Zeitschrift: Jeunesse et sport : revue d'éducation physique de l'École fédérale de gymnastique et de sport Macolin

Herausgeber: École fédérale de gymnastique et de sport Macolin

Band: 31 (1974)

Heft: 8

Rubrik: Forschung, Training, Wettkampf : sporttheoretische Beiträge und Mitteilungen = Recherche, entraînement, compétition : complément consacré à la théorie du sport

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

FORSCHUNG TRAINING WETTKAMPF
Sporttheoretische Beiträge und Mitteilungen
RECHERCHE ENTRAINEMENT COMPÉTITION
Complément consacré à la théorie du sport
REDAKTION: FORSCHUNGSINSTITUT DER ETS
RÉDACTION: INSTITUT DE RECHERCHES DE L'EFGS

Nach internationalem wissenschaftlichem Brauch erscheinen Publikationen in dieser 8 Seiten umfassenden Beilage in der Originalsprache und werden durch die Redaktion lediglich mit einer anderssprachigen Zusammenfassung ergänzt.

Selon la coutume internationale dans les sciences, les publications de ce complément de 8 pages se font dans leur langue d'origine. La rédaction ajoute uniquement un bref résumé dans l'autre langue.

Aus dem Forschungsinstitut der Eidg. Turn- und Sportschule, Magglingen (Leitung: Dr. med. H. Howald)

Biologische Auswirkungen eines 100-km-Laufes

H. Howald und F. Oberholzer

1. Einleitung

Die Sportphysiologie befasst sich mit den Auswirkungen einmaliger oder regelmässiger körperlicher Belastung auf den menschlichen Organismus. Volksläufe und speziell ein Lauf über die Distanz von 100 km wurden bisher wissenschaftlich wenig untersucht, und es erschien uns deshalb interessant, in Ergänzung unserer laufenden Untersuchungen zum Muskelstoffwechsel auch eine Belastung im extremen Dauerleistungsbereich zu analysieren. Im Folgenden können wir kurz berichten, mit welchen leistungsphysiologischen Voraussetzungen eine Gruppe regelmässig trainierender Läufer an einen 100-km-Lauf herangeht und in welcher Weise der Lauf den Energiestoffwechsel belastet.

2. Versuchspersonen und Untersuchungsmethodik

Anhand der Rangliste des 100-km-Laufes 1972 wurden 14 Läufer aus der Region Biel ausgewählt, welche voraussichtlich in der Lage waren, den Lauf in einer Zeit von weniger als 12 Stunden zurückzulegen. Drei Wochen vor dem Start zum 100-km-Lauf 1973 wurden diese Läufer im Forschungsinstitut der Eidg. Turn- und Sportschule, Magglingen, auf ihren Gesundheitszustand und auf ihre körperliche Leistungsfähigkeit hin untersucht. Es kamen dabei die gleichen Methoden wie bei unseren regelmässigen Leistungskontrollen an Spitzensportlern zur Anwendung, nämlich die Bestimmung der Körperzusammensetzung und speziell des Fettgehaltes, eine Herzgrössenbestimmung und die Erfassung des Sauerstoffaufnahmevermögens und der Herzfrequenz bei verschiedenen Laufgeschwindigkeiten auf einem Laufbandergometer. Aus dem linken Oberschenkel jedes Läufers wurde schliesslich mit Hilfe einer speziellen Nadel ein kleines Stück Muskulatur zur Untersuchung im Elektronenmikroskop und im biochemischen Laboratorium entnommen.
Unmittelbar nach ihrer Ankunft am Ziel des 100-km-Laufes wurden unsere Läufer erneut auf ihre Körperzusammensetzung untersucht, und es wurde eine zweite Probe von Muskelgewebe aus ihrem Oberschenkel entnommen.

3. Untersuchungsergebnisse und Diskussion

3.1 Körperliche Voraussetzungen der Läufer

3.1.1 Alter

Mit einem Durchschnittsalter von 38,8 (minimal 23 – maximal 53) Jahren waren unsere 14 Läufer erheblich älter als die Spitzensportler aus den verschiedensten Sportarten, die wir üblicherweise untersuchen.

Das festgestellte relativ hohe Durchschnittsalter scheint für erfolgreiche Teilnehmer am 100-km-Lauf recht typisch zu sein, finden sich doch unter den ersten 100 Klassierten am diesjährigen Lauf nur deren 16 im Alter von 30 und weniger Jahren und unter den ersten 20 der Rangliste kein einziger mit weniger als 30 Jahren.

3.1.2 Körpergewicht und Körperzusammensetzung

Unsere Läufer wogen durchschnittlich 65,7 (50,7–75,0) kg. Im Vergleich zu Spitzenathleten aus Ausdauersportarten war der Fettanteil an der fettfreien Körpermasse mit durchschnittlich 22,3 Prozent erstaunlich hoch. Fettanteile von weniger als 10 Prozent, wie sie für hochtrainierte Dauerläufer typisch sind, fanden sich nur bei 3 der von uns untersuchten Teilnehmer, und 5 von ihnen waren mit mehr als 29 Prozent Fettanteil sogar eindeutig übergewichtig.

3.1.3 Herzgrösse

Mit durchschnittlich 12,3 (10,1–14.8) ml pro kg Körpergewicht waren die Herzen unserer Läufer nur wenig grösser als diejenigen untrainierter Männer, welche normalerweise eine Grösse von 10–11 ml/kg Körpergewicht erreichen. Ein eigentliches «Sportherz» mit einem Inhalt von mehr als 14 ml/kg wiesen nur die 3 bestklassierten Läufer unserer Gruppe auf.
Aus unseren Befunden kann geschlossen werden, dass nur wenige der 100-km-Läufer über lange Zeit so intensiv trainieren, dass sich ihr Herz wie bei Spitzenathleten im Radsport, Langstreckenlauf und Skilanglauf den erhöhten Anforderungen durch Grössenzunahme anpasst.

3.1.4 Sauerstoffaufnahmevermögen

Das sportliche Leistungsvermögen in Ausdauersportarten wird in erster Linie durch die Menge reinen Sauerstoffs begrenzt, die der menschliche Organismus pro Zeiteinheit aufzunehmen in der Lage ist. Durch regelmässiges Dauerleistungstraining lässt sich das Sauerstoffaufnahmevermögen erheblich steigern: untrainierte Männer im Alter bis 30 Jahre erreichen eine maximale Sauerstoffaufnahme von 45–50 ml pro Minute und pro kg Körpergewicht, Spitzenathleten im Skilanglauf, Langstreckenlauf und Radsport jedoch über 80 ml pro Minute und kg. Mit durchschnittlich 56,1 (40,7–64,8) ml pro Minute · kg lagen unsere 14 Läufer zwar deutlich über dem mit etwa 40 ml pro Minute · kg zu veranschlagenden Mittel ihrer Altersklasse, doch erreichte

keiner von ihnen auch nur annähernd die Grenze von 80 ml pro Minute · kg, was zur Erzielung absoluter Spitzenergebnisse in Dauerleistungsdisziplinen im nationalen und internationalen Leistungssport heute unbedingte Voraussetzung ist.

