

SEGEL TRIMM

in Theorie und Praxis

Peter Hahne



SEGEL TRIMM

in Theorie und Praxis

Peter Hahne



Einbandgestaltung: Katrin Kleinschrot, Marion Köster
Titelbild: aragami12345s (Shutterstock)
Bildnachweis: S. 9: Markus Drenckhan; S. 31: Ralf G. Weise; S. 133, 134:
TU Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr; S. 146: ENERCON, Aurich; S. 152,
154, 155, 156: SkySails, Hamburg; S. 120, 123: Hydrovane, West Vancouver
(Canada); S. 124: SAILOMAT/Dr. Stellan Knöös, La Jolla, CA USA; S. 125, 126:
Windpilot, Hamburg.
Alle übrigen Fotos und Grafiken stammen von Peter Hahne

Eine Haftung des Autors oder des Verlages und seiner Beauftragten
für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

ISBN 978-3-613-50661-9

Copyright © by Verlag pietsch, Postfach 103743, 70032 Stuttgart
Ein Unternehmen der Paul Pietsch Verlage GmbH & Co. KG

2. Auflage 2015. Überarbeitete und erweiterte Neuauflage der 2001
erschiedenen und 2004 und 2011 überarbeiteten Erstauflage.

Nachdruck, auch einzelner Teile, ist verboten. Das Urheberrecht und sämtliche
weiteren Rechte sind dem Verlag vorbehalten. Übersetzung, Speicherung,
Vervielfältigung und Verbreitung einschließlich Übernahme auf elektronische
Datenträger wie DVD, CD-ROM usw. sowie Einspeicherung in elektronische
Medien wie Internet usw. ist ohne vorherige Genehmigung des Verlages unzu-
lässig und strafbar.

Lektorat: Angela Saur, Susanne Fischer
Innengestaltung: Jennifer Prosser, tebitron gmbh, 70839 Gerlingen
Druck und Bindung: Appel & Klinger Druck und Medien GmbH,
96277 Schneckelohe
Printed in Germany



Inhalt

4 Einleitung

6 Etwas Theorie

- 7 Laminare und turbulente Strömungen
- 8 Zirkulation
- 11 Auftrieb und Widerstand
- 15 Auftrieb und Widerstand am Segel
- 17 Die Kräfte über und unter Wasser
- 19 Das Profil von Tragflügeln
- 24 Wirkungsweise der Segel auf verschiedenen Kursen zum Wind
- 27 Zwei oder mehr Segel?

29 Rigg-Typen

- 29 Ketsch, Schoner, Kutter & Co.
- 33 Topprigg
- 35 Fraktionellrigg

39 Segeltuche

45 Der Trimm des Riggs

- 45 Exkurs: Giermomente
- 48 Einstellung des Toppriggs
- 50 Einstellung des Fraktionellriggs

52 Segeltrimm

- 53 Der Trimm des Großsegels
- 64 Der Trimm des Vorsegels
- 82 Starkwind

97 Vor dem Wind

- 98 Spinnaker
- 108 Blister
- 109 Bergehilfen
- 112 Gennaker

114 Trimmübersicht

120 Steuern mit dem Wind

129 Segeln im Licht der Wissenschaft

136 Ungewöhnliche Riggs

- 136 Das Cockpitrigg
- 138 Das Trapezrigg

143 Segeln ohne Segel?

- 143 Der Flettner-Rotor
- 147 Segeln mit dem Zugdrachen

157 Glossar

159 Register



Einleitung

Ein Boot zu segeln ist einfach: Man wirft die Leinen los, setzt die Segel und nimmt die Schoten dicht, bis die Segel aufhören zu flattern. Schon wird das Boot Fahrt aufnehmen.

Wie es dann weitergeht, hängt allerdings vom Trimm der Segel ab: Wenn Sie richtig trimmen, werden Sie einen Hafen in Luv vielleicht schon abends und nicht erst spät in der Nacht erreichen. Das Boot wird im Starkwind das machen, was Sie wollen, und nicht unkontrolliert eigene Wege gehen. Und Sie werden in flauem Wind von der Stelle kommen und nicht antriebslos in der alten Dünung dümpeln.

Sie müssen kein ambitionierter Regatsegler sein, um von der Kunst des Segeltrimms zu profitieren. Ein Regatsegler muss trimmen können, um eine Chance auf den Sieg zu haben. Als Fahrtsegler werden Sie mehr Freude am Segeln haben, wenn Sie mit gutem Trimm das aus Ihrem Boot herausholen, was an Leistungsfähigkeit in ihm steckt. Nicht zuletzt erhöhen Sie so Ihre Sicherheit auf See.

Ich habe die Grundbegriffe des Segelns von einem Freund gelernt, der ein Boot steuern konnte, noch bevor seine Eltern ihm die ersten langen Hosen kauften. Vor etlichen Jahren haben wir auf einem kleinen Kielboot, das er sich ausgeliehen hatte, einen Tagestrip auf der

Ostsee unternommen. Nach einem sonnigen und sehr warmen Tagesbeginn zog es sich im Laufe des Vormittags zu und wurde unangenehm schwül.

