

Deutscher Wetterdienst: Thema des Tages

Radfahrerwetter, Teil 1

Ich muss Sie leider enttäuschen, liebe Leser: Der Deutsche Wetterdienst gibt keine Wetterprognosen speziell für Radfahrer heraus. Die richtige Wahl der Kleidung müssen immer noch Sie treffen - gerade bei den derzeitigen Witterungsverhältnissen - empfiehlt sich aber das Zwiebelprinzip.

In den meisten Gebieten Deutschlands kann man das ganze Jahr über mit dem Fahrrad fahren, nur sind manche Wetterverhältnisse herausfordernder als andere. Die Wetterbedingungen haben nicht nur Auswirkungen darauf, wie wir uns kleiden und wie vorsichtig wir fahren, sondern sie bestimmen auch, wie schnell wir vorankommen und wie sehr wir uns dabei anstrengen müssen. An dieser Stelle denkt man sicherlich in erster Linie an den Wind, der je nach Richtung uns mal schiebt, mal abbremst. Aber auch Temperatur und Luftfeuchte haben einen gewissen Einfluss auf unseren Kalorienverbrauch. Zunächst einmal wird dieser bei kalten Temperaturen erhöht, wenn man das Fahrrad aus dem "warmen" Keller holt und losfährt. Denn mit der Zeit kühlt sich auch die in den Schläuchen vorhandene Luft erstmal ab. Das hat zur Folge, dass sie sich zusammenzieht und der Reifen platter wird (bis die Reibung am Straßenbelag wieder für eine Erwärmung sorgt). Dadurch ist die Auflagefläche und somit die Reibung größer - um die Geschwindigkeit zu halten, muss mehr Arbeit verrichtet werden. Jedoch gibt es nicht nur bei den Reifen mehr Reibung, sondern allgemein ist diese bei sich bewegenden Körpern in kalter Luft größer als in warmer. Dazu muss man ein wenig in die Welt der Physik abschweifen, wobei in diesem Teil angenommen wird, dass die Luft trocken ist.

Die Kraft, die man benötigt, um beim Fahren die umgebende Luft zu verdrängen, ist abhängig von deren sogenannter dynamischer Viskosität. In erster Linie hängt die Variabilität der dynamischen Viskosität im Laufe eines Jahres von den Änderungen der Luftdichte ab. Die Dichte wird wiederum hauptsächlich - unter Annahme konstant trockener Luft - durch den Luftdruck und die Temperatur bestimmt. Dabei gilt: je höher der Luftdruck und je kälter die Luft, desto höher die Luftdichte. Während zwischen Sommer und Winter doch recht markante Temperaturunterschiede ausgemacht werden können, bleibt der Luftdruck über das Jahr gemittelt recht konstant. Lediglich die Spannbreite des Luftdrucks ist im Winter größer als im Sommer, gemessen am Einfluss der Temperatur ist sie aber vernachlässigbar. Die dynamische Viskosität der Luft bei verschiedenen Temperaturen kann entweder aus Tabellen abgelesen oder berechnet werden.

In unserem Fall jedoch, wo sie nur von der Dichte abhängen soll, kann eine einfache Gleichung angewendet werden. Diese wird Zustandsgleichung für ideale Gase genannt und lautet

$$\rho = p/(T \cdot R) \quad \text{oder in Worten}$$

Dichte = Druck/(Temperatur · Gaskonstante).

Die "Konstante" R hängt vom Wasserdampfgehalt ab, an dieser Stelle sei aber von trockener Luft ausgegangen. Bei Annahme konstanter Druckverhältnisse hängt die Dichte also nur über das Verhältnis $1/T$ von der Temperatur ab. Wenn also T von 283 auf 273 Kelvin (entsprechend ca. 10 auf 0 °C) fällt, steigt die Luftdichte und damit auch der Widerstand um zirka 3,5 %. Dieser Wert kann als ungefähre Faustwert für jeden "Sprung" um 10 Kelvin in einem fahrradtauglichen Temperaturintervall genommen werden. Der Unterschied des Widerstandes zwischen hochsommerlichen 30 °C und winterlichen 0 °C beträgt bei gleicher Geschwindigkeit dann immerhin knapp 10 %. Da aber die Widerstandskraft mit dem Quadrat, die Antriebsleistung sogar mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit relativ zum Wind steigt, können diese 10 % ganz unterschiedlich ausgeglichen werden. Zum einen kann man die Geschwindigkeit halten und muss entsprechend mit 10 % mehr Watt in die Pedale treten oder man reduziert seine Geschwindigkeit. In letzterem Falle aber nicht um 10 %, sondern weniger, weil die Widerstandskraft infolge der geringeren Geschwindigkeit ebenfalls sinkt.

