

Fröhlich H, Gernet E, Susgin C, Schmidt W

Der Einfluss von Schulsport auf den Energieumsatz von Kindern und Jugendlichen – Eine Pilotstudie

Influence of Physical Education on Energy Expenditure of Children and Adolescents – A Pilot Study

Abteilung Sportmedizin/Sportphysiologie, Universität Bayreuth

ZUSAMMENFASSUNG

Als wichtige Aufgabe des Schulsports kann neben anderen Intentionen die Aktivität im Unterricht selbst als präventive Maßnahme zur Vermeidung von Bewegungsmangel und Übergewicht angesehen werden. Da bislang keine objektiven Daten über den Energieumsatz (EE) im Schulsport vorliegen, wurden in einer Pilotstudie sowohl die energetischen Auswirkungen des Schulsports über den Tagesverlauf als auch innerhalb von 90-minütigen Unterrichtseinheiten bestimmt.

Methode: Insgesamt nahmen 51 männliche Schüler zwischen 11 und 17 Jahren an mehreren Untersuchungen teil. In einer ersten Studie wurde bei 15 Kindern (12-14J) und 14 Jugendlichen (15-17J) der EE über 12h an Tagen mit und ohne Schulsport gemessen. In einer zweiten Studie wurde bei 22 Kindern (11-13J) der EE während 7 unterschiedlicher Schulsporteinheiten (90min) ermittelt. Der Energieumsatz wurde über die Herzfrequenz mittels der HF-Flex-Methode aufgenommen, die eine individuelle Messung ermöglicht.

Ergebnisse: An Tagen mit Sport war der EE im Vergleich zu Tagen ohne Sport signifikant erhöht und lag bei 1699 ± 259 gegenüber $1273 \pm 237 \text{ kcal} \times 12 \text{ h}^{-1}$ (Kinder) und bei 2444 ± 625 gegenüber $2173 \pm 626 \text{ kcal} \times 90 \text{ min}^{-1}$ (Jugendliche). An Tagen mit Schulsport erfüllten alle Schüler die Empfehlungen zur gesundheitswirksamen Aktivität, an Tagen ohne Schulsport häufig nicht. Der mittlere Leistungsumsatz innerhalb der Schulsporteinheiten lag zwischen 82 ± 53 und $266 \pm 92 \text{ kcal} \times 90 \text{ min}^{-1}$ und zeigte eine erhebliche inter- und intraindividuelle Variabilität.

Fazit: Der im Rahmen dieser Arbeit bei 11 bis 17-Jährigen untersuchte Schulsport bietet eine gute Möglichkeit, den Energieumsatz deutlich zu erhöhen und damit Bewegungsmangel sowie Übergewicht entgegenzuwirken.

Schlüsselwörter: Bewegungsmangel, Übergewicht, Schulsport, Energieumsatz, HF-Monitoring, körperliche Aktivität

PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG

Übergewicht und ein körperlich inaktiver Lebensstil sind zwei der wichtigsten Risikofaktoren für kardio-vaskuläre Erkrankungen in den Industrienationen (6). Für die Entwicklung von Übergewicht und Adipositas ist neben der genetischen Veranlagung ein Ungleichgewicht zwischen Energieaufnahme und Energieumsatz verantwortlich, d.h. eine unverhältnismäßige Zufuhr von kalorienreicher Nahrung kombiniert mit körperlicher Inaktivität über einen längeren Zeitraum (25). Der Anteil an Übergewichtigen und Adipösen nimmt, der internationalen Entwicklung folgend, stetig zu. Diese Entwicklung beschränkt sich nicht nur auf Erwachsene, sondern erfasst mehr und mehr Kinder und Jugendliche

SUMMARY

Among other objectives, physical education helps to combat a sedentary lifestyle and subsequently overweight. The aim of this study was to determine for the first time the energy expenditure (EE) due to activity during physical education (PE).

Methods: In total, 51 male students between 11 and 17 years old entered the two studies. In a first study, 12-hour EE was compared between 15 children (12-14 yr) and 14 adolescents (15-17 yr) on days with and without PE. In a second project, the EE was measured in 22 children (11-13 yr) during seven school sport units (90min). EE was determined from heart rate monitoring using the HR-Flex-Method, which allows individual recording. Results: The days with PE at school were characterised by significantly elevated EE compared to days without PE (in children 1699 ± 259 vs. $1273 \pm 237 \text{ kcal} \times 12 \text{ h}^{-1}$; in adolescents 2444 ± 625 vs. $2173 \pm 626 \text{ kcal} \times 12 \text{ h}^{-1}$). On days with PE at school, all children and youths fulfilled the recommendations for minimum physical activity, on days without PE many did not. The mean EE of the different PE units was between 82 ± 53 and $266 \pm 92 \text{ kcal} \times 90 \text{ min}^{-1}$. There were considerable inter- and intra-individual variations. Conclusions: Regular PE at school – as examined in this pilot-study – is a good possibility to considerably increase energy expenditure, and may thereby prevent physical inactivity and overweight.

Key words: Inactivity, overweight, physical education, energy expenditure, HR-Monitoring, physical activity

(3,21,28, 32,35). Die Ursache für diese Zunahme muss, ausgehend von einer nur geringen Veränderung des menschlichen Genoms in diesem Zeitraum, neben einer erhöhten Kalorienzufuhr an einer verringerten körperlichen Aktivität liegen. Dies ist insbesondere deshalb bedeutsam, weil mit zunehmendem Alter des übergewichtigen Kindes die Wahrscheinlichkeit größer wird, dass Übergewicht und Adipositas bis ins Erwachsenenalter fortbestehen (19, 35).

