

Everesting – wo liegt das Limit?

Dr. Benjamin Stauch, 04.07.2020

im Auftrag des Besenwagens

Nach Lachlan Mortons beeindruckendem 7h:30min Versuch Mitte/Ende Juni 2020 fragt man sich, was moeglich waere, wenn sich ein Grand Tour Fahrer an die Challenge wagen wuerde. Diese Frage laesst sich mittels Computer-Simulation basierend auf optimalen Verhaeltnissen und realistischen Leistungsdaten ziemlich genau beantworten.

Methode/Modell

Numerische Integration der *cycling power equation*. Radsport ist wahrscheinlich die Sportart, die am naechsten an Laborverhaeltnisse herankommt – alle wichtigen Faktoren lassen sich analytisch beschreiben. Wir verwenden eine Gleichung, die Geschwindigkeit und Leistung (in Watt) ins Verhaeltnis setzt und folgende Dinge beruecksichtigt:

Fahrer- und Systemgewicht, Rollwiderstand (Kombination aus Reifen und Strassenbelag), Steigung, Beschleunigung, Aerodynamik/Luftwiderstand (inklusive Position auf dem Fahrrad).

Die verwendete Formel ist Standard in Leistungsanalyse und Sportwissenschaft (Martin *et al.* 1998, J App Biomech 14(3)) und wird z.B. von Chung zur Feld-Analyse von Aerodynamik-Daten verwendet (siehe Seite 14, <http://anonymous.coward.free.fr/wattage/cda/indirect-cda.pdf>)

Bei der Simulation berechnen wir anhand der momentan erbrachten Leistung und der momentanen Steigung und Geschwindigkeit usw. eine Geschwindigkeitsaenderung, und das 100 Mal pro Sekunde.

Annahmen

Wir simulieren einen Everesting-Versuch, d.h. eine Fahrt hoch und runter auf derselben Strasse. Der Versuch endet bei genau 8848 Hoehenmetern und wir waehlen den Anstieg so, dass diese genau am Gipfel des letzten vollstaendigen Anstiegs erreicht werden (dh es sind keine teilweisen Anstiege noetig, und der Versuch endet oben auf dem Berg – eine zusaetzliche Bergabfahrt wuerde nur unnoetige Zeit kosten). Wir nehmen an, dass der Fahrer eine konstante Leistung bringt, die nahe an seinem physiologischen Optimum ist. Es gibt keine Pausen, und das Gewicht des Fahrers ist konstant. Wir nehmen auch an, dass die Steigung konstant ist und nicht fluktuiert – jede Fluktuation wuerde den Fahrer verlangsamen.

Effekt der Hoehe

Die Hoehe, auf der ein Versuch stattfindet, beeinflusst die noetige Zeit auf zwei Arten: sie macht den Fahrer langsamer aufgrund des geringeren Sauerstoffgehalts (das ist vom Hoehentraining bekannt und gut untersucht – so fuehlen sich 5.5 W/kg auf Meereshoehe so an wie 5.0 W/kg auf 2200 Metern Hoehe. Andererseits macht sie den Fahrer schneller, da insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten (bergab) die Aerodynamik limitierend wird, und der Luftwiderstand dabei eine grosse Rolle spielt (z.B. rollt man auf 2200 Metern Hoehe schnell mal mit 90 km/h bergab, waehrend derselbe Berg auf Meereshoehe nur 80 km/h zulassen wuerde). Diese beiden Faktoren halten sich allerdings nicht die Waage – der bremsende Effekt nimmt stark Ueberhand, da man bergauf laenger langsam ist, als man bergab schnell waere (wenn das Sinn macht). Meine Berechnungen nehmen beide Effekte (Leistungminderung und Verringerung des Luftwiderstandes) in die Berechnung.

