscher legen besonderen Wert auf:

- Den Effekt des Trainings auf Kraft und Geschwindigkeit, welche Determinanten der maximalen anaeroben Leistungsfähigkeit sind
- Die morphologischen Muskelmassenveränderungen aufgrund des Trainings

An dem 13 wöchigen Trainingsprogramm nahmen 33 Kinder im Alter zwischen zehn und elf Jahren teil, die von einer Schule rekrutiert wurden. Alle Kinder waren körperlich aktiv und hatten eine bis drei Stunden körperliche Aktivität pro Woche. Von dieser Gruppe waren 17 Kinder (neun Buben, acht Mädchen) als Trainingsgruppe (TG) und 16 Kinder (acht Buben, acht Mädchen) als Kontrollgruppe (CG) aufgeteilt. Die TG erhielt ein Trainingsprogramm, während die CG so weiter machen sollte wie bisher.

Das Trainingsprogramm war in den normalen Schulunterricht integriert, fand dreimal die Woche statt und dauerte eine Stunde pro Trainingseinheit. Das Training war vorwiegend aerob, beinhaltete Intervalle über kurze Strecken (10 x 300m; 12 x 250m; 4 x 600m) oder einen 15 – 20 minütigen Dauerlauf. Die Intensitäten wurden mittels Pulsmessgerät überwacht und sollten bei über 90 und 75 – 80 % der individuellen maximalen Herzfrequenz liegen. In einer Trainingsstunde sollten die Kinder zwischen 10 und 20 Minuten im 90% Bereich der Hf trainieren und die verbleibenden 35 – 40 Minuten bei einer Hf über 140Schlägen /Minute. Sowohl die Distanzen als auch die Geschwindigkeiten wurden

innerhalb des Trainingsprogramms erhöht. Die anthropometrischen Daten beinhalteten Körpergröße, Körpergewicht, Masse der unteren Extremitäten (LLM) und Oberschenkelmuskelmasse (TMM).

Vor dem Start der Trainingsperiode mussten alle Probanden einen Kraft-Geschwindigkeitstest auf einem Ergometer machen, der für Kinder adaptiert war. Der Test beinhaltet maximale Sprints gegen unterschiedliche Bremskräfte (F_{frict}). Nach einem fünfminütigen Warm-up, bei einer Trittfrequenz von 70 U/Min und einem Widerstand von 25g/kg Körpergewicht, hatten die Probanden eine vierminütige Pause. Anschließend mussten sie von einer Startposition, von der linken Tretkurbel im Winkel von 90 Grad zur Vertikalen, 7 – 8 sec maximal treten. Alle Probanden verrichteten in unterschiedlicher Reihenfolge zwei Sprints bei einem F_{frict} von 30 oder 60g /kg Körpergewicht. Zwischen den Sprints hatten sie vier Minuten Pause. Maximale Kraft (P_{max}), V_{opt} und F_{opt} wurden für jeden Sprint ausgewertet. Sowohl bei Beginn als auch am Ender der Studie gab es keine Differenzen und eine hoch signifikanten Korrelation ($r = 0,82 - 0,90$) zwischen der P_{max} der Sprints bei 60g/kg Körpergewicht.

Die Kinder der TG und CG waren bei einer erneuten anthropometrischen Untersuchung nach der Testperiode signifikant größer und schwerer. Die Probanden beider Gruppen zeigten einen signifikanten Anstieg der LMM und TMM proportional zum Anstieg der Körpergröße. Es gab keinen Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der biometrischen Parameter sowohl vor als auch nach der Trainingsperiode mit Ausnahme der TMM welche bei der TG geringfügig höher war.

Tabelle 47 - Biometric parameters evaluated before and after 13weeks in the trained (TG) and the control (CG) groups (Obert et al 2001, S444)

		TG	CG
Height cm	T1	140.8±5.5 ***	140.7±6.5 ***
	T2	143.0±5.7	142.8±7.1
Body mass kg	T1	35.9±5.5 ***	34.0±5.5***
	T2	37.3±6.1	35.3±5.7
TMM Kg	T1	3.7±0.5 ***, γ	3.3±0.6 ***
	T2	3.9±0.5 γ	3.5±0.6
LMM kg	T1	5.1±0.6 ***	4.9±0.7 ***
	T2	5.3±0.7	5.1±0.8

Values are means ± SD. LMM and TMM: lower limb and thigh muscle masses corresponding to the average of left and right legs, T1: pre-test; T2: post-test. ***: significantly different from T2 at $p < 0.001$. γ : significantly different from CG at $p < 0.05$

Wie Tab 42 zeigt war $P_{\max}$ am Ende der Trainingsperiode signifikant höher (+23%). Die Differenzen der Werte vor dem Training sind in Bezug zur Körpermasse (+18%), LMM (+18%) oder TMM (+18%) signifikant. Diese Verbesserungen werden der größeren optimalen Kraft (F_{opt}) (+17%) zugeschrieben, da für die optimale Geschwindigkeit (V_{opt}) keine Veränderungen nach dem Training aufgefallen sind.

