

## Anpassungserscheinungen durch Schul- und Leistungssport im Kindesalter\*

Im Kindes- und Jugendalter sind Leistungsfähigkeit und Anpassung an vermehrte körperliche Aktivität eng mit den Wachstumsvorgängen verknüpft. Bei der Trainingsgestaltung oder vermehrter sportlicher Betätigung ist bei Kindern zu berücksichtigen, welche Funktionsbereiche des Organismus schon voll belastet werden können und welche Einschränkungen in Abhängigkeit von den einzelnen Entwicklungsphasen bestehen. Bei Schulkindern wurde eine ebenso große Leistungsfähigkeit wie beim Erwachsenen nachgewiesen, wenn die Wattzahl oder die Sauerstoffaufnahme auf das Körpergewicht bezogen wurde (vgl. ÅSTRAND 1952, BOUCHARD/THIBAUT 1977, HOLLMANN u. a. 1973, KLIMT 1977, MELLEROWICZ/ LERCHE 1958, MOCELLIN 1975, SCHMÜCKER/HOLLMANN 1973, WASMUND/MOCELLIN 1972). Auch ist das Herzvolumen im Verhältnis zum Körpergewicht bei Schulkindern ebenso groß wie bei Erwachsenen (KEUL u. a. 1962, NÖCKER 1976). Durch die individuell unterschiedlich beschleunigte Entwicklung des Kindes und Jugendlichen findet sich eine große Variation innerhalb einer Altersklasse, so daß gleichaltrige Schüler nicht nur große Unterschiede in der Körpergröße und im Körpergewicht, sondern auch in der Herzgröße, der Muskelmasse, der aeroben und anaeroben Kapazität zeigen (ÅSTRAND 1952, BOUCHARD/THIBAUT 1977, KEUL u. a. 1962). Diese große biologische Streubreite einzelner Parameter wird in bezug auf das Körpergewicht wesentlich eingeengt. Bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit und der Trainingsanpassung von Kind und Jugendlichen müssen nicht nur das Alter, sondern auch der biologische Entwicklungsstand berücksichtigt werden, was besondere Bedeutung für die Zusammenstellung von Leistungs- oder Trainingsgruppen hat.

Bei der Frage des Trainings von Kindern im Schulalter ist zu prüfen, welche Voraussetzungen das Kind bei Schulbeginn, d. h. mit sechs Jahren, hat, wie die Entwicklung vorher war und wie Belastungsreize beantwortet werden. Bei Kindern im Vorschulalter finden sich bei den Drei- bis Vierjährigen Herzvolumina um 200 ml und bei den Fünf- bis Sechsjährigen Herzvolumina um 300 ml. Die Sauerstoffaufnahme nimmt mit der Herzgröße zwar deutlich zu, jedoch liegt bei den Fünf- bis Sechsjährigen die maximale Sauerstoffaufnahme/kg Körpergewicht deutlich niedriger als bei älteren Kindern und bei Erwachsenen; bei den drei- bis vierjährigen Kindern ist dieser Unterschied noch deutlicher ausgeprägt. Dabei ist zu betonen, daß die Belastungsprüfung auf einem für den Bewegungsablauf der

\* Mit Unterstützung durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Köln-Lövenich. Die Untersuchungen an den Schulkindern wurden in Zusammenarbeit mit Gymnasialprofessor BÜHRLE (Göppingen) und Rektor TIEFENBACH (Stegen) entwickelt.

Kinder ungewohnten Fahrradergometer erfolgte und vorzeitig eine muskuläre Ermüdung eintrat. Im Verhältnis zum Körpergewicht sind die Herzen der Vorschulkinder normal groß oder leicht vergrößert; demnach bestehen günstige Voraussetzungen für eine große Förderleistung des Herzens, die auch echokardiographisch belegt werden konnte. Im Verhältnis zum Erwachsenen war das Schlagvolumen mit 25—30 ml, bezogen auf das Herzvolumen, prozentual (12—14 Prozent) gleich groß. Da die Sauerstoffaufnahme trotzdem gering bleibt, ist anzunehmen, daß der mit dem Blut angebotene Sauerstoff von der Skelettmuskulatur unter diesen Arbeitsbedingungen nur in geringem Maße ausgeschöpft und verwertet werden kann. Dafür spricht, daß sich der Sauerstoffpuls bei den Kleinkindern während Körperarbeit gegenüber Ruhe kaum ändert (Abb. 1). Die

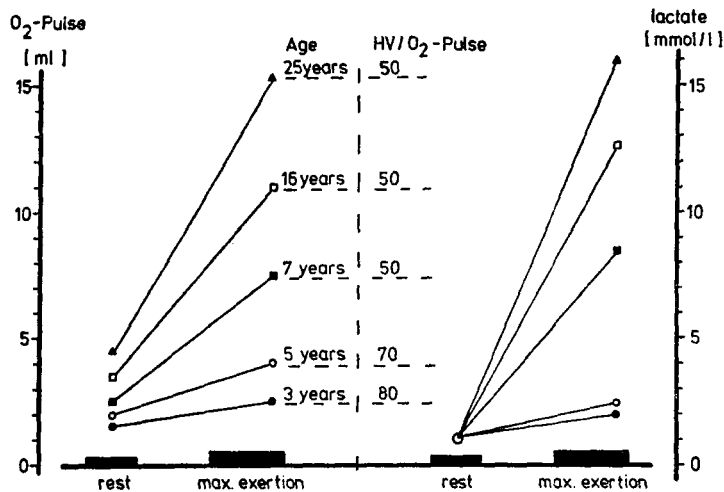


Abb. 1: Bei den Kleinkindern kommt es während Fahrradergometer-Belastung zu keiner wesentlichen Zunahme des Sauerstoffpulses und des Lactatspiegels. Im Verhältnis zur Herzgröße ist der Sauerstoffpuls klein; bei Sieben- bis Achtjährigen erreicht der Quotient  $HV/O_2$ -Puls die Werte von Erwachsenen. Erst nach der Pubertät werden maximale Lactatwerte im Blut beobachtet.

