

HANS VAN DIJK | RON VAN MEGEN
GUIDO VROEMEN

DAS GEHEIMNIS DES

RADFAHRENS



TRAININGSDATEN NUTZEN -
TOPLEISTUNGEN ERZIELEN

MEYER
& MEYER
VERLAG

DAS GEHEIMNIS DES RADFAHRENS

Hunter Allen, legendärer Coach und Mitentwickler der TrainingsPeaks'-WKO+-Software

„Nachdem ich mit Dr. Coggan „Training and Racing with a Power Meter“ geschrieben hatte, nutzten Spitzentrainer die darin enthaltenen Informationen und wurden Weltexperten. Die Autoren dieses Buches sind solche Experten. Sie nutzten die Gesetze der Natur, um Leistungen im Lauf- und Radsport zu beschreiben und zu berechnen. Die im Buch enthaltenen Konzepte werden dem Leser dabei helfen, seine eigene Leistung zu verbessern.“

Asker Jeukendrup, (Sport)ernährungswissenschaftler, Professor für Sportwissenschaften

„Eines der besten Bücher über Ausdauerleistung, die ich je gelesen habe, mit einer datenbasierten analytischen Herangehensweise. Die vielen praktischen Beispiele erleichtern dem Leser das Verständnis und ermöglichen es ihm, die Informationen zur Verbesserung seiner eigenen Leistung zu nutzen. Der Durchbruch von Leistungsmessern wird kritisch analysiert, einschließlich ihrer Möglichkeiten zur Verbesserung von Radfahrökonomie und -leistung.“

Maria Hopman, Professor für integrative Physiologie, Radboud Universität Nimwegen

„Mir gefällt die quantitative Herangehensweise an die Physik und Physiologie des Radfahrens in diesem Buch. Sie ist meines Erachtens wichtig, um sportliche Leistungen zu verstehen und zu verbessern. Ich denke, dass dieses Buch eine Hilfe für Trainer und Radsportler darstellt, da es Theorie und Praxis auf sehr verständliche Weise miteinander verbindet.“

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit haben wir uns entschlossen, durchgängig die männliche (neutrale) Anredeform zu nutzen, die selbstverständlich die weibliche mit einschließt.

Das vorliegende Buch wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch erfolgen alle Angaben ohne Gewähr. Weder die Autoren noch der Verlag können für eventuelle Nachteile oder Schäden, die aus den im Buch vorgestellten Informationen resultieren, Haftung übernehmen.

HANS VAN DIJK | RON VAN MEGEN | GUIDO VROEMEN

aus dem Englischen übersetzt von SILKE SCHMIDT

DAS GEHEIMNIS DES

RADFAHRENS

TRAININGSDATEN NUTZEN -
TOPLEISTUNGEN ERZIELEN

Meyer & Meyer Verlag

Informationen zur niederländischen Ausgabe:

Titel: **Het Geheim van Wielrennen**

Autoren: **Hans van Dijk, Ron van Megen und Guido Vroemen**

ISBN: 978-90-821069-4-7

Verlag: NedRUN publisher

Druckdatum: Juni 2015

Der Übersetzung ins Deutsche liegt die englische Version

Hans van Dijk, Ron van Megen und Guido Vroemen: „The Secret of Cycling“ zugrunde.

© 2017 Meyer & Meyer Sport (UK) Ltd.

Übersetzung: Silke Schmidt, Leiden

Das Geheimnis des Radfahrens

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie das Recht der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren – ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, gespeichert, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2017 by Meyer & Meyer Verlag, Aachen

Auckland, Beirut, Dubai, Hügendorf, Hongkong, Indianapolis, Kairo, Kapstadt,

Manila, Maidenhead, Neu-Delhi, Singapur, Sydney, Teheran, Wien



Member of the World Sport Publishers' Association (WSPA)

ISBN 978-3-8403-1251-9

E-Mail: verlag@m-m-sports.com

www.dersportverlag.de

Inhalt

Warum dieses Buch?	8
Teil I Die Grundlagen des Radfahrens	14
1 Radfahren ist gesund!	16
2 Radfahren macht Spaß!	20
3 Sportphysiologie	24
4 Trainingsprinzipien	30
5 Trainingspläne	34
6 Sporternährung	40
Teil II Die Physik des Radfahrens	44
7 Energie	46
8 Leistung	50
9 Leistungsvoraussetzungen für verschiedene Sportarten I	54
10 Leistungsvoraussetzungen für verschiedene Sportarten II	60
11 Das Radfahrmodell	66
12 Die Radfahrformel und die Standardbedingungen	74
Teil III Die Leistung des menschlichen Motors	82
13 Der Zusammenhang zwischen Leistung und Belastungsdauer	84
14 Die Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit	92
15 Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2max)	100
16 Die Funktionsleistungsschwelle (FTP)	106
17 Der Zusammenhang zwischen FTP and VO_2max	110

Teil IV Wie schnell kann man Radfahren?	114
18 Weltklasse-Radrennfahrer und Hobbyradsportler	116
19 Die Leistung der Frauen	122
20 Der Einfluss der funktionellen Schwellenleistung (FTP)	128
21 Der Einfluss von Belastungsdauer und Streckenlänge	132
22 Der Einfluss des Alters	136
23 Der Leistungsindex	142
24 Der Einfluss des Körpergewichts	146
25 BMI, Körperfettanteil und Wettkampfgewicht	152
26 Wie man Körperfett verliert und fit wird	158
27 Der Einfluss des Fahrradgewichts	164
28 Der Einfluss des Trainings	168
29 Der Einfluss der Herzschlagfrequenz	172
30 Warum sollte ich mit einem Leistungsmesser trainieren?	178
31 Trainingsoptimierung mit Leistungsmessern	182
32 Wie lässt sich die FTP mit einem Leistungsmesser bestimmen?	188
33 Wie analysiere ich die Daten meines Leistungsmessers?	192
34 Der Power-Profile-Test	198
35 Labortests	204
36 Die Tritteffizienz	212
37 Der Einfluss von Höhentraining	218
38 Der Einfluss des Ermüdungswiderstands	222
39 Der Einfluss des Rollwiderstands	226
40 Der Geschwindigkeitsweltrekord	230
41 Der Einfluss des Luftwiderstandskoeffizienten	234
42 Der Einfluss des Luftdrucks	240
43 Der Einfluss der Temperatur	244
44 Der Einfluss der Höhe	248
45 Der Stundenweltrekord	256

