

Michael Dienst

Surfboardfinnen aus theoretischer Sicht.
Teil I: Beitrag zur Phänomenologie rezenter
Surfboardfinnen

Die Strömungswirklichkeit der Leit- und Steuertragflächen
kleiner Seefahrzeuge

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2016 GRIN Verlag
ISBN: 9783668247864

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/335172>

Michael Dienst

Surfboardfinnen aus theoretischer Sicht. Teil I: Beitrag zur Phänomenologie rezenter Surfboardfinnen

Die Strömungswirklichkeit der Leit- und Steuertragflächen kleiner Seefahrzeuge

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

http://www.twitter.com/grin_com

HANDBUCH SURFBOARDFINNEN aus theoretischer Sicht.

Die Strömungswirklichkeit der Leit- und
Steuertragflächen kleiner Seefahrzeuge.

Teil I. Beitrag zur Phänomenologie rezenter
Surfboard-Finnen.

BIONIC RESEARCH UNIT der Beuth Hochschule Berlin

Michael Dienst

Berlin im Juni 2016

Das Wellenreiten (hawaiianisch: *he‘e nalu*, englisch *surfing*) wird in der Regel an Küsten ausgeübt und besteht in einer gleitenden Bewegung über die Wasserfläche. In seiner ursprünglichen Weise ist das Surfen schon annähernd 4000 Jahre bekannt. In vorchristlicher Zeit (etwa 750 v. Chr.) brachen die Polynesier aus ihrer mythischen Urheimat Hawaiki auf, um den gigantischen pazifischen Siedlungsraum sicher zu befahren. Durch ihre Reisen verbreitete sich auch das Surfen in der Südsee. Die Blütezeit erlebte das ursprüngliche Wellenreiten auf den Inseln von Hawaii und war von hoher gesellschaftlicher Bedeutung. So waren etwa die Strände mit den größten und besten Wellen den Königen vorbehalten. Das Konstruktionsprinzip des Boards ist seit damals unverändert. Moderne Surfboards unterscheiden sich in Größe und Gestalt, weisen aber gemeinsame, sinnfällige Grundmuster auf. Die für Surfboards typischen und unterschiedlich ausgeführten Finnen am Heck des Brettes sollen nun Gegenstand einer näheren Untersuchung sein.

Postulat.

Der nichtsymmetrischen, zentralen Surfboardfinne gehört die Zukunft; daran besteht kein Zweifel. Eine Gestaltungsaufgabe wird zukünftig darin bestehen, Finnen zu entwerfen und zu generieren, deren Geometrie ansteuerbar ist. Die nächste Generation Surfboardfinnen wird vielleicht kleine gelbe Zahnräder besitzen, pulsierende Leuchtdioden, Bowdenzüge und pneumatische Motoren.

Sie können diese Finnen mit dem iPhone12 ansteuern oder direkt mit ihren Gedanken. Die VR-Finnen der nächsten Generation werden heißen: wi-foil, brainplane oder augmented cyberhyper-FIN. Und: diese Finnen werden tödlich langweilig sein. So tot wie ein BMW, der beim Einparken piept.

Aus diesem Grund wird die folgende Untersuchung in zwei Teilen das Design von Surfboardfinnen der **übernächsten Generation** vorbereiten: dabei geht es um **nichtsymmetrische Surfboardfinnen, die bei Bedarf werden, was sie sind**. Die Finnen werden belastungsadaptiv, selbststeuernd, passiv sein. Sie besitzen tragende innere, kontrolliert biegeelastische Skelette und eine schützende duktile Außenhaut. Die intelligente Mechanik (i-mech) der belastungsadaptiven Finnen wird von der belebten Natur gelernt haben, wie sich Funktionskörper den Strömungskräften anformen, mit dem Ziel ein Maximum an Auftriebsleistung bei gleichzeitiger Widerstandsminderung vorteilhaft in Manövrierfähigkeit und Traktionsarbeit umzusetzen. Am Ende des zweiten Teils dieser Untersuchung werden Designs stehen, an denen die Gestaltungsprinzipien der Surfboardfinnen der übernächsten Generation ablesbar sind. Und Sie werden die Finnen direkt ausdrucken und an Ihr Board stecken, sofern Sie im Besitz dieses kleinen, fiesen Imbus-Schlüssels sind, der ein nichtmetrisches Maß besitzt und zur Montage in die bevorzugte Finbox notwendig ist. Um all diese wunderbaren Dinge endlich tun zu können, verschaffen wir uns im ersten Teil einen Überblick über die Strömungswirklichkeit der rezenten Surfboardfinnen dieser Generation.

Intro

Die Survey-Untersuchung zum Stand der Technik der Surfboardfinnen beförderte schlagartig die bunte Welt individueller Lösungen, tradierter Designs und innovativer, teils freakischer Ideen an das fade Licht unseres Labors und der BIONIC RESEARCH UNIT der Beuth Hochschule für Technik Berlin. Ein Hauch Aloah liegt seitdem in der Luft. Im Zuge der ersten Untersuchungen – so fern ab vom realen Geschehen - lernten wir, uns nach und nach zurechtzufinden und Spekulationen - im Sinne von Beobachtungen – über diese uns fremde Welt¹ anzustellen. Die BIONIC RESEARCH UNIT ist die

¹ Der Aloha Spirit, also die behauptete Gutmütigkeit und Gastfreundlichkeit der Hawaiianer, stand Pate für den offiziellen Beinamen Hawai'i's, The Aloha State. Am Aloha Friday ist es sonst formell gekleideten Beschäftigten der öffentlichen Verwaltung und Geschäftsleuten gestattet, das Hawaiiemblem (Aloha Shirt) zu tragen. <https://de.wikipedia.org/wiki/Aloha>

forschungsorientierte Fachgruppe für Bionik. Und der Anlass, uns mit Surfboardfinnen zu beschäftigen, ist durchaus in der belebten Natur verortet. Was ist nach einem flüchtigen Blick auf „kleine Seefahrzeuge“ festzustellen? Surfboardfinnen sind als Leit- und Steuertragflächen im Bereich des Hecks von Surfboards wirksam. Das Manövrieren erfolgt mit körperkontrollierten, dem Board aufgezwungenen Bewegungen und diese wiederum durch Gewichtsverlagerung des Surfers, der Surferin. Surfboardfinnen sind wahrscheinlich die elementarsten Leit- und Steuertragflächen für Seefahrzeuge überhaupt. Für die Montage von unterschiedlichen Finnen an Surfboards sehen die marktführenden Hersteller verschieden standardisierte Einbaufansche vor. Die Konstruktion besteht aus wenigen Einzelteilen. In der Regel finden wir bei einem Surfboard eine Box vor, in die der fluidmechanisch wirksame Tragflügel der Finne formschlüssig eingesteckt wird (PLUG). Die meisten Hersteller bevorzugen Fansche, die primär kraftschlüssig verbinden. Für Surfboards in Fahrt und beim Manövrieren ist neben der hohen mechanischen Belastung der strömungsmechanisch wirksamen Bauteile die optimale und an Strömungswiderständen arme Funktionsweise entscheidend für die Fahrleistung. Grundsätzlich sind bei leistungs-optimierten Seefahrzeugen vom Stand der Technik und all ihren Bauteilen Robustheit und Anpassungsfähigkeit (Resilienz), perfekte Funktion und lange Lebensdauer bei geringem Gewicht von Bedeutung.

Der Betriebsbereich von Surfboardfinnen

Zum Lateralplan eines Seefahrzeugs tragen alle fluidmechanisch wirksamen Flächen im Unterwasserbereich bei. Unter den Leit- und Steuertragflächen der Seefahrzeuge sind – neben kleinen Spoilern und Anflügeln vielleicht – Surfboardfinnen die kleinsten Flächeneinheiten. Gleichzeitig stellen sie, abgesehen von der in Verdrängerfahrt projizierten Fläche des Surfboard-Halbtauchers selbst, den totalen Lateralplan dieser aufgleitenden, kleinen Seefahrzeuge. Damit kommt ihnen die Aufgabe zu, den wesentlichen Anteil der zum Manövrieren erforderlichen Querkraft zu erzeugen. Im Vergleich zu anderen kleinen Seefahrzeugen, Jollen oder kleinen Yachten etwa und ihren Lateralflächen, dem Schwert und den Ruderanlagen, ist der Geschwindigkeitsbereich in denen Surfboards betrieben werden relativ groß. Im Normalbetrieb werden zwar die Geschwindigkeiten der Rekordfahrten der

rezenten Segelsurfboards von 25 ms^{-1} (90 kmh^{-1}) nicht erreicht, doch gleitet die Surferin (der Surfer)² mit enorm hoher Geschwindigkeit über die Wasseroberfläche und absolut über Grund. In Brandungs- und Seegangswellen flitzt die Surferin, getrieben von der Schwerkraft, einen „sehr ausgedehnten, sich permanent erneuernden Hang“ hinunter. Mir als (bestenfalls Fahrrad fahrenden) Theoretiker erscheint die Annahme einer theoretischen maximalen Anströmgeschwindigkeit von $v_B=15 \text{ ms}^{-1}$ (ca. 54 kmh^{-1}) als durchaus gerechtfertigt. Solange der Surfer auf dem Wellenhang bleibt, wird eine hohe Anströmgeschwindigkeit an der Finne beibehalten. Auf der anderen Seite der Skala, im unteren Geschwindigkeitsbereich spielt das „Infahrtskommen“ und die Manövrier- und Traktionsfähigkeit in dieser Phase eine entscheidende Rolle. Je größer eine Welle ist, umso mehr Geschwindigkeit benötigt man zum Angleiten der Welle und für den Start, damit das Board stabil läuft und ein sicherer „Take Off“ gelingt. Das Manövrieren bei geringer Geschwindigkeit fordert hochgradig leistungsfähige Lateralsysteme, da die zum Lenken benötigte Querkraft³ zwar quadratisch mit der Geschwindigkeit steigt, aber nahe dem Stillstand eben auch nur sehr klein sein kann.

Damit ist das Geschwindigkeit-Spektrum ausgelotet und erste Anforderungen an den Surfboard-Tragflügel sind benannt, nämlich hohe Traktionsfähigkeit des Boards bei kleinen Geschwindigkeiten und geringe Widerstandshemmnisse der Finne bei hohem Speed. Die zu betrachtenden Geschwindigkeiten v_B rangieren um etwa zwei Dekaden $\{0.2 < v_B [\text{ms}^{-1}] < 15\}$.

Reynolds-Zahlen und Transportkoeffizienten.

Zu einer Zeit vor der Verfügbarkeit von Strömungskanälen oder computergestützten Simulationsprogrammen hatte der Physiker Osborne Reynolds beschrieben, dass sich Zustandsgrößen des Strömungsfeldes, respektive die lokale Geschwindigkeit und idealisierte Konstruktionsparameter (Referenz- bzw. Signifikanzlängen) des Fluidsystems dann linear variieren lassen, wenn sie auf die Transportkoeffizienten des realen, reibungsbehafteten Fluids bezogen werden. Das energetische Wechselwirkungsgeschehen an einem sich in einer Strömung befindlichen (gegebenenfalls) elastischen Körper wird maßgeblich über die Stoffeigenschaften des Fluids bestimmt. Neben der Dichte des Mediums spielen die Transportkoeffizienten, die kinematische und

² Dem amtlich verordneten Vermeiden genderspezifischer Konnotationen geschuldet, bleibe ich um einen Proporz bemüht.

³ Auftrieb, Querkraft, Lift $L [\text{N}] = c_a \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho / 2$

die dynamische Viskosität μ und ν bzw. die sinnfälligere (der Viskosität reziproken) kinematische und die dynamische Fluidität μ^{-1} und ν^{-1} eine entscheidende Rolle. Die Transportkoeffizienten sind über einen weiteren Stoffwert des Fluids, der Dichte ρ mit einander gekoppelt. In Tabellenwerken sind beide Darstellungen gebräuchlich.

Transportkoeffizient	Einheit	Dimension
dynamische Viskosität μ :	$[N \cdot s \cdot m^{-2} = kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} = Pa \cdot s]$	$[M L^{-1} T^{-1}]$
kinematische Viskosität ν :	$[m^2 \cdot s^{-1} = Pa \cdot s \cdot kg^{-1} \cdot m^{-3}]$	$[L^2 T^{-1}]$
kinematische Fluidität $\psi = \nu^{-1}$:	$[s \cdot m^{-2}]$	$[L^{-2} T]$

Der Begriff der Viskosität ist eng verwoben mit der Vorstellung eines Widerstands gegen Scherbewegung innerhalb des Fluids [Die-11]. Teilchen zäher Flüssigkeiten sind stärker aneinander gebunden, besitzen eine innere Reibung, die zum Teil über die Anziehungskräfte (Kohäsion) getragen wird. Für die subjektive Anschauung (also im täglichen Leben) ist die dynamische Viskosität der dankbarere Parameter. Durch das Wasser zu waten strengt viel mehr an, als an Land – umgeben von Luft - zu gehen. Das ist sinnfällig aus den Tabellenwerten der dynamischen Viskosität abzulesen. Seitens der physikalischen Modelle ist die kinematische Viskosität zu bevorzugen. Die kinematische Viskosität trennt die dynamische Viskosität vom Dichteinfluss des Mediums. Die Transportkoeffizienten sind sowohl temperatur- als auch druckabhängig.

Stoff	dyn. Viskosität μ	Dichte ρ	kin. Viskosität ν
[Einheit]	$[kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}]$	$[kg \cdot m^{-3}]$	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
Luft ₁	$18,1 \cdot 10^{-6}$	1,188	$15,24 \cdot 10^{-6}$
Wasser ₂	$1,01 \cdot 10^{-3}$	$0,998 \cdot 10^3$	$0,1012 \cdot 10^{-6}$
Öl ₃	$6,80 \cdot 10^{-3}$	$0,858 \cdot 10^3$	$7,93 \cdot 10^{-6}$
Gelatine ₄	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^3$	$4,625 \cdot 10^{-6}$

Tabelle der Transportkoeffizienten und Dichten.

Die dimensionslose Reynolds-Zahl stellt das Verhältnis der an einem Fluidsystem wirkenden Trägheits- und Zähigkeitskräften dar. Die Größenordnungen der Reynoldszahlen für Flugzeuge und Seefahrzeuge

rangieren in einem Bereich von sieben! Dekaden. Für den Konstrukteur und Entwickler technischer fluidischer Systeme sind die Strömungsverhältnisse in einem Design-Kontrollraum (Design-Space) unterschiedlicher geometrischer Form und Größe ein wichtiges Kommunikationsmittel.

Wir werden deshalb in diesem Aufsatz eine Referenzgeometrie, die so genannte NULL-Finne benennen, deren signifikante Länge L um einen Wert von $L = 0.10$ [m] für eine senkrechte Ausführung in der Breite des Terminals bis $L = 0.20$ [m] für eine performante Racing-Finne vom Stand der Technik, variiert. Was bedeutet dies nun für unseren Modellansatz?

Mit der dimensionslosen Reynoldszahl erhalten wir einen Betriebsbereich von $\{200.000 < Re < 30000000\}$. Für die Modellrechnungen wird eine mittlere referentielle Reynoldszahl $Re = 1.000.000$ angenommen.

Reynolds-Zahl	Re = $v \cdot L / \nu$	$[m \cdot s^{-1} \cdot m \cdot m^{-2} \cdot s]$, [-]
	$Re = v \cdot L / \mu$	$[kg \cdot m^{-3} \cdot m \cdot s^{-1} \cdot m \cdot (kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-1})^{-1}]$, [-]

Betriebsweise	ms^{-1}	kmh^{-1}	Re(L=0.1 [m])	Re(L=0.2[m])
Traktionsgeschwindigkeit der Finne im Manöver	0.2	1	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$
Spitzengeschwindigkeit der Finne in Fahrt	15	50	$1.5 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$
Simulations- und Modellgeschwindigkeit	1	3.6	$1.0 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$
Zum Vergleich: Delfin- und/oder Haifinne	22	80	$2.2 \cdot 10^7$	$> 4 \cdot 10^7$

Referenzfinnen für eine Analyse mit unterschiedlichen Profilkonturen

Surfboardfinnen sind als Leit- und Steuertragflächen im Bereich des Hecks eines Surfboards wirksam und gehören zum Lateralplan, wie oben beschrieben. In Fahrt bilden alle Leitflächen mit symmetrischem Profil genau dann einen fluiddynamisch wirksamen Tragflügel aus, wenn eine nichtaxiale Anströmung gegeben ist. Dies gilt insbesondere für Surfboardfinnen mit symmetrischem Profil im Manöver. Die aus dem hydrodynamischen Auftriebsgebaren der Surfbrettfinnen resultierende Querkraft wird in Fahrt und beim Traktieren genutzt. Surfbrettfinnen nach Stand der Technik sind üblicherweise aus symmetrisch profiliertem Vollmaterial. Für das Flügelende der Finnen, insbesondere den Randbogen (die Kontur des vom Surfbrettkörper abweisenden, freien Surfbrettfinnen-Flächenendes), sind unterschiedliche Formen bekannt.

Als Surf-Laie gewinnt man den Eindruck, die Tragflügelkonturen unterlägen gewissen affektierten „Moden“ oder „angesagten Trends“; aber das ist subjektiv. Sprechen wir nachfolgend von der einzelnen, zentralen Surfboardfinne (CenterFin), geht der so genannte „Stand der Technik“ wie selbstverständlich von einer definiert symmetrischen Kontur des Finnenprofils aus. Dies ist eine sinnfällige Annahme, aber nicht notwendiger Weise immer richtig. Gerade im Leistungsbereich sind Finnen, die in neutraler Fahrt geradeaus betrieben werden, fluidisch nicht neutral beaufschlagt. Dies hat seine Ursache darin, dass die Wellen, die eine Surferin abreitet, linksdrehend (gegen den Uhrzeigersinn, die Welle bricht in Fahrtrichtung auf der linken Seite) oder rechtsdrehend sind. Surfbretter die auf linkshändige Wellen konditioniert sind, können also durchaus nichtsymmetrische Profilkonturen erfordern; und tatsächlich ist dies rezente Gestaltungspraxis⁴, zumal der Surfer eine bevorzugte Körperhaltung einnimmt, die ja auch nicht symmetrisch ist und sein kann. Wie allerdings ein ASYM genanntes Board zu gestalten ist, polarisiert derzeit die Szene.

Technik und Entwicklungskriterien von Surfboardfinnen

Eine Surfboardfinne ist als solche sofort zu erkennen. Selbst von einem Theoretiker. Dies mag damit zusammenhängen, dass Finnen, obwohl sie sich voneinander unterscheiden, doch ein gemeinsames geometrisches Grundmuster aufweisen.

Mit den unterschiedlichen Geometrien variieren auch die fluidmechanischen Eigenschaften mitunter erheblich. Im Vergleich zu – bei „normalen“ Seefahrzeugen üblichen - Formen der Leit- und Steuertragflächen besitzen Surfboardfinnen eine fröhlich-dynamische Formen-sprache und es macht Spaß sich damit zu beschäftigen.

Wir werden in den nächsten Wochen und Monaten unendlich viel lernen; daran besteht kein Zweifel. Im folgenden Abschnitt wird die in der weiteren Untersuchung verwendete Nomenklatur hinsichtlich der Spezifikation von Surfboardfinnen geklärt und dort, wo es sich anbietet, erste fluidmechanische Einflussgrößen angesprochen.

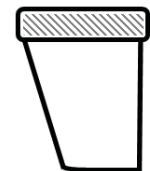
⁴ Siehe hierzu auch <http://www.roystuart.biz/>



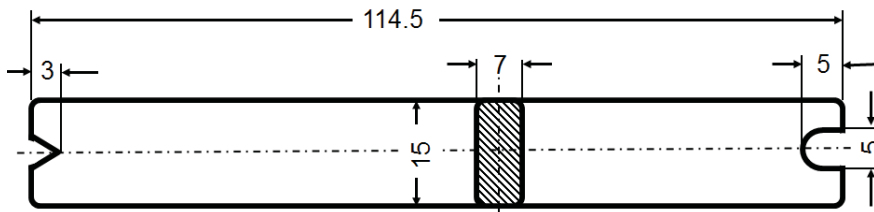
Abb.1: Die ersten erklärenden Informationen über Surfboardfinnen erreichen uns aus Neuseeland (Foto: C. Pommer, PROFFER Wellington, New Zealand).

Finnen-Basis / Fin Base.

Der Finnenträgflügel wird am Finnenwurzelbereich (Plug, Base, Finnen-Sockel) form- bzw kraftschlüssig mit einem in das Surfboard eingelassenen Finnen - Aufnehmer (Box, Finnen-Terminal) gefügt. Hierfür bieten div. Hersteller unterschiedliche Standards an. Für die nachfolgenden Untersuchungen hat uns unser Forschungspartner PROFFER (Wellington, NZ) das System *FUTURES* empfohlen. Unabhängig von Geometrien und Bauweisen für den Finnenträgflügel, ist der Finnensockel ein standardisierter Rechteckprisma im Finnenwurzel-bereich: Länge $LS=114,5[\text{mm}]$, Sockel-Tiefe $TS=15[\text{mm}]$, Dicke $DS=7[\text{mm}]$. Grundsätzlich soll der Finnensockel keinen Einfluss auf das Strömungsgebaren des Finnenträgflügels ausüben. In der Betriebspraxis besteht aber bauart- und auch materialbedingt durchaus ein Zusammenhang zwischen der Struktursteifigkeit (Rigidität) der Finnenträgfläche und der Länge der Finnenbasis. Die gegebenenfalls elastische Bettung des Finnenaufnehmers nimmt Einfluss auf die Formhaltigkeit des Gesamtsystems unter Belastung und damit auf die Performance der Finne. Ein biegesteifes System wird sich in Fahrt richtungsstabil verhalten, was aber nicht immer erwünscht ist. Beim Manövrieren besitzen biegeeweiche Systeme dann Vorteile, wenn ein „orthodoxes“ Beaufschlagungs-Verformungsverhalten von der Surferin toleriert wird oder sogar erwünscht ist. Kurze Finnenbasen erlauben schärfere, agile Fahrweisen mit engen Radien; das Board ist wendiger. Lange Finnenbasen bringen Ruhe in den Prozess.



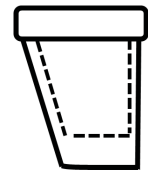
Das *FUTURES*-Terminal wird durch einige wenige Basisgrößen determiniert.



Auf die Definition der Finnenbox wird an dieser Stelle nur hingewiesen und im Folgenden als gegeben und gesetzt angenommen. Die erläuternden Skizzen (unten) deuten das Terminal lediglich an; gemeint ist in allen Fällen das System *FUTURES*. Pictogramme sind als schematische Skizzen zu sehen.

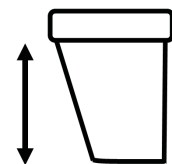
Finnen-Größe (Tragfläche) / Area.

Die Größe der Tragfläche hat direkte Auswirkung auf den Charakter der Finne. Im Allgemeinen wird eine größere Finne dem Surfer mehr Halt vermitteln und viel Kontrolle über das Surfen bieten. Andererseits ist eine geringere Tragfläche fehlertoleranter, erhöht aber den Antriebs- und Steueraufwand in der Brandung. Durch (nichtisotrope) Skalierung lassen sich bei gleicher Finnenumrissform (Shape) Serien unterschiedlich großer Tragflächen formulieren. Mit der skalierten Finnenfläche ändert sich das fluidmechanische Tragvermögen (die generierbare Querkraft), der Reibungswiderstand quadratisch, der Formwiderstand und die zugrunde zulegende Reynoldszahl linear, wohingegen der induzierte Widerstand vom (bei nichtisotroper Skalierung konstanten) Schlankheitsgrad der Finne abhängt.