Gefordert wird daher, den Bewegungsumfang im Kindes- und Jugendalter mit unterschiedlichen Maßnahmen zu erhöhen (28, 35). Neben Alltags- und Vereinssportaktivitäten kann auch der Schulsport eine wichtige Rolle spielen (7). Die Lehrpläne der deutschen Schulen enthalten daher sehr deutlich die Forderung, dass der Schulsport einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der

Bewegungsaktivität, d.h. damit auch zur Prävention von Bewegungsmangel und Übergewicht, leisten soll (22).

Zwar existieren Erkenntnisse über den Bewegungsstatus (10,34,37,38) bzw. über die körperliche Aktivität in der Schule (7,20,24,30,33). Daten über den individuellen Energieumsatz von Kindern und Jugendlichen sind dagegen kaum vorhanden (14). Erfahrungswerte über die energetische Beanspruchung im Schulsport liegen noch nicht vor.

Ursache für diese Situation ist, dass bislang kaum exakte und objektive Energieumsatzmessungen in Alltagssituationen möglich waren. Motorische Tests lassen zwar einen Rückschluss auf die körperliche Aktivität der Probanden zu, sind aber ebenso wie Methoden, die auf Fragebögen, Interviews und Bewegungsprotokollen beruhen, für genaue Aussagen über den individuellen Energieumsatz nicht geeignet (26,31).

Neben der exakten aber kostenaufwändigen „Doubly-Labeled-Water“-Methode und der relativ ungenauen Aufnahme des Energieumsatzes mit Bewegungssensoren wurde in den vergangenen Jahren die Herzfrequenz-Monitoring-Methode (HF-Monitoring) entwickelt, die eine praktikable und relativ kostengünstige Messmethode zur Erfassung der körperlichen Aktivität in Felduntersuchungen darstellen könnte (11,26,27). Die indirekte Berechnung des Energieumsatzes mit Hilfe von HF-Monitoring in Kombination mit der HF-FLEX-Methode wurde bereits in mehreren Studien validiert und in Felduntersuchungen verwendet (5,8,9,14,16,17,23,29). Ebenso wie Grund et al. (14) konnten auch wir kürzlich zeigen, dass die Methode nicht nur bei Erwachsenen, sondern auch bei Kindern und Jugendlichen in Alltagssituationen genutzt werden kann (12,13).

Das Ziel dieser Pilotstudie war es, den Einfluss des Schulsports auf den täglichen Energieumsatz mit der HF-Monitoring-Methode zu ermitteln. Hierzu wurden zwei Altersgruppen (zwischen 12 und 14 Jahren sowie 15 und 17 Jahren) an Tagen mit und ohne Schulsport untersucht (Studie I; n=29; männlich). Zur Verdeutlichung der Variabilität des Energieumsatzes innerhalb des Sportunterrichts wurde zusätzlich bei Schülern im Alter von 11 bis 13 Jahren die HF-Monitoring-Methode in sieben 90-minütigen Schulsporteinheiten angewandt (Studie II; n=22; männlich).

MATERIAL UND METHODEN

Probanden

Untersucht wurden insgesamt 51 männliche Schüler zwischen 11 und 17 Jahren aus der Unter- und Mittelstufe von zwei bayerischen Gymnasien. In Studie I wurde bei 15 Schülern der Unterstufe (12-14 Jahre) und 14 Schülern der Mittelstufe (15-17 Jahre) der Energieumsatz über 12h an Tagen mit und ohne Schulsport bestimmt. In Studie II wurde bei weiteren 22 Schülern der Unterstufe (11-13 Jahre) der Energieumsatz bei 7 unterschiedlichen Schulsporteinheiten ermittelt. Die Schüler stammten aus insgesamt drei Klassen und wurden nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Alle angesprochenen Schüler nahmen an der Untersuchung teil. Insgesamt mussten 9 abwesende bzw. kranke Schüler, die nicht alle Messungen absolvieren konnten, aus der Studie ausgeschlossen werden. Alle Probanden und deren Eltern wurden vor Beginn der Untersuchungen über die Ziele, Inhalte und Methoden der Studie sowie deren Risiken informiert und gaben dazu ihr schriftliches Einverständnis. Die Kinder wurden im Vorfeld an die Messgeräte gewöhnt, sodass der

Tages- und Unterrichtsablauf nur unwesentlich beeinflusst wurde. Die anthropometrischen Daten der Schüler zeigt Tabelle 1. Die Größe der Probanden wurde mit Hilfe eines an der Wand befestigten Messstabes barfuss gemessen, das Gewicht ohne Schuhe in leichter Bekleidung mit einer kalibrierten, elektronischen Personenwaage (Firma Seca alpha*, Modell 770) erfasst. Zwei Schüler aus Studie II und ein Schüler aus Studie I, entsprechend 6% der Grundgesamtheit, können unter der Berücksichtigung der 90. Perzentile (21) als übergewichtig klassifiziert werden.

