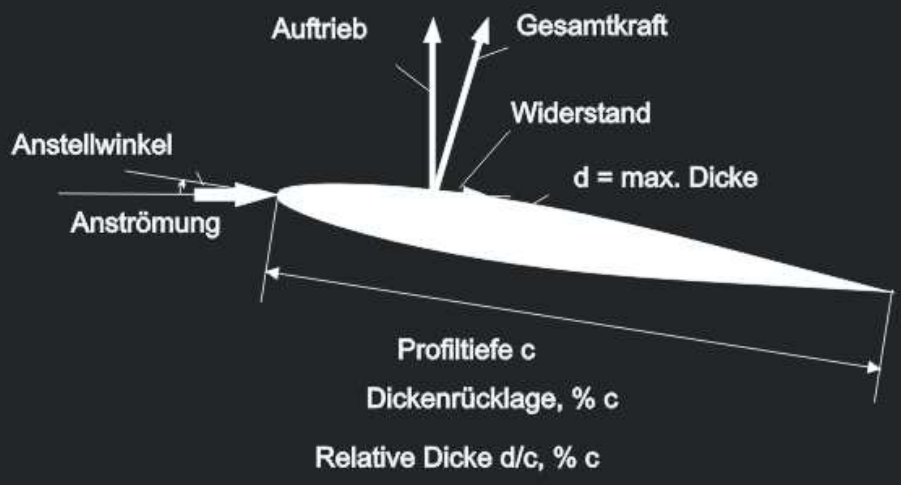
MAUI Vitra FINS

Finnengeheimnisse



Finnengeheimnisse

Rick Hanke, Maui Ultra Fins, 2010

Einführung
In vielen Windsurfforen wird über die Wirkung von Windsurffinnen diskutiert. Dabei werden die abenteuerlichsten Theorien darüber aufgestellt, wie die Seitenkräfte an einer Finne entstehen, was ein Spin-out ist und wie Finnen überhaupt wirken.

Mit dem folgendem Beitrag sollen die grundsätzlichen Zusammenhänge sachlich, physikalisch und auch für den Laien verständlich erklärt werden.

Um die Wirkung und den Zweck einer Finne zu verstehen, die ja nur ein Teil eines gesamten Windsurfsystems darstellt, müssen wir zunächst das Gesamtsystem beschreiben, um die wesentlichen Zusammenhänge zu begreifen.

Das Gleichgewichtsprinzip
Zur Beschreibung der Bewegung eines Windsurfbretts bedient man sich einer einfachen Betrachtung des Gleichgewichts aller angreifenden Kräfte und Momente (Kraft x Hebelarm).
Die dafür notwendigen Beziehungen hat Isaac Newton bereits 1687 formuliert und sie sind auch heute noch gültig.

Das Newtonsche Prinzip besagt, dass die Bewegung eines Körpers durch die Kräfte und Momente, die auf ihn einwirken, beschrieben werden kann. Bei jedem Körper, der sich in Ruhe oder in gleichförmiger Bewegung befindet, muss die Summe aller Kräfte und Momente gleich Null sein. Das heißt, die Kräfte müssen sich in ihrer Wirkung aufheben. Andernfalls würde der Körper beschleunigen oder verzögern.

Kräfte und Momente beim Windsurfen
Ohne nun im Einzelnen die aerodynamischen Kräfte des Segels (Luftkräfte) oder die hydrodynamischen Kräfte der Finne zu berechnen, lassen sich alle Kräfte aus den Gewichtskräften bestimmen, da sie mit den aero- und hydrodynamischen Kräften im Gleichgewicht stehen müssen.

Der Boardauftrieb
In Gleitfahrt wird der Auftrieb des Boards dynamisch durch die Wasserströmung des schräg angestellten Boards erzielt. Die Wasserströmung wird nach unten abgelenkt und erzeugt dadurch eine Kraft nach oben (Aktion = Reaktion), den Auftrieb, der das Gesamtgewicht trägt.