46	Der Einfluss von Sitzposition und Fahrraddesign	264
47	Der Einfluss des Windschattens	272
48	Der Einfluss des Winds	278
49	Der Einfluss des Steigungswiderstands	284
50	Wie schnell kann man einen Berg hochfahren?	288
51	Der Anstieg nach Alpe d'Huez	292
52	Wie schnell kann man einen Berg runterfahren?	296
53	Der Einfluss des mechanischen Widerstands	298
54	Übersetzung, Trittfrequenz und Tretkurbellänge	304
55	Kurven, die Bahn und der Prolog	310
56	Antritte und der Schlusspurt	316
57	Der Einfluss von Temposchwankungen	320
58	Energiezufuhr vor und während des Rennens	326
59	Der Einfluss von Hitze	332
60	Der Einfluss von Regen, Wind und Kälte	342
61	Welche Leistungen können wir in anderen Sportarten erzielen?	346
62	Die maximale Leistung von Sprintern und Ultraradfahrern	350
Teil V Radfahrmythen		356
63	Ernährung, Nahrungsergänzungsmittel und Rote-Bete-Saft	358
64	Vitamin-D-Mangel	364
65	Nicht zu viele Pillen!	370
66	Der Einfluss von Doping	374
Literaturverzeichnis		378
Silke Schmidt – Die Übersetzerin dieses Buchs		382
Bildnachweis		383

WARUM DIESES BUCH?

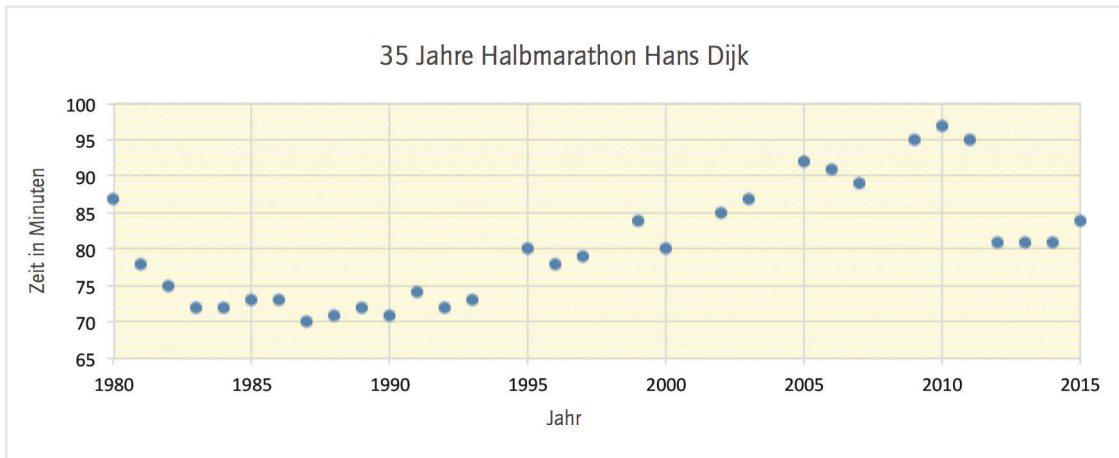
In der Theorie gibt es keinen Unterschied zwischen Theorie und Praxis. In der Praxis schon!

Der Erfolg unserer Bücher auf dem niederländischen Markt

Unsere vorigen, auf Niederländisch erschienenen Bücher^{1,2,3} waren in niederländischen und belgischen Läufer- und Radfahrerkreisen sofort ein Erfolg. Offensichtlich teilen Tausende von Läufern und Radfahrern unsere Leidenschaft, das Leistungsvermögen unseres „menschlichen Motors“ zu verstehen, zu messen und zu optimieren und unsere erreichbare sportliche Leistung zu berechnen und vorherzusagen. Mehr als 10.000 Exemplare unserer Bücher wurden auf dem relativ kleinen niederländischen Markt bereits verkauft. Wir erhalten bergeweise begeisterte Reaktionen von Lesern, die unseren quantitativen Ansatz „eine Offenbarung unter den Sportbüchern“ nennen. Die Wettkampf-Prognose-Rechner auf unseren Webseiten www.thesecretorunning.com und www.thesecretocycling.com werden von vielen Tausend Läufern und Radfahrern benutzt, die Freude daran haben, auszurechnen, wie sie ihre Leistung optimieren können.

Wie wird man fitter und schneller?

Die Autoren dieses Buchs teilen ihre Leidenschaft für den Laufsport und die Wissenschaft. Nachdem Hans van Dijk 2011 mit 57 Jahren als Professor an der TU Delft emeritiert wurde, widmete er sich noch einmal mit voller Energie dem Laufsport und der damit verbundenen Wissenschaft. Er wollte herausfinden, ob er auch in seinem Alter noch fitter und schneller werden kann. Hans war seit 1980 ein engagierter Läufer, doch wie in der unten stehenden Grafik zu erkennen ist, hatten sich seine Laufzeiten über die Jahre hinweg langsam verschlechtert. Natürlich wird der altersbedingte Leistungsabfall unsere Leser nicht überraschen, die Tatsache, dass Hans nach 2011 erheblich schneller wurde, dagegen schon. Seit 2013 gelang es ihm sogar, mehrfacher niederländischer Meister (Altersklasse M 60) zu werden. Die Gründe für diese erstaunliche Verbesserung sind Thema dieses Buchs. Der Leser erhält Einsichten in die Faktoren, die seine eigene Leistung bestimmen, und erfährt, wie er fitter und schneller werden kann.



