

# C

## KOHLENSTOFF

Der Mensch besteht zu 23 % aus Kohlenstoff. Bei einem Körpergewicht von 70 kg entspricht dies 16 kg.

Kohlenstoff kommt in reiner Form als sehr weicher Graphit und als sehr harter Diamant vor.



# MENSCH UND MOLEKÜL

Die Humanphysiologie hat den Anspruch, die medizinische und die naturwissenschaftliche Forschung zu verbinden. Mit diesem Ziel wurde 2005 an der Universität Zürich das Zentrum für Integrative Humanphysiologie ZIHP gegründet. Am ZIHP arbeiten Mediziner und Naturwissenschaftler Hand in Hand. Ihre Arbeit steht für einen neuen Trend in der Forschung: die Erkenntnisse der Molekularbiologie mit der ganzheitlichen Sichtweise auf den Menschen zu koppeln. Das Dossier dieses Heftes geht der Frage nach, was humanphysiologische Forschung in der Praxis bedeutet. Im Interview diskutieren der Direktor des Collegium Helveticum, Gerd Folkers, und Max Gassmann, Vorsitzender des ZIHP, was die Forschung am ganzen Menschen ausmacht und wie sie unser Bild des Menschen verändert.

Für die Bildstrecke hat der Fotograf Michel van Grondel den Menschen in seine einzelnen chemischen Bestandteile zerlegt und Gegenstände im Alltag gesucht, in denen sich diese Elemente zeigen.

## **26 Höhenttraining bringt nichts**

Ausdauersportler werden ihre Vorbereitung auf grosse Wettkämpfe überdenken müssen

## **30 Hüpfen als Altersvorsorge**

Fünf Studierende berichten über ihre Forschung zwischen Naturwissenschaften und Medizin

## **35 Die vielen Gesichter des guten Cholesterins**

Wie Lipoproteine den Fetthaushalt regulieren und vor Krankheiten schützen

## **38 «Der Mensch hat eine abartige Ausdauer»**

Gerd Folkers und Max Gassmann diskutieren über die Forschung am Menschen

## **42 Die Balance im Gehirn**

Am Zürcher Kinderspital werden Entwicklungsstörungen des Hirns erforscht

## **45 Starthilfe für die Darmflora**

Muttermilch nährt nicht nur, sie schützt die Säuglinge auch vor Infektionen

# Höhentraining bringt nichts

Viele Ausdauerathleten schwören auf Höhentrainingslager vor grossen Wettkämpfen. Der Physiologe Carsten Lundby zeigt nun: Das Training wirkt nicht wie bisher angenommen. Von Thomas Gull

Der Schweizer Marathon-Europameister Viktor Röthlin dürfte sich wundern, wenn er von der neusten Studie erfährt, die der Humanphysiologe Carsten Lundby im Auftrag des Bundesamtes für Sport (Baspo) durchgeführt hat. Denn Röthlin schwört seit Jahren auf die segensreiche Wirkung von Trainingslagern im Engadin: «Drei Wochen, nachdem ich aus den Bergen zurück im Unterland bin, fliege ich förmlich», gab er nach seinem fabulösen Marathon-Gold an der Europameisterschaft 2010 zu Protokoll.

Wie Röthlin denken viele Ausdauerathleten. Das Höhentraining gehört zum Standardrepertoire bei der Vorbereitung auf wichtige Anlässe. Was Röthlin aus eigener Erfahrung weiss, wird durch zahllose wissenschaftliche Studien gestützt: Das Training in der Höhe verbessere die Leistungsfähigkeit von Spitzenathleten um mehrere Prozent, lautet die Lehrmeinung.

Das Training in der Höhe hat jedoch auch negative Aspekte. Das gilt insbesondere für die absolute Belastungsintensität, die reduziert ist. Deshalb hat der Sportwissenschaftler und «Höhentrainingsguru» Benjamin Levine zu Beginn der 1990er-Jahre das Konzept «Live High – Train Low» (LHTL) entwickelt. Levines Höhentrainingsmodell – oben leben, unten trainieren – vermeidet die negativen Effekte des Höhentrainings, insbesondere die tiefere Belastungsintensität, versucht aber die positiven Effekte zu nutzen, indem die Athleten in der Höhe leben und schlafen. Konkret umgesetzt werden kann das etwa mit Druckkammern, die eine Höhenlage imitieren.