3.1.5 *Feinstruktur des Muskelgewebes*

Abbildung 1 zeigt einen typischen Ausschnitt aus dem Muskelgewebe eines gut trainierten 100-km-Läufers bei 30000facher Vergrösserung im Elektronenmikroskop.
Vor dem Lauf wurde in die Muskelzellen neben Glykogen (Stärke = Kohlenhydrat) auch ein erheblicher Vorrat an feinsten Fetttröpfchen eingelagert. Wie wir vor kurzer Zeit erstmals an Orientierungsläufern der Spitzenklasse haben nachweisen können, zeichnen sich die Zellen im Muskel von hochtrainierten Dauerläufern neben anderen Anpassungserscheinungen in erster Linie durch ihren höheren Fettgehalt aus. Im Gegensatz etwa zu den Fettpolstern unter der Haut ist in der Tatsache dieser Fetteinlagerung in die Muskelzellen keine Gefährdung der körperlichen Leistungsfähigkeit zu sehen, sondern vielmehr ein sinnvoller Anpassungsvorgang. Neben Glykogen kann die Muskelzelle nämlich zur Energiegewinnung auch Fett verbrennen, und wenn dieses Fett schon unmittelbar am Ort des Verbrauches gespeichert ist, so braucht es nicht erst über den Blutweg herantransportiert und in die Muskelzelle eingeschleust zu werden.

3.2 *Feststellungen nach dem Lauf*

3.2.1 *Laufleistung*

Alle 14 von uns untersuchten Läufer sind in der Rangliste der 2063 am Ziel eingetroffenen Teilnehmer sehr weit vorn zu finden: Der beste beendete den Lauf im 4. Rang mit einer Zeit von 7 Stunden 37 Minuten; der schlechteste steht mit 12 Stunden 06 Minuten im 253. Rang. Die Hälfte unserer Versuchspersonen ist sogar in den ersten 35 Rängen mit Zeiten unter 9 Stunden 30 Minuten zu finden.
Ohne Berücksichtigung von Unterbrüchen für Verpflegung, Massage, Fusspflege, usw. lässt sich für unsere Läufer eine mittlere Laufgeschwindigkeit von 10,3 (8,3–13,1) km/h errechnen.

3.2.2 *Gewichtsverlust*

Im Durchschnitt haben unsere Läufer während des Laufes 2,630 (1,000–4,000) kg an Gewicht abgenommen. Im Vergleich mit Gewichtseinbussen bei anderen Sportveranstaltungen mag die von uns ermittelte Reduktion des Körpergewichtes in Anbetracht der grossen Laufdistanz relativ bescheiden erscheinen. Dies ist sicher darauf zurückzuführen, dass praktisch alle unsere Läufer den ganzen Lauf bei idealen Temperaturbedingungen während der Nacht und den frühen Morgenstunden beenden konnten, und dass alle Teilnehmer einer regelmässigen Flüssigkeitszufuhr grosse Beachtung schenkten.

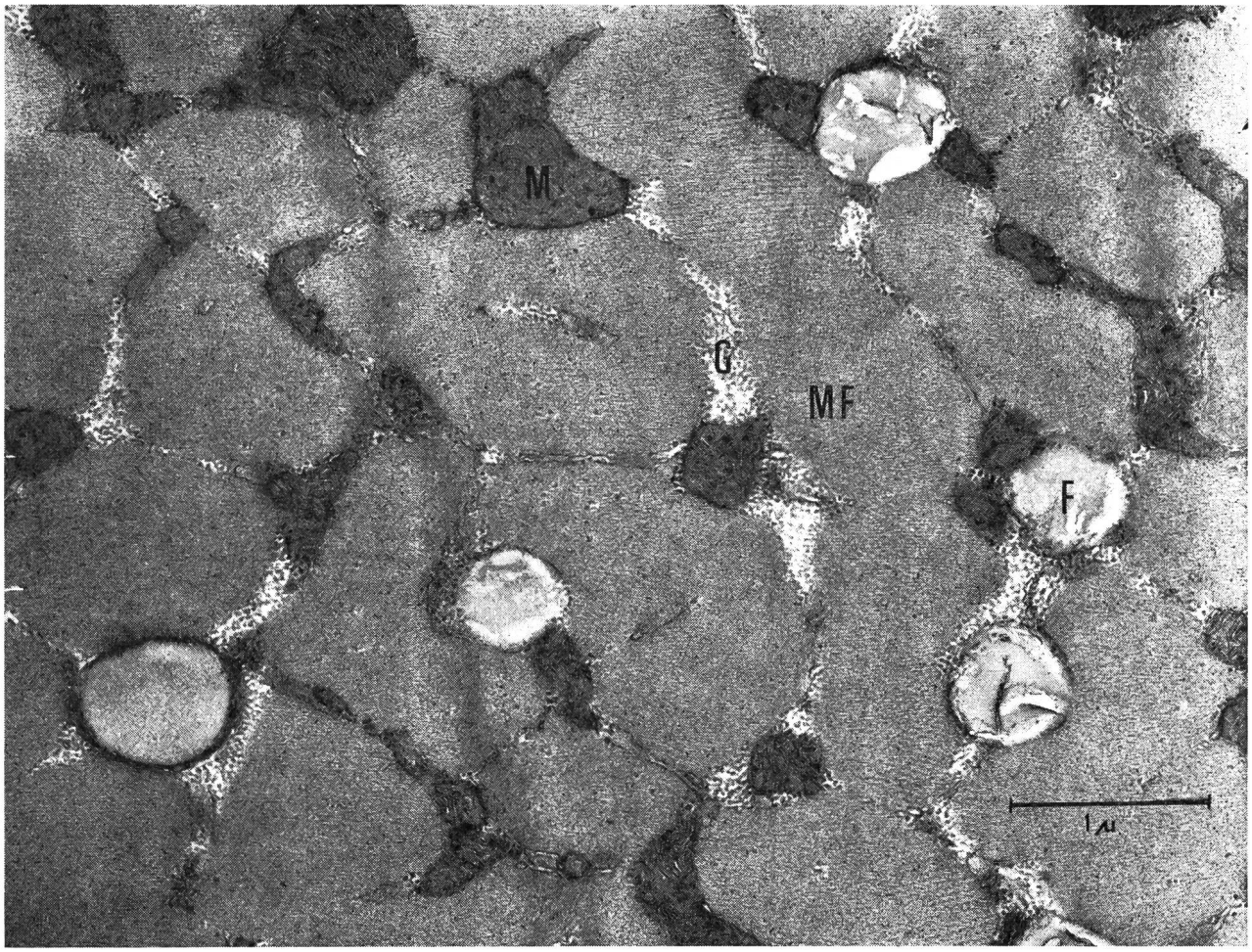

Abb. 1: Schrägschnitt der Oberschenkelmuskulatur eines gut trainierten 100-km-Läufers (vor dem Lauf) bei 15000facher Vergrösserung (MF = Muskelfäden, M = Mitochondrien, 'Zellkraftwerke', G = Glykogen, F = Fett).