Finnen-Tiefe (Tragflügelänge) / Fin Depth

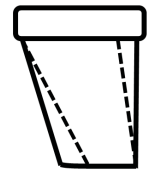
Moderne Surfboardfinnen weichen in ihrer Form deutlich von der Kontur klassischer Kraft- oder Arbeitstragflügels ab und eine ganze Schar beschreibender Parameter ist erforderlich um sie zu spezifizieren. Die Finnentrugflügelänge (mit der Tragflügelteufe wird im Allgemeinen die „Profiltiefe“, die Selenlänge der Profilkontur, bezeichnet) ist eine leicht zu messende, aber nicht immer aussagekräftige Größe. Grundsätzlich hat eine weit in das Fluid ragende (tiefe) Tragfläche aus rein



geometrischen Überlegungen heraus, einen auch weit (in das Fluid) ragenden Druckmittelpunkt. Der Druckmittelpunkt ist der gedachte Ort, an dem man sich die Gesamtheit aller Auftriebskräfte vereint vorstellen darf, also der integrale Querkraftmittelpunkt, der aber vom Mittelpunkt der Reibungs- Form- und induzierten Widerstandskraft verschieden ist. Ein weit in das Fluid ragender (tiefer) Druckpunkt verleiht dem Board in Fahrt Halt und Kursstabilität; Kurven sind definiert und das Manövrieren wird eindeutiger.

Pfeilung der Finne / Fin Rake, Fin Sweep

Die an der Vorderkante (positiv) und an der Hinterkante (negativ) gepfeilte Finne sieht nicht nur „schnittig“ aus, eine Pfeilung der Tragfläche ist auch aus strömungsmechanischer Sicht vorteilhaft.



Besitzt die Kurve aller Staupunkte der Profilkonturen des Tragflügels (Staupunktlinie am Bug der Tragfläche) eine Neigung stromabwärts (Flucht) wird die Richtungsstabilität der Finne verbessert und es treten so genannte Reynoldseffekte (Verlängerung der signifikanten Länge (bei $Re=L v / \nu$) und weitere vorteilhafte Effekte, etwa Verschiebungen der Separation in der turbulenten Grenzschicht (Stall), auf⁵. Die Pfeilung beschreibt den Winkel zwischen Tragflügel und Querachse. Die Pfeilung ist in der Regel positiv (beide Kanten der Tragflächen sind nach hinten gezogen). Es ist aber davon auszugehen, dass bei Surfboardfinnen das Augenmerk eher auf der durch die Neigung veränderte Strukturelastizität des Tragflügels liegt.

Von Fliegern lernen wir: Trifft eine Anströmung mit der Geschwindigkeit v schräg (mit dem verallgemeinerten Schiebewinkel β) auf eine Tragflügelkante und wird diese in eine Geschwindigkeitskomponente v_n in Normalenrichtung und eine Geschwindigkeitskomponente v_t tangential zur Flügelkante aufgeteilt, so ist $v_n < v \cos(\beta)$ und Auftrieb, Auftriebsgradient und Druckwiderstand sind gegenüber einem ungepfeilten Flügel reduziert (in der Aeromechanik auch „CosinusBetaEffekt“ genannt). Eine negative Pfeilung führt zu einer Auftriebs-Überhöhung im Bereich der Flügelwurzel und zu einer

⁵ Die Krümmung der Stromlinien am Grenzschichttrand führt zu dreidimensionalen Geschwindigkeitsprofilen in der Grenzschicht. Durch die darin vorhandenen Wendepunkte wird die Grenzschicht reibungslos instabil. Insbesondere führen Querströmungswirbel zu einer Querströmungsinstabilität, deren Anfachung am gepfeilten Flügel üblicherweise den Übergang vom laminaren in den turbulenten Zustand der Grenzschicht auslöst. Der Einfluss der zweidimensionalen Tollmien-Schlichting-Wellen tritt hier in den Hintergrund. Dadurch vollzieht sich der laminar-turbulente Übergang nahe der Tragflügel Nase. Tragflügel üblicher Pfeilung werden nahezu vollturbulent umströmt.[Wikipedia]

Reduktion (der Auftriebswerte) im Außenbereich. Ein weiterer Effekt des Pfeilflügels ist die geringere Empfindlichkeit gegenüber Strömungsrichtungswechsel (Geschwindigkeitsgradient) der sich als Änderung der Strömungsrichtung zeigt (in der Aeromechanik: geringe Böenempfindlichkeit). Dies gilt auch für Tragflügel, die im Wasser arbeiten.

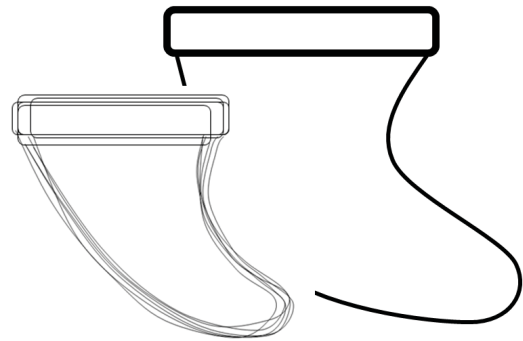
Finnenumrissform / Shape. Oder: „Werde was Du bereits bist“.

Die wohl intensivsten Diskussionen über die Eigenschaften unterschiedlicher Surfboardfinnen erhitzen sich an der Umrissform der Tragflügelfläche. Oben habe ich angesprochen, welche physikalischen Wirkungen die pure Größe der Tragfläche, die bug- und heckwärtige Pfeilung und das (mittlere) Längen- Tiefen-Verhältnis, der Schlankheitsgrad der Finnenkontur haben mögen. Es ist in der Szene üblich, es bei qualitativen Wirkungsunterschieden zu belassen und so kommen die mit der Forschung um Surfboardfinnen Befassten auch zu sehr ähnlichen Einschätzungen, aus welchen Gründen auch immer. Gerade der Einfluss der Tragflächengestalt, der Einfluss der Kontur und der Umrissform eines Flügels auf die „Finnen-Physik“ besitzt vertrackte Ursachen und nimmt - wie immer in solchen Fällen - die Formellastigkeit der Argumentation (in Zeitschriften, bei Berichten oder im Netz) im etwa gleichem Verhältnis ab, mit der die Komplexität des Geschehens ansteigt. Zukünftige experimentelle Laboruntersuchungen, Freifeldversuche und natürlich zeitgemäße computergestützte numerische Simulationen (Computational Fluid Dynamics, CFD) werden vielfältige Fragestellungen rund um das FinnenDesign bearbeiten und auch beantworten, sowie weitere – erfahrungsgemäß wahrscheinlich weitaus mehr – Forschungsfragen generieren.



Ich bezweifle allerdings, dass dies die Surf-Szene erfreuen wird. Generiertes Wissen und Forschung zerstört Mythen. Das war schon immer so. Und ist nicht das Surfen – ähnlich dem Segeln – eher eine Lebenseinstellung, als eine Sportart? Als Manfred Curry am Ende seiner legendären Segelkarriere auf über 1400 gewonnene Regatten zurückschaute und jene, bis zum heutigen Tag ikonenhaft verehrte, göttinengleichen Jollenkonstruktionen hinterließ, warf man ihm vor, das Segeln „entzaubert“ zu haben. War es doch Curry, der als Erster wissenschaftlich begründete Erkenntnisse der Fluidmechanik konsequent in Yacht-Design übertrug und in den Konstruktionsklassen der damaligen Zeit in Regattaerfolge umsetzte.

Zurück zum FinShape. In meinen Piktogrammen zu den einzelnen Kapiteln versuche ich das Wesen der jeweiligen Fragestellung anzudeuten; in diesem Fall eine in etwa flächengleiche Variation der Tragflügelkontur einer Surfboardfinne. Ein wichtiger Parameter bei der Entwicklung einer Finne ist deren Auftrieb- und Widerstandsgebaren; hier kommt der Auswahl eines geeigneten Finnenprofils (also der Querschnittsfläche des Tragflügels, wing section) eine wichtige Rolle zu. Ich werde dieser Frage später ein eigenes Kapitel widmen. Die Profilauswahl bildet aber auch einen Zusammenhang mit der Tragflächenkontur. Hat sich der Konstrukteur für einen bestimmten Tragflügelprofil-Typ entschieden, steht er vor der Frage, wie dieses Profil über die Länge des Flügels zu skalieren ist, damit sich der Charakter der ausgewählten Profilkontur in den physikalischen Eigenschaften der Finne wiederfindet. Dies ist selbst für einfach gestaltete Finnen mit übersichtlicher Tragflügelgeometrie eine anspruchsvolle Aufgabe. Um den Sachverhalt zu motivieren werde ich dies an einem einfachen Modell, an einer gefälligen Finnenkontur darstellen, einer Finnenform, die einem sofort bekannt vorkommt, die es aber in Wirklichkeit dergestalt nicht gibt. Es ist die statistisch zu ermittelnde 95-Perzentil-Finne⁶ vom Stand der Technik. Man findet diese Form durch Sammeln und (geschicktes) Superponieren aufgefundener Exemplare. Diese Methode scheint im Mobilitätsdesign (Autos, Motorräder, Straßenbahnen) sehr beliebt zu sein und beantwortet (implizit) die Frage, warum die Karosserien aller Marken heute gleich aussehen. Bei der Analyse des rezenten Marktes der Surfboardfinnen können wir den Anteil von lokalen und temporalen Moden und den Einfluss des Marketings natürlich nicht ermessen (oder fürchten). „Natürlich“ finden wir strömungsmechanische wirksame Finnen auch in der belebten Natur. Der Reynoldzahlenbereich der Rückenflosse der Delfine stimmt außer mit dem der Haie auch recht gut mit den Geschwindigkeitsverhältnissen an einer Surfboardfinne überein. Doch wollen wir in diesem Aufsatz nicht über einen bionischen Lösungsansatz nachdenken.



⁶ Das n-te Perzentil (z. B. das 50. Perzentil) ist der Grenzwert, unter dem n % (hier 50 %) der Gesamtheit der Messwerte liegen; Das 50. Perzentil wird als Konstruktionsmerkmal in fast allen Fällen den Anforderungen nicht gerecht, da es 50 Prozent der Benutzer ausschließt. Je nach Konstruktionsmerkmal wird z. B. das 5. oder das 95. Perzentil eingesetzt.

Obwohl, so ganz vorbei an der belebten Natur kommen wir bei der Suche nach geeigneten „Formfindungsprozessen“ nicht.

Die Frage nämlich, wie eine Finne wird, was sie ist, ruft (beinahe reflexartig) Gedanken an D´Arcy Thompsons wunderbares Buch „Über Wachstum und Form“ (On Growth and Form, 1917)⁷ auf.

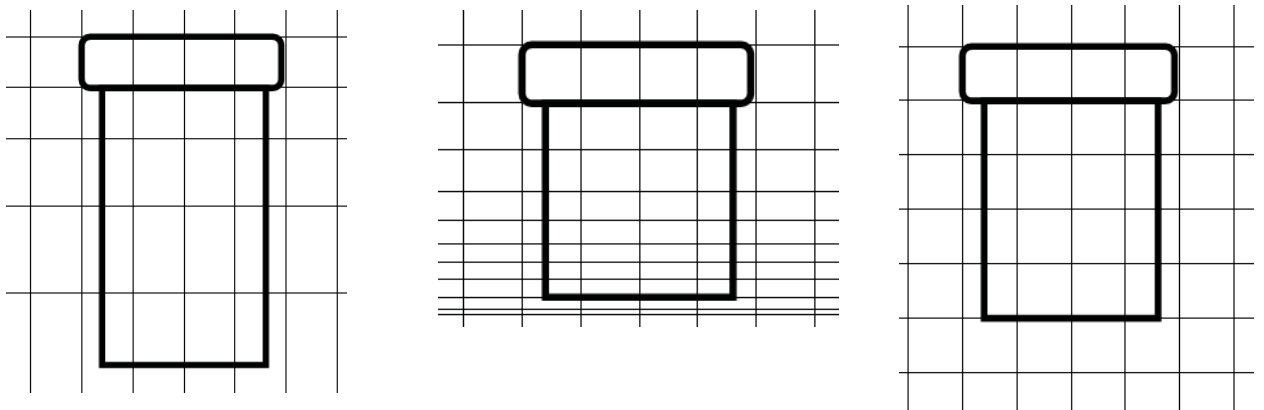


Abb.2: Grundkonfiguration eines Tragflügels (links im Bild), Streckung und Stauchung.

Lange vor Turing, Wolpert, Meinhard und Gierer - sie entdeckten und formulierten die so genannten Morphologischen Gradienten (Turing, später Wolpert) und entwarfen mathematische Modelle (Meinhard) chemischer Vormuster wie sie bei Wachstumsprozessen der Lebewesen auftauchen – erkannte D´Arcy Thompson die Bedeutung mechanischer, mathematischer, ja algorithmischer Prozesse bei der biologischer Muster- und Gestaltentstehung. Meine Lieblingsfrage an D´Arcy Thompson betreffe Affine Transformationen. In der digitalen Signal- und Bildverarbeitung werden Koordinatentransformationen standardmäßig eingesetzt (etwa beim *Morphing*), aber dem Betrachter oder auch dem Anwender von Bildverarbeitungsprogrammen bleiben die theoretischen Grundlagen hinter den Verschiebungen und

⁷ D´Arcy Wentworth Thompson (* 2. Mai 1860 in Edinburgh; † 21. Juni 1948 in St Andrews) war ein britischer Mathematiker und Biologe.

Verzerrungen und die mathematischen Beziehungen normalerweise verborgen; und das ist wahrscheinlich auch gut so. Anschaulich behandeln lassen sich Affine Transformationen in Matrizenschreibweise.

Das graue Kästchen (unten im Text) nimmt ein wenig den Druck aus diesem Dialog; der Leser sieht, dass die Zusammenhänge überschaubar kompliziert sind. Im Laborbetrieb kommen zur Matrizenrechnung vorzugsweise Computer-Algebra-Systemen (CAS) wie MATHEMATICA⁸ oder das freiverfügbare Programmsystem SCILAB⁹ zum Einsatz. Dem Formfinden über Affine Transformationen wohnt der biologistische Ansatz inne; das macht die Methode so sympathisch. Dem Leser sei – anstelle theoretischer Grundlagen - D´Arcy Thompsons Klassiker, der in den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts erneut aufgelegt, aber inzwischen auch wieder vergriffen ist, empfohlen; besuchen sie in ein gutes Antiquariat.

Einen besonderen Thrill hat die Aufgabenstellung für eine „vorgefundene“ Finnenform die (Rück-) Transformation zu ermitteln, die auf ein orthogonales Grundmuster führt. Und so schließt sich der Kreis: Vorfinden lassen sich beispielsweise biologische Finnen, etwa die Rückenflossen der Walartigen und jene der Haie. Sofern man die belebte Natur betrachtet.

Bei Regen („...findet das Manöver in der Turnhalle statt!“, hätte ich beinahe gesagt) gehen wir lieber ins Museum. Nicht ganz zufällig, aber dennoch überraschend, entdeckte ich kürzlich – umgeben von (zu) vielen Exponaten – ein Nurflügelflugzeug der Gebrüder Horten¹⁰. Zu diesen wunderbaren Flugzeugen ließen sich dem Aufsatz nun schwärmerische Texte beifügen, worauf ich in dieser Stelle verzichte. Den Tragflügelprofilen der Horten-Nurflügler allerdings werden wir später noch begegnen. Dem Leser sei der phantasievolle Umgang mit der beigefügten Quelle nahegelegt.

⁸ Mathematica ist eine kommerzielle Software des Unternehmens Wolfram Research und eine der meistbenutzten mathematisch-naturwissenschaftlichen Programmpakete. Mathematica 1.0 wurde 1988 auf den Markt gebracht. Viele Berechnungsfunktionen können auch online ausgeführt werden. <http://www.wolfram.com/mathematica/>

⁹ Scilab ist ein umfangreiches, leistungsfähiges freies Software-Paket für Anwendungen aus der numerischen Mathematik, das ehemals am [Institut national de recherche en informatique et en automatique](http://www.inria.fr/) (INRIA) seit 1990 entwickelt wurde und seit 2003 vom Scilab-Konsortium weiterentwickelt wird.

¹⁰ Die Brüder Reimar (*1915 in Bonn, † 1994 in Argentinien) und Walter (*1913 in Bonn; † 1998 Baden Baden) Horten waren pioniere (Autodidakten) bei der entwicklung der Nurflügel-Flugzeuge. Die Darstellung https://de.wikipedia.org/wiki/Horten_H_IX zeigt den Nurflügler HortenIX.

Im deutschen Technikmuseum Berlin ist die Replik des Modells Horten II ausgestellt.

Affine Abbildung meint: Spiegelung und Skalierung (z.B. Parallelstreckung), Verschiebung und Drehung, Achsenaffinität (Scherung, Schrägspiegelung), Zentrale Affinität (Drehstreckung) oder andere Hintereinanderausführung mehrerer Affinitäten .

Beispiel: Rotation und Skalierung:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} &= s \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} \\ &= s \begin{bmatrix} \cos \alpha (x - x_0) + \sin \alpha (y - y_0) \\ -\sin \alpha (x - x_0) + \cos \alpha (y - y_0) \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Separation der Lösungen:

$$\begin{aligned} x' &= (s \cos \alpha)x + (s \sin \alpha)y - s(x_0 \cos \alpha + y_0 \sin \alpha) \\ y' &= (-s \sin \alpha)x + (s \cos \alpha)y + s(x_0 \sin \alpha - y_0 \cos \alpha). \end{aligned}$$

.. kann geschrieben werden als:

$$\begin{aligned} x' &= ax - by + c \\ y' &= bx + ay + d, \end{aligned}$$

mit:

$$\begin{aligned} a &= s \cos \alpha \\ b &= -s \sin \alpha. \end{aligned}$$

Der Skalierungsfaktor s ist:

$$s = \sqrt{a^2 + b^2},$$

Der Rotationswinkel α ist:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(-\frac{b}{a} \right).$$

Näheres siehe unter: <http://mathworld.wolfram.com/AffineTransformation.html>

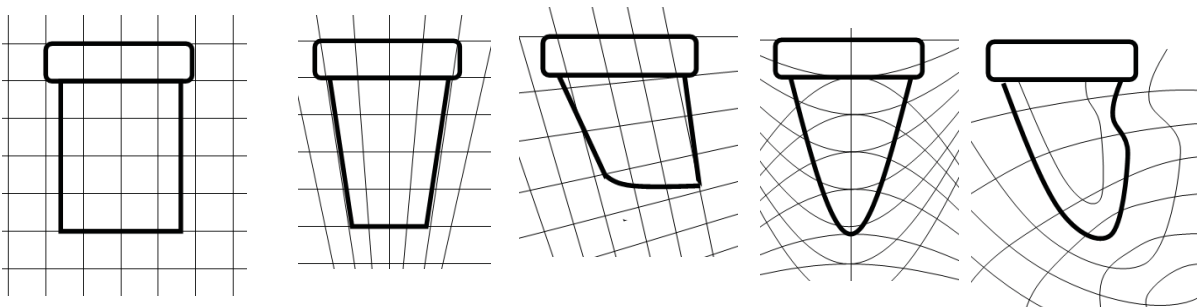


Abb.3: Grundkonfiguration eines Tragflügels (links) und Finnenformen aus überlagerten Koordinatentransformation (in schematischer Darstellung).

Traglinienverfahren zur Berechnung der fluidischen Auftriebskräfte am Flügel

Potentiallöser sind gitterlose und in der Regel zweidimensionale Berechnungsverfahren. Unter der Voraussetzung reibungsfreier, inkompressibler Strömung lassen sich mit potentialtheoretischen Berechnungsverfahren unter bestimmten Voraussetzungen treffende Aussagen über Strömungsgrößen nahe der Außenkontur (ausgesuchter) Strömungskörper machen. Mit dem Ansatz reibungsfreier Strömung können wichtige Erkenntnisse im Verhalten umströmter Körper gewonnen werden. Potentialströmungen fordern als zusätzliches Kriterium Rotationsfreiheit der Strömung (Wirbel hingegen sind drehungsbehaftete Strömungen). Die nachfolgenden Ausführungen betreffen potentialtheoretische Untersuchungen an Profilen für Tragflügel, die im Medium Wasser arbeiten. Zur Simulation fluidmechanischer Phänomene an Seefahrzeugen sind Potentiallöser die meistgenutzten CFD-Werkzeuge.

Für das Lösen strömungsdynamischer Probleme werden numerische Methoden eingesetzt. Die Numerik behandelt rechnerischer Lösungswege (Algorithmen) für kontinuierliche Probleme; es sind Näherungsverfahren, die statt exakter Lösungen von Differentialgleichungen Approximationen liefern. Die Anwendung numerischer Verfahren zur Lösung praktischer Fälle erfordert den Einsatz hochperformanter Hardware. CFD umfasst neben der mathematischen Betrachtung (Aufstellen und Lösen gekoppelter Differentialgleichungen und Randbedingungen mittels algebraischer Gleichungssysteme) auch vorbereitende Arbeiten und die Aufbereitung und Auswertung der Ergebnisse.

Eine Phänomenologie im Sinne einer niedrigschwelligen Betrachtungsweise umströmter Körper kann mit dem Ansatz der reibungsfreien und rotorfreien Potentialströmung aufgebaut werden (Potentialtheorie). Die Potentialtheorie beschäftigt sich mit dem Aufstellen und Lösen der Potentialgleichungen, unter Berücksichtigung spezieller Randbedingungen. Wir betrachten in diesem Aufsatz nur ebene Strömungsfelder. Wegen der Linearität der Gleichungen gilt für Potentialströmungen das Superpositionsprinzip, das die Darstellung und Berechnung komplexer Lösungen aus der Überlagerung von einfachen Strömungen für die Elementarlösungen erlaubt.

Drehungsbehaftete Strömungen sind Wirbelströmungen. Unter der Drehung einer Strömung stelle ich mir die Rotation einzelner Fluidteilchen um ihre eigene Achse vor. Für Potentialströmungen ist die Zirkulation immer dann Null, wenn keine Festkörper oder Singularitäten eingeschlossen werden. Mit der Zirkulation lassen sich Wirbelstärke und Auftriebskräfte berechnen.

Als Potential werden in der Mathematik formal Skalarfunktionen bezeichnet, deren partielle Ableitung eine Größe mit physikalischer Bedeutung angibt. Ist

eine Strömung wirbelfrei so folgen aus dem Gradienten der Feldfunktion die Geschwindigkeitskomponenten der Strömung. Bei wirbelfreien Strömungen sind die Vektorkomponenten nicht mehr unabhängig voneinander sondern über das Potential verbunden. Nach dem Satz von Kutta-Joukowski kann die auftriebsbehaftete Umströmung eines Profils als Kombination aus Parallel- und Zirkulationsströmung betrachtet werden, wenn die (Kutta'sche) Abflussbedingung erfüllt ist. Diese fordert ein glattes Abströmen des Fluids an der Hinterkante.

pos	vertikal z [m]	Profiltiefe t [m]	Profiltiefe t [% t _B]	Profildicke d [m]	Profildicke d/t [%]	Profil
B	0.0	0.100	100	0.05	5	ELL 05 50
2	0.02	0.080	80	0.05	6.25	ELL 06 50
3	0.04	0.072	72	0.05	7	ELL 07 50
4	0.06	0.086	86	0.04	5	ELL 05 50
5	0.08	0.098	98	0.035	3	ELL 03 50
T	0.1	0.048	48	0.03	6.25	ELL 06 50

Für die strömungsmechanischen Analysen verwende ich das System FS-Flow¹¹, JavaFoil¹² und andere Programmsysteme, für Implementationen SCILab¹³.