Aus der Gleichgewichtsbedingung ergibt sich:

Auftrieb (Board) = Gewicht, **Bild 1**

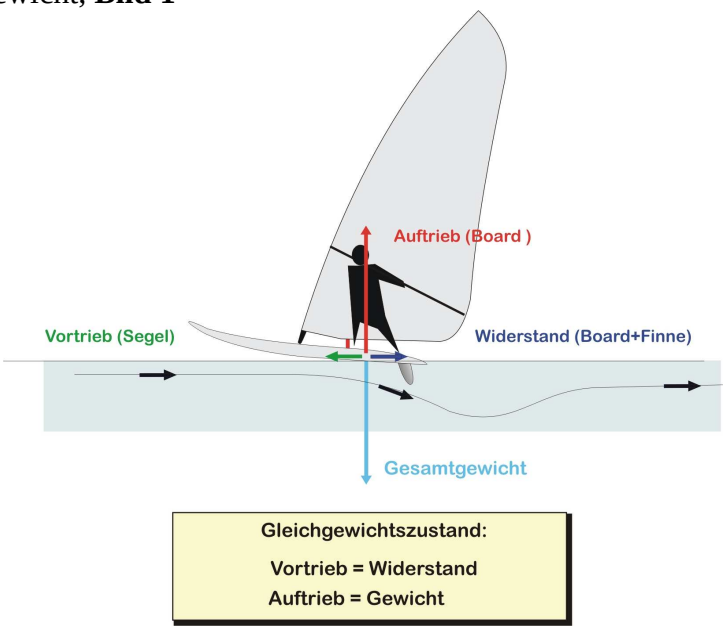


Bild 1: Die Vertikalkräfte beim Windsurfbrett

Die Segel-, Board- und Finnenkräfte
Der Fahrtwind (scheinbarer Wind) erzeugt am Segel eine Gesamtluftkraft ungefähr senkrecht zur Anströmung. Diese Luftkraft kann man zerlegen in eine Komponente in Fahrtrichtung, das ist der Vortrieb und eine Komponente senkrecht (quer) zur Brettachse, das ist die Segelseitenkraft.

Damit das Board mit konstanter Geschwindigkeit einen festen Kurs fährt, müssen alle angreifenden Kräfte und Momente im Gleichgewicht sein, also:

Vortrieb (Segel) = Widerstand (Board) und
Seitenkraft des Segels = Seitenkraft von Finne + Board

Darüber hinaus müssen alle Momente = 0 sein (**Bild 2**).

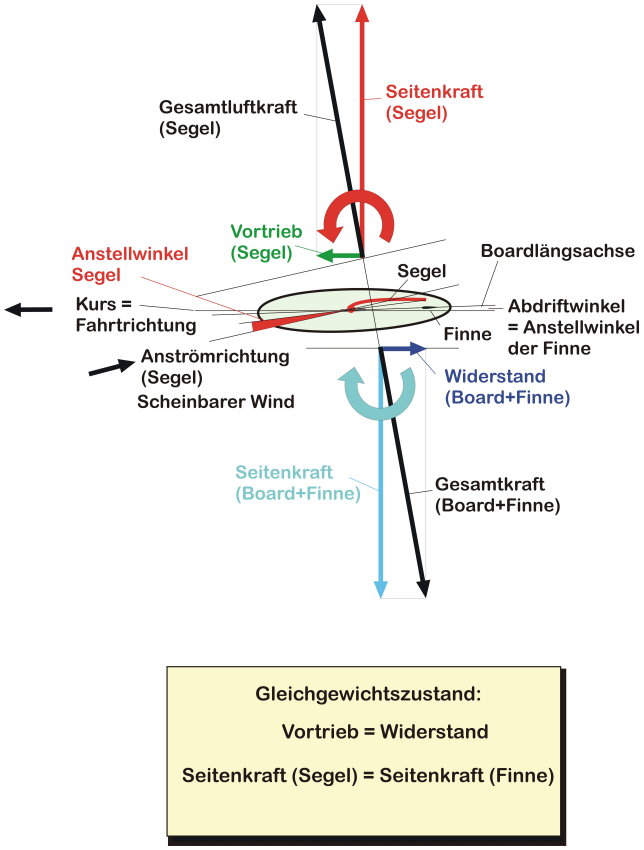


Bild 2: Die Horizontalkräfte am Windsurfbrett

Die Finnenseitenkraft wird in gleicher Weise wie die Luftkraft des Segels durch Anstellung der Finne zur Strömung im Wasser erreicht. Bei der Finne ist der Abdriftwinkel der Anstellwinkel, der für die Erzeugung der Seitenkraft erforderlich ist.