Validierung – Modellierung von Lachlans 7:30 Versuch

Dankenswert auf Strava hochgeladen – Fahrgewicht 63 kg, 47 Wiederholungen eines 11,1% Anstieges, Ausgangshoehe 2240 Meter, 5,0 W/kg Leistung bergauf, bergab rollen lassen (0 W/kg). Darueberhinaus muessen wir einige Schaetzungen machen – Gewicht Fahrrad plus Kleidung und Verpflegung ist 8,5 kg, CdA Anstieg 0,325 (Bremsgriffe), CdA Abfahrt 0,25 (*aero tuck*), und er verliert bei jeder Wende unten 10 Sekunden durch Bremsen und Umdrehen (von ca. 90 km/h auf ca. 20 km/h, er hat Scheibenbremsen verwendet, das sollte also moeglich sein). Rollwiderstand (Crr) 0,0035 (Zeitfahrreifen auf neuem Asphalt haben 0,003, Conti Gatorskin auf normaler Strasse 0,004). *Drive train efficiency* 95,5% - ein Bahnrad (single speed) erreicht 97%, ein Strassenrad mit gebrauchter Kette vielleicht 95% (denke nicht dass er *ceramic speed* Lager oder spezielle Schaltroellchen hatte).

Mit all diesen Werten errechnet sich nach unserem Modell eine Everesting-Zeit von 7:17 – ziemlich nah dran! In Wirklichkeit war er etwa 3% langsamer – irgendwas ist halt immer (leichter Wind, Strassenverhaeltnisse). Insgesamt koennen wir mit einem Fehler von 2-3% leben – das bedeutet 10-15 Minuten auf die Gesamtlaeenge bezogen.

Wir koennen jetzt ein paar Parameter anpassen und “was waere wenn” spielen – das gibt uns ein Gefuehl dafuer, was einen schnellen Everesting Versuch ausmacht.

Was waere z.B. gewesen, wenn er nicht auf 2240 Metern, sondern auf Meereshoehe angefangen haette, und sonst alles gleich waere (Leistung, Berg usw.)? **Er waere ziemlich genau 30 Minuten schneller gewesen**, d.h. haette 7 Stunden gebraucht. Seine gemessene (und auf Strava hochgeladene) Leistung von 5.0 W/kg hat sich fuer ihn auf 2240 Metern Hoehe wie 5.5 W/kg angefuehlt – auf Meereshoehe waere er also um einiges schneller unterwegs gewesen.

Was, wenn der Berg weniger steil gewesen waere, z.B. nur 8%? **Er haette 50 Minuten laenger gebraucht.** Und bei 13% Steigung? **Er waere 20 Minuten schneller gewesen.**

Das (fast) einzig entscheidende

.. ist der Berg. Nicht steil genug, und man verliert zuviel durch unnoetige Distanz (im besten Fall geht die erbrachte Leistung fast nur dahin, Hoehe zu gewinnen, und wird kaum durch Rollwiderstand oder Aerodynamik verloren). Zu kurz (z.B. 100 oder mehr Wiederholungen notwendig) und man verliert zuviel Zeit beim Wenden nach der Abfahrt. Zu lang, und man buesst an Leistung ein, weil man zwangslaufig in der Hoehe endet – am Ende eines Anstiegs mit 2000 Hoehenmetern hat man eben praktisch schon 10% Leistung eingebuesst, und sobald man ueber 1000 Metern ueber N.N. ist, wird es schon substantziell (3-5%).

Der perfekte Berg ist so steil wie moeglich – wir setzen voraus, dass man eine geeignete Uebersetzung usw. hat (siehe weiter unten).

In meinen Berechnungen zeigt sich, dass es wohl ausreichend ist, einen Berg zu finden, den man 20 bis 50 Mal hochfahren muss – und dann so steil wie moeglich, idealer Weise ueber 15%. Unter 10 oder 11% braucht man es erst gar nicht versuchen. Ein solcher Berg ist 1,2 bis 2,7 km lang. Auf jeden Fall sollte man so niedrig wie moeglich, am besten auf Meereshoehe, anfangen. Lachlan hat also einen ganz guten Berg gefunden, bis auf die Anfangshoehe, und es super durchgezogen (W/kg maessig). Das beeindruckende ist nicht, dass er den Weltrekord gebrochen hat, sondern dass er es auf dieser Hoehe geschafft hat!

Was waere z.B. fuer Egan Bernal moeglich? Das “realistische Limit” – 6 Stunden 30?