Die relevanten Profilkonturen liegen als in Listen geordnete Koordinatenpunkte $P_K = P(x_K, y_K)$ vor. Hinweise zur Nomenklatur in den nachfolgenden Ausführungen:

Geometrie

t	[m]	Profiltiefe. Bezugsmaß für Konturrelevante Kennungen eines Profils
d/t	[%]	spezifische Profildicke der Profilkontur mit der Tiefe t.
xd/t	[%]	Dickenrücklage der Profilkontur mit der Tiefe t.
t(z)	[m]	t=t(z) über die horizontale Koordinate z variable Profiltiefe t
x	[m]	x- Koordinate der Punkte $P_K(x_K, y_K, x_K)$ auf der Tragflächenkontur
y	[m]	y- Koordinate
z	[m]	z- Koordinate / horizontale Koordinate (Flügelwurzel (W) bis Flügel-Tip (T))

¹¹ FS-Flow ist ein kommerzielles Programmsystem der Firma FutureShip GmbH / Germanischer Lloyd, DNV-GL das nach dem PANEL-Verfahren arbeitet. <https://www.dnvgl.de>

¹² JavaFoil ist ein frei verfügbarer Potentiallöser von Dr. M. Hepperle der in erster Linie für aerodynamische Fragestellungen aus dem Programmsystem CalcFoil entwickelt wurde. <http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/javafoil.htm>

¹³ Scilab ist ein eine umfangreiche, leistungsfähige Software für Anwendungen aus der numerischen Mathematik, das ehemals am Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) seit 1990 als Alternative zu MATLAB entwickelt wurde.

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

dx, dy, dz	[m]	differentielle Koordinaten
$\Delta x, \Delta y, \Delta z$	[m]	
\underline{x}	[-]	$\underline{x} = (x/t)$ generalisierte Koordinate x bezogen auf die Profiltiefe t
\underline{y}	[-]	$\underline{y} = (y/t)$ generalisierte Koordinate y
ΔA	[m ²]	$\Delta A = (\Delta z \cdot \Delta x)$
ΔF	[m ²]	$\Delta F = t \cdot \Delta z$ differentielles Kontur-Flächensegment (Wing-Section)

Beiwerte und Koeffizienten

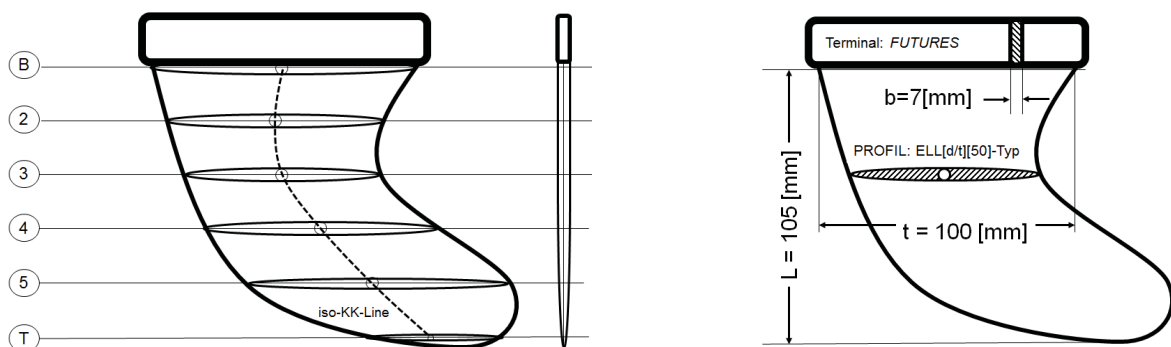
c_L	[-]	Lift-Koeffizient (Auftrieb, Querkraft)
c_p	[-]	$c_p = c_p(x_k, y_k)$ Druckgradient (Profilkontur)
c_w	[-]	Widerstandsbeiwert

Geschwindigkeiten und Kräfte

$v(x)$	[ms ⁻¹]	lokale (konturnahe) Geschwindigkeit.
V, v_∞	[ms ⁻¹]	globale (System-) Geschwindigkeit.
(v/V)	[-]	spezifische Geschwindigkeit, lokal und konturnah
L	[N]	$L = c_L \cdot F \cdot v^2 \cdot \rho / 2$ Auftrieb, Querkraft, Lift
K	[N]	\underline{K} aus $q(x) = \underline{K} \Delta x$ lokale Kraft auf ein Flächensegment $\Delta A = (\Delta z \cdot \Delta x)$
ΔL	[N]	$\Delta L = k \cdot dz = c_L \cdot t \Delta z \cdot v^2 \cdot \rho / 2$; Lift für ein Flächensegment der Breite Δz
$q(x)$	[Nm ⁻¹]	Streckenlast an der Profilkontur $P_K(x_k, y_k)$
k	[Nm ⁻¹]	$k = k(z) = \Delta L / \Delta z$; integrale Streckenlast für eine Profelsektion Δz

Stoff

ρ	[kgm ⁻³]	Dichte
ν	[m ² s ⁻¹]	Transportkoeffizient: kinematische Viskosität



Ein Ergebnis der potentialtheoretischen Analyse ist die Geschwindigkeitsverteilung $(v/V)_{x,y}$ und damit der Druckgradient $c_p = c_p(x,y)$ über die Profilkonturen (x_k, y_k) eines Tragflügels. Aus der Druckintegration wird einerseits der dimensionslose Auftriebskoeffizient c_L und unter Hinzunahme

eines Reibungs-Modells der Widerstandsbeiwert c_w der Profilkontur ermittelt. Der Auftriebsbeiwert und der Widerstandsbeiwert sind als Integralgrößen über eine Profilkontur anzusehen.

Eine Streckenlast q ist in der technischen Mechanik eine bereichsweise über x definierte Belastung mit der Einheit [N/m] und wird für eine lokale Kraft \underline{K} mit $q(x) = \frac{F}{\Delta x}$ angesetzt. In SI-Einheiten besitzt die Streckenlast q die Einheit [m·Pa]¹⁴. Ein über eine Kontur verteilter Druck p , der in unserer Betrachtung als ortsabhängiger Gradient $p(x)$ in [Pa] auftaucht und der gerade als eine lokale Kraft K über einen Flächenabschnitt $\Delta A = (\Delta z \cdot \Delta x)$ angesehen wird, offenbart eine Beziehung zu der Streckenlast q wie folgt:

$$\text{mit } q(x) = K \Delta x \text{ [m·Pa] und } p(x) = K / \Delta A = F / (\Delta z \cdot \Delta x) \quad [\text{Pa}]$$

$$\text{folgt } p(x) = q(x) / \Delta z \quad [\text{Pa}]$$

Der lokale Druck $p(x)$ auf der Kontur an der Stelle x wird relativ und auf den atmosphärischen Normdruck¹⁵ p_0 bezogen angegeben. Für den lokalen Druckkoeffizienten c_p gilt dann folgende Beziehung¹⁶:

$$c_p = 2 (p(x) - p_0) / (\rho \cdot V^2) \quad [-]$$

Normdruck $p_0 = 101\,325 \text{ [Pa]} = 101,325 \text{ [kPa]} = 1\,013,25 \text{ [hPa]} = 1\,013,25 \text{ [mbar]}$
 Normzustand bei $T = 273,15 \text{ [°K]}$ bzw. $T = 0 \text{ [°C]}$ entsprechend DIN 1343.

$$(p(x) - p_0) = 0.5 \cdot c_p \cdot \rho \cdot V^2 \quad [\text{kg m}^{-3} \cdot \text{m}^2 \text{ s}^{-2}], [\text{Nm}^{-2}], [\text{Pa}]$$

Der Druckkoeffizient c_p besitzt einen Gradienten über die Kontur $c_p(x)$ und wird mit der aus der klassischen Strömungsmechanik bekannten Form aus der lokalen, spezifischen Geschwindigkeit bestimmt. Hierbei wird die Bernoulli-Gleichung dazu benutzt, den Druck aus den Geschwindigkeitskomponenten zu ermitteln.

¹⁴ ISO-Einheiten. $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$, z.B.: Megapascal (10 bar = 1 MPa = 1 Million Pa = 1 N/mm²)

¹⁵ Mit dem Normdruck $p_0 = 101\,325 \text{ [Pa]} = 101,325 \text{ [kPa]} = 1\,013,25 \text{ [hPa]} = 1\,013,25 \text{ [mbar]}$. Im atmosphärischen Normzustand bei $T = 273,15 \text{ [K]}$ bzw. $T = 0 \text{ [°C]}$ entsprechend DIN 1343.

Wasser im Normzustand bei $T = 20 \text{ °C}$: Dichte $\rho = 0,998203 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ $\rho = 998,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

¹⁶ Katz, J., Plotkin, A. (2001) Low-Speed Aerodynamics, Cambridge University Press. ISBN 13 978-0-521-66219-2.

$$\text{Bernoulli } p_0 + \frac{1}{2} \rho_\infty V^2 = p + \frac{1}{2} \rho_\infty v(x)^2 \quad [\text{Pa}]$$

Für inkompressible Strömungen ($\rho = \rho_\infty$) liefert das den lokalen Druckkoeffizienten $c_p(x) = p(x)/p_0$ aus einer Beziehung über die Systemgeschwindigkeit $V = v_\infty$.

$$c_p(x) = 1 - (v(x)/v_\infty)^2 \quad [-] \quad (1)$$

Die lokale, konturnahe Geschwindigkeit $v(x)$, bzw. die auf die Systemgeschwindigkeit $V = v_\infty$ bezogene spezifische Geschwindigkeit $(v(x)/V)$ und somit der lokale Druckkoeffizient $c_p(x)$ ist ein signifikantes Ergebnis der potentialtheoretischen Berechnung und steht nun für die Druckintegration über eine Kontur zur Verfügung.

$$\begin{aligned} (p(x) - p_0) &= 0.5 \cdot c_p \cdot \rho \cdot V^2 \\ (p(x) - p_0) &= 0.5 \cdot (1 - (v(x)/V)^2) \cdot \rho \cdot V^2 \end{aligned} \quad [\text{Pa}]$$

In der Regel kann der potentialtheoretischen Berechnung ein dimensionsloser Auftriebsbeiwert c_L (Lift-Koeffizient) entnommen werden, was den Berechnungsgang auf Kosten einer differenzierten Betrachtung der Auftriebsverteilung über die Profilkontur erleichtert. Aus der einschlägigen Literatur ist die aus integralen Größen zu ermittelnde Kraft:

$$\text{Auftrieb, Querkraft, Lift} \quad L = c_L \cdot F \cdot v^2 \cdot \rho/2 \quad [\text{N}] \quad (2)$$

Das sektorale Flächensegment ΔF der Breite Δz das sich aus der abschnittsweisen Betrachtung der Gesamtfläche F des Tragflügels, also dem so genannten Kontur-Flächensegment ergibt:

$$\text{Tragflächen-Segment (Wing-Section)} \quad \Delta F = t \cdot \Delta z \quad [\text{m}^2]$$

Im Besitz des dimensionslosen Auftriebsbeiwertes c_L für ein Kontur-Flächensegment (Wing-Section) ist die nunmehr sektorale Auftriebskraft ΔL der Profilkontur, also der sektorale Lift ΔL für ein Flächensegment $\Delta F = t \cdot \Delta z$ leicht zu ermitteln.

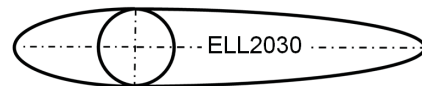
$$\text{Der sektorale Lift} \quad \Delta L = c_L \cdot t \cdot \Delta z \cdot v^2 \cdot \rho/2 = k \cdot \Delta z \quad [\text{N}]$$

Mit der hier eingeführte Vereinfachung $\Delta L = k \cdot \Delta z$ ist die sektorale, über die vertikal variable Flügeltiefe $t=t(z)$ definierte Traglinienkraft k in Abhängigkeit von der vertikalen Koordinate z , also $k=k(z)$ gegeben als:

$$\text{Traglinienkraft} \quad k(z) = c_L \cdot t(z) \cdot v^2 \cdot \rho / 2 \quad [\text{N m}^{-1}] \quad (3)$$

Für die Ermittlung der - für einen Kontursektor der Breite Δz (an der Stelle z_k) konstanten - Traglinienkraft k sind also Kenntnisse über die (ebene, lokale) Anströmgeschwindigkeit $v = v(\alpha)$ und dem integralen Liftkoeffizienten c_L , der zu dem jeweiligen Tragflügelprofil an der Stelle z_k gehört. Der Liftkoeffizient c_L und der Widerstandskoeffizient c_W entstammen Datensammlungen oder den über die Software ermittelten Polaren $c_L=c_L(\alpha)$ und $c_W=c_W(\alpha)$ die für Messreihen über den Anströmwinkel α geordnet vorliegen (siehe auch den Anhang dieses Aufsatzes).

Das Traglinien-Verfahren wird nun exemplarisch für eine Surfboardfinne durchgeführt, dessen Kontur Variationen symmetrischer Profile vom elliptischen Typ: ELL[d/t][xd/t]¹⁷ sein sollen. Obwohl die Leistungsdaten der elliptischen Profile nicht hervorragend sind – wenn man einmal davon absieht, dass Arbeitstragflächen mit derartigen Profilen sowohl vorwärts, als auch rückwärts gefahren werden können, was absolute Vorteile birgt - besitzen sie Konstruktionseigenschaften, auf die man (zumindest im Experimentalbereich) schwerlich verzichten möchte. Derartige ELL-Profile sind geo-metrisch beliebig genau beschreibbar. Mit einfachsten Mitteln. Ich stelle mir immer vor, ein Kreis sei nur eine ganz spezielle Variante einer Ellipse mit gleichen Achsen $a=b$. Die Profilfläche ist: $A_{\text{ELLIPSE}} = ab\pi$. Die bugwärtige und die heckwärtige Ellipse besitzen einen gemeinsamen Konstruktionkreis (im Sinne eines Erzeugenden-Systems beliebiger Genauigkeit). Am „Stoss“ der beiden Teilellipsen besitzt das Profil eine gemeinsame (definiert waagrecht-horizontale) Tangente, am Bug- und am Heckpunkt eine (definiert senkrecht-vertikale) Tangente. Für die Konstruktion von Strömungsteilen, die in kleinen Werften oder Bootsbaubetrieben gefertigt



¹⁷ Fluidodynamisch wirksames lateralsymmetrisches Strömungsprofil aus geometrischen Grundfiguren. (GM308). GM-Nr. 20 2014 003 346.3, IPC: F15D 1/10.

werden sollen, ein unschlagbarer Vorteil, was die Herstellung beliebiger Profillehren (quasi am Küchentisch!) betrifft. Genug geschwärmt.

Für alle Punkte $P(x,y)$ die Element einer Ellipse sind, gilt die Ellipsengleichung $(x^2/a^2)+(y^2/d^2) = 1$. Für die bugwärtige Ellipse ist das a gegeben mit $a=xd/2$. Für die heckwärtige Ellipse ist a gegeben mit $a=(t-xd)/2$. Mit den Parametern $p1$, die spezifische Profildicke d/t [%] und $p2$, die spezifische (auf die Profiltiefe t bezogene) Dickenrücklage xd/t [%] des symmetrischen Profils ist das Profil „ELL[$p1$][$p2$]“ definiert. Mit einer Dickenrücklage von 50% für alle Querschnitte der betrachteten Finne ergeben sich zentralsymmetrische Ellipsenprofile, die nur noch in der spezifischen Dicke $\{3<(d/t)[\%]<7\}$ variieren; hier die Profile vom Typ ELL0350, ELL0550, ELL0650 und ELL0750. Die Profilkonturen in Koordinaten und alle Berechnungswerte sind im Anhang dieser Schrift aufgeführt.

Betrachten wir nun Berechnungsdaten für Konturvarianten elliptischer Profile. Es interessiert das Auftriebs- und das Widerstandsgebaren, vermittelt über den Liftkoeffizienten c_L und den Widerstandskoeffizienten c_W in Abhängigkeit vom Anstellwinkel α .

Profil	α_{STALL}	c_A STALL	c_W STALL	c_A ($\alpha=0^\circ$)	c_W ($\alpha=0^\circ$)	c_A ($\alpha=4^\circ$)	c_W ($\alpha=4^\circ$)	c_A ($\alpha=10^\circ$)	c_W ($\alpha=10^\circ$)	c_A ($\alpha=16^\circ$)	c_W ($\alpha=16^\circ$)	c_A ($\alpha=20^\circ$)	c_W ($\alpha=20^\circ$)
ELL0350	8	0.398	0.066	0	0.0094	0.349	0.016	0.345	0.082	0.141	0.154	0.079	0.203
ELL0550	8	0.434	0.067	0	0.0052	0.358	0.016	0.399	0.085	0.185	0.156	0.107	0.203
ELL0650	8	0.467	0.067	0	0.0036	0.375	0.017	0.442	0.087	0.219	0.155	0.127	0.216
ELL0750	6	0.519	0.064	0	0.0032	0.376	0.017	0.488	0.086	0.276	0.162	0.168	0.213

Tabelle 1: Ausgewählte Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte (c_L und c_W) über den Anstellwinkel α für Variationen von ELL-Profilen.

Die Tabelle zeigt nur Auszüge aus den Datensätzen der berechneten Auftriebs- und Widerstandskoeffizienten c_L und c_W über eine Reihe von Anstellwinkeln α . Das Querkraftmaximum wird bei jenem Anstellwinkel erreicht, bei dem Stall auftritt ($\alpha=\alpha_{STALL}$). Das aber bedeutet nicht, dass dieser Winkel in der Betriebspraxis von fluidmechanisch wirksamen Leit- und Steuertragflächen – Schwertern bei Jollen, Yachtkielen, Stabilisatoren, Ruderblättern und eben auch Surfboardfinnen - nicht ständig überschritten wird, im Gegenteil. Es ist aber unmittelbar aus der Tabelle abzulesen und in den Diagrammen (weiter unten im Text) zu erkennen, dass die Querkraftanteile mit ansteigendem Anströmwinkel förmlich einbrechen und auch das Widerstandsgebaren für alle

vier Ellipsenprofile in gleicher Größenordnung zunimmt. Ellipsenprofile erscheinen als Konstruktionskonturen ungeliebt, tauchen im tatsächlichen Leben (Fertigungs- und Anwenderpraxis) aber erstaunlich häufig auf, was ahnen lässt, wie weit doch reale der Tragflügel von dem avisierten Gestaltungsziel (der Theoretiker) abweicht. Die Leistungsdaten der Konturen liegen aber gar nicht so weit von jenen der (vornehmlichen) NACA-Zielsysteme entfernt. Das werden wir weiter unten sehen.

Was sagen nun die nackten Zahlen aus? Gezeigt werden sollte, dass die Form der Tragflügelkontur „maßgeblich“ Einfluss nimmt auf die Verteilung der Auftriebskräfte am beströmten System. Dies ist ganz offensichtlich in der anfangs erwarteten Größenordnung nicht der Fall. Berechnet wurde die Kraftlinienverteilung über die Tragflügel-Länge, der Z-Koordinate - von der Flügelwurzel, Base (B) bis zum Tragflügelrandbogen, Tip (T) - bei drei untersuchten Anströmgeschwindigkeiten, die signifikant scheinen oder sind für die Betriebsmodi Angleiten, Manöver und Höchstgeschwindigkeit, wobei letztere ($v=10 \text{ ms}^{-1}$) wohl eher theoretische Betrachtungen bedient. Unter Manöverbedingungen ($v=3 \text{ ms}^{-1}$, es werden $\alpha=10^\circ$ Anstellwinkel gefahren) ist die Tragkraftverteilung nach Form (3) relativ ausgeglichen und auch das Integral über die (eher grob diskretisierte) Tragfläche, also näherungsweise $\sum \Delta L(z) \Delta z = 16.54 \text{ [N]}$, liegt größenordnungsmäßig im erwarteten Bereich von etwa zwanzig Newton.

Dieses Ergebnis ist einerseits beruhigend, legt es doch die Vermutung nahe, dass Formgebungsexzesse und modebedingte, mancher Weise exotisch anmutender Tragflügelkonturen vom fluidischen System (fehler-) tolerant behandelt zu werden scheinen. Auf der anderen Seite mahnen die Simulationsergebnisse eine gesteigerte Aufmerksamkeit bei der (zukünftigen) Auswahl potentieller Profiltypen an. Schlanke, symmetrische Konturen mit Profildicken um die fünf oder sechs Prozent der Tragflügeltiefe besitzen aus physikalischen Gründen keine guten Leistungsdaten und übertreffen in ihrem Auftriebs- und Widerstandsgebaren einen sauber in die Finbox eingespannten Tortenheber aus Muttis Küchenschublade signifikant nicht!

Pos	Vert. z [m]	Profil-Tiefe t [m]	Vert. dz[m]	Traglinien-Querkraft k [Nm ⁻¹]	Traglinien-Querkraft k [Nm ⁻¹]	Traglinien-Querkraft k [Nm ⁻¹]	Integrale Querkraft ΔL; Q [N]	Traglinien-Querkraft k [Nm ⁻¹]	Integrale Querkraft ΔL; Q [N]	Profil
Geschwindigkeit [ms ⁻¹]				1.0	1.0	3.0	3.0	10.0	10.0	
Strömungs-Winkel [°]				α= 4°	α=10°	α=10°	α = 10°	α=10°	α = 10°	
B	0.0	0.100	0.02	19.52	19.95	179.6	3.59	1995	39.9	ELL0550
2	0.02	0.080	0.02	15.0	17.68	159.1	3.18	1768	35.36	ELL0650
3	0.04	0.072	0.02	13.54	17.57	158.1	3.16	1757	35.14	ELL0750
4	0.06	0.086	0.02	15.39	17.16	154.4	3.09	1716	34.32	ELL0550
5	0.08	0.098	0.02	17.1	16.91	152.2	3.04	1691	33.82	ELL0350
T	0.1	0.048	0.005	9.0	10.61	95.5	0.48	1061	5.3	ELL0650
	z	t	dz	k	k	k	Σ 16.54	k	Σ 183.8	
Finnen-Geometrie				Take Off	Take Off	Manöver	Manöver	Speed	Speed	

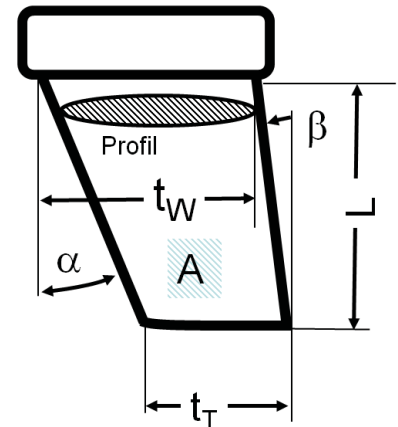
Tabelle 2: Integration der Traglinienquerkraft über die Tragflügelänge.