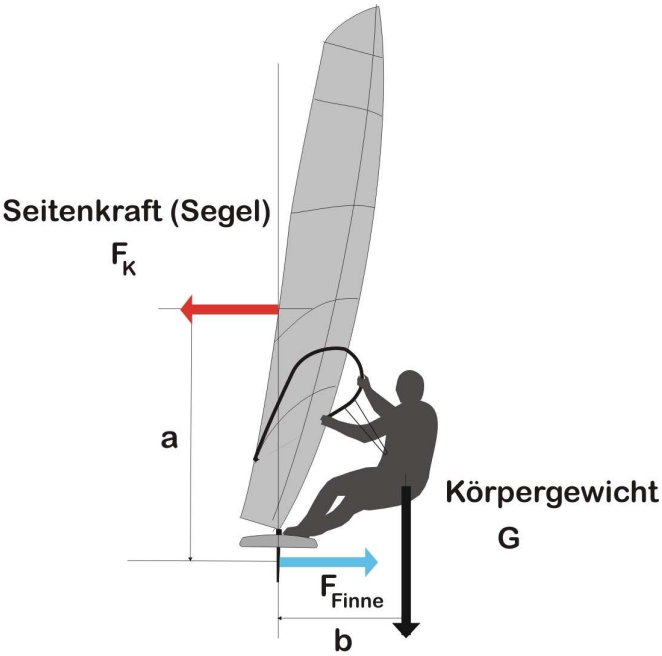
Alle physikalischen Phänomene zur Krafterzeugung an einem Tragflügel oder Segel gelten auch für die Finne. Nur ist die Dichte des umströmenden Mediums Wasser ca. 850-mal größer und die Zähigkeit 14-mal kleiner als die der Luft. Daher kann die Finne so sehr viel kleiner sein als das Segel, um die gleiche Kraft zu erzeugen. Die maßgebliche Geschwindigkeit für die Finne ist die Fahrgeschwindigkeit, für das Segel ist es der scheinbare Wind, der größer sein kann als die wahre Windgeschwindigkeit.

Segel- und Finnenkraft
Welche Kraft wird nun vom Segel erzeugt, die die Finne aufnehmen muss?

Dazu schauen wir uns das Board mit Segel von vorn mit den angreifenden Kräften und Momenten an.

Aus der Gleichgewichtsbedingung: Summe aller Momente gleich Null, ergibt sich, dass die maximale Segelseitenkraft nicht größer als ein bestimmter Anteil des Körpergewichts (Gewichtskraft) sein kann, andernfalls würde der Surfer vom Segel über das Brett gezogen (**Bild 3**).

Das heißt, dass unter allen Bedingungen, egal wie stark der Wind ist, wie schnell man fährt, welchen Kurs man fährt, wie groß das Segel ist, die Segelseitenkraft, die auf das Brett bzw. die Finne wirkt, in seiner Größe **begrenzt** ist.



Gleichgewichtszustand:

$$F_K \; a = G \; b$$

$$F_{Finne} = F_K$$

$$F_{Finne} = G \frac{b}{a}$$

$$F_{Finne} = G \frac{0{,}9}{2{,}4}$$

$$F_{Finne} = 0{,}375 \; G$$

Bild 3: Segel- und Finnenkraft

Aufgrund der geometrischen Abmessungen ergibt sich eine maximale Seitenkraft von ca. 37,5 % des Körpergewichts, die ausgeglichen werden kann. Bild 3.

Bei 80 kg Körpergewicht sind das 30 kg, bei 100 kg entsprechend 37,5 kg.
(Als Einheit der Kraft müsste korrekt die Einheit Newton verwendet werden (37,5 kg = 367,8 N). Zur besseren Veranschaulichung verwenden wir die Einheit kg für die Gewichtskraft wie im allgemeinen Sprachgebrauch üblich).