Ein quantitativer Ansatz zur Verbesserung der Radfahrleistung

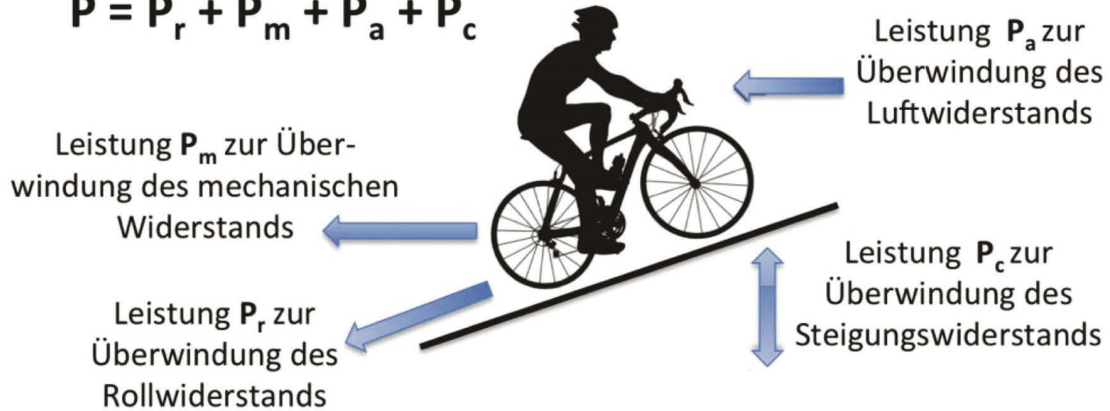
Da wir beide Wissenschaftler und Ingenieure sind, waren wir mit den traditionellen Radsport- und Laufbüchern, die meist auf den Erfahrungen von Sportlern und Trainern basieren, nicht zufrieden. Sie beschreiben die leistungsbestimmenden Faktoren nur qualitativ. Wir waren an Zahlen und Formeln interessiert, die es uns ermöglichen, die Leistung exakt zu bestimmen. Außerdem wollten wir eine klare Trennung zwischen wissenschaftlichen Beweisen und der Meinung von Sportlern und Trainern. Deshalb haben wir wissenschaftlich fundierte Modelle für alle die Lauf- und Radfahrleistung bestimmenden Faktoren entwickelt und sie an Messdaten überprüft.

Radfahren und Wissenschaft: Die Gesetze der Physik und der Physiologie

Wir haben ein neues und vollständiges Radfahrmodell entwickelt, das auf den Gesetzen der Physik und der Physiologie beruht. Mit unten abgebildetem Modell lässt sich die Fahrzeit genau berechnen.

Das Radfahrmodell

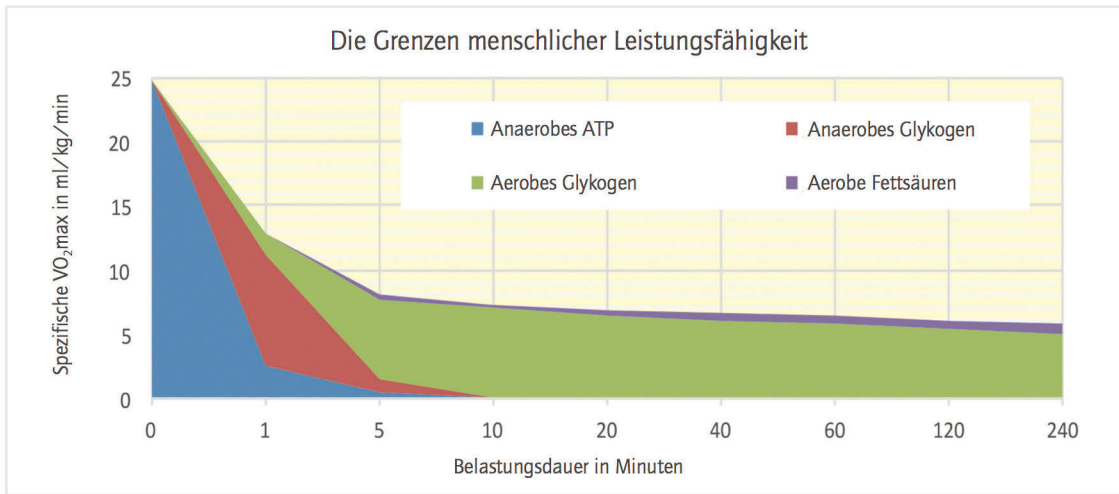
$$P = P_r + P_m + P_a + P_c$$



Das Modell beruht darauf, dass Muskulatur und Herz-Kreislauf-System zusammen den „menschlichen Motor“ bilden. Dieser hat ein bestimmtes Leistungsvermögen, das traditionell durch die **maximale Sauerstoffaufnahme** (VO_{2max}) oder besser die **maximale Leistung P** (in Watt) charakterisiert wird. Natürlich hängt die Leistung P von Talent, Training, Belastungsdauer oder Streckenlänge, Höhe, *Tapering* und anderen Faktoren ab.

Im Gleichgewicht wird die Leistung P des menschlichen Motors genutzt, um den Rollwiderstand P_r , den Luftwiderstand P_a , den Steigungswiderstand P_c und den mechanischen Widerstand P_m zu überwinden. Folglich können wir Fahrtgeschwindigkeit und -zeit berechnen, wenn die Wettkampfbedingungen (Streckenlänge, Straßenprofil, Wind, Temperatur, Steigungen, Höhe etc.) bekannt sind.

Wir halten unser Radfahrmodell für einen wesentlichen Fortschritt, da es auf den Gesetzen der Physik und der Physiologie beruht. Das gilt vor allem für unser Modell der menschlichen Physiologie. Anhand der Biochemie der vier Energiesysteme der menschlichen Muskulatur gelang es uns, die absoluten Grenzen menschlicher Leistung als Funktion der Belastungsdauer zu berechnen (s. Abb. auf Seite 11).



Unsere Berechnungen zeigen, dass die absolute Grenze menschlicher Leistung mit den aktuellen Weltklasseleistungen im Radsport und in anderen Sportarten, darunter der Laufsport, genau übereinstimmt.

