

Manfred Nüscheler, Bern

# Leistungsfähigkeit auf dem Rad am Berg: Vergleich zwischen Marco Pantani und Hobbyfahrern

## Zusammenfassung

Mit Hilfe der Formeln und Tabellen in diesem Artikel kann jeder Radfahrer seine Zeit für eine beliebige Bergfahrt berechnen und auch Marschtabelle erstellen. Es ist auch möglich, seine eigenen Bestwerte mit den (hochgerechneten) Zeiten von Marco Pantani, dem weltbesten Bergfahrer, zu vergleichen. Aus der relativen Leistung des Fahrers (Watt/kg Körpergewicht inkl. Velo und Bekleidung) und den Streckendaten wird die Fahrzeit berechnet. Der Streckenrekord Marco Pantanis für die 14,5 km Bergstrecke von Alpe d'Huez mit 1130 Höhenmetern beträgt 37:35 min. Ein mittelmässiger Hobbyfahrer muss auf dieser Strecke mit einer Zeit von etwa 90 Minuten rechnen. Jedes unnötige Kilogramm, das man am Berg mitschleppt, verursacht zudem einen Zeitverlust von etwa 1–1,5%.

## Summary

Uphill cycling performance: a comparison between Marco Pantani and recreational bikers

Using the formulas and tables presented in this article, every recreational biker is able to estimate his personal time for any uphill cycling circuit. It is also possible to compare the personal best performance with the (extrapolated) performance level of the world's best uphill cyclist, Marco Pantani. Times are calculated taking into account the relative endurance capacity of the rider (i. e. Watts per kg body weight, including the equipment) as well as the data of the mountain circuit. For example, the best performance on the classical ascent in the Tour de France on the Alpe d'Huez, 14.5 km with 1130 m climbing, is held by Marco Pantani with 37:35 mins. A moderately trained recreational biker will have around 90 mins for the same ascent. Every additional kg of weight that has to be beared uphill, will cause a slowing of speed and time of approximately 1 to 1.5 %.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 49 (2), 79–81, 2001

Viele haben sich sicher schon gefragt, wie man die Zeit eines Radfahrers am Berg berechnet. Mit Hilfe der folgenden Formeln und Tabellen kann jede/r Radfahrer/in seine Zeit für eine beliebige Bergfahrt berechnen. Mit diesen Hilfsmitteln können auch Marschtabelle erstellt werden. Zudem kann man seine Tretkünste mit Marco Pantani, dem weltbesten Bergfahrer, vergleichen.

Diese Formeln liefern Annäherungs-Berechnungen und nicht wissenschaftlich exakte Resultate. In der Regel stimmen aber die Ergebnisse ziemlich genau, sofern der Wert

«Relative Dauerleistung in Watt pro kg Körpergewicht inklusive Velo und Bekleidung»

mit einem geeichten Gerät (Velo-Ergometer, mobiles Leistungsmessgerät für Fahrräder) oder durch eine präzise Berechnung ermittelt wurde.

## Grundlagen der Berechnung

Mit einem Leistungstest, einer Dauerleistungsmessung oder einer Leistungsberechnung muss die relative Leistung in Watt pro kg Körpergewicht (inklusive Velo und Bekleidung) ermittelt werden. Zudem müssen natürlich die Daten der Strecke bekannt sein. Wer seine relative Leistung in Watt pro kg Körpergewicht (inklusive Velo und Bekleidung) auf einer Bergstrecke korrekt gemessen und berechnet hat, kann mit den nachfolgenden Formeln seine zu erwartende Zeit für jede Bergstrecke ermitteln.

Bekannt sind die relative Leistung in Watt pro kg Körpergewicht (inklusive Velo und Bekleidung) des Radfahrers und die Streckendaten.