Damit ist die Kraft, die die Finne maximal aufbringen muss, festgelegt, sie hängt nur vom Körpergewicht des Windsurfers ab. Ein kleiner Anteil kann auch noch vom Board aufgebracht werden, im Wesentlichen muss aber die Finne die Last tragen. Mehr Finnenkraft wird allerdings bei größerer Heckbreite des Boards benötigt, da das zusätzliche Moment, das der Surfer auf das Brett ausübt, durch die Finne kompensiert werden muss.

MAUI Vitra FINS

Die Finne

Definitionen
Zur Beschreibung der Finnen- und Profilgeometrie werden folgende charakteristische Größen gemäß **Bild 4 und 5** verwendet.

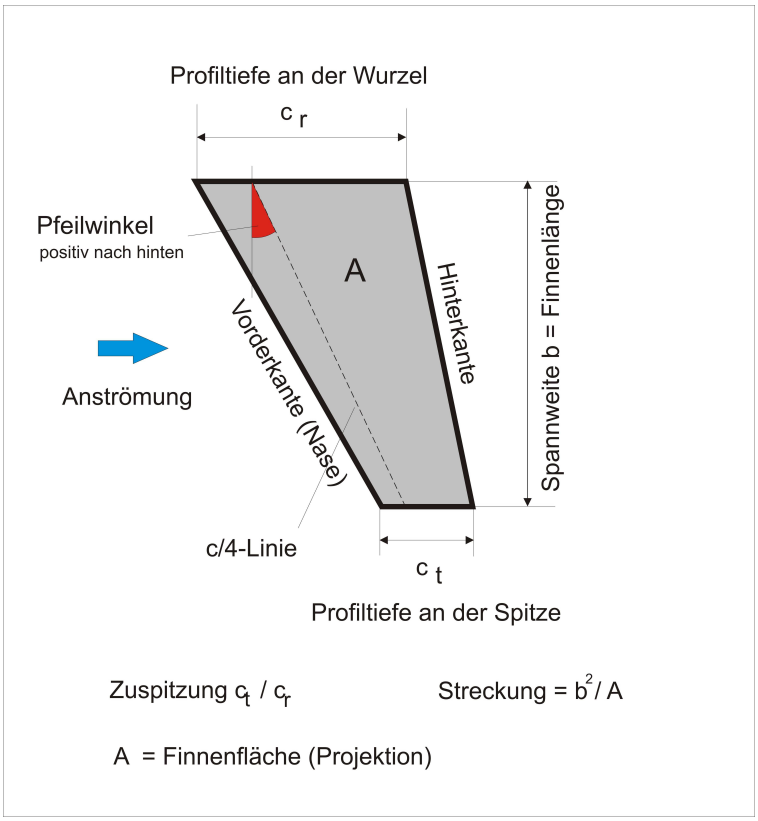


Bild 4: Finnenbezeichnungen

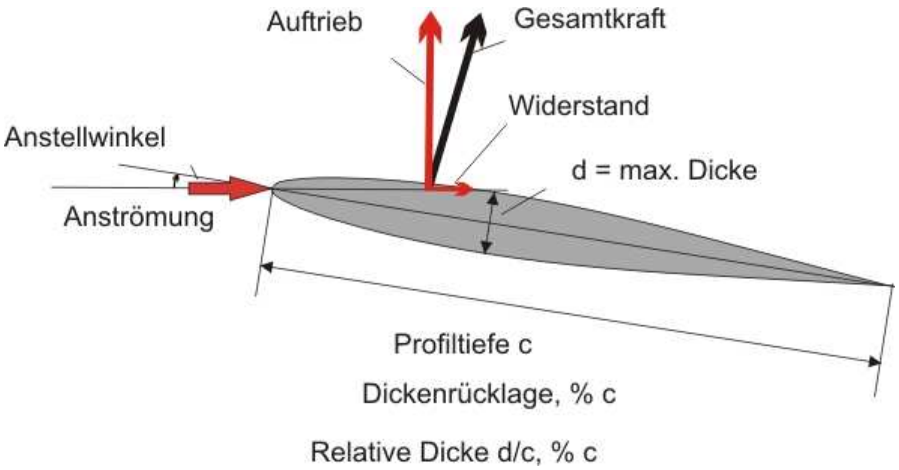


Bild 5: Profilbezeichnungen

Einfluss auf die hydrodynamische Güte der Finne haben die Länge, das Seitenverhältnis, die Zuspitzung, die Fläche, die relative Profildicke, die maximale Dickenrücklage, der Nasenradius an der Vorderkante und die Zuspitzung des Profils in Richtung Hinterkante.