Selbst vom Standpunkt des Theoretikers aus betrachtet, stellt sich die bislang ermittelte Strömungswirklichkeit um eine Surfboardfinne als ein eine Komplexe dar. Sollen „Leit- und Steuertragflächen für kleine Seefahrzeuge“ hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit weiter-entwickelt werden, kommen wir um eine eingehende Betrachtung verwendbarer Tragflügelprofile und insbesondere deren Transitions- und Separationsverhaltens nicht herum; der Frage also wann und an welchem Ort auf der Konturlinie Turbulenz und Strömungsablösung erfolgt, der Tragflügel in den „Stall“ übergeht.

Die Auftriebsentfaltung an den ersatzweise angenommenen Ellipsenprofilen (Wirklichkeit) und jene der an Probeexemplaren vom Stand der Technik (Realität) vorgefundenen Profilkonturen bieten den größten Spielraum für Innovationen (Zukunft) im Surfbereich. Und genau hierüber, die leistungsorientierte Ausgestaltung von Surfboardprofilkonturen, wissen wir rezent nichts beizutragen; oder zumindest zu wenig: Ein schlecht strukturiertes Problem ist zu lösen; in angemessener Zeit. Dies lässt sich natürlich am besten unter Laborbedingungen bewerkstelligen, was zu fordern allerdings nicht die Intension dieser Untersuchung ist. Erst wenn man ein (schlecht strukturiertes) Problem in bearbeitbare Teilaufgaben zerlegt, kann es gelöst werden. Wir Theoretiker haben uns in dieser Phase der Untersuchung für den Entwurf eines referentiellen Tragflächensystems entschieden. Dieser „Systemflügel“ soll theoretischen Überlegungen und simulier- und berechenbaren Strömungswirklichkeiten nicht allzu große Widersache entgegen-setzen, also mit verfügbaren Methoden beschreibbar und gleichzeitig der (sehr) praktischen Evaluation am Brett, in der realen Welle zugänglich sein.

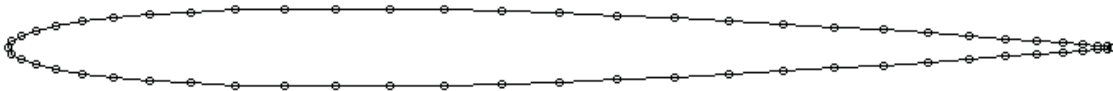
Definition einer referentiellen NULL-Finne

Ähnlich der 95-Perzentil-Finne ist die hier postulierte „NULL-Finne“ ein fiktionales System, nur viel schlimmer. Niemand - außer uns - würde diese Finne bauen. Kein Surfer würde die Null-Finne unter sein Board klippen, durch die Welle pflügen oder sich gar damit am Strand zeigen, außer unsere wackeren Forschungspartner. Vielleicht. Die NULL-Finne besitzt eine einfache, sinnfällige Tragflügelkontur (Trapez-Flügel mit mäßiger Pfeilung an der Profilvorderkante und ohne Pfeilung an der Hinterkante), ihre Gestalt ist ausgewogen, vermeidet Extrema (Schlankheitsgrad, Aspect Ratio) und ist mit RP-Technik umgehend zu fertigen. Als Terminal wählen wir das *FUTURES*-System (kurzes Plug der Center-Fin) des Forschungspartners.



Vorgegebene und abhängige Geometriedaten					NULL-Finne
Profiltiefe (Wurzel, Root)	t	m	0.1		0.10
Profiltiefe (Randbogen, Tip)	t _T	m	0.7 · t		0.07
Tragflügelänge	L	m	1.2 · t		0.12
Terminal Breite	b	m	0.07		0.07
Pfeilungswinkel vorn	α	°	$\alpha = \arctan((t-t_T) / L)$		16
Pfeilungswinkel hinten	β	°			0
Schlankheit (Aspect Ratio, AR)	λ	-	$\lambda = 2 \cdot L / (t+t_T)$		1.4
laterale Tragflügelfläche	A	m ²	$(L \cdot t) - (L^2 \tan \alpha) / 2$		0.0102
benetzte Tragflügelfläche	A _b	m ²	$(2 \cdot L \cdot t) - (L^2 \tan \alpha)$		0.0204
proj. Anströmfläche	A _s	m ²	d · L		0.0072
Profildicke(Wurzel) NACA 0007	d _w	m	d _w = 0.07 t		0.07
Profildicke(Tip) NACA 0007	d _T	m	d _T = 0.07 t _T		0.049
Dickenrücklage NACA 0007	df	m	df = 0.3 t (für Wurzel)		0.03

Tabelle 3: Spezifikation der Systemfinne.



Die NULL-Finne ist ein Container, der mit unterschiedlichen Profilkonturen beladen werden kann. Das Startsystem besitzt eine Profilkontur aus der 4-

stelligen Serie symmetrischer NACA-Profile¹⁸ mit $d/t=7[\%]$ Durchmesser (NACA 00 07) so dass bei einer Profiltiefe von $t=100$ [mm] die Materialstärke am Terminal ($b=7$ [mm]) erreicht wird. Die Dickenrücklage der 4-stelligen NACA-Profile ist für kleine Profildicken auf $df=0.3 \cdot t$ determiniert. Diese Profilserie ist benannt und zeichnet sich dadurch aus, dass die Kontur $y(x)$ durch ein Polygon 4.ten Grades angegeben wird, was – vor dem Hintergrund einer Fertigung mit RP-Techniken - die Portation der CAD-CAM-Datenfiles erleichtert.

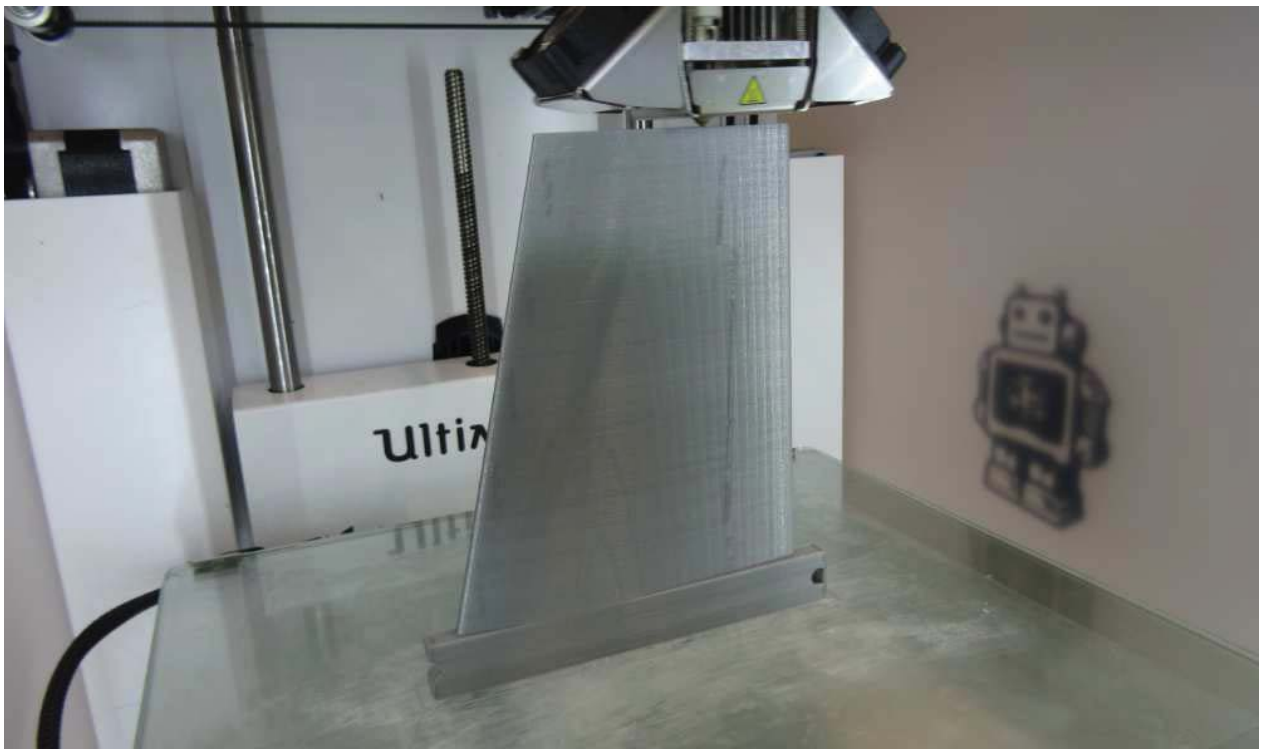


Abb.04: Fertigung der „NULL-Finne“ mit dem Schmelzschihtugsverfahren (FDM/FFF) RP-Technik (Ultimaker 2+)

¹⁸ Polygon der Profilkontur der vierstelligen NACA-Serie: $y(x)_{NACA} = y_{MAX} \cdot (a_0 \cdot x^{1/2} + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4)$

Elastische Verformung / FIN Flex

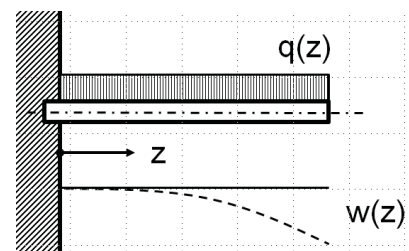
Generell wird über die Elastizität von Tragflügeln viel diskutiert. Die meisten Fragen handeln von Schwingungserscheinungen, dem periodischen oder stochastischen Verformen der Tragflügelstruktur unter (wechselnder) Beaufschlagung. Die Beschreibung der physikalischen



Wirklichkeit der fluidmechanisch wirksamen und gleichzeitig unter der Strömungslast verformten Tragfläche, die so genannte Fluid-Struktur-Wechselwirkung (Fluid Structure Interaction, FSI) von Strömungsbauteilen ist Gegenstand rezenter Forschungsbemühungen und darf (absolut) als eine derzeit ungelöste angesehen werden. Die rechnerische Untersuchung der Strukturverformung (mit der Methode der Finiten Elemente, FEM) und der Strömung (mit Computational Fluid Dynamics, CFD) muss dazu in einem gemeinsamen Berechnungsansatz erfolgen, was auf enorme Schwierigkeiten in der numerischen Umsetzung stößt. Bei Strömungsproblemen die an elastischen Strukturen auftreten darf einfach nicht von „Berechnungsaugenblicken“ ausgegangen werden, bei denen die zeitliche Entwicklung des Phänomens außeracht gelassen wird.

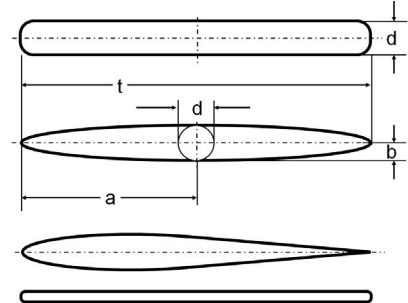
Doch genau dies werden wir anschließend tun. Die vorangegangenen Ausführungen haben uns über die Methode des Traglinienverfahrens erste quantifizierbare Aussagen zu den durch den fluiddynamischen Lift generierten Querkräften an einer Surfboardfinne geliefert.

Auf diese Größen werden wir uns beziehen und zunächst das Widerstandsgebaren der Finne unberücksichtigt lassen. Die Querkräfte stehen senkrecht auf der Finnenoberfläche, was die Berechnung einer Strukturverformung vereinfacht. Die aus dem Strömungsdruck zu erwartenden Kräfte sind nicht besonders groß und die Verformungen vermutlich gering, die Lastaufschaltung erfolgt langsam (quasistatisch). Unter derartigen (Anfangs- und) Randbedingungen darf die elastische Theorie (nach der Hypothese von Bernoulli) angewandt werden um Strukturverformungen unter Last zu ermitteln. Wir benötigen für die Simulation das axiale Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung des belasteten Querschnitts I_{zz} ; für



Standardquerschnitte ist das ein Tabellenwert. Extravagante Querschnittsflächen, wie etwa Tragflügelprofile! bereiten etwas mehr Mühe.

Für den Querschnitt des Profils ELL0750 (zwei identische Halbellipsen mit der Dicke $d=0.07 \cdot t$, siehe oben) kann das axiale Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung I_{zz} leicht ermittelt werden. Flächen-trägheitsmomente sind der einschlägigen Literatur¹⁹ zu entnehmen. Als Material wählen wir einen thermoplastischen Kunststoff PLA²⁰ (Polylactid), für das in den Materialtabellen ein Elastizitätsmodul $E(\text{PLA}) = 3000\text{--}3500 \text{ [MPa]}$ ²¹ gefunden wird. Wir werden uns am unteren Materialwert: $E_{\text{PLA}}=3 \text{ GPa}$ orientieren.



Polyactid ist zwar kein (von uns) bevorzugter Konstruktionswerkstoff und die Entwicklung geht zügig voran, hin zu PolyCarbonat-Werkstoffen (ebenfalls Thermoplaste) mit herausragenden mechanischen Eigenschaften. Aber die Materialauswahl ergibt dann durchaus Sinn, wenn neben dieser theoretischen Abhandlung auch reale Dinge entstehen. Während ich mich stellvertretend für

In den Lehrbüchern beginnt die Theorie des Biegebalkens meist mit der **Biegedifferentialgleichung** $w''(x) = M_b(x) / E I_y(x)$

Sie ist auch die Basis unserer Berechnungen elastischer Finnen.

... doch wo kommt dies Differentialgleichung her?

Das Hookesche Gesetz (eine Similarität) setzt unter der Annahme kleiner Verformungen (Hypothese v. Bernoulli) die Spannung σ mit dem Elastizitätsmodul E und der Dehnung ϵ unter Belastung in Beziehung: $\sigma = E \epsilon \text{ [Nmm}^{-2}\text{]}$. Für einfache Biegung in z -Richtung gilt:

$$\sigma = -(M_b(x) / I_y(x)) z \text{ und } \epsilon/z = M_b(x) / E I_y(x) = k$$

k hat die Qualität einer Krümmung. Das axiale Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung I_y ist eine Funktion der Geometrie und bildet mit E die Biegesteifigkeit des Querschnitts ab. Die Krümmung ist proportional dem Biegemoment $M_b(x)$ und umgekehrt proportional der Biegesteifigkeit $E I_y(x)$. Die formal mathematische Krümmungsformel $k = w''(x) / (1 + w'^2(x))^{3/2}$ einer Linie ist die Basis der Elastischen Theorie (Eulers Elastika).

$$k = \epsilon/z = M_b(x) / E I_y(x) = w''(x) / (1 + w'^2(x))^{3/2}$$

Für kleine Biegungen ist die „vereinfachte BiegeDifferentialgleichung“:

$$w''(x) E I_y(x) = M_b(x)$$

desweiteren auf $w'(x) E I_y(x) = FQ(x)$ Querkraft, und $w(x) E I_y(x) = q_b(x)$ Streckenlast. Aus Integration folgt Krümmungswinkel u. Verformung:

$$w(x) E I_y(x) = F(x) + C_1 x^3/6 + C_2 x^2/2 + C_3 x + C_4$$

Für unterschiedliche Belastungsszenarien müssen die Konstanten C_n aus den Randbedingungen ermittelt werden.¹⁹ Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau (2001) von W. Beitz (Herausgeber), Karl-Heinrich Grote (Herausgeber)

²⁰ Polylactide, umgangssprachlich auch Polymilchsäuren (kurz PLA, vom englischen Wort polylactic acid) genannt werden, sind synthetische Polymere, die zu den Polyestern zählen. Sie sind aus chemisch aneinander gebundenen Milchsäuremolekülen aufgebaut.

²¹ Druck und Spannung in SI-Einheiten. $1 \text{ N/mm}^2=1\text{MPa}$ und $1000 \text{ N/mm}^2=1 \text{ GPa}$. Z.B.: E-Modul (Stahl) =210000 MPa

den geneigten Leser über meine schäbige Darstellung der Biegelinie ärgere, ist zwei Stockwerke tiefer ein PR-Drucker gerade dabei, die oben beschriebene NULL-Finne zu fertigen; in PLA_{GRAU}. Mit den hochentwickelten Werkstoffen kommerzieller Surffinnen ist PLA aber nicht zu vergleichen; das mussten wir schon lernen.

Mit dem Traglinienverfahren wurde die laterale Belastungskraft die aus der Strömung stammt, die Querkraft Q ermittelt. Sie rangiert in der Größenordnung einer Dekade von etwa Q = 20 [N] für eine Querkraft beim Manövrieren bis zu einer Querkraft Q= 200 [N] für eine Finne im Voll-Speed-Betrieb. Wir werden uns natürlich am Maximalwert orientieren.

Mit der elastischen Theorie können wir Modelle statisch bestimmter Balken unter Biegebelastung berechnen. Balken weisen in der Praxis unterschiedliche Querschnitte auf; das kennen wir ja aus dem Baumarkt. Als Modell für unsere Finne setzen wir einen Balken an, der über seine gesamte Länge von L=120 [mm] eine konstante Tiefe von t= 100 [mm] besitzt mit einer Dicke, die weniger als 10 Prozent der Tiefe entspricht, nämlich b = 7[mm]. Das ist wahrlich kein schöner Balken.

Geometrien von Ersatzkonturen für das Profil NACA 00 07							TragflügelModell		Biegung			
	t	d/t	d	a=t/2	b=d/2	A _{PROFIL}	I _{ZZ}	L	E I _{ZZ}	w(z=L)	w(z=L)	
	m	%	m	mm	mm	mm ²	mm ⁴	mm	N mm ²	mm	mm	
PlattenProfil	0.1	7	0.07	50	3.5	700	2858.3	120	2858.3	5.0	3.75	
EllipsenProfil	0.1	7	0.07	50	3.5	550	1682.8	120	1682.8	8.6	6.45	
Membran	0.1	4	0.04	50	2	400	533.3	120	533.3	27.0	20.3	
	CFD			Strukturanalyse					Fall 1	Fall 2		
Fall 1 Belastende Querkraft Q ₁ = 200 [N], Geschwindigkeit v > 10 [ms ⁻¹], Finnen-Anstellwinkel α= 10°												
Fall 2 Belastende Querkraft Q ₂ = 150 [N], Geschwindigkeit v < 10 [ms ⁻¹], Finnen-Anstellwinkel α= 10°												
Rechteckflügel mit der Länge L = 120 [mm], Belastungsmodell: Kragträger mit Streckenlast q(z) = Q / z												

Für das Plattenprofil gilt:

Querschnittsfläche: $A = t \cdot d$

axiale Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung: $I_{ZZ} = t \cdot d^3/12$

Für das Ellipsenprofil gilt:

Querschnittsfläche : $A = \pi \cdot a \cdot b = \pi \cdot (t/2) \cdot (d/2)$

axiale Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung: $I_{ZZ} = \pi \cdot a \cdot b^3/4 = \pi \cdot (t/2) \cdot (d/2)^3/4$

$I_{ZZ} = \pi \cdot t \cdot d^3/64$

Aus der Elastischen Theorie erhalten wir die Gleichung für die Biegelinie des ebenen Balkens. Die Gleichungen der Biegelinien für die unterschiedlichsten Belastungsfälle sind in Tabellen geordnet in der einschlägigen Literatur verfügbar. Für einen kragenden Balken mit der Streckenlast $q(z)$ findet man eine nach zweimaliger Integration der Biegedifferentialgleichung und nach Einsetzen der Randbedingungen die Gleichung für die Biegelinie.

$$2 \cdot E \cdot I_{zz}(z) \cdot w(z) = (q(z) \cdot L^4) \left[\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{z}{L}\right)^2 - \left(\frac{1}{3}\right) \cdot \left(\frac{z}{L}\right)^3 + \left(\frac{1}{12}\right) \cdot \left(\frac{z}{L}\right)^4 \right] \quad (4)$$

Die Biegeverformung $w = w(z)$ kann mit dieser Gleichung für jedes z berechnet werden, sofern die Streckenlast $q(z)$ an diesem Ort bekannt ist. Die Streckenlast $q(z)$ ist eine über den Tragflügel verteilte Kraft in Richtung der Tragflügelstreckung (hier: Z-Koordinate) der Dimension: $q(x)$ [Nm⁻¹]. Mit dem Traglinienverfahren hatten wir Querkräfte an fünf Profilquerschnitten ermittelt und diese integriert. Für unsere Streckenlast würde das in diesem Fall bedeuten: An einer Stelle k fänden wir eine Belastung $q(z_k) = Q_k/dz_k$ vor. Um das Verfahren etwas zu vereinfachen sei die Streckenlast als Konstant angenommen: $q(z) = \text{const}$. Das gilt dann für jeden Querschnitt von $z=0$ an der Flügelwurzel bis $z=L$ am Tragflügel-Tip. Damit vereinfacht sich die Integration der Tragflächenbelastung zu: $q(z=L)=Q/L$. Uns interessiert die maximale Auslenkung an der Tragflügelspitze (am Finnen-Randbogen, Tip). Für den Fall, dass die Stelle $z=L$ betrachtet wird vereinfacht sich die Biegegleichung:

$$8 \cdot E \cdot I_{zz} \cdot w(z=L) = (q(z) \cdot L^4)$$

In der Gleichung um die Biegeverformung w steckt immer noch die von der z -Koordinate abhängige Streckenlast $q(z) = Q(z) / dz$ [Nm⁻¹]; mit $q(L) = Q / L$. Das vereinfacht sich die Gleichung noch einmal:

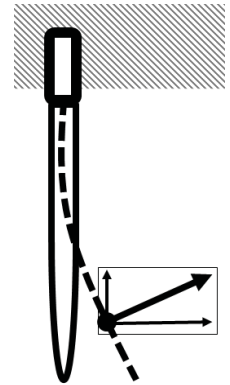
$$8 \cdot E \cdot I_{zz} \cdot w(L) = Q \cdot L^3$$

Berechnungsergebnis soll die Biegeverformung $w(L)$ sein, also stellen wir die Gleichung um:

$$\text{max. Verformung:} \quad w(L) = (Q L^3) / 8 \cdot E \cdot I_{zz} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

Die Berechnungsergebnisse sind aus der obigen Tabelle zu ersehen. Vielleicht ist an dieser Stelle noch der 100-Newton-Fall interessant. Wir erhalten die Werte für die maximale Verformung: $w(\text{Platte})=2.5$ mm, $w(\text{Ellipse})=4.3$ mm und $w(\text{Membran})=13.5$ mm. Die Auslenkung des als Membran bezeichneten Profils ist als grenzwertig zu bezeichnen und auch nicht von praktischer Relevanz.

Mit der Gleichung (4) haben wir eine universelle Formel für die Verformung eines Tragflügels unter einer über die Fläche verteilten Kraft aus einer Druckintegration über die Konturen beliebiger Profile. Ist man in Besitz der Geschwindigkeitsverteilung über einen Tragflügel, und ich werde weiter unten im Text zeigen, dass der Geschwindigkeitsgradient gerade das „natürliche“ Berechnungsergebnis der potentialtheoretischen Simulation ist, vereinfacht sich die Gleichung für die Biegelinie erneut: Denn der lokale Druck $p(y,z)$ auf ein Tragflächenelement ($dy \cdot dz$) kann für kleine dy auf einfache Weise in die Streckenlast $q(z)$ überführt werden und ist selbst eine Funktion der Geschwindigkeitsverteilung (was zu zeigen sein wird).