Tabelle 48 - Anaerobic performances evaluated before and after 13weeks in trained (TG) and the control (CG) groups (Obert et al 2001, S444)

		TG	CG
$P_{\max}$	T1	350 ± 51 ***	326 ± 79
W	T2	432 ± 69 $\gamma\gamma\gamma$	330 ± 81
$P_{\max}$	T1	10.0 ± 1.8 ***	9.6 ± 1.7
$W \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BM}$	T2	11.8 ± 1.7 $\gamma\gamma\gamma$	9.4 ± 1.9
$P_{\max}$	T1	67.6 ± 8.3 ***	65.6 ± 8.2
$W \cdot \text{kg}^{-1} \text{ LMM}$	T2	80.1 ± 7.4 $\gamma\gamma\gamma$	64.5 ± 10.4
F_{opt}	T1	30.2 ± 4.2 ***	28.5 ± 5.6
N	T2	35.3 ± 5.7 $\gamma\gamma\gamma$	28.6 ± 4.8
F_{opt}	T1	5.8 ± 0.5 **	5.7 ± 0.6
$N \cdot \text{kg}^{-1} \text{ LMM}$	T2	6.6 ± 0.7 $\gamma\gamma\gamma$	5.6 ± 0.5
V_{opt}	T1	117 ± 17	114 ± 13
rpm	T2	122 ± 8	115 ± 16

Values are means ± SD. $P_{\max}$: maximal anaerobic power [power averaged over each pedal downstroke period], F_{opt} and V_{opt} : force and velocity at which $P_{\max}$ is obtained, BM: body mass, LMM: lower limb muscle mass, T1: pre-test; T2: post-test. ** and ***: significantly different from T2 at $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively; $\gamma\gamma\gamma$: significantly different from CG at $p < 0.001$

Der signifikante Anstieg der F_{opt} kann nicht nur aufgrund der größeren Muskelmasse erklärt werden, da die Unterschiede selbst nach der Korrektur von LMM und TMM hoch signifikant waren. Zusätzlich wurden signifikante Veränderungen in $P_{\max}$ und F_{opt} gefunden, wenn LMM als Kovariante benutzt wurde.

Tabelle 49 - Vgl. $P_{\max}$ und F_{opt} vor und nach dem Training nach Obert 2001, S444

	vor Training	nach Training
$P_{\max}$	354 ± 41	419 ± 42
F_{opt}	30,7 ± 3,4	34,6 ± 3,4

Die Werte der Trainingsgruppe unterschieden sich vor dem Training nicht von der Kontrollgruppe, erst nach dem Training kam es zu einer signifikanten Verbesserung. Bei V_{opt} kam es zu keinen Veränderungen.

Die Kernaussage dieser Studie ist, dass die maximale Leistung während eines „all-out“ Tests bei Kindern durch aerobes Training verändert werden kann. Weitere Studien die ebenfalls den Effekt von aerobem Training auf die maximale Leistungsfähigkeit untersucht haben, haben unterschiedliche Werte herausbekommen. Rotstein et al (1986) berichten von einem signifikanten Anstieg (+9,7%) der Maximalkraft während eines WAnT bei zehn bis elfjährigen Buben. McMagnus et al (1997) berichten ebenfalls von einem Anstieg der Maximalkraft bei Mädchen nach einem achtwöchigen Ausdauertraining am Radergometer (+20%) oder beim Sprint (+10%). Williams fand laut Obert (2001) mit derselben Untersuchungsmethode keinen signifikanten Anstieg der P_{max} bei zehn Jahre alten Buben. Levesque et al (1997) berichten von einem signifikanten Anstieg der Maximalkraft während eines zehn Sekunden Tests nach einem fünföchigen dominant aeroben Programms.

Die Gründe für die enorme Entwicklung des P_{max} (+23%) sind ungeklärt. In Obert et al (2001) Studie wurde eine starke Korrelation zwischen LMM und P_{max} gefunden, was den Anstieg der Werte erklären könnte. LMM und TMM stiegen nach dem Trainingsprogramm, in einem Wachstumsprozess ohne speziellem Training, nicht mehr als erwartet. Es bestand allerdings kein Zusammenhang zwischen den prozentuellen Veränderungen des P_{max} und der LLM ($r = 0,25 >ns$). Aus diesem Grund ist anzunehmen dass quantitative Faktoren eine Rolle gespielt haben um die Maximalkraft zu steigern. Ob Muskelfaserveränderungen oder metabolische Adaptationen stattgefunden haben ist für Oberts Trainingsgruppe unbekannt. Bei Erwachsenen besteht ein Zusammenhang zwischen V_{opt} , der schnellen Muskelfaserverteilung und der Größe. Da es keine Veränderungen der V_{opt} gegeben hat, müssen Obert et al (2001) ausschließen, dass es Muskelfaser und Muskeltypveränderungen gegeben hat. Es besteht die Hypothese, dass es eine neurologische Anpassung bei seinen Probanden gegeben hat. Das würde erklären, warum die Kinder bei gleichem LMM und gleicher V_{opt} bessere F_{opt} erreichten.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Kinder in absoluten Werten eine niedrigere anaerobe Kapazität besitzen als Jugendliche und Erwachsene. Die anaerobe Kapazität muss bei den Labortests immer im Zusammenhang mit der Muskelkraft beziehungsweise der Muskelmasse gesehen werden, dann relativieren sich die Werte. Bei BLC Werten erreichen Kinder niedriger Werte als Jugendliche und Erwachsene, was dafür spricht, dass sie eine niedrigere Glykolyserate haben, wobei Beneke (2005) dieser Hypothese widerspricht. Er ist der Meinung, dass die größere Differenz zwischen maximaler Blutlaktatkonzentration und

BLC_{peak} bei Buben, im Vergleich zu Jugendlichen und Erwachsenen, mit einem altersbezogenen Unterschied der intramuskulären Laktatlevel bei VO_{2peak} erklärbar ist. Bezüglich der Trainierbarkeit der anaeroben Ausdauer ist zu erwähnen, dass diese sich hauptsächlich aufgrund der adaptierten Muskulatur, in Form von mehr Kraft und einer besseren neuromuskulären Ansteuerung, weiterentwickelt. Es ist schwierig diese Faktoren nur dem Training zuzuschreiben, da die natürliche Entwicklung eines Kindes zum Erwachsenen jene Parameter ebenfalls verbessert.

