

Andreas Stöckl / Stephan Selinger

Ermüdung bei AusdauerläuferInnen

125 - Sportforschung in Österreich

Abstract

Wir untersuchen die Prognose von Laufzeiten im Ausdauersport, indem die Ermüdung modelliert wird. Dabei werden aus kürzeren Distanzen die Ergebnisse bis hin zum Marathon berechnet. Im Gegensatz zu bisherigen Arbeiten, die überwiegend Daten aus dem Spitzensport verwendet haben, untersuchen wir Resultate aus dem Hobbysport und vergleichen diese mit den Daten aus Weltrekorden.

Keywords:

Ausdauersport, Laufen, Ermüdung, Geschlechtsunterschiede

1. Ausgangssituation

Erfahrungsgemäß setzen viele HobbyläuferInnen zur Vorbereitung auf Wettkämpfe sogenannte Wettkampfzeitrechner (z. B. <http://www.runnersworld.de/wettkampfzeit>) ein, um eine Abschätzung der im Wettkampf zu erreichenden Zeit und damit der zu laufenden Geschwindigkeit zu bekommen. Diese vielfach im Internet verfügbaren Rechner bauen auf der Beobachtung auf, dass je länger eine Renndistanz ist, desto langsamer diese auch gelaufen werden muss, um eine frühzeitige Ermüdung zu vermeiden.

Der Ausdruck, der angibt, um wieviel langsamer gelaufen werden muss, wird vielfach aus Weltrekordzeiten für übliche Laufdistanzen wie 1500m, 5km, 10km, Halbmarathon und Marathon gewonnen. Beispielsweise leitete Kennelly bereits 1906 aus Weltrekorddaten ab, dass eine Verdoppelung der Renndistanz zu einer Zunahme der Laufzeit um 118% führt (Kennelly 1906, Billat et al. 1999).

Es stellt sich daher die Frage, ob die auf empirisch ermittelten Formeln basierenden Wettkampf-rechner auch im Hobbysport erfolgreich eingesetzt werden können, zumal sich hier die Trainings- und Rennbedingungen – und somit die erreichbaren Laufzeiten – vom Hochleistungssport grundlegend unterscheiden können.

Auch stellt sich für HobbyläuferInnen die Frage, welche der im Internet verfügbaren Wettkampfrechner verwendet werden sollen, welche also die genaueste Prognose erzielen, da unrealistische Ziele vermieden werden sollten. Wir wollen daher einige der im Internet frei verfügbaren Wettkampfrechner vergleichen und für Wettkämpfe im Bereich zwischen 5km und Marathon untersuchen, ob die den Wettkampfrechnern zugrundeliegenden Modelle auch für HobbysportlerInnen gelten.

Für den Vergleich stehen die auf der Website www.laufranking.at seit Januar 2013 gesammelten Ergebnisse von beinahe allen wichtigen Volkslaufveranstaltungen in Österreich zur Verfügung.

2. Related Work

Riegel (1981) analysierte die Leistungen von AusdauersportlerInnen auf Basis von Weltrekorden 1979. Dabei stellte er für das Laufen und andere Sportarten einen Zusammenhang zwischen Durchschnittsgeschwindigkeit und Distanz her. Dieser wird durch ein einfaches Potenzgesetz der Form $t = ax^b$ beschrieben, wobei x die zurückgelegte Distanz und t die Zeit bezeichnen. Der Parameter b gibt dabei den Ermüdungsfaktor an, der Parameter a widerspiegelt die gewählten Einheiten und ist daher ohne Belang für uns. Kennt man die Laufzeit t_1 einer bekannten Distanz x_1 , dann kann man die prognostizierte Zeit mit $t_2 = t_1(x_2/x_1)^b$ angeben. Die von Riegel berücksichtigten Distanzen befinden sich zwischen 1.5km und 42.2km.