## Oben leben, unten trainieren

Das Baspo hat die bisherigen Erfahrungen mit Levines Höhentrainingskonzept analysiert und bilanziert: «Die allermeisten LHTL-Studien mit Ausdauerspitzenathleten zeigen einen positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit.» Als Beispiel

wird das Höhentrainingslager zur Vorbereitung auf die Weltmeisterschaft 2003 in Paris genannt, das Marathonläufer Viktor Röthlin und Langstreckenläufer Christian Belz (5000 m) gemeinsam im Engadin durchführten. Röthlin und Belz wohnten während 18 Stunden pro Tag auf Muotass Muragl (2456 Meter über Meer) und trainierten jeweils auf 1800 Meter. Beide erreichten an der Weltmeisterschaft gute Resultate, Belz wurde Dreizehnter, Röthlin Vierzehnter.

Wie die Untersuchung der relativen Blutwerte Hämatokrit und Hämoglobin der beiden Athleten zeigte, waren diese «praktisch unverändert». Die absolute Hämoglobinmasse, das Volumen der roten Blutkörperchen und das Blutvolumen

---

*Drei Wochen, nachdem ich aus den Bergen zurück im Unterland bin, fliege ich förmlich.*» Viktor Röthlin, Marathon-Europameister

---

war jedoch bei beiden «im vermuteten leistungsrelevanten Ausmass erhöht». Konkret wurden diese Werte zwischen 3,2 und 7,6 Prozent gesteigert. Das Fazit des Baspo-Experten fällt deshalb positiv aus: «LHTL kann wahrscheinlich sogar noch die Leistungsfähigkeit von Weltklasseathleten steigern.»

Carsten Lundby hat alle diese Studien gelesen. Er hat geglaubt, was alle glauben. Doch auch unter den Gläubigen gibt es einen grossen Disput. Dieser dreht sich um die Frage, was den positiven Effekt des Höhentrainings ausmacht. Die Gruppe um Ben Levine steht für die These, die Erhöhung des Volumens der roten Blutkörperchen und die damit verbundene höhere Transportkapazität für Sauerstoff sei für die Leistungssteigerung verantwortlich. Der australische Physiologe Christopher Gore hingegen vertritt die Meinung, die Muskeln selbst sorgten für die Verbesserung der Leistung,

weil sie nach dem Höhentraining unter anderem die Säureproduktion besser vertragen.

## Auf das Hämoglobin gewettet

Carsten Lundby machte sich im letzten Herbst daran, mit einer ultimativen Studie diese Diskussion zu entscheiden. «Wir haben unser Geld auf den Anstieg des Hämoglobins gewettet», erzählt Lundby und lacht, wie er dies oft tut während unseres Gesprächs. Man hat den Eindruck, er kann das Ergebnis seiner Studie selber kaum fassen. Lundbys bahnbrechende LHTL-Studie wurde ab Ende August 2010 im Trainingszentrum für nordische Disziplinen in Prémanon im französischen Jura durchgeführt. Es war die erste doppelblinde Placebostudie, die die Effekte von LHTL untersuchte. Prémanon bietet dazu ideale Bedingungen. Der Ort liegt auf 1111 Meter über Meer, in den Zimmern im Trainingszentrum konnte eine Höhe von 3000 Meter simuliert wer-

den. Die eine Gruppe der Athleten lebte und trainierte unter Normalbedingungen, die andere trainierte unter den gleichen Bedingungen, verbrachte aber 16 Stunden am Tag in den Zimmern auf der Höhe von 3000 Meter. Doppelblind bedeutet: Weder Athleten noch Wissenschaftler wussten, wer sich auf welcher Höhe erholte. Mit Ausnahme von Carsten Lundby.