Eine Theorie für (fast) alles: Wie man seine Wettkampfzeit berechnen und verbessern kann

Wir haben noch nie einen Radsportler getroffen, der nicht schneller werden wollte. Außerdem möchten die meisten wissen, welche Faktoren ihre Fahrleistung beeinflussen. Deshalb haben wir sie im vorliegenden Buch systematisch analysiert. In 66 Kapiteln findet der Leser Antworten auf Fragen wie diese:

- » Wie groß ist die Leistung des eigenen menschlichen Motors?
- » Wie schnell kann man mit seinem menschlichen Motor Rad fahren (in der Ebene und bei Steigungen)?
- » Wie viel langsamer wird man mit zunehmendem Alter?
- » Wie viel schneller wird man durch den Verlust von Körperfett?
- » Wie viel schneller wird man durch Training?
- » Wie lässt sich das Training optimieren?
- » Wie viel Zeit lässt sich durch eine perfekte Sitzposition gewinnen?
- » Wie viel Zeit lässt sich durch ein Aero-Rennrad gewinnen?
- » Wie viel Zeit lässt sich durch ein Lightweight-Rennrad gewinnen?
- » Wie viel Zeit lässt sich durch bessere Kugellager und Getriebeübersetzung gewinnen?
- » Wie viel Zeit lässt sich durch Hochleistungsschläuche gewinnen?
- » Wie viel Zeit verliert man durch Wind?
- » Wie viel langsamer fährt man bergauf, wie viel schneller bergab?
- » Wie benutzt man Leistungsmesser?
- » Wie lässt sich die Tritteffizienz verbessern?

- » Wo liegt die absolute Grenze beim Stundenweltrekord?
- » Wo liegt die absolute Grenze für einen sauberen Rekord beim Anstieg nach Alpe d'Huez?
- » Welchen Einfluss hat der Luftdruck auf die Wettkampfzeit?
- » Welchen Einfluss hat die Temperatur auf die Wettkampfzeit?
- » Welchen Einfluss haben Höhe und Höhenttraining?
- » Wie viel Zeit gewinnt man durch Windschattenfahren?
- » Welchen Einfluss haben Ernährung und Carbolaoding?

Wer sind die Autoren?

Hans van Dijk ist Läufer und Wissenschaftler mit Leib und Seele. Nach seiner Emeritierung als Professor für Wasserwirtschaft an der TU Delft widmete er sich sportwissenschaftlichen Fragestellungen. Er entwickelte neue Konzepte und Modelle für Ausdauersportarten, insbesondere für den Lauf- und Radsport, und schrieb Bücher und Beiträge darüber. Zu seiner Freude führte seine Forschungsarbeit auch zu einer eindrucksvollen Verbesserung seiner eigenen Wettkampfzeiten im Alter von 60 Jahren. Hans hat auch die Wettkampfrechner für den Lauf- und Radsport entwickelt, mit denen der Leser seine eigene Leistung analysieren und berechnen kann.

Ron van Megen ist ebenfalls ein begeisterter Läufer, Ingenieur sowie selbstständiger Unternehmer. Seit mehr als 30 Jahren ist er Hans' Freund und Laufpartner. Er liebt es, seine Wettkampfergebnisse quantitativ zu bestimmen und alle neuen Technologien für den Laufsport zu nutzen, zum Beispiel Laufleistungsmesser. Natürlich möchte auch er seine Laufleistungen verbessern, und so war er hocherfreut, als er sie mit 55 Jahren um 20 % steigern konnte. Ron ist für die Produktion des Buchs verantwortlich, viele der Fotos stammen von ihm.

Guido Vroemen ist Radrennfahrer, Triathlet und Sportmediziner. Für das niederländische *Team Roompot-Nederlandse Loterij* arbeitet er als Mannschaftsarzt, Trainer und Coach, zudem berät er Radprofis, Ironman®-Triathleten sowie den niederländischen Triathlonverband. Darüber hinaus ist er Eigentümer eines sportmedizinischen Leistungszentrums. Sein Fachgebiet ist die Belastungsphysiologie. Außerdem ist er Experte in der Analyse mit Leistungsmessern.



Hans van Dijk (rechts), Ron van Megen (links) und Guido Vroemen (Mitte), die Autoren dieses Buchs

Webseite und Rechner

Die Autoren unterhalten die Webseite www.thesecretofcycling.com. Dort findet der Nutzer viele Artikel, Kolumnen, Presseberichte, Fragen von Lesern, unsere Antworten darauf sowie unsere Rechner, mit denen sich die von vielen Variablen abhängige Wettkampfzeit berechnen lässt. Die Autoren begrüßen Reaktionen von Lesern weltweit. Wir hoffen, dass sie Gefallen an den Rechnern finden und uns über ihre Erfahrungen damit berichten.

Hans van Dijk, Ron van Megen und Guido Vroemen

Leusden, Niederlande, September 2016

TEIL I



DIE GRUNDLAGEN DES RADFAHRENS

1 RADFAHREN IST GESUND!

Ich habe zwei Ärzte, mein linkes und mein rechtes Bein.

George M. Treveyan

Eine niederländische Zeitschrift fasste die Vorteile des Radfahrens einmal unter der Überschrift *Wundermittel in Reichweite!* zusammen. Tägliche Bewegung, zum Beispiel Radfahren, ist tatsächlich ein Wundermittel.

Eine tägliche Fahrt mit dem Rad hat unglaublich positive Auswirkungen auf die körperliche und geistige Gesundheit. Umgekehrt stellt Bewegungsmangel das allergrößte Gesundheitsrisiko in westlichen Gesellschaften dar, mehr noch als das Rauchen. Ein Artikel in *The Lancet* vom Juli 2012⁴ kam zu dem Schluss, dass momentan eine von 10 Personen an Bewegungsmangel stirbt. Weltweit sind das jährlich 5,3 Millionen gegenüber 5,1 Millionen Rauchertoten.

Mens sana in corpore sano

Die Bedeutung körperlicher Fitness ist eine uralte Weisheit. Schon die alten Römer wussten, dass *mens sana in corpore sano* weilt, das heißt ein gesunder Geist in einem gesunden Körper. Gerade Radfahren trägt auf vielfältige Weise zur Verbesserung von Gesundheit und Fitness bei:

1. Tägliches Training hat einen direkten positiven Effekt auf die körperliche Fitness. Allmählich verändert sich der Körper zu dem eines Athleten.
2. Die Lebensweise wird automatisch gesünder, indem man auf seine Ernährung achtet, keinen oder wenig Alkohol trinkt und nicht raucht.
3. Die Blutwerte sowie andere Gesundheitsparameter verbessern sich.
4. Das Immunsystem wird gestärkt, das Krankheitsrisiko sinkt.

Radfahren hat auch einen positiven Effekt auf die geistige Gesundheit, wie Millionen Radsportler jeden Tag erfahren. Näheres dazu im nächsten Kapitel.