Messmethode

Die Vorgehensweise zur Aufnahme des Energieumsatzes mit Hilfe von HF-Monitoring kann in drei Schritte unterteilt werden (12):

1. In einem individuellen Eingangstest, der von jedem Probanden absolviert werden muss, wird die Herzfrequenz-Sauerstoffaufnahme-Beziehung (HF-VO₂-Beziehung) von Ruhe bis zur Ausbelastung erfasst.
2. Die anschließende Analyse der Daten unterteilt die Bereiche Ruhe und Belastung durch den HF-FLEX-Wert. Unterhalb des HF-FLEX liegt eine nahezu gleich bleibende Sauerstoffaufnahme bei leicht veränderlicher Herzfrequenz vor, oberhalb des HF-FLEX besteht eine enge HF-VO₂-Beziehung, die durch eine Regressionsgleichung mit einem hohem Korrelationskoeffizienten ($r > 0,9$) beschrieben werden kann.
3. Über den gewünschten Testzeitraum wird die Herzfrequenz kontinuierlich ermittelt. Zur Berechnung des Sauerstoffverbrauchs wird bei Herzfrequenzen unter dem HF-FLEX-Wert die Ruhesauerstoffaufnahme aus dem Eingangstest, bei Herzfrequenzen oberhalb des HF-FLEX-Wertes die individuelle Regressionsgleichung verwendet. Die Berechnung des Energieumsatzes erfolgt anschließend über den Sauerstoffverbrauch mit Hilfe des kalorischen Äquivalents.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Schüler (n=51); **Studie I:** Tagesenergieverbrauch (12h); **Studie II:** Schulsporteinheiten (90min).

Studie I	Schüler der Unterstufe (Tagesvergleich) n=15 (männlich)			
	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	BMI (kg/m ²)
MW ()	13	51,2	163	19,1
SD (±)	0,5	11,2	10,1	2,5
Min.	12	37,6	149	15,9
Max.	14	64,3	180	24,2

Studie I	Schüler der Mittelstufe (Tagesvergleich) n=14 (männlich)			
	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	BMI (kg/m ²)
MW ()	16	67	176	21,6
SD (±)	01,2	9,9	5,8	2,2
Min.	15	54,1	161	18,9
Max.	17	83,3	185	26,8

Studie II	Schulsporteinheiten (Tagesvergleich) n=22 (männlich)			
	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	BMI (kg/m ²)
MW ()	12	48,0	157	19,5
SD (±)	0,5	7,1	6,3	3,0
Min.	11	35,7	149	15,1
Max.	13	65,5	174	27,6

Eingangstest

Das Belastungsprotokoll des Eingangstests bestand bei allen Schülern (n=51) aus einer Ruhephase (Liegen, Sitzen, Stehen, Dauer: jeweils 3 Minuten), einer moderaten Belastung (Gehen, subjektives Belastungsempfinden „sehr gering“, Dauer: 3 Minuten) und einem dreistufigen Steptest, der auf einer Langbank (Höhe 30 cm) durchgeführt wurde (12, 13).

Der Takt der drei Stufen war 60, 120 und 180 Steps pro Minute (bpm), entsprechend 15, 30 und 45 Zyklen/min, wobei ein Zyklus aus 2 Schritten auf die Bank und zwei Schritten von der Bank herunter besteht. Der Takt wurde durch ein Metronom vorgegeben. Zum Zwecke der Standardisierung und Motivation führte ein Betreuer die Belastung gemeinsam mit dem Probanden durch. Die Stufendauer betrug jeweils 3 Minuten, wobei die letzte Stufe in der Regel bis zur individuellen Ausbelastung führte.

Die Messung der Sauerstoffaufnahme wurde mit einem tragbaren Atemgasanalysegerät der Firma CORTEX® (Modell X1® und Modell 3B®) vorgenommen, zur Aufnahme der Herzfrequenz wurden die Herzfrequenzmonitore der Firma POLAR® (Modelle ACCUREX-PLUS®, X-TRAINER™, VANTAGE NV™) verwendet.

Auswertung

Die Berechnung des Energieumsatzes wird wesentlich präziser, wenn eine Einteilung der HF-VO₂-Beziehung in einen Ruhe- und Belastungsbereich mit Hilfe eines HF-FLEX-Wertes (HF-FLEX) vorgenommen wird (5, 9, 16, 23). Der HF-FLEX (siehe Formel 1) bestimmt sich aus dem Mittelwert der durchschnittlichen Herzfrequenz unter Ruhe (øHF-Ruhe: Liegen, Sitzen, Stehen) und dem durchschnittlichen Herzfrequenzwert unter moderater Belastung (øHF aus Gehen und 1. Stufe des Steptests):

$$\text{HF-FLEX} = \frac{(\text{øHF-Ruhe}) + (\text{øHF-Moderat})}{2}$$

Unterhalb des HF-FLEX wird die gemittelte individuelle VO₂-Ruhe zur Berechnung des Energieumsatzes herangezogen, die dem von Cunningham (4) berechneten Ruheenergieumsatz entspricht (12). Oberhalb des HF-FLEX findet die im Eingangstest ermittelte lineare HF-VO₂-Regression unter Belastung Anwendung. Unter der Voraussetzung eines gemittelten Respiratorischen Quotienten (RQ) von 0,85 erfolgte die Berechnung des Energieumsatzes über den Sauerstoffverbrauch mit Hilfe des kalorischen Äquivalents (4,86 kcal pro Liter Sauerstoff). Veränderungen im RQ und somit dem kalorischen Äquivalent wurden nicht berücksichtigt, da sie die Ergebnisse nur unwesentlich beeinflussen (Fehler < 2%). Um die Energiemenge zu quantifizieren, die direkt durch körperliche Aktivität umgesetzt

Tabelle 2: Inhalte der Unterrichtseinheiten U1 bis U7 und Zeit der Schüler in Bewegung.