8 Resümee

Aus den Recherchen und Studien kann man zu der Forschungsfrage ob Kinder und Jugendliche ihre aerobe und anaerobe Ausdauer trainieren können schließen, dass sich beide Bereiche schon ab einem frühen Lebensalter durch Training weiterentwickeln lassen. Jedoch muss man festhalten, dass die aerobe Leistungsfähigkeit sich hinsichtlich ihrer relativen Werte, bezogen auf kg Körpergewicht, nicht wesentlich in der Entwicklung verändert. Die Unterschiede zwischen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen sind durch die Verschiedenheit der aktiven Muskelmasse erklärbar. Bei der anaeroben Leistungsfähigkeit sind vor allem qualitative Muskelleistungen, wie die neuronale Ansteuerung und Koordination, Grund für eine verminderte Leistungsfähigkeit der Kinder.

Die Verhaltensmuster der Atmung unterscheiden sich kaum von den Erwachsenen. Der Unterschied liegt hauptsächlich in der Ventilation, die bei Kindern deutlich höher ist um die geringer Laktatproduktion auszugleichen. Im Grunde sind die Anpassungserscheinungen zwischen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen bezüglich der Herzkreislaufparameter ähnlich, da die Differenzen hauptsächlich periphere Faktoren betreffen. Das niedrigere Schlagvolumen und die höhere Herzfrequenz bei Kindern, führen zu einem deutlich niedrigeren Herzminutenvolumen im Vergleich zu Erwachsenen. Diese Parameter stehen in Abhängigkeit zur Herzgröße, welche ab der Pubertät steigt. Aufgrund der geringeren Muskelmasse der Kinder kommt es zu niedrigeren absoluten Werten. Betreffend der aeroben Leistungsfähigkeit wird die VO_{2max} als Maß herangezogen, welche sich durch Training auch bei Kindern anpasst, allerdings ist die Steigerung geringer als bei Erwachsenen. Der Grund dafür ist noch ungeklärt. Die Anpassungserscheinungen zwischen Mädchen und Jungen verlaufen ähnlich.

Bezüglich der Laktatproduktion fand man heraus, dass Kinder sehr wohl in der Lage sind dieses in ausreichendem Maße zu produzieren und sogar schneller zu eliminieren als Erwachsene, was durch einen niedrigeren extravaskulären Laktatanstieg bei maximalen Kurzzeitbelastungen bedingt sein könnte. Der extravaskuläre Laktatanstieg hat seinen P_{peak} in der dritten Lebensdekade, also im Erwachsenenalter. Dennoch unterstützt das nicht die Hypothese, dass Kinder eine niedrigere Muskelglykogenrate haben, sondern den anaeroben Stoffwechsel favorisieren. Dies bedeutet nicht, dass sich die anaerobe Leistungsfähigkeit nicht trainieren lässt. Auch hier kommt es zu Adaptationen, die vor allem in der Verbesserung der Muskelkraft zu finden sind. Aufgrund verbesserter Kraftwerte der Muskulatur steigt auch die P_{max} , welche als Maß der anaeroben Leistungsfähigkeit herangezogen wird. Fraglich ist noch ob die gesteigerte P_{max} aufgrund neurologischer Veränderungen oder metabolischer Anpassung stattgefunden haben.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass es mehr Studien über die aerobe Kapazität von Kindern gibt, da diese besser definiert und leichter messbar ist. Das ist überraschend, da bekannt ist, dass der natürliche Bewegungsdrang der Kinder keine langen monotonen Belastungen enthält, sondern eher kurz und intensiv ist. Die Herausforderung für Forscher ist die Beziehung zwischen anaerober Glykolyse, Resultate der Leistungstest und der körperlichen Entwicklung zu interpretieren. Es ist nicht klar wie die Forschungsergebnisse am Besten in Relation zu den Veränderungen der Körperdimensionen und der biologischen Entwicklung der anaeroben Fitness ausgedrückt werden können. Die Quantität der gewohnten Kurzzeitbelastungen sinkt mit steigender Körpergröße und fortschreitender Entwicklung der Kinder. Gleichzeitig steigt die Glykolyseaktivität, welche die Laktatproduktion und Enzymfunktion indiziert. Dieser Faktor könnte erklären, warum bei den Labortests die Werte mit ansteigender Körpergröße größer werden. Die Fähigkeit für Kurzzeitbelastungen dürfte weniger von der anaerobe Energiekapazität abhängig sein als von mechanischen, neuromuskulären und anthropometrischen Faktoren beeinflusst werden.

9 Literatur

- Armstrong, N. ; Welsman, J.R. (2001) Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11-to 17 year –old humans In Eur J Appl Physiol 85, 546 - 551
- Armstrong, N.(2006) Aerobic fitness of children and adolescents IN journal de Pedeatrria Vol.82, 406-408
- Armstrong, N.; Kirby, B.J.; McManus, A.; Welsman, R. (1997) Prepubescent's ventilatory responses to Exercise with references to sex and body size In Chest 112; 1554 – 60
- Armstrong, N.; Welsman, JR.; Kirby, BJ.(1998) peak oxygen uptake and maturation in 12-yr-olds In Med Sci Sports Exerc 30, 165-9
- Armstrong,N.; Welsman, J.R (2000). Aerobic fitness. In Armstrong, N.; Mechelen, W. Pedeatric exercise science and medicine. Oxford university press .S175 – 182
- Baba, R.; Nagashima,M., Nagano, Y.; Ikoma, M.; Nishibata, K. (1999). Role of the oxygen uptake efficiency slope in evaluating exercise tolerance In Arch Dis Child 81, 73–75
- Bar-Or, O. (1986). Die Praxis der Sportmedizin in der Kinderheilkunde. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag
- Bar-Or,O.; Shepard, R.J.; Allen, C. (1971).Cardiac output of 10 – to 13 –year-old boys and girls during submaximal exercise. IN J. Appl. Physiol 30; 219 – 223
- Beneke, R.; Hütler, M.; Jung, M.; Leithäuser , R. (2005) Modelling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents and adults In J Appl Physiol 99, 499 - 504
- Beneke, R.; Hütler, M.; Leithäuser, R. (2007) Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents In Eur J Appl Physiol 101, 671 - 677
- Brown, CH.; Harrower, JR.; Deeter, MF (1972) The effects of crosscountry running on preadolescent girls. IN Med Sci Sports Exerc 4, 1-5
- Cunningham, D.A.; Paterson, D.H.; Blimkie, C.; Donner, A. (1984) Development of cardiorespiratory function in circumpubertal boys: a longitudinal study IN J Appl Physiol 56, 302 – 307
- Dipla, K.; Tsirini, T.; Zafeiridis, A.; Manou, V.; Dalamitros, A.; Kellis, E., Kellis, S. (2009) fatigue resistance during high intensity intermittent exercise from childhood to adulthood in males and females In Eur J Appl Physiol 106, 654 - 653