Sportmediziner und Trainer wissen um das enorme Vermögen des menschlichen Körpers, sich Trainingsreizen anzupassen. Durch tägliches Training können wir ihm schrittweise mehr Leistung bei weniger Anstrengung abverlangen. Sowohl die konditionellen Fähigkeiten (Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Beweglichkeit) als auch koordinative Aspekte sind trainierbar.

Der positive Einfluss von Training auf die körperliche Fitness:

1. Die Sauerstoffkapazität des Herz-Lungen-Systems verbessert sich signifikant.
2. Die Herzschlagfrequenz sinkt unter Belastung wie in Ruhe.
3. Das Herz wird gestärkt und arbeitet effizienter.
4. Der Blutdruck sinkt, und die Blutgefäße werden elastischer.
5. Die Lungen werden gestärkt und arbeiten effizienter.
6. Die Muskulatur wird gestärkt (insbesondere von Herz, Lunge und Beinen).
7. Die Knochen werden gestärkt.
8. Die Gelenke werden beweglicher und elastischer.
9. Die Energieproduktion der Muskulatur wird effizienter.
10. Der Körper verliert Masse.

Wir haben zwar keine wissenschaftlichen Artikel gefunden, die sich damit befassen, warum Radsportler automatisch ihren Lebensstil ändern. Es scheint jedoch eine Korrelation zu geben. So haben wir noch nie einen ernst zu nehmenden Radrennfahrer getroffen, der raucht. Außerdem ändern fast alle ihre Ess- und Trinkgewohnheiten nach einiger Zeit. Sie entwickeln ein größeres Körperbewusstsein und erkennen, dass sich Kondition und Leistung durch gesunde Ernährung verbessern. **Du bist, was du isst.**

Ließen sich die positiven Auswirkungen des Radfahrens in eine Pille stecken, könnte man ein Vermögen damit verdienen!

Die positiven Auswirkungen des Radfahrens sind enorm. Wir werden fitter, und unser Körper wird athletischer. Außerdem beeinflusst die sportliche Aktivität allerlei körperliche Prozesse, in deren Folge sich Blutwerte und andere Gesundheitsparameter verbessern (siehe unten stehender Kasten).

Der positive Einfluss von Training auf verschiedene Gesundheitsparameter:

1. Die Cholesterinwerte verbessern sich (Abnahme von LDL, Zunahme von HDL).
2. Der Insulinspiegel sinkt.
3. Die Blutzuckerwerte sinken.
4. Die Knochendichte erhöht sich.
5. Der Körperfettanteil sinkt merklich.
6. Das Blutplasmavolumen steigt.
7. Die Hämoglobin- und Myoglobinwerte steigen.
8. Die Pufferkapazität des Bluts steigt.
9. Das Immunsystem arbeitet effektiver.
10. Die Hormonwerte im Gehirn verbessern sich (weniger Adrenalin, mehr Serotonin).
11. Die Muskelenzyme arbeiten effizienter.
12. Die Harnsäure im Blut nimmt ab.

Vorbeugen ist besser als heilen

Regelmäßige Bewegung schützt vor Krankheiten. Kein Wunder, dass angesichts dieser Tatsache manche Krankenversicherungen Sportlern bereits einen Rabatt anbieten. In den Niederlanden und in Deutschland beteiligen sich einige Krankenkassen am Mitgliedsbeitrag für Vereine und Sportschulen. Radfahren wird auch zur Therapie bei körperlichen wie psychischen Erkrankungen eingesetzt.

Training senkt das Risiko für:

1. Herz-Kreislauf-Erkrankungen,
2. Diabetes,
3. Osteoporose,
4. Schlaganfall,
5. verschiedene Krebsarten (Darm, Gebärmutter, Brust),
6. verschiedene Lungenkrankheiten (Bronchitis, Lungenemphysem, Asthma),
7. Depressionen, Angstzustände und Stress,
8. rheumatische Arthritis,
9. Mukoviszidose,
10. altersbedingte Probleme und
11. Gicht.

Natürlich darf Radfahren nicht als Allheilmittel gesehen werden. Wir stellen jedoch an uns selbst und anderen fest, dass regelmäßiges Training die Lebensqualität enorm verbessert. Wir hoffen, dass der Leser dieselbe Erfahrung macht und den Radsport ebenso genießt wie wir.



Wer etwas für seine Fitness und Gesundheit tun will, steigt am besten aufs Rad und genießt eine Fahrt durch die Natur.

2 RADFAHREN MACHT SPASS!

Jeder Tag ist ein guter Tag, wenn man Rad fährt!

Radsportler sind in positivem Sinn süchtig nach ihrem Sport, dem Training an der frischen Luft, am liebsten in der freien Natur. Allein oder auf gemeinsamen Touren fernab der Stadt genießen sie die Landschaft, und während Wälder, Felder, Flüsse und Seen an ihnen vorbeiziehen, unterhalten sie sich über ihre Arbeit und das Leben. Wenn sie ein paar Stunden später wieder nach Hause kommen, sind sie müde, aber glücklich und voller Energie.



Schwing dich in den Sattel und fühl dich frei!

Der positive Einfluss von Training auf die geistige Gesundheit und das Wohlbefinden:

1. Man fühlt sich besser.
2. Man schläft tief und fest und wacht am nächsten Morgen gut gelaunt auf.
3. Man wird ruhiger und gelassener.
4. Man ist stolz auf seine Leistung und seinen Körper.
5. Man fühlt sich jünger und fitter.
6. Die Konzentrationsfähigkeit steigt.
7. Man bekommt neue Ideen und sieht klarer.
8. Man freut sich am Leben und hat mehr Energie.
9. Man fühlt sich freier und hat mehr Kontrolle über sein Leben.
10. Die Willensstärke steigt.
11. Man wird stressbeständiger.
12. Die Lebensqualität steigt.

Das sind die Momente, in denen wir das Leben am intensivsten erfahren, Gefühle von Freiheit, Glück und Stärke empfinden. Wer weiß, vielleicht handelt es sich dabei noch um ein Erbe des Urmenschen, der, durch die Natur streifend, seiner Beute folgte. Die positiven Auswirkungen sportlicher Bewegung auf die geistige Gesundheit und unser Wohlbefinden sind vielfältig (siehe Kasten oben).