	Inhalt	Gesamtzeit in „Bewegung“
U1	Hochsprung, Fußball	47 Minuten
U2	Hochsprung Notengebung	53 Minuten
U3	Dauerlauf, Weitsprung, Basketball	47 Minuten
U4	Videoanalyse Weitsprung, Basketball	22 Minuten
U5	Cooper-Test (Noten), Fußball	29 Minuten
U6	50m Sprint, Weitsprung, Fußball	54 Minuten
U7	Schlagballwurf, Cooper-Test (Noten)	49 Minuten

wird, wurde der Leistungsumsatz (LU=Gesamtenergieumsatz-Ruheumsatz) berechnet. Der Eingangstest war für alle Gruppen (Studie I+II) gleich.

12h-HF-Messungen (Studie I)

Die Messung der Herzfrequenzwerte bei insgesamt 29 Kindern und Jugendlichen über den Tagesverlauf (12 Stunden, im Folgenden wird vereinfacht vom Tagesenergieumsatz gesprochen) erfolgte an einem Tag mit Schulsport und einem zufällig ausgewählten Tag ohne Schulsport. Die Pulsuhren wurden vor dem Unterrichtsbeginn in der Schule angelegt und vor der Bettruhe wieder abgenommen. In die Auswertung wurde der Zeitraum von morgens 7.45 Uhr bis abends 19.45 Uhr aufgenommen. Das Registrierintervall der Uhr betrug eine Minute. Die Probanden waren angehalten, an beiden Tagen ihren normalen Aktivitäten nachzugehen.

90min-HF-Messungen (Studie II)

Die Dauer der Messung der sieben Schulsporteinheiten bei den 22 Kindern der Unterstufe betrug mindestens 90 Minuten, wobei die Pulsuhren vor Beginn des Unterrichts, d.h. vor dem Aufsuchen der Sportanlagen und vor dem Umziehen angelegt wurden. Das Registrierintervall betrug 5 Sekunden. Die Inhalte der Schulsporteinheiten sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Die mittlere zur Bewegung verfügbare Zeit wurde für die Gesamtgruppe anhand einer Videoanalyse ermittelt.

STATISTIK

Die Auswertung der Eingangstests erfolgte mit einem eigens erstellten Programm innerhalb von Microsoft®EXCEL2002. Nach Überprüfung auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test), wurde der gepaarte t-Test zur Berechnung der Signifikanz von Unterschieden zwischen den Tagen mit und ohne Schulsport innerhalb einer Gruppe durchgeführt. Zur Differenzierung einzelner Schulsporteinheiten wurden eine Varianzanalyse mit Messwertwiederholung und der Bonferroni-Test als post-hoc-Test angewandt (Signifikanzniveau: *p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001).

ERGEBNISSE

Für alle Kinder der Unterstufe (Studie I+II, n=37) wurde im Eingangstest eine mittlere Ruheherzfrequenz von 95±11 S×min⁻¹ ermittelt. Auf der letzten Stufe des Steptests erreichten sie durchschnittlich eine maximale Herzfrequenz von 194±9 S×min⁻¹. Der HF-FLEX betrug 106±9 S×min⁻¹. Der relative Sauerstoffverbrauch lag unter Ruhebedingungen bei 5,4±1,3 ml×min⁻¹×kg⁻¹ und am Ende des Steptests bei 39,7±7,4 ml×min⁻¹×kg⁻¹.

Im Belastungsbereich zeigten sich große individuelle Unterschiede der HF-VO₂-Beziehung, die einerseits auf unterschiedliche Körperdimensionen und zum anderen auf den sehr unterschiedlichen Fitnessgrad der Schüler zurückzuführen sind.

Bei den Jugendlichen (Studie I, n=14) betrug die mittlere Ruheherzfrequenz 59±5 S×min⁻¹. Durchschnittlich erreichten diese Probanden eine maximale Herzfrequenz von 194±7 S×min⁻¹. Der HF-FLEX lag bei 87±8 S×min⁻¹, die Sauerstoffaufnahme lag unter Ruhe bei 5,1±0,4 ml×min⁻¹×kg⁻¹ und zum Belastungsende bei 49,4±4,4 ml×min⁻¹×kg⁻¹.

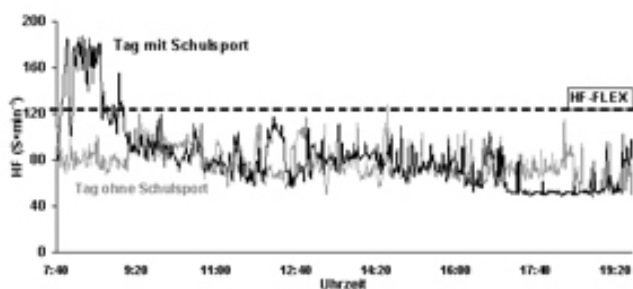


Abbildung 1: Vergleich der 12h-Herzfrequenzprofile der Tage mit (schwarz) und ohne Schulsport (grau) bei einem Kind der Unterstufe (HF-FLEX=122 S·min⁻¹; Studie I).

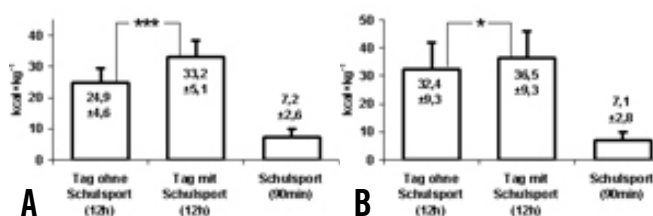


Abbildung 2: Durchschnittliche Energieverbrauchswerte (A) der Kinder (n=15) und (B) der Jugendlichen (n=14) an Tagen mit und ohne Schulsport (*p≤0,05; ***p≤0,001) sowie der Leistungsumsatz des 90-minütigen Schulsports (n=29; Studie I).

