

Napfmarathon versus Stadtmarathon

Eine Annäherung an das Konzept des Leistungskilometers

Benedikt A. Gasser¹, Pius Disler²

¹ SWISS HEALTH & PERFORMANCE LAB, Institut für Anatomie, Universität Bern

¹ Pädagogische Hochschule Zentralschweiz, Studiengang Bewegung und Sport, Postfach, 6000 Luzern

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit untersuchten wir die Unterschiede in den Laufzeiten zwischen dem Napfmarathon und einem Stadtmarathon. Dazu wurden alle Teilnehmer des Napfmarathons bezüglich einer Doppelteilnahme an einem Stadtmarathon (Zürich, Winterthur, Lausanne oder Luzern) identifiziert und die gelaufenen Zeiten miteinander verglichen. Von Interesse war insbesondere der Einfluss der absolvierten Höhenunterschiede im Aufstieg und Abstieg, welche mit dem Konzept der Leistungskilometer gemäss den Empfehlungen von Jugend+Sport quantifiziert wurden. In erster Approximation wurde die Regel, wonach 100 Höhenmeter Aufstieg, 150 Höhenmeter Abstieg bei Gefälle grösser 20% und 1 km Horizontalstrecke jeweils ein gleichwertiges Leistungskorrelat darstellen, angewendet. Für die identifizierten Doppelstarter ergab sich für den Stadtmarathon ein durchschnittlicher Kilometerschnitt von 4 min 52 sec und für den Napfmarathon quantifiziert mit dem Leistungskilometerkonzept ein solcher von 4 min 28 sec. Wird für die Leistungskilometerberechnung der Aufstieg und die Strecke jedoch nicht die Höhendifferenz des Abstiegs miteinbezogen, so resultiert ein durchschnittlicher Kilometerschnitt von 4 min 56 sec. Dieser Effekt scheint weitgehend distanzunabhängig zu sein, resultierte doch für die untersuchten Halbmarathonläufer eine durchschnittliche Zeit von 4 min 13 sec, für den Napfhalbmarathon ein solcher von 4 min 4 sec und für das Leistungskilometerkonzept nur unter Berücksichtigung des Aufstiegs ein solcher von 4 min 16 sec. Diese Darstellung zeigt, dass wenn nur die Höhe des Aufstiegs gemäss dem Leistungskilometerkonzept miteinbezogen wird, für beide Strecken ein Unterschied von weniger als 5 sec pro km resultiert. Aus dem Grund scheint die Empfehlung zulässig, für Laufveranstaltungen nur die Höhe des Aufstiegs zur Abschätzung von Laufzeiten zu verwenden, wobei die situativen Verhältnisse (Streckenlänge, Steilheit der An- und Abstiege, Charakter des Terrains Mittelland, Voralpin, Alpin) zur optimalen Abschätzung der potenziell resultierenden Laufzeiten zu berücksichtigen ist.

Schlüsselwörter: Bergmarathon, Stadtmarathon, Leistungskilometer

Summary

The aim of this study was to investigate differences in course times of a mountainmarathon (Napfmarathon) versus a city Marathon. Therefore all participants of Napfmarathon were screened concerning a double participation on a city marathon (Zürich, Winterthur, Lausanne, Luzern) and the course time were compared. Of key interest was the influence of ascents and descents which were quantified according to guidelines of Youth & Sport (Jugend+Sport / Jeunesse et Sport), whereby in first approximation 100 meter of ascent, 150 meter of descent (more than 20%) and 1 km of horizontal distance were taken as a similar performance correlat. For the identified double starter different average times per km resulted. For the city marathon with an average time of 4 min 52 sec and for the Napfmarathon with 4 min 28 sec. If speed per km was calculated only with ascent and horizontal distances having performance relevance an average time of 4 min 56 sec per km was identified. This effect seems to be independent from distance absolved, resulting for Halbmarathon on an average time of distance of 4 min 13 sec, for Napfmarathon of 4 min 4 sec and for the performance concept only with ascent an average time per km of 4 min 16 sec. These analysis reveal, that if only ascent is taxed average course times differ less than 5 sec for both distances. For these particular reasons we recommend for running events to calculate only based on ascent and horizontal distances making necessary adjustments based on length of course, steepness of ascent and descent, character of terrain (middle-country, pre-alps, alps) for accurate estimation of course times.