Wer das Rad noch nie als sportliches Fortbewegungsmittel genutzt und es noch nie am eigenen Leib erfahren hat, mag das vielleicht nicht glauben. Doch fast jeder, der einmal damit angefangen hat, wird es bestätigen. Man verlässt das Haus, stellt sich den Elementen und genießt die Bewegung in freier Natur. Nach einer Weile wird der eigene Körper zum Freund, man fühlt sich fitter und glücklicher. Selbst Anfänger werden schon bald zu Botschaftern dieses schönen Sports und beginnen, von seinen vielen Vorteilen zu schwärmen.

Wissenschaftliche Untersuchungen belegen, dass sportliche Bewegung unter bestimmten Voraussetzungen die Hormone Endorphin und Serotonin freisetzt. Diese Hormone rufen Glücksgefühle hervor, die Radrennfahrer in Form des sogenannten *Cyclist's High* erfahren. Leider produziert nicht jeder Mensch dieselbe Menge davon, und es kann eine Weile dauern, bis man sich glücklich statt müde fühlt. Unseren Vorfahren halfen die Hormone, Raubtieren zu entkommen und in der Wildnis zu überleben. Wir können Glücksgefühle genießen, ohne Pillen zu schlucken. So verwundert es nicht, dass die meisten Radrennfahrer auf gesunde Weise süchtig nach ihrem Sport sind.

Radfahren kann man jederzeit, überall und allein, entspannt meditierend oder den Vögeln lauschend. Genauso viel Spaß macht es, gemeinsam mit Freunden zu trainieren, zu plaudern und Ideen auszutauschen. Besonders ambitionierte Radsportler schließen sich einem Club an. Zusammen mit Gleichgesinnten fahren sie zu Wettkämpfen, feiern gemeinsam ihre Erfolge oder trösten sich, wenn es nicht so gut lief. Das Schöne am Radsport ist, dass man vor allem gegen sich selbst kämpft, indem man versucht, die eigene Leistung zu verbessern. So kann auch derjenige noch stolzer Gewinner sein, der abgeschlagen am Ende des Feldes das Ziel erreicht.

Unter Athleten kursiert auch das Gerücht, Radler seien glücklicher und würden seltener geschieden. Hierfür gibt es zwar keine wissenschaftlichen Beweise, bezogen auf unseren eigenen Freundeskreis, können wir es jedoch absolut bestätigen.

Nicht zuletzt kann Radfahren Altersbeschwerden lindern und die Lebensqualität in fortgeschrittenem Alter erhöhen. So wird zum Beispiel vielerorts die Radtherapie eingesetzt, um die seelische Gesundheit von Senioren zu fördern.



Jung und Alt genießen gemeinsam ihren Sport in der Natur.



Der ehemalige Spitzenradrennfahrer Michael Boogerd mit seinem berühmten breiten Grinsen

3 SPORTPHYSIOLOGIE

Das Herz eines Radsportlers arbeitet besser und effizienter.

Kardiologe Dr. J. Wolffe, MD

In diesem Kapitel erhält der Leser einige Hintergrundinformationen zum „menschlichen Motor“. Kurz zusammengefasst, besteht er aus der Muskulatur und dem Herz-Kreislauf-System, das den Sauerstofftransport zu den Muskeln sowie die Abfuhr von Stoffwechselprodukten aus ihnen sicherstellt.

Welche Faktoren bestimmen nun das Leistungsvermögen des menschlichen Motors? Welcher Treibstoff wird von den Muskeln benutzt, wie viel Energie produziert? Und welchen Einfluss hat Training auf die Leistung? Wir wissen, dass Training zu zahlreichen Anpassungsprozessen im Körper führt, die uns fitter machen. In vielen Büchern^{5,6} und Artikeln wurden diese **Wunder des Trainings** bereits beschrieben.

Im Folgenden fassen wir die wichtigsten Einflussfaktoren auf sportliche Leistungen kurz zusammen.

Trainingseffekte

Stetiges, ausgewogenes Training führt zur Adaptation der Muskulatur und des Herz-Kreislauf-Systems.

1. Muskulatur

Die Muskeln werden größer und kräftiger. Es erfolgt eine Zunahme der

- Anzahl von Mitochondrien, der Energieproduzenten der Zellen;
- Anzahl und Größe von Muskelfasern;
- Anzahl von Kapillaren sowie deren Durchblutung;
- Reserven an ATP (Adenosintriphosphat) und Glykogen sowie
- Anzahl und Aktivität von Enzymen, wodurch der Abbau von Glykogen und Fettsäuren gefördert wird.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass Training sogar zu einer Veränderung des Anteils von schnellen (Fast Twitch, FT) zu langsamen Muskelfasern (Slow Twitch, ST) führen kann. Das heißt, sowohl Schnelligkeit als auch Ausdauer werden gefördert. Allerdings muss das Training kontinuierlich und zielgerichtet durchgeführt werden. Durch die Trainingsbelastung werden zunächst Muskelfasern geschädigt. Das ist zu spüren, wenn die Muskeln in den ersten Tagen nach dem Training schmerzen. Anschließend werden neue Muskelfasern aufgebaut und vorhandene gestärkt, damit sie einer weiteren Belastung besser gewachsen sind. Das Training der Beinmuskulatur ist ein langwieriger Prozess, für den viele Kilometer zurückgelegt werden müssen, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Ein Großteil des Trainings kann in ruhigem Tempo absolviert werden. Um die FT-Muskelfasern zu entwickeln, ist auch Schnelligkeitstraining erforderlich.