Nehmen wir an, der Junge wiegt 60 kg und Sky stellt ihm ein Rad hin, plus Kleidung und Verpflegung 7,5 kg. Er faengt auf Meereshoehe an und faehrt bergauf konstant 5,8 W/kg (entspricht napp 90% einer angenommenen FTP von 6,5 W/kg), und laesst bergab rollen (das macht uebrigens weniger aus als man denkt – bei einem richtigen Berg hat man schnell 80 km/h erreicht, und dann macht treten auch keinen Unterschied mehr). Sein CdA bergauf ist 0,325 (Bremsgriffe), bergab 0,25 (*aero tuck*), und er verliert 10 Sekunden pro Wende nach der Abfahrt.

Hier eine Tabelle mit Kombinationen von Steigung und Anzahl an Wiederholungen (aus denen man die Laenge des Berges berechnen kann), und resultierenden Zeiten – alle Werte unter 6 Stunden 20 Minuten sind **optisch hervorgehoben** – die wuerden also noch 10 Minuten Puffer lassen fuer eine Gesamtzeit von sechseinhalb Stunden.

# LAPS:	100	75	50	25	20	15	10
10%	7:00	6:52	6:44	6:36	6:33	6:31	6:28
11%	6:46	6:38	6:30	6:22	6:20	6:18	6:15
12%	6:34	6:27	6:19	6:11	6:09	6:07	6:05
13%	6:25	6:18	6:10	6:02	6:01	5:59	5:57
14%	6:17	6:10	6:03	5:55	5:54	5:52	5:50
15%	6:11	6:04	5:57	5:50	5:48	5:46	5:45
16%	6:06	5:59	5:52	5:45	5:43	5:42	5:40

Wie man sieht, durchaus machbar! Selbst bei nicht optimaler Vorbereitung und Kompromissen bei der Auswahl des Berges / der Aussenbedingungen.

Was ist das "absolute" Limit?

60 kg Fahrer, 6 kg Fahrrad und Kleidung, CdA 0,3 bergauf (Unterlenker), 0,225 bergab (Pantani *aero tuck* hinter Sattel (beste!)), Rollwiderstand 0,003 (Zeitfahrreifen auf neuem Asphalt), *drive train efficiency* 97% (Bahnverfolgungs-Rad), 6,25 W/kg Leistung konstant bergauf **und** bergab (das waere schwierig bis unmoeglich bei der Sitzhaltung bergab, aber wie gesagt nicht besonders wichtig bei der ohnehin erreichten Geschwindigkeit).

# LAPS:	200	100	75	50	25	20	15	10	8
10%	6:15	6:04	6:00	5:57	5:53	5:52	5:50	5:48	5:47
11%	6:01	5:51	5:47	5:44	5:40	5:39	5:38	5:36	5:35
12%	5:50	5:40	5:37	5:34	5:31	5:30	5:29	5:27	5:26
13%	5:41	5:32	5:29	5:26	5:23	5:22	5:21	5:20	5:19
14%	5:34	5:25	5:22	5:20	5:17	5:16	5:15	5:14	5:14
15%	5:28	5:20	5:17	5:14	5:11	5:11	5:10	5:09	5:09
16%	5:22	5:15	5:12	5:10	5:07	5:06	5:05	5:05	5:05
17%	5:17	5:11	5:08	5:06	5:03	5:03	5:02	5:01	5:01
18%	5:14	5:07	5:05	5:03	5:00	4:59	4:59	4:58	4:58
19%	5:10	5:04	5:02	5:00	4:57	4:57	4:56	4:56	4:56
20%	5:07	5:01	4:59	4:57	4:55	4:54	4:54	4:54	4:54
21%	5:04	4:59	4:57	4:55	4:53	4:52	4:52	4:52	4:52
22%	5:01	4:57	4:55	4:53	4:51	4:50	4:50	4:50	4:50
23%	4:59	4:55	4:53	4:51	4:49	4:49	4:48	4:48	4:49
24%	4:57	4:53	4:51	4:50	4:48	4:47	4:46	4:47	4:47

Nach jetzigem Stand der Technik ist also ausgeschlossen, dass es jemals viel schneller gehen koennte als **5 Stunden** – die **“absolute Schallmauer”** und das **physikalische Limit**. Die Wahrheit liegt also irgendwo zwischen 5 Stunden und 6:30 – wo genau, haengt weniger von der Leistung als vielmehr vom perfekten Berg ab, und das Ende der Fahnenstange ist noch laengst nicht erreicht!!