Während wir in einer öligen Flaute trieben, erklärte mir mein Skipper, was zu tun war: Wir tauschten die Genua gegen eine kleine Sturmfock ein, setzten die Holepunkte der Vorschot nach vorn, banden das dritte Reff ins Großsegel und setzten die Fallen und allerlei »Strecker« kräftig durch. Dann bog er mit dem Achterstag den dünnen Mast des 7/8-getakelten Bootes zu einer »Peitsche«, setzte sich an die Pinne und wartete entspannt ab.

Bald schon fielen die ersten Gewitterböen in voller Sturmstärke über uns her. Mein Freund nahm die Schoten dicht und steuerte das Boot auf einem spitzen Raumschotskurs etwa 60 Grad zum einfallenden Wind. Während auf anderen Schiffen in unserer Nähe Chaos ausbrach und sich die Crews bemühten, wild schlagende Segel zu bergen, legte sich unser Boot anmutig auf die Seite und stob weiße Gischt aufwerfend davon.

Leider konnten wir nur eine Stunde lang wahrhaft rauschendes Sturmsegeln genießen, dann war das Gewitter über uns hinweggezogen und der Wind flaute wieder ab. Dieses Erlebnis



hat mich aber so nachhaltig beeindruckt, dass ich mehr über das Trimmen von Segeln wissen wollte. Ein ambitionierter Regattasegler ist aus mir nicht geworden; als Fahrtensegler möchte ich aber gut und schnell segeln können.

Da ich nicht sehr gut auswendig lernen kann und gerne verstehe, was ich tue, haben mir Trimmregeln in Form von »Kochrezepten« wenig geholfen. Nachdem ich aber verstanden hatte, wie ein Boot die Energie des Windes für den eigenen Antrieb nutzt, wie Segel und Kiel/Schwert funktionieren, verloren die vielen Leinen und Strecker an Bord schnell alles Geheimnisvolle. Trimmregeln erklärten sich von selbst, und sie wurden spannend für mich, weil ich sie in einen Gesamtzusammenhang einordnen konnte.

Ich möchte Ihnen auf den folgenden Seiten meinen Weg zum richtigen Se-

geltrimm nahebringen. Lassen Sie sich auf die theoretischen Ausführungen zu Beginn ein, dann werden Sie später keine Rezepte auswendig lernen müssen.

Wenn Sie gerade beginnen zu segeln, werden Sie während der Lektüre vielleicht auf einige fremde Begriffe stoßen. Sie finden deshalb auf den letzten Seiten ein kleines Glossar, in dem Sie nachschlagen können, sofern die Begriffe nicht im Text selbst erklärt werden.

Fahrtensegeln auch über größere Distanzen ist in den letzten Jahren populärer geworden. Um Ihnen auch hier eine Hilfestellung zu geben, habe ich die Ihnen vorliegende vierte, aktualisierte Auflage von *Segeltrimm in Theorie und Praxis* um ein Kapitel über Windfahnen-Selbststeueranlagen erweitert. Peter Hahne, im Herbst 2014



Etwas Theorie

Segeltrimm ist die Kunst, das Segel mit dem richtigen Anstellwinkel und dem richtigen Profil einzustellen. Diese Aussage ist wenig aufschlussreich, werden Sie einwenden und sich fragen, was in diesem Zusammenhang wohl »richtig« bedeutet. Es liegt nahe, dass der Trimm der Segel dann »richtig« ist, wenn das Boot optimal läuft, wenn es also innerhalb bestimmter Rahmenbedingungen wie Wind und Seegang sein ganzes Leistungspotenzial entfaltet. Damit ein Boot aber so gut läuft, wie sein Rigg und sein Rumpf es zulassen, müssen Profil und Anstellwinkel seiner Segel für den jeweiligen Kurs, den jeweiligen Wind und den vorherrschenden Seegang das jeweils optimale Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand ergeben.

Ich gebe zu, dass auch diese Aussage nicht zufriedenstellend ist. Sie klingt recht theoretisch und wirft neue Fragen auf: Wie entstehen denn Auftrieb und Widerstand am Segel, was bewirken sie und wann ist das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand »optimal«? Lassen Sie uns, um diese Fragen zu klären, einen Abstecher in die Welt der Strömungsmechanik von Wasser (Hydrodynamik) und von Luft (Aerodynamik) unternehmen. Obwohl Wasser eine Flüssigkeit und Luft ein Gasgemisch ist, verhalten sich beide in strömungsmechanischer Sicht sehr ähnlich; sie unterscheiden sich von einander im Wesentlichen durch ihre unterschiedliche Dichte. Prinzipielle Verhaltensweisen beider Medien lassen sich gut am Beispiel von Wasser veranschaulichen.