Die Studie war nach dem vermeintlichen LHTL-Erfolgsrezept angelegt, das vorsieht, während drei Wochen 14 Stunden pro Tag auf mindestens 2500 Meter zu verbringen. «Wir wollten ganz sicher gehen, deshalb haben unsere Athleten während drei Wochen 16 Stunden auf 3000 Meter verbracht», erzählt Lundby. 16 Spitzensportler aus den USA, Kanada und Dänemark nahmen an der Studie teil, drei davon waren Triathleten, der Rest Radfahrer. Ihr Training bestand vor allem aus ausgedehnten Fahrten durch den

# Pb

## BLEI

Der Mensch besteht zu 0.0002 % aus Blei. Bei einem Körpergewicht von 70 kg entspricht das 0.12 g.

Blei ist ein weiches Metall mit einem niedrigen Schmelzpunkt. Verwendet wird es etwa als Gewicht und zum Strahlenschutz.





# Na

## **NATRIUM**

Der Mensch besteht zu 0.14 % aus Natrium. Bei einem Körpergewicht von 70 kg entspricht dies 100 g.

Natrium ist für alle Tiere, aber nur für wenige Pflanzen lebensnotwendig. Natriumchlorid wird als Kochsalz verwendet.



Hochjura. Ihre Leistungsfähigkeit wurde nach allen Regeln der Kunst eruiert und analysiert: So wurde die maximale Sauerstoffaufnahme gemessen und eine Muskelbiopsie gab Aufschluss über die Leistungsfähigkeit und den Sauerstoffverbrauch der Mitochondrien. Und natürlich wurde die Hämoglobinmasse gemessen. Der Hämoglobinwert steigt bei chronischer Exponierung in grosser Höhe an und damit auch die Fähigkeit des Blutes, Sauerstoff zu transportieren. Ausgelöst wird die erhöhte Produktion roter Blutkörperchen durch das Hormon Epo. Ab einer Höhe von 1600 bis 1800 Meter führt der verminderte Sauerstoffgehalt des Blutes zu einer erhöhten Ausschüttung von körpereigenem Epo.

### Ernüchternde Ergebnisse

Die wissenschaftlich erhärtete Lehrmeinung lautet: Der positive Effekt eines Aufenthalts in der Höhe auf die Hämoglobinmasse könne auch mit drei Wochen LHTL erreicht werden. Doch als Carsten Lundby nach drei Wochen zum ersten

wiesen werden konnte, steigerten alle ihre Leistung um drei bis vier Prozent. Auch jene der Placebo-Gruppe, die unten trainierten und regenerierten. Lundby zieht daraus den einzig möglichen Schluss: «Die Leistungssteigerungen, die die bisherigen Studien ausgewiesen haben, basieren auf dem Placeboeffekt.»

Zuerst sei er enttäuscht gewesen, räumt Lundby ein: «Ich dachte: Jetzt können wir den Mechanismus nicht klären, der zur Leistungssteigerung beim Höhentaining führt». Dann fügt er hinzu: «Aber jetzt macht es Spass». Was er mit schallendem Lachen unterstreicht.

### Ende eines Dogmas

Spass macht Lundby der Wirbel, den seine Studie verursacht. Als er sie kürzlich an einem Kongress in Kanada vorstellte, wurde er von den beiden renommiertesten Fachjournalen, dem Journal of Physiology und dem Journal of Applied Physiology, angefragt, ob er die Ergebnisse bei ihnen publizieren wolle. Das Interesse ist verständlich,

Zertrümmerung physiologischer Dogmen hatte Lundby bereits mit seiner Dissertation, die das Laktatparadox widerlegte. Dieses besagte, in der Höhe bildeten sich in den Muskeln weniger Laktate. Alles «Quatsch», wie Lundby zeigen konnte: In der Höhe produziert der Muskel nicht weniger, sondern mehr Abfallstoffe, weil er unter Sauerstoffmangel leidet.