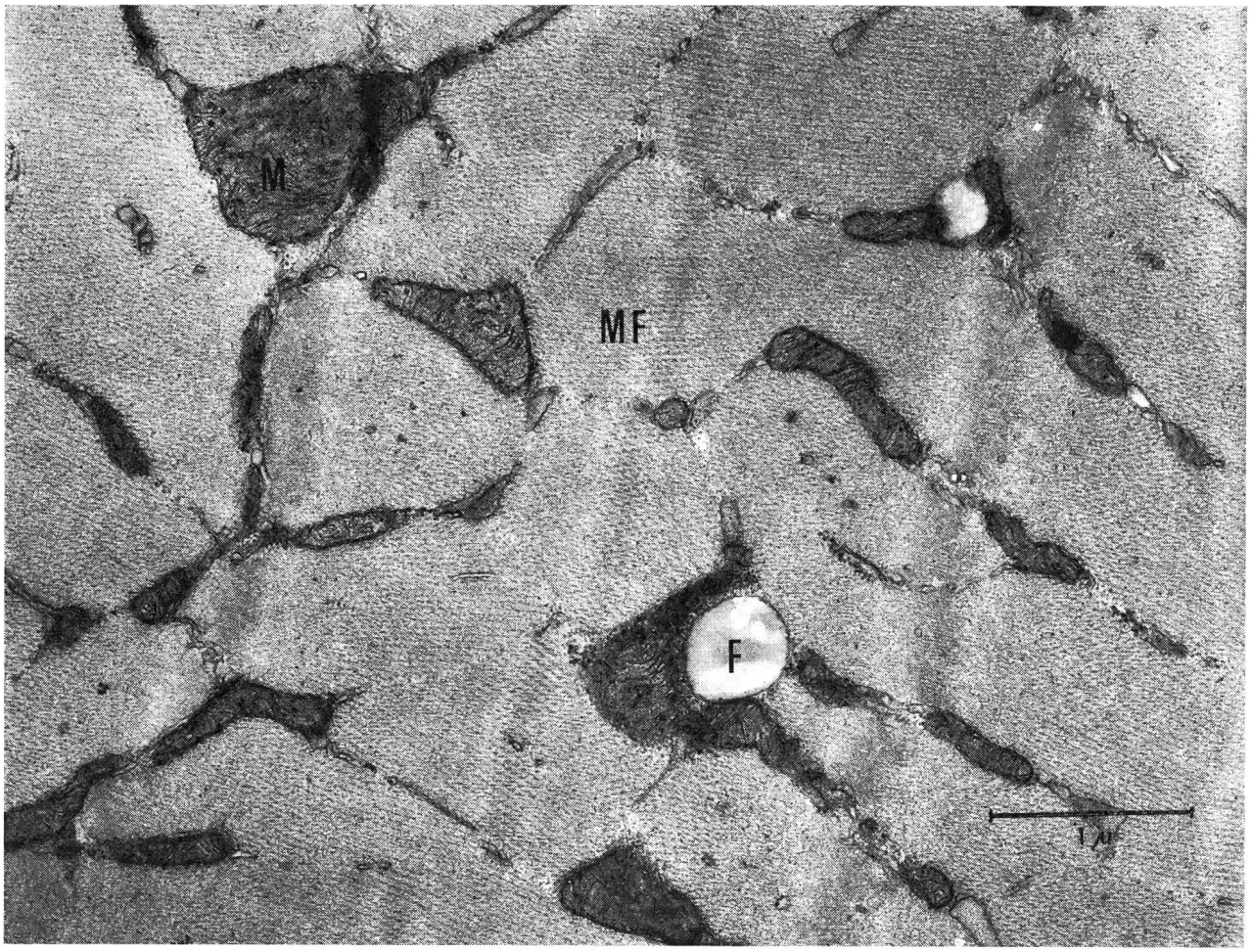

Abb. 2: Oberschenkelmuskulatur des gleichen Läufers nach dem 100-km-Lauf.

3.2.3 Sauerstoffverbrauch und Herzfrequenz

Da sowohl der Sauerstoffverbrauch wie die Herzfrequenz mit zunehmender Laufgeschwindigkeit linear, das heisst gleichmässig ansteigen und wir aus dem Laufbandversuch im Laboratorium die individuellen Werte jedes Läufers erkennen, lässt sich für jeden von ihnen aus seiner Laufzeit der mittlere Verbrauch an Sauerstoff und die durchschnittliche Herzfrequenz während des 100-km-Laufes berechnen.

Die besten Läufer legen die ganze Distanz mit Herzfrequenzen über 150 Schlägen pro Minute zurück. Das Herz eines Spitzenläufers muss also während der 100 km über 70000mal schlagen, 50000mal mehr, als wenn der Mann die lange Nacht in seinem Bett verbracht hätte. Trotzdem wissen wir heute, dass das menschliche Herz solchen Beanspruchungen durchaus gewachsen ist und dass es durch derartige Leistungen keineswegs überfordert wird.

Der mittlere Sauerstoffverbrauch unserer Läufer während des Laufes betrug 38,0 (31,3–47,3) ml pro Minute und pro kg Körpergewicht. In absoluten Mengen ausgedrückt ergibt dies für die 100 km einen durchschnittlichen Konsum von 1462 (1125–1960) Litern reinen Sauerstoffs pro Läufer. Damit der Körper mit dieser Menge Sauerstoff versorgt werden kann, müssen die Lungen während des Laufes durchschnittlich über 40000 Liter Luft verarbeiten. Dies entspricht der Luftmenge, die ein körperlich inaktiver Mensch normalerweise in 4 Tagen umwälzt.

Wie wir bereits gesehen haben, entscheidet in Ausdauersportarten die maximale Menge an Sauerstoff, die ein Athlet pro Zeiteinheit aufzunehmen in der Lage ist, über den sportlichen Erfolg oder Misserfolg. Kein Mensch ist aber in der Lage, seinen maximalen Sauerstoffumsatz über längere Zeit voll aufrecht zu erhalten, und so können selbst Spitzenathleten einen 10000-m- oder Marathonlauf nur mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit laufen, die etwa 80–85 Prozent ihrer maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität entspricht. Wie die Sauerstoffaufnahmefähigkeit selbst lässt sich auch diese Fähigkeit, einen möglichst hohen prozentualen Anteil der maximalen Umsatzkapazität auszuschöpfen, durch regelmässiges Training verbessern. Unsere Läufer beanspruchten durchschnittlich 68,2 (54,1–79,9) Prozent ihrer maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität. Der höchste Ausschöpfungsgrad wurde dabei bezeichnenderweise vom ältesten unserer Läufer erreicht, der mit seinen 53 Jahren und einer maximalen Sauerstoffaufnahme von 59,2 ml pro Minute · kg dauernd 79,9 Prozent dieser maximalen Menge konsumierte und damit den hervorragenden 8. Rang in einer Zeit von 7 Stunden 49 Minuten erreichte.

Die Erfahrung zeigt, dass gerade ältere Läufer sich dadurch auszeichnen, höhere prozentuale Anteile ihres maximalen Sauerstoffaufnahmevermögens ausschöpfen zu können, was es ihnen ermöglicht, trotz ihrer altersbedingten unvermeidlichen Abnahme der maximalen Sauerstoffaufnahme in erstaunlichem Mass mit viel jüngeren Läufern Schritt zu halten.