Das Modell von Cameron (1998) ist, ähnlich zu Riegel, auf nationalen und internationalen Spitzenleistungen von Männern basierend (White 2007) und berücksichtigt Distanzen zwischen 400m und 50 Meilen. Das Modell von Purdy (1970) basiert auf Weltrekorddaten und berücksichtigt Distanzen von 100m bis 100km (Noakes 2001, White 2007). Osler (1978) gibt ein Nomogramm für Distanzen zwischen einer Meile und dem Marathon an, beschreibt jedoch nicht, wie dieses ermittelt wurde. Auch werden Erfahrungswerte herangezogen, wie beispielsweise in Galloway (2006), die angeben, dass man zu der Laufgeschwindigkeit, die bei einem Lauf über eine Meile gehalten werden kann, 33 Sekunden addiert und somit die Laufgeschwindigkeit für einen 5km-Lauf erhält. Diese mit 1,15 multipliziert ergibt die Geschwindigkeit für 10km, für den Halbmarathon und Marathon sind die Multiplikatoren 1,2 und 1,3.

Die Faustregel von Anderson (2013) besagt, dass die Laufgeschwindigkeit eines 5km-Laufs 16 Sekunden/Meile schneller ist als ein 10km-Lauf, ein 10km-Lauf 4 Sekunden/400m schneller als ein Halbmarathon, und ein Halbmarathon 16 Sekunden/Meile schneller als ein Marathon gelaufen werden kann. Daneben existieren physiologische Modelle, die auf dem Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme, die bei einer bestimmten Distanz gelaufen werden kann, basieren. Am bekanntesten ist das Modell von Daniels/Gilbert (1979), ähnlich dazu die Modelle von Davies/Thompson (1979) und Mercier et al (1986). Daniels/Gilbert geben zwei Regressionsgleichungen an, mit denen einerseits die aktuelle Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit ($VO_2 = -4.60 + 0.182258v + 0.000104v^2$; VO_2 in ml/kg, v in m/min) und andererseits der Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit der Laufzeit angegeben wird ($\% = 0.8 + 0.1894393e^{-0.012778t} + 0.2989558e^{-0.1932605t}$, t in Minuten).

3. Methode

Wir überprüfen, ob der von Riegel angegebene Zusammenhang auch für HobbysportlerInnen bei Ausdauerläufen gilt, und wie die Ermüdungsparameter im Vergleich zu den aus den Weltbestzeiten gewonnenen sind. Dazu wurden die auf der Website www.laufranking.at von Januar 2013 bis Mai 2015 gesammelten Daten ausgewertet. Es wurden jeweils die 50 Frauen und Männer für die

Auswertungen betrachtet, die 2015 die meisten Punkte in diesem Ranking gesammelt hatten und damit an vielen Bewerben teilgenommen hatten. Diese Personen haben damit in dem Zeitraum von fast zweieinhalb Jahren viele Gelegenheiten gehabt, der persönlichen Bestleistung nahe zu kommen. Für alle diese Personen wurden ihre individuellen Rekorde im betrachteten Zeitraum über die Distanzen 5km, 10km, Halbmarathon und Marathon bestimmt. Für die weiteren Berechnungen wurden dann nur jene Männer und Frauen verwendet, die zumindest für 3 der 4 Distanzen einen Rekordwert hatten. Das ergab 73 Personen, davon 37 Männer und 36 Frauen. Insgesamt 36 Personen hatten Bestzeiten über alle 4 Distanzen.