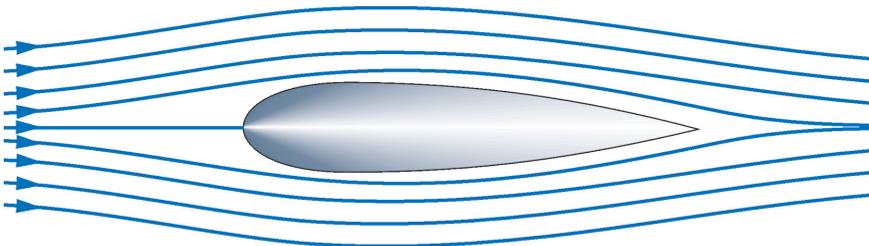
Laminare und turbulente Strömungen

Eine wichtige physikalische Eigenschaft von Wasser ist seine Viskosität, eine Art »Zähigkeit«. Wasser besteht aus winzig kleinen Teilchen, H_2O -Molekülen, in denen zwei Wasserstoffatome an ein Sauerstoffatom gebunden sind. Zwischen diesen Molekülen wirken Kräfte – Wechselwirkungen –, die sie aneinander »kleben« lassen.

Strömt Wasser an einem Festkörper vorbei, teilt es sich und umfließt die Kontur des Körpers; es zeichnet diese Kontur förmlich nach. In einer Grenzschicht bleiben die Wassermoleküle nämlich nicht nur aneinander haften, sondern sie treten in Wechselwirkung mit der Oberfläche des Körpers. Stellen Sie sich vor, dass die Grenzschicht aus einer Reihe sehr dünner Wasserschichten besteht; jede Schicht ist nur ein Molekül hoch. Die erste dieser Schichten bleibt an der Oberfläche des Körpers »kleben« und steht still. Die nächste ist bereits um ein Molekül von der Oberfläche entfernt; sie haftet also

nicht fest, sondern schiebt sich langsam über die erste Schicht. Darüber liegt eine dritte, noch etwas schneller fließende Schicht, darüber eine vierte und so fort, bis die Wasserteilchen am äußeren Rand der Grenzschicht so schnell sind wie die Moleküle in der übrigen Strömung. Eine Strömung, in der sich die Teilchen innerhalb von Schichten wohlgeordnet in eine Richtung bewegen, heißt **laminar**. Die Kontur eines laminar umströmten Festkörpers lenkt die Strömung aus ihrer ursprünglichen Richtung ab.

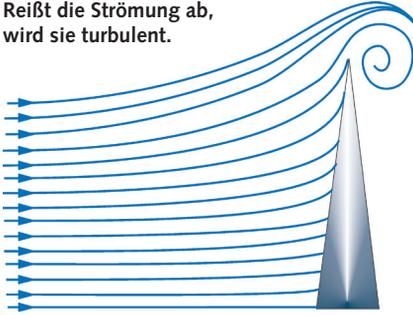
Ist die Strömung sehr schnell oder wird sie von der Lage oder der Form des Festkörpers gezwungen, ihre ursprüngliche Richtung sehr stark zu verändern, kann die Wechselwirkung zwischen Körper und Wasser zu schwach sein, um das Wasser laminar an der Oberfläche des Körpers vorbeiströmen zu lassen: Die Strömung »reißt ab« und wird **turbulent**, das heißt, sie verwirbelt hinter der Abrissstelle. Die einzelnen Wassermoleküle bewegen sich nicht mehr in die gleiche Richtung, sondern sie tanzen chaotisch in alle



Eine laminare Strömung umfließt die Kontur eines Hindernisses.



Reißt die Strömung ab, wird sie turbulent.



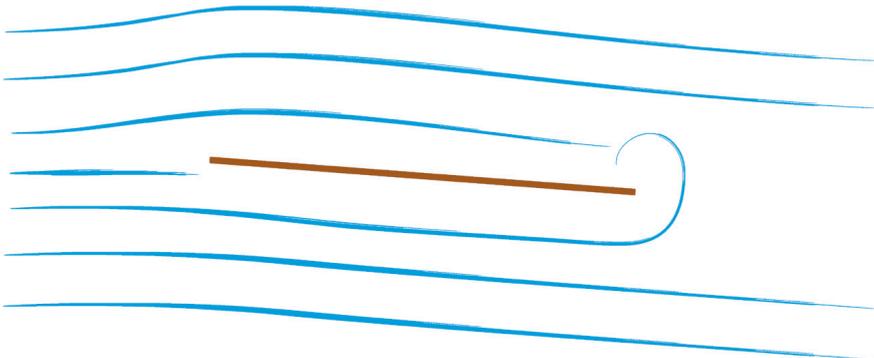
Richtungen des Raumes. Die Strömung in einem reißenden Gebirgsbach beispielsweise ist turbulent, sie wirbelt um jeden Fels und um jedes Hindernis herum.