Erzeugung von Auftrieb und Widerstand
Wie erfolgt nun die Seitenkrafterzeugung? Da die Finne ein kleiner Flügel ist, bezeichnet man die auftretenden Kräfte auch als Auftrieb und Widerstand, weil diese Kräfte etwas über die Güte der Finne aussagen. Nur dadurch, dass die Finne senkrecht zum Board steht, wird aus dem Auftrieb eine Seitenkraft. Die Krafterzeugung ist aber identisch zur Auftriebserzeugung am Flügel.

Die Erzeugung eines Auftriebs durch einen angeströmten Flügel entsteht durch Anstellung (Anstellwinkel) des Flügelprofils zur Anströmung (**Bild 6**). Die Umströmung ist dadurch nicht mehr symmetrisch, sondern auf der oberen Seite muss die Strömung einen längeren Weg zurücklegen als auf der Unterseite. Sie strömt auf der Oberseite schneller und dadurch wird der Druck in der Strömung geringer (Unterdruck) als auf der anderen Seite (Überdruck). Der Druckunterschied bewirkt die Auftriebskraft. Mit der Auftriebserzeugung ist immer ein Widerstand verbunden, dessen Größe von der Profilgeometrie und den Reibungskräften der Wassermoleküle an der Finnenoberfläche abhängt.

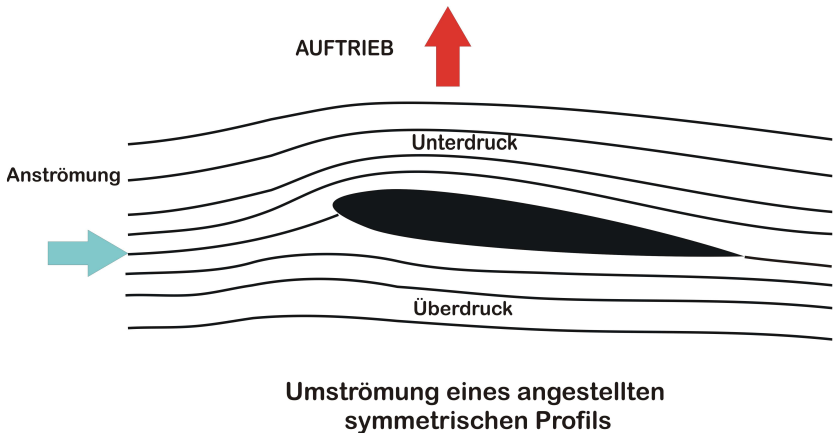


Bild 6: Strömung und Auftrieb am Profil

Der Auftrieb vergrößert sich praktisch linear mit dem Anstellwinkel, bis der Winkel so groß wird, dass die Strömung der Krümmung nicht mehr folgen kann und die Strömung abreißt (**Bild 7)**. Damit fällt der Auftrieb zusammen, die Finne wird wirkungslos. Das ist der Spin-out beim Windsurfen.

Bild 7: Strömungsabriss am Profil

Bis zu welchen Anstellwinkeln die Strömung noch anliegt, hängt vom Profil ab. Bei dünnen Profilen mit scharfer Nase (Vorderkante) erfolgt der Abriss relativ früh, bei dickeren Profilen mit runder Nase erst bei größeren Anstellwinkeln.

Weiterhin entscheidet das Profil, wie hoch der Widerstand im gesamten Arbeitsbereich ist. Neuere Laminarprofile liefern in einem begrenzten Anstellwinkelbereich wesentlich weniger Widerstand als herkömmliche Profile, weil die Strömung nahe der Oberfläche turbulenzfrei verläuft. Vorraussetzung ist eine glatte Oberfläche und keine Beschädigungen an der Nase der Finne.