1997 erreichte Marco Pantani (172 cm, BMI 18,9, 56 kg, inkl. Velo und Bekleidung: 65 kg) bei seiner Rekordfahrt nach Alpe d'Huez (37:35 min oder 2255 sec für 14,5 km und 1130 Höhenmeter) eine mittlere Leistung von 403 Watt ( $\pm 10$  Watt). [1]

Diese Leistung berechnet sich mit dieser Formel:

Leistungsberechnung (P, Durchschnittswerte)

P, Höhenunterschied m g h/t	$65 \times 9,81 \times 1130 : 2255$	= 319 Watt
P, Rollreibung m g v fr	$65 \times 9,81 \times 6,43 \times 0,008$	= 33 Watt
P, Luftreibung CwA/2 d v <sup>3</sup>	$0,25 : 2 \times 1,05 \times 6,43 \text{ hoch } 3$	= 35 Watt
P, innere Reibung 4% der PT	(inklusive Schwingungen)	= 16 Watt
P, Total	Absolute Dauerleistung	= 403 Watt

Die weiteren relevanten Daten für diese Berechnung:

Erdbeschleunigung, g: 9,81 m/s<sup>2</sup>, Geschwindigkeit, v: 23,2 km/h oder 6,43 m/sec, Rollreibungszahl, fr: 0,008, Luftwiderstandszahl x Querschnitt, CwA: 0,25 m<sup>2</sup>, Luftgewicht, d: 1,05 kg/m<sup>3</sup>.

Relativ zum Körpergewicht inklusive Velo und Bekleidung ergibt das für Marco Pantani eine mittlere Dauerleistung von 6,2 Watt/kg (403 Watt : 65 kg = 6,2 Watt/kg). Dies ist ein Rekordwert. Die folgende Tabelle zeigt, wie hoch die relative Leistung (inklusive Velo und Bekleidung) der verschiedenen Fahrertypen etwa ist.

Tabelle 1: Erfahrungswerte: Dauerleistung pro kg Körpergewicht inkl. Velo und Bekleidung (Watt/kg)

(Die Werte sind um 10–15% tiefer, als wenn der geläufigere Wert Watt/kg Körpergewicht betrachtet wird.)

Männer Fahrertyp	Watt/kg: Dauerleistung pro kg Körpergewicht inkl. Velo und Bekleidung	Frauen Fahrerintertyp
Marco Pantani, Rekordwert	6,2	–
Radprofi, starker Elitefahrer	mindestens 5	–
Rennfahrer	4–5	starke Elite- fahrerin
Hobby-Rennfahrer	3–4	Rennfahrerin
Tourenfahrer	2–3	Tourenfahrerin
Gelegenheits- sportler (wenig Ausdauer trainiert)	weniger als 2	Gelegenheits- sportlerin (wenig Ausdauer trainiert)

**Bestimmen der Dauerleistung (30–90 min) durch Langzeittest**

Die Leistung an der anaeroben Schwelle (AS) kann durch einen Conconi- oder Stufentest ermittelt werden [2]. Dieser Test liefert aber keinen Hinweis darauf, wie lange man welche Leistung erbringen kann. Um dies herauszufinden, muss man einen Langzeittest (30–90 min) auf dem Veloergometer durchführen. Wenn man ein mobiles Leistungsmessgerät für Fahrräder besitzt (z.B. SRM oder ERGOMO) [3], kann man diesen Wert auch mit dem Velo auf der Strasse messen.

Es gilt nun aus dieser relativen Leistung des Fahrers und den Streckendaten die Fahrzeit zu berechnen.

Mit der folgenden Formel kann man dann auch Zeitprognosen für Bergstrecken aufstellen, welche noch nie befahren wurden.

**Formel für die Berechnung der Fahrzeit in Sekunden**

$$(d \text{ fr} + h) \text{ g/Pr F} = t$$

Die Distanz, multipliziert mit dem Rollreibungsfaktor, muss zum Höhenunterschied addiert werden. Diesen Wert dividiert man durch die relative Leistung. Das Ergebnis muss mit g und mit einem Faktor, der den Luftwiderstand und die mechanische Reibung (beides Erfahrungswerte) berücksichtigt, multipliziert werden.