Noch ein Gedanke zur Fluid-Struktur-Interaction. Hinweisen möchte ich auf den Umstand, dass die Welt der Strukturmechanik und Festigkeitsanalysen immer dort in der Einheit „mm“ vermessen wird, wo es ihr sinnvoll erscheint, während die Welt der Strömungsmechanik strikt mit SI-Einheiten (etwa [m] oder $[m^2s^{-1}]$ oder Pascal $[Nm^{-2}]$ usw.) funktioniert. Also: Man stelle sich ein axiales Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung in der Einheit $[m^4]$ vor, gruselig. Deshalb sollte man im Grenzgang der Fluid-Struktur-Wechselwirkung mit Fehlerquellen von der tückischen Art rechnen und neben dem Evaluieren der Formeln immer eine Dimensionenbetrachtung führen.

Hat nun eine Verformung der Tragflächenstruktur einen Einfluss auf das Leistungsvermögen der Finne? Verformt sich die Finne „orthonormal“, also immer hübsch senkrecht zur Richtung der Fahrbewegung, könnte das „wegflexen“ der Struktur (theoretisch) durchaus vorteilhaft sein, wenn auch für den Surfer (praktisch) ein gewisses „schwammiges“ Gefühl bleibt, wenn Energie in einer Struktur „wegverformt“ wird. Man kennt das, wenn sich ein 1kN-Mann²² auf einen Gartenstuhl stellt und Samba tanzt.

²² Der 1kN-Mann wiegt etwa 100 kg und übt auf den Untergrund eine Kraft von 1000 [N] aus. Vor langer Zeit, als $B=3$ und $g=10$ war, wurde der 1kN-Mann in Vorlesungen an die Tafel gezerrt um an ihm die Erdbeschleunigung zu erklären.

Vorteilhaft ist: Im Belastungsfall liefert die verformte Finnenstruktur einen Auftriebsvektor, der Vertikalanteile besitzt. Die vertikale Kraftkomponente des Querkraftvektors zeigt nach oben. Und jeder Wassersportler weiß, dass nichts den Strömungswiderstand des Gesamtsystems mehr verbessert, als ein „Lift“, der die vom Wasser benetzte Fläche des Strömungskörpers, also des Boards in diesem Falle, verringert. Wir werden nun nicht gleich „Foilen“, aber tendenziell führt die „flexende“ Verformung einer zentralen Leit- und Steuertragfläche genau in diese Richtung.

Elastische Finnen sind fehlertolerant. Bei hoher Belastung – wir stellen das Brett quer - speichert eine elastische Finne die eingetragene Energie als Strukturverformung zwischen. Solange die Finne das mechanisch aushält, ist das ein Vorteil. Da wir die Verformungsenergie wieder zurückbekommen - und zwar mit einem sensationell hohen Wirkungsgrad von über 90% - ließe sich dieser Effekt sogar taktisch für bestimmte Fahrweisen nutzen.

Der (gemäßigt) flexende Tragflügel stellt grundsätzlich kein fluidmechanisches Problem dar. Selbst der schwingende Tragflügel nicht. Aus dem Yachtdesign wissen wir, dass „das singende Schwert“ keine Neu- oder Umkonstruktion fordert²³ und beweglichen Strömungs-bauteilen in den Klassenvorschriften ein „Bewegungsraum“ zugestanden wird (Libera²⁴). Die flexende, sich aus der Strömung herausbewegende (und mechanisch orthodox verhaltende) Arbeitstragfläche bildet eine (struktur-natürliche) Überlastsicherung aus und erfüllt bei kluger Materialauswahl die Zukunftstechnik kennzeichnenden Resilienz Kriterien der Widerstandsfähigkeit, resultierend aus mechanischer Robustheit und fluiddynamischer Anpassungsfähigkeit. Der kontrolliert struktur-flexiblen Verformung von Strömungsbauteilen räumen wir eine hohe Zukunfts- und Innovationsfähigkeit und damit einem hohen Stellenwert in unseren rezenten Forschungsbemühungen ein. Intelligente Mechanik (i-mech) in Surfboardfinnen bedarf aber noch eines weiteren (innovativen) Schrittes hin zu einer nicht-orthodoxen „intelligenten Fluid-Struktur-Wechselwirkung, i-FSI“.

²³ <http://www.randmeer.nl/index-de.php>

²⁴ <http://www.classe-libera.org/principessa/index.html>

Spannungsverteilung

Man kann ein ausgesprochener Freund der Theorie des elastischen Balkens und der wunderbaren Biegedifferentialgleichung $\{w''(x)=M_b(x)/EI_v(x)\}$ sein, und dennoch glücklich über die verfügbare Leistung moderner Berechnungsverfahren und schneller Computer. Die Finite Elemente Methode, FEM ist für den Konstrukteur zu einem handhabbaren Analyseinstrument geworden und aus modernen Produktentwicklungskonzepten nicht mehr wegzudenken. Im zweiten Teil dieses Aufsatzes werde ich ein wenig ausführlicher auf die Methode eingehen. Wir interessieren uns an dieser Stelle nur die prinzipiellen Verformungen einer typischen Finnenform vom Stand der Technik unter Last und für die Verteilung der Spannungen in und auf dieser Struktur. Der Pre-Prozess der FEM-Berechnungskampagne beginnt mit der geometrischen Formulierung und Modellierung der Surfboardfinne. Um die Frage nach dem Strömungsprofil nicht beantworten zu müssen, wähle ich eine ebene (aber an Bug und Heck gerundete) Platte als Profilkontur.

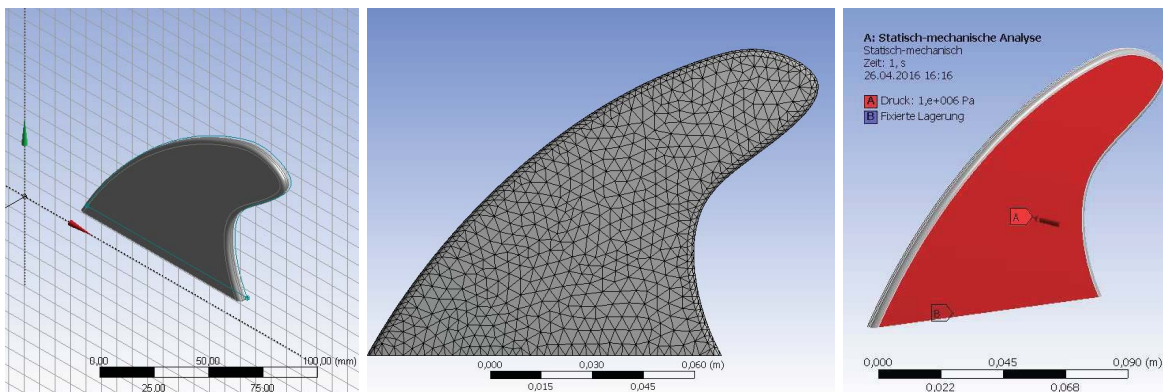


Abb. 05: Finne vom Stand der Technik in der numerischen Festigkeitsanalyse mit FEM. Geometriemodell, Elementegitter, Physical Setup (v.l.n.r).

Das Material spielt erst mal keine entscheidende Rolle (man sollte nur darauf achten, dass es sich um einen linear-elastischen Werkstoff handelt. Ich liebe Stahl). Es werden nun die prinzipiellen physikalischen Eigenschaften des Modells festgelegt, die geometrischen Randbedingungen und die Lagerbedingung. Es soll eine gleichverteilte Druckbeaufschlagung herrschen (auch so eine idealisierte Annahme) und die Finne ist an der Tragflügelwurzel (an einem idealisierten Terminal, das wir nicht darstellen) fest eingespannt.

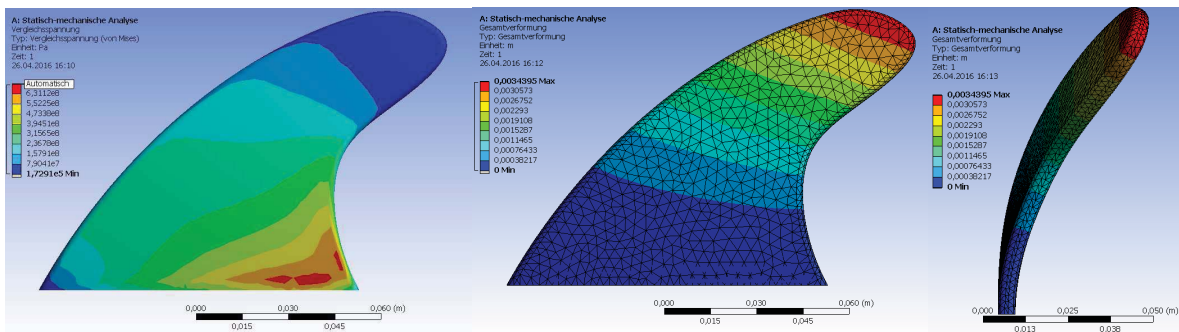
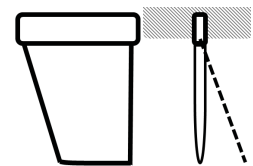


Abb. 06: Finne vom Stand der Technik (Wst. idealisiert). Spannungsverteilung, Gesamtverformung (v.l.n.r).

Nach erfolgter Berechnung wird das Analyseergebnis visualisiert. Die Spannungsanalyse erfolgt nach der im Modell vereinbarten Gestaltänderungshypothese; hier eine Vergleichsspannung nach von Mises. In der graphischen Darstellung Abb.:xx13 ist die Auslenkung des Finnen-Modells aus einer senkrechten Fixation heraus zu sehen (rechts im Bild die Gesamtverformung der Finne). Sehr interessant in diesem Zusammenhang ist der berechnete Twist der Finnengeometrie (Mitte und rechts). Unter Belastung dreht die Finne über die lange (Heck-) Kante weg. Diese als „Flexen“ bekannte Formänderung ist bei einem Belastungsexperiment im Labor schlecht, in der Betriebspraxis überhaupt nicht darstellbar. Zu erwarten war die Spannungsspitze in der Konturbeuge, nahe der Flügelwurzel. Bei einer wohlprofilierten Finne (wir verwenden hier ja nur das idealisierte Konturmodell Platte) ist hier eine Gestaltungsidee gefordert; vielleicht eine hübsche Phase zum Terminal hin oder eine Entlastungsfuge.

Abwinkeln einer Finnentragsfläche, FIN-CANT

Das über den (gemäßigt) flexenden Tragflügel gesagte trifft deckungs-gleich für das Canting einer Surfboardfinne zu. Das Energiespeicher-vermögen einer Finne die abwinkelt, stammt hier aus der Flügelwurzel. Die Elastizität der Finbox kann Ursache für das Abwinkeln sein, oder ihre Montageumstände. Das wäre der ungünstige Fall. Canting, das aus der Flügelwurzel stammt, kann aber sehr wohl gewollt und erwünscht sein und zielt auf eine gezielte Körperverformung der Finnentragsfläche: die nicht-orthodoxe „intelligente Fluid-Struktur-Wechselwirkung, i-FSI“. Hiermit werde ich mich im zweiten Teil unserer Untersuchungen zu den Surfboardfinnen beschäftigen.



Einblick in das Innere einer Finne.

Als wir unsere erste (leibhaftige) Surfboardfinne in der Hand wogen, waren wir über die mechanische Festigkeit der *FUTURES*-Finne und die offensichtliche Dichte des Materials (Duroplast) erstaunt. Es gab sofort Spekulationen über mögliche Inlets oder verborgene Kerne; vielleicht sogar aus Stahl!? Außerdem wird die Röntgenanlage der Physiker im Hause viel zu selten für wirklich wichtige Dinge genutzt, behaupteten wir frech.



Abb. 07: Die Labor-Röntgenanlage der Beuth HS mit einer Surfboardfinne vom Stand der Technik (*FUTURES*).

Auf diese Weise bekamen wir Einblick in das Innere einer Surfboardfinne. Die Erkenntnisse waren nicht wirklich überwältigend, aber die Wirkungsweise einer Imbus-Made etwa bekommt man auf natürliche Art selten zu sehen. Allerdings wurde zunächst mal auf die Computertomographischen Features der Anlage verzichtet. Und ja, es gibt keine versteckten Stahlzungen. Im Plug sitzt die Finne kraftschlüssig, kann bestätigt werden.

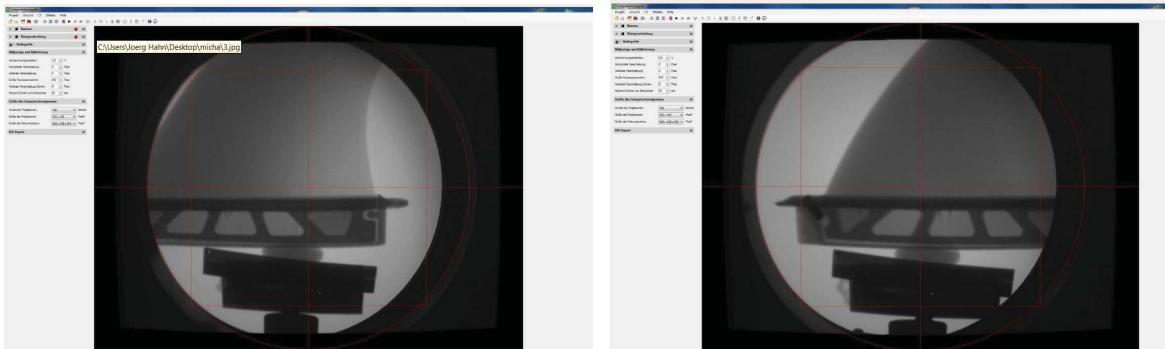


Abb.08: Röntgenuntersuchung einer Surfboardfinne vom Stand der Technik (*FUTURES*).

Strömungswiderstand des endlichen Tragflügels

Wenig wissen wir über die Surfboard-Profilkonturen vom Stand der Technik und der Wissenschaft. Aus einer Überblickstudie gewinnt man den Eindruck, dass einige Eigenschaften von Profilen für Surfboardfinnen durchaus gefordert werden, dann aber doch willkürliche oder einfach nur Fertigungsgerecht- oder den Festigkeitsbelangen geschuldete Profilkonturen zur Anwendung kommen. In der Szene wird gelegentlich auf NACA-Profile²⁵ verwiesen mit der Begründung, dass hier Messdaten vorlägen. Dies ist auch tatsächlich für etliche Profilkonturen der Fall. Für die umfangreichen Serien der NACA Profile liegen gut dokumentierte Messdaten²⁶ vor. NACA steht für „National Advisory Committee for Aeronautics“ und wie der Name schon vermuten lässt, werden die vermessenen Profile an Tragflächen eingesetzt, die vornehmlich in der Luft arbeiten. Mit den Similaritäten nach Reynolds und den Transportkoeffizienten für Luft und Wasser lassen sich die aus den Messdaten gewonnenen Kennlinien umrechnen. Wir werden die Strömungswirklichkeit und damit das Auftrieb- und Widerstandgebaren der Surfboardfinnen mit einem sehr einfachen CFD-Ansatz (Potentialtheorie) der „schnittweise“, also zweidimensional und auf Profil-konturen bezogen (Wing-Sections) arbeitet. Bei der Erörterung der „Partialwiderstände“ tauchen folgende physikalische Größen und Dimensionen auf:

²⁵ NACA Die **NACA-Profil** sind zweidimensionale Querschnitte von Tragflächenprofilen für Flugzeugtragflächen, die vom National Advisory Committee for Aeronautics (NACA, 1915–1958; ging 1958 in der NASA auf) für den Entwurf von Tragflächen (engl. *airfoil design*) entwickelt wurden.

²⁶ Abbot und Dönhoff FFF

Größe	Symbol	Einheit	Dimension
Länge	L	[m]	L
Zeit	t	[s]	T
Masse	M	[kg]	M
Fläche	A	[m ²]	L ²
Volumen	V	[m ³]	L ³
Geschwindigkeit	v	[m s ⁻¹]	L T ⁻¹
Lift, Widerstand	L, R	[N]	M L T ⁻²
Energie, Arbeit	E,W	[Nm], [kg m ² s ⁻²],[J]	M L ² T ⁻²
Leistung	P	[Nm s ⁻¹],[kg m ² s ⁻³], [W]	M L ² T ⁻³
Dichte	ρ	[kg m ⁻³],	M L ⁻³

Surfboardfinnen sind Volltaucher. Betrachtet man lediglich stationäre, nichttransiente Effekte, bleiben Strömungsphänomene unberücksichtigt, die in der Bionik als Paradebeispiele der Widerstandsminderung angesehen werden, wie etwa die dreidimensional schwingende Delfinhaut, das Generieren von Mikrowirbeln an der Körperoberfläche einiger Haiarten und der wohlbekannte Fischschleim. Bionik werde ich erst im Teil II thematisieren. Der fluidmechanische Gesamtwiderstand eines Volltauchers in Fahrt ist die Summe aller Partialwiderstände R_p die an diesem System:

Der fluidmechanische Gesamtwiderstand: $R = \sum R_p = R_F + R_O + R_I$

Die Definitionen der einzelnen Partialwiderstände sind keineswegs eindeutig, eine weitere Ausdifferenzierung aber für die nachfolgende Betrachtung aber wenig vorteilhaft. Die drei physikalischen Basis-Größen Länge L, Zeit t, Masse m und einige abgeleitete Größen führen auf einige Grundaussagen über die Charaktere der Partialwiderstände:

Partialwiderstände

R_F Formwiderstand (Druckwiderstand) aufgrund der Umströmung der Körperkontur (benetzte Oberfläche). Formwiderstand $R_F \sim (v^2, V)$
 (Wirkung der Druckverteilung an einem umströmten Körper. Bestimmbar durch Integration über die gesamte Körperoberfläche; unter Berücksichtigung der Kraftkomponente in Anströmrichtung. Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v des Systems und dem verdrängenden Volumen V).

- R₀** Widerstand aufgrund der Reibung an der benetzten Körperhülle.
 Oberflächenwiderstand: $R_0 \sim (v^2, A)$
 (Wirkung der Wandschubspannung an einem Strömungskörper. R₀ ist bestimmbar durch Integration über die gesamte Körperfläche unter Berücksichtigung der Kraftkomponente in Anströmrichtung. Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v, der Viskosität des Mediums und der benetzten Oberfläche A des Systems).
- R_i** Induzierter Widerstand aufgrund fluiddynamischer Auftriebs- und Querkräfte.
 Induzierter Widerstand $R_i \sim (v^{-2}, L^2)$
 (Wirkung der durch dynamischen Auftrieb oder Querkraft generierten Randwirbel. Abhängig von der Geschwindigkeit $1/v^2$ und der Tiefe L^2 der fluidmechanisch wirksamen Bauteile).

Eine Similaritätsbetrachtung liefert qualitative Aussagen über den Einfluss einer Geometrievariation und der Transienz im Betrieb auf die Partialwiderstände. Es herrschen die Proportionalitäten:

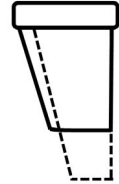
Formwiderstand	$R_F \sim (v^2, V) \sim (v^2, L^3) \sim (L^5, T^{-1})$
Widerstand aufgrund der Reibung	$R_0 \sim (v^2, A) \sim (v^2, L^2) \sim (L^4, T^{-1})$
Induzierter Widerstand	$R_i \sim (v^{-2}, L^2) \sim (T^2)$

Schlankheit der Surfbrettfinne / Aspect Ratio

Der induzierte Widerstand, resultierend aus der Kantenumströmung des realen, endlichen Tragflügels nimmt eine Sonderstellung unter den Partialwiderständen ein. Neben dem Auftriebsgebaren des Tragflügels spielen auch geometrische Parameter eine Rolle.

Der Druckunterschied zwischen der Tragflügelunterseite (relativer Überdruck) und der Tragflügeloberseite (relativer Unterdruck) führt am Randbogen des endlichen Tragflügels (Tragflügelkante) zu einer Umströmung und zur Ausbildung eines energiereichen Randwirbels. Das Tragflächensystem führt dabei Energie in die Strömung ab. Das ist ein sehr intensiver und auch effektiver Vorgang. Im Fall einer umströmten Leit- und Steuertragfläche bedeutet ein „intensiver und effizienter“ Prozess, dass (im Vergleich zum

Gesamt-Energieaufkommen des Flügels) ein bedeutsamer Teil der zum Manövrieren aufgebrauchten Energie in die Strömung eingekoppelt wird. Nach dem „Auftriebssatz von Kutta und Joukowski kann die Intensität des Randwirbels aus der Zirkulation Γ abgelesen werden. Die Zirkulation Γ am Tragflügelende besitzt die Einheit $[m^2s^{-1}]$ und hängt ab vom Druckgradient zwischen Tragflügelunter- und Oberseite, der Anströmgeschwindigkeit und der Geometrie der Tragfläche. Als Anströmgeschwindigkeit wird in der einschlägigen Literatur die Geschwindigkeit des Fernfeldes, also $V=v_\infty [ms^{-1}]$ angegeben. Bei der Profilanalyse führt die Integration des Druckgradienten auf den dimensionslosen Auftriebskoeffizienten c_L und auf den Widerstanskoeffizienten C_W , den wir an dieser Stelle nicht betrachten. Als Geometrieparameter bei der Ermittlung der Zirkulation um ein Tragflügelende wird nach Kutta und Joukowski die Tragflügeltiefe $L [m]$ also der Länge des Tragflügels, von der Flügelwurzel (Root) bis zur Tragflügelspitze (Tip) angegeben.



$$\text{Zirkulation } \Gamma [m^2s^{-1}] \qquad \Gamma = \frac{1}{2} c_A v_\infty L \qquad (6)$$

Form (6) erinnert an den Zählerterm der Reynolds-Ähnlichkeit ($v_\infty L$) in $[m^2s^{-1}]$, die das Verhältnis von spezifischer Impulskonvektion zu Impulsdiffusion im System (Verhältnis von Trägheitskräfte zu Zähigkeitskräfte an einem Strömungsbauteil der signifikanten Länge L) darstellt. Es zeigt sich, dass das Turbulenzverhalten geometrisch ähnlicher Körper bei gleicher Reynolds-Zahl identisch ist.

Unter der Annahme einer elliptischen Auftriebsverteilung (Prandtl) auf einer Tragfläche mit der Fläche $A [m^2]$, kann ein Beiwert für den Induzierten Widerstand c_i der endlichen Tragfläche angegeben werden, mit dem dann - in vollständiger Analogie zu den anderen Kräften an der Tragfläche - die Widerstandskraft aus dem Randwirbelgeschehen R_i , dem „Induzierten Widerstand R_i “, errechnet werden kann.

Beiwert des induzierten Widerstands ²⁷	c_i	[-]	$c_i = \lambda c_L^2 / \pi$	
Der induzierte Widerstand	R_i	[N]	$R_i = c_i \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho / 2$	
	R_i	[N]	$R_i = \lambda c_L^2 \cdot L \cdot t \cdot v^2 \cdot \rho / 2\pi$	(7)
	R_i	[N]	$R_i = 2 \rho \Gamma^2$	

²⁷ gemäß elliptischer Auftriebsverteilung nach Prandtl

Prandtl's Annahme einer elliptischen Auftriebsverteilung liefert einen idealisierten Wert, das Minimum des induzierten Widerstands für eine Rechtecktragfläche $A=L \cdot t$ [m²] mit der Tragflügelhöhe L [m], der (gemittelten) Profiltiefe t [m] mit $t=(t_{\text{ROOT}}+t_{\text{TIP}})/2$ und mit dem Schlankheitsgrad $\lambda=A \cdot L^{-2}$ (Aspect Ratio) sofern der (Lift-) Querkraftkoeffizient c_L der jeweiligen Profilkontur bekannt ist. Der Querkraftkoeffizient c_L muss natürlich für jeden relevanten Anstellwinkel α errechnet oder gemessen werden.

