

Angewandte Mechanik am Beispiel Fahrrad

Stefan Ostermann

Vorwort

Immer wieder werden sportliche Wettkämpfe durch kleinste Abstände zwischen den einzelnen Athleten entschieden. Es ist eine Begleiterscheinung des modernen Spitzensports, dass ein Zentimeter oder ein Bruchteil einer Sekunde über Sieg oder Niederlage entscheiden können. Deshalb ist es nötig, dass bei einem Wettkampf so wenig Fehler wie möglich passieren - einfach gesagt, es sollte alles möglichst optimal ablaufen. Doch was ist optimal? Der Antwort auf diese Frage bin ich in meiner Fachbereichsarbeit „Angewandte Mechanik am Beispiel verschiedener Sportarten“ [1] vom physikalischen Standpunkt aus nachgegangen.

Mich persönlich hat es im Zuge meiner Recherchen immer wieder fasziniert, wie genau man sich durch physikalische Berechnungen diesem Optimum, das in der Realität gilt, annähern kann.

Mein Hauptziel ist allerdings, die Anwendungsvielfalt der grundlegenden Gesetze der Mechanik in unserem alltäglichen Leben aufzuzeigen und somit eine Synthese zwischen Physik und dem Alltag herzustellen.

Für diesen Beitrag habe ich ein Beispiel aus meiner Arbeit ausgewählt, welches zusammen mit einer eigenen Messung zeigt, wie die Energie eines Radfahrers abnimmt, wenn er dem System keine Energie mehr zuführt (er lässt das Rad einfach rollen). Zuerst wird der Aufbau der Messung beschrieben und anschließend die Ergebnisse mittels theoretischer Formeln überprüft und hinterfragt.

Energetik des Fahrrads – Eine Messung

Der „Motor“ des Fahrrads ist der Radfahrer selbst. Er muss durch die Arbeit, welche er mit seinen Beinmuskeln aufbringt, dem Gerät die nötige Energie erteilen, die es braucht, um weiter zu fahren.

Allerdings ist die ständige Energiezufuhr nicht mit einer ständigen Zunahme der Fahrgeschwindigkeit verbunden, wie man es eigentlich annehmen müsste, wenn man das zweite Newton'sche Axiom betrachtet. Das bedeutet, dass ein bestimmter Anteil der Energie an die Umgebung abge-

Stefan Ostermann maturierte 2007 am BRG Landeck. Die Fachbereichsarbeit „Angewandte Mechanik am Beispiel verschiedener Sportarten“ wurde von OStR Mag. Kurt Leitl betreut und von der ÖPG ausgezeichnet.

geben (dissipiert) wird. Das geschieht so lange, bis der Radfahrer stillsteht.

Ziel meiner Messung war es, die Energie zu bestimmen, welche an die Umgebung des Fahrers abgegeben wird, und daraus lässt sich dann auch die Widerstandskraft und die zu ihrer Überwindung aufzubringende Leistung berechnen.

Doch vorerst zur Messung: Auf einer 150 m langen, ebenen Geraden wurden Streckenabschnitte von jeweils 20 m ausgemessen und mit Wegmarken gekennzeichnet. Eine Person stand mit Zettel und Bleistift am Rand der Fahrbahn und war mittels Telefon mit dem Radfahrer verbunden (der Radfahrer war in diesem Falle ich selbst). Dieser beschleunigte das Rad auf eine bestimmte Geschwindigkeit und ließ es dann ausrollen. Beim Passieren der Wegmarken sagte der Radfahrer der Person am Rand der Fahrbahn die Geschwindigkeit (mit Tachometer gemessen) zum jeweiligen Zeitpunkt durch, die dann notiert wurde. (Die Messung wurde in beiden Richtungen der Fahrbahn durchgeführt, um etwaige Steigungen auszugleichen.)

Mit den in der Messung ermittelten Werten der Geschwindigkeit kann man sich die kinetische Energie E_{kin} des Radfahrers zu den jeweiligen Zeitpunkten, an denen er die Wegmarken passierte, berechnen.

Es ist in der Praxis hauptsächlich von Bedeutung, die Kraft F zu kennen, welche aufgebracht werden muss, um eine bestimmte Geschwindigkeit v aufrecht zu erhalten. Das bedeutet, die Widerstandskräfte, die bei dieser Geschwindigkeit wirken, müssen kompensiert werden.

Diese Kraft lässt sich aus den durch Messung ermittelten Werten berechnen [2]: Bekanntlich ist $W = F \Delta s$ (W ...Arbeit). Arbeit wird außerdem verrichtet, wenn die Energie eines Körpers geändert wird. Das bedeutet: $W = \Delta E$. Daraus folgt

$$\Delta E = F \Delta s$$

Man erhält durch Umformen dieser Gleichung eine Formel für die Gesamtreibungskraft

$$F = \frac{\Delta E}{\Delta s}$$

Damit lässt sich auch die mittlere Leistung P , die aufgebracht

werden muss, um die jeweilige Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten, berechnen. Die Leistung ist definiert als Produkt der Kraft F und der Geschwindigkeit v ($P = F \cdot v$).