Zirkulation

Ein dünnes Brettchen, das mit seiner Stirnseite so in ruhig strömendem Wasser steht, dass die Strömung parallel zu seiner Oberfläche verläuft, wird laminar umströmt. Neigt man das

Brettchen um einen kleinen Winkel von vielleicht drei oder vier Grad gegen die Strömung, so bleibt diese im Bereich der Brettchenoberfläche immer noch weitgehend laminar. Sie teilt sich schon ein kurzes Stück vor der Stirnseite des Brettchens, der **Anströmkante**, wird aus ihrer Richtung abgelenkt und fließt an beiden Seiten des Brettchens entlang. Der Punkt, an dem sich die Strömung teilt, heißt Staupunkt.

Da der Staupunkt ein wenig in Strömungsluv des Brettchens liegt, hat die Strömung in Luv einen kürzeren Weg zurückzulegen als in Lee. Die Luvströmung kommt dementsprechend früher an der hinteren **Abrisskante** des Brettchens an als die Leeströmung. Sie vereinigt sich mit dieser folglich nicht unmittelbar an der Abrisskante, sondern fließt gegen die Richtung der Hauptströmung ein wenig zurück nach Lee. Der hintere Staupunkt, also der Punkt, an dem sich Luv- und Leeströmung



Wenn ein von Wasser angeströmtes Brettchen um einige Grad gegen die Strömung geneigt wird, entsteht an der hinteren Abrisskante ein kleiner Wirbel: der Anfahrwirbel.



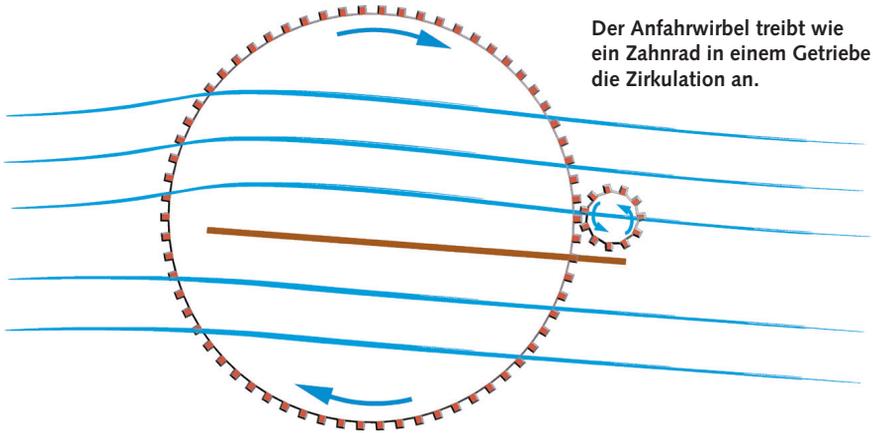
In einem geschlossenen System ist die Summe der Drehimpulse konstant.

wieder vereinigen, liegt deshalb vor der Abrisskante in Strömungslee. Das Umfließen der Abrisskante erzeugt einen kleinen Wirbel, den **Anfahrwirbel**. Wie jede kreisförmige Massebewegung hat der Anfahrwirbel einen Drehimpuls.

Nun gilt in der Physik der Grundsatz, dass in einem System, an dem keine äußeren Kräfte angreifen, die Summe der Drehimpulse konstant bleibt. Sie können diesen Satz leicht in der Wirklichkeit überprüfen: Eine Katze zum Beispiel, die von einem Baum stürzt, fällt deshalb nie auf den Rücken, weil sie instinktiv ihren Schwanz rotieren lässt, sobald sie sich im Sturz zu überschlagen droht. Auf diese Weise gleicht sie die Drehbewegung ihres trudelnden Körpers aus und kann den Fall so steuern, dass sie auf allen Vieren landet.

Eine Drehbewegung in einem geschlossenen System erzeugt also zwangsläufig eine weitere, aber entgegengesetzt gerichtete Drehbewegung, denn nur so kann die Summe der Drehimpulse gleich groß bleiben. Auch ein Hubschrauber muss mit einem kleinen Hilfsrotor Kräfte erzeugen, die die Drehbewegung des Hauptrotors kompensieren. Anderenfalls würde sich der gesamte Rumpf um sich selbst drehen, und zwar entgegengesetzt zur Drehrichtung des Hauptrotors.

Das dünne Brettchen stellt zusammen mit dem vorbeiströmenden Wasser ein geschlossenes System dar, auf das keine äußeren Kräfte wirken. Der oben beschriebene Anfahrwirbel muss also einen weiteren Wirbel erzeugen, dessen Drehimpuls dem Betrag nach



Der Anfahrwirbel treibt wie ein Zahnrad in einem Getriebe die Zirkulation an.

gleich groß ist, der aber entgegengesetzt gerichtet ist. Dieser Wirbel entsteht tatsächlich; man nennt ihn **Zirkulation**. Man kann sich den Anfahrwirbel wie ein kleines Zahnrad denken, das ein größeres Zahnrad antreibt.

