

Die Physik zum FSC¹

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



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.

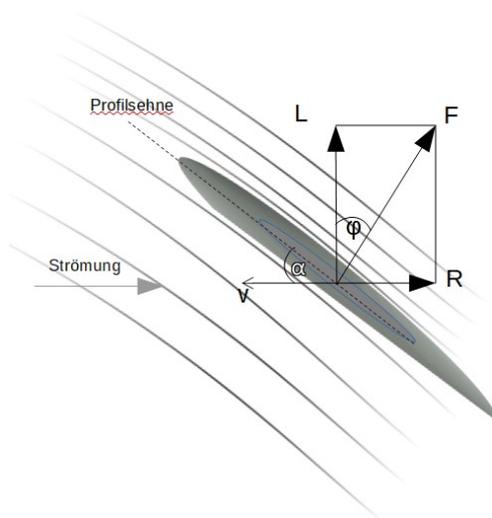


Abbildung 2

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

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

Der Begriff Auftrieb wurde ursprünglich für Tragflügel eingeführt. Anders als beim Frontflügel eines Foils ist er bezüglich der Finne 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 2 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.

Ändert sich die Richtung der Anströmgeschwindigkeit, ändert sich die Richtung der Gesamtkraft F . Der dynamische Auftrieb L steht jedoch immer senkrecht zur Geschwindigkeit v , siehe Abbildung 2. Die Formel für den dynamischen Auftrieb lautet

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

- L – dynamischer Auftrieb (Lateralkraft), Einheit N (Newton);
- c_a – Auftriebsbeiwert, dimensionslos;
- S – die Projektion der angeströmten Finnenfläche;
- ρ – (*rho*) Dichte des Mediums, Einheit kg/m^3 ;
- v – Anströmgeschwindigkeit relativ zur Fläche, Einheit $\frac{m}{s}$;
- $\frac{\rho}{2} v^2$ – wird als Staudruck (p_{Stau}) bezeichnet, Einheit $\frac{N}{m^2}$.

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

Das Seitenverhältnis einer Finne, Streckung genannt, ist

$$\lambda = \frac{T}{\varnothing B} = \frac{T}{\frac{T}{S}} = \frac{T^2}{S} \quad (3)$$

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

Die Fläche in (2) mit jener aus (3) substituiert, $S = \frac{T^2}{\lambda}$, ergibt

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

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, desto gestreckter ist die Finne.

Diese Grundlagen gelten gleichermaßen für Finnen, Foilflügel als auch für Segel.

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 selben 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/Foil-Segel Kombination aus. Der FSC soll dabei helfen.

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

$$S_F = 0,005 \cdot S . \quad (5)$$

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

$$S = \frac{S_F}{0,005} . \quad (6)$$

Mit der Erweiterung zum Foil-Rechner wird die Segelfläche bei gleichbleibendem Ergebnis nun auch für die Finne ausgehend von der Formel (2) berechnet

$$S = \frac{2L}{c_a \rho v^2} = \frac{2mg}{c_a \rho v^2} \quad (7)$$

m – Masse, Einheit kg ;

g – Erdbeschleunigung³, Einheit $\frac{m}{s^2}$.

Beim Foil ist c_a der Auftriebsbeiwert des Frontflügels. In die Berechnung der Segelfläche fließt noch dessen Hebelarm mit ein. Je länger dieser ist, desto mehr Auftrieb hat das Foil, wobei immer von einer neutralen Einstellung des Heckflügels ausgegangen wird.

Der FSC beschränkt sich auf Eingabewerte, welche jedem Freizeitsurfer leicht zugänglich sind. Das ist es, was den FSC als Orientierungshilfe ausmachen sollte.

³ $\sim 9,8 \frac{m}{s^2}$