### Röthlin wird wohl weitermachen

Und jetzt diese Geschichte mit dem Höhentaining. «Schon wieder Carsten, schon wieder», feixte einer seiner Kollegen, als sich herausstellte, dass auch dieser Glaubenssatz wohl dran glauben muss, nachdem sich Lundby damit beschäftigt hat. Was bedeutet die wissenschaftliche Widerlegung von «Live High – Train Low» für Spitzensportler wie Viktor Röthlin? Wird er das Höhentaining im Engadin aus seinem Vorbereitungsprogramm streichen? Wohl kaum, sagt Carsten Lundby: «Solange die Athleten glauben, dass das Höhentaining etwas bringt, werden sie es weitermachen.» Dieser Glaube zeigt durchaus Wirkung. Der Placeboeffekt spielt im Sport eine grosse Rolle. «Sportphysiologie hat viel mit Psychologie zu tun», sagt Lundby und fügt lachend hinzu: «Vielleicht sollte Swiss Olympic mehr Psychologen einstellen.» Doch er empfiehlt allen Sportlern, das Höhentaining zuerst einmal auszuprobieren, um selbst herauszufinden, ob es den Aufwand wert ist.

Der Sportphysiologe selber wird eine gute Ausdauer brauchen, um seine These zu verteidigen. Die holt er sich bei langen Läufen rund um den Irchel-Campus, mit denen er sich auf das Sky Race vorbereitet. Das Rennen führt von Lodrino nach Lavertezzo. Es geht entweder rauf oder runter, auf 21 Kilometern müssen 2190 Höhenmeter bewältigt werden. Lundy läuft, weil er es liebt. «Ich habe Physiologie studiert, weil mich die Limiten des Körpers interessieren.» Diese wird er weiter ausloten: In den nächsten beiden Jahren will Lundby noch einmal zwei Studien mit den gleichen Probanden durchführen. Allerdings unter verschärften Bedingungen: Eine Gruppe soll sich auf 4500 Metern erholen. Auf die Ergebnisse darf man gespannt sein.

**Kontakt:** Prof. Carsten Lundby, carsten.lundby@access.uzh.ch

---

*«Solange die Athleten glauben, Höhentaining nütze etwas, werden sie es weiter machen.» Carsten Lundby, Physiologe*

---

Mal die Hämoglobinmasse der LHTL-Athleten in Prémanon untersuchte, erlebte er eine Überraschung: Sie hatte sich praktisch nicht verändert. Dabei hatten Lundby und sein Team mit einem Anstieg von etwa zehn Prozent gerechnet. In einem weiteren Schritt hätte dann die Leistungsfähigkeit mit den höheren Hämoglobinwerten verglichen werden sollen mit jener vor dem Höhentaining. Daraus wurde nichts. Auch die Verlängerung der Studie um eine Woche brachte keine wesentliche Verbesserung: «Selbst nach vier Wochen gab es keine überzeugenden Ergebnisse», erklärt Lundby, «bei der Hälfte der Probanden gab es zwar einen Anstieg der Hämoglobinwerte, aber im Durchschnitt nur um 42 Gramm. Das ist verschwindend wenig und reicht nicht aus, um die Leistung signifikant zu erhöhen.»

Auch die Messung der Muskeleffizienz fiel ernüchternd aus: Sie zeigte ebenfalls keine signifikanten Verbesserungen. Doch obwohl bei den Athleten weder bessere Hämoglobinwerte noch eine verbesserte Effizienz der Muskeln nachge-

denn Lundby ist gerade dabei, eines der grossen Dogmen der Sportphysiologie vom Sockel zu stossen. Das dürfte noch die eine oder andere Auseinandersetzung geben. Denn Koryphäen wie Benjamin Levine werden Lundbys Ergebnisse hinterfragen, die aus ihrer jahrzehntelangen Forschung Makulatur machen. Lundby hat allerdings keine Zweifel, was seine Daten und Resultate betrifft: «Unsere Studie ist einfach viel besser als die anderen», sagt er selbstbewusst.

Lundby hat Erfahrung als Ikonoklast: Im Juni 2008, wenige Wochen vor Beginn der Olympischen Spiele in Peking, publizierte er eine Studie, die zeigte, dass die Epo-Tests, die von den Labors der Welt-Antidoping-Agentur WADA durchgeführt werden, Epo sehr unzuverlässig nachweisen. Die Nachricht schaffte es bis auf die Titelseite der New York Times. Bei Lundby lösten seine Forschungsergebnisse jedoch gemischte Gefühle aus: «Wenn Epo kaum oder gar nicht nachgewiesen werden kann, werden die Athleten geradezu ermutigt zu dopen.» Seinen ersten Erfolg bei der