Die Zirkulation umfasst das gesamte Brettchen und dreht in Lee mit der ursprünglichen Strömung, in Luv entgegengesetzt zu ihr. Leider kann man die Zirkulation nicht unmittelbar sichtbar machen, denn sie überlagert die ursprüngliche Strömung. Als Resultat dieser Überlagerung registriert man in Lee eine beschleunigte, in Luv dagegen eine verlangsamte Strömung. In Lee dreht die Zirkulation ja mit und beschleunigt, in Luv dreht sie entgegen und bremst. Anfahrwirbel und die resultierende Strömung am Brettchen können Sie, wenn Sie möchten, in einem einfachen Badewannenexperiment direkt beobachten. Schütten Sie dazu eine Handvoll feiner Sägespäne auf die Wasseroberfläche, um die Strö-

mung sichtbar zu machen, und tauchen Sie ein Brettchen etwa halb ins Wasser. Wenn sich die Wasseroberfläche beruhigt hat, ziehen Sie das Brettchen einmal lang durch die Badewanne und zwar so, dass seine Längsseite um einige Grad zur Zugrichtung geneigt ist. Das Wasser in der Wanne steht ja still; um eine Strömung zu simulieren, bewegen Sie eben das Brettchen durchs Wasser.

Sobald Sie anziehen, bildet sich an der hinteren Kante des Brettchens, der Abrisskante, ein kräftiger kleiner Wirbel. Der bleibt fast an Ort und Stelle, während Sie das Brettchen weiterbewegen.

Der Anfahrwirbel bleibt also nicht an der Abrisskante »hängen«, sondern löst sich von dieser und treibt mit der Strömung weg. Ganz klar: Sobald der Anfahrwirbel die Zirkulation in Gang gesetzt hat, erreicht die jetzt beschleunigte Leestromung trotz des längeren Weges, den sie zurücklegen muss, zeit-



gleich mit der abgebremsten Luvströmung die Abrisskante des Brettchens. Sie kann sich ohne weitere Verwirbelung mit dieser vereinigen und sich dann ablösen. Wenn Sie genau beobachten, werden Sie tatsächlich sehen, dass die Sägespäne an der Leeseite des Brettchens – die der Zugrichtung abgeneigte Seite – schneller abfließen als an der Luvseite.

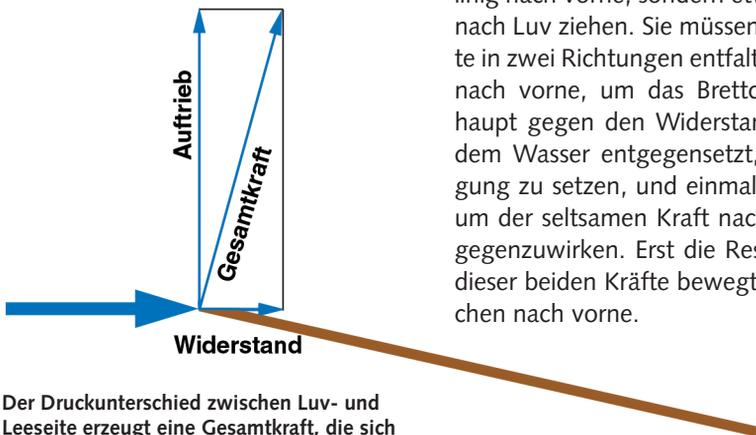
Ziehen Sie das Brettchen am Ende seines Weges durch die Wanne schnell nach oben aus dem Wasser. Es wird ein zweiter, größerer Wirbel entstehen, der entgegengesetzt zu dem kleinen Anfahrwirbel dreht: Dies ist die Zirkulation, die sichtbar wird, weil die überlagernde Längsströmung dadurch unterbrochen ist, dass Sie das Brettchen aus dem Wasser entfernt haben.

Voraussetzung für Aufbau und Fortdauer der Zirkulation ist eine laminare Strömung. Stellen Sie das Brettchen zu

stark gegen die Strömung an, reißt diese an einem bestimmten Punkt ab. Sie wird dann turbulent, und die Zirkulation bricht zusammen.

Auftrieb und Widerstand

Noch etwas zeigt das Badewannenexperiment: Ziehen Sie das Brettchen nämlich leicht schräg gestellt durchs Wasser, müssen Sie mehr Kraft aufwenden, als wenn Sie es gerade, also parallel zu seiner Längsrichtung bewegen. Zugleich spüren Sie deutlich eine Kraft, die das Brettchen in Richtung der strömungsabgewandten Leeseite aus seiner Bewegungsrichtung ziehen will. Damit das Experiment nicht vorzeitig mit einer Kollision am Badewannenrand endet, müssen Sie die Ablenkung kompensieren, indem Sie nicht geradlinig nach vorne, sondern etwas schräg nach Luv ziehen. Sie müssen also Kräfte in zwei Richtungen entfalten: einmal nach vorne, um das Brettchen überhaupt gegen den Widerstand, den es dem Wasser entgegengesetzt, in Bewegung zu setzen, und einmal nach Luv, um der seltsamen Kraft nach Lee entgegenzuwirken. Erst die Resultierende dieser beiden Kräfte bewegt das Brettchen nach vorne.