Doré, E., Bedu, M.; Franca NM., Dialo, O.; Duche, P.; van Praagh, E. (2000) Testing peak performance : effects of breaking force during growth In Med Sci Sports Exerc 32 (2), 493 - 498

Eriksson, BO.; Koch , G.(1973) Effect of physical Training on hemodynamic response during submaximal and maximal exercise in 11 – 13 year old boys. IN Acta Physiol Scand 39, 229-40

Falk, B.; Bar-Or, O.(1993) Longitudinal changes in peak aerobic and anaerobic mechanical power of circumpubertal boys In Ped Ex Sci 5, 318 - 331

Hebestreit, H., Mimura ,Kl., Bar-OR, O. (1993) recovery of muscle power after high intensity short term exercise: comparing boys and men In J Appl Physiol 74, 2875 – 2880

Hollman, W.; Hettinger, T.(1980). Sportmedizin – Arbeits und Trainingsgrundlagen, 2. Aufl. Schattauer, Stuttgart- New York

Hollmann, W. (1986) Die Belastbarkeit und Trainierbarkeit der Haltungs und Bewegungsorgane in den verschiedenen Alters.- und Entwicklungsstufen. In Prokop, L. (Hrsg.). Kindersportmedizin. Gustav Fischer Verlag :Stuttgart

Hollmann, W. ; Hettinger, Th (1990). Sportmedizin – Arbeits und Trainingsgrundlagen. Schattauer: Stuttgart- New York

Keller, H.(2002).Grundlagen der Bewegungsmedizin: Motorische Entwicklung im Kindes und Jugendalter. In Hebestreit, H; Ferrari, R; Meyer-Holz, J; Lawrenz, W; Jüngst, B Kinder und Jugendsportmedizin (S1 – 14) Stuttgart: Georg Thieme Verlag

Klimt, F.(1992). Sportmedizin im Kindes und Jugendalter. Stuttgart:Georg Thieme Verlag

Kuno, S. ; Takahashi, H.; Fujimoto, K.; Akima, H.; Miyamaru, M.; Nemoto, I.; Itai, Y., Katsuta, S. (1995) muscle metabolism during exercise using phosphorus-31 nuclear resonance spectroscopy in adolescents In Eur J Appl Physiol 70, 301 - 304

Levesque, M.; Boulay, MR.; Bouchard, C., Simoneau, JA (1997) Time course of training induced changes in maximal exercises of short duration in men and women In Int J Sports Med 18, 464 – 469

Marées, de H.(2003). Sportphysiologie, 9.Aufl. Köln: Sportverlag Strauss

Martin, D.; Nicolaus, J.; Ostrowski, C.; Rost, K.(1999) Handbuch Kinder und Jugendtraining. Verlag Karl Hofmann: Schorndorf

McMagnus, A.; Armstrong, N.; Williams, C. (1997) effect of training on the aerobic power and anaerobic performance of prepubertal girls. In *Acta Paediatr* 86, 456 -9

Moore, RL; Palmer, BM (1999) exercise training and cellular adaptations of normal and diseased hearts, IN *Exerc. Sport Sci Rev* 27; 285 – 315)

Nixon, P. (2000) pulmonary function .In Armstrong, N.; Mechelen, W. *Pediatric exercise science and medicine*. Oxford university press .S 47 – 55

Nottin, S.; Vinet, A. ; Stecken, F.; N'Gyen LD.; Ounissi, F.; Lecoq, AM (2002) Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance – trained children. In *Acta Physiol Scand* 175, 85 -92

Nottin, S.; Vinet, A.; Stecken, F.; N'Gyen, LD.; Ounissi, F. ; Lecoq, AM. Et al. (2002) Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance-trained children. IN *Acta Physiol. Scand* 175, 85 – 92

Nottin, S; Vinet, A.; Stecken, F.; Nguyen L.D.; Ounissi, F.; Lecoq, AM, Obert, Ph. (2002) Central and peripheral cardiovascular adaptations during a maximal cycle exercise in boys and men IN *Med Sci Sports Exerc* Vol 33, No3, 456 – 463

Obert, P. ; Mandigouts, S.; Nottin, S., Vinet, A.; Ngyen, L.D.; Lecoq, A.M (2003) Cardiovascular responses to endurance training in children: effect of gender IN *Eur J Clin Invest* 33 (3), 199 – 208

Obert, P.; Mandigout, M.; Vinet, A.; Courteix, D. (2001) Effect of a 13 week aerobic training programme on the maximal power developed during a force-velocity test in prepubertal boys and girls IN *Int J Sports Med* 22, 442 - 446

Petersen, S.R.; Gaul, C.A., Stanton, M.; Hanstock, S.(1999) Skeletal muscle metabolism during short term, high-intensity exercise in prepubertal and pubertal girls IN *J Appl Physiol* 87, 2151 - 2156

Ratel, S.; Bedu, M.; Hennegrave, A. Doré, E., Duché, P. (2002) Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints IN *Int. J Sports Med* Aug 23 (6), 397 - 402