Key words: Mountain marathon, city marathon, performance per km

Einleitung

Marathonlaufen erfreut sich einer zunehmenden Beliebtheit. Die Entwicklung ist beeindruckend, was sich in einer entsprechenden Zunahme der Teilnehmenden ausdrückt, wobei insbesondere auch die Halbmarathonstrecke einen immer stärkeren Zuwachs aufweist [1]. Gleichzeitig nehmen aber auch die speziellen Marathons zu. Wurde noch vor einigen Jahren der Swiss Alpine Marathon als Pionierveranstaltung zu den exotischen Laufveranstaltungen gezählt, gibt es mittlerweile zahlreiche vergleichbare Laufveranstaltungen in speziellem Gelände, was das Interesse für diese Sportart verdeutlicht. Eine Frage, die sich dabei immer wieder stellt, ist diejenige des Verhältnisses zwischen der erbrachten Leistung respektive der Laufzeit an einem Stadtmarathon mit derjenigen an einem Bergmarathon. Eine Möglichkeit, die Beziehung zwischen diesen zwei Disziplinen abzuschätzen, stellt das Konzept des Leistungskilometers dar. Dieses Konzept wird von den unterschiedlichsten Sportarten verwendet. Von den Bergsteigern zu den Orientierungsläufern bis hin zu der Lagerwanderung. So einfach das Prinzip und dementsprechend häufig in der Praxis angewandt, so gering die wissenschaftliche Fundierung. Aus physikalischer Sichtweise verbindet das Konzept den Meter als standardisierte Masseinheit mit einem anthropometrischen sprich biologischen Korrelat der menschlichen Leistungsfähigkeit und stellt somit eine Verbindung eines Leistungsmasses durch die Bewegung der Masse des menschlichen Körpers in der Horizontalen im Vergleich zur Vertikalen im Verhältnis eins zu zehn dar. Diese Beziehung ist somit willkürbehaftet, gleichwohl wird diese Methode in der Praxis häufig angewandt und erfreut sich entsprechend grossem praktischen Nutzen. Auch Jugend+Sport verwendet diese Methode im Rahmen der Vorschläge zur Marschzeitberechnung einer Bergwanderung [2]. Auch andere Sportarten haben sich dieses Konzept zu Nutze gemacht, so wird beispielsweise in der Schweiz zur Laufzeitenberechnung bei Orientierungsläufen weitgehend dieser Ansatz verwendet. Auch die Empfehlungen des SAC zur Berechnung der Tourenzeit gehen von dem Ansatz der Quantifizierung der Strecke und der Höhe im Auf- und Abstieg aus [3,4]. So schlägt beispielsweise der SAC für Touren ohne grössere technische Schwierigkeiten jeweils für einen km Distanz und für 100 Höhenmeter Aufstieg vor, eine Viertelstunde einzukalkulieren, für den Abstieg wird jeweils für einen km Distanz und jeweils für 200 Höhenmeter Abstieg eine Viertelstunde einkalkuliert [3,4]. Als weitere Möglichkeit, die benötigte Zeit für eine bestimmte Strecke zu berechnen, könnte beispielsweise die im angloamerikanischen Raum verbreitete Tobler-Regel genannt werden, welche die Geschwindigkeit der Fortbewegung mit Hilfe einer Exponentialfunktion unter Berücksichtigung der Höhe quantifiziert [5,6]. Die Tobler-Regel setzt die Marschgeschwindigkeit in Beziehung zur absolvierten Höhendifferenz: $V = 6 * e^{-3.5 [dh/dx + 0,05]}$, wobei gilt dh = Maximalhöhe, dx = Ausgangshöhe, woraus sich die Geschwindigkeit pro km/h errechnen lässt. Eine weitere im angloamerikanischen Raum verbreitete Methode stellt die Naismith-Regel dar, welche ebenfalls die Parameter Strecke, Aufstieg und Abstieg miteinander verbindet. Die von Naismith aufgestellte Regel basiert auf trigonometrischen Grundsätzen und besagt, dass ein Meter des Anstiegs einer Strecke von 7.92 Meter Horizontal entspricht (1:7.92), wobei aufgrund von neueren Analysen eine geschlechtergetrennte Berechnung vorgeschlagen wird und für männliche Läufer und Walker ein Äquivalent von 1:8 und für Frauen ein solches