Wie liegen die Chancen eines Normalsterblichen, den bestehenden Rekord zu brechen?

(Momentan) ueberraschend gut! Man muss “nicht mal” 5,0 W/kg bringen, **wenn man den richtigen Berg findet**. Gehen wir davon aus, das sein Fahrer 61,5 kg wiegt, Fahrrad plus Kleidung usw. 8,5 kg (also 70 kg Systemgewicht), Rollwiderstand vergleichbar mit Conti GP 4000 auf normaler Strasse (Crr 0,00375), *drive train efficiency* 95,5%, Cda 0,375 (Oberlenker, oder Bremsgriffe stehend) bergauf und 0,3 (lockere Unterlenkerhaltung) bergab.

Versucht solch ein Fahrer sich am Weltrekord auf einem Segment wie z.B. einem Teilstueck des **Scanupia in Sued-Tirol** (<https://www.strava.com/segments/4193664>), Ausgangshoehe etwa 800 Meter ueber N.N., **24 Wiederholungen a 1,6 km bei 23% Steigung**, Abfahrt rollen lassen (0 W/kg) und dann Abfahrtstempo konstant auf 50 km/h (sollte moeglich sein auch wenn es nicht nur geradeaus geht), dauert knapp 2 Minuten (nutzbar zur Regeneration), plus 10 Sekunden Zeitverlust pro Wende nach Abfahrt – sieht man, dass “nur” A-Klasse bis Conti-FTP-Niveau als Netto-Power benoetigt wird, um den **Rekord** zu knacken (Zielzeit 7 Stunden 15 Minuten, also dasselbe, was mein Modell fuer den bestehenden Morton-Versuch vorhergesagt hat).

W/kg	Gesamtzeit	pro Anstieg	km/h Anstieg	Uebersetzung fuer 70 rpm	22 vorne, ?? hinten
4,0	8:22	0:18:52	5,1	0,563	41
4,1	8:11	0:18:24	5,2	0,577	40
4,2	8:00	0:17:58	5,3	0,592	39
4,3	7:50	0:17:33	5,4	0,606	39
4,4	7:41	0:17:09	5,6	0,620	38
4,5	7:32	0:16:47	5,7	0,633	37
4,6	7:23	0:16:25	5,8	0,647	36
4,7	7:15	0:16:04	5,9	0,661	35
4,8	7:07	0:15:44	6,1	0,675	35
4,9	6:59	0:15:25	6,2	0,689	34
5,0	6:52	0:15:07	6,3	0,703	33

Hier verlassen wir die rein physikalische Ueberlegung und muessen Erkenntnisse aus den Trainingswissenschaften mit einbeziehen. Laut Dr Andrew Coggan sind Ausdauerleistungen (3

bis 8 Stunden) von 80-90% FTP denkbar. Der Rekord waere also greifbar fuer einen Elite-Amateur oder Conti-Profi mit FTP von 5,2-5,3 W/kg, der es schafft, unter optimalen Bedingungen und am perfekten Berg konstant 4,6 W/kg auf's Pedal zu bringen. Die vorgeschlagenen Pacing-Strategie (16 Minuten Belastung, 2 Minuten Erholung; knapp 20 Minuten zusaetzlicher Puffer) ist natuerlich nur bedingt zur Regeneration geeignet, und Vorbereitung und Verpflegung (vor und waehrend des Versuchs) muessten daher sehr spezifisch sein.