Rode, A.; Sheperd, R.J.(1973) Cardiac output, blood volume, and total hemoglobin of the Canadian Eskimo IN *J Appl Physiol* 34; 91 – 96

Rotstein, A., Dotan, R.; Bar – Or, O.; Tenenbaum, G. (1986) Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys IN *Int J*

Sports Med Oct 7, 281 – 6 (Abstract)

Rowland, T; Popowski, B, Ferrone, L (1997) Cardiac responses to maximal upright exercise in healthy boys and men. IN Med Sci Sports Exerc 29; 1146 – 1151

Rowland, T. (2005) children's exercise physiology, 2nd edition. USA: Human kinetics

Rowland, T.; Boyajian A. (1995) Aerobic response to endurance training in children In Pediatrics Vol 96, No4, 654 - 658

Rowland, T.; Goff, D.; Martel, L.; Ferrone, L. (2002) Influence of cardiac functional capacity on gender differences in maximal oxygen uptake in children IN Chest 117, 629 - 35

Rowland, T.; Wehnert, M.; Miller, K. (2000) Cardiac response to exercise in competitive children cyclists In Med Sci Sports Exercise 32; 747-52

Rowland, T; Cunningham, L (1997) Development of ventilatory responses to exercise in normal white children IN Chest 111, 327 – 32

Schweizer, K.; Zahner, L.(1993). Sport im Kindes und Jugendalter. Vom Kind zum Jugendlichen(2.Teil). Magglingen, 50 (4), 14 – 15. Biel: Druckerei W. Gassman AG

Turley, K. ; Wilmore, J.H (1997). Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults In J Appl Physiol 83, 948 – 957

Turley, K.(1997) Cardiovascular Response to Exercise in Children IN Sports Med Okt 24(4), 241 – 254

Van Praagh, E. (2007) Anerobic Fitness Tests: What are we measuring? In Med Sport Sci Vol 50, 26 - 45

Van Praagh, E.; Dore, E. (2002) Short term muscle power during growth and maturation In Sports Med 32, 701 – 728

Weineck, J. (2002). Sportbiologie. Balingen: Spitta Verlag GmnH & Co KG

Weineck, J. (2007). Optimales Training. Ballingen: Spitta Verlag GmnH & Co KG

Weineck, J.(1994).Optimales Training. Balingen: Perimed-spitta, Med.Verlagsges.mbH

Welsman, JR., Armstrong, N.; Nevill, AM, Winter, AM.; Kirby, BJ. (1996) Scaling peak VO2 for differences in body size In Med Sci Sports Exerc. 28, 259 – 65

Welsman, JR.; Armstrong, N.; Withers, S.(1997) Responses of young girls to two modes of aerobic training IN Br J Sports Med 31, 139-42

Zanconato, S.; Buchthal, S.; Barstow, T.J.; Cooper, D.M. (1993) ³¹P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults In J Appl Physiol 74, 2214 - 2218

Internet:

Zugriff 20.10.2009: http://flexikon.doccheck.com/Kardiovaskul%C3%A4res_System

Zugriff 25.10.2009: http://de.wikipedia.org/wiki/Maximale_Sauerstoffaufnahme

Zugriff 29.10.2009 <http://www.lauftipps.ch/images/grafiken/energiegewinnung.gif>

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Entwicklung anaerober Energiebereitstellung (Weineck, 2002, S368)	8
Abbildung 2 - Abhängigkeit der Druckkraft der rechten Hand vom Lebensalter (nach Smedley aus de Marées 2003,498).....	9
Abbildung 3 koordinative Fähigkeiten im Sportunterricht der Klassen 1 - 10 (Weineck 1994, 381).....	10
Abbildung 4 Durchschnittswerte der maximalen und relativen Sauerstoffaufnahme bei Mädchen und Jungen (Rowland 1990 nach Martin 1999, 129)	11
Abbildung 5 relative maximale Sauerstoffaufnahme(ml/kg/min) bei Mädchen und Jungen zwischen 6 und 18 Jahren (Klemmt1988, nach Martin 1999, 129).....	12
Abbildung 6 60m Laufzeiten in verschiedenen Altersstufen (Crasselt 1972 in Weineck 1994, 471).....	13
Abbildung 7 Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Laufe des Kindes und Jugendalters (korrelierende Parameter Herzvolumen und Max Sauerstoffaufnahme) (Hollmann / Bouchard 1970 nach Weineck 1994, 366)	14
Abbildung 8 Verhalten des relativen Herzvolumens (pro kg Körpergewicht) bei Jungen und Mädchen (nach Hollman /Hettinger 1980, nach Weineck 1994, 367).....	15
Abbildung 9 Terminologie Lungenvolumina. Prozentuale Anteile des Lungenvolumens an der Totalkapazität: Vitalkapazität 75%, Inspiratorische Reservekapazität 59%, Inspiratorisches Reservevolumen 49%, Atemvolumen 10%, funktionelle Residualkapazität 41%, Expiratives Reservevolumen 16%, Residual-Volumen 25% (Klimt 1992, 49).....	17
Abbildung 10 Mittelwerte (Mx) und mittlere quadratische Streuung($\pm s_x$) der Vitalkapazität, geordnet nach Alters-, Längen-, Gewichts und Körperoberflächengruppen sowie Geschlecht. n= Anzahl der Personen (Klimt 1992, 47)	18
Abbildung 11 Beziehung zwischen Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme (Marées 2003, 241)	19
Abbildung 12 respiratorische Schwelle (durch Pfeil markiert) Nixon (2000, 50)	21
Abbildung 13: changes in V_E/VO_2 at maximal and submaximal exercise in boys and girls according to age (Rowland, Cunningham 1997, S331).....	30
Abbildung 14: Changes in submaximal and maximal V_T (left) and R_f (right) with age	