Interessant mag auch noch erscheinen, was ein Langstreckenläufer der internationalen Spitzenklasse, also ein Mann mit einer maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität von 80 ml pro Minute · kg am 100-km-Lauf von Biel für eine Leistung vollbringen könnte. Nimmt man an, dass auch er 70 Prozent seiner maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität ausschöpfen könnte, so kann man eine Laufzeit von 6 Stunden 30 Minuten errechnen, also noch eine ganze halbe Stunde weniger als die bisherige Rekordzeit. Es sei deshalb hier die Prognose gewagt, dass in den nächsten Jahren mit noch besseren Leistungen zu rechnen sein wird!

3.2.4 Kalorienverbrauch

Aus dem Sauerstoffverbrauch lässt sich indirekt auch der Kalorienverbrauch errechnen, wird doch der aufgenommene Sauerstoff in den Körperzellen zur «Verbrennung» von Nährstoffen gebraucht. Bei einer Leistung von der Dauer des 100-km-Laufes darf man annehmen, dass Kohlenhydrate und Fette etwa zu gleichen Teilen verbrannt werden. Unter dieser Voraussetzung errechnet sich der mittlere Kalorienverbrauch unserer Läufer auf 7111 (5469–9532) Kalorien. Das sind immerhin 3mal so viele Kalorien wie der mittlere Tagesverbrauch eines Bürolisten.
Der durchschnittliche Verbrauch an Kohlenhydraten kann mit 876 (667–1162) Gramm angegeben werden, derjenige an Fett mit durchschnittlich 382 (294–512) Gramm.
Da aus organisatorischen Gründen keine exakte Bilanz über die Kalorien- und Flüssigkeitszufuhr während des Laufes erstellt werden konnte, lässt sich nicht angeben, wieviel körpereigene Kohlenhydrat- und Fettreserven verbraucht wurden und wie gross der durch Zufuhr von aussen gedeckte Anteil am Kalorienbedarf unserer Läufer war.

3.2.5 Veränderungen im Muskelgewebe

Dass jedoch ein ganz erheblicher Anteil des Energiebedarfes durch Verbrennung von körpereigenen, speziell in den Muskelzellen eingelagerten Nährstoffen gedeckt wurde, geht aus der Abbildung 2 hervor. Die zelleigenen Glykogenreserven sind praktisch vollständig, die Fetttröpfchen zu einem grossen Teil aufgebraucht, und ferner hat der Wassergehalt der Muskelzellen ebenfalls um rund 50 Prozent abgenommen. Dagegen finden sich auch bei stärkster Vergrösserung keinerlei Schädigungen an den Feinstrukturen der Muskelzellen, und mit biochemischen Untersuchungsmethoden konnte gezeigt werden, dass die Zellstoffwechselvorgänge nach einer extremen Dauerbelastung, wie sie der 100-km-Lauf darstellt, durchaus normal ablaufen, wenn auch teilweise leicht verlangsamt.

4. Schlussfolgerungen

Im Vergleich etwa zum internationalen Leistungssport scheint der 100-km-Lauf aufgrund unserer Untersuchungen vorläufig eher eine Domäne der älteren Läufer zu sein. Auch sehr gut klassierte Läufer weisen sich, gemessen an ihrer maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität und ihrem Herzvolumen, verglichen mit nationalen und internationalen Spitzenathleten aus Ausdauersportarten, über einen relativ geringen Trainingszustand aus. Dies soll natürlich ihrer Leistung über die 100-km-Distanz keinen Abbruch tun, ganz im Gegenteil! Gute 100-km-Läufer sind in der Lage, über die ganze Distanz 70 Prozent ihrer maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität zu beanspruchen. Herz und Lunge leisten dabei Erstaunliches, doch sind die leistungslimitierenden Faktoren unseres Erachtens nicht etwa bei diesen Organen zu suchen. Trotz Nahrungszufuhr von aussen werden nämlich die Kohlenhydrat- und Fettreserven der arbeitenden Muskelzellen nahezu vollständig aufgebraucht. Vor allem aus Untersuchungen skandinavischer Forschergruppen weiss man heute, dass der im Zellinneren angelegte Vorrat an Glykogen die sportliche Dauerleistungsfähigkeit beeinflusst. Aufgrund unserer Untersuchungen darf jetzt angenommen werden, dass dies auch für die in den Zellen eingelagerten Fettreserven gilt, denen gerade bei sportlichen Leistungen von sehr langer Dauer und nach Verbrauch der zelleigenen Glykogenvorräte offenbar entscheidende Bedeutung zukommt.
Es ist selbstverständlich, dass im Verlaufe eines 100-km-Laufes neben den geschilderten biologischen Vorgängen auch die rein mechanische Beanspruchung des Bewegungsapparates und psychische Faktoren, wie zum Beispiel der Durchhaltewillen, leistungsbestimmend sein können. Aufgrund unserer Beobachtungen im Zusammenhang mit dem 100-km-Lauf von Biel möchten wir allerdings annehmen, dass diese zuletzt genannten Faktoren vor allem bei weniger gut vorbereiteten Läufern die entscheidende Rolle spielen, während sie bei erfolgreichen Teilnehmern zugunsten der von uns geschilderten biologischen Vorgänge etwas in den Hintergrund treten.

5. Zusammenfassung

Die körperliche Leistungsfähigkeit von 14 regelmässig trainierenden Teilnehmern am 100-km-Lauf von Biel wurde mit modernen leistungsphysiologischen Methoden untersucht. Die Läufer wiesen sich sowohl bezüglich ihrer maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität wie ihrer Herzgrösse, verglichen mit Leistungssportlern, über ein mittleres Dauerleistungsvermögen aus (Durchschnittsalter 38,8 Jahre, mittlere maximale Sauerstoffaufnahme 56,1 ml/min · kg, mittleres Herzvolumen 12,3 ml/kg).
Vor und nach dem 100-km-Lauf wurde mittels Nadelbiopsie eine Gewebeprobe aus der Oberschenkelmuskulatur entnommen und im Elektronenmikroskop untersucht. Aus den vorliegenden Ergebnissen kann geschlossen werden, dass ein wesentlicher Teil der während des Laufes verbrauchten Kalorien (durchschnittlich 7111 Kalorien!) aus den in den Muskelzellen eingelagerten Glykogen- (Stärke, Kohlenhydrat) und Fettvorräten stammt.

Literatur bei den Verfassern.

Résumé

Nous avons examiné à l'aide de méthodes de physiologie de l'effort très modernes la condition physique de 14 participants s'entraînant régulièrement en vue de la course des 100 km de Bienne. Ces coureurs montraient tous, en ce qui concerne leur capacité maximale d'absorption d'oxygène et leur volume cardiaque, une capacité d'endurance en moyenne inférieure à celle de coureurs d'élite (âge moyen 38,8 ans, absorption maximale d'oxygène moyenne 56,1 ml/min · kg, volume cardiaque moyen 12,3 ml/kg).
Par une biopsie à l'aiguille, nous avons prélevé et examiné au microscope électronique avant et après la course un échantillon du muscle de la cuisse. Nous avons ainsi pu prouver que la majeure partie des calories dépensées pendant la course (en moyenne 7111 calories) provenaient de glycogène (amidon, hydrates de carbone) et des réserves de graisses intramusculaires.

