

FORMELSAMMLUNG HANG ART

Rad fahren in der Ebene ist keine Kunst. Bergauf hingegen geht uns rasch die Luft aus. Warum ist das so? Schuld ist die Schwerkraft.

Ein Radfahrer muss drei Kräfte überwinden: den Rollwiderstand (F_R), den Luftwiderstand (F_L) und, wenn er bergauf fährt, auch die Hangabtriebskraft (F_H). Beim Rollwiderstand spielt die Komponente der Gewichtskraft eine Rolle, die normal auf den Untergrund zeigt (Normalkraft F_N), und bei der Hangabtriebskraft jene, die parallel zum Boden zeigt. Wenn man diese Kräfte im Detail anschreibt und addiert, sieht das so aus:

$$F_{ges} = F_R + F_L + F_H = c_r m g \cos \alpha + 0,5 \rho c_w A v^2 + m g \sin \alpha$$

Nehmen wir konkrete Werte. Der Rollwiderstandskoeffizient c_r hängt von Reifen und Untergrund ab und variiert stark. Er kann zwischen 0,004 (Asphalt) und 0,4 (lockerer Sand) liegen. Wir nehmen den Idealfall an. Die Masse m des Fahrers samt Bike nehmen wir mit 90 kg an, die Luftdichte ρ mit 1,2 kg/m³. Ein realistischer c_w -Wert bei bequemem Fahren ist 1, die Anströmfläche beträgt etwa 0,4 m².

Wenn der Fahrer in der Ebene fährt ($\alpha = 0$), fällt der letzte Term weg – es wirken nur Roll- und Luftwiderstand. Leistung (P) ist Kraft (F) mal Geschwindigkeit (v). Wenn ich für die Fahrt in der Ebene 32 km/h (8,9 m/s) einsetze, komme ich auf eine Leistung von 200 Watt. Das ist nicht ganz ohne, wie Sie vielleicht vom Ergometer wissen, aber durchaus einige Zeit zu schaffen. Und nun schicken wir unseren Fahrer ins Steile. Im Alltag gibt man Steigungen in % an. 10 % bedeutet etwa, dass es bei 100 m horizontal zurückgelegter Strecke um 10 m hinauf geht. Das ist schon ziemlich zäh. Für unsere Berechnung benötigen wir jedoch Grad. Die Umrechnung lautet: $\alpha = \arctan(x\%/100)$.

Ich habe eine grafische Lösung gewählt und dabei angenommen, dass unser Fahrer stur mit 200 W weiterradelt, egal wie steil es wird. Mit zunehmender Steigung erhöht sich aber auch die Hangabtriebskraft. Daher muss er einen zunehmenden Teil der Gesamtleistung in die Überwindung dieser Steigung investieren und somit bei gleicher Leistung das Tempo fürs Vorwärtskommen drosseln. Bereits bei einer Steigung von läppischen 4% muss er die Geschwindigkeit halbieren, will er weiter mit 200 W radeln (Abb. 1). Bei zugegebenermaßen sehr steilen 16% könnte er gar nur noch mit 5 km/h fahren.

Interessant ist auch der Anteil der verschiedenen Leistungen (Abb. 2). In der Ebene wird die Leistung vor allem benötigt, um den Luftwiderstand zu überwinden. Nur etwa 16% muss für die Überwindung des Rollwiderstands aufgewendet werden, der Rest für den Luftwiderstand. Mit zunehmender Steigung wird die Hebearbeit immer dominanter. Bei einer durchaus realistischen Steigung von 10% muss der Fahrer bereits etwa 95% der Leistung für die Überwindung der Hangabtriebskraft aufbringen, die eine Folge der Schwerkraft ist. Berauffahren wird also durch die Schwerkraft so schwer.

* Mag. Dr. Martin Apolin, 45, promovierter Physiker und Sportwissenschaftler, arbeitet als AHS-Lehrer (Physik, Sportkunde) und Lektor an der Fakultät für Physik in Wien und ist mehrfacher Buchautor.

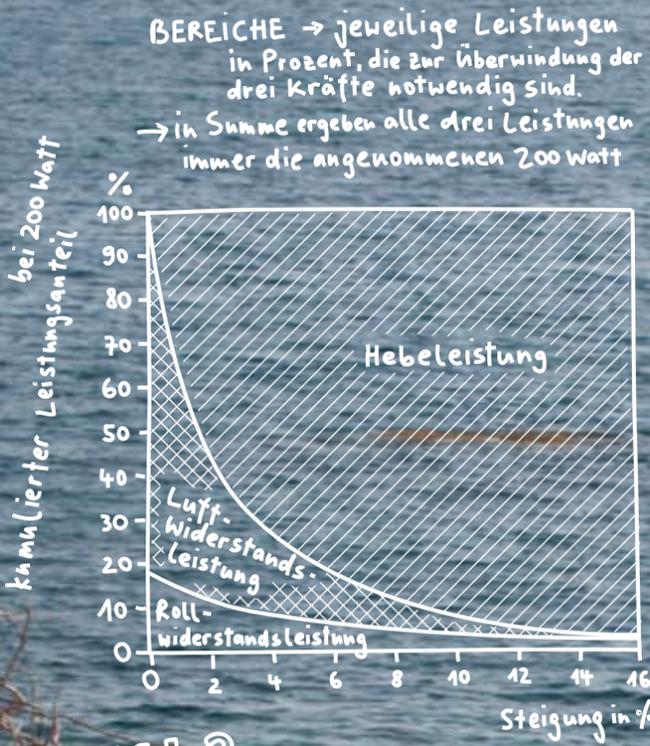


Abb. 2

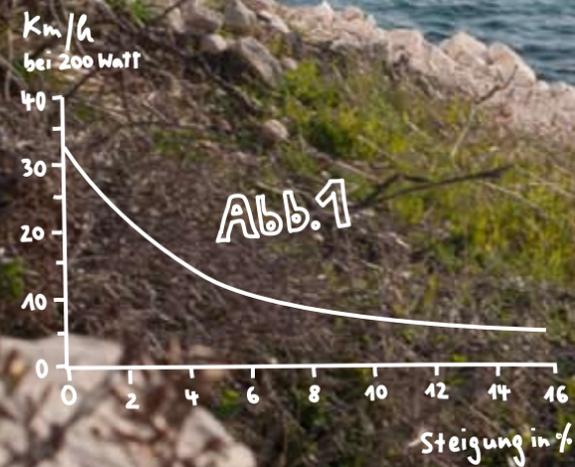


Abb. 1

BILD: MARIUS MASEWERD/EGO PROMOTION; ILLUSTRATION: MANDY FISCHER

„Keine Steigung kann so schlimm sein wie Gegenwind,“ sagt Lisi Osl, bekannt als gute Bergfaherin. „Und die zweite gute Nachricht: Jede Steigung ist irgendwann zu Ende.“