

# Biologische Auswirkungen eines 100-km-Laufes

Autor(en): **Howald, H. / Oberholzer, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Jugend und Sport : Fachzeitschrift für Leibesübungen der Eidgenössischen Turn- und Sportschule Magglingen**

Band (Jahr): **31 (1974)**

Heft 8

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-994975>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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-Llaufes**

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-Llaufes 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-Llauf 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-Llaufes 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-Llauf 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 «Sporthertz» 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.

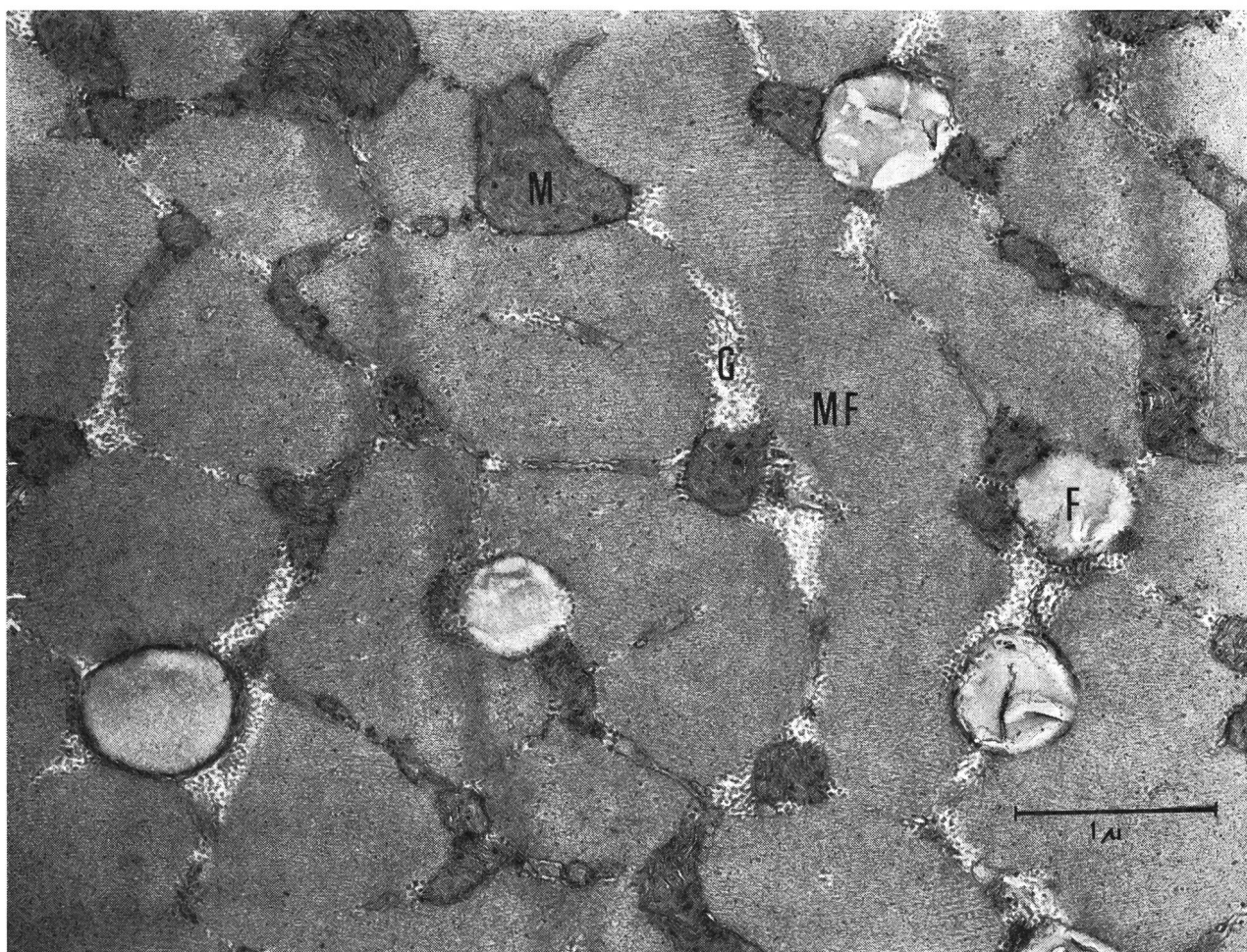


Abb. 1: Schrägschnitt der Oberschenkelmuskulatur eines gut trainierten 100-km-Läufers (vor dem Lauf) bei 15000facher Vergrößerung (MF = Muskelfäden, M = Mitochondrien, 'Zellkraftwerke', G = Glykogen, F = Fett).