Wenn nicht explizit Kräfte berechnet, sondern zwei oder mehrere Tragflügel beurteilt werden sollen, ist die leicht zu ermittelnde Zirkulation ($2 \cdot \Gamma = c_A \cdot v_\infty \cdot L$) eine sehr freundliche (lineare) Vergleichsgröße²⁸. Die Zirkulation um eine Tragflügelspitze fasse ich gerne als eine „Metapher für die Währung“ auf, in der man als Konstrukteur „bezahlen“ muss, wenn man seine Sache gut gemacht, eine besonders leistungsfähige Profilkontur entwickelt hat und der Tragflügel hohe Auftriebswerte erzielt. Schade eigentlich, dass man Querkraft so teuer bezahlt! Mit dem Lift-Koeffizienten c_L wächst der Widerstand aus der generierten Zirkulation quadratisch an (wegen: Beiwert des induzierten Widerstands $c_i = \lambda \cdot c_L^2 / \pi$) und nimmt einen großen Teil der zum Fahren, zum Fliegen oder – wie bei unseren Surfboardfinnen – die zum Manövrieren aufgebrauchten Energie wieder aus dem System (der fluidmechanisch wirksamen Leit- und Steuertragfläche) heraus, um sie in die Strömung einzuspeisen. Das ist kein guter Deal. Der Anteil des Induzierten Widerstands am gesamten um einen Tragflügel herrschenden Widerstandsgebarens kann bis zu 70% betragen. Die Zirkulation ist eine extrem „sensitive“ Beurteilungsgröße. Dies wird deutlich, wenn man bedenkt, wie eng strömungs-mechanische Effekte vom Medium (und damit beispielsweise von den Transportkoeffizienten, etwa der kinematischen Viskosität) abhängen, in denen sie stattfinden. Es ist unter Strömungsmechanikern ein „running Gag“, dass die kinematische Viskosität ν des Fluids und die Zirkulation Γ um die Tragflügelspitze in diesem Fluid in der gleichen Einheit [m²·s⁻¹] gemessen werden (näheres klärt die einschlägige Literatur²⁹).

Zum Leistungsvermögen einer Surfboardfinne. In diesem Aufsatz tauchen die Begriffe „Leit- und Steuertragflächen kleiner Seefahrzeuge“ auf und außerdem

²⁸ Beispiel: eine Nullfinne ($L=0.1$ [m]) mit dem Profil ELL0550 und mit einem $c_L(\alpha=10^\circ) = 0.4$ [-] hat im Manöver ($v=3$ [ms⁻¹]) eine Zirkulation von $\Gamma = \frac{1}{2} \cdot c_A \cdot v_\infty \cdot L = 0.5 \cdot 0.4 \cdot 3$ [m] $\cdot 0.1$ [m s⁻¹] = 0.06 [m²s⁻¹].

²⁹ <http://homepages.hs-bremen.de/~kortenfr/Aerodynamik/script/node43.html>

die etwas differenziertere Beschreibung einer Finne als „Kraft- und Arbeitstragflügel“. Leit- und Steuertragflächen stabilisieren und dienen dem Manövrieren eines Seefahrzeugs. Krafttragflügel entnehmen Energie aus der Strömung; Arbeitstragflächen speisen Energie ein. In einem physikalischen Wechselwirkungsgeschehen tritt die Finne als Vermittler (von Energie) auf. Die Art der Energiekopplung und ihre Effektivität haben großen Einfluss auf das Leistungsvermögen der Finne; das ist wichtig für den Konstrukteur. Wenn an einem existierenden, gut funktionierenden System Änderungen vorgenommen werden, dann sollte man dies nur tun, wenn Leistungszugewinne zu erwarten sind. An bestimmten (Meilenstein-Punkten) der Gestaltungskampagne muss also eine Bilanz der (System-) Leistung durchgeführt werden: eine Gewinn- und Verlustrechnung. In der industriellen Produktentwicklung ist die Ermittlung der zu erwartenden Systemleistung ein Arbeitsergebnis der „Frühen Phase“. Auf elegante Weise erfahren wir, ob der gestalterische Aufwand trägt oder nicht. Näheres klärt die im Einzelfall angewandte Produktentwicklungsmethode (sie ist nicht Gegenstand dieses Aufsatzes).

Systemleistung = LIFT-Leistung - VERLUST- Leistung

Systemleistung = LIFT-Leistung - (FORM + REIBUNGS + INDUZIERT)-WiderstandsVERLUST-Leistung

$$P_{\text{FINNE}} = P_L - (P_{\text{RF}} + P_{\text{RO}} + P_{\text{RI}})$$

Das folgende Kapitel wird (1) die vorgefundene (Stand der Technik) Profilkontur und (2) die für eine optimierte Surfboardfinne auszuwählende Profilkontur behandeln. Ein Kriterium ist der Lift-Koeffizient des Profils. Das über den „Preis“ hoher Auftriebsbeiwerte gesagte sei den Ausführungen warnend vorangestellt. Ich fasse zum Schluss Integral- und Mittelwerte zusammen; die dimensionslosen Koeffizienten tradierter Reibungsmodelle werden genannt.

Mit den Kenngrößen des Strömungsmediums (Dichte, Temperaturbereich, Transport-koeffizienten) und Aussagen über das Strömungsfeld (Strömungsgeschwindigkeiten, Reynoldzahlen und Strömungsrichtung) und ersten rudimentären Angaben über die Geometrie der Finnen, lassen sich nun im Vorfeld realer Entwürfe Parameterstudien betreiben, die erste qualitative Vorstellungen und quantitative Aussagen zum Prinzip der technischen Lösung liefern.

Geometrie

Profiltiefe	t	[m]		
Profildicke	d	[m]		
Tragflügelänge	L	[m]		
laterale Tragflügelfläche	A_L	$[m^2]$	$A_L = t \cdot L$	(nur für Rechteckflügel!)
benetzte Tragflügelfläche	A_B	$[m^2]$	$A_B = 2 \cdot A_L$	
projizierte Anströmfläche	A_S	$[m^2]$	$A_S = d \cdot L$	(nur für homogene Profile!)
Anströmgeschwindigkeit	v	$[ms^{-1}]$		
Zirkulation	Γ	$[m^2s^{-1}]$	$\Gamma = c_L \cdot v \cdot L / 2$	

Kräfte

Auftrieb, Querkraft, Lift	Q	[N]	Q =	$c_L \cdot A_L \cdot v^2 \cdot \rho / 2$
Formwiderstand	R_F	[N]	$R_F =$	$c_w \cdot A_L \cdot v^2 \cdot \rho / 2$
Reibungswiderstand	R_O	[N]	$R_O =$	$c_r \cdot A_B \cdot v^2 \cdot \rho / 2$
induzierter Widerstand	R_I	[N]	$R_I =$	$c_i \cdot A_L \cdot v^2 \cdot \rho / 2$
dto. Aus Zirkulation..	R_I	[N]	=	$2 \rho \Gamma^2$
Widerstand des Volltauchers	R	[N]	R =	$R_F + R_O + R_I$

Energien

Widerstandsarbeit	W	[J]	W =	$R \cdot s$
Widerstandsleistung	P_R	[W]	$P_R =$	$(R_F + R_O + R_I) \cdot v$
Liftleistung	P_L	[W]	$P_L =$	$Q \cdot v$

Beiwerte

Reibung: glatte Oberfläche, laminare Strömung	c_r	=	$1,327 \cdot (Re)^{-1/2}$
Reibung: glatte Oberfläche, turbulente Strömung	c_r	=	$0,074 \cdot (Re)^{-1/5}$
Reibung: raue Oberfläche, turbulente Strömung ³⁰	c_r	=	$0,418 \cdot (2 + \lg(t/k))^{-2,53}$
induzierter Widerstand ³¹	c_i	=	$\lambda c_L^2 / \pi$

Das Wesen von Tragflügeln

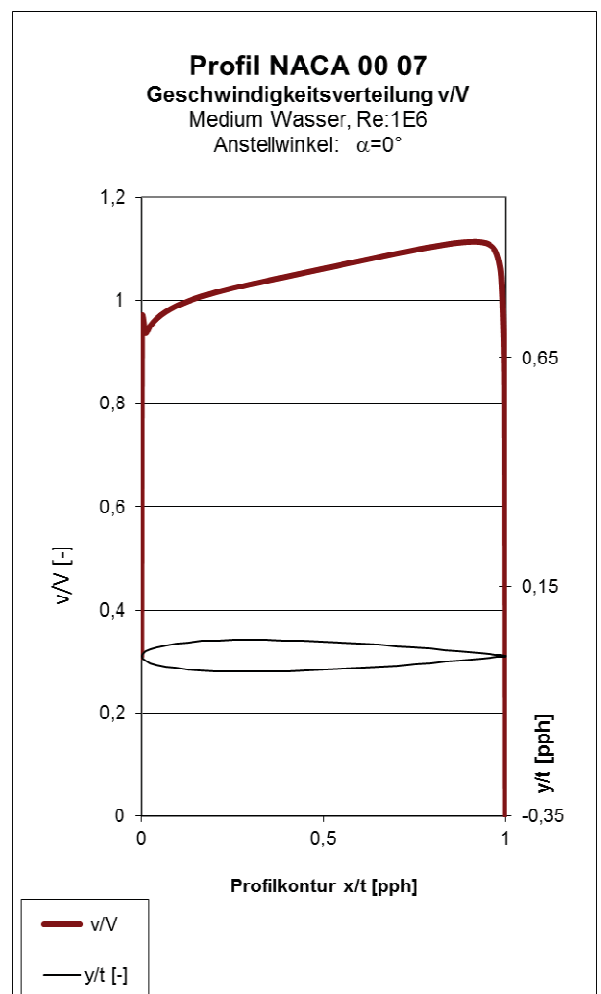
Die Tragflächen der Surfbrettfinnen besitzen in der Regel symmetrische Profile. In Fahrt bilden symmetrisch profilierte Tragflächen dann ein Querkraft generierendes System, wenn die Anströmung nichtaxial erfolgt. Dabei ist die Variation des Lifts eines symmetrischen Profils über den Anstellwinkel selbst symmetrisch.

³⁰ Angabe der Rauigkeit k in [m]. Es gilt als glatt: $k = 0,001[\text{mm}] = 10^{-3} [\text{mm}] = 10^{-6} [\text{m}]$.

³¹ gemäß elliptischer Auftriebsverteilung nach Prandtl

Die aus dem hydrodynamischen Auftriebsgebaren der Tragfläche resultierende Querkraft wird beim Manövrieren genutzt. Die Finne funktioniert nun als Kraft- und als Arbeitstragfläche gleichermaßen und es kommt zu einem Wechselwirkungsgeschehen, das durch Energieaustausch gekennzeichnet ist. Wie wird nun die zum Manövrieren erforderliche Energie übertragen? Krafttragflächen sind fluidmechanisch wirksame Tragflügel die dem bewegten umgebendem Fluid vornehmlich Energie entziehen; Arbeitstragflächen hingegen sind fluidmechanisch wirksame Tragflügel die vornehmlich Energie in ein umgebendes Fluid einkoppeln. Und eine Finne ist beides, kann beides tun. Das zum Lenken und Manövrieren erforderliche „Anfangsmoment“ stammt aus den Körperbewegungen des Surfers, der Surferin. Sobald die Strömung an einer symmetrischen Finne einen gewissen Geschwindigkeitsanteil in Querrichtung enthält, arbeitet diese profilierte (Kraft-) Tragfläche sich in ihrer physikalischen Wirkung selbst verstärkend, also „auto-reaktiv“. Diese wunderbare Eigenschaft kennzeichnet das „Wesen eines Tragflügels“ und ist systeminhärent. Sie ist quasi sein Erfolgsrezept. Von der Güte einer Leit- und Steuertragfläche hängt auch die Intensität und Bandbreite dieser „wesentlichen“ Eigenschaft ab. Nicht ausschließlich, aber in der überwiegenden Anzahl aller Produktentwicklungen ist eine möglichst große Intensität tragender Teil der Entwicklungs- und Gestaltungsabsicht. Die Querkraftleistung einer Kraft- und Arbeitstragfläche kennzeichnende Auftriebsgebaren einer Profilkontur wird von einer Vielzahl von Konstruktions- und Betriebsparametern bestimmt. Neben der Querkraftleistung einer Kraft- und Arbeitstragfläche interessieren die Verluste im Betrieb. Im Allgemeinen setzt sich der strömungsmechanische Widerstand einer voll getauchten Leit- und Steuerflächen aus Partialwiderständen, den Reibungs- und Formwiderstandsanteilen zusammen (siehe oben).

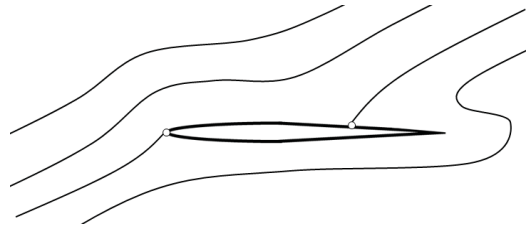
Legt der Konstrukteur den Schwerpunkt seiner Entwicklungsarbeit in die Erhöhung



der Querkraftleistung der Tragflügelfläche, hat er im ersten Hub der Kampagne einige grundsätzliche Optionen. Bei gleichem Strömungsprofil liefert eine (proportional skaliert) größere Tragfläche mehr Querkraft (im Rahmen der Similaritätsbelange). Ist die Skalierung nichtisotrop, wird etwa die Umrissgestalt und/oder der Schlankheitsgrad der Tragfläche variiert, ändert sich das Bild, wie weiter oben erläutert. Bei konstanter, gleichbleibender Tragflügelgestalt, kann der Konstrukteur Einfluss nehmen auf die Oberflächenbeschaffenheit. Für schlanke Körper wie Tragflügel, ist der Anteil der Reibung erheblich. Reibung wird in erster Linie durch den Charakter der wandnahen Strömung bestimmt; diese kann laminar oder turbulent sein. Im nachfolgenden Kapitel werde ich Grundbegriffe, die in der Analyse von Profilkonturen auftauchen, erörtern. Kein anderer Parameter aber ändert die (oben autoreaktiv genannte) Fähigkeit einer Tragfläche, eine nicht axiale Anströmung in Querkrafterhöhung umzusetzen. Einer symmetrischen Surfboardfinne vom Stand der Technik gelingt das gut, einer Finne mit nichtsymmetrischem Tragflügelprofil gelingt das besser (immer dann, wenn sie von der „richtigen“ Seite angeströmt wird). Warum ist das so? Im folgenden Kapitel wird dem geneigten Leser das so genannte „Euler-Szenario“ dargelegt. Der Duktus dieser Rede ist vielleicht nicht mehr zeitgemäß, die Szenerie aber physikalisch korrekt. Dort, wo es im Text passend erscheint, füge ich subjektiv angefärbtes Normaldeutsch bei; das verstehe ich selbst auch viel besser, was aber die Lektüre der einschlägigen Literatur in keiner Weise ersetzt. Das Augenmerk der anschließenden Betrachtungen liegt auf der Finne mit symmetrischer Profilkontur. Es leuchtet unmittelbar ein, dass eine symmetrische Leit- und Steuertragfläche bestens geeignet ist, eine beidseitig Beaufschlagung auch in beide Richtungen gleichermaßen zu beantworten. Bei Flugzeugen nennt man den „querkraftfreien Betrieb“ beispielsweise eines Seitenleitwerks im Geradeausflug, die neutrale Phase. Es ist zu befürchten, dass die beim Surfen analoge „querkraftfreie Geradeausfahrt“ real nicht existiert, weil eine Welle immer in die eine oder andere Richtung „links- oder rechtshändig“ ist und/oder das geradeausfahren weder Spaß macht, noch aus der Sicht der Surfer und Surferinnen Sinn ergibt.

Welche Gestalterische (Wechsel-) Wirklichkeit fordert diese (Betriebs-) Realität? Zur Geradeausfahrt (über Grund?) würde eine händige Welle auch am besten mit einem nichtsymmetrischen, dann also „händigen“ Tragflächenprofil bedient. Derartige Finnen wollen klug gestaltet sein. Genau diese Entwicklung zeichnet sich derzeit in der Szene ab.

Ähnlich dem Regattasegler, der - je nach den zu erwartenden Winden und zu segelnden Kursen - aus seinem Arsenal von Segeln, das optimale Wettfahrt-Rigg konfiguriert, stelle ich mir den Surf-Crack



vor, der seine „wohlprofilierte“ Wettkampf-Finne nach der herrschenden „Händigkeit“ der perfekten Welle des Reviers auswählt, gegebenenfalls noch den Anströmwinkel mit hübschen, bunten Unterlegkeilen in der FinBox feinjustiert. Eine unüberschaubare Schar von Alternativen und Optionen, Aloha. Diem und anderen Surferinnen werden wir im Teil dieser Ausarbeitung die Strömungsadaptive CARPO-Finne darstellen. Die physikalischen Grundlagen werde ich aber an zunächst symmetrisch profilierten Finnentragflächen erarbeiten.

Profile der Surfboardfinnen.

Grundsätzlich ist eine Strömung über festen Wänden zunächst laminar, wird dann mehr oder weniger rasch instabil und schlägt in turbulente Strömung um: Transition. Mit dem Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung nimm die Wandreibung erheblich zu. Es sind aber nicht alleine existierende Oberflächenstrukturen oder die Rauheit der Tragfläche, die das Umschlagsverhalten der wandnahen Strömung beeinflussen. Auch die Kontur des Tragflächenprofils, insbesondere seine Krümmung und dessen Änderung über den Strömungspfad haben Einfluss auf den Transitionsort. Die „festen Wände“ der Kraft- und Arbeitstragflächen stehen in der Regel für eine mechanisch starre Form, ein deklaratorisch definiertes Profil und eine nichtflexible Kontur. Die Profile von Kraft- und Arbeitstragflächen sind in der Regel entweder definiert symmetrisch oder definiert asymmetrisch. Surfboard-finnen – im Sinn von „Leit- und Steuertrag-flächen kleiner Seefahrzeuge“ sind beidseitig wirksame Kraft- und Arbeitstragflächen und üblicher-weise aus symmetrisch profiliertem Vollmaterial. Das Tragverhalten einer Surfboardfinne im Betrieb wird durch das Auftriebs- und Widerstandsgebaren charakterisiert in einem Zustandsbereich, der sich von der auftriebslosen zentrierten Anströmung bis hin zu einer degenerierten Umströmung der Finne erstreckt. Kommt es bei

einer Tragflächenumströmung zu einem Ablösen der konturnahen Strömungsschicht, spricht man von Strömungsabriss (engl.: stall). Es kann sich um die Ablösung einer laminaren oder einer turbulenten Strömung handeln. Mit dem Strömungsabriss verändert sich auch (schlagartig) das Auftriebsgebaren der Profilkontur. Den entscheidenden (aber wahrscheinlich nicht einzigen) Einfluss auf das Stallverhalten symmetrisch profilierter Kraft- und Arbeitstragflächen nimmt der Anstellwinkel des Profils in der Strömung. Bei den hier betrachteten Surfboardfinnen sind die Relativgeschwindigkeit klein gegenüber der Schallgeschwindigkeit und wir gehen davon aus, dass Surfboardfinnen Tragflügel sind, die im Medium Wasser arbeiten, so dass Inkompressibilität des Fluids angenommen wird. Es gilt für inkompressible, stationäre viskositätsfreie Strömung konstanter Dichte und Rotorfreiheit (in einem Gebiet das keine Wirbel enthält), dass die Summe aus dem Quadrat der Geschwindigkeit und dem Quotient aus Druck und Dichte konstant ist.

Erklärungsmodell: Euler-Szenario. Tatsächlich resultiert die Auftriebskraft einer Surfboard-finne (immer denken als fluidmechanisch wirksamen Leit- und Steuertragfläche) aus der Superposition einer Translations- und einer Zirkulationsströmung. Betrachtet man einen Profilschnitt einer unter kleinem Anstellwinkel angeströmten ortsfesten Leitfläche (Eulerszenario), so erscheint die Zirkulation an der Leeseite in Anströmrichtung, auf der Luvseite entgegen der Anströmrichtung (Lee: der Strömung abgewandt; Luv: die der Strömung zugewandte Seite eines Strömungskörpers). Die Superposition führt zu einer verlangsamen Strömung auf der Luvseite und zu einer Beschleunigung in Lee. Kontinuitätsbeziehung und bernoullische Argumentation wiederum führen zu einem relativen Überdruckgebiet an der Luv- und einem relativen Unterdruckgebiet an der Leeseite und zum erwarteten Auftriebsgebaren der Leitfläche. Die Entstehung der Zirkulationsströmung ihrerseits kann erklärt werden derart, dass die Viskosität des Fluids in der Grenzschicht zu einer vertikale Scherung der Horizontalströmung führt. Bei kleinen Krümmungen hat die Strömung die Tendenz, in Strömungsrichtung der Kontur eines Profils zu folgen. Direkt an der Konturlinie ist die Geschwindigkeit Null. Mit zunehmendem Abstand von der Profilkontur (in der Grenzschicht) wird die Geschwindigkeit größer, bis sie die Fluidgeschwindigkeit der Außenströmung erreicht. Durch diese Scherung hat das Fluid in der Grenzschicht eine Wirbelstärke. Die Viskosität des Fluids bewirkt Kräfte, durch die die Geschwindigkeiten benachbarter Stromlinien angeglichen, sowie die Wirbelstärke homogenisiert werden. Verlässt nun ein Teilchen mit seiner

Wirbelstärke wegen der gebogenen Kontur die Grenzschicht tangential, wird die Viskosität die Scherung des Geschwindigkeitsfeldes homogenisieren und die Wirbelstärke bleibt auf einem mittleren Wert. Mangels Scherung erzwingt sie eine gekrümmte Trajektorie in Richtung zurück zur Konturlinie. Als Gegenkraft hierzu verringert sich der Druck an der Kontur. Dieser niedrige Druck beschleunigt auch Fluid oberhalb der Grenzschicht nach unten. Der Druck ist niedriger als der Druck entlang der Profillinie stromauf-wärts. Deshalb wird die Strömung auch tangential über die Profilkontur nach hinten beschleunigt. Betrachten wir hierzu einen gut untersuchten Anströmzustand unter einem mäßigen Anströmwinkel (etwa so wie auf der Skizze oben angedeutet). Anstellwinkel und Geometrie - in erster Linie die Kontur - des fluidmechanisch wirksamen Leitflächenprofils erzwingen eine Richtungsänderung der Stromlinien des anströmenden Fluids. Ich stelle mir vor: Bewegte sich das betrachtete Fluidvolumen infolge der Massenträgheit auf einer geraden Linie fort, würde sich die Entfernung zur (Stör-) Kontur des Leitflächenprofils sofort vergrößern und somit ein Gebiet niedriger Dichte entstehen, was wir in unseren Betrachtungen über ein inkompressibles Fluid aber gerade ausschließen möchten. Also erzwingt die Bedingung konstanter Fluiddichte einen Druckgradienten entlang der betrachteten Stromlinie - quasi über die Strömung des Fluids - um das Hindernis herum. Nahe der Profilkontur kommt es zur Ausbildung der Grenzschicht. Durch die Scherkräfte in der Grenzschicht folgt das Fluid der Kontur des Profils. Mit zunehmender Entfernung vom Profil nimmt die Ablenkung der (ferneren laminaren) Strömung ab. Generiert die Krümmung der Stromlinien einen Druckgradienten, so führt die Kontinuitätsbeziehung und bernoullische Argumentation wieder zu einem relativen Überdruckgebiet an der Luv- und einem relativen Unterdruckgebiet an der Leeseite und zum Auftriebsgebaren der Leitfläche.