Auch für die Probanden der Mittelstufe wurden große interindividuelle Unterschiede in der Beziehung zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme gefunden.

Herzfrequenzmessungen an Tagen mit und ohne Schulsport

Exemplarisch sind in Abbildung 1 die Herzfrequenzverläufe für einen Tag mit und einen Tag ohne Schulsport bei einem Kind der Unterstufe dargestellt. Die erhöhte Herzfrequenz am Tag mit Schulsport in den ersten 90 Minuten der Tagesmessung (ca. 7.50 bis 9.20 Uhr) ist deutlich zu erkennen. Im weiteren Tagesverlauf sind im Vergleich der Herzfrequenzprofile kaum Unterschiede auszumachen und die Herzfrequenz liegt an beiden Tagen relativ konstant im unteren Bereich zwischen 75 und 110 S·min⁻¹, d.h. deutlich unter dem individuellen HF-FLEX-Wert von 122 S·min⁻¹.

Energieumsatz an Tagen mit und ohne Schulsport (Studie I)

Kinder - Unterstufe: Die Energieumsatzwerte an Tagen mit Schulsport (TmS) waren im Vergleich mit den Werten der Tage ohne Schulsport (ToS) signifikant erhöht (n=15, p≤0,001, Abbildung 2A). Am Tag ohne Schulsport lag der durchschnittliche Wert der Gesamtgruppe bei 1273 ± 237 kcal/12h (24,9 ± 4,6 kcal·kg⁻¹ × 12h⁻¹), am Tag mit Schulsport bei 1699 ± 259 kcal × 12h⁻¹ (33,2 ± 5,1 kcal·kg⁻¹ × 12h⁻¹). Die Kinder setzten somit im Untersuchungszeitraum am Tag (12h) mit Schulsport 33 ± 12% mehr Energie um. Der Energieumsatz während der 90-minütigen Schulsporteinheit, berechnet als Leistungsumsatz, betrug 367 ± 131 kcal × 90min⁻¹ (7,2 ± 2,6 kcal·kg⁻¹ × 90min⁻¹).

Jugendliche - Mittelstufe: Auch die Energieumsatzwerte der Schüler der Mittelstufe waren an den Tagen mit Schulsport signifikant höher als die Werte an Tagen ohne Schulsport (n=14, p≤0,05, Abbildung 2B). Am Tag (12h) ohne Schulsport lag der durchschnittliche Umsatz bei 2173 ± 626 kcal × 12h⁻¹ (32,4 ± 9,3 kcal·kg⁻¹ × 12h⁻¹),

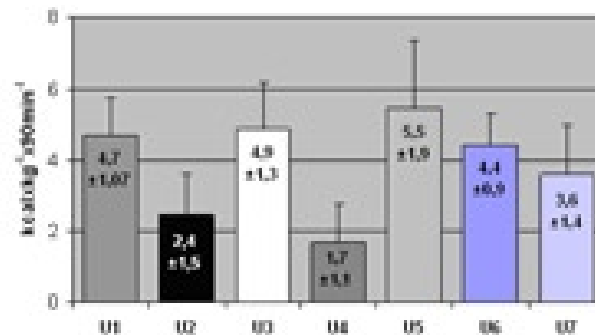


Abbildung 3: Durchschnittlicher Leistungsumsatz der Kinder innerhalb der sieben Unterrichtseinheiten (n=22; U1 bis U7, jeweils 90 min; Studie II).

am Tag mit Schulsport bei 2444 ± 625 kcal × 12h⁻¹ (36,5 ± 9,3 kcal·kg⁻¹ × 12h⁻¹) und somit um 11 ± 16% höher. Der Leistungsumsatz während der Schulsporteinheit betrug im Durchschnitt 474 ± 189 kcal × 90min⁻¹ (7,1 ± 2,8 kcal·kg⁻¹ × 90min⁻¹).

Energieumsatz in unterschiedlichen Schulsporteinheiten (Studie II)

Bei 22 Kindern im Alter von 11 bis 13 Jahren wurde der Energieumsatz innerhalb von sieben unterschiedlichen Schulsporteinheiten (90min) ermittelt. Der durchschnittliche Leistungsumsatz für alle Unterrichtseinheiten betrug 187 ± 90 kcal × 90min⁻¹ (relativer LU: 3,9 ± 1,9 kcal·kg⁻¹ × 90min⁻¹) bei mittleren Umsätzen innerhalb der einzelnen Einheiten zwischen 82 ± 53 und 266 ± 92 kcal × 90min⁻¹. Dabei differierten die mittleren Umsätze zwischen den Einheiten bis um den Faktor 3, d.h. der niedrigste Wert wurde mit 1,7 ± 1,1 kcal·kg⁻¹ × 90min⁻¹, der höchste mit 5,5 ± 1,9 kcal·kg⁻¹ × 90min⁻¹ gemessen (Abbildung 3).

Neben den großen intraindividuellen Unterschieden zwischen den Einheiten zeigten sich extrem hohe interindividuelle Unterschiede des Leistungsumsatzes innerhalb der einzelnen Sportstunden, die z.B. in Einheit U4 (Tabelle 2) zwischen 17 und 135 kcal × 90min⁻¹ lagen.