Aus dem Laboratorium für Biomechanik der ETH Zürich (Leitung: Prof. Dr. J. Wartenweiler)

Erschütterungsmessungen beim Gehen und Laufen auf verschiedenen Unterlagen und mit verschiedenen Schuhwerken [1]

E. Unold

1. Einleitung

Da in letzter Zeit immer häufiger Wirbelsäulenschäden und andere Verletzungen des Bewegungsapparates (Achillessehnenrisse, usw.) vorkommen, taucht die Frage auf, ob der Mensch seinen Körper durch alltägliche Bewegungen oder sportliche Betätigungen überbelastet, oder ob andere äussere Einflüsse damit im Zusammenhang stehen. Diese Belastungen (Kräfte) des menschlichen Körpers können nur schwierig direkt gemessen werden. Ein Mass dafür sind die Beschleunigungen (Erschütterungen) an verschiedenen Körperpunkten, die bei einzelnen Bewegungen auftreten.
In dieser Arbeit werden ausschliesslich Erschütterungen beim Gehen und Laufen auf verschiedenen Unterlagen und mit verschiedenen Schuhwerken untersucht.

2. Methode

An der Versuchsperson wurden 3 Beschleunigungsmesser befestigt:

- An der Ferse, oberhalb des Schuhs
- An der Hüfte, auf dem Darmbeinkamm
- Auf dem Kopf (Vertex)

Die Messrichtung dieser Beschleunigungsmesser war in der Längsrichtung des Körpers.
Da die Signale telemetrisch übermittelt wurden, wurde die Versuchsperson während des Laufens durch Kabel kaum behindert.
Tab. 1 zeigt das Versuchsprogramm und die Symbole der einzelnen Versuche. Bei den Strassenschuhen handelte es sich um Halbschuhe mit Gummisohlen. Der Turnhallenboden war eine Art von Schwingboden und der Kunststoff-Belag ein Zenitan-Belag der Firma Korkwerke Reichburg. Da es nicht sinnvoll gewesen wäre, jede Schuhart auf jeder Bodenart zu untersuchen, beschränkten wir uns auf das angegebene Messprogramm.

Bodenarten Fussbekleidungen	Turnhalle	Kunststoff	Aschenbahn	Rasen	Asphalt
Barfuss	1 A	2 A	3 A	4 A	5 A
Geräteschuhe	1 B				
Trainingsschuhe	1 C	2 C	3 C	4 C	5 C
Tennisschuhe	1 D	2 D	3 D	4 D	5 D
Strassenschuhe				4 E	5 E
Spikes		2 F	3 F	4 F	

Tab. 1: Versuchsprogramm

Das ganze Versuchsprogramm wurde durchgeführt mit Gehen (G), Laufen von der Ferse her abrollend (L_f) und Laufen von der Spitze her abrollend (L_s). Die Lauffrequenz wurde durch ein Metronom wie folgt vorgegeben:

- Gehen 108 Schritte pro Minute
- Laufen 152 Schritte pro Minute

Als Versuchspersonen standen 3 Turn- und Sportlehrer-Studenten und 2 -Studentinnen zur Verfügung. Sie waren von unterschiedlicher Grösse und unterschiedlichem Gewicht.
Jede Versuchsperson musste jeden Versuch durchführen; also waren es pro Person 63 verschiedene Versuche. Bei jedem dieser Versuche waren 12 Doppelschritte geradeaus auszuführen. Alle Beschleunigungswerte wurden in g (Erdbeschleunigung) gemessen und mit einem UV-Schreiber registriert.
Von diesen 12 Doppelschritten wurden je die grössten Beschleunigungsamplituden aufwärts an der Ferse, an der Hüfte und auf dem Kopf während der mittleren 10 Doppelschritte ausgemessen und daraus die Mittelwerte bestimmt. Diese Werte werden im Folgenden mit

$b_{Ferse} = b_F$ $b_{Hüfte} = b_H$ $b_{Kopf} = b_K$ bezeichnet.

Aus diesen Mittelwerten wurden die mittleren Beschleunigungswerte aller Versuchspersonen zusammen für die einzelnen Versuche bestimmt. Diese Werte werden im Folgenden mit

$\bar{b}_{Ferse} = \bar{b}_F$ $\bar{b}_{Hüfte} = \bar{b}_H$ $\bar{b}_{Kopf} = \bar{b}_K$ bezeichnet.

In Tab. 2 sind die möglichen Fehlerquellen zusammengestellt. Der grösste Messfehler resultiert aus der unvollkommenen Befestigung der Beschleunigungsmesser. Da das Hautgewebe nicht starr ist, wird auch der Beschleunigungsmesser (ohne operativen Eingriff) nie starr am Knochen befestigt werden können. Die Messgenauigkeit kann daher nur geschätzt werden, aber Vergleiche zwischen den einzelnen Resultaten sind möglich.

Fehler der Apparaturen	1%
Fehler der unvollkommenen Befestigung	20%
Fehler bei der Amplitudenausmessung	3%

Tab. 2: Fehlerquellen

3. Versuchsergebnisse und Diskussion

Fig. 1 zeigt ein ausgewertetes Diagramm. Die bezeichneten Beschleunigungsamplituden resultieren aus dem Auftreffen des rechten Fusses am Boden. Es ist dies eine Verzögerung der Abwärtsbewegung.

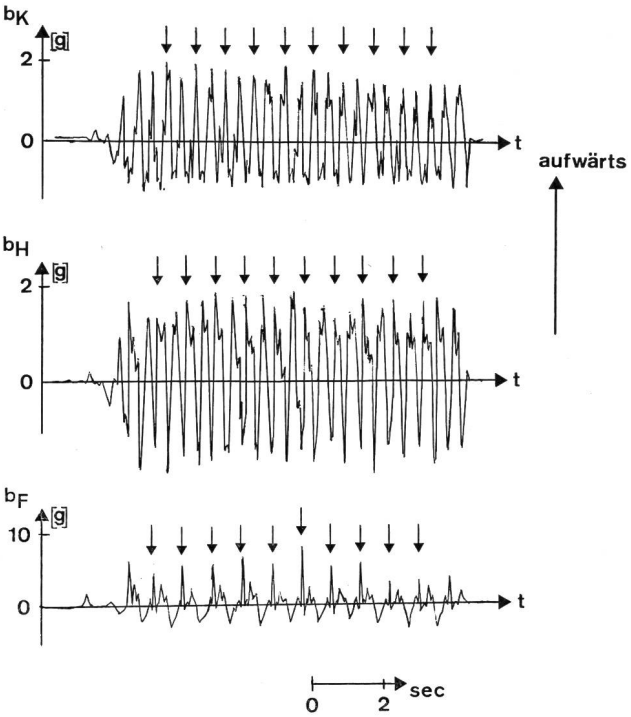

Fig. 1: Diagramm von VP_4 mit Strassenschuhen, $Laufen_f$

[1] Gekürzte Fassung der anlässlich des Preisausschreibens 1973 des Forschungsinstitutes ETS ausgezeichneten Arbeit.