Der Druckunterschied zwischen Luv- und Leeseite erzeugt eine Gesamtkraft, die sich in die Komponenten Auftrieb und Widerstand zerlegen lässt.



Wodurch entsteht die Kraft nach Lee? Sie haben gesehen, dass die Zirkulation die Strömung in Lee beschleunigt und in Luv abbremst. In einer schnelleren Strömung ist der Druck aber niedriger als in einer langsameren. Das heißt: Die Zirkulation lässt den Druck an der Leeseite des Brettchens fallen und an der Luvseite steigen. Dieser Druckunterschied bewirkt nun eine Gesamtkraft, die das Brettchen nach Lee »saugt«. Sie lässt sich in zwei Komponenten zerlegen: in Auftrieb, der senkrecht zur Strömungsrichtung nach Lee zieht und in Widerstand, der in Strömungsrichtung wirkt und bremst.

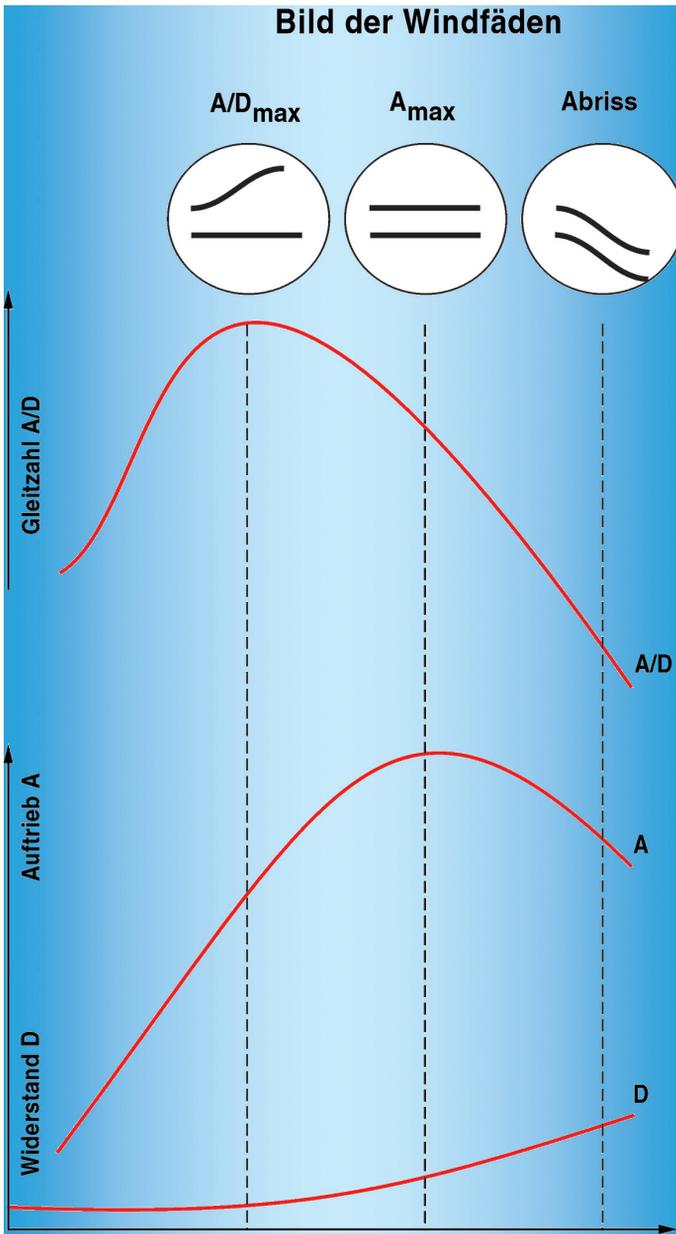
Die Widerstandskraft hat mehrere Ursachen:

- Die viskosen Wasserteilchen »kleben« an der Oberfläche des Brettchens und versuchen, es in Richtung der Strömung mitzuziehen: Sie verursachen einen **Reibungswiderstand**, der den größten Anteil am Gesamtwiderstand ausmacht.
- Die Form des Brettchens – ist es dicker oder dünner, ist seine Anströmkannte kantig oder gerundet und so fort – bremst die Strömung; man spricht von **Strömungswiderstand**. Der Strömungswiderstand wächst mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit. Doppelte Strömungsgeschwindigkeit bedeutet also vierfachen Strömungswiderstand.
- Da das strömende Wasser der Form des aus dem Wasser ragenden Brettchens ausweichen muss, bilden sich

an der Wasseroberfläche Wellen. Die zur Erzeugung dieser Wellen erforderliche Energie wird der Antriebsenergie entnommen, die das Brettchen durchs Wasser bewegt. Die Wellenerbildung bremst also das Brettchen; man nennt dieses Phänomen **Wellenwiderstand**.