von 1:10 zu verwenden ist [7]. Interessanterweise wurden die Analysen auch auf das Radfahren ausgedehnt, wobei ähnliche Grundsätze mit einem Verhältnis von 1:8.2 abgeleitet werden konnten [7]. Weiter ist zu erwähnen, dass insbesondere die Steigung schon relativ früh Gegenstand von Analysen bezüglich des optimalen Steigungsgradienten war, wobei eine physiologisch effiziente Fortbewegung sowohl bergauf als auch bergab bei einem Steigungsgradienten von 0,2–0,3 identifiziert werden konnte [8]. Schon früher schlug Langmuir (1984) zur Marschzeitberechnung eine basale Geschwindigkeit von 4 km/h vor und machte die folgenden zusätzlichen Anpassungen geltend: ziehe 10 Minuten jeweils für 300 Meter Abstieg ab zwischen 5 und 12 Grad und füge zusätzlich 10 Minuten für jeden Abstieg grösser als 12 Grad hinzu [9]. Dies verdeutlicht, dass Steigungen schon relativ früh Gegenstand von Quantifizierungsversuchen waren. Wichtig ist für die hier präferierte Betrachtung auch zu beachten, dass bei einem Bergmarathon andere Belastungen resultieren als bei einem Stadtmarathon, wobei der Napfmarathon im Vergleich zu den analysierten Stadtmarathons als grössere Belastung zu taxieren ist. Dies ist einerseits auf die gesamthaft höhere Leistung und somit grösseren Anforderungen an das kardiopulmonale System zurückzuführen und insbesondere auch auf die Abstiege, welche für den Bewegungsapparat eine grosse Belastung darstellen (wobei das Körpergewicht eine besondere Rolle spielt) was die physiologische Stresssituation im Verhältnis zu einem klassischen Marathon zusätzlich erhöht [10,11,12]. Zudem kommt es gerade bei einem Bergmarathon mit beinhaltenden Abwärtspassagen auch zu exzentrischen Muskelbelastungen, was einen zusätzlichen Reiz für die Skelettmuskulatur darstellt [13,14]. Insbesondere die starken Abstiege führen dazu, dass eine Erhöhung der proinflammatorischen Zytokine, Chemokine, Erhöhung CRP, Leukozytose und als Kernbefund eine Erhöhung der Parameter der muskulären Schädigung (Kreatininkinase, Myoglobin) gefunden werden können [15]. Diese Veränderungen sind nicht nur abhängig vom individuellen Trainingsstand und der Verausgabungsbereitschaft, sondern auch vom Umfang der Abstiege [15]. Auch die Normalisierung der Entzündungsparameter und der Determinanten der muskulären Schädigung scheint für einen Bergmarathon länger zu sein, wobei im Durchschnitt nach etwa 2–3 Wochen die Werte in aller Regel regredient sind [15]. Mitzuberechnen ist auch, dass das Absolvieren von Marathons oder insbesondere Ultramarathons bei Breitensportlern ein Mindestmass an Ausdauerfähigkeiten respektive Lauffähigkeiten voraussetzt, um eine exponentielle Zunahme der benötigten Zeit für eine Strecke zu verhindern [16]. Ganz allgemein stellen Marathonläufe für den Sportler in aller Regel eine so grosse Belastung dar, dass pro Jahr maximal zwei Marathonläufe absolviert werden können, wobei in aller Regel ein Frühjahrs- und ein Herbstmarathon bei Hobbyläufern hin zu Breitensportlern und ambitionierten Leistungsläufern relativ gut toleriert werden und die Laufzeit nicht negativ beeinflussen [17].

Im Rahmen dieser Untersuchung interessierte der Unterschied der Laufzeiten zwischen dem Napfmarathon und der Laufzeit an einem Stadtmarathon. Zur Quantifizierung der Belastung in Form der Höhendifferenz wurde das Konzept des Leistungskilometers des Bundesamt für Sport verwendet, wobei die Regel ursprünglich für Berg- und Lagerwanderungen entwickelt wurde und aussagt, dass 100 Höhenmeter Aufstieg, 150 Höhenmeter Abstieg bei einem Gefälle von mehr als 20% und 1 km Horizontaldistanz jeweils ein gleichwertiges Leistungskorrelat – einen Leistungskilometer – darstellen [2].