Die Einwirkung eines Schrittes links ist am Kopf gleichgross wie die Einwirkung eines Schrittes rechts, da ja der Beschleunigungsmesser auf dem Kopf auf dem Scheitel (Vertex) montiert ist. An der Hüfte liegt der Beschleunigungsmesser lateral, so dass von den linken Schritten nicht gleichgrosse Amplitudenhöhen zustande kommen. Der Beschleunigungsmesser am rechten Fuss registriert auch Krafteinflüsse auf den linken Fuss. Diese werden aber durch die Fortpflanzung im Körper gedämpft, weshalb der registrierte Wert kleiner, und auf der Zeitachse nach rechts verschoben ist.

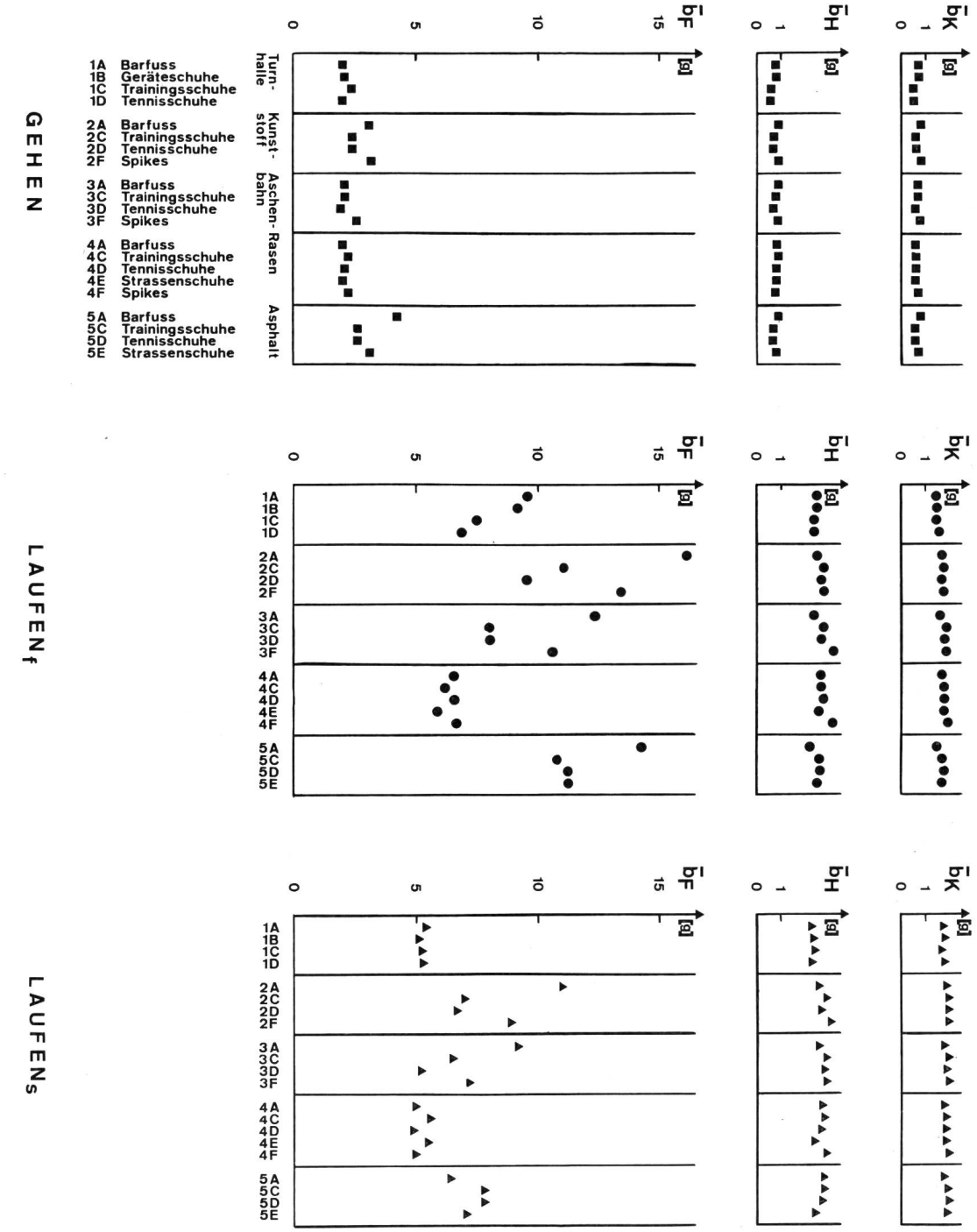

Fig. 2: Mittlere Beschleunigungswerte beim Gehen, Laufen$_f$ und Laufen$_s$

3.1. Dämpfung im Rumpf – Dämpfung in den Beinen

Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass sich die Beschleunigungswerte am Kopf und an der Hüfte innerhalb der einzelnen Laufarten nur wenig unterscheiden. Die Fusswerte dagegen zeigen grosse Unterschiede. In Fig. 3 kommt dies deutlich zum Ausdruck. Das hat zur Folge, dass der grösste Teil der Erschütterungen in den Beinen, und nicht im Rumpf gedämpft wird. Die Dämpfung im Bereich der Beine ist fünf- bis zehnmal grösser als die Dämpfung im Rumpf. Das ist nicht so erstaunlich, da im Bereich der unteren Extremitäten das Fuss-, das Knie- und Hüftgelenk einen grossen Teil des Stosses auffangen, während im Rumpf kein Gelenk diese Aufgabe übernehmen kann. Also sind beim Gehen und Laufen die Sehnen, Bänder und Muskeln der unteren Extremitäten am meisten belastet.

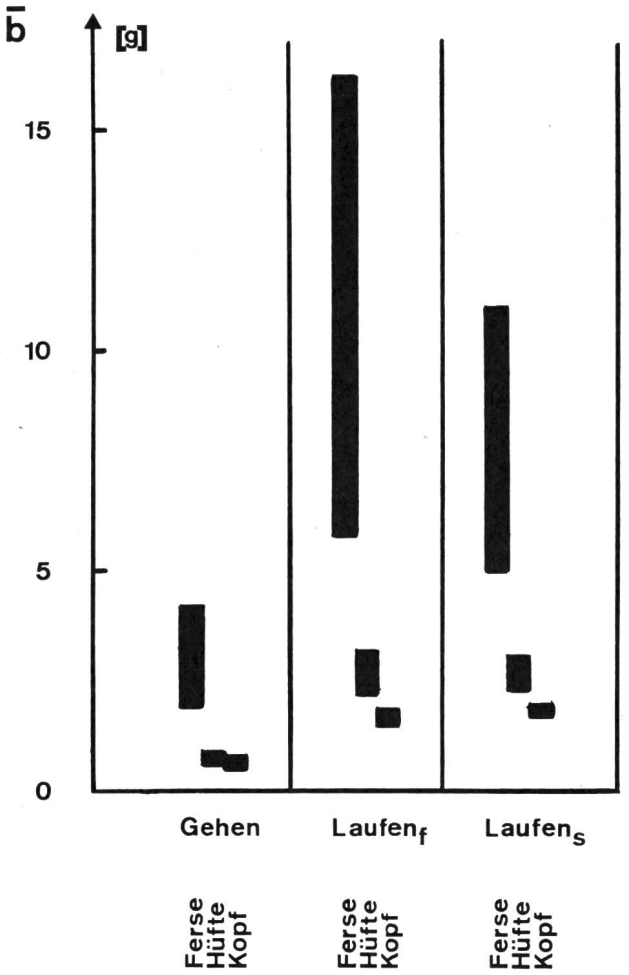

Fig. 3:
Bereiche der gemessenen Beschleunigungswerte beim Gehen, Laufen$_f$ und Laufen$_s$