Gründe sind sowohl die geringere Muskelmasse, da der prozentuale Anteil des Muskelgewebes am Körpergewicht des Kleinkindes 25 Prozent beträgt, bis zur Pubertät 33 Prozent und zum Erwachsenenalter 40 Prozent erreicht (BOUCHARD/THIBAUT 1977), als auch die noch nicht voll ausgebildete oxydative Fähigkeit des Muskelgewebes. Nach stärkeren, langwährenden körperlichen Belastungen in einer Sportstunde wurden bei diesen Kleinkindern kaum Herzfrequenzen über 180/min beobachtet (Abb. 2). Somit kann das Kleinkind Dauerleistungen mit niedriger Intensität ohne weiteres bewältigen. Die Einschränkung der Leistungsfähigkeit ist nicht kardio-pulmonal, sondern durch das Muskelgewebe selbst bedingt.

Mit Beginn des Schulalters kommt es zu einer weiteren muskulären Ausbildung, so daß auch auf dem Fahrradergometer der maximale Sauerstoffpuls gegenüber Ruhe deutlich zunimmt und im Verhältnis zum Herzvolumen die gleiche Größenordnung erreicht wie bei Jugendlichen oder Erwachsenen (HOLLMANN u. a. 1973,

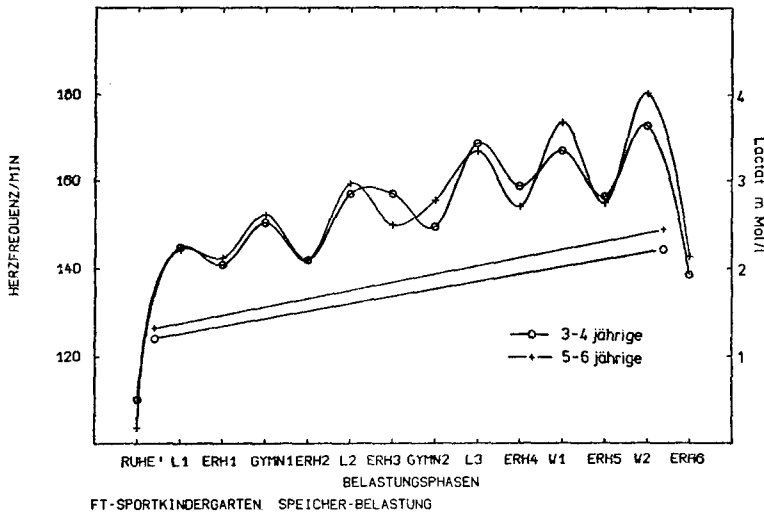


Abb. 2: Die Herzfrequenzen der drei- bis vierjährigen und fünf- bis sechsjährigen Kleinkinder übersteigen auch nach verschiedenen intensiven körperlichen Belastungen kaum 180/min. Die Werte der jüngeren Kinder liegen niedriger. Der Milchsäurespiegel erfährt nach einer einstündigen Sportstunde nur eine leichte Zunahme.

KEUL u. a. 1962, NÖCKER 1976). Die Zunahme der Herzgröße und des Sauerstoffpulses erfolgt somit von diesem Zeitpunkt an parallel, und die Voraussetzungen werden für die Ausdauer-Leistungsfähigkeit des Kindes günstig (Abb. 3). Daher erreicht die Leistungsfähigkeit, bezogen auf das Körpergewicht, von diesem Alter an bereits dieselbe Größenordnung wie beim Erwachsenen. Es ist zu erwarten, daß Kinder bei Schulbeginn unterschiedlich entwickelt, insbesondere aber unterschiedlich belastbar und begrenzt trainierbar sind. Somit läßt sich festhalten, daß Herzfrequenzen beim Kleinkind während körperlicher Belastungen wie Gymnastik und Ballspielen wie auch bei Ergometerarbeit selten über 180/min ansteigen, während beim Kind im Alter von acht Jahren Anstiege des Sauerstoffpulses beobachtet werden und auch Herzfrequenzen über 200/min keine Seltenheit sind. In jedem Falle läßt die mangelnde Beanspruchbarkeit der Skelettmuskulatur eine Überforderung des gesunden Kleinkindes durch körperliche Belastung nicht zu.

Eine nur geringe Anpassung an Trainingsreize zeigt sich bei sieben- bis achtjährigen Schülern, von denen die eine Hälfte der Schulklasse zwei zusätzliche Sportstunden erhielt und der Sportunterricht darüber hinaus — vor allem bezüglich der

Ausdauerleistungen — intensiviert wurde (Abb. 4). Das niedrige Anpassungsniveau ist offensichtlich Folge unterschwelliger Trainingsbelastungen, da das Ergometer-

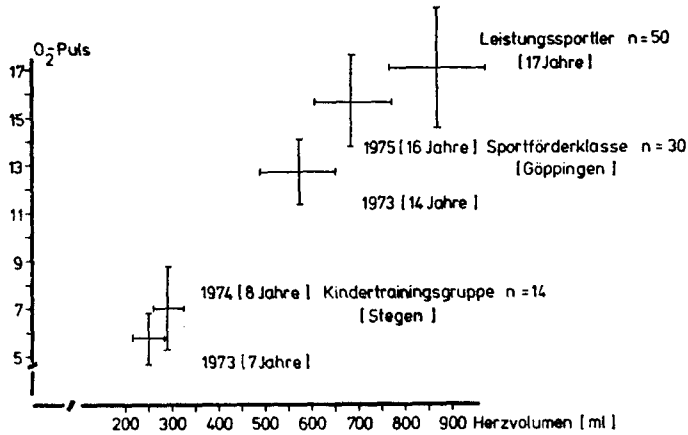


Abb. 3: Bei Kindern, Jugendlichen und Leistungssportlern besteht eine enge Beziehung zwischen Herzvolumen und Sauerstoffpuls. Als Trainingsfolge nehmen beide Größen gleichmäßig zu.