Impulsänderung. Die Finne, der räumliche dreidimensionale Tragflügel, muss durch eine unsymmetrische Umströmung die zur Entstehung der Querkraft notwendige Zirkulation selbst erzeugen. Analog zur Kreisumströmung entsteht bei Tragflügelprofilen die dynamische Querkraft (Auftrieb) nur dann, wenn eine gleich große vertikale Impulsänderung erfolgt. Diese Impulsänderung wird erreicht, indem die Finnentragfläche (das Tragflächenprofil) Fluid (nach unten) ablenkt. Das Tragflügelprofil muss so gestaltet und entsprechend "angestellt" sein, dass es aus der Anströmsituation eine für die Querkrafterzeugung notwendige Zirkulation erzeugen kann. In einer potentialtheoretischen Betrachtung werden zunächst zwei "Staupunkte identifiziert (siehe Profilbild

oben). Eine scharfe Profilhinterkante bewirkt, dass das Tragflügelprofil von unten herkommend nach oben bis zum hinteren, auf der Profiloberseite liegenden Staupunkt umströmt werden muss. Diese Umströmung einer scharfen Hinterkante führt (theoretisch) zu einer plötzlichen Richtungsänderung der Geschwindigkeit; mathematisch gesehen eine (unendlich) große Beschleunigung der Strömung. Die (anfängliche) hintere Umströmung ist nicht stabil und kann daher nicht lange bestehen. Dies hat zur Folge, dass die Strömung an der Hinterkante sehr rasch ablöst. Gleichzeitig bildet sich ein Wirbel durch das Aufrollen einer sich ablösenden Grenzschicht. Dieser sog. Anfahrwirbel schwimmt mit der Strömung nach hinten ab. Theoretisch (Satz von Thompson) ist die Gesamtzirkulation im Gleichgewicht (Summe ist Null); dies hat zur Folge, dass sich um das Tragflügelprofil herum ein zweiter, entgegengesetzt drehender Wirbel bildet. Dieser gebundene Wirbel stellt die notwendige Zirkulation um den Tragflügel und entsteht somit aus der vom Profil der Finne verursachten unsymmetrischen Umströmung, bei der das Fluid auf der Unterseite verzögert und auf der Oberseite des Profils beschleunigt wird.

Druckverteilung. Das gegenüber dem herrschenden Normaldruck relative Unterdruckgebiet auf der Profilkonturoberseite und das gegenüber dem herrschenden Normaldruck relative Überdruckgebiet auf der Profilkonturunterseite repräsentieren das Auftriebs- bzw. Querkraftgebaren (Lift) des Tragflügelprofils der Surfboardfinne. Dabei trägt relative Unterdruckgebiet auf der Profilkonturoberseite wesentlich (3/4) zur Gesamtquerkraft bei. Der Druckgradient korreliert nach der Energiegleichung (Bernoulli) mit der Geschwindigkeit und deren Änderung an der Profilkontur. Die Strömung hat grundsätzlich die Tendenz, der Profilkontur zu folgen. Den größten Einfluss auf die Eigenschaften des Profils einer Leit- und Steuertragfläche respektive Surfboardfinne haben:

- Profilwölbung und Wölbungsrücklage,
- maximale Profildicke
- Änderung der Profildicke entlang der Profilsehne,
- Nasenradius
- Hinterkante Lead-Out

Eine weitere Gestaltungsregel, die für Flugzeugprofile gelten mag, bei Tragflügeln, die im Wasser arbeiten insbesondere für sehr schlanke

Profilkonturen häufig nicht stimmt, aber schon fast gebetsmühlenhaft in den Diskussion die wir über Profilkonturen führen, auftaucht ist jene:

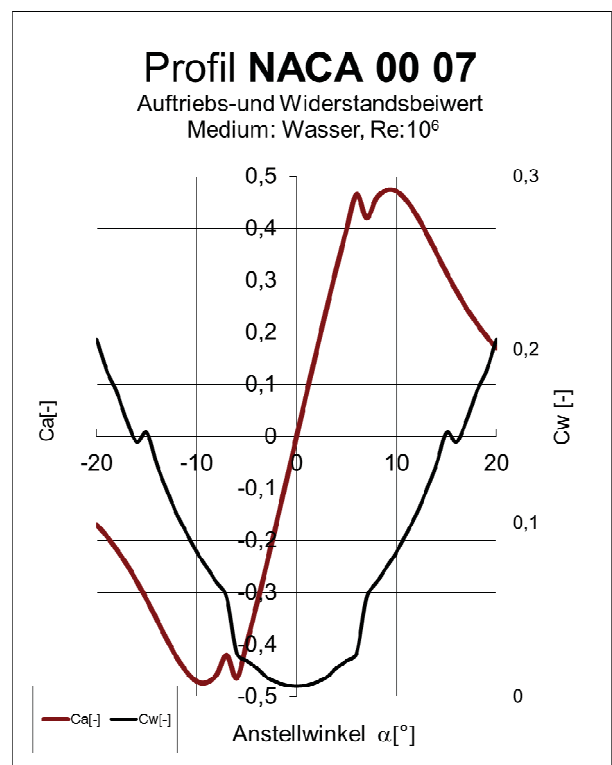
Der Auftriebsanstieg hängt im normalen Anwendungsbereich linear vom Anstellwinkel ab. Die Steigung $\Delta Ca/\Delta \alpha$ beträgt für ALLE Profilformen etwa 0,11 pro Grad.

Benutzen wir diese 10%-Regel als eine Art Warnlampe; wenn sie in einem Diagramm nicht erfüllt ist, dann messen oder rechnen wir noch einmal nach. Wenn sie stimmen würde, könnten wir uns viel Entwicklungsarbeit sparen und hätten wenig Spass.

Betrachten wir noch einmal die Einflussgrößen auf die Profileigenschaften: der maximale Auftrieb wird von der Wölbung, dem Nasenradius und der Dicke bestimmt. Weshalb dies so ist, kann man an der Kurve des Geschwindigkeitsgradienten über die Profilkontur aufgetragen, ablesen. Die Berechnung wurde für das für Surf-Finnen relevante Profil NACA 00 07 durchgeführt.

Das Diagramm zeigt die Geschwindigkeitsverteilung an der Profil-Oberseite. Bei einem symmetrischen Profil und einem Anströmwinkel von $\alpha=0^\circ$ ist natürlich der Gradient symmetrisch. Wir sehen in dieser Graphik einen plötzlichen Anstieg der konturnahen Geschwindigkeit an der Profilspitze und einen gleichmäßigen Zuwachs der (auf die Umgebungsgeschwindigkeit $V = v_\infty$ bezogenen) Geschwindigkeit v/V ; zum Profilende hin verschwindet der Gradient. Das Profil NACA 00 07 besitzt seine maximale Dickenrücklage bei 30% der Profiltiefe. Etwa an diesem Ort ist die konturnahe Geschwindigkeit $v = v(x)$ gleich der Geschwindigkeit v_∞ . Dieser Punkt ist markant. Wir erinnern uns, dass für inkompressible Strömungen ($\rho = \rho_\infty$) zwischen der konturnahen Geschwindigkeit $v(x)$ und dem (über x variablen) Druckkoeffizienten $c_p = c_p(x) = p(x)/p_0$ eine Beziehung (Bernoulli) zur Systemgeschwindigkeit $V = v_\infty$ herrscht:

$$\text{Druckgradient } c_p(x) = p(x)/p_0 = c_p(x) = 1 - (v(x)/v_\infty)^2$$



An dem Ort, an dem $v(x) = v_\infty$ herrscht, besitzt auch der Druckgradient $c_p(x)$ einen Nulldurchgang. Dies wird bei der Betrachtung der (konturnahen) Grenzschicht eine Rolle spielen.

Verlauf und Intensität der Druckverteilung sind maßgeblich für die Leistungsfähigkeit der Profilkontur. Bei der Profilanalyse führt also der erste Weg (immer) zum Geschwindigkeitsgradienten. Druck- und Geschwindigkeitsgradient funktionieren wie eine sehr feine „Linse“ mit der die Krümmung der Kontur, also die Profیلwölbung an jeder Stelle, die Wölbungsrücklage, der Ort der maximalen Profildicke und (natürlich) die Änderung der Profildicke entlang der Profیلsehne ultragenau untersucht werden kann.

Der mit diesem Instrument untersuchte Verlauf der Kurve und die Glattheit³² höherer Ordnung der Kurve $(v(x)/v_\infty)^2$ kann Gegenstand einer klassischen „Kurvendiskussion“ werden immer dann, wenn sich der Konstrukteur für den rekursiven Weg entscheidet und die Formfindung über die höheren Ableitungen (die Krümmung der Krümmung) der Gradientenkurve (v/v_∞) triggert. Eingebettet in eine Optimierungsumgebung spricht man derzeit viel von Konstruktionsautomatismen auf der Basis physikalischer Modelle. In der Gestaltungspraxis - und hier in besonderer Weise bei der Optimierung von Seefahrzeugen - hat sich für diese Herangehensweise³³ der Begriff des „parametrischen Designs“ etabliert; eine Methode, die den tradierten Konstruktionsprozess quasi auf den Kopf stellt und der die Zukunft gehört, wenn es um „resiliente“ Gestaltung gehen wird (... Create Robust Variable Geometry, RVG). Dazu später mehr.

Fluidmechanische Berechnungen nach der Potentialtheorie stehen gerade dieser Tage wieder in der Kritik der Strömungsexperten. Aber, so kann zusammenfassend gesagt werden, gerade weil diese Berechnungsmethoden auf Geschwindigkeitsverteilungen AUF der Profilkontur führen (was natürlich ohne Realitätsbezug ist) stellt die Kurve $(v(x)/v_\infty)^2$ ein perfektes artifizielles Untersuchungsinstrument für zukünftige Konstruktionsmethoden dar.

Wenden wir uns nun den Auftriebs- und Widerstandsbeiwerten typischer und möglicher Profile für Surfboardfinnen zu. Die wenigen Proben von Finnen, die

³² Die Kurve $(v(x)/V)^2$ (quadratische Form) wird im Diagramm nicht dargestellt.

³³ <https://www.caeses.com/> CAESES[®] (formerly known as FRIENDSHIP-Framework) could be the perfect solution for Ship Design. CAESES[®] stands for “CAE system empowering simulation” and enables engineers to design optimal products.

uns physisch vorliegen, tragen Profile, die wir nicht kennen. In der Szene wird in der Regel auf NACA-Profilen verwiesen und tatsächlich weist das von einer Finne der Firma FUTURES abgeformte Profil eine (hinreichend überzeugende) Ähnlichkeit mit dem Profil NACA0007 auf. Ich erkläre dieses Profil nun hier zum Stand der Technik, wohl wissend dass es an der Kontur gewisse Abweichungen, ja Ungereimtheiten existieren, die gegebenenfalls vom Hersteller sogar erwünscht sind. Vielleicht sind es Alleinstellungsmerkmale, vielleicht ist das zur Anwendung kommende Tragflügelprofil einfach eine den Fertigungs- und/oder Festigkeitsbelangen geschuldete Profilkontur. Wir wissen es nicht. Das Profil NACA0007 ist natürlich schon alleine dadurch ungemein sympathisch, weil wir über einen ausreichend fein diskretisierten Datensatz seiner Kontur verfügen. Ich führe die Geometrie- und die Berechnungsdatsätze, wie jene aller hier berechneten Tragflügelprofile - im Anhang dieses Aufsatzes auf. Datensicherheit herrscht natürlich auch für alle ERpL-Profilen (Elliptic-Rigid per Length)³⁴ die wir in der Entwicklung von Leit- und Steuertragflächen aus urheberrechtlichen Gründen bevorzugen. Bei den Recherchen, insbesondere den theoretischen Berechnungen zu einer „Phänomenologie der Surfboard-Finnen“ waren die ERpL-Profilen oftmals ein klein wenig leistungsfähiger als NACA-Profilen vom Stand der Technik, aber es bestand absolut kein Grund, am offenbar herrschenden Konsens der Szene über die Profilauswahl und an Gestaltungs-Standards zu rütteln. Im Gegenteil. Ein Gegenstand der Untersuchungen werden später sogenannte „händische“ Profilkonturen sein. Für diese nichtsymmetrischen, gekrümmten Konturen werden wir ebenfalls auf den NACA-Standard zurückgreifen, weswegen uns ihre „undeformierten Varianten“ an dieser Stelle mehr interessieren, als urheberrechtliche Fragen. Vor dem Hintergrund derartiger Überlegungen (... untersuche zunächst den undeformierten Fall) hochinteressant sind Profilkonturen, die auch in ihrer gekrümmten Version einen so genannten „neutralen Lead-Out“ besitzen: Horten-Profilen, ein Kandidat für Profile belastungsadaptiver Strukturen.

NACA0070, Horten0700 und ERpL0730. Zu diesen sehr schlanken (7%-) Profilen muss gesagt werden, dass sie alle – und zwar aus physikalischen Gründen – sehr mäßige Arbeitstragflächen (im Sinne von Querkraft-Generatoren) ausbilden. Wir werden im zweiten Teil dieses Aufsatzes der Frage nachgehen, ob eine Entwicklung hin zu Leistungstragflächen von der Szene überhaupt

³⁴ Patent über ERpL-Profilen einfügen

begrüßt würde. Die ungekrümmten Varianten des NACA- und des Horten-Profils zeigen ein äußerst ähnliches Auftriebsgebaren. Der Proportionalitätsbereich ist für alle drei Profile identisch. NACA und Horten erreichen sichere Liftkoeffizienten $c_L=0.45$ bei einem Stallwinkel $\alpha_{STALL} = 6^\circ$, Das ERpL-Profil liegt etwas besser bei $c_L=0.6$. Die für Flugzeugprofile gebräuchlich ist die Darstellung der Auftriebs- und Widerstandskoeffizienten als eine so genannte „Lilienthal-Polare“ in der c_L als Funktion der Widerstandsbeiwerte c_W aufgetragen ist.

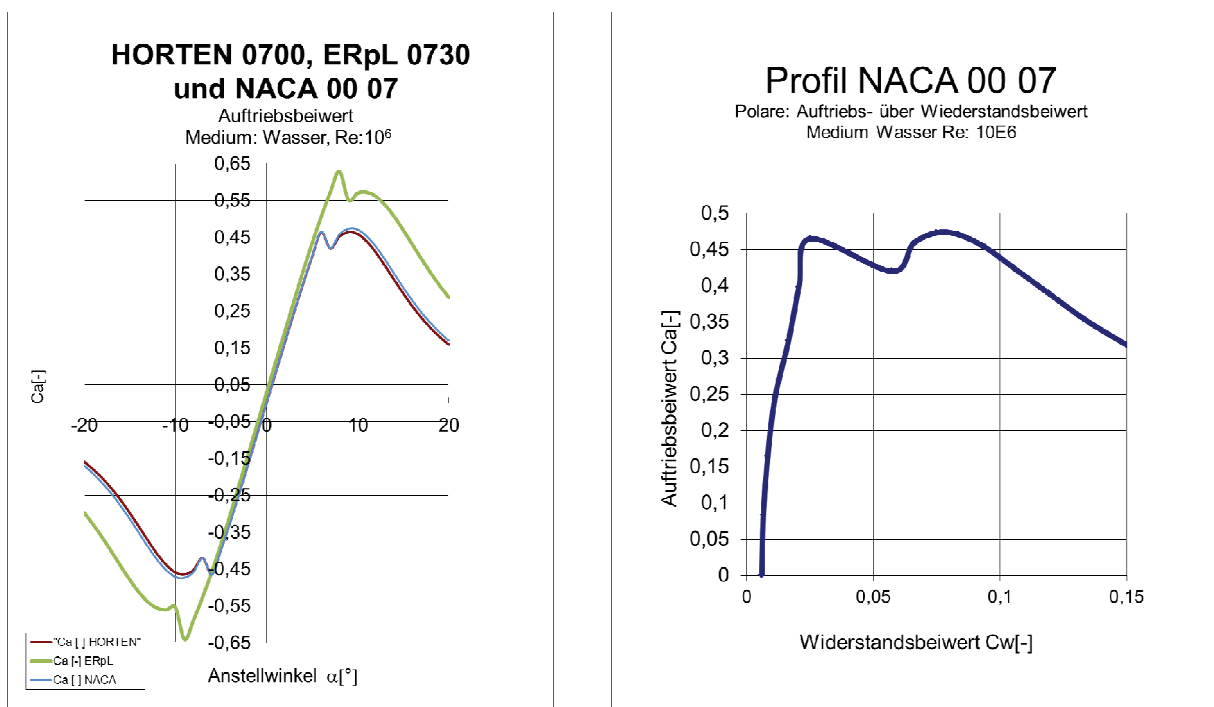
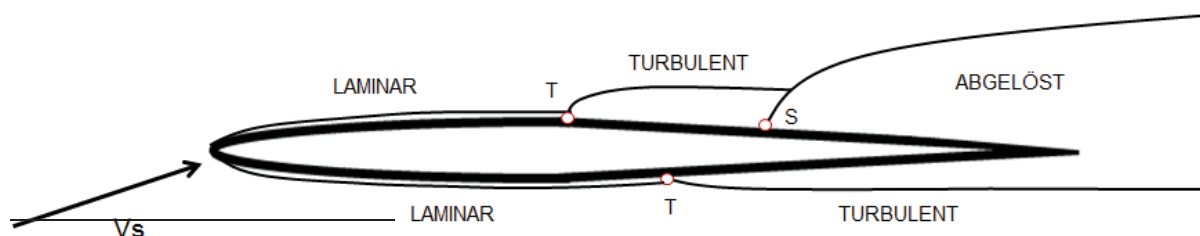


Abb.16: Graphische Darstellung der Auftriebskoeffizienten c_L für die Profile Horten0700, NACA 00 07 und ERpL0730 über eine Variation des Anströmwinkels (links). „Lilienthal-Polare“ für das Profil NACA 00 70 (rechtes Bild).

Grenzschicht-Kriterien. Die Grenzschichttheorie³⁵ beschäftigt sich mit Fluidbewegung bei sehr kleiner Reibung. Der Übergang von der laminaren (schichtenartigen, ruhigen) in die turbulente (unruhige, vermischende) Strömungsform (Transition) stellt ein zentrales Problem der Strömungsmechanik dar. Die Transition tritt bei Scherströmungen auf. Von Scherströmungen sprechen wir dann, wenn sich in einem Fluid die Geschwindigkeitskomponente quer zur Hauptgeschwindigkeitsrichtung stark ändert. An jedem um- oder durchströmten Körper bildet sich direkt an der Körperoberfläche eine Grenzschicht aus, innerhalb der sich die Geschwindigkeit des Fluids aufgrund Reibung an die Geschwindigkeit der Körperoberfläche angleicht. Diese Grenzschicht verursacht im laminaren Zustand einen erheblich geringeren Reibungswiderstand als im turbulenten Zustand. Sehr kleine Störungen mit Wellencharakter (Tollmien-Schlichting-Wellen, siehe unten) werden mit zunehmender Laufstrecke in der Grenzschicht verstärkt. Sie verursachen einen Übergang (die eigentliche Transition) zur turbulenten Grenzschicht und damit einen höheren Widerstand. In der Grenzschicht eines fluiddynamisch wirksamen Körpers besitzt die Reibung Einfluss auf das Geschwindigkeitsprofil des Fluids. In der Regel ist die Strömung erst laminar (lat. lamina, „Platte“), dann turbulent; Verwirbelungen und Querströmungen herrschen vor. Die laminare Strömung ist eine Fluidbewegung, bei der keine sichtbaren Turbulenzen auftreten: Das Fluid strömt in Schichten, die sich nicht miteinander vermischen; alle Teile der Grenzschicht einer parallelen Strömung sind der Hauptströmung gleichgerichtet.

Die Laminare Unterschicht ist, abhängig vom Fluid, nur wenige Millimeter dick. Erst in einer darüber liegenden Schicht ist die Strömung nicht mehr laminar, sondern turbulent. Alle Vertikaltransporte von Impuls, Energie und Stoff erfolgen durch Molekularbewegungen (Geschwindigkeitsfluktuationen). Die kinetische Energie (Strömungsenergie) der turbulenten Schicht ist wesentlich



³⁵ Ludwig Prandtl (* 4. Februar 1875 in Freising; † 15. August 1953 in Göttingen) war ein deutscher Physiker. Er lieferte bedeutende Beiträge zum grundlegenden Verständnis der Strömungsmechanik und entwickelte die Grenzschichttheorie und führte die Grenzschichttheorie im Jahr 1904 bei einem Vortrag auf dem Heidelberger Mathematiker-Kongress ein.

größer als in der laminaren Schicht, mit der Folge, dass der Strömungswiderstand der turbulenten Grenzschicht größer ist (Newton'sches Reibungsgesetz). Die Umgebungsströmung nährt die turbulente Grenzschicht, d.h. aus der Außenströmung wird durch Impulsaustausch der turbulenten Grenzschicht ständig Energie zugeführt. Dieser Energietransport ist dafür verantwortlich, dass der vertikale Geschwindigkeitsgradient sehr steil verläuft. Dies wiederum führt zu einer gewissen Robustheit der turbulenten Grenzschicht; sie ist unempfindlicher gegenüber einer Ablösung der Strömung (...als die Laminarschicht). Die turbulente Grenzschicht überwindet im Gegensatz zur laminaren Grenzschicht deshalb ohne Ablösung einen bis zu dreifachen Druckanstieg an der Tragflächenprofilkontur. Die Laminare Unterschicht ist eine viskose Schicht in Wandnähe; sie liegt unter der turbulenten Grenzschicht. Die Ursache der laminaren Unterschicht wird mit Schwankungskomponenten der Geschwindigkeit in Wandnähe des Strömungskörpers erklärt, die superponierbar sind. Infolge Haftbedingung (an der Wand wird das Fluid durch Reibung zum Stillstand gebracht) Reflektionen (Wand), Dämpfung (Fluid) und der Superponierbarkeit der Strömungsanteile kommt es zu einer Homogenisierung und zur Ausbildung einer sehr dünnen, diskreten konturnahen Schicht. Deren Dicke beträgt nur 2% bis 5% der gesamten Grenzschicht aus laminarer Unterschicht und turbulenter Oberschicht. Je weiter ein Fluidteilchen (in der laminaren Unterschicht) von der Wand entfernt ist, desto höher ist dessen Geschwindigkeit. Von der Wand bis zur Grenze der Grenzschicht kann das Geschwindigkeitsprofil als quadratische Funktion angenähert werden.

Umschlagpunkt. Der Umschlag der laminaren Grenzschicht in eine turbulente Schicht (Transition zur Turbulenz) ist aus physikalischer Sicht ein Stabilitätsproblem. Die mathematische Beschreibung (Grenzschicht-Differentialgleichungen) des Umschlags der laminaren Grenzschicht in eine turbulente Schicht wird mit instabilen Störungen, so genannten Tollmien-Schlichting (TS)-Wellen in Verbindung gebracht, deren Physik bislang nicht vollständig beschrieben ist.