4. Ergebnisse

Als erstes Resultat bestätigt sich der Zusammenhang von Laufdistanz und Zeit in Form des Potenzgesetzes von Riegel auch bei den HobbyathletInnen. Tragen wir die Laufergebnisse zusammen mit den Regressionsgeraden in eine doppelt logarithmische Skala ein, wird der

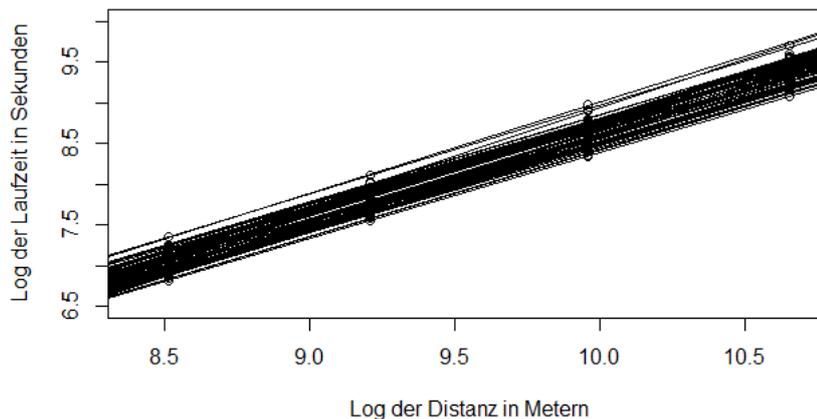


Abbildung 1

lineare Zusammenhang der Logarithmen und damit das Potenzgesetz für die Originaldaten bestätigt (Abbildung 1). Die Regressionskoeffizienten (R^2) liegen alle über 0,99. Die Geraden haben ähnliche Steigungen, die den Ermüdungsparameter darstellen. Die Verteilung der Ermüdungsparameter ist dabei auch durchwegs mit den Parametern aus den Rekordwerten in Einklang zu bringen.

Unsere Stichprobe hat einen Mittelwert von 1,082 und eine Standardabweichung von 0,035 (Abbildung 2). Riegel (1981) hat auf Basis der Laufrekorde von 1979 einen Ermüdungsparameter von 1,077 für Männer und 1,082 für Frauen errechnet.

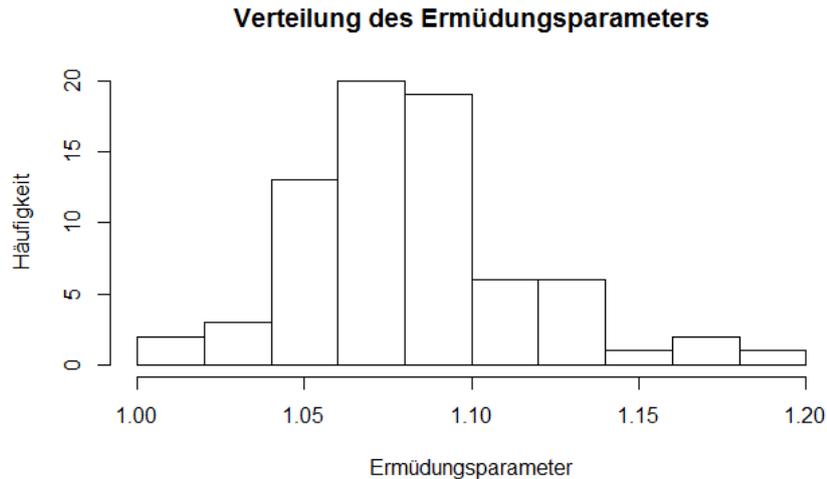


Abbildung 2

Wiederholt man die Berechnungen von Riegel (1981) mit den aktuellen Weltrekorden (2015) für 5km, 10km, Halbmarathon und Marathon, so ergibt sich für Männer ein Wert von 1,068.