DISKUSSION

Energieumsatz durch Schulsport

In dieser Studie wurden erstmalig individuelle Energieumsatzwerte für normale Schulsporteinheiten sowie der Einfluss dieser schulischen Aktivität auf den Tagesenergieumsatz mit Hilfe der HF-Monitoring-Methode bestimmt. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sowohl bei den Tagen mit und ohne Schulsport als auch innerhalb der Schulsporteinheiten außerordentlich hohe inter- und intraindividuelle Differenzen bestehen (Abbildung 3). Mit dem Schulsport wird somit nicht „per se“ der Energieumsatz erhöht.

Energieumsatz an Tagen mit und ohne Schulsport (Studie I)

Die berechneten Energieumsatzwerte über 12 Stunden zeigten für beide Gruppen deutliche Differenzen zwischen den Tagen mit und ohne Schulsport auf. Für beide Gruppen zusammen betrachtet, bewirkten die Schulsporteinheiten einen signifikanten Anstieg des 12h-Energieumsatzes von durchschnittlich 22%, wobei der Unterschied in der Unterstufe mit 33% deutlich größer ausfällt als in der Mittelstufe (11%; p≤0,01).

Vergleich der Sportstunden aus Studie I und II

Die großen Unterschiede im Energieumsatz zwischen den Studien I und II sind zum größten Teil auf die stark differierenden Rahmenbedingungen zurückzuführen. Während in Studie II (Schulsporteinheiten) der mittlere Umsatz $187 \text{ kcal} \times 90 \text{ min}^{-1}$ betrug, lag er bei den fast gleichaltrigen Kindern in Studie I (Tagesenergieverbrauch) bei $367 \text{ kcal} \times 90 \text{ min}^{-1}$. Die interindividuellen Unterschiede zeigen weiterhin ganz deutlich auf, dass es innerhalb der Schulsporteinheiten, überwiegend im Zusammenhang mit den Inhalten, der Motivation und der Fitness der Kinder und Jugendlichen, sehr aktive und inaktive Schüler gibt. Ähnlich können die intraindividuellen Unterschiede zwischen den Schulsporteinheiten interpretiert werden.

Wenngleich die hier an 51 Kindern und Jugendlichen von insgesamt neun Unterrichtseinheiten gezeigten Daten nur einen ersten Eindruck über den Energieumsatz im Schulsport vermitteln und weitere systematische Messungen in Sportstunden mit unterschiedlichen Inhalten notwendig sind, wird dennoch die Einflussmöglichkeit des Schulsports auf den Energieumsatz deutlich.

Einordnung der Ergebnisse

International akzeptiert sind die Empfehlungen zur gesundheitlich wirksamen körperlichen Aktivität des ACSM (1) für Erwachsene und von KAVEY et al. (18) bzw. Andersen et al. (2) für Kinder und Jugendliche. Das ACSM empfiehlt eine Dauer von 20 bis 60 Minuten bei einem Leistungsverbrauch von 3 bis $5 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1}$ bei einer Intensität, die größer als 50% der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ max}$) ist. KAVEY et al. (18) fordern eine tägliche Bewegungszeit von 1 Stunde pro Tag. Neueste Befunde von Andersen et al. (2) weisen darauf hin, dass diese Empfehlung von 60 Minuten auf bis zu 90 Minuten moderate körperliche Aktivität gesteigert werden sollte.

Während alle Schüler aus Studie I an Tagen mit Schulsport über den Empfehlungen des ACSM (1) bzw. Kavey et al. (18) lagen (Unterstufe: $60 \pm 13 \text{ min}$; $7,3 \pm 3,4 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1} \times 90 \text{ min}^{-1}$; Mittelstufe: $91 \pm 54 \text{ min}$; $12,7 \pm 7,6 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1} \times 90 \text{ min}^{-1}$), konnten die Untersuchungsteilnehmer der Unterstufe diese Empfehlung an Tagen ohne Schulsport bei weitem nicht erfüllen ($8 \pm 15 \text{ min}$; $0,9 \pm 1,6 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1} \times 90 \text{ min}^{-1}$). Für die Jugendlichen der Mittelstufe ergab sich an Tagen ohne Schulsport ein etwas anderes Bild. Fünf Probanden erfüllten die Empfehlungen nicht. Alle anderen Schüler lagen teilweise sehr deutlich über den Empfehlungen (Durchschnitt: $50 \pm 45 \text{ min}$; $6,9 \pm 6,3 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1} \times 90 \text{ min}^{-1}$).

Hinsichtlich der sieben Unterrichtseinheiten bei den Schülern der Unterstufe aus Studie II konnte beobachtet werden, dass in der Sportstunde selbst knapp die Vorgabe der zeitlichen Empfehlungen von 20 bis 60 Minuten des ACSM (1) im Mittel erreicht wurde ($24 \pm 13 \text{ min} \times 90 \text{ min}^{-1}$), die Vorgabe des Energieumsatzes innerhalb moderater Intensität allerdings nicht ($2,4 \pm 1,4 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1} \times 90 \text{ min}^{-1}$). Fairclough/Stratton (7), die in ihrer Studie ausschließlich die Herzfrequenz und nicht den Energieverbrauch im Sportunterricht aufnahmen, stellten eine Dauer von $39 \pm 19\%$ bei einer Intensität größer 50% der Herzfrequenzreserve ($\geq 50\% \text{-HRR}$) bzw. von $10 \pm 14\%$ bei einer Intensität größer 75% der Herzfrequenzreserve ($\geq 75\% \text{-HRR}$) fest. Die Schüler aus unserer Studie II bewegten sich $26 \pm 14\%$ der Unterrichtszeit im Intensitätsbereich größer 50% $\text{VO}_2 \text{ max}$.