(Rowland, Cunningham 1997, S330).....	31
Abbildung 15: Changes in V_E/VO_2 at maximal and submaximal exercise in boys and girls according to age (Rowland, Cunningham 1997, S331).....	31
Abbildung 16: Changes in max V_E per kilogram in boys and girls with age (Rowland, Cunningham 1997, S330).....	32
Abbildung 17: Changes in maximal and submaximal V_E with age (Rowland, Cunningham 1997, S330).....	32
Abbildung 18 Mittelwerte der Herzschlagfrequenz bei Belastung (Martin, Nicolaus, Ostrowski, Rost 1999, 46)	35
Abbildung 19 - SV kinetics boys and girls (Obert et al 2003, S204)	44
Abbildung 20: Cardiac output (Q) on O_2 consumption (VO_2) for cycle ergometer (A) and treadmill (B) (Turley und Wilmore 1997, S.953)	50
Abbildung 21: heart rate (HR) on VO_2 for cycle ergometer (A) and treadmill (B)	50
Abbildung 22: Stroke volume (SV) on VO_2 for cycle ergometer (A) and treadmill (B) (Turley und Wilmore 1997, S954)	51
Abbildung 23: Aterial-mixed venous O_2 difference (a-v O_2) on VO_2 for cycle ergometer (A) and treadmill (B) (Turley und Wilmore 1997, S954)	51
Abbildung 24: Total peripheral resistance (TPR) on VO_2 for cycle ergometer (A) and treadmill (B) (Turley und Wilmore 1997, S954)	52
Abbildung 25 absolute Sauerstoffaufnahme (l/min) in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht nach Tab 5.1 in Klimt 1992,S147	56
Abbildung 26 relative O_2 Aufnahme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht nach Tab 5.1 in Klimt 1992, S147	57
Abbildung 27 Distribution of aerobic responses to the 12-week training program (Rowland, Boyajian 1995, S656)	64
Abbildung 28 relationship between the percentage of VO_{2max} change after training and the VO_{2max} at the pre-test in EG (Mandigout et al 2001, S13)	68
Abbildung 29 Energiegewinnung in Abhängigkeit von Belastungsintensität in % und Dauer der Belastung (www.lauftipps.ch)	71

Abbildung 30 - Maximales Laktat in mmol/l Abhängig vom Lebensalter bei Mädchen und Jungen zwischen 6 und 18 Jahren nach Klemt (aus Martin 1999, 133)	73
Abbildung 31 - P_i/PCr Values at rest during 40%MWC and 140%MWC (Petersen et al 2007, S2153)	76
Abbildung 32 - Mean values for P_i/PCr at rest and during submaximal and supamaximal exercise (Petersen et al 2007, S2153).....	76
Abbildung 33 - Mechanical power during WAnT related to body mass in boys and adolescents (Beneke et al 2007, S674)	80
Abbildung 34 - Mechanical Power during WAnT related to muscle mass in boys and adolescents (Beneke et al 2007, S674)	81
Abbildung 35 Lactate generates in the extravascular compartment (A) shows a maximum during the third decade of life (Beneke et al 2005, S501)	86
Abbildung 36 Maximum of the post-WAnT BLC (BLC_{max}) shows a maximum during the third decade of life (Beneke et al 2005, S501)	86
Abbildung 37 Velocity constant of lactate elimination from the blood compartment (k_2) decreases with an increase in the BLC_{max} (Beneke et al 2005, S502)	87
Abbildung 38 - Time course of peak power (PP50) during 10s sprints seperated by either 30s (R30), 1min (R1) or 5min (R5) passive recovery intervals in prepubescent boys (Pre), pubescent boys (Pub) and men. (Ratel et al 2002, S399).....	90
Abbildung 39 - Relationship between VO_{2max} and the decrease of PP50 (Ratel et al 2002, S400)	91
Abbildung 40 - time of course of blood lactate concentration (Ratel et al 2002, S400).....	92
Abbildung 41 - Laktatakkumulation bei 9 Jährigen Mädchen und Jungen nach Kurzzeitausdauerbelastungen nach Bormann, Pahlke & Peters (nach Martin 1999, 134).....	94

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1- Atmungsfunktion während körperlicher Belastung im Vgl. zwischen Kindern und Erwachsenen (Bar - Or 1986, S38).....	22
Tabelle 2 - Alter, Körpermaße und Ventilationsparameter in Ruhe bei Kindern getrennt nach Geschlecht nach Armstrong (1997, S1556)	23
Tabelle 3 - Pearson correlation Coefficients among stature, mass and ventilatory variables in prepubescent children by sex*(Armstrong 1997, S 1556)	24
Tabelle 4 - peak ventilatory data of prepubescent children by sex* (Armstrong 1997, 1556) 24	
Tabelle 5 - Ventilatory responses of prepubescent girl (n=76) running at various treadmill velocities* (Armstrong 1997, S.1557)	25
Tabelle 6 - Ventilatory responses of prepubescent boys (n=101) running at various treadmill velocities* (Armstrong 1997, S.1557)	25
Tabelle 7 - Ventilatory data of prepubescent children by sex, exercising at 70 to 75% of peak VO_2 * (Armstrong 1997, S.1558).....	26
Tabelle 8 - Ventilatory data of prepubescent children vs. sex, exercising at 80 to 85% of peak VO_2 * (Armstrong 1997, S.1558).....	26
Tabelle 9 - weight and height changes with age: mean (SD) values (Rowland; Cunningham 1997, 328)	28
Tabelle 10 - Submaximal physiologic variables with age: Mean(SD) values (Rowland; Cunningham 1997, S 329).....	29
Tabelle 11 - Maximal physiologic variables with age: Mean (SD) values (Rowland, Cunningham 1997, S329).....	29
Tabelle 12 - Physical characteristics of the subjects (aus Turley und Wilmore 1997, S.827) 38	
Tabelle 13 - Echokardiographic information (Turley und Wilmore 1997, S 827).....	39
Tabelle 14 - maximal treadmill and cycle ergometer data (Turley und Wilmore 1997, S927) 40	
Tabelle 15 Submax treadmill and cycle ergometer cardiovascular data (Turley und Wilmore 1997, S828).....	41
Tabelle 16 subjects characteristics (nach Obert et al 2003, S202)	42