Die Leistung der Finne ist sehr stark von der Reynoldszahl abhängig. Die Reynoldszahl ist eine Verhältniszahl von Trägheitskräften zu Zähigkeitskräften in der Strömung, also sehr von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig. Wasser ist z.B. 14-mal weniger zäh als Luft. Inzwischen gibt es neuere Profilentwicklungen, die gerade bei kleineren Reynoldszahlen (niedrige Geschwindigkeit) noch gute Resultate liefern.

Profilpolare
Profileigenschaften lassen sich anschaulich im Diagramm „Auftrieb über dem Anstellwinkel“ darstellen. Ein Vergleich verschiedener Profile lässt sofort die Leistungsunterschiede erkennen. Bild 8 zeigt 2 verschiedene Polaren (A und B).

Beide Finnen haben den gleichen linearen Auftriebsverlauf bei Vergrößerung des Anstellwinkels. Bei Profil B reißt die Strömung aber bereits bei 9 Grad ab (Spin-out), während Profil A bis zu einem Anstellwinkel von 13 Grad noch anliegende Strömung zeigt, bis die Strömung abreißt. Damit liefert Profil A wesentlich mehr Auftrieb und kann bei niedrigeren Geschwindigkeiten noch hinreichend Auftrieb erzeugen und erlaubt wesentlich besseres Höhelaufen.

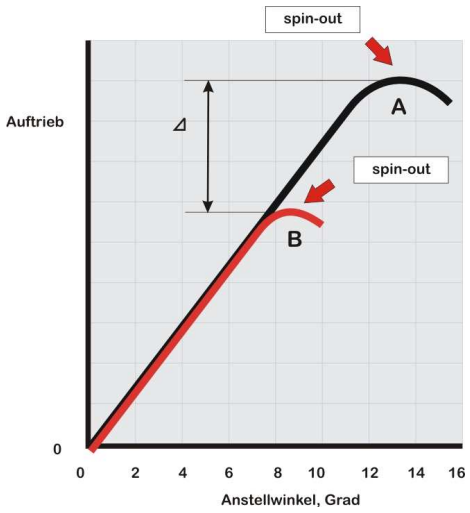


Bild 8: Profilpolare

Für die gesamte Finne als dreidimensionaler endlicher Flügel sind die Kräfte Auftrieb, Widerstand und die Momente proportional zu

- der Dichte des Wassers
- dem Quadrat der Geschwindigkeit
- der Finnenfläche
- dem Anstellwinkel und
- der Profilgeometrie.

Neben dem Profil ist wie beim Segel die entscheidende Größe die Fläche. Eine große Fläche bedeutet mehr Auftrieb, aber auch mehr Widerstand. Weiterhin kann die Finnenleistung durch die Geometrie der Finne optimiert werden. Lange schlanke Finnen, wie bei den Slalomfinnen, haben ein sehr gutes Verhältnis von Auftrieb zum Widerstand, sind hydrodynamisch also sehr effizient (siehe auch Segelflugzeuge mit sehr großen Spannweiten und schlanken Flügeln). Um einen Strömungsabriss (Spin-out) zu vermeiden muss die Finnenfläche so gewählt werden, dass unter allen Bedingungen die erforderliche Kraft erzeugt werden kann, ohne in den Abreißbereich zu gelangen. Es gibt aber auch Zustände, wo die Finne, weil sie nicht immer im Wasser ist, wegen des Unterdrucks Luft ansaugt, und dann kommt es ebenfalls zum Strömungsabriss. Darüber hinaus gibt es dynamische Vorgänge wie z.B. radikale Manöver, bei denen kurzzeitig sehr viel Druck auf das Brett gegeben wird, was ebenfalls zum Strömungsabriss führen kann.

Neben der Leistungsoptimierung sind auch noch die Fahreigenschaften zu berücksichtigen, die durch die Finnengröße, Finnenform, den Rake (Pfeilung) und die Steifigkeit bestimmt werden.

Spin-out
Beim Windsurfen wird der Zusammenbruch des Auftriebs beim Ablösen der Strömung als Spin-Out bezeichnet. In der Luftfahrt verwendet man die Bezeichnung Strömungsabriss (englisch: „stall“). Ein Strömungsabriss beim Flugzeug ist sehr gefährlich und kann zum Trudeln und Absturz führen. Entweder wird das Stallverhalten durch Profilauswahl über der Spannweite beherrschbar gemacht bzw. heutzutage durch elektronische Begrenzungsfunktionen („fly-by-wire“) verhindert.