**Vereinfachung:**

Da die meisten Fahrer ihren aerodynamischen Wert (CwA-Wert) sowieso nicht kennen und weil der CwA-Wert während der Bergfahrt dauernd ändert, wird die Rechnung vereinfacht, indem der Luftwiderstand und der mechanische Wirkungsgrad durch einen Faktor F ersetzt wird.

**Marco Pantani, Fahrt nach Alpe d’Huez anlässlich der Tour de France 1997**

Schlusssteigung der 13. Etappe der Tour de France (St-Etienne–Alpe d’Huez) vom 19. Juli 1997

Beginn der Strecke: Abbiegung zum Col du Lautaret bei Bourg-d’Oisans (720 m ü.M.)  
 Ende der Strecke: Alpe d’Huez (1850 m ü.M. Höhe des Etappenziels)  
 d, Distanz: 14 500 m

fr, Rollreibungszahl: 0,008 (mittlere Bergstrasse)  
 h, Höhendifferenz: 1130 m  
 g, Erdbeschleunigung: 9,81 m/s<sup>2</sup>  
 Pr, Relative Leistung pro kg: 6,2 Watt/kg (inkl. Velo und Bekleidung)  
 F, Faktor F: 1,14 Zuschlag für den Luftwiderstand und die mechanische Reibung, gemäss Tabelle 2  
 a, Durchschnittliche Steigung: 7,8% (100 h/d)  
 Maximale Steigung: 14%  
 t, Zeit in Sekunden: ? (der gesuchte Wert, d.h. das Ergebnis der Berechnung. Wie schon oben erwähnt, benötigte Marco Pantani 1997, bei seiner Rekordfahrt, 37:35 min oder 2255 sec.)

$$(14500 \times 0,008 + 1130) 9,81 : 6,2 \times 1,14 = 2248 \text{ sec oder } 37:28 \text{ sec}$$

(effektiv 2255 sec oder 37:35 min)

Die Differenz der berechneten zur effektiv gefahrenen Zeit beträgt also nur 7 Sekunden.

**Die Formel für die Berechnung der Steigung in Prozenten**

$$100 \text{ h/d} = a$$

Der Höhenunterschied muss mit 100 multipliziert werden und durch die Distanz geteilt werden.

$$100 \times 1130 \text{ m} : 14500 \text{ m} = 7,8\%$$

Tabelle 2: Faktor F (Zuschlag für den Luftwiderstand und die mechanische Reibung. Gültig für Steigungen mit durchschnittlich mindestens 5 Steigungsprozenten)

Mittlere Steigung in %	Faktor F (Luftwiderstand und mechanische Reibung)	Beispiele entsprechender Steigungen (Steilerer Anstieg bei Pässen)
5–5,5	1,23	Ofen
5,5–6	1,21	Bernina, Col des Mosses, Oberalp
6–6,5	1,19	Gotthard, Galibier, Sierra Nevada, Klausen
6,5–7	1,17	Brünig, Julier, Grimsel, Deux Alpes
7–7,5	1,15	Gavia, Stilsfer Joch, Lago de Covadonga, Susten
7,5–8	1,14	Alpe d’Huez, Tourmalet, Madeleine, Mont Ventoux
8–8,5	1,13	Grosse Scheidegg, Ibergeregg, Umbrail
8,5–9	1,12	Nufenen
9–9,5	1,11	Pampeago
9,5–10	1,10	Angliru
10–10,5	1,09	Mortirolo
10,5–11	1,08	

**Gewicht des Fahrrades**

Der folgende Absatz zeigt, dass das Gewicht des Fahrrades am Berg eine relativ grosse Rolle spielt. Hätte Marco Pantani ein um 2 kg schwereres Rennrad (konventionelles Rennvelo) verwendet, würde seine relative Leistung pro kg Körpergewicht inkl. Velo und Bekleidung nur 6,0 Watt/kg betragen.

$$403 \text{ Watt} : 67 \text{ kg} = 6,0 \text{ Watt/kg}$$

Für die Alpe-d’Huez-Strecke würde er jetzt etwa 38:40 min oder etwa 1:10 min (3%) mehr benötigen.