Anhand dieser Formeln kann man aus der experimentell ermittelten Geschwindigkeit und Zeit alle in Tabelle 1 gezeigten Werte berechnen (die Werte in den grau hinterlegten Spalten wurden experimentell ermittelt).

S [m]	v [km/h]	v [m/s]	E [J]	ΔE [J]	Δs [m]	F [N]	P [W]
0	29,5	8,19	2685,96	756,94	20	37,85	310,14
20	25,0	6,94	1929,01	567,90	20	28,4	197,19
40	21,0	5,83	1361,11	415,9	20	20,79	121,30
60	17,5	4,86	945,22	340,28	20	17,01	82,71
80	14,0	3,89	604,94	296,3	20	14,81	57,61
100	10,0	2,78	308,64	280,86	20	14,04	39,01
120	3,0	0,83	27,78	27,78	20	1,39	1,16
130	0	0	0	27,78	10	2,78	0

Tabelle 1: Messergebnisse zur Messung der Energiedissipation beim ausrollenden Fahrrad

Wenn man die Kraft F und die Leistung P jeweils gegen die Geschwindigkeit aufträgt, erhält man folgendes Ergebnis:



Abb. 1: Widerstandskraft abhängig von der Geschwindigkeit

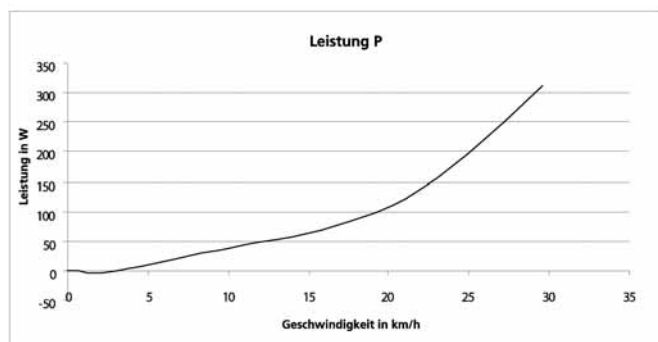


Abb. 2: Leistung abhängig von der Geschwindigkeit

Offensichtlich ergibt sich die Widerstandskraft zum Großteil aus dem Luftwiderstand, allerdings nicht vollständig. Man erkennt in Abbildung 1, dass es noch eine zusätzliche Kraft gibt, welche unabhängig von der Geschwindigkeit ist. Dies ist der sogenannte Rollwiderstand, der sich aus der Reibung zwischen Boden und Rad, beziehungsweise der Reibung in den Lagern zusammensetzt und konstant bleibt.

Man kann also schreiben:

$$F(v) = F_R + F_L(v) \quad (1)$$

F_R entspricht dem Rollwiderstand und F_L dem Luftwiderstand, welcher mit der Formel berechnet werden kann.

$$F_L = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot c_w \cdot v^2$$

Aus Formel (1) kann man die Formel für die Leistung erhalten, indem man die einzelnen Kräfte mit v multipliziert. Man erhält daraus:

$$P = F_R \cdot v + F_L \cdot v$$

Mittels dieser zwei Gleichungen kann man die in den Abb. 1 und 2 dargestellten Messergebnisse anhand von theoretischen Werten überprüfen. (Die Messungen beziehen sich auf Windstille, sonst wären die Formeln zur Berechnung weitaus komplizierter.)

Es wird mit folgenden Werten gerechnet:

$$F_R = 2,7 \text{ N}; \quad \rho = 1,293 \text{ mg/cm}^3; \quad c_w = 1; \quad A = 0,8 \text{ m}^2$$

Der c_w -Wert wurde bewusst etwas höher angesetzt, da ich bei der Messung eine dickere Jacke trug und relativ aufrecht gefahren bin.

Der Wert für die Rollreibung entspricht exakt der Differenz, welche in Abbildung 1 bei einer Geschwindigkeit von 0 km/h zu erkennen ist (s.a. Schlichting [2]).

v [km/h]	v [m/s]	F [N]	P [W]
29,5	8,19	37,51	307,35
25,0	6,94	27,72	192,49
21,0	5,83	20,38	118,87
17,5	4,86	14,99	72,91
14,0	3,89	10,60	41,22
10,0	2,78	6,77	18,80
3,0	0,83	2,78	0
0	0	0	0

Tabelle 2: Theoretische Berechnung der Kraft F und der Leistung P

Wenn man die in Tabelle 2 ermittelten Werte in einen Graphen gemeinsam mit den experimentellen Werten einzeichnet, erhält man folgendes Ergebnis:

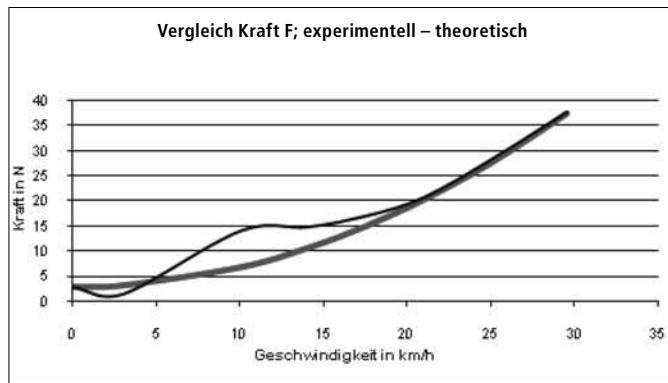


Abb. 3: Vergleich der theoretisch ermittelten Werte der Leistung mit den experimentell ermittelten.