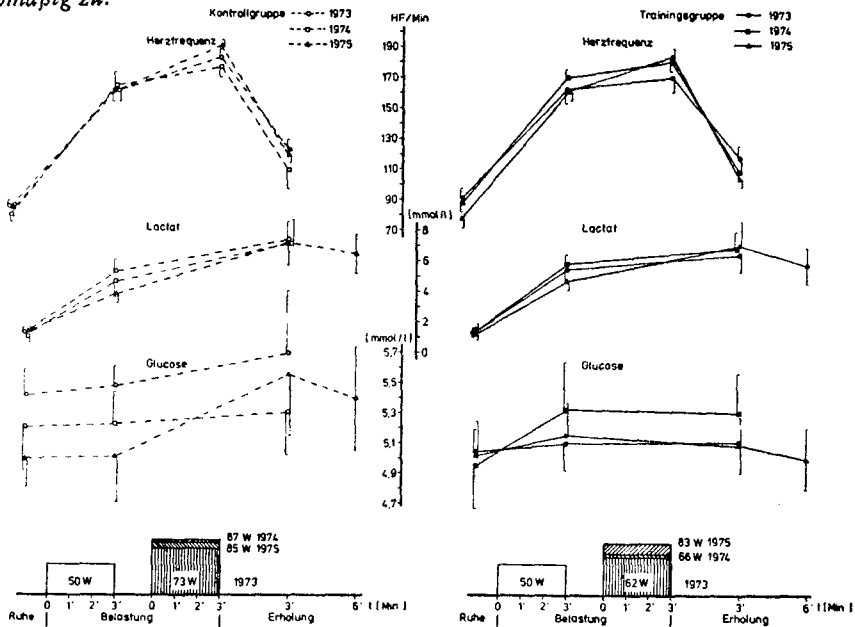


Abb. 4: Innerhalb einer zweijährigen Beobachtungszeit, in der sieben- bis achtjährige Kinder gegenüber einer Kontrollgruppe vermehrt Sport erhielten, finden sich zwischen Herzfrequenz und Lactatspiegel keine Unterschiede. Die Leistungsfähigkeit hat mit 35% stärker als in der Kontrollgruppe (20%) zugenommen, ohne daß die Unterschiede statistisch signifikant sind.

training bei einer Herzfrequenz von 140/min erfolgte und auch im Schwimmen, Circuit-Training sowie beim Spielen keine Maximalbelastungen erreicht wurden. Innerhalb von zwei Jahren erfuhr die Kontrollgruppe einen Leistungszuwachs von 20 Prozent und die Trainingsgruppe von 35 Prozent, ohne daß diese Unterschiede statistisch signifikant sind. Die Herzfrequenzen und auch die Lactatspiegel der beiden Gruppen zeigten keine nennenswerten Unterschiede. Wahrscheinlich kann durch die zusätzliche Sportstunde in der durchgeführten Weise über den normalen Bewegungs- und Spieltrieb hinaus keine wesentliche weitere Verbesserung erzielt werden. Offen ist für dieses Alter, in welchem Ausmaß sich bedeutend stärkere Trainingsreize auf die Leistungsfähigkeit und das kardio-pulmonale System auswirken können.

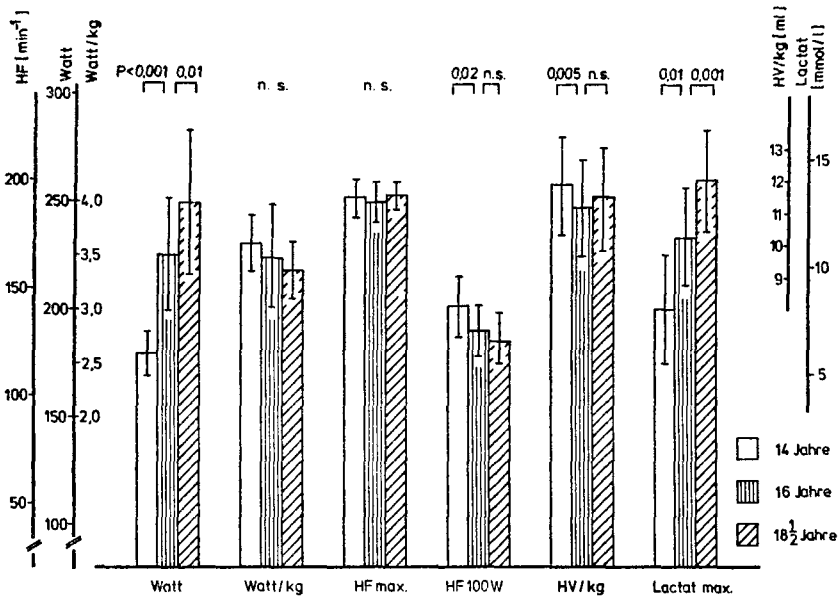


Abb. 5: Innerhalb einer Sportförderklasse (Gymnasium Göppingen) nimmt die Leistungsfähigkeit als Folge der altersbedingten Entwicklung zu; bezogen auf das Körpergewicht bleibt sie unverändert. Bemerkenswert ist, daß es altersabhängig zu deutlich höheren Lactatspiegeln im Blut kommt.