Die benoetigte Uebersetzung, um einigermaßen rund zu treten (70er Kadenz), ist fuer diesen Berg also eher im Mountainbike-Bereich angesiedelt, stellt also eine gewisse technische Herausforderung dar, die aber durchaus machbar ist – schliesslich wird nur ein einziger Gang benoetigt, und bergab laesst man eh komplett laufen. Vielleicht liesse sich ein Single-speed (natuerlich nicht Fixie) bauen mit 22x36 und gerader Kettenlinie – das waere auch effizienter als angenommen (*drive train efficiency*), und wuerde deshalb nochmal 3 bis 5 Minuten sparen (und evtl Gewicht verringern). Die Scanupia-Ausgangshoehe von ca 800 m ueber N.N. bedeutet, dass man 3-5% Leistung einbuesst – eine auf dem Powermeter angezeigte Ziel-Leistung von **4,5-4,6 W/kg** koennte also ausreichend sein, um den Rekord zu brechen.

Das ist natuerlich kein Allerwelts-Berg dort in Tirol - wem das also zu unrealistisch ist, fuer den gibt es hier in Kalifornien eine der steilsten Meilen: Yerba Buena / Yellow Hill Road in den Santa Monica Mountains, 1,6 km bei durchschnittlich 15,3%, 36 Wiederholungen ab Ausgangshoehe von etwa 500 m. Fuer unseren hypothetischen 61,5 kg Fahrer wuerde sich das wie folgt abspielen:

W/kg	Gesamtzeit	pro Anstieg	km/h Anstieg	Uebersetzung fuer 70 rpm	36 vorne, ?? hinten
4,0	8:36	0:12:31	7,7	0,854	42
4,1	8:25	0:12:13	7,9	0,875	41
4,2	8:15	0:11:56	8,0	0,896	40
4,3	8:05	0:11:39	8,2	0,917	39
4,4	7:55	0:11:24	8,4	0,938	38
4,5	7:46	0:11:09	8,6	0,959	38
4,6	7:38	0:10:55	8,8	0,980	37
4,7	7:30	0:10:42	9,0	1,000	36
4,8	7:22	0:10:39	9,2	1,021	35
4,9	7:14	0:10:16	9,3	1,042	35
5,0	7:07	0:10:04	9,5	1,063	34

Mit Standard Kompaktkurbelgarnitur Weltrekord bei knapp 4,8 W/kg!

Abschliessende Bemerkungen

Unser Modell erlaubt es uns auch, den Effekt von Wind mit einzubeziehen – da man die meiste Zeit bergauf und langsam verbringt, und Wind nur bei relative hoher Geschwindigkeit eine Auswirkung auf den effektiven Luftwiderstand eines Fahrers hat, koennen wir ihn bei unserer Berechnung vernachlaessigen. In der Tat spielt es kaum eine Rolle, solange es nur eine leichte bis mittlere Briese oder weniger ist (Beaufort Skala 2 bis 3). Normalerweise macht Wind eher langsamer – also meistens am besten, wenn es Windstill oder hoechstens 5-6 km/h Wind hat – aber abhaengig vom Berg, Steigungsprozenten und Pacing-Strategie kann man den “optimalen” Wind errechnen. Fuer unseren 61,5 kg-Fahrer mit 4,7 W/kg auf Scanuppia liesse sich mit optimalem Wind (ca. 6 km/h **Gegenwind** bergauf) weniger als eine Minute rausholen, und das auch nur, weil wir davon ausgehen, dass bergab gar nicht getreten wird, und solch ein bergauf-Gegenwind unsere Abfahrt schneller auf die 50 km/h Hoechstgeschwindigkeit bringen wuerde). Also Wind einfach vergessen!

Ein anderer Umwelteinfluss ist Aussentemperatur – unser barometrisches Modell nimmt eine Aussentemperatur von etwa 10 Grad Celsius auf 800 Metern Ausgangshoehe an. Waermer als das, und der Luftwiderstand verringert sich, was aber nur auf der Abfahrt eine Rolle spielen wuerde und auch nur dann, wenn wir unsere Maximal-Geschwindigkeit nicht auf 50 km/h begrenzt haetten. Temperatur ist also auch praktisch egal hier – am besten ist, was die Leistungsfahigkeit des Athleten nicht negativ beeintraehtigt, also nicht zu warm, nicht zu kalt. In der Praxis kann man immer einen Tag aussuchen, an dem der Luftdruck nicht zu hoch ist, aber das spielt am Ende kaum eine Rolle.