$(14500 \times 0,008 + 1130) 9,81 : 6,0 \times 1,14 = 2322 \text{ sec}$  oder 38:42 min  
(etwa 70 sec oder 1:10 mehr)

Jedes unnötige Kilogramm, das man am Berg mitschleppt, verursacht einen Zeitverlust von etwa 1–1,5%. Wiegt ein Rennfahrer inklusive Rennrad nur etwa 65 kg (so wie Marco Pantani), bringt eine Gewichtsersparnis von 1 kg am Velo einen Zeitgewinn von etwa 1,5%. Wiegt ein Tourenfahrer inklusive Rennrad etwa 100 kg, bringt eine Gewichtsersparnis von 1 kg am Rad nur einen Zeitgewinn von etwa 1%.

Der schwerste Tour-de-France-Finisher von 1998, der Schwede Magnus Backsted (192 cm, 96,5 kg, BMI 26,2), wiegt inklusive Rennrad und Bekleidung mindestens 105 kg. Er gewann eine Etappe im Sprint und beendete die Tour im 70. Rang von 189 gestarteten und 96 klassierten Fahrern. Sein Rückstand betrug «nur» 2:08:30 Stunden oder 2,3%. Am Berg zählte Backsted nicht zu den schwächsten, sondern zu den mittelmässigen Fahrern.

### Die Formel des Body Mass Index (BMI)

$\text{Kg} : \text{m} : \text{m}$

Das Körpergewicht in Kilogramm wird zweimal dividiert durch die Grösse in Metern.

$96,5 : 1,92 : 1,92 = 26,2 \text{ (BMI)}$

Wenn man ein Kilogramm an Körpergewicht durch Radtraining verliert, kann man nicht automatisch sagen, wie gross der Zeitgewinn am Berg ist. Denn eine Gewichtsreduktion hat in der Regel auch einen Leistungsverlust zur Folge. Wenn man leichter ist, fährt man am Berg meistens schneller. Wird aber ein tieferer Body-Mass-Index als 19 erreicht, kann eine Gewichtsreduktion auch kontraproduktiv sein.

### Tourenfahrer

Ein Tourenfahrer leistet etwa 2,5 Watt/kg Körpergewicht inkl. Velo und Bekleidung (Tabelle 1). Seine voraussichtliche Fahrzeit für die Steigung von Alpe d'Huez:

$(14500 \times 0,008 + 1130) 9,81 : 2,5 \times 1,14 = 5573 \text{ sec}$   
oder 92:53 min oder 1:32:53 h

Die voraussichtliche Fahrzeit dieses Tourenfahrers für die Alpe-d'Huez-Steigung beträgt somit etwa 1,5 Stunden. Er würde auf diesen 14,5 km Bergstrecke mehr als 50 Minuten auf Marco Pantani verlieren. Wenn Pantani im Ziel eintrifft, hätte der Gelegenheitsfahrer erst etwa 6 km zurückgelegt, sofern beide zum gleichen Zeitpunkt gestartet wären.

### Welche Zeit könnte ein Marco Pantani in Topform in der Steigung Airolo-Gotthard Hospiz erreichen?

Steigung während der 7. Etappe der Tour de Suisse (Locarno–Zug) vom 23. Juni 1997 [4]

Beginn der Strecke:	Airolo (1141 m ü.M.)
Ende der Strecke:	Gotthard Hospiz (2109 m ü.M.)
d, Distanz:	15 700 m
fr, Rollreibungszahl:	0,008 (mittlere Bergstrasse)
h, Höhendifferenz:	968 m
g, Erdbeschleunigung:	$9,81 \text{ m/s}^2$
Pr, Relative Leistung pro kg:	6,2 Watt/kg (inkl. Velo und Bekleidung)
F, Faktor F:	1,19 Zuschlag für den Luftwiderstand und die mechanische Reibung, gemäss Tabelle 2
a, Durchschnittliche Steigung:	6,2% (100 h/d)
t, Zeit in Sekunden:	?