Abbildung 1: Das Napfgebiet

Im Rahmen dieser Untersuchung soll dieses Konzept bezüglich seiner Gültigkeit in der Praxis analysiert und überprüft werden, wozu die Laufzeiten zwischen dem Napfmarathon und einem Stadtmarathon miteinander verglichen werden. Der Napf ist der zentrale Punkt eines voralpinen Gebietes, das in der geografischen Mitte der Schweiz liegt. In allen Richtungen verlaufen die seit Jahrhunderten durch Wasser eingegrabenen Gräben und die dadurch entstandenen Eggen. Die Laufstrecke des Napfmarathons führt über Asphaltstrassen, Wanderwege und Trampelpfade. Start und Ziel befinden sich in Trubschachen, wobei bei rund der Hälfte der Laufstrecke der Gipfel des Napfes mit einer Höhe von 1406 Metern passiert wird. Der Streckenrekord wird von dem OL-Läufer Marc Lauenstein mit 2:58:28 gehalten und bei den Damen von Martina Krähenbühl mit 3:29:14. Das Obengenannte erlaubt es, die Kernfragestellung der Studie auszuformulieren. Inwiefern stellt das Konzept des Leistungskilometers ein valides Instrumentarium dar, um eine zu laufende Strecke im hügeligen Gelände zu quantifizieren und inwiefern liefert dieses Konzept valide Resultate beim Vergleich der Belastungen in Bezug zu einem Stadtmarathon.

Methoden

Probanden

Bei der untersuchten Stichprobe handelte es sich um 20 männliche Läufer sowie 1 weibliche Läuferin ($44,8 \pm 9,5$ Jahre), welche im Jahre 2014 den Napfmarathon und im gleichen Jahr entweder den Zürich Marathon, Winterthur Marathon, Lausanne Marathon oder Luzern Marathon absolvierten.

Screening & Statistische Analysen

Alle Teilnehmer des Napfmarathons wurden bezüglich weiterer Teilnahmen an Marathonveranstaltungen in der Schweiz für das Untersuchungsjahr 2014 analysiert. Dabei konnten total 21 Doppelteilnahmen identifiziert werden, wobei neun Läufer parallel in Zürich liefen, fünf in Winterthur, ein Läufer in Lausanne und sechs Mal parallel in Luzern gelaufen wurde. Von den 21 untersuchten Laufsportlern wurden folgende Doppelstartkombinationen absolviert: 12 Napfmarathon – Marathon, 4 Napfmarathon – Halbmarathon, 5 Napfhalbmarathon – Halbmarathon. Wurde beim Napfmarathon nur der erste Teil der Strecke absolviert (ungefähr Halbmarathon – 19,1 km), wurde der Läufer nur mitinkudiert, wenn ebenfalls einmal bei flacher Distanz ein Halbmarathon gelaufen wurde.

Zur Quantifizierung der Leistungskilometer wurde gemäss den Richtlinien des BASPO wie folgt vorgegangen [2]. Im Kern wird die Strecke Trubschachen–Napf–Trubschachen absolviert, wobei Start und Ziel die gleiche Höhe haben und sich

in unmittelbarer Nähe befinden, sodass alle gelaufenen Höhenmeter des Aufstiegs auch wieder im Abstieg absolviert werden. Der erste Teil der Strecke Trubschachen–Napf umfasst eine Höhendifferenz von 1015 Metern Steigung und ein Gefälle von 346 Metern. Die Strecke Napf–Ziel beinhaltet eine Steigung von 527 Metern und ein Gefälle von 1196 Metern. Laut dem Handbuch Jugend+Sport entspricht dies zusätzlichen 15,42 Leistungskilometern für die Aufstiege und 15,42 dividiert durch 1,5, was zu weiteren 10,28 Leistungskilometern für die Abstiege führt. Dazugerechnet werden müssen die Distanzen mit 19,1 km für den Aufstieg und 21,37 für den Abstieg, was einer totalen Länge von 40,47 km entspricht und zu einem Total von 40,47 Leistungskilometern für die Strecke plus 15,42 Leistungskilometern für den Aufstieg, plus 10,28 Leistungskilometern für den Abstieg von insgesamt 65,97 Leistungskilometern führt, bei Anwendung der klassischen Methode zur Berechnung der Leistungskilometer. Erwähnt werden muss, dass in den neuesten Empfehlungen die Abstiegshöhenmeter nur bei starkem Gefälle (grösser 20 Prozent) dazugerechnet werden. Eine Mitberücksichtigung des Abstieges erfolgt nur dann, wenn eine Abstiegssteigung von mehr als 20% vorliegt, was aufgrund von Kartenanalysen nur etwa 70% entspricht. Aus diesem Grund wurden die jeweiligen Leistungskilometer der Abstiege um den Faktor 0,7 reduziert.