Auch die zusätzliche sportliche Betätigung bei älteren Schülern innerhalb einer Sportförderklasse (Abb. 5) läßt erkennen, daß die Leistungsparameter wie Herzvolumen und Wattleistung im günstigen oberen Bereich der Norm (Untrainierte) liegen, jedoch die vergrößerte Leistungsfähigkeit (Watt) vor allem durch die altersbedingte Entwicklung hervorgerufen wird. Die Wattzahl/kg Körpergewicht hat sich vom 14. zum 18. Lebensjahr, in dem die Schüler vermehrt Sport betrieben, nicht geändert und liegt im gleichen Bereich wie bei untrainierten Kindern und Erwachsenen im Alter von 10 bis 30 Jahren (ÅSTRAND 1952, KEUL

u. a. 1962, MELLEROWICZ/LERCHE 1958, NÖCKER 1976). Ebenfalls hat sich in dieser Longitudinal-Studie die maximale Herzfrequenz in den einzelnen Lebensabschnitten nicht geändert, und das Herzvolumen, bezogen auf das Körpergewicht, ist annähernd gleich geblieben. Die wesentliche Ursache für den Leistungsanstieg muß auch bei dieser Gruppe in der Entwicklung, weniger im zusätzlichen Sportunterricht gesehen werden. Auch hier gilt, daß der zusätzliche Sportunterricht nicht ausreichend für adaptive Veränderungen am Herz-Kreislauf-System und im Skelettmuskel gewesen ist.

Die anaerobe Kapazität, eine vermehrte Energiebildung über die Glycolyse, wobei Milchsäure anfällt, wird erst zu einem deutlich späteren Zeitpunkt, und zwar nach der Pubertät, voll entfaltet. An der Längsschnittbeobachtung der Sportförderklasse Göppingen wird deutlich, wie sich die Lactatspiegel innerhalb der einzelnen Untersuchungsabschnitte signifikant erhöht haben (Abb. 5). Diese Fähigkeit einer erhöhten Energiebereitstellung durch eine verstärkte Lactatbildung ist altersabhängig. Bei Kleinkindern wird nur ein geringer Anstieg der Milchsäure im Blut beobachtet (ÅSTRAND 1952, KLIMT 1977) (Abb. 1), woraus gefolgert werden kann, daß eine hohe glycolytische Kapazität in diesem Alter nicht gegeben ist und kurze, starke Belastungen nicht bewältigt werden können. Die mit dem Alter zunehmenden Muskel- und Blutlactatspiegel lassen sich beim Kind in geringem Maße durch Training fördern. Als Ursache konnte gezeigt werden, daß das glycolytische Muskelenzym Phosphofruktokinase bei elf- bis dreizehnjährigen Kindern deutlich niedriger als bei Erwachsenen liegt und nach einer viermonatigen Trainingsperiode zwar deutlich ansteigt, jedoch die Werte untrainierter Erwachsener nicht erreicht (ERIKSON u. a. 1973 a). Da Lactat bei körperlichen Belastungen im wesentlichen die Säuerung des Gesamtorganismus bestimmt, werden durch die geringere Lactatbildung bei Kindern im Blut und Gewebe auch keine sehr hohen Säuregrade erreicht, wie sie beim Erwachsenen nachweisbar sind. Somit ist beim Kleinkind die aerobe und anaerobe Fähigkeit des Skelettmuskels und beim älteren Kind bis zur Pubertät nur die anaerobe Fähigkeit zur Energiebildung als Folge der biologischen Entwicklung eingeschränkt. Diese Veränderungen können als Ausdruck eines Schutzes des Herz-Kreislauf-Systems vor Überbelastung gesehen werden, da die Muskulatur vorzeitig ermüdet.

Als wesentliche Energiequelle für die Unterhaltung der oxydativen Energiebereitstellung dienen neben den Kohlenhydraten die Fette, wobei die freien Fettsäuren des Blutes, gebunden an Albumin, unmittelbar von der Muskelzelle aufgenommen und verwertet werden können. Bei Körperarbeit werden Triglyceride gespalten, wobei Glycerol frei wird, und die freien Fettsäuren, die im Blut ansteigen, werden in Abhängigkeit von der arteriellen Konzentration aufgenommen und verwertet. Zwischen Kindern und Erwachsenen findet sich in der vom Albumingehalt bestimmten Transportkapazität für freie Fettsäuren im Blut kein Unterschied. Da die freien Fettsäuren und das Glycerol im gleichen Ausmaß

ansteigen wie beim Erwachsenen, ist zu folgern, daß Alterseinflüsse in der lipolytischen Spaltung, im Transport und somit im Angebot an freien Fettsäuren an die Muskelzelle keine besondere Rolle spielen (Abb. 6). Die Fette werden somit in gleichem Ausmaß bereitgestellt, wie die aerobe Kapazität ausgebildet ist, so daß zwischen Kindern und Erwachsenen keine nennenswerten Unterschiede bestehen. Befunde über Blutfette von Kleinkindern liegen nicht vor.