Tabelle 17: resting and maximal metabolic and cardiovascular data (Obert et al. 2003, S203)	43
Tabelle 18: Echocardiography Doppler measurements (Obert et al. 2003, S205)	44
Tabelle 19: Matrix of correlations between percentage variations of cardiovascular variables after training in the trained group (Obert et al. 2003, S205)	45
Tabelle 20: physical characteristics of subjects (Turley and Wilmore 1997, S 951)	48
Tabelle 21: Treadmill and cycle ergometer maximal data (Turley und Wilmore 1997, S 951)	48
Tabelle 22: Cycle ergometer and treadmill submaximal metabolic and cardiovascular data by work rates for boys and men (Turley und Wilmore 1997, S952)	49
Tabelle 23: Cycle ergometer and treadmill submaximal metabolic and cardiovascular data by work rates for girl and women (Turley und Wilmore 1997, S953)	49
Tabelle 24: physical charaktertistics and peak exercise variables by sex and test. Values are means (standart devitation) (Armstrong et al 2001, S548)	61
Tabelle 25: Multilevel regression models for peak oxygen uptake (n=388). Age was centered on the group mean age of 12, 9 years. <i>n.s.</i> Not signifikant (Armstrong et al 2001, S549)	61
Tabelle 26 Physiologic and Anthropometric Values Immediately Before (2) and After (3) Aerobic Training (Rowland, Boyajian 1995, S656)	63
Tabelle 27 peak exercise responses and blood lipid pre- and post training. Values are mean (SD) (Welsman et. al 1997,S 141)	65
Tabelle 28 Anthropometric variables (Mandigout et. al 2001, S11)	66
Tabelle 29 Bioenergetic variables determined during maximal aerobic test (Mandigout et. al 1997, S.11)	66
Tabelle 30 Submaximal bioenergetic data in EG and CG determined during the cylce ergometer test (Manigout et al 2001, S.12)	67
Tabelle 31 muscle metabolism at rest (child/adult values for glycogen) (van Praagh 2007, S29)	72
Tabelle 32 - muscle metabolism during exercise (van Praagh 2007, S30)	74
Tabelle 33 - Physical characteristics of prepubertal and pubertal subjects (Petersen et al	

1999, S2152).....	75
Tabelle 34 - Antropometric data (Beneke et al 2007, S672)	79
Tabelle 35 - Wingate anaerobic test performance (Beneke et al 2007, S673)	80
Tabelle 36 - Performance and Energetics of WAnT related to muscle mass (Beneke et al 2007, S675).....	81
Tabelle 37 - kinetics of blood lactate concentration (BLC) and port WAnT oxygen uptake (Beneke et al 2007, S675).....	82
Tabelle 38 - Energetics of WAnT related to body mass (Beneke et al 2007, S.675)	82
Tabelle 39 - Anthropometric data (Beneke et al 2005, S500).....	84
Tabelle 40 Incremental loadtest (Beneke et al 2005, S501).....	85
Tabelle 41 Lactate response to WAnT (Beneke et al 2005, S502).....	85
Tabelle 42 BLC bei WAnT (Beneke et al 2005, S501)	85
Tabelle 43WAnT performance (Beneke et al 2005, S502).....	87
Tabelle 44 - subjects' physical and physiological characteristics (Ratel et al 2002, S399)	89
Tabelle 45 - age and anthropometric data pretraining and post-training (McMagnus et al 1997, S458).....	96
Tabelle 46 - aerobic and anaerobic data pretraining and post-training (McMAGnus et al 1997, S458).....	96
Tabelle 47 - Biometric parameters evaluated before and after 13weeks in the trained (TG) and the control (CG) groups (Obert et al 2001, S444)	98
Tabelle 48 - Anaerobic performances evaluated before and after 13weeks in trained (TG) and the contol (CG) groups (Obert et al 2001, S444).....	99
Tabelle 49 - Vgl. $P_{\max}$ und F_{opt} vor und nach dem Training nach Obert 2001, S444	99

12 Glossar

A	extravaskulärer Anstieg von Laktat während der Belastung
AI	Beschleunigungsindex
AP	average power
a-VO _{2DIFF}	arteriovenöse Sauerstoffdifferenz
BLC	blood lactate concentration
BLC ₀	Laktat vor dem Test
BSA	body surface area
C	Kontrollgruppe
CEE	Radgruppe
CG	controlgroup
DAP	diastolic pressure
EG	Expertengruppe
FEV	Einsekundenkapazität
FFM	fat free mass
F _{FRICT}	Bremskraft
FI	fatigue index
F _{opt}	optimale Kraft
FVC	forcierte Vitalkapazität
H ⁺	Wasserstoffion
Hf	Herzfrequenz
IP	Bremskraft
k ₁	gleichbleibende Invasion
k ₂	konstante Evasion von Laktat in und aus dem Blutkompartiment
KG	Kontrollgruppe
LLM	lower limb muscel
LLV	lean leg volume
LVIDd	left ventricular internal diameter diastolic
LVIDs	left ventricular internal diameter systolic
LVM	left ventricular mass
MM	muscel mass
MMV	maximal voluntary ventilation
MP	Minimalkraft
MWC	maximal work capacity
OUES	oxygen uptake efficiency slope
PCr	Kreatinphosphat