Kavitation
Häufig wird im Zusammenhang des Spin-outs auch von Kavitation gesprochen. Kavitation ist allerdings ein ganz anderes physikalisches Phänomen als der Strömungsabriss. Von Kavitation spricht man, wenn der Unterdruck am Profil gleich dem Dampfdruck des Wassers ist. Das Wasser verdampft bei dem niedrigen Druck und es bilden sich Dampfblasen an der Oberfläche der Finne, die zu einem Verlust des Auftriebs und Erhöhung des Widerstandes führen. Kavitation kann bei sehr hohen Geschwindigkeiten auch bei kleinen Anstellwinkeln auftreten. Bei Schiffspropellern ist Kavitation ein großes Problem, da die Dampfblasen zur Zerstörung des Propellermaterials führen können.

Steifigkeit, Flex und Twist (Bild 9)
Die Steifigkeit wird durch die elastischen Eigenschaften des Materials der Finne bestimmt.
Die Belastung der Finne verursacht ein Wegbiegen (Ausweichen), welches die Anströmung des Profils verändert. Je größer die Biegung (Flex), desto größer ist die Abweichung von der idealen Auftriebsverteilung. Biegung verursacht eine Reduzierung der Seitenkraft und damit eine Reduzierung der Leistung. Flex lässt sich bei sehr langen Finnen nicht vermeiden, es gibt kein Material mit unendlich hohen Steifigkeitswerten. Es gibt allerdings auch Gründe einen gewissen Flex aus Fahreigenschaftsgründen einzubauen, um ein etwas indirekteres Fahrgefühl zu erzeugen.

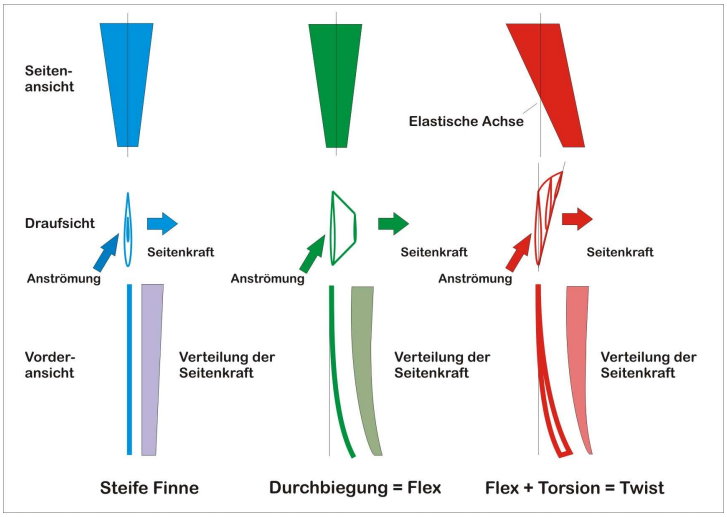


Bild 9: Steifigkeit, Durchbiegung (Flex) und Torsion (Twist)

Twist
Twist ist eine Verdrehung der Finne um die Längsachse. Twist kann nur entstehen, wenn die Finne gepfeilt ist und die Kraft außerhalb der elastischen Achse angreift, also ein Drehmoment vorhanden ist. Dadurch dass sich das Profil in Richtung der Strömung dreht, wird der Anstellwinkel verringert, was einen Spin-out örtlich verringern kann. Allerdings bedeutet das immer einen Leistungsverlust. Twist ist vergleichbar mit dem Twist im Segel, das bei Böen ausweicht, während die Finne bei erhöhtem Druck ausweicht.

Finne und Fahreigenschaften
Die bisherigen leistungsmäßigen Betrachtungen waren grundsätzlicher Art und lassen sich verhältnismäßig einfach darstellen.

Wie schnell ein Board bei jedem Kurswinkel ist, wie viel Höhe man laufen kann, all das lässt sich dank GPS heutzutage relativ einfach vermessen. Einfach ist es auch noch, festzustellen, ob die Finne zum Spin-out neigt oder nicht.