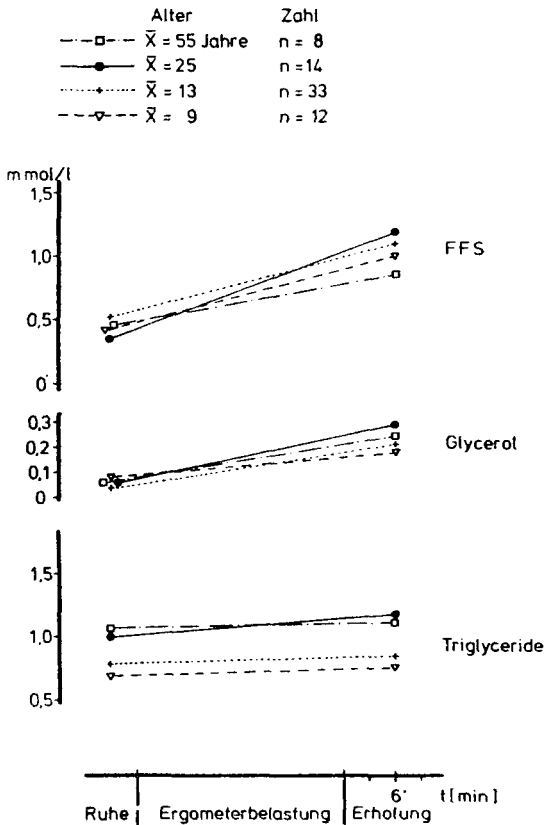


Abb. 6: Zwischen Kindern und Erwachsenen finden sich in Ruhe und nach Belastungen keine wesentlichen Unterschiede im Blutspiegel der freien Fettsäuren und des Glycerols. Die Lipolyse und die Transportkapazität für freie Fettsäuren, eines der wesentlichen Substrate für die oxydative Energiebereitstellung, zeigen keine altersbedingten Unterschiede.

Insgesamt sprechen diese Befunde dafür, daß Schulkinder ungefähr vom 8. Lebensjahr an eine aerobe Kapazität wie Erwachsene und Jugendliche haben — erkennbar z. B. an der Sauerstoffaufnahme/kg Körpergewicht und der Beziehung des Sauerstoffpulses zum Herzvolumen — und für intensive Ausdauerleistungen geeignet sind, wobei zu klären ist, in welchem Ausmaß diese Fähigkeit trainierbar ist.

Bei Kindern muß die Verbesserung der Laufleistung über längere Distanzen, die die aerobe Leistungsfähigkeit beanspruchen, nicht zwangsläufig mit einer Zunahme der maximalen aeroben Kapazität (maximale Sauerstoffaufnahme) oder der Ausdauerleistungsfähigkeit (Aufrechterhaltung eines möglichst hohen pro-

zentualen Anteils der maximalen Sauerstoffaufnahme über längere Zeit) einhergehen. Der altersabhängige Zuwachs der anaeroben Kapazität (Abb. 5) und die ebenfalls altersabhängige positive Beeinflussung des mechanischen Wirkungsgrades des Laufens können bei unveränderter kardio-zirkulatorischer Leistungsfähigkeit und unveränderter aerober Stoffwechselkapazität der Muskelzelle zu einer Verbesserung der Laufzeiten führen (DANIELS/OLDRIGE 1971).

Die Sauerstoffaufnahme/kg Körpergewicht ist bei gleichen submaximalen Geschwindigkeiten altersabhängig, denn bei trainierten Kindern (Alter  $11,6 \pm 2,0$  Jahre) finden sich im Vergleich zu trainierten Erwachsenen ( $23,7 \pm 4,9$  Jahre) jeweils signifikant höhere Werte (Abb. 7). Die Differenz beträgt etwa 10 Prozent.

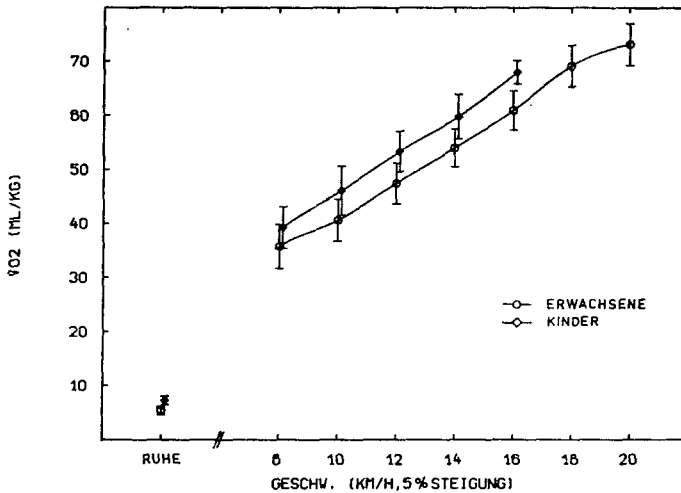


Abb. 7: Sauerstoffverbrauch/kg Körpergewicht in Ruhe und auf verschiedenen Belastungsstufen während Laufbandbelastung bei trainierten Kindern ( $11,6 \pm 2,0$  Jahre) und Erwachsenen ( $23,7 \pm 4,9$  Jahre)

Der geringgradig unterschiedliche Sauerstoffverbrauch in Ruhe von  $1,88 \text{ ml/min/kg}$  Körpergewicht wird durch den höheren basalen Metabolismus des Kindes bedingt. Berücksichtigt man den erhöhten basalen Energieumsatz, dann wird die altersabhängige Differenz des Sauerstoffverbrauchs auf submaximalen Belastungsstufen zwar geringer, es bleibt aber weiterhin ein deutlicher Unterschied bestehen; bei einer Laufbandgeschwindigkeit von  $14 \text{ km/h}$  (5 Prozent Steigung) beträgt die Gesamtdifferenz  $5,79 \text{ ml/min/kg}$  Körpergewicht.