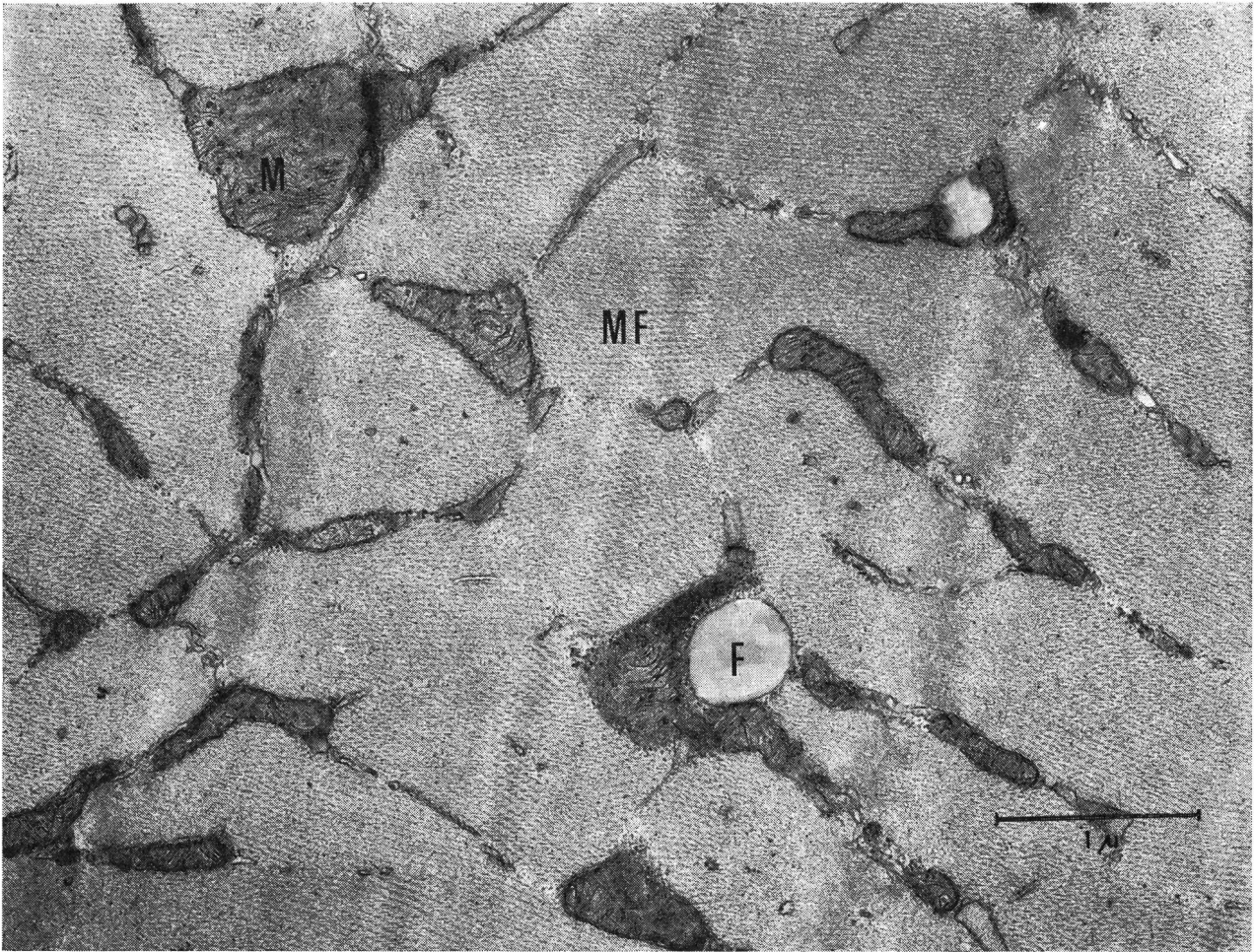


Abb. 2: Oberschenkelmuskulatur des gleichen Läufers nach dem 100-km-Lauf.

### 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 70 000mal schlagen, 50 000mal 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 40 000 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 10 000-m- oder Marathonlauf nur mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit laufen, die etwa 80–85 Prozent ihrer maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität entspricht. Wie die Sauerstoffaufnahme-fähigkeit 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  $80 \text{ ml pro Minute} \cdot \text{kg}$  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 Büroisten.

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 Zellstoffwechselforgänge 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  $56,1 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}$ , mittleres Herzvolumen  $12,3 \text{ ml/kg}$ ).

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  $56,1 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}$ , volume cardiaque moyen  $12,3 \text{ ml/kg}$ ).

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.