Resultate

Die Tabellen auf der nächsten Seite enthalten die gelaufenen Zeiten für den Bergmarathon und den Stadtmarathon für die jeweilige Alterskategorie. Weiter werden die Leistungskilometer nach dem gängigen Verfahren von Jugend+Sport (100 Meter bergwärts sowie 150 Meter talwärts falls eine Steigung mehr als 20 Grad beträgt) dargestellt.

Die gelaufenen Zeiten auf der Strecke des Napfmarathons betragen durchschnittlich pro Leistungskilometer 4 min 11 sec für die Marathondistanz und 4 min 2 sec pro km für die Halbmarathondistanz. Für den Flachmarathon betragen die durchschnittlichen Zeiten 4 min 44 sec für die ganze Marathondistanz und 4 min 12 sec für die Halbmarathondistanz. Berechnet man die Kilometerzeiten nur für die Strecke, gelangt man zu einem durchschnittlichen Kilometerschnitt von 6 min 50 sec.

Geht man auf den ersten Teil der Strecke ein und betrachtet in erster Approximation nur die Distanz Trubschachen–Napf ohne Berücksichtigung der Höhendifferenz, so ergibt sich für die fünf Teilnehmenden, welche den Halbmarathon absolvierten und auf dem Napf im Ziel waren, ein durchschnittlicher Kilometerschnitt von 6 min 43 sec. Für die 15 Teilnehmer und eine Teilnehmerin, welche den ganzen Napfmarathon absolvierten, ergibt sich durchschnittlich bei ausschliesslicher Berücksichtigung der Distanz von 40,47 km ein Kilometerschnitt von 6 min 50 sec.

Tabelle 1: Durchschnittliche Laufzeiten (Mittelwert und Standardabweichung) für Napf- respektive Stadtmarathon

Durchschnittliche Laufzeiten	Marathonläufer (n = 16)	Halbmarathonläufer (n = 5)
Napfmarathon Laufzeit	4h 36 min ± 37 min	129 min ± 13 min
Stadtmarathon Laufzeit	3h 26 min ± 23 min	89 min ± 11 min

Tabelle 2: Durchschnittliche Geschwindigkeiten (Mittelwert und Standardabweichung) für Napfmarathon für die drei Berechnungsarten ausschliesslich Strecke, Leistungskilometerkonzept (Anstieg und Abstieg [Quotient aus Abstiegshöhenmeter/1,5 und Korrekturfaktor 0,7]*) und Leistungskilometerkonzept (nur Anstieg)

Napfmarathon (min pro km)	Marathonläufer (n = 16)	Halbmarathonläufer (n = 5)
nur Strecke	6 min 50 sec ± 55 sec	6 min 5 sec ± 41 sec
Leistungskilometerkonzept (Anstieg & Abstieg*)	4 min 28 sec ± 40 sec	4 min 4 sec ± 23 sec
Leistungs-kilometerkonzept (nur Anstieg)	4 min 56 sec ± 34 sec	4 min 16 sec ± 25 sec

Tabelle 3: Durchschnittliche Geschwindigkeit

Stadtmarathon (min pro km)	Marathonläufer (n = 16)	Halbmarathonläufer (n = 5)
nur Strecke	4 min 52 sec ± 33	4 min 13 sec ± 31

Abbildung 2 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den gelaufenen Zeiten im Napfmarathon und im Stadtmarathon und verdeutlicht die enge Beziehung zwischen den gelaufenen Zeiten, was sich statistisch mit dem als hoch zu taxierenden Wert von 0,75 für das Bestimmtheitsmass niederschlägt. Auch der zusätzlich berechnete Korrelationskoeffizient von 0,93 für die Halbmarathonläufer (n = 5) mit einem Bestimmtheitsmass von 0,85 kommt zu vergleichbaren Ergebnissen.