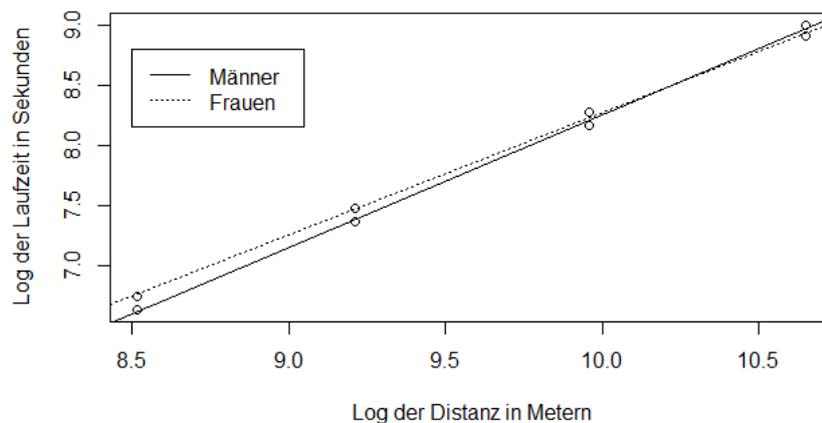


Abbildung 3

Für Frauen liegt der Wert mit 1,018 deutlich niedriger. Dies deutet, im Gegensatz zu den Werten von 1979, auf einen Unterschied zwischen den Geschlechtern hin.

Unsere Stichprobe von HobbyläuferInnen zeigt jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen Frauen und Männern hinsichtlich Ermüdung (Abbildung 3). Trennt man die Geschlechter, ergeben sich Mittelwerte von 1.084 für die Herren und 1,080 für die Damen (Abbildung 4). Hier zeigt sich also im Gegensatz zu den Weltrekorden kein signifikanter Unterschied.

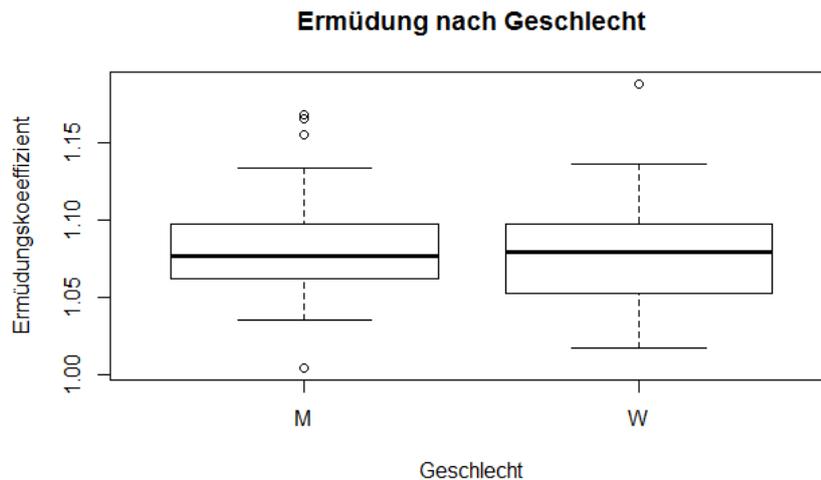


Abbildung 4

Wir untersuchen auch, ob das Geburtsjahr (Alter) und das Leistungsniveau (Bestzeit über 10km) der SportlerInnen einen Einfluss auf die Ermüdung hat. In unserer Stichprobe sind keine Hinweise dafür zu finden.

Wir verwenden nun das Modell $t = ax^b$ mit dem aus unserer Stichprobe geschätzten durchschnittlichen Ermüdungsparameter von 1,082 und prognostizieren für die 36 Personen in der Stichprobe für die bis zum Marathon alle Bestzeiten vorliegen, aus der 5km-Zeit die anderen Laufzeiten. Um die Qualität des Modells zu bestimmen, berechnen wir die Differenz zur gemessenen Bestzeit für alle Distanzen und Personen. Pro Laufkilometer liegt diese Abweichung bei durchschnittlich 10,38 Sekunden. Dies vergleichen wir mit den Heuristiken von Kennelly (1906) und Galloway (2006), sowie Daniels/Gilbert (1979) und betrachten dabei auch die Abweichung für die einzelnen Distanzen getrennt (Tabelle 1).