Die Forderung des US Department of Health and Human Services (36), Kinder sollten mindestens 50% der Sportunterrichtszeit im Bereich oberhalb 50%-HRR bzw. 50% $\text{VO}_2 \text{ max}$ verbringen („50%-Unterrichtszeit-Kriterium“), konnten sowohl die Schüler aus

der Untersuchung von Fairclough/Stratton (7), als auch die Schüler der vorliegenden Arbeit nicht erfüllen.

Die in dieser Arbeit verwendete HF-Monitoring-Methode bietet eine praktikable und kostengünstige Möglichkeit, den Energieumsatz von Kindern und Jugendlichen in Felduntersuchungen zu quantifizieren. Der Eingangstest (Steptest) kann mit einem portablen Atemgasanalysegerät, handelsüblichen Herzfrequenzmessgeräten und der Verwendung einer „normalen“ Langbank an jeder Schule durchgeführt werden (12).

Mit dieser Methode konnten erstmalig individuelle Energieumsatzwerte für Kinder und Jugendliche im Zusammenhang mit Schulsporteinheiten aufgezeigt werden und in einem noch beschränkten empirischen Rahmen anhand von 51 Schülern das präventive Potential des Schulsports angedeutet werden. Der in dieser Studie beobachtete gymnasiale Schulsport hat bei großen inter- und intraindividuellen Schwankungen im Durchschnitt einen positiven Einfluss auf den Tagesenergieumsatz bzw. die körperliche Aktivität von Kindern und Jugendlichen. Insgesamt kann festgestellt werden, dass der Energieumsatz durch den 90-minütigen Schulsport im Sinne der ACSM-Richtlinien (1) und den Vorgaben nach Kavey (18) in einem gesundheitswirksamen Umfang erhöht wurde. Die gesteigerte Anforderung von Andersen et al. (2) können lediglich die Schüler der Mittelstufe an Tagen mit Sport erfüllen. Zieht man die etwas strengeren und auf den Sportunterricht bezogenen Forderungen des US Department of Health and Human Services (36) heran, wurden in dieser Studie Defizite beobachtet. Demnach müsste der augenblickliche Umfang der Sportstunden nicht nur erhalten sondern ausgebaut werden. In Anlehnung an unterschiedliche Autoren (2,7,15,18) sollte somit mindestens eine tägliche (Bewegungs-)Stunde für Kinder und Jugendlichen eingepplant werden.

Weitere Studien unter Berücksichtigung einer repräsentativen Auswahl aller Schularten und Alterstufen sowie die Beachtung beider Geschlechter und der körperlichen Voraussetzungen (35) sind allerdings notwendig, um Aussagen über die Rolle des Schulsports zur Prävention machen zu können.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (ACSM POSITION STAND): The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness in Healthy Adults. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 975-991.
2. ANDERSEN LB, HARRO MH, SARDINHA LB, FROBERG K, EKELUND U, BRAGE S, ANDERSSON SA: Physical activity and clustered cardiovascular risk in children: a cross-sectional study (The European Youth Heart Study). *The Lancet* 368 (2006) 299-304.
3. BOUCHARD C: Physical activity and obesity. *Champaign, Ill.*, 2000, 3.
4. CUNNINGHAM JJ: A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am J Clin Nutr* 33 (1980) 2372-2374.
5. EKELUND U, YNGVE A, WESTERTERP K, SJÖSTRÖM M: Energy Expenditure assessed by heart rate monitoring and doubly labeled water in young athletes. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 1360-1366.
6. EZZATI M, LOPEZ AD, RODGERS A, VANDER HOORN S, MURRAY CJL (COMPARATIVE RISK ASSESSMENT COLLABORATING GROUP): Selected major risk factors and global and regional burden of disease. *The Lancet* 360 (2002) 1347-1360.