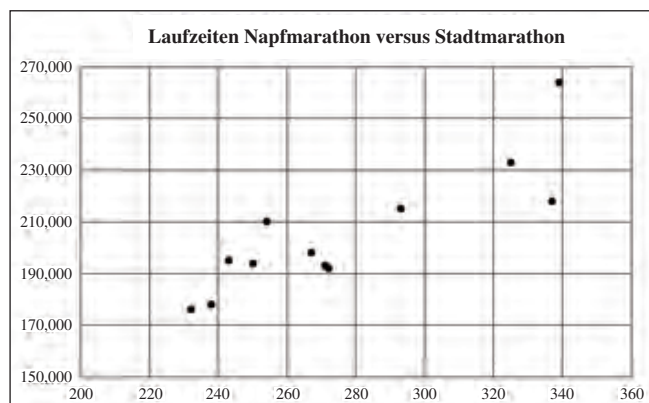


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen den Laufzeiten beim Napfmarathon(x-Achse) und beim Stadtmarathon (y-Achse), $r = 0,87$, $R^2 = 0,7538$ (n = 16)

Diskussion

Wie die Korrelationsanalyse zwischen den Laufzeiten zwischen dem Napfmarathon und dem Stadtmarathon verdeutlicht, besteht ein enger Zusammenhang zwischen den gelaufenen Zeiten im bergigen Gelände versus der flachen Strecke im urbanen Gelände, was sich auch bei den Halbmarathonzeiten fortsetzt. Dies verdeutlicht, dass für die untersuchte Stichprobe von Läuferinnen und Läufern vergleichbare Leistungen für die beiden untersuchten Laufveranstaltungen resultieren.

Es ist festzustellen, dass unter Anwendung des Konzepts des Leistungskilometers tiefere durchschnittliche Kilometerzeiten resultieren. In diesem Kontext muss auch darauf verwiesen werden, dass die absolute Leistung des Napfmarathons aufgrund der zusätzlichen Steigungen als – je nach Betrachtungsweise – bis zu einem Drittel grösser ist, was zu höheren durchschnittlichen Kilometerzeiten führen sollte [18]. Als Vergleich, als Faustformel errechnet sich die Marathonzeit aus der Halbmarathonzeit mit dem Faktor 2,11, was bei einer Halbmarathonzeit von 90 Minuten zu durchschnittlich 15 sec höheren durchschnittlichen Kilometerzeiten führt. Entsprechend sollten die durchschnittlichen Kilometerzeiten für den Napfmarathon tendenziell nur aufgrund der total grösseren Leistung in diesem Bereich höher sein [1,17]. Es darf festgehalten werden, dass das Leistungskorrelat von 100 Höhenmetern bergauf und 150 Höhenmetern bergab bei Steigung grösser 20% im Verhältnis zu einer flachen Strecke tendenziell zu tiefe durchschnittliche Kilometerzeiten zur Konsequenz hat [1,17]. Interessanterweise resultieren jedoch bei ausschliesslicher Berücksichtigung der Aufstiege sowohl für die Subpopulation der Marathonläufer als auch für die Subpopulation der Halbmarathonläufer weniger als 5 sec Differenz pro km respektive Leistungskilometer. Aus dem Grund empfehlen wir, für die Berechnung der Laufzeiten bei Laufveranstaltungen im bergigen Terrain ausschliesslich die Höhe des Aufstiegs für Berechnungszwecke zu verwenden. Diesem Grundsatz wird beispielsweise im Orientierungslaufen schon lange gefolgt. Insbesondere für Betrachtungen im Mittelland, Jura oder ganz allgemein in wenig schwierigem Gelände darf es durchaus in Erwägung gezogen werden, die absolvierte Höhendifferenz beim Talwärtslaufen nicht zusätzlich hinzuzuzählen, sondern ausschliesslich die Höhe und die Strecke als Grundlage der Marschzeitberechnung miteinzubeziehen. Das Konzept des Leistungskilometers wurde für das Bergwandern und insbesondere auch für grössere Gruppen zur Abschätzung der benötigten Zeit für eine Bergtour entwickelt. Wir erachten dieses Konzept trotz dieser divergierenden Analysen für den Laufsportbereich als ausserordentlich hilfreiches Abschätzungsinstrumentarium. Für individuelle Berechnungen empfehlen wir, zusätzlich Erfahrungswerte des Teilnehmenden miteinzubeziehen, um die Marschzeit respektive Laufzeit optimal berechnen zu können. Wir gehen davon aus, dass dieses Konzept gerade auch bei heterogenen Gruppen approximativ gute Ergebnisse liefert und empfehlen aus diesen Gründen dessen Verwendung.

