

Die Physik zum FSC¹

Ob nun wirklich ein herabfallender Apfel den Anstoß dazu gab, ist nicht belegt. Jedenfalls ist seit Newton² bekannt, dass Kräfte immer paarweise auftreten, dass jede Aktion eine Reaktion hervorruft und jede Kraft eine gleich große Gegenkraft erzeugt. Diese allgemein gültige Aussage kann im Speziellen auch auf das Windsurfen übertragen werden.



Abbildung 1

Als Reaktion auf die am Segel wirkende Windkraft, wird an der Finne eine Querkraft erzeugt (Abbildung 1). Die beiden Kräfte wirken entgegengesetzt, sind gleich groß und heben sich folgerichtig auf

$$\text{Windkraft} = -\text{Querkraft} \quad (1)$$

Es kann also nur so viel Windkraft genutzt werden, wie es die Querkraft erlaubt. Die Finne begrenzt die effektive Segelgröße. Genau hier setzt der FSC an.

In Fahrt entsteht an der Finne eine hydrodynamische Kraft (F). Sie setzt sich aus dem Strömungswiderstand (R) und dem dynamischen Auftrieb (L) zusammen (Abbildung 2). Ihr gemeinsamer Angriffspunkt ist der Druckpunkt der Finne.

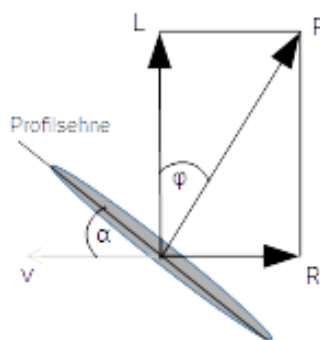


Abbildung 2

Die Erfahrung zeigt, dass bei Geschwindigkeiten die zu Verwirbelungen führen, die hydrodynamische Kraft wie folgt zu berechnen ist

$$F = c_a S \rho v^2 \sin \alpha \quad (2)$$

c_a – Auftriebskoeffizient, dimensionslos;

¹ Fin to Sail Size Calculator: <https://www.zikeli.net>

² Sir Isaak Newton (1643–1727), englischer Universalgelehrter

- S – Finnenfläche;
- ρ – (*rho*) Dichte des Mediums, Einheit kg/m^3 ;
- v – Anströmgeschwindigkeit relativ zur Fläche, Einheit m/s ;
- α – Anstellwinkel.

Der Auftrieb einer Finne entsteht durch ihre Querstellung zur Strömung. Wasserteilchen die die Finne an der Luv Seite („oberhalb“) umspülen, legen einen längeren Weg als auf der Lee Seite zurück. Sie müssen in Luv an ihr schneller vorbeifließen. Dadurch entsteht auf dieser Seite ein Unterdruck („Sog“), welcher die Finne nach Luv („oben“) zieht (Abbildung 3).

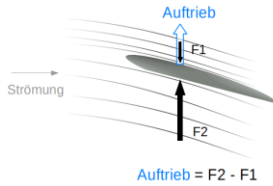


Abbildung 3

Der Begriff Auftrieb wurde ursprünglich für Tragflügel eingeführt. Bezüglich der Finne ist er etwas irreführend, zumal seine englische Übersetzung *lift* von Surfern i. d. R. nicht als die nach Luv wirkende Kraft, sondern als eine senkrecht auf das Board nach oben wirkende Kraft, verstanden wird.

Als eine seitliche Darstellung betrachtet, ist Abbildung 3 der Querschnitt eines Tragflügels, mit einem wie erwarteten Auftrieb nach oben. Wird hingegen das Bild als von oben dargestellt interpretiert, so ist es der Querschnitt einer senkrecht im Wasser stehenden Finne, mit einem zur Seite gerichteten Auftrieb. Aus dem Kräfteparallelogramm (Abbildung 2) geht hervor, dass F senkrecht zur Finnenfläche steht, wodurch $\varphi = \alpha$ ist. Damit ist der Auftrieb

$$L = F \cos \varphi = F \cos \alpha = c_a S \rho v^2 \sin \alpha \cos \alpha = c_a S \frac{\rho}{2} v^2 \sin 2\alpha \quad (3)$$

- L – dynamischer Auftrieb (Lateralkraft), Einheit N (Newton);
- $\frac{\rho}{2} v^2$ – wird als Staudruck (p_{Stau}) bezeichnet, Einheit $\frac{N}{m^2}$.