Die höhere Sauerstoffaufnahme auf vergleichbaren submaximalen Belastungsstufen und damit der geringere mechanische Wirkungsgrad beim Heranwachsenden wird auf anatomische Differenzen zurückgeführt, die die Hebelverhältnisse und folglich Schrittlänge und Schrittfrequenz beeinflussen (ÅSTRAND 1952). Mit



steigendem Alter und verbesserter Bewegungskoordination durch Training kommt es somit zu einer Zunahme des Wirkungsgrades. Verbesserte Laufleistungen von Schulkindern innerhalb bestimmter Zeitabschnitte sind deshalb kein Beweis für eine Zunahme der kardio-vaskulären oder metabolischen Leistungsfähigkeit. Entsprechende Aussagen sind nur durch ergometrische Belastungsprüfungen möglich. Ausdauertraining im Kindesalter wurde in der Vergangenheit allgemein abgelehnt und zeitweise sogar als besonders gesundheitsgefährdend angesehen. Seit in den letzten Jahren immer mehr Kinder ein regelmäßiges Ausdauertraining durchführen und sogar an Marathonläufen mit Erfolg teilnehmen, wurde sichtbar, zu welchen Leistungen im Ausdauerbereich auch Heranwachsende fähig sind, ohne daß die Gefahr einer körperlichen Schädigung besteht. Langdauernde Belastungen von mehreren Kilometern bis zu Marathondistanzen im Wachstumsalter können nur von wenigen Kindern ausgehalten werden. Diese Extremvariante körperlicher Arbeit demonstriert aber beispielhaft die möglichen Anpassungserscheinungen der verschiedenen Teilbereiche des heranwachsenden Organismus und gibt Hinweise auf adäquate Trainingsgestaltung und -dosierung auch für andere gleichaltrige, aber weniger leistungsorientierte Trainingsgruppen. Von Bedeutung sind die Auswirkungen eines extremen Ausdauertrainings von Kindern im Alter von elf bis 14 Jahren und der Vergleich biologischer Leistungsdaten mit denen einer Kontrollgruppe Gleichaltriger, da sie Rückschlüsse auf die Gestaltung des Schulsports zulassen.

Wir untersuchten eine Gruppe von fünf Kindern, die seit ca. zwei Jahren ein leistungsorientiertes Ausdauertraining betreiben. Dabei werden vier- bis fünfmal pro Woche je 10 km gelaufen, an einzelnen Tagen auch bis zu 20 km. Der Gesamtumfang beträgt 50 km pro Woche; ein Kind trainiert bis zu 70 km wöchentlich. Drei der untersuchten Kinder nahmen bereits an Marathonläufen teil, wobei Zeiten um 3 Stunden und 30 Minuten gelaufen wurden (Bestzeit 3 Stunden und 8 Minuten\*). Die Kontrollgruppe umfaßt ebenfalls fünf Kinder, die wöchentlich ein- bis zweimal innerhalb eines Vereins Sport treiben, wobei das Training auf den Leichtathletik-Dreikampf (Sprint, Weitsprung, Ballweitwurf) ausgerichtet ist. In unregelmäßigen Abständen (einmal in zwei bis drei Wochen) werden im Training auch bis zu 10 km gelaufen.

Die maximal erreichte Geschwindigkeit auf dem Laufband liegt in der ausdauertrainierten Gruppe im Mittel um 3,2 km/h höher als bei der Kontrollgruppe (Abb. 8). Die durchschnittliche maximale Geschwindigkeit von 16,2 km/h bei 5 Prozent Steigung (das entspricht knapp 19 km/h auf der Ebene) liegt deutlich höher als beim untrainierten Erwachsenen. Die mittlere maximale Sauerstoffaufnahme weist mit 70 ml/min/kg Körpergewicht einen Wert auf, den sonst nur ausdauertrainierte Leistungssportler erreichen (Kontrollgruppe 57,8 ml/min/kg

\* Dieser dreizehnjährige Schüler ist der beste Langläufer und zugleich Klassenprimus und nennt Lesen und Malen als wesentliche Freizeitbeschäftigungen.

Körpergewicht). Die maximalen Herzfrequenzen zeigen mit etwa 200 Schlägen/min die erwarteten Werte, wobei die Kontrollgruppe geringfügig höher liegt. Auch auf den submaximalen Belastungsstufen werden die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit beider Gruppen deutlich. Die ausdauertrainierten Kinder zeigen auf den einzelnen Belastungsstufen erheblich niedrigere Herzfrequenzen und Lactatspiegel im arteriellen Blut. Die Ausdauer-Leistungsfähigkeit der trainierten Gruppe, gekennzeichnet durch die Leistung bei 4 mMol/l Lactat (anaerobe Schwelle) (KINDERMANN u. a. 1978, MADER u. a. 1976), beträgt 13,4 km/h bei

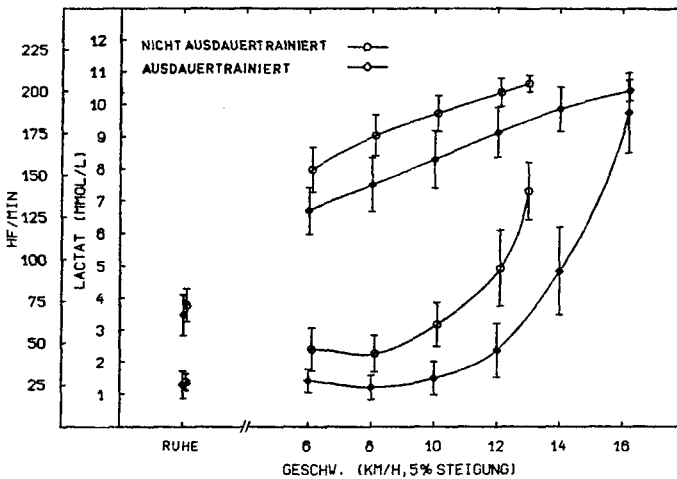


Abb. 8: Herzfrequenz und arterielle Lactatkonzentration in Abhängigkeit von der Laufbandgeschwindigkeit bei ausdauertrainierten und nicht-ausdauertrainierten Kindern. Der Bereich der Mindest-Herzfrequenz im Training liegt bei 2–2,5 mMol/l Lactat (aerobe Schwelle), der Bereich der maximal möglichen Herzfrequenz für ein Ausdauertraining bei etwa 4 mMol/l Lactat (anaerobe Schwelle).