PD	peak drop
pH	Säurewert
pH _i	intercellular pH
P _i	intercellular inorganic phosphat
PP	Maximalkraft
P _{peak}	Maximalkraft
PWTd	posterior wall thickness diastole
PWTs	posterior wall thickness systole
Q	Herzminutenvolumen
RER	respiratory exchange ratio
Rf	respiratory frequency
SAP	systolic pressure
SF	shortening fraction
SR	Sprintgruppe
ST	interventricular wall thickness
SV	Schlagvolumen
SVR	systolic ventricular resistance
SWTd	septal wall thickness diastole
SWTs	septal wall thickness systole
T _{BLC}	time of BLC
TG	trainingsgroup
TMM	tight muscel mass
T _P	turn point
TPR	total peripheral resistance
VAT	ventilatory anaerobic threshold
VCO ₂	Kohlendioxidaufnahme
V _E	Ventilation (Atemminutenvolumen)
V _E /VCO ₂	Atemäquivalent für CO ₂ Aufnahme
V _E /VO ₂	Atemäquivalent für O ₂ Aufnahme
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
V _{opt}	optimale Geschwindigkeit
V _T	Tidalvolumen (Atemzugvolumen)
W _{AER}	aerobic energy related to body mass
WAnT	wingate anaerobic test
W _{BCL}	anaerobic lactatic energie related to body mass
W _{PCr}	anaerobic alactic energie related to body mass
W _{TOT}	total metabolic energie related to body mass

13 Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde daher weder an einer anderen Stelle eingereicht, noch von anderen Personen vorgelegt

14 Lebenslauf

ANGABEN ZUR PERSON

Name Nitsch Marielouise



Adresse 53/6 Heigerleinstrasse, 1170, Wien, Österreich

Telefon 0650 213 09 83

Fax

E-mail malou@gmx.at

Staatsangehörigkeit Austria

Geburtsdatum 13. SEPTEMBER 1983

ARBEITSERFAHRUNG

- Datum (von – bis) Seit Okt 2008 Schwimmworkshops für die Sportordination (Dr. Gäbler)
seit Okt. 2007 Training für Kader II der Vienna Dolphins (Leitung Karl Kastner)
Seit 2005 Leiterin des Schwimmprogramms für die American International School
Seit 2004 Betreuung von Triathleten im Schwimmbereich (Techniktraining, Schwimmpläne)
2003 – 2007 Kursleiterin für Bodywork, Fatburning an der VHS Urania
2002 – 2005 Schwimmtrainerin für International Sports Network (Leitung Alexander Hoffmann)
2000 – 2003 Mitarbeiterin bei Intersport Eybl Laufsportabteilung (Verkauf, Laufbandanalyse)

SCHUL- UND BERUFSBILDUNG

- Datum (von – bis)

2008 Ausbildung Spezialtrainer Schwimmen
 2008 - 2010 Magisterstudium Sportwissenschaften
 2007 – 2008 Trainergrundkurs Bafg Wien
 Sep 2002 – Feb 2008 Bakk Studium Sportwissenschaften
 Gesundheitssport/ Leistungssport
 2006 Lehrwartekurs Snowboard Bafg Wien
 2005 - 2006 Lehrwartekurs Schwimmen Bafg Linz
 2004 - 2005 Aerobicausbildung bei education in move
 Feb. 2002 – Sep 2002 BWL WU Wien
 Feb 2002 Matura am Oberstufenrealgymnasium de La Salle Schule
 Marianum

PERSÖNLICHE FÄHIGKEITEN UND KOMPETENZEN

*Im Laufe des
 Lebens/Berufslebens erworben,
 jedoch nicht unbedingt
 Gegenstand von formalen
 Zeugnissen und Diplomen.*

Unterricht und Kommunikation auf Englisch für American
 International School
 Einzelunterricht im Schwimmen
 Assistenz bei Univ. Prof. Dunkl in der Lehrveranstaltung
 Grundlagen des sportlichen Leistens und Könnens :Schwimmen
 Aquagymnastikstunden im Rahmen des Angebots der Stadt Wien
 in öffentlichen Wiener Bädern im Sommer 2005
 Schwimm - Videoanalyse mit anschließender individueller
 Technikeinheit auf der Schmelz
 Leiten von Snowboardgruppen bei Schulsikursen
 Laufbandanalysen während meiner Tätigkeit beim Intersport Eybl
 Individuelle Laufschuhberatung

Sonstige Fähigkeiten und Kompetenzen

aktive Triathletin seit März 07
 Halbmarathon Triest (4x); Graz, Wachau, Wien
 10km und 5km Läufe
 Akademische Meisterschaften Schwimmen 06/ 07/ 09

MUTTERSPRACHE

DEUTSCH

SONSTIGE SPRACHEN

Englisch : Maturaniveau in Schrift und Sprache

Französisch: Grundzüge aus der Schule vorhanden

**SOZIALE FÄHIGKEITEN UND
KOMPETENZEN**

*Leben und arbeiten mit anderen
Menschen, in einem
multikulturellen Umfeld, in
Funktionen, für die
Kommunikation wichtig ist, und in
Situationen, in denen Teamwork
wesentlich ist (z. B. Kultur und
Sport) usw.*

Pünktlich

Verlässlich

Teamfähig

TeamFührungs + Organisationserfahrung

Motivierend

Selbständig

Unterricht auf Englisch und Deutsch

Erfahrung mit multikulturellen Gruppen in verschiedensten

Altersgruppen (3-65+)

Guter Umgang mit Stress

**ORGANISATORISCHE
FÄHIGKEITEN UND
KOMPETENZEN**

*Beispielsweise Koordinierung
und Verwaltung von Personal,
Projekten, Haushaltsmitteln; bei
der Arbeit, einer gemeinnützigen
Tätigkeit (z. B. Kultur und Sport)
und zu Hause usw.*

Organisieren und führen von mehreren Trainer/innen

Verantwortlich für die Kommunikation zwischen verschiedenen

Partnern (MA44, Angestellten im Bad, Eltern, Kindern und

Trainern)

FÜHRERSCHEIN(E)

Klasse B (PKW)