

Gegen den Wind



DIE AERODYNAMIK WIRD BEI GESPANNEN KAUM BERÜCKSICHTIGT. DIE HERSTELLER ENTWICKELN DIE FORM IHRER BEIWAGEN AUS DEM BAUCH HERAUS, UND EINE STROMLINIENFORM ENTSPRICHT EHER DEM GESCHMACK DES DESIGNERS ALS DASS SIE WISSENSCHAFTLICHEN GRUNDSÄTZEN STANDHALTEN KANN. WIR MACHEN SCHLUSS MIT MUTMASSUNGEN UND PHRASEN. MOTORRAD-GESPANNE BETRACHTET VERSCHIEDENE GESPANNE UNTER DEM ASPEKT DER AERODYNAMIK. EIN BERICHT VON REINER NIKULSKI.

Achtzig Jahre nach dem Auftauchen der ersten Stromlinienfahrzeuge sind heutige Automobile aerodynamisch konsequent durchentwickelt. Allerdings hat dieses Streben nach kleinem c_w -Wert zu einer schablonenhaften Formgebung geführt. Die früher so markanten „Gesichter“ der Autos sind verschwunden, die verschiedenen Modelle oft nur noch an Details zu erkennen.

Ganz anders ist die Situation bei Motorradgespannen. Viele Hersteller und Heimwerker verwirklichen nach Herzenslust ihre eigenen Design- und Funktionsvorstellungen. Doch gerade bei modernen Gespannen sind für hohe Spitzengeschwindigkeiten immer noch sehr große Motorleistungen erforderlich. Aber alles weist darauf hin, dass dabei der Aerodynamik sehr wenig Beachtung geschenkt wird.

Den Anstoß für die beschriebenen Messungen gab Jürgen Mayerle. Bei der Verwirklichung seines Hayaruko-Traumgespannes (Titelgeschichte in MOTORRAD-GESPANNE Nr.74) hat er gezielt eigene Ideen zur Führung der Luft am Seitenwagen verwirklicht. Um das Ergebnis bewerten zu können, wurde der Luft- und Rollwiderstand von insgesamt zehn Gespannen ermittelt.

DIE MESSMETHODE

Das Einmieten in einen Windkanal ist für die kleinen Gespannbaubetriebe finanziell nicht möglich. Es gibt jedoch eine höchst einfache Methode, die auch schon die Stromlinienpioniere in den 20er Jahren benutzt haben: Ausrollmessungen. Diese müssen zwar wegen der Wetter- und Umweltbedingungen sehr sorgfältig durchgeführt und bewertet werden, geben dafür aber das Fahrzeug im realen Fahrbetrieb wieder. Insbesondere der Einfluss der in der Realität sich drehenden, in den meisten Windkanälen dagegen stehenden Räder dürfte bei Gespannen mit den breiten, frei im Wind stehenden Vorderrädern relativ groß sein.

Das Prinzip dieser Ausrollmessungen hat Mathias Mente in seinen Aerodynamik-Beiträgen in MOTORRAD-GESPANNE Nr.53 bis 56 sehr schön beschrieben, so dass es hier nicht wiederholt werden muss. Hier sei nur noch einmal kurz die Grundgleichung für den Fahrwiderstand in der Ebene gezeigt, und zwar in der alten, absolut nicht normgerechten, aber äußerst praktischen Form :

$$Nlr = 0,3702 \cdot m \cdot a0 \cdot (v/100) + 14,56 \cdot ro \cdot A \cdot cw \cdot (v/100)^3$$

Darin sind:

- Nlr - Luft- und Rollwiderstandsleistung in PS
- m - Masse des Fahrzeuges in kg inklusive des Anteil der rotierenden Massen
- $a0$ - Rollwiderstandsbeiwert der Reifen
- ro - Luftdichte in kg/m^3
- A - Frontquerschnittsfläche des Fahrzeuges in m^2
- cw - Luftwiderstandsbeiwert
- v - Geschwindigkeit in km/h

Die Größen cw und A werden oft zusammengefasst als Faktor $cw \cdot A$ angegeben. Dieser beinhaltet auch die Fahrzeuggröße und ist somit ein Maß für den gesamten Luftwiderstand, während der Luftwiderstandsbeiwert ein Maß für die aerodynamische Güte ist. Bei Landfahrzeugen liegen die Zahlenwerte von cw und $cw \cdot A$ oft in der gleichen Größenordnung, so dass diese leicht verwechselt werden können!

Werden die konstanten Werte der Gleichung zu Faktoren zusammengefaßt, so ergibt sich die relativ einfache Form:

$$Nlr = s \cdot (v/100) + t \cdot (v/100)^3$$

wobei nun Faktor s nur vom Rollwiderstand und Faktor t nur vom Luftwiderstand abhängig sind. Der Geschwindigkeits- und Verzögerungsverlauf der Ausrollmessung wird mit einem Datenspeicher aufgezeichnet und daraus die momentan wirkende Verzögerungsleistung berechnet. Sie entspricht beim Ausrollen der Luft- und Rollwiderstandsleistung.

Im Windkanal wird das Ruko-Hayabusa-Gespann auf die Strömungsverhältnisse untersucht.

An der Rauchfahne ist deutlich zu sehen, wie die Luft den Beiwagen umströmt.

Im Heck bildet sich ein kleiner Wirbel. Aber insgesamt ist die Form des Beiwagens sehr strömungsgünstig modelliert.

