

## Basics - Technische Parameter

Autor: Peter Kaminski

Das Verständnis bestimmter grundlegender technischer Parameter ist bei der Diskussion um Modelle und Antriebe wichtig und daher möchten wir diese technischen Größen erklären und auch auf ihre Berechnung eingehen.

### Strahlgeschwindigkeit

Die Strahlgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit der Luft am Ausgang der Düse. Durch den drehenden Rotor wird die Luft angesaugt und beschleunigt. Durch die Verengung der Düse erfährt die Luft eine weitere Beschleunigung. Nach dem Gesetz von Bernoulli ändert sich der Druck vor und nach der Verjüngung des Rohrquerschnitts nicht. Da aber die gleiche Luftmenge durch Impeller und verengter Düse durchströmen, wird die Geschwindigkeit der Luft durch die Düse erhöht. Das Produkt aus Querschnittsfläche und Luftgeschwindigkeit bleibt vor und hinter der Düse gleich.

Die Strahlgeschwindigkeit ist deshalb ein wichtiger Parameter, weil sie darüber Auskunft geben kann, wie schnell ein Jetmodell im horizontalen Flug werden kann. Die Strahlgeschwindigkeit muss immer größer sein als die Geschwindigkeit des Modells, da sonst kein Vortrieb entsteht.

Man muss zwischen der Strahlgeschwindigkeit im Stand und im Flug unterscheiden. Im Flug strömt ja die Luft mit der Geschwindigkeit des Modells ein. Dadurch ist die maximale Strahlgeschwindigkeit im Flug höher als im Stand. Anzumerken ist hier, dass sich die Strahlgeschwindigkeit im Flug aber nicht um die Fluggeschwindigkeit erhöht, sondern der Wert liegt deutlich darunter.

Die Strahlgeschwindigkeit wird meistens in Meter pro Sekunde (m/s) angegeben. Es ergibt sich folgende Umrechnung für Kilometer pro Stunde:

$$V \text{ [m/s]} = 3,6 * v \text{ [km/h]}$$

### Äußerer Wirkungsgrad

Die Betrachtung des äußeren Wirkungsgrades des Impeller ist sehr interessant und im ersten Eindruck widersprüchlich. Der äußere Wirkungsgrad  $\eta$  errechnet sich aus der Strahlgeschwindigkeit  $V_s$  und Geschwindigkeit der einströmenden Luft  $V_0$ :

$$\eta = \frac{2}{1 + \frac{v_s}{v_0}}$$

## Basics: Parameter des Antriebs

Zuletzt aktualisiert: Dienstag, 01. September 2020 12:50

Dienstag, 02. Februar 2010 20:26

---

Man muss hier folgende beiden Zustände betrachten ...

*Modell stehend am Boden bei Vollgas:* Hier ist  $V_0 = 0$  und damit auch der Wirkungsgrad  $\eta = 0$ .

Der Vortrieb ist hier aber am größten, d. h. der Schub ist maximal.

*Modell fliegt mit Strahlgeschwindigkeit:*  $V_s = V_0$  und somit  $\eta = 1$ , also maximaler Wirkungsgrad.

Hier ist der Vortrieb, bzw. der Schub aber gleich null.

Es macht also wenig Sinn den Antrieb auf maximalen äußeren Wirkungsgrad, und damit auf Maximalgeschwindigkeit, auszulegen. Es wäre dann bei maximaler Geschwindigkeit nicht der erforderliche Schub vorhanden, um Aufwärtsfiguren fliegen zu können.

## Volumenstrom

Eine weitere Größe ist der sogenannte Volumenstrom  $Q$  (angegeben in  $\text{m}^3/\text{s}$ ), der angibt, wie viel Luftvolumen pro Zeiteinheit durch den Impeller durchgesetzt wird.

$$Q = V / t$$

Auch hier ist der maximale Wert im Flug durch die Zuströmung der Luft höher als im Standbetrieb am Boden.