- Schließlich führt der Druckunterschied zwischen Lee- und Luvseite des Brettchens dazu, dass an dessen ins Wasser eingetauchtem »Fuß«, also an seiner Unterkante, Wasser zum Druckausgleich von Luv nach Lee strömt. Dabei entstehen Verwirbelungen, die wiederum Antriebsenergie »verzehren«; hier spricht man von **induziertem Widerstand**.
- Strömungs-, Wellen- und induzierter Widerstand werden unter dem Begriff **Formwiderstand** zusammengefasst.

Mit der Anstellung des Brettchens, also seiner Neigung zur Strömung, ändern sich Auftrieb und Widerstand. Der Widerstand wird kontinuierlich größer, je stärker das Brettchen angestellt wird. Solange der Anstellwinkel klein ist, also nicht mehr als drei, vier Grad beträgt, wächst der Widerstand verhältnismäßig langsam. Mit größeren Anstellwinkeln nimmt er stärker zu, auch wenn die Strömung noch laminar am Brettchen anliegt. Ist das Brettchen um mehr als etwa zehn Grad angestellt, beginnt die Strömung abzureißen; der Widerstand wächst jetzt rasant. Sein Maximum erreicht er, wenn das Brett-



Nur für kleine Anstellwinkel wächst der Auftrieb schneller als der Widerstand.



chen quer zur Strömung steht: Die Strömung trifft dann frontal auf die gesamte Fläche des Brettchens und wird von dieser stark abgebremst.

Anders als der Widerstand wächst der Auftrieb, wenn das Brettchen stärker angestellt wird, nur solange die Strömung laminar verläuft. Zunächst wächst er schneller als der Widerstand. Seinen größten Wert erreicht der Auftrieb kurz bevor die Strömung abzubrechen beginnt. Schon vorher aber kehrt sich das Verhältnis um, in dem Auftrieb und Widerstand wachsen. Jetzt wird der Widerstand schneller größer als der Auftrieb. Das bedeutet: Es gibt einen Anstellwinkel, bei dem der Auftrieb zwar noch nicht seinen größten Wert erreicht hat, das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand aber am günstigsten ist. Günstig heißt, dass der Quotient aus Auftrieb und Widerstand groß ist – viel Auftrieb und wenig Widerstand bedeutet, dass Auftrieb dividiert durch Widerstand einen großen Wert ergibt. Man nennt diesen Quotienten **Gleitzahl**.

Der Begriff Gleitzahl kommt aus der Flugzeugtechnik: Je größer die Gleitzahl eines Flugzeugtragflügels ist, je mehr Auftrieb er also bei gleichzeitig geringem Widerstand erzeugt, desto weiter wird ein Flugzeug mit einem solchen Tragflügel gleiten können, wenn es antriebslos nur durch seine eigene Schwerkraft bewegt dem Erdboden entgegenstrebt.

Zunächst einmal schauen wir uns an, wie Auftrieb und Widerstand am Segel entstehen.

MERKE

Auch wenn bisher nur von Brettchen im Wasser die Rede war und nicht von Segeln, sollten Sie sich an dieser Stelle schon einmal merken:

REGEL

Für das Segeln am Wind ist nicht der Anstellwinkel entscheidend, der den größten Auftrieb liefert, sondern derjenige, bei dem das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand, die Gleitzahl, den größtmöglichen Wert erreicht. Also: maximaler Auftrieb bei gleichzeitig minimalem Widerstand. Ein kleinerer Anstellwinkel schafft zwar weniger Widerstand, aber auch weniger Auftrieb, ein größerer würde mehr antreibenden Auftrieb erzeugen, diesen Effekt aber durch stark ansteigenden bremsenden Widerstand wieder zunichte machen.

AUSNAHMEN

Zuweilen treffen Sie auf See Situationen an, in denen Sie maximalen Auftrieb brauchen und großen Widerstand in Kauf nehmen. In anderen Situationen müssen Sie unbedingt den Widerstand klein halten, auch wenn dann nur mäßiger Auftrieb zur Verfügung steht. Aber diese Fälle werden wir später noch ausführlicher untersuchen.