Modell	Gesamt	10km	Halbmarathon	Marathon
Riegel	10,38	6,58	10,27	14,31
Kennelly	22,98	32,55	21,55	14,84
Galloway	18,50	25,27	9,50	20,30
Daniels/Gilbert	25,18	10,31	19,58	45,65

Tabelle 1: Durchschnittliche Fehler der Modelle basierend auf der 5km-Zeit in Sekunden pro Laufkilometer.

Die Verteilungen der Fehler bei der Vorhersage der Marathonzeit basierend auf der Zeit über 5km zeigen, dass die Abweichungen der Modelle von Riegel (Abbildung 5d) und Kennelly (Abbildung 5c) um Null streuen, wohingegen bei Galloway (Abbildung 5b) die positiven Fehler etwas überwiegen und bei Daniels/Gilbert (Abbildung 5a) alle Fehler positiv sind. Für unsere Stichprobe rechnet also Galloway tendenziell zu schnelle und Daniels immer zu schnelle Endzeiten aus.

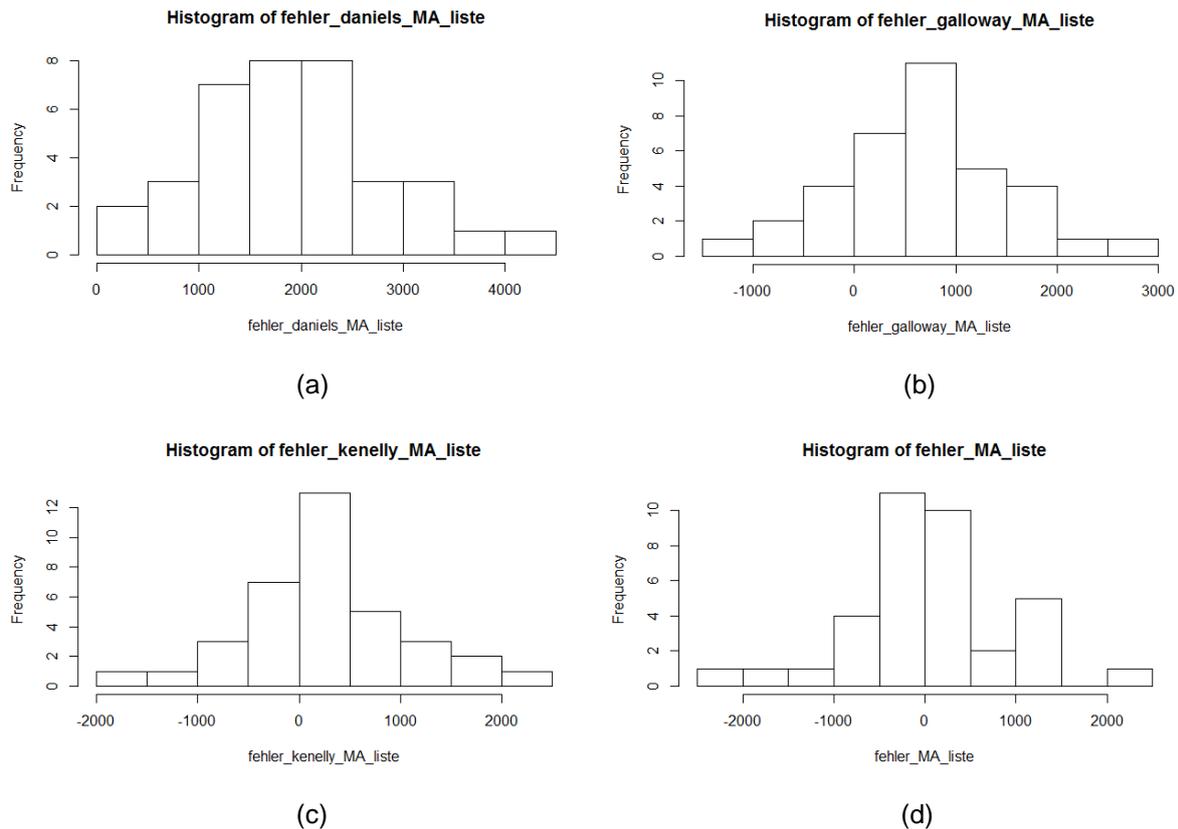


Abbildung 5.