3.2. Kunststoff – Asphalt – Aschenbahn

Der Quotient $\bar{b}_H/\bar{b}_F$ ist ein Mass für die Dämpfung im Bereich der unteren Extremitäten. Je kleiner dieser Quotient ist, desto besser ist die Dämpfung. Fig. 6 zeigt die Werte dieses Quotienten für alle durchgeführten Versuche.
Die kleinsten Werte treten bei Kunststoff und Asphalt auf. Das sind aber gerade auch die Bodenarten, wo die grössten Fussbeschleunigungen zu verzeichnen sind. Da bei unserem Quotienten b_{Fuss} im Nenner vorkommt, ist es nicht verwunderlich, dass dieser Quotient auf diesen Bodenarten kleiner ist. Vergleicht man aber die Hüft- und Kopfbeschleunigungen der verschiedenen Bodenarten miteinander, ist zu sehen, dass hier keine Unterschiede zu finden sind (Fig. 2). Die Erschütterungen in der Wirbelsäule sind also bei allen Versuchen mit Laufen etwa gleichgross, entsprechend auch beim Gehen. Der Mensch scheint sich in seiner ganzen Bewegungsart unbewusst auf die Unterlage einzustellen. Das kann eine natürliche Schutzreaktion des Körpers sein, und zwar so, dass die Belastung des Rumpfes, vorallem der Wirbelsäule, nicht zu gross wird. Sind die Erschütterungen am Fuss gross, werden diese durch eine grössere Dämpfung im Bein von der Wirbelsäule ferngehalten. Werden die Messwerte auf dem Kunststoff mit denen auf der Aschenbahn verglichen, zeigt sich, dass auf Kunststoff die Beschleunigungswerte am Fuss rund 30 Prozent grösser sind als auf der Aschenbahn. Die Hüft- und Kopfwerte dagegen unterscheiden sich kaum. Diese Mehrbelastung, die ja in den unteren Extremitäten absorbiert wird, muss auch Abnützungserscheinungen in den Dämpfungsmechanismen des Körpers bringen. Es ist dies sicher eine Ursache für die, in letzter Zeit ständig zunehmenden, Achillessehnenverletzungen und Kniebänderschäden.

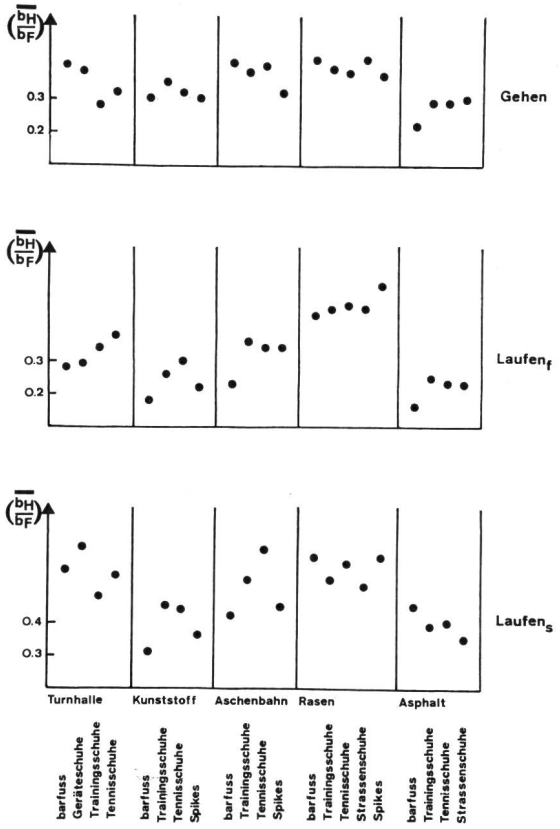

Fig. 4:
Einfluss von Unterlage und Schuhwerk auf den Quotienten $b_{Hüfte}/b_{Fuss}$

3.3. Fuss – Hüfte und Hüfte – Kopf

Wie Fig. 5 zeigt, scheint der Verlauf der Erschütterung im Rumpf bei den einzelnen Versuchspersonen nicht stark zu variieren; das heisst die Dämpfung im Rumpf ist praktisch konstant. Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Beschleunigung an der Hüfte und der Beschleunigung am Kopf. Anders ist es bei den unteren Extremitäten (Fig. 6). Hier ist die Streuung bedeutend grösser. Es ist kein linearer Zusammenhang mehr zu finden. Der Bereich der Dämpfungsmöglich-

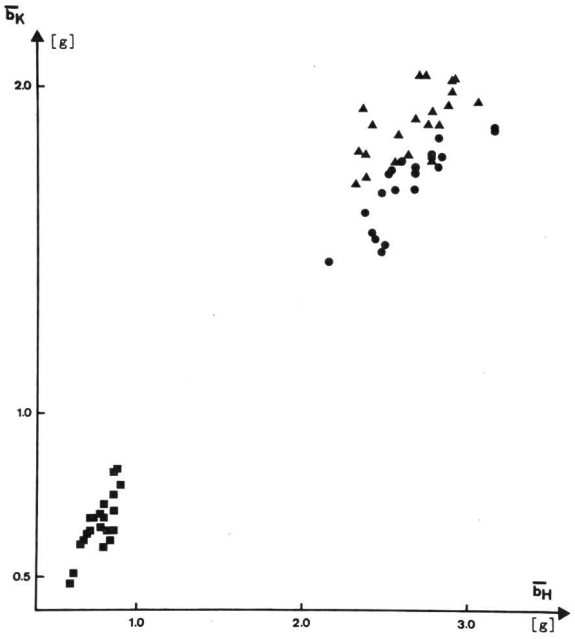

Fig. 5:
Zusammenhang zwischen der Beschleunigung an der Hüfte und der Beschleunigung am Kopf

keit in den unteren Estremitäten ist durch verschiedenen Einsatz der Beinmuskulatur und durch die verschiedenen spezifischen Eigenschaften der einzelnen Versuchspersonen viel grösser geworden.