Der Effekt der Temperatur hat natürlich nicht nur Auswirkungen auf Radfahrer. Auch Autos und Züge verbrauchen entsprechend mehr Energie, wenn die Luft kalt und somit dichter ist. Auf der anderen Seite erhöht sich aber auch die Traglast von Flugzeugen und Windkraftanlagen produzieren mehr elektrischen Strom. Im zweiten Teil wird es dann um den Einfluss des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes auf den Luftwiderstand gehen.

M.Sc. Met. Stefan Bach
 Deutscher Wetterdienst
 Vorhersage- und Beratungszentrale
 Offenbach, den 19.04.2015

Quelle: Deutscher Wetterdienst <http://www.dwd.de>, Portal am 19.4.2015
 Abschrift: Peter Dreeßen, Uckerath

Deutscher Wetterdienst: Thema des Tages

Radfahrerwetter, Teil 2

Vorgestern konnten Sie beim "Radfahrerwetter, Teil 1" darüber lesen, dass Radfahren bei kalten Temperaturen anstrengender ist als bei warmen. Heute soll der Einfluss des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes beleuchtet werden.

Um es vorwegzunehmen: Je mehr Wasserdampf bei konstantem Druck und konstanter Temperatur in der Luft vorhanden ist, desto geringer ist die Dichte der Luft und somit auch der Luftwiderstand. Begründen lässt sich dies über die Zustandsgleichung für ideale Gase, die wir bereits im Teil 1 kennengelernt haben:

$$\rho = p/(T \cdot R)$$

Dort wurde auch erwähnt, dass die Gaskonstante R eigentlich gar keine "richtige" Konstante ist, da sie von Eigenschaften des betrachteten Gases - explizit von der molaren Masse M - abhängt. Die molaren Massen von trockener und feuchter Luft sind voneinander verschieden. Weil Wassermoleküle leichter sind als die mittlere molare Masse trockener Luft, sinkt die molare Masse des Gemisches aus trockener Luft und Wasserdampf (feuchte Luft) mit steigendem Wasserdampfanteil. R wird dabei größer, je mehr Wasserdampf in der Luft enthalten ist. Und da es in obiger Gleichung im Nenner steht, wird somit die Dichte bei konstantem Druck p und konstanter Temperatur T kleiner. Diejenige Masse an Wasserdampf, die sich in einer bestimmten Menge feuchter Luft befindet, wird spezifische Luftfeuchte q genannt. Über das Verhältnis der molaren Massen von feuchter und trockener Luft ($=0,622$) erhält man eine Modifikation der obigen Zustandsgleichung, wobei R_d die Gaskonstante trockener Luft ($287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$) ist:

$$\rho = p/(R_d \cdot (1 + 0,622q) T)$$

In der Nähe der Erdoberfläche variiert q in der Praxis meist zwischen 0 (trockene Luft) und etwa 0,01. Besitzt die spezifische Feuchte eben diesen Wert von 0,01 (Druck 1013 hPa, Temperatur 25 °C, relative Feuchte ca. 51 %), sind die Dichte der Luft und somit auch der Widerstand etwa 0,6 % geringer.

Fährt man mit 20 bis 30 km/h, so entspricht dies einer Geschwindigkeitssteigerung zwischen 0,1 und 0,2 km/h. Davon wird man also wohl kaum etwas merken - höchstens auf dem Fahrradcomputer. Zudem hängt unser persönliches Empfinden feuchter Luft mit der relativen und nicht mit der absoluten Feuchtigkeit zusammen, von der letztendlich der Luftwiderstand abhängt.

So kann die relative Luftfeuchtigkeit durchaus 100 % betragen und sich die Luft richtig feucht anfühlen, aber bei kalten Temperaturen ist trotzdem absolut gesehen wenig Feuchtigkeit in der Luft enthalten. Das merkt man beispielsweise im Winter, wenn kalte Luft in Innenräume hereinkommt und sich dort erwärmt. Dann ändert sich an der absoluten Feuchtigkeit nichts (es sei denn, man befeuchtet die Luft künstlich), aber die anfangs hohe relative Feuchtigkeit sinkt und wir empfinden die Innenluft als trocken. Umgekehrt kann man auch schließen, dass Luft mit steigender Temperatur wesentlich mehr Wasserdampf beinhalten und somit eine höhere absolute Feuchtigkeit aufweisen kann. Wasserdampf in der Luft verstärkt den Effekt der Temperatur auf die "Radfahr-Geschwindigkeit" somit zusätzlich. Warme Luft an sich senkt schon den Widerstand, und da sie mehr Wasserdampf enthalten kann, wird dieser Widerstand noch weiter begünstigt. Umgekehrt kann man festhalten: Das Radfahren geht umso schwerer, je kälter und trockener die Luft ist.

M.Sc. Met. Stefan Bach
Deutscher Wetterdienst
Vorhersage- und Beratungszentrale
Offenbach, den 21.04.2015