2. Herz

Die Anpassungsfähigkeit des Herzens an Trainingsbelastungen ist bemerkenswert. Dabei nimmt die Anzahl der Herzmuskelfasern zu, ebenso die Anzahl der Kapillaren sowie deren Durchblutung, vor allem in der linken Herzkammer. Infolgedessen arbeitet das Herz eines Sportlers viel effizienter als das eines Untrainierten. Faktisch ist das Herz eine Pumpe. Die Fördermenge dieser Pumpe, das sogenannte *Herzzeit- oder Herzminutenvolumen*, ist die Blutmenge (in Litern), die vom Herzen pro Minute in den Kreislauf gepumpt wird. Das entspricht dem Schlagvolumen (in Litern), multipliziert mit der Herzfrequenz (HF, in Schlägen pro Minute). Das Schlagvolumen kann bei einem Sportler doppelt so groß sein wie bei einem Nichtsportler. Demzufolge hat dieses sogenannte *Sportlerherz* im Ruhezustand eine große, ungenutzte Kapazität, und die Herzfrequenz ist sehr niedrig. Trainierte Ausdauersportler haben häufig einen Ruhepuls von nur 40 Schlägen pro Minute oder sogar weniger. Ferner ist ein gut trainiertes Herz bei Belastung in der Lage, viel mehr Blut zu pumpen, wodurch mehr Sauerstoff zu den Muskeln transportiert wird. Da die Muskeln Sauerstoff brauchen, um Energie zu produzieren, ist diese Sauerstofftransportfähigkeit der entscheidendste leistungsbestimmende Faktor bei Ausdauersportarten. Der Anstieg des Schlagvolumens und die entsprechende Senkung des Ruhepulses sind wichtige physiologische Anpassungen des Herzens an Trainingsreize. Durch sie steigert sich die Herzleistungskraft. Ein Sportlerherz kann die Pumpleistung bei Belastung von 5 l/min auf 40 l/min erhöhen, das heißt, um einen Faktor 8. Das liegt an der Kombination von erhöhtem Schlagvolumen und gesteigerter Herzfrequenz. Die Adaptation des Herzens an Trainingsreize ist hauptsächlich von der Trainingsintensität abhängig. Für Anpassungsprozesse ist eine hohe Herzfrequenz, das heißt, eine hohe Trainingsintensität erforderlich. Messbare Ergebnisse sind schon nach relativ kurzer Zeit sichtbar. Eine signifikante Senkung des Ruhepulses lässt sich bereits nach sechs Trainingswochen beobachten.

3. Blut

Das Blutvolumen eines gut trainierten Radsportlers ist manchmal 10 % größer als das eines Nichtsportlers. Das liegt vor allem an einem erhöhten Plasmavolumen. Hieraus ergibt sich eine verbesserte Sauerstofftransportfähigkeit des Bluts. Eine weitere wichtige Trainingsanpassung besteht in der höheren Dehnbarkeit der Blutgefäße, die zu einem niedrigeren Blutdruck führt. Außerdem ändert sich die Zusammensetzung des Bluts. Der Cholesterinspiegel sinkt, insbesondere der „schlechte“ LDL-Spiegel sowie der Gesamtcholesterinspiegel. Der „gute“ HDL-Spiegel steigt.

Durch Höhentraining kann die Hämoglobinkonzentration angehoben werden. Hämoglobin ist unverzichtbar für den Sauerstofftransport im Blut. 1 g Hämoglobin kann 1,34 ml Sauerstoff (O_2) transportieren, das heißt, eine durchschnittliche Hämoglobinkonzentration von 15 g/100 ml Blut führt zu einer Sauerstofftransportfähigkeit von $15 \cdot 1,34 = 20 \text{ ml } O_2 / 100 \text{ ml Blut}$ oder 20 % des Blutvolumens. Eine niedrige Hämoglobinkonzentration ist möglicherweise ein Indiz für eine zu geringe Eisenzufuhr über die Nahrung oder einen erhöhten Eisenverlust. Eine extrem hohe Hämoglobinkonzentration wird als Indiz für Blut- oder EPO-Doping gewertet.

Außerdem erweitern sich die Blutgefäße bei Belastung, wodurch der periphere Widerstand abnimmt und mehr Blut in die Muskulatur und weniger in nicht lebensnotwendige Körperfunktionen, wie das Verdauungssystem, fließt.

4. Lungen

Durch Training wird unsere Atemmuskulatur stärker, und das **Atemzugvolumen** beziehungsweise das funktionelle Lungenvolumen nimmt zu. Wie das Herz lässt sich auch die Lunge als Pumpe beschreiben. Die Kapazität dieser Pumpe, **Atemminutenvolumen** genannt, ist das Atemzugvolumen (in Liter) mal die Atemfrequenz (in Atemzügen pro Minute). Da wir in Ruhe ungefähr 10-15-mal pro Minute atmen und das Atemzugvolumen etwa 0,5 l beträgt, liegt das Atemminutenvolumen bei 5-7,5 l/min. Bei gut trainierten Sportlern kann das Atemzugvolumen bei Belastung um ein Vielfaches auf 180-200 l/min ansteigen. Dieses Wachstum resultiert aus der Zunahme von Atemfrequenz (bis 60 Atemzüge pro Minute) und Atemzugvolumen (bis 3-4 l). Die Lungenkapazität erhöht sich durch Training mehr als die des Herzens. Das heißt, im Allgemeinen sind nicht die Lungen der limitierende Faktor für eine gute Ausdauerleistung.

Aus dem Vorangegangenen lässt sich folgern, dass normalerweise die Sauerstofftransportfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems der bestimmende Faktor für sportliche Ausdauerleistungen ist. Wohl hat die Atemmuskulatur bei intensiven körperlichen Belastungen selbst einen beträchtlichen Sauerstoffbedarf, der auf etwa 10 % der maximalen Sauerstoffaufnahme beziehungsweise der $\text{VO}_{2\text{max}}$ ansteigen kann.

Energiesysteme

Um Radfahren zu können, brauchen wir Energie. Diese Energie wird in unseren Muskelzellen erzeugt, genauer gesagt, in den **Mitochondrien**. Dabei können die Zellen aus den vier Energiesystemen des Körpers Energie produzieren:

1. ATP

Adenosintriphosphat (ATP) ist der wichtigste Treibstoff für Sprinter. ATP kann sehr schnell in Adenosindiphosphat (ADP) umgesetzt werden, wobei viel Energie frei wird. Für die Umwandlung wird kein Sauerstoff benötigt. Der Vorrat an ATP in der Muskulatur ist allerdings schon nach etwa 10 Sekunden aufgebraucht und reicht nur für einen kurzen Sprint. Nach der Belastung können die Muskelzellen das ATP aus ADP wieder aufbauen. Dieser Vorgang erfordert Energie, die durch den **aeroben**, das heißt sauerstoffabhängigen Glykogenabbau geliefert wird. Damit entsteht nach einer intensiven körperlichen Belastung eine sogenannte *Sauerstoffschuld*.