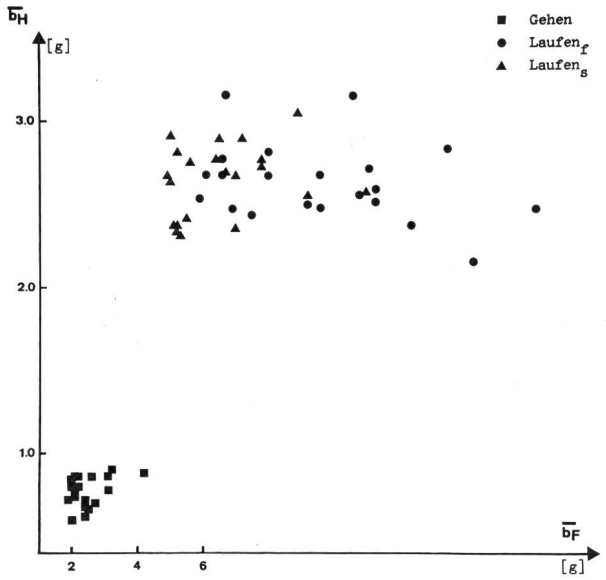

Fig. 6:
Zusammenhang zwischen der Beschleunigung an der Ferse und der Beschleunigung an der Hüfte

3.4. Fussbekleidungen

Innerhalb der einzelnen Unterlagen bewirken die Fussbekleidungen verschiedene Fussbeschleunigungswerte. Die grössten Beschleunigungen sind zu finden beim Gehen und Laufen barfuss und mit Spikes. Kleinere Beschleunigungen entstehen beim Gehen und Laufen mit Tennisschuhen. Die Erklärung dafür ist in der Sohlenbeschaffenheit der Tennisschuhe zu suchen. Diese viel weichere Schuhsohle dämpft schon einen Teil der Erschütterungen ab, wirkt also schonend auf den menschlichen Bewegungsapparat.

4. Folgerungen

Auf den 5 getesteten Unterlagen wurden unterschiedliche Fussbeschleunigungen gemessen. Die Hüft- und Kopfwerte sind aber ungefähr gleich. Der Mensch versucht also, seine Wirbelsäule vor grossen Erschütterungen zu schonen. Die grösseren Fussbeschleunigungen müssen daher bereits im Bein absorbiert werden, das heisst das Fuss-, Knie- und Hüftgelenk sowie die Muskeln und Bänder der unteren Extremitäten werden viel mehr beansprucht. Dadurch können Abnützungserscheinungen auftreten. Dies ist vorallem der Fall beim untersuchten Kunststoff. In einer weiteren Untersuchung sollen einzelne Kunststoffbeläge untereinander verglichen werden.
Bis jetzt wurde bei der Entwicklung neuer Beläge für Sportanlagen nicht auf die Beanspruchung des menschlichen Bewegungsapparates geachtet. Es wäre aber nötig, und anhand dieser Messungen auch möglich, neue Beläge auf die folgenden 3 Kriterien zu testen:

- Beständigkeit und Wartung des Bodens
- Einfluss auf die Gesundheit des Sportlers
- Leistungsmöglichkeit des Sportlers

Auch bei der Schuhentwicklung sollte auf die Gesundheit des Menschen geachtet werden. Die Schuhe sollten eine Sohle besitzen, welche die Fähigkeit hat, Erschütterungen zu dämpfen. Dennoch sollten sie sehr leicht sein, um die Leistung nicht zu beeinträchtigen.

5. Zusammenfassung

Es wurden Erschütterungen beim Gehen und Laufen auf verschiedenen Unterlagen und mit verschiedenen Fussbekleidungen gemessen. Mittels Beschleunigungsmessungen wurden am Fuss Werte zwischen 1,9 bis 16,2 g (Erdbeschleunigung registriert, an der Hüfte 0,6 bis 3,2 g und auf dem Kopf 0,5 bis 2,0 g. Die Dämpfung im Bereich der Beine ist 5- bis 10mal grösser als im Rumpf. Auf einer weichen Unterlage (Rasen) ist die Dämpfung in den unteren Extremitäten kleiner. Der Mensch scheint sich unbewusst in seiner ganzen Bewegungsart auf die Unterlage einzustellen. Die Dämpfung der Störung im Rumpf ist praktisch konstant. In den unteren Extremitäten ist die Streuung bedeutend grösser. Es entstehen Unterschiede durch den verschiedenen Einsatz der Beinmuskulatur und durch die verschiedenen spezifischen Eigenschaften der einzelnen Versuchspersonen.
Die grössten Fusserschütterungen wurden gemessen auf Asphalt und auf dem Kunststoff. Darin scheint der Grund für die zunehmende Zahl von Achillessehnenverletzungen, Kniebänderschäden und Knochenhautentzündungen im Bereich der unteren Extremitäten zu liegen.

Résumé

On a mesuré les chocs lors de la marche et de la course sur différents revêtements de sol et avec différents types de chaussures. Par des mesures de l'accélération, on a enregistré au niveau du pied des valeurs situées entre 1,9 et 16,2 g (accélération terrestre), au niveau des hanches des valeurs de 0,6 à 3,2 g et au niveau de la tête de 0,5 à 2,0 g. L'amortissement au niveau des jambes est 5 à 10 fois plus grand qu'à celui du tronc. Sur un revêtement mou (gazon), l'amortissement dans les extrémités inférieures est moindre. Il semble que l'être humain s'adapte de façon inconsciente aux différents revêtements du sol dans tous ses mouvements. L'amortissement de la perturbation au niveau du tronc est pratiquement constant. Dans les membres inférieurs, la dispersion est significativement plus importante. Des différences peuvent survenir par suite de l'engagement différent de la musculature de la jambe, et aussi par suite des propriétés spécifiques à chaque personne examinée. Les plus importants chocs ont été mesurés sur l'asphalte et sur les pistes en matière synthétique. Il nous semble que c'est là que réside la cause de l'augmentation du nombre des blessures du tendon d'Achille, des ligaments du genou et du périoste.

Literaturverzeichnis

Basler A.: Über die gewöhnliche Schrittlänge und Geschwindigkeit bei einigen Formen des Gehens. Phys. Inst. der Universität Kanton (1928).

Gage H.: Accelerographic Analysis of Human Gait. Biomechanics Monograph, ASME, New York (1967).

Guenther R.: Über Stosserschütterungen beim Gang des Menschen. Inauguraldiss., Med. Fak. der Universität des Saarlandes (1967).

Haberl R., Prokop L.: Die Auswirkung von Kunststoffbahnen auf den Bewegungsapparat. Österr. Journal für Sportmedizin, Heft 2, 3, 4/72; 1/73.

Molen N.H.: The evaluation of gait. Academisch Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam (1973).

Neukomm P.A., Nigg B.: Telemetry: Investigations on Ski Research. IV. Int. Symp. on Biomechanic, Pennsilvania (1973).

Nigg B.: Biomechanik, Ausgewählte Kapitel. Vorlesungsmanuskript, ETH Zürich (1973).

Unold E.: Über den Einfluss verschiedener Unterlagen und Schuhwerke auf die Beschleunigungen am menschlichen Körper. Diplomarbeit ETH Zürich (1973).

Wartenweiler J.: Biomechanische Merkmale zur Charakteristik des menschlichen Ganges. Jahrbuch der Deutschen Vereinigung für die Rehabilitation Behinderter e.V. (1969/70).

Wartenweiler, Lehmann, Wettstein: Geschlechtunterschiede im Körperbau und in der Dynamik des menschlichen Ganges. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft (1970).

Waters, Morris, Perry: Translational motion of the head and trunk during normal walking. Biomechanics (1973).