Viel schwieriger ist es, Fahreigenschaften wie Stabilität, Kontrollierbarkeit, Agilität, Verhalten in der Welle oder bei Moves objektiv zu bestimmen bzw. zu berechnen, da die Fahreigenschaften eines Windsurfboards durch das Segel, das Brett und die Finne bestimmt werden. Darüber hinaus sind sie extrem vom Können und persönlichen Vorlieben des Windsurfers in ihrer Beurteilung abhängig. Was der eine Surfer als agil bezeichnet, muss der andere noch lange nicht als agil empfinden, weil er ganz andere Ansprüche stellt.

In gleicher Weise, wie bisher Boards oder Segel getestet werden, lassen sich auch Finnen testen und nach entsprechenden fahrdynamischen Bewertungskriterien beurteilen. Dabei muss aber darauf geachtet werden, dass man die Testbedingungen konstant hält, gleicher Fahrer, gleiches Brett, gleiches Segel, gleiche Bedingungen und gleiche Finnenfläche.

Fazit
Die Finne ist das Segel unter Wasser, also genauso wichtig. Ohne Finne gibt es keine Geradeausfahrt.

Schwere Surfer benötigen mehr Finnenfläche, ebenso Bretter mit breitem Heck.
Leider werden Finnen in der Regel nicht wie Segel nach der Fläche eingeordnet, sondern nach der Länge. Dabei bestehen zwischen den verschiedenen Finnenherstellern erhebliche Unterschiede in den Flächen bei gleicher Länge (**Bild 10)**. Die Länge wiederum beeinflusst die Agilität des Boards, so gibt es für jede Anwendung entsprechend angepasste Finnenformen.

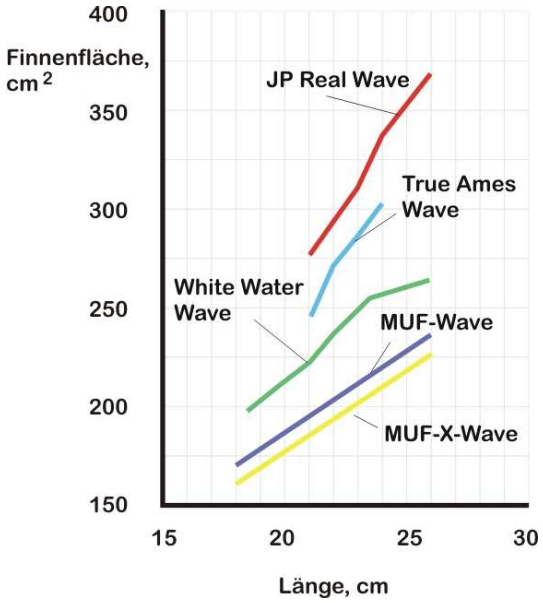


Bild 10: Finnenfläche und -länge für Wave Finnen verschiedener Hersteller

Wie bei jeder technischen Entwicklung ist eine wissenschaftliche Vorgehensweise auch bei der Finnenentwicklung angesagt, um ein optimales Produkt unter Berücksichtigung aller physikalischen Erkenntnisse und Verfahren zu entwickeln. Glücklicherweise gibt es heutzutage Berechnungsverfahren bzw. Computerprogramme, die die Profileigenschaften mit hinreichender Genauigkeit ermitteln können und damit den Strömungskanal mit teuren Versuchen ersetzen.

Allerdings müssen auch die so entworfenen Finnen aufgrund der dynamischen Vorgänge beim Windsurfen intensiv unter realistischen Bedingungen getestet werden. Dies geschieht bei Maui Ultra Fins systematisch mithilfe von GPS-Messungen und Bewertungsprotokollen, die von Profis und Amateuren ausgefüllt und statistisch ausgewertet werden.

Nur eine gute Finne macht das Board leistungsfähiger und erhöht das Fahrvergnügen.

More speed, more grip, more fun.

Ein großes MAHALO geht an Michael Benkert, Gereon Westphal, Timm Köpke, Charlie Gilman and Bob Waterman für Ihre wertvollen Anregungen und kritischen Beiträge in Bezug auf diesen Artikel!