Die Effizienz von Speicherung, Nutzung und Wiederaufbau von ATP kann durch Training verbessert werden. Hierfür eignet sich eine hohe Anzahl kurzer Sprints mit maximaler Geschwindigkeit.

2. Anaerober Abbau von Glykogen

Der **anaerobe** Abbau von Glykogen (Glykolyse) ist die wichtigste Energiequelle für Ausreißversuche und Prologe, die ein paar Minuten dauern. Glykogen besteht aus langen Ketten von Zuckereinheiten. Glykogen wird in der Muskulatur und der Leber gespeichert. Daneben enthält auch Blut eine geringe Menge Glukose. Glykogen kann anaerob (sauerstoffunabhängig) zu Milchsäure abgebaut werden. Häuft sich Milchsäure an, spüren wir es in Form von Ermüdung und Muskelschmerzen. In der Erholungsphase wird die Milchsäure mittels Sauerstoff abgebaut, was zu einer erneuten Sauerstoffschuld führt.

Durch Training lässt sich die Effizienz der Glykolyse verbessern. Damit sich Milchsäure anhäuft, sind Belastungen mit hoher Intensität erforderlich. Dies tritt erst bei einer Herzschlagfrequenz (HF) von etwa 85-90 % der maximalen Herzschlagfrequenz (MHF) ein, der sogenannten *anaeroben Schwelle*. Der anaerobe Abbau von Glykogen liefert weniger Energie als der von ATP. Dafür können wir sie jedoch länger, das heißt einige Minuten, nutzen, abhängig von Geschwindigkeit und Trainingszustand.

3. Aerober Abbau von Glykogen

Der aerobe Abbau von Glykogen ist die wichtigste Energiequelle für Ausdauersportler, darunter auch Radrennfahrer. Glykogen wird mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser verstoffwechselt. Das Kohlendioxid wird aus der Muskulatur über das Blut und die Lunge abtransportiert. Über denselben Weg wird ihr der benötigte Sauerstoff zugeführt. Das ist ein fortwährender Prozess, der lange aufrechterhalten werden kann, wenn die Sauerstofftransportfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems groß genug ist.

Die Sauerstofftransportfähigkeit kann durch Training mit einer Belastungsintensität unterhalb der anaeroben Schwelle verbessert werden. Belastungen bei geringerer Intensität (z. B. 70 % der MHF) sind ebenfalls sinnvoll, da sie die Muskulatur stimulieren. Der aerobe Abbau von Glykogen liefert weniger Energie als die Glykolyse. Der Glykogenvorrat reicht für mindestens anderthalb Stunden. Durch Training und optimierte Ernährung (*Carboloading*) lässt sich das Zeitfenster auf 2-3 Stunden verlängern.



Der niederländische Zeitfahrkönig Tom Dumoulin bei der Grande Partenza (Prolog) des Giro d'Italia 2016 in Apeldoorn (Niederlande)

4. Aerober Abbau von Fettsäuren

Der aerobe Abbau von Fettsäuren ist die Hauptenergiequelle für Radsportler und Triathleten. Fettsäuren werden mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser verstoffwechselt. Demzufolge lässt sich dieses Energiesystem mit dem aeroben Abbau von Glykogen durchaus vergleichen. Sein größter Nachteil besteht in seiner geringeren Energieproduktion. Deshalb kann bei langen Ausdauerbelastungen schon mal der sogenannte *Mann mit dem Hammer* zuschlagen, ein Phänomen, das im Radsport auch als *Hungerast* bezeichnet wird. Zu dem bekannten plötzlichen Leistungsabfall kommt es, wenn die Glykogenvorräte erschöpft sind und die Muskulatur auf den Abbau von Fettsäuren umschalten muss. Der größte Vorteil der aeroben Energiegewinnung aus Fettsäuren besteht in den enormen Speichervorräten des Körpers, die für mehrtägige Fahrten reichen. Auch in Ruhe und bei körperlichen Anstrengungen mit niedrigerer Intensität greifen wir auf dieses System zurück. Mit steigender Belastungsintensität schaltet die Muskulatur je nach Bedarf auf das folgende Energiesystem um: zuerst auf die Fettsäuren, dann auf das Glykogen, danach auf die Glykolyse und schließlich auf das ATP.

Die Effizienz des aeroben Abbaus von Fettsäuren lässt sich durch Training ebenfalls verbessern, und zwar durch lange Fahrten bei niedriger Intensität (weniger als 70 % der MHF). Morgendliches Training vor dem Frühstück sowie eine reduzierte Kohlenhydrataufnahme können ebenfalls dabei helfen, das System zu trainieren. Bei allen Belastungen bei niedriger und moderater Intensität spielt die Fettverbrennung eine Rolle. Fahren wir langsam, kann der Anteil von Fettsäuren im „Treibstoffmix“ unserer Muskulatur bis zu 90 % betragen. Beim Schwellentempo sinkt er auf etwa 25 %.

1. ATP

$\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{Energie}$

Kleiner Vorrat für etwa 10 Sekunden, Sprint, maximale Leistung und maximales Tempo.

2. Glykolyse

$\text{Glykogen} \rightarrow \text{Milchsäure} + \text{Energie}$

Begrenzter Vorrat für einige Minuten, Ausreißversuche, hohe Leistung und hohes Tempo.

3. Aerobe Glykogenumwandlung

$\text{Glykogen} + 6 \text{ O}_2 \rightarrow 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{Energie}$

Großer Vorrat für etwa 1,5 Stunden, Langstrecken, Ausdauerleistung und Ausdauer tempo.

4. Aerobe Fettsäureumwandlung

$\text{Fettsäuren} + 23 \text{ O}_2 \rightarrow 16 \text{ CO}_2 + 16 \text{ H}_2\text{O} + \text{Energie}$

Sehr großer Vorrat für mehrere Tage, Ultradistanzen, niedrige Leistung und niedriges Tempo, benötigt einen höheren O_2 -Umsatz.



Die Theorie des „menschlichen Motors“ lässt sich auf alle Ausdauersportarten anwenden. So können die Leistungen des Spitzen-Radrennfahrers Robert Gesink (links) und des mehrfachen Eisschnelllaufweltmeisters Sven Kramer (rechts) anhand unseres einheitlichen Modells miteinander verglichen werden.