Ändert sich die Richtung der Anströmgeschwindigkeit, ändert sich die Richtung der Gesamtkraft F . Der dynamische Auftrieb L steht jedoch immer senkrecht ($\sin 90^\circ = 1$) zur Geschwindigkeit v , siehe Abbildung 2. Das bedeutet, dass

$$L = c_a S \frac{\rho}{2} v^2. \quad (4)$$

S – die Projektion der angeströmten Finnenfläche.

Wie so vieles in der Strömungslehre leitet sich (4) ebenfalls aus Erfahrungswerten ab. Ein solcher Wert ist auch der optimale Anstellwinkel, welcher bei $\sim 15^\circ$ liegen soll.

Die Finnenlänge, oft als einziges Kriterium wahrgenommen, kommt in all den Gleichungen nicht einmal vor. Was hat es mit dieser auf sich?

Das Seitenverhältnis einer Finne, Streckung genannt, ist

$$\lambda = \frac{T}{\emptyset B} = \frac{T}{\frac{S}{T}} = \frac{T^2}{S} \quad (5)$$

- λ - Streckung (aspect ratio), dimensionslos;
 T - Tiefgang (Finnen-Länge), Einheit m ;
 $\emptyset B$ - mittlere durchschnittliche Breite, m ; $\emptyset B = \frac{S}{T}$.

Die Fläche in (4) mit jener aus (5) substituiert, $S = \frac{T^2}{\lambda}$, ergibt

$$L = c_a \frac{T^2}{\lambda} \frac{\rho}{2} v^2. \quad (6)$$

Der Auftrieb hängt nicht nur vom Quadrat der Geschwindigkeit sondern auch vom Quadrat der Finnenlänge ab. Das Quadrat einer Länge ist nichts anderes als eine (quadratische) Fläche. Je größer der Wert von λ ist – Formulafinnen können so zwischen 7 und 8 erreichen – desto gestreckter ist die Finne, desto kleiner ist ihr Auftrieb (bei gleicher Fläche). Nochmal zur Erinnerung, es ist damit nicht der *lift* des Boards gemeint. Bilder sagen mehr als tausend Worte. Ähnlich tut es Formel (6).

Diese Grundlagen gelten gleichermaßen sowohl für Finnen als auch für Segel. Dass die Finne gelegentlich als „Segel unter Wasser“ bezeichnet wird, kommt nicht von ungefähr.

Es ist wahrscheinlich unmöglich alle Wechselwirkungen die am Auftrieb beteiligt sind, in eine einzige Gleichung unterzubringen. Als Ersatz dient der Auftriebskoeffizient. In diesem steckt die gesamte Erfahrung des Finnen- bzw. Segeldesigners.

Die Finne bewegt sich im Wasser mit einer Dichte von $\sim 1000 \text{ kg/m}^3$, das Segel in der Luft mit einer Dichte von $\sim 1 \text{ kg/m}^3$. Durch seine hohe Dichte ist Wasser nahezu nicht komprimierbar. Hingegen nimmt die Dichte der Luft durch Kompression zu. Bei gleicher Wetterlage ist der Luftdruck am Bergsee immer niedriger als auf Meereshöhe. Deswegen kann in höheren Lagen, bei gleicher Windstärke, ein größeres Segel mit der gleichen Finne gefahren werden. Kalte Luft ist dichter als warme und trockene dichter als feuchte. Alle diese Umstände wirken sich in der richtigen Wahl der Finnen-Segel Kombination aus. Der FSC soll dabei als Orientierungshilfe dienen.

Dass das Segel so viel größer als die Finne ist, liegt eben an den unterschiedlichen Dichten der beiden Elemente, Luft und Wasser. Die Finnenfläche S_F beträgt etwa $\sim 0,5\%$ der Segelfläche S

$$S_F = 0,005 \cdot S. \quad (7)$$

Ist die Finnenfläche bekannt, lässt sich die von ihr maximal verkraftete Segelfläche berechnen

$$S = \frac{S_F}{0,005} \quad (8)$$

Der FSC beschränkt sich auf Werte, welche jedem Freizeitsurfer leicht zugänglich sind: Finnenlänge, Finnenfläche, Höhenlage, Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit. Das ist es, was den FSC ausmachen sollte.