Praktische Implikationen

- Das Konzept des Leistungskilometers stellt grundsätzlich ein valides Mittel zur Abschätzung der benötigten Zeit zur Absolvierung einer Distanz im hügeligen und bergigen Gelände dar.

- Die kumulative Berechnung mit Hilfe des Leistungskilometerkonzeptes (ein Leistungskilometer für einen km Horizontaldistanz plus ein Leistungskilometer für 100 Höhenmeter Aufstieg plus ein Leistungskilometer für 150 Höhenmeter Abstieg bei grosser Steigung) führt tendenziell eher zu einer Überschätzung der benötigten Laufzeit im Vergleich zu einer reinen Flachdistanz.
- Gute Ergebnisse konnten im Rahmen unserer Berechnungen gefunden werden, wenn nur zusätzlich zur absolvierten Horizontaldistanz die Höhe des Aufstiegs berücksichtigt wird und auf das zusätzliche Element der Höhe des Abstiegs verzichtet wird.

Korrespondenzadresse:

Dr. med Benedikt Gasser, Institut für Anatomie
Swiss Health & Performance Lab
Baltzerstrasse 2, 3000 Bern 9

Literatur

- 1 Steffny H. Optimales Lauftraining. Südwestverlag, München, 2010.
- 2 BASPO. J+S-Handbuch Lagersport/Trekking. Bundesamt für Sport, Magglingen, 2013.
- 3 Winkler K, Brehm HP, Haltmeier J. Bergsport Sommer. Bern, SAC-Verlag, 2. Aufl.; 2008.
- 4 Winkler K, Brehm HP, Haltmeier J. Bergsport Winter. Bern, SAC-Verlag, 2. Aufl.; 2008.
- 5 Tobler W. Non-isotropic geographic modeling. National Center for Geographic Information and Analysis: Santa Barbara, CA. 1993.
- 6 Magyari-Saska Z, Dombay S. Determining Minimum Hiking Time using DEM. *Geographica Napocensis Anul.* 2012;82(4):124-129.
- 7 Scarf P. Route choice in mountain navigation, Naismith's rule, and the equivalence of distance and climb. *J Sports Sci.* 2007;25(6):719-26.
- 8 Minetti AE, Moia C, Roi GS, Susta D, Ferretti G. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *J Appl Physiol* 2002 Sep;93(3):1039-46.
- 9 Langmuir E. Mountaincraft and Leadership. Official Handbook of the Mountain Leader Training Boards of Great Britain and Northern Ireland. Britain & Scottish Sports Council, Edinburgh Scotland, 1984.
- 10 Vernillo G, Schena F, Berardelli C, Rosa G, Galvani C, Maggioni M, Agnello L, La Torre A. Anthropometric characteristics of top-class Kenyan marathon runners. *J Sports Med Phys Fitness.* 2013;53(4):403-8.
- 11 Gatterer H, Schenk K, Wille M, Raschner C, Faulhaber M, Ferrari M, Burtcher M. Race performance and exercise intensity of male amateur mountain runners during a multistage mountain marathon competition are not dependent on muscle strength loss or cardiorespiratory fitness. *J Strength Cond Res.* 2013;27(8):2149-56.
- 12 Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T. Race performance in male mountain ultra-marathoners: anthropometry or training? *Percept Mot Skills.* 2010;110(3.1):721-35.
- 13 Hoppeler H, Howald H, Conley K, Lindstedt SL, Claassen H, Vock P, Weibel ER. Endurance training in humans: Aerobic capacity and structure of skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 1985;59:320-327.
- 14 Hoppeler H, Baum O, Mueller M, Lurmann G. Molekulare Mechanismen der Anpassungsfähigkeit der Skelettmuskulatur. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie.* 2011. 59 (1), 6-13.
- 15 Millet GY, Tomazin K, Verges S, Vincent C, Bonnefoy R, Boisson RC, Gergelé L, Féasson L, Martin V. Neuromuscular consequences of an extreme mountain ultra-marathon. *PLoS One.* 2011;22;6(2):17-59.
- 16 Heinrich D, Burtcher J, Burtcher M. Effects of individual aerobic performance on finish time in mountain running. *Percept Mot Skills.* 2012;114(3):979-82.
- 17 Steffny H. Das grosse Laufbuch. Südwestverlag, München, 2008.
- 18 Zintl F. Ausdauertraining: Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung. Wien; Zürich, BLV, 4. Aufl; 1997.