Das aerodynamische Grundkonzept des Beiwagens von Jürgen Mayer wird somit bestätigt.

GESPANNE



TECHNIK

Die entstehenden Kurven von vier Hin- und Rückfahrtmessungen mit der Hayaruko sind als Beispiel im nebenstehenden Diagramm über der Geschwindigkeit dargestellt. Es sind die blauen, unruhig verlaufenden Kurven. Darüber ist eine Ausgleichskurve nach dem Prinzip der kleinsten Fehlerquadrate gelegt. Dabei ist es wichtig, dass die Ausgleichskurve nur einen linearen und einen Anteil der 3. Potenz aufweist. Es dürfen also nicht einfach die Trendlinienfunktionen gängiger Programme verwendet werden.

Die Streuung der vier Einzelmessungen ist sehr gering, und die rote Ausgleichskurve trifft die gemessenen Kurven sehr gut. In der Zeile *Formel* ist die Gleichung der Ausgleichskurve dargestellt. Und hier zeigt sich der Vorteil der alten Gleichungsform aus dem „Vor-Taschenrechner-Zeitalter“. Beim Einsetzen von 100 km/h wird sowohl der Faktor $(v/100)$ als auch der Faktor $(v/100)^3$ zu 1. Somit geben die ausgerechneten Faktoren automatisch die erforderlichen Leistungen bei 100 km/h an. Aus diesen Faktoren lassen sich nach obiger Gleichung leicht die gewünschten Werte a_0 und $c_w \cdot A$ errechnen.

Bei der Hayaruko werden also bei 100 km/h 5,3 PS für den Roll- und 20,9 PS für den Luftwiderstand benötigt. Bei hohen Geschwindigkeiten sinkt der Anteil des Rollwiderstandes drastisch, so dass der Fahrwiderstand dann fast ausschließlich vom Luftwiderstand bestimmt wird.

Nach diesem Verfahren wurden innerhalb der letzten acht Jahre unzählige Messungen durchgeführt. Es liegt somit eine relativ große Erfahrung bezüglich Streuung, Wetterbedingungen und sonstiger Einflüsse (z.B. Fahrerbekleidung !) vor.

In der nächsten Ausgabe klären wir die Frage, ob ein D-Rad-Gespann der 20er Jahre einen schlechteren c_w -Wert als ein EML-Beiwagen hat und berechnen die ketzerische Frage, ob ein modernes Straßengespann die 200 km/h-Marke knacken kann. Die Ergebnisse sind überraschend. ■

Reiner Nikulski

Was ist eigentlich ein c_w -Wert?

Man stelle sich ein an einem Ende geschlossenes Rohr vor, daß mit dem offenen Ende in einen Luftstrom gehalten wird. Die eintretende Luft kann nicht aus dem Rohr entweichen und wird bis zum Stillstand heruntergebremst. Dadurch entsteht ein Staudruck, der durch die Bernoullische Gleichung berechnet werden kann:

$$P_{st} = \rho_0 / 2 \cdot v^2$$

Darin ist:

P_{st} - Stau- oder statischer Druck

ρ_0 - Dichte der Luft

v - Luftgeschwindigkeit

Damit zeigt sich schon die wichtigste Eigenschaft der Aerodynamik. Alle wirkenden Drücke und Kräfte wachsen mit dem Quadrat der Geschwindigkeit. Der hohe Kraftbedarf bei hohen Geschwindigkeiten ist also schon rein physikalisch vorbestimmt.

Der entstehende Staudruck übt eine Kraft F_{st} auf das Rohr aus, die umso größer ist, je größer die Querschnittsfläche A des Rohres ist:

$$F_{st} = \rho_0 / 2 \cdot A \cdot v^2$$

Im Weiteren stelle man sich nun seitlich in das Rohr angebrachte Bohrungen vor. Ein Teil der einströmenden Luft kann nun durch diese Bohrungen entweichen. Der Staudruck wird nicht mehr in vollem Umfang aufgebaut. In die Bernoulli-Gleichung wird ein zusätzlicher Faktor eingeführt, der „Luftwiderstandsbeiwert c_w “:

$$F_{st} = \rho_0 / 2 \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

Er beschreibt, der wievielte Teil des theoretischen Staudruckes bei der Um- oder Durchströmung eines Körpers wirksam ist. Er kann somit als aerodynamischer Gütemaßstab verwendet werden. So wird z.B. bei einem c_w -Wert von 0,3 nur 30 % des theoretischen Staudruckes erreicht.

Wie können dann aber c_w -Werte über 1 entstehen? So hat z.B. ein konventioneller Fallschirm einen c_w -Wert von 1,35. Dort strömt die eintretende Luft unten teilweise wieder aus dem Schirm heraus, und zwar gegen die Fallrichtung. Durch diese Rückströmung wird die Differenzgeschwindigkeit der Luft größer als die Fallgeschwindigkeit, was dann einfach durch einen größeren werdenden c_w -Wert berücksichtigt wird.

c_w -Werte einiger Einzelkörper:

Kugel	$c_w = 0,48$
Halbkugel - offene Fläche im Luftstrom	$c_w = 1,35$
Halbkugel - offene Fläche entgegen Luftstrom	$c_w = 0,34$
rechteckige Platte, quer im Wind	$c_w = 1,0 - 2,0$, je nach Längen/ Breitenverhältnis
Zylinder, längs im Wind	$c_w = 0,9$
Luftschiffkörper	$c_w = 0,045$
Flugzeugtragflügel	$c_w = 0,09 \dots 0,2$