5 Prozent Steigung (das entspricht ca. 16 km/h auf der Ebene). Die maximale Leistungsfähigkeit untrainierter erwachsener Personen liegt nur geringfügig höher. Die Sauerstoffaufnahme von 59,4 ml/min/kg Körpergewicht im Bereich der anaeroben Schwelle überschreitet sogar die Maximalwerte untrainierter Erwachsener. Der Anstieg der aeroben Leistungsfähigkeit geht auch beim Kind mit einer Zunahme der Herzgröße einher. Das relative Herzvolumen der ausdauertrainierten Kinder liegt mit 14,3 ml/kg Körpergewicht deutlich oberhalb des Normbereichs und unterscheidet sich signifikant von der nicht — ausdauertrainierten Gruppe (12,8 ml/kg Körpergewicht). Wie beim Erwachsenen ist die Größenzunahme des Herzens durch vermehrte körperliche Aktivität Folge einer physiologischen Hypertrophie und regulativen Dilatation aller Herzhöhlen, so daß eine regulative Herzvergrößerung resultiert (REINDELL u. a. 1960). Das vergrößerte Sportherz des Kindes fördert wie das des Erwachsenen in Ruhe und unter Bela-

stung ein erhöhtes Schlagvolumen, so daß die Herzfrequenz auf gleichen Belastungsstufen niedriger ist als bei Untrainierten (Abb. 8) (ERIKSON/KOCH 1973 b). Auch echokardiographisch finden sich gleiche Verhältnisse wie beim Erwachsenen; so beträgt beispielsweise die Auswurffraktion (Verhältnis Schlagvolumen zu enddiastolischem Volumen) im Mittel 76 Prozent. Die gleichzeitige Zunahme der Ausdauer-Leistungsfähigkeit weist darauf hin, daß nicht nur Veränderungen im Bereich der zentralen Hämodynamik, sondern auch eine Zunahme der Oxydationsrate und damit der Stoffwechselkapazität der Muskelzelle eintreten. Die anaerobe Schwelle beträgt über 80 Prozent der maximalen Leistungsfähigkeit, so daß ausdauertrainierte Kinder genauso wie entsprechend trainierte Erwachsene in der Lage sind, ein hohes Belastungsniveau über einen langen Zeitraum aufrechtzuerhalten. Die morphologischen Veränderungen des Herzens führen in gleicher Weise wie beim Erwachsenen auch zu entsprechenden elektro-kardiographischen Veränderungen. Einer der häufigsten Befunde ist hierbei die Ausbildung eines inkompletten Rechtsschenkelblock-Bildes, was insbesondere auf eine Vergrößerung des rechten Ventrikels hinweist.

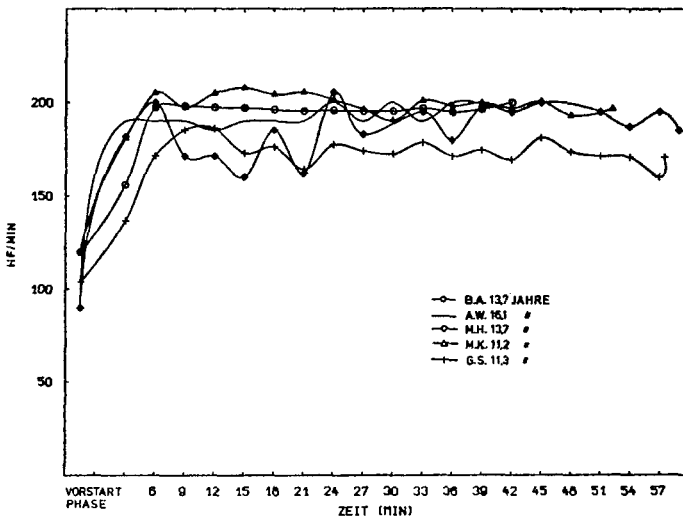


Abb. 9: Verlauf der Herzfrequenz während eines 10-km-Laufs (Wettkampf) von fünf Kindern bzw. Jugendlichen zwischen 11 und 16 Jahren.

Während Langstreckenläufen finden sich sowohl bei wenig trainierten als auch bei ausdauertrainierten Kindern erstaunlich hohe Herzfrequenzen (Abb. 9). Bei dem elfjährigen Kind M. K. konnte mittels Speicher-Ekg während eines 10-km-Laufs in ca. 52 Minuten konstant eine Herzfrequenz von um 200/min registriert werden. Ähnlich hoch war die Herzfrequenz bei dem knapp vierzehnjährigen Jungen B. A., der ein regelmäßiges Ausdauertraining von ca. 40–50 km pro

Woche betreibt. Auch bei dem sechzehnjährigen Jugendlichen A. W. lag die Herzfrequenz während des gesamten 10-km-Laufs mit 190/min sehr hoch. Berücksichtigt man die Altersabhängigkeit der maximalen Herzfrequenz, dann erstaunen diese Werte weniger, denn Erwachsene erreichen während intensiver Dauerbelastungen ebenfalls Herzfrequenzen um 180/min und darüber. Das Kind ist also ähnlich wie der Erwachsene in der Lage, eine hohe Belastungsintensität über längere Zeitabschnitte ohne Gefährdung aufrechtzuerhalten.