7. FAIRCLOUGH S, STRATTON G: 'Physical Education makes you fit and healthy'. Physical education's contribution to young people's physical activity levels. *Health Education Research* 20 (2005) 14-23.
8. FALGAIRETTE G, GAVARRY O, BERNARD T, HEBBELINCK M: Evaluation of habitual physical activity from a week's heart rate monitoring in French school children. *Eur J Appl Physiol* 74 (1996) 153-161.
9. FOGELHOLM M, HILLOS KORPI H, LAUKKANEN R, OJA P, VAN MARKEN LICHTENBELT W, WESTERTERP K: Assessment of energy expenditure in overweight women. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 1191-1197.
10. FREY I, BERG A, KEUL J: Notwendigkeit der Erfassung der körperlichen Aktivität. *Dtsch Ztsch Sportmed* 47 (1996) 591-594.
11. FROBERG K: Measurement of physical activity. 8th Annual Congress of the European College of Sport Science (edited by Müller E, Schwameder H, Zallinger G and Fastenbauer V). Salzburg 2003: ECSS.
12. FRÖHLICH H, SCHMIDT W: Herzfrequenz-Monitoring – Eine Methode zur Erfassung des Energieumsatzes im Alltag bei Erwachsenen und Kindern. In: Wydra, Winchenbach, Schwarz, Pfeifer (Hrsg.): Assessmentverfahren im Gesundheitssport und Bewegungstherapie. Czwalina-Verlag Hamburg, 2006, 147-156.
13. FRÖHLICH H, PIPPERT C, KOLB M, ASSENBRUNNER T, SCHMIDT W: Evaluation of heart-rate monitoring method to measure energy expenditure under different working activities. *Isocinetics and Exercise Science* 12 (2004) 20-22.
14. GRUND A, VOLLBRECHT H, FRANSDEN W, KRAUSE H, SIEWERS M, RIECKERT H, MÜLLER M: Messung des 24-h-Energieverbrauchs mit „heart rate monitoring“ bei Kindern und Erwachsenen. *Akt Ernähr Med* 24 (1999) 129-137.
15. HEBESTREIT H: Sinn und „Un“Sinn des Schulsports. *Dtsch ZtschrSportmed* 54 (2003) S12.
16. HILLISKORPI HK, PASANEN ME, FOGELHOLM MG, LAUKKANEN RM, MÄNTTÄRI AT: Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels. *Int J Sports Med* 24 (2003) 332-336.
17. IANNOTTI RJ, CLAYTOR RP, HORN TS, CHEN R: Heart Rate Monitoring as a Measure of Physical Activity in Children. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 1964-1971.
18. KAVEY REW, DANIELS SR, LAUER RM, ATKINS DL, HAYMAN DL, TAUBERT K: American Heart Association Guidelines for Primary Prevention of Atherosclerotic Cardiovascular Disease Beginning in Childhood *Circulation* 107 (2003) 1562-1566.
19. KATZMARZYK PT, MALINA RM, SONG TMK, BOUCHARD C: Physical activity and health related fitness in youth: a multivariate analysis. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 709-714.
20. KIEN CL, CHIODO AR: Physical activity in middle school-aged children participating in a school-based recreation program. *Arch Pediatr Adolesc Med* 157 (2003) 811-815.
21. KROMEYER-HAUSCHILD K, WABITSCH M, KUNZE D, GELLER F, GEISS HC, HESSE V, VON HIPPEL A, JAEGER U, JOHNSEN D, KORTE W, MENNER K, MÜLLER G, MÜLLER JM, NIEMANN-PILATUS A, REMER T, SCHAEFER F, WITTCHEN HU, ZABRANSKY S, ZELLNER K, ZIEGLER A, HEBEBRAND J: Perzentile für den Body-Mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben. *Monatsschr Kinderheilkd* 149 (2001) 807-818.
22. KWMBI: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (Hrsg.): Fachlehrplan für Sport, Teil 1. In: Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst, Sondernummer 17 (1992) 759.
23. LIVINGSTONE MBE, ROBSON PJ, TOTTON M: Energy expenditure by heart rate in children: an evaluation of calibration techniques. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 1513-1519.
24. MALLAM K, METCALF BS, KIRKBY J, VOSS LD, WILKIN TJ: Contribution of timetabled physical education to total physical activity in primary school children: cross sectional study. *BMJ* 327 (2003) 592-593.
25. MELBY C, HO R, HILL J: Assessment of human energy expenditure. In: Bouchard C: Physical activity and obesity. Champaign, IL, 2000, 103-133.
26. MONTOYE HJ: Introduction: evaluation of some measurements of physical activity and energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 439-441.
27. MONTOYE HJ, KEMPER H, SARIS W, WASHBURN R: Measuring physical activity and energy expenditure. Champaign, IL, 1996, 118.
28. NETHING K, STROTH S, WABITSCH M, GALM C, RAPP K, BRANDSTETTER S, BERG S, KRESZ A, WARTHA O, STEINACKER JM: Primärprävention von Folgeerkrankungen des Übergewichts bei Kindern und Jugendlichen. *Dtsch Ztsch Sportmed* 57 (2006) 42-45.
29. RENNIE KL, HENNINGS SJ, MITCHELL J, WAREHAM NJ: Estimating energy expenditure by heart-rate monitoring without individual calibration. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 939-945.
30. RIDGERS ND, STRATTON G, FAIRCLOUGH SJ: Assessing physical activity during recess using accelerometry. *Prev Med* 41 (2005) 102-107.
31. ROWLANDS AV: The effect of type of physical activity measure on the relationship between body fatness and habitual physical activity in children: a meta-analysis. *Annals of Human Biology* 27 (2000) 479-497.
32. SEIDELL JC: Obesity a growing problem. *Acta Paediatr. (Supplement 428)* (1999) 46-50.
33. STRATTON G: Children's heart rates during British physical education lessons. *Journal of Teaching in Physical Education* 16 (1997) 357-367.
34. SYGUSCH R, BREHM W, UNGERER-RÖHRICH U: Gesundheit und körperliche Aktivität bei Kindern und Jugendlichen. In: Erster Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht (Hrsg.: Schmidt W, Hartmann-Tews I, Brettschneider, WD). Hofmann Verlag, Schorndorf, 2003, 63-82.
35. URHAUSEN A, SCHWARZ M, KLEIN M, PAPANASSIOU V, PITSCH W, KINDERMANN W, EMRICH E: Gesundheitsstatus von Kindern und Jugendlichen im Saarland – Ausgewählte Ergebnisse der IDEFIKS-Studie (Teil 1). *Dtsch Ztsch Sportmed* 55 (2005) 202-210.
36. US DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES: Healthy People 2010: Understanding and Improving Health. USDHHS, Washington DC, 2000.
37. VAN MECHELEN W, TWISK JW, POST GB, SNEL J, KEMPER HC: Physical activity of young people: the Amsterdam Longitudinal Growth and Health Study. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 1610-1616.
38. WESTERSTAHL M, BARNEKOW-BERGVIST M, HEDBERG G, JANSSON E: Secular trends in sports: participation and attitudes among adolescents in Sweden from 1974 to 1995. *Acta Paediatr* 92 (2003) 602-609.

Korrespondenzadresse:**Dr. Hanno Fröhlich****Abteilung Sportmedizin/Sportphysiologie****Universität Bayreuth****95440 Bayreuth****E-Mail: hanno.froehlich@uni-bayreuth.de**