## Massenstrom

Der Massenstrom  $M$  gibt an, wie viel Luftmasse (angegeben in  $\text{kg}/\text{s}$ ) pro Sekunde durch den Impeller strömt.

$$M = m / t$$

Über dem spezifischen Gewicht  $\rho$  von Luft, lässt sich aus dem Volumenstrom direkt der Massenstrom ableiten:

$$M = \rho * Q$$

Das spezifische Gewicht von Gasen ist aber stark temperaturabhängig. Für Luft ergeben sich folgende Werte:

Temperatur °C	spez. Gewicht $\text{kg}/\text{m}^3$
-10	1,341
-5	1,316
0	1,293
5	1,269
10	1,247

## Basics: Parameter des Antriebs

Zuletzt aktualisiert: Dienstag, 01. September 2020 12:50

Dienstag, 02. Februar 2010 20:26

---

15	1,225
20	1,204
25	1,184
30	1,164
35	1,146

Für 20 Grad Celsius gilt also ungefähr  $M = 1,2 * Q$

## Stand Schub

Mit dem Stand Schub  $S$  haben wir uns ja schon ansatzweise beim äußeren Wirkungsgrad beschäftigt. Der Stand Schub ist der maximal erreichbare Schub eines Modells. Nun dürfte auch klar werden, warum wir uns zuvor mit Volumen- und Massenstrom auseinander gesetzt haben. Der Stand Schub errechnet sich nämlich aus dem Produkt von Massenstrom und Strahlgeschwindigkeit:

$$S = M * v$$

Als Einheit ergibt sich  $\text{kg} * \text{m} / \text{s}^2$ . Die entsprechende SI-Einheit ist das Newton (N).

Der Zusammenhang, dass der Stand Schub vom Massenstrom und somit auch vom Volumenstrom abhängig ist, macht deutlich, dass dem Impeller genügend Luft zuzuführen ist. Nur wenn ein entsprechend hohes Luftvolumen durchgesetzt werden kann, kann auch sich auch ein entsprechender Schub einstellen.

Häufig wird der Schub über eine Waage ermittelt. Hierzu stellt man das Modell senkrecht auf eine Paketwaage oder hängt es an eine Federwaage und misst das Gewicht mit und ohne Schub. Aus der Gewichts Differenz ergibt sich der Schub. Der Schub wird aber natürlich nicht in Kilogramm angegeben. 1 kg gemessener Gewichtsunterschied entspricht einem Schub von 1 kp (Kilopond). Das ist zwar ganz praktisch, aber heutzutage wird ja für den Schub die SI-Einheit Newton verwendet. Man sieht schon an den Einheiten, dass Schub eine Größe ist, die aus Gewicht und Beschleunigung gebildet wird. Da hier als Beschleunigung die Erdbeschleunigung mit  $9,81 \text{ m/s}^2$  herangezogen wird, ergibt folgender Umrechnungsfaktor zwischen Kilopond und Newton:

$$S [\text{N}] = S [\text{kp}] * 9,80665$$

Ein Schub von einem Kilopond entspricht also einem Schub von 9,81 Newton - also grob dem Faktor zehn. Wer sich das Umrechnen ersparen will: es gibt auch Federwaagen, die über eine Newton-Skala verfügen.

Ein wichtiger Parameter für die Leistungsfähigkeit eines Modells ist Schub/Gewichtsverhältnis, also der Schub in Kilopond geteilt durch die Masse in Kilogramm oder auf Newton bezogen:

$$x = 0,102 * \frac{S [N]}{m [kg]}$$

## Elektrische Antriebsparameter

Neben diesen zuvor beschriebenen physikalischen Größen sind für uns natürlich auch die elektrischen Größen des Antriebs von Bedeutung.

Die Motor-Eingangsleistung (angegeben in Watt) ist das Produkt aus Spannung und Strom:

$$P_i = U * I$$

Es wird natürlich durch Verluste nicht gesamte Leistung an die Motorwelle gebracht. Die effektive mechanische Leistung ergibt sich aus dem Produkt von Eingangsleistung mal dem Wirkungsgrad.

$$P_m = \eta * P_i$$

Der Wirkungsgrad errechnet sich also aus:

$$\eta_{\text{motor}} = \frac{P_m}{P_i} = \frac{n * M}{U * I}$$

n ist dabei die Motordrehzahl und M das Drehmoment.