Es hat sich gezeigt, daß ein optimales intensives Ausdauertraining erfolgt, wenn bei Herzfrequenzen im Bereich von 4 mMol/Lactat/ml Blut trainiert wird. Betrachtet man den Herzfrequenz-Anstieg in Abhängigkeit von der Laufbandgeschwindigkeit und der arteriellen Lactatkonzentration (Abb. 8), dann können die entsprechenden Herzfrequenzen für ein effektives Ausdauertraining abgeleitet werden. Für die ausdauertrainierte Gruppe ergibt sich dabei im Mittel eine Herzfrequenz von ca. 180/min; bei nicht-ausdauertrainierten Kindern können die Werte sogar noch höher liegen. Allerdings kann ein solches intensives Ausdauertraining zeitlich nur begrenzt durchgeführt werden. Die Mindest-Herzfrequenz im Training sollte aber zwischen 160—170 Schlägen/min liegen, damit noch ausreichende Effekte erreicht werden können. Diese Intensität betrage etwa 60—70 Prozent der maximalen Leistungsfähigkeit.

Körperliche Belastungen innerhalb des Schulsportunterrichts, die Anpassungserscheinungen am Herz-Kreislauf-System und im metabolischen Bereich erzeugen sollen, sind nur effektiv, wenn die genannten Herzfrequenzen erreicht und überschritten werden. Bei den Trainingsgruppen, die lediglich vermehrt Schulsport betrieben, hat sich gezeigt, daß zwar dem Sport mehr Zeit gewidmet wurde, jedoch die Intensität unterhalb der Reizschwelle blieb, so daß wünschenswerte Anpassungsvorgänge ausblieben. Die Gefahr einer Überlastung ist bei derartigen Intensitäten nicht gegeben. Das Risiko einer zu geringen körperlichen Beanspruchung ist sicherlich größer als die Gefahr einer Überforderung. Wenn auch kardiovaskuläre Anpassungserscheinungen im Rahmen eines körperlichen Trainings bisher lediglich bei Kindern oberhalb des 1. Lebensjahrzehnts nachgewiesen werden konnten, so muß das nicht bedeuten, daß Kinder bis zum 10. Lebensjahr nicht trainierbar sind. Es erscheint sogar wahrscheinlich, daß die negativen Ergebnisse der wenigen vorliegenden Untersuchungen auf einer zu geringen Belastungsintensität beruhen.

#### *Literatur*

- ÅSTRAND, P. O.: Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen/Munksgaard 1952.
- BOUCHARD, C. / THIBAUT, M. Chr.: Jugend und Sport. In: Sportmedizin (1977), 206—220.
- DANIELS, J. / OLDRIGE, N.: Changes in oxygen consumption of young boys during growth and running training. In: Med. Sci. Sports 3 (1971), 161—165.

- ERIKSSON, B. O. / GOLLNICK, P. D. / SALTIN, B.: Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11—13 years old. In: *Acta Physiologica Scand.* 87 (1973), 485 (a).
- ERIKSSON, B. O. / KOCH, G.: Effect of physical training on hemodynamic response during submaximal and maximal exercise in 11—13 year old boys. In: *Acta Physiologica Scand.* 87 (1973), 27—39 (b).
- HOLLMANN, W. / BOUCHARD, C. / HECK, H. / LIESEN, H.: Die kardio-pulmonale Leistungsentwicklung von Jungen und Mädchen in Beziehung zum biologischen Alter unter spezieller Berücksichtigung der Akzelerierten und Retardierten. In: *Verhandlungen 24. Tagung des Deutschen Sportärztebundes.* Gräfelfing 1973.
- KEUL, J. / REINDELL, H. / ROSKAMM, H.: Zur Belastbarkeit des jugendlichen Organismus. Herzvolumen und Leistungsfähigkeit bei Jugendlichen nach langjähriger Trainingsbelastung. In: *Int. nat. Ztschrft. angew. Physiol.* 19 (1962), 287.
- KINDERMANN, W. / SIMON, G. / KEUL, J.: Dauertraining — Ermittlung der optimalen Trainingsherzfrequenz und Leistungsfähigkeit. In: *Leistungssport* 8 (1978), 34—39.
- KLIMT, F.: Zur Überlastungsmöglichkeit im Kindes- und Jugendalter. In: *Probleme sportärztlicher Betreuung.* Landessportbund Nordrhein-Westfalen (1977).
- MADER, A. / LIESEN, H. / HECK, H. / PHILIPPI, H. / ROST, R. / SCHÜRCH, P. / HOLLMANN, W.: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. In: *Sportarzt u. Sportmed.* 27 (1976), 80.
- MELLEROWICZ, H. / LERCHE, W.: Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der kardialen und körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen. In: *Ztschrft. Kinderheilkunde* 81 (1958), 36.
- MOCCELLIN, R.: Jugend und Sport. In: *Med. Klin.* 70 (1975), 1443—1457.
- NÖCKER, J.: *Physiologie der Leibesübungen.* Stuttgart 1976.
- REINDELL, H. / KLEPZIG, H. / STEIM, H. / MUSSHOFF, K. / ROSKAMM, H. / SCHILDGE, E.: *Herz, Kreislaufkrankheiten und Sport.* München 1960.
- SCHMÜCKER, B. / HOLLMANN, W.: Zur Frage der Trainierbarkeit von Herz und Kreislauf bei Kindern bis zum 10. Lebensjahr. In: *Sportarzt und Sportmed.* 24 (1973), 231.
- WASMUND, U. / MOCCELLIN, R.: Laufen im zweiten und dritten Schuljahr. Untersuchungen über die Trainierbarkeit. In: *Sportwissenschaft* 2 (1972), 258—272.