5. Diskussion

Der grundlegende Zusammenhang wird von allen Modellen erfasst, wobei in unserer Stichprobe von HobbyläuferInnen das Potenzgesetz von Riegel (mit dem aus der Stichprobe durchschnittlich geschätzten Ermüdungsparameter von 1,082) den durchschnittlich kleinsten Fehler von 10,38 Sekunden pro Laufkilometer aufweist und das Modell von Daniels/Gilbert den größten Fehler mit 25,18 Sekunden. Das Histogramm in Abbildung 5a lässt vermuten, dass der Einsatz des Modells von Daniels/Gilbert im Hobbysport zur Prädiktion einer Marathonzeit basierend auf einer 5km-Zeit nicht zielführend ist, da hier immer unrealistisch niedrige Endzeiten vorhergesagt werden, einhergehend mit einer vorzeitigen Ermüdung. Aber auch bei der Vorhersage für kürzere Strecken können die Modelle nur als grober Richtwert und nicht als verbindliche Tempovorgabe dienen. So ist beispielsweise bei Riegel der durchschnittliche Fehler ca. 10 Sekunden pro Laufkilometer bei der Vorhersage der Halbmarathonzeit. Bei einem an der anaeroben Schwelle zu laufenden Wettkampf und einer typischen Laktatkurve von HobbyläuferInnen (z. B. Laktat 2 mmol/l bei 04:43 min/km, Laktat 3 mmol/l bei 04:17 min/km, individuelle anaerobe Schwelle bei Laktat 3,2 mmol/l bei 04:12 min/km, Laktat 4 mmol/l bei 04:05 min/km, Laktat 5 mmol/l bei 03:57 min/km) könnte durch den Fehler der Vorhersage eine Laufgeschwindigkeit vorgegeben werden, die ca. 1,8 mmol/l über der individuellen anaeroben Schwelle liegt.

Literaturliste/Quellenverzeichnis:

Kennelly, A. E. (1906): An approximate law of fatigue in the speeds of racing animals. Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences 1906

Billat, V. L., Morton, R. H. (1999): Time in human endurance models. From empirical models to physiological models. Sports Med 1999

Riegel P. S. (1981): Athletic Records and Human Endurance. American Scientist Volume 69, 285-290

Cameron, D. F. (1998): Time-equivalence Model. <http://www.cs.uml.edu/~phoffman/cammod.html> (27.11.2015)

White, A. L. (2007): Runner's log and predictive performance analysis. https://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-060107-132716/unrestricted/AlexWhite_MQP.pdf (27.11.2015)

Purdy, J. G. (1970): Computer Generated Track Scoring Tables. Medicine and Science in Sports Vol. 2, No.3 , pp 152-161

Noakes, T. D. (2003): Lore of Running. Human Kinetics

Osler, T. (1978): Serious runner's handbook: Answers to hundreds of your running questions. World Publications Mountain View.

Galloway, J. (2008): Galloway's 5K and 10K Running. Meyer & Meyer Sport (UK)

Anderson, O. (2013): Running Science. Human Kinetics

Daniels, J., Gilbert, J. (1979): Oxygen Power: Performance Tables for Distance Runners. http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.canibaisereis.com/ContentPages/2466959967.pdf (27.11.2015)

Davies, C. T., Thompson, M. W. (1979): Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1979 Aug; 41(4):233-45.

Mercier, D., Léger, L., Desjardins, M. (1984): Nomogramme pour prédire la performance, le VO₂max et l'endurance relative en course de fond. Médecine du sport, 58(4): 181-187, 1984.