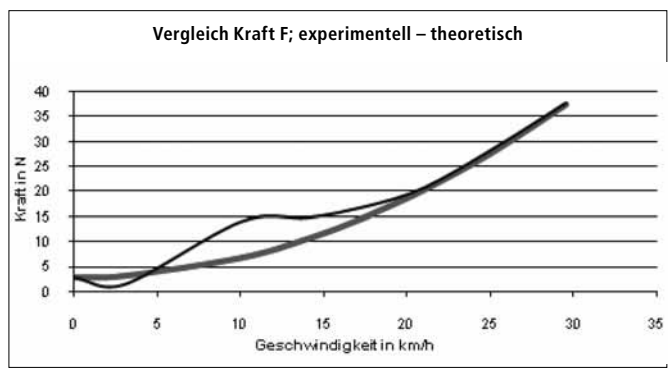


Abb. 4: Vergleich der theoretisch ermittelten Werte der Kraft F mit den experimentell ermittelten.

Es ist erkennbar, dass die Werte speziell im Bereich der hohen Geschwindigkeiten sehr genau übereinstimmen. Dies liegt daran, dass es bei niedrigeren Geschwindigkeiten schwerer ist, die Spur zu halten und somit Messungenauigkeiten daraus folgen.

Nachwort

Man erkennt am Ergebnis deutlich, dass sich Dinge, welche wir im Alltag erleben, vom physikalischen Standpunkt aus betrachten und auch berechnen lassen. Es ist offensichtlich, dass näherungsweise Berechnungen relativ stark der Realität entsprechen. Es war mein Ziel, einmal mehr aufzuzeigen, dass die Physik keine nutzlose Wissenschaft ist, sondern, dass sie auch sehr viele Anwendungsgebiete hat, welche der Standardbürger erfahren kann. Es gibt noch unzählige andere Sportarten, welche sich sehr gut mittels der Physik beschreiben lassen, wie zum Beispiel die Wurfsporarten, Tennis und Laufen.

Literatur

- [1] Ostermann, Stefan (2007): Angewandte Mechanik am Beispiel verschiedener Sportarten, *Fachbereichsarbeit am BRG Landeck*.
<http://pluslucis.univie.ac.at/FBA/FBA07/Ostermann2007.pdf> [1.6.2008]
- [2] Schlichting/Backhaus
http://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/fahradalltag.pdf [18.02.2007]

PFL-Naturwissenschaften 2009-2011

Universitätslehrgang Pädagogik und Fachdidaktik für Lehrer/innen der Naturwissenschaften

Im Mittelpunkt dieses viersemestrigen interdisziplinären Lehrgangs steht die Auseinandersetzung mit dem eigenen Unterricht und mit der gesellschaftlichen Bedeutung der Naturwissenschaften. Die naturwissenschaftlichen Disziplinen tragen in der Schule wesentlich zum Verständnis von Natur und Technik sowie ihren Wechselwirkungen mit der Gesellschaft bei. Ihre fachspezifischen Begriffsstrukturen, Methoden und didaktischen Konventionen sind jedoch sehr verschieden. Die fächerübergreifende Zusammenarbeit in der Planung, Durchführung und Auswertung gemeinsamer Projekte ermöglicht Synergien und eine Weiterentwicklung pädagogischer und fachdidaktischer Kompetenzen.

Zielgruppe

Der Lehrgang richtet sich an Lehrer/innen der Fächer Biologie, Chemie und Physik aller Schulstufen ab der 5. Schulstufe, die ihre fachdidaktischen und pädagogischen Kompetenzen erweitern wollen.

Abschluss

Zertifikat nach vier Semestern, das für den ersten Abschnitt des Universitätslehrgangs „Professionalität im Lehrberuf (ProFiL)“ mit Abschluss Master of Arts anrechenbar ist.

Lehrgangsteam

Ao. Univ.-Prof. Dr. Walter Hödl (wissenschaftlicher Leiter, Universität Wien)
V.-Prof. Dr. Anja Lembens (Universität Wien)
Ao. Univ.-Prof. Dr. Leopold Mathelitsch (Universität Graz)
Dr. Angela Schuster, MAS (Projektleiterin, Universität Klagenfurt) (E: angela.schuster@uni-klu.ac.at)

Anmeldung

Information und Anmeldung bitte mit dem Formular unter <http://ius.uni-klu.ac.at/pfl-nawi>
Auskünfte: Dr. A. Schuster, angela.schuster@uni-klu.ac.at

Anmeldeschluss: 30. April 2009