Aber es gibt experimentell gestützte Erklärungswege (allerdings nicht für die für Surfboard-finnen typischen Profilkonturen). In Strömungsversuchen taucht regelmäßig das Phänomen auf, dass der Umschlagpunkt der laminaren in die turbulente Grenzschicht (Transitionsunkt) an der Stelle des Druckminimums der Außenströmung auftritt. Die Zustandsgrößen der Außenströmung ihrerseits können genügend genau mit einem potentialtheoretischen Berechnungsansatz

ermittelt werden. Auf diese Weise werden die Umschlagpunkte an der unteren und an der oberen Profilkontur ansatzweise berechnet. Weiter unten werden wir genau dies für schlanke NACA-Profilen tun.

Unter- und Überkritische Strömung. Die laminare Grenzschicht wird als unterkritische Profilmströmung benannt. Überkritische Strömung herrscht, wenn der laminaren Strömung eine turbulente Strömung nachfolgt. Der Umschlag von einem unterkritischen Zustand in den Überkritischen erfolgt bei umso kleineren Geschwindigkeiten, je schlanker ein Strömungskörper ist. Genau diese extrem schlanken Profilkonturen finden wir bei Surfboardfinnen vom Stand der Technik. Im Falle größerer Reynoldszahlen ($Re > 10^6$) bedeutet dies, dass die Strömung turbulent ist, d. h. innerhalb der Grenzschicht können die Teile der Strömung bis hinab in den molekularen Bereich jede Richtung annehmen, ihre Dicke bleibt jedoch eng begrenzt. In der Hauptströmung bleibt die Geschwindigkeit konstant verteilt. Anschaulich gesprochen führt eine Konturverbreiterung zum lokalen Anlegen der Strömung an den Strömungskörper. Dies spräche eigentlich für fülligere Profile bei Surfboardfinnen. Auf diese Weise könnte dann eine Strömung nahe der Konturgeometrie über eine gewisse (aber nicht beliebig lange) Strecke der Tragflügelwand im Sinne einer Laminarisierung konditioniert werden. Dies ist (eins von mehreren) Gestaltungskonzepten für ein unterkritisches Laminarprofil. Angewandt auf Surfboardfinnen käme diese Empfehlung einem Paradigmenwechsel gleich. Wir als Theoretiker wollen das (vielleicht) nicht tun.

Schauen wir besser noch einmal auf die Profile der Surfboardfinnen vom Stand der Technik. Bei diesen scharfkantigen, schlanken Strömungskörpern erfolgt der Umschlag von laminarer Strömung in turbulente Strömung direkt an der Strömungskörperspitze. Hier wird die Strömung schlagartig turbulent. Am dreidimensionalen Tragflügel kann es bei schräger Anströmung direkt an der Strömungskörperkante zu einer Ablösung kommen. Es ist das bei Surfboardfinnen mit Profilen vom Stand der Technik zu befürchtende Szenario.

Betrachten wir das Profil NACA 00 07 hinsichtlich der Transitions- und Separationspunkte auf der Profilkontur als Funktion des Anstellwinkels. Wie ist dieses Diagramm zu lesen?

Zunächst einmal gilt für symmetrische Profile, dass unter Variation der Anströmungswinkel, die Begriffe Ober- und Unterseite ihr Bedeutung einbüßen. Vielleicht wäre eine der Strömung abgewandte Fläche (Lee-Seite) des Tragflügels und eine der Strömung zugewandte Seite (Luv-Seite) eine sinnfällige

Formulierung. Leewärtige und luvwärtige Transition und Separation sind also in einem Diagramm abzulesen. Auf der Ordinate sehen wir die Profiltiefe abgetragen.

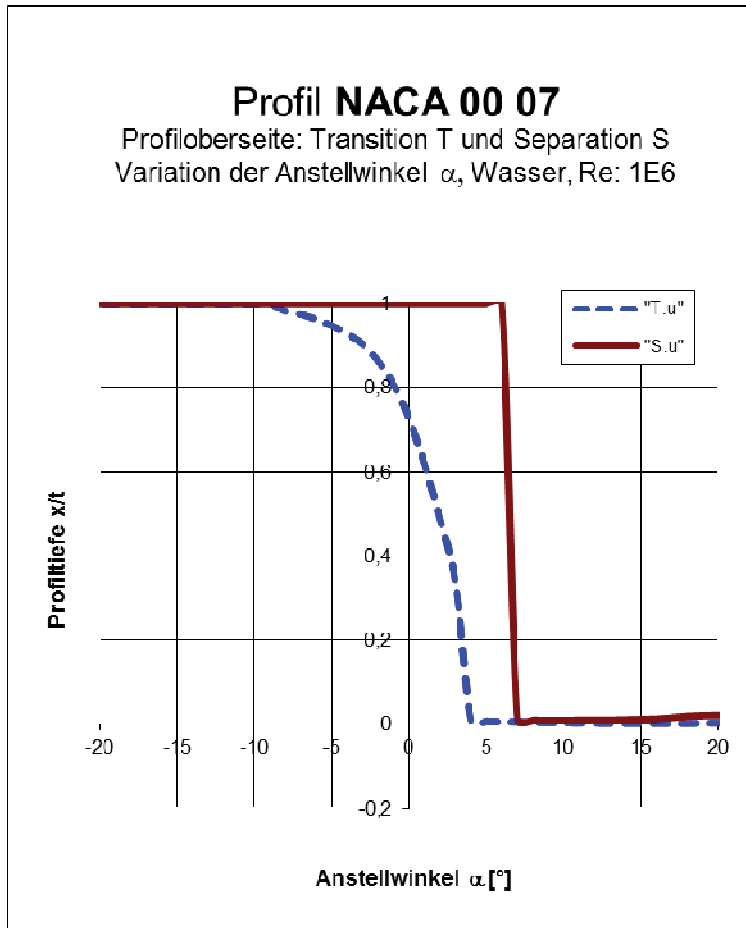


Abb.17: Transitions- und Separationspunkte auf der Profilkontur als Funktion des Anstellwinkels für das Profil NACA 00 07

Stall und "ideale" auftriebslosen Geradeausfahrt

Man unterscheidet zwischen dem Ort des Strömungsumschlags und dem Ort des Ablösezustands an einer Tragflügelprofilkontur.

Im Bereich kleiner und mittlerer Reynoldszahlen ist eine ungünstige, in aller Regel nichtaxiale Profilanströmung Ursache für den Stall. Profilkonturen zeigen hier sehr unterschiedliche Charakteristika hinsichtlich des maximalen Anstellwinkels α_{STALL} , bei dem ein Strömungsabriss auftritt. In messtechnischen Untersuchungen tritt dieser Winkel deutlich als Kurvenmaximum hervor, da sich genau hier das Auftriebsverhalten des (realen) Tragflügels gegenüber einem Bereich ähnlicher, aber kleinerer Anstellwinkel unterscheidet.

Aus der obigen Abbildung (Abb.17, Transitions- und Separationspunkte auf der Profilkontur als Funktion des Anstellwinkels für das Profil NACA 00 07) ist gut abzulesen, dass bei einem Anstellwinkel von etwa $\alpha=6^\circ$ der Separationspunkt nahezu schlagartig und übergangslos vom Bug des Profils zum Heck hin verlagert. Diese Beobachtung deckt sich mit den Überlegungen, die wir aus dem Kurvenverlauf des der Auftriebs- und Widerstandskoeffizienten über den Anströmwinkel anstellten. Betrachtet man die beiden Diagramme nebeneinander, ist der Stall nahezu greifbar. Wie mag sich dieser kolossale Einbruch der Querkraft wohl in der Praxis anfühlen?

Wenn es dem Konstrukteur gelänge, den Bereich der fluidmechanischen Tragfähigkeit der Profilkontur zu verbessern, den Stallwinkel α_{STALL} hin zu größeren Werten zu verschieben, würden Surfboardfinnen leistungsfähiger (hinsichtlich der Querkraftgenerierung) und besäßen eine Fehlertoleranz beim Manövrieren in einem größeren Bereich.

Sofern erwünscht, kann die Beschaffenheit der Gesamtkonstruktion einer Finne auf eine "gutmütige Stall-Charakteristik" hin ausgerichtet sein, dahingehend, dass bei unbeabsichtigtem Eintreten in den Stall keine abrupten Querkraftverluste eintreten. Diese Betriebs-Robustheit der Tragflügel werden mit Abschlagen des Auftriebs (der Querkraft) und mit erhöhtem Widerstand im Regelbetriebspunkt erkauft und führen zu einer generellen Leistungsminderung der Finne. Deshalb ist es für den Entwickler neuer Finnengeometrien und deren Profile viel interessanter, die Ursachen der Stallentstehung zu untersuchen und gegebenenfalls Maßnahmen anzuwenden und Methoden zu entwickeln, die zu einer Strömungskontrolle an der Profilkontur führen.

Unter Aeromechanikern - bei Flugzeugen entscheidet der Strömungsabriss gegebenenfalls über Leben und Tod - ist die Ansicht verbreitet, der Strömungsabriss hänge "einzig" vom Anstellwinkel der Profilkontur ab: *"Das Auftreten eines Strömungsabrisses hängt ausschließlich vom Anstellwinkel ab. Dennoch kann man diesem Winkel in der Praxis eine Geschwindigkeit zuordnen. Je geringer die Geschwindigkeit eines Flugzeuges wird, desto mehr muss der Anstellwinkel erhöht werden, damit das Flugzeug ohne an Höhe zu verlieren geradeaus fliegt. Will man zudem noch ohne Höhenverlust eine Kurve fliegen, muss der Anstellwinkel zusätzlich erhöht werden. Die Geschwindigkeit, bei der es im Geradeausflug zum Strömungsabriss kommt, nennt man „Abrissgeschwindigkeit, Stall-Geschwindigkeit, oder auch Stallspeed. Fliegt ein Flugzeug schneller als Stallspeed, aber langsamer als mit der vom Hersteller*

festgelegten Mindestgeschwindigkeit, dann gerät es in den Sackflug. Die Strömung an den Tragflächen ist bereits turbulent, der Auftrieb stark vermindert, das Flugzeug „sackt durch“. Die Strömung ist aber noch nicht völlig abgerissen und das Flugzeug bleibt – eingeschränkt – steuerbar "[w-001].

Für Flugzeuge ist diese Sicht der Dinge durchaus angebracht, da sich hier die Tragflügelprofile nur sehr selten in einem "auftriebsfreien" Zustand befinden. Bei Surfboardfinnen allerdings herrschen andere Betriebszustände vor. Während der manöverfreien Geradeausfahrt könnte man theoretisch die Finne vollständig aus der Strömung entfernen.

Die potentialtheoretischen Untersuchungen zeigen, dass in der "idealen" auftriebslosen Geradeausfahrt Strömungsablösungen auftreten mit der Folge einer Vergrößerung des Druckwiderstands. Das nun auftretende Ablösegebaren ist regelmäßig periodischer Natur und durch den Potentiallöser nicht darstellbar. Eine erste grobe Quantifizierung gelingt mit der dimensionslosen "Strouhalzahl"³⁶, Sr , die für eine ideale, zentrale Anströmung eines (ideal-)symmetrischen Strömungskörpers, die Frequenz der zeitlichen Wirbelentwicklung im Nachlauf des Strömungskörpers bestimmt; beispielsweise eine Karman'sche Wirbelstraße³⁷.

Strouhalzahl

$$Sr = (f \cdot b \cdot v^{-1})$$

Die Strouhalsimilarität tritt bei der Beschreibung instationärer Strömungszustände auf und ist von der Reynoldszahl abhängig (bzw. der Geschwindigkeit der ungestörten Strömung v [ms^{-1}]). Die Strouhal-Zahl Sr ist das Verhältnis aus dem Produkt aus Wirbelablösefrequenz f : $f = 1/t$ [s^{-1}] und einer Referenzlänge b , etwa der der Größe des umströmten Hindernisses und der Strömungsgeschwindigkeit v . Für die meisten praktischen Anwendungen gilt die Näherung Sr [-] = 0,2. Für Sr [-] = 0 kann die Strömung als quasistationär betrachtet werden. Dies werden wir in den nachfolgenden Betrachtungen als vorausgesetzt ansehen.

³⁶ Vincent Strouhal auch Čeněk Strouhal (* 10.4.1850 in Seč; † 23. Januar 1922 in Prag) war ein tschechischer Physiker auf dem Gebiet der (Hydrodynamik) und ein Fachmann der Experimentalphysik.

³⁷ Theodore von Kármán (* 11. Mai 1881 in Budapest als *Kármán Tódor*; † 7. Mai 1963 in Aachen) war ein österreichischer (österreichisch-ungarischer)/amerikanischer Physiker und Luftfahrttechniker.

Am Beispiel des Ablösegebarens der "idealen" auftriebslosen Geradeausfahrt lassen sich die physikalischen Phänomene in der Grenzschicht einer Profilkontur studieren mit dem Ziel generaler Gestaltungsempfehlungen für den Entwurf leistungsfähiger Surfboardfinnen. Die potentialtheoretischen Betrachtungen werden weiterhin zu dem NACA-Standardprofil³⁸ NACA00 07 durchgeführt.

Nachdem wir die Transitions- und Separatuionsorte analysieren können, betrachten wir anschließend die Beschaffenheit und die Geometrie der laminaren und der turbulenten Grenzschicht an der Surfboardfinnenkontur.

Grenzschichtdicken (boundary layer thickness).

Die Definition einer Grenzschicht bzw. einer in Normalenrichtung zur Profilkontur beschriebenen Dicke δ der Strömungsgrenzschicht ist eine Konvention und diese in gewisser Weise willkürlich, da sich der Übergang der Geschwindigkeit in die Außenströmung asymptotisch vollzieht³⁹. In der Literatur wird als Grenzschichtdicke der Abstand von der Wandkontur definiert, an dem sich die Geschwindigkeit nur noch um 1% von der Außenströmung unterscheidet (Definition nach Schlichting⁴⁰). Für diesen Abstand zur Wandkontur hat sich der Begriff der Grenzschichtdicke δ_{99} [m] etabliert.

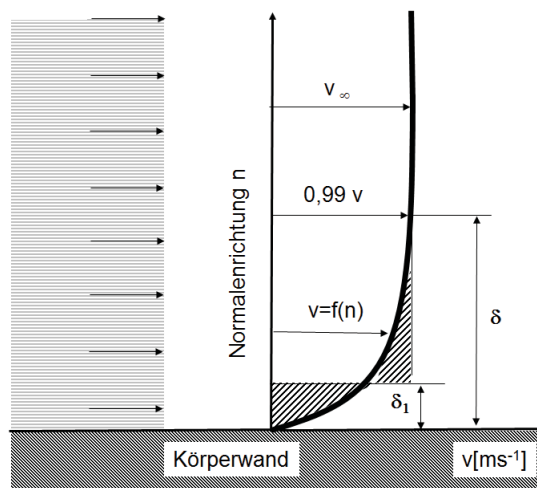


Abb.18: zur Definition der Grenzschichtdicke.

³⁸ Profilsystematik, NACA (National Advisory Committee for Aeronautics, später NASA)

³⁹ Sieglich, H. (2009) Technische Fluidodynamik. S. 96 ff. 7. Auflage. Springer Verlag Heidelberg, London, N.Y.

⁴⁰ Schlichting, H. Grenzschichttheorie, Springer Verlag Berlin.

und Schlichting, H (2000) Boundary-Layer Theory, Springer ISBN 3540662707

Der phänomenologischen **Grenzschichtdicke** δ_{99} [m] werden folgend weitere, physikalisch begründbare Grenzschichtdicken zur Charakterisierung der der Konturwand des Profils nahen Außenströmung beigestellt. Die Idee der **Verdrängungsdicke** δ_1 [m] ist die einer virtuellen Hüllkurve um die Profilkontur, die eine intakte Außenströmung von einem konturnahen und wenig homogenen Strömungsbereich (scheinbar) separiert. Die **Impulsverlustdicke** δ_2 [m] und die **Energieverlustdicke** δ_3 [m] beschreiben jene Bereiche um eine Kontur in denen Impuls- und Energie-Wechselwirkungen beobachtbar, messbar und in einer mathematischen (und numerischen) Weise beschreibbar werden. Wir sprechen in diesem Zusammenhang von Gebieten und Flächen, weil sich die Betrachtungen auf eine Profilkontur (zweidimensionale Profilkontur, wing section) beziehen. Der reale Flügel bildet eine räumliche Grenzschicht aus, deren Dicke über eine Hüllfläche um den Tragflügel variiert. Für die Entwicklung neuartiger Profilkonturen ist aber zunächst die Betrachtung des ebenen Falls (Profilkontur) vorteilhaft. In realen Grenzschichten ist die Geschwindigkeit der Strömung aufgrund der Haftbedingung nahe der Körperwand gegenüber einem fiktiven idealisierten Fall (ohne Haftbedingung) vermindert. Dies hat eminente energetische Konsequenzen. Anders als in dem realistischen Fall einer Strömung, die von Verharren und Haftung des Mediums an den Körperwänden gekennzeichnet sei, ist die Impulshaltigkeit der Strömung und die kinetische Energie in der "Nähe der Wandkontur" des Profils (also in der so genannten Grenzschicht mit der Schichtdicke δ_{99} [m]) vermindert.

Abgeleitete Grenzschichtdicken δ_1 δ_2 δ_3 . Gegenüber dem idealisierten Fall ohne Grenzschicht wird die gesamte Außenströmung im realen Fall (Strömung mit Haftbedingung) nach außen gedrängt. Die Breite dieser Verrückung wird in Normalenrichtung zur Profilkörperkontur und in der Einheit [m] gemessen oder auf die Profiltiefe t normiert (δ_1/t) angegeben. Der Betrag der Verdrängungsdicke δ_1 [m] ist abhängig von der (tatsächlichen) Lauflänge der Strömung, also nicht normiert. Die Verdrängungsdicke δ_1 [m] ist wie die Grenzschichtdicke δ_{99} [m] eine definitorische Größe, für die folgende Annahme gilt: Man findet die Verdrängungsdicke in einem Geschwindigkeitsgradienten senkrecht zur Profilkörperkontur gerade dort, wo der Flächeninhalt der Geschwindigkeitskurve (das Integral unter der Kurve) im Gleichgewicht steht. Dies ist schematisch in obiger Skizze angedeutet. Die Verdrängungsdicke δ_1 spannt

somit eine (fiktive) Hüllkontur des Profils auf, um die eine Potentialströmung verdrängt würde, wenn sie die gleiche Masse wie die Grenzschichtströmung transportieren würde. Außerhalb dieser Hüllkontur besitzt die Außenströmung die Qualität einer Potentialströmung. Mit der Geschwindigkeit $v(n)$ im Innern der Hüllkurve, die in Normalenrichtung (n) von der Konturwand variiert, der Geschwindigkeit V der idealisierten Potentialströmung außerhalb der Hüllkurve und den Bereichsgrenzen $\{0.. \delta_{99}\}$ erhalten wir eine Formulierung der Verdrängungsdicke δ_1 als Integral über eine Kurve der dimensionslosen Geschwindigkeit (v/V) in den identifizierten Bereichsgrenzen:

$$\text{Verdrängungsdicke} \quad \delta_1 = \int_0^{\delta} (1 - (v(n)/V)) \, dn$$

Mit einer Similaritätsbetrachtung⁴¹ lässt sich der Gradient der dimensionslosen Geschwindigkeit ($v(n)/V$) der über die Normalenrichtung (n) senkrecht der Konturwand variiert, weiter auswerten. Eine Dimensionenbetrachtung über den Impuls und über die Energie führt zu zwei weiteren Formulierungen für Grenzschichtdicken.

$$\text{Impulsaustauschdicke}^{42} \quad \delta_2 = \int_0^{\delta} (v(n)/V) \cdot (1 - (v(n)/V)) \, dn$$

Die Impulsaustauschdicke δ_2 beschreibt die Dicke einer Grenzschicht, bei der eine Potentialströmung den gleichen Impulstransport wie die Grenzschichtströmung hätte. Die Energieverlustdicke δ_3 ist ein Maß für den Energieumsatz in der Grenzschichtströmung, verglichen mit der idealen Potentialströmung.

$$\text{Energieverlustdicke} \quad \delta_3 = \int_0^{\delta} (v(n)/V) \cdot (1 - (v(n)/V)^2) \, dn$$

In diesem Zusammenhang ist noch eine auf ein Längenmaß aus der Grenzschichtgeometrie bezogene, spezifische Geschwindigkeit von Belang, die lokale Reynoldszahl:

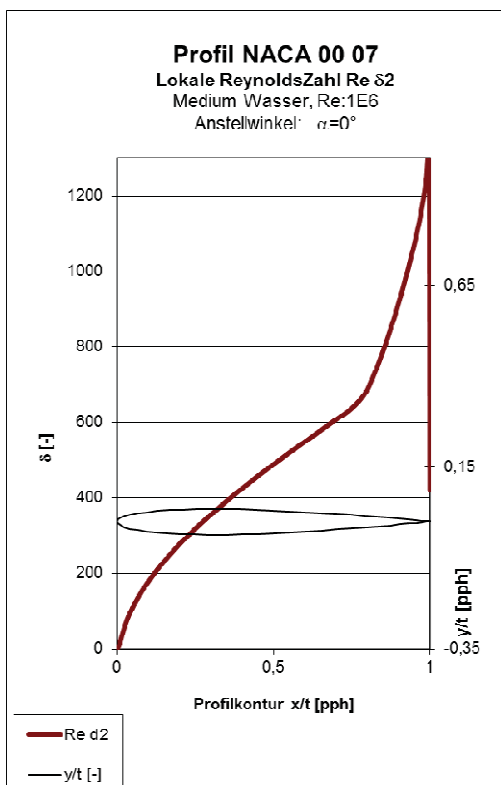
⁴¹ siehe auch: Dienst, Mi.(2012) Methoden in der Bionik. Kennzahl für die Fluid-Struktur- Wechselwirkung. GRIN Verlag GmbH München, ISBN (Buch): 978-3-656-08838-7, (e-Book): 978-3-656-08872-1 und Dienst, Mi.(2011) Methoden in der Bionik. Die reynoldsbasierte fluidische Fitness. GRIN Verlag GmbH München, ISBN (Buch): 978-3-640-90894-3

⁴² In der Literatur als Impulsverlustdicke bezeichnet. Siehe hierzu auch: Schlichting, H. (2000) Boundary-Layer Theory, Springer ISBN 3540662707

Lokale Reynoldszahl

$$Re_{\delta_2} = v \cdot \delta_2 / \nu \quad [-]$$

Die nebenstehende Abbildung zeigt die nach der Potentialtheorie berechnete lokale Reynoldszahl Re_{δ_2} , in deren Formulierung die Impulsaustauschdicke δ_2 die signifikante Länge stellt und die konturnahe Geschwindigkeit v nicht dimensionslos auf die Umgebungsgeschwindigkeit v_∞ normiert ist bei neutraler Anströmung ($\alpha=0^\circ$). Am Bugpunkt des Profils NACA 00 07 ist Re_{δ_2} definitionsgemäß Null. Sofern man den berechneten Größen ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$) traut, ist die lokale Reynoldszahl ein Gütekriterium für den Profilentwurf. Die Verdrängungsdicke δ_1 , die Impulsaustauschdicke δ_2 und die Energieverlustdicke δ_3 sind fester Bestandteil der Grenzschichttheorie. Es ist aber in der Entwicklungspraxis zu beachten, dass alle drei Dickenmaße synthetische Formulierungen sind, den gleichen (letztendlich phänomenologischen) Geschwindigkeitsgradienten $(v/V)=F(n)$ aus-werten und am Modellsystem des ebenen Plattenprofils entworfen wurden.