$(15700 \times 0,008 + 968) 9,81 : 6,2 \times 1,19 = 2059 \text{ sec}$  oder 34:19 min

Diese Strecke könnte Marco Pantani also etwa in 34 bis 35 Minuten zurücklegen.

In der Marschtabelle der Tour de Suisse [4] wurde die Zeit für diese Strecke mit 41 Minuten angegeben. Diese Marke (etwa 16% langsamer als Marco Pantani) ist natürlich so ausgerichtet, dass sie praktisch jeder Teilnehmer der Tour de Suisse erreichen kann.

In Tabelle 1 ist der Wert, den ein Radprofi erreichen muss, mit mindestens 5 Watt/kg Körpergewicht (inklusive Velo und Bekleidung) angegeben. Wir berechnen jetzt die relative Leistung, welche ein Radprofi erbringen muss, wenn er diese Steigung in 41 Minuten (2460 sec) zurücklegen will.

$(15700 \times 0,008 + 968) 9,81 : 2460 \times 1,19 = 5,2 \text{ Watt/kg}$

Ein Radprofi muss also mindestens 5,2 Watt/kg Körpergewicht (inklusive Velo und Bekleidung) erbringen, wenn er die Tour-de-Suisse-Marschtabelle einhalten will. Dieser Wert entspricht etwa unserem Tabellenwert von mindestens 5 Watt/kg für einen Radprofi.

Der Tourenfahrer mit seiner Leistung von etwa 2,5 Watt/kg Körpergewicht inkl. Velo und Bekleidung würde für diese Strecke etwa 85 Minuten brauchen.

$(15700 \times 0,008 + 968) 9,81 : 2,5 \times 1,19 = 5106 \text{ sec}$  oder 85:06 min

### Hinweis zum Material

Tourenfahrer/innen und Gelegenheitsfahrer/innen sollten an Steigungen wie Alpe d'Huez ein Fahrrad mit 3 Kettenblättern verwenden, z.B. ein Rennrad mit etwa 52-42-30 Zähnen beim Tretlager und einem Leerlauf mit etwa 13-14-15-16-17-19-21-23-26 Zähnen (kleinste Übersetzung: 30x26 Zähne = etwa 2,40 m/Pedalumdrehung). Nur so kann garantiert werden, dass in den steilsten Teilstücken dieser Steigung (14%) mit mindestens 60 Pedalumdrehungen pro Minute gefahren werden kann. Die optimalen Drehzahlen betragen am Berg 60–90 U/min. [5] Das gilt für den Radprofi wie für den Gelegenheitsfahrer. Die Übersetzung und nicht die Drehzahl muss dem Fahrer angepasst werden.

### Schlussfolgerung

Wer schnell den Berg hochfahren will, sollte

1. ein möglichst leichtes und verwindungssteifes Rad verwenden.
2. ein optimales Kletterer-Gewicht anstreben. Ein BMI von etwa 19–21 dürfte für einen Bergfahrer ideal sein.
3. versuchen, die Dauerleistung zu steigern, so dass der relative Wert im Verhältnis zum Körpergewicht möglichst hoch ist.

Für die meisten Radfahrer wird es allerdings nicht möglich sein, in die relativen Leistungsbereiche von Marco Pantani vorzustossen. Er wurde quasi zum Bergfahren geboren. Er hat optimale körperliche Voraussetzungen, um einen Berg hochzufahren. Diese Fähigkeiten wurden auch wissenschaftlich umgesetzt. Zudem dürfte er jährlich mindestens 40 000 km auf dem Rad zurücklegen, was etwa 1500 Stunden entspricht.

Korrespondenzadresse:

Manfred Nüscheler, Bernastrasse 65, 3005 Bern  
E-Mail: m-nuescheler@datacomm.ch

### Literaturverzeichnis

- 1 <http://www.members.aon.at/o.n/bergfahrer.html>
- 2 Body in shape, 3/97, 42.
- 3 <http://www.srm.de/>  
<http://www.ergomo.de/>
- 4 Tour de Suisse Magazin 1997, 152.
- 5 Konopka Peter, Radsport, BLV, München, Wien, Zürich, 1994, 72.