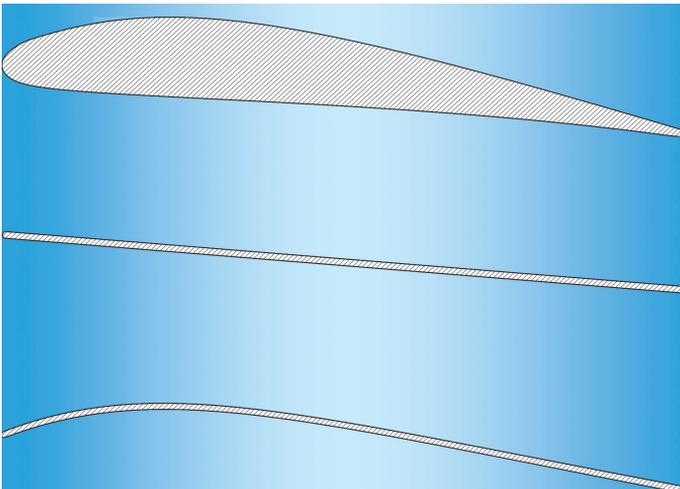


Auftrieb und Widerstand am Segel

Ein Segel, das man am Wind dicht holt, bewirkt die gleichen Strömungseffekte wie das um wenige Grad angestellte Brettchen im Wasser unseres Badenwannenexperimentes. Dass hier keine Flüssigkeit wie Wasser strömt, sondern Luft, also ein Gasmisch, ändert, wie schon erwähnt, prinzipiell nichts am Ablauf. Strömungsmechanisch verhalten sich nämlich Gase wie Flüssigkeiten; sie unterscheiden sich von diesen lediglich durch ihre unterschiedliche Dichte. Luft ist in diesem Zusammenhang nichts anderes als trockenes und sehr dünnes Wasser. Hydrodynamische und aerodynamische Vorgänge sind also gut miteinander vergleichbar – zumindest solange die Strömungsgeschwindigkeiten klein sind.

Indem Sie mit der Schot das im Wind flatternde (»killende«) Segel dicht holen, stellen Sie es um einige Grad zum Wind – zur strömenden Luft – an. Das Segel verhält sich jetzt genauso wie das gegen die Wasserströmung angestellte Brettchen: Kurz vor dem Vorliek und etwas in Luv von ihm teilt sich die Luftströmung; sie umfließt das Segel auf beiden Seiten und vereinigt sich kurz vor dem Achterliek an dessen Leeseite. Hier bildet sich unmittelbar nach dem Dichtholen ein Anfahrwirbel, der die Zirkulation in Gang setzt. Diese bremst die Luvströmung und beschleunigt die Leeströmung. Als Folge entsteht ein Überdruck in Luv und ein Unterdruck in Lee.

Aus dem Druckunterschied resultiert eine aerodynamische Gesamtkraft, die sich in aerodynamischen Auftrieb und in Widerstand zerlegen lässt. Man kann sie aber auch in zwei andere Kräfte



Flugzeugflügel, Brettchen und Yachtsegel haben unterschiedliche Profile.



te aufteilen, die für Sie als Segler viel interessanter sind: in Vortrieb und in Krängungskraft. Vortrieb treibt das Boot an, und die Krängungskraft legt es auf »die Backe«. Außerdem bewirkt die Krängungskraft, dass Mittschiffs- und Kurlinie um einen kleinen **Abdriftwinkel** voneinander abweichen, der tatsächliche Kurs also um wenige Grad von der Richtung abweicht, in die der Rudergänger den Bug seines Schiffes ausrichtet.

Die hier beschriebenen Vorgänge sind erstmals systematisch in Zusammenhang mit der Entwicklung von Flugzeugen untersucht worden. Man nennt deshalb das Brettchen im Badewannenexperiment genau wie das Segel einer Yacht **Tragflügel**. Tatsächlich verhalten sich beide genauso wie ein Flugzeugflügel. Allerdings wirkt der Auftrieb am Flugzeugflügel in vertikaler Richtung – er »trägt« das Flugzeug und hält es in der Luft –, am Brettchen wie am Yachtsegel dagegen horizontal – er »saugt« das Boot nach Lee. Auch der Begriff Gleitzahl für das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand kommt ja aus der Flugzeugtechnik.

Die drei Tragflügel »Brettchen«, »Yachtsegel« und »Flugzeugflügel« unterscheiden sich durch ihre Form, ihr **Profil**: Der Flugzeugflügel hat in der Regel eine mehr oder weniger stark ausgeprägte asymmetrische Form mit einer runden Anström- kante, einer stark nach außen gerundeten (konkaven) Ober- und einer geraden oder leicht nach innen gerundeten (konvexen)

Unterseite. Die Rundungen nehmen zur hinteren Abrisskante hin ab, und der Flügel wird nach hinten hin immer dünner.

Das Brettchen hat ein völlig symmetrisches Profil mit einer ziemlich kantigen Anström- und einer ebenso kantigen Abrisskante. Es ist gleichmäßig dünn. Man nennt solch ein Profil »überkritisch«.

Das Yachtsegel schließlich ähnelt in seinem Profil dem Flugzeugflügel mit dem einen entscheidenden Unterschied, dass es gleichmäßig dünn ist – wesentlich dünner auch als das Brettchen –, und dass die Profiltrübung in Lee und in Luv an jedem Punkt gleich ist. Und: Sein Profil lässt sich unmittelbar und mit wenigen Hilfsmitteln verändern.

MERKE

Trotz ihrer unterschiedlichen Profile entsteht an allen drei Tragflügeln Auftrieb. Das Profil ist also nicht, wie oft behauptet, die Ursache für die Entstehung von Strömungsauftrieb. Allerdings erzeugen unterschiedliche Profile, wie Sie noch sehen werden, unterschiedlich viel Auftrieb und unterschiedlich viel Widerstand. Ein Segler muss wissen, dass das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand vom Anstellwinkel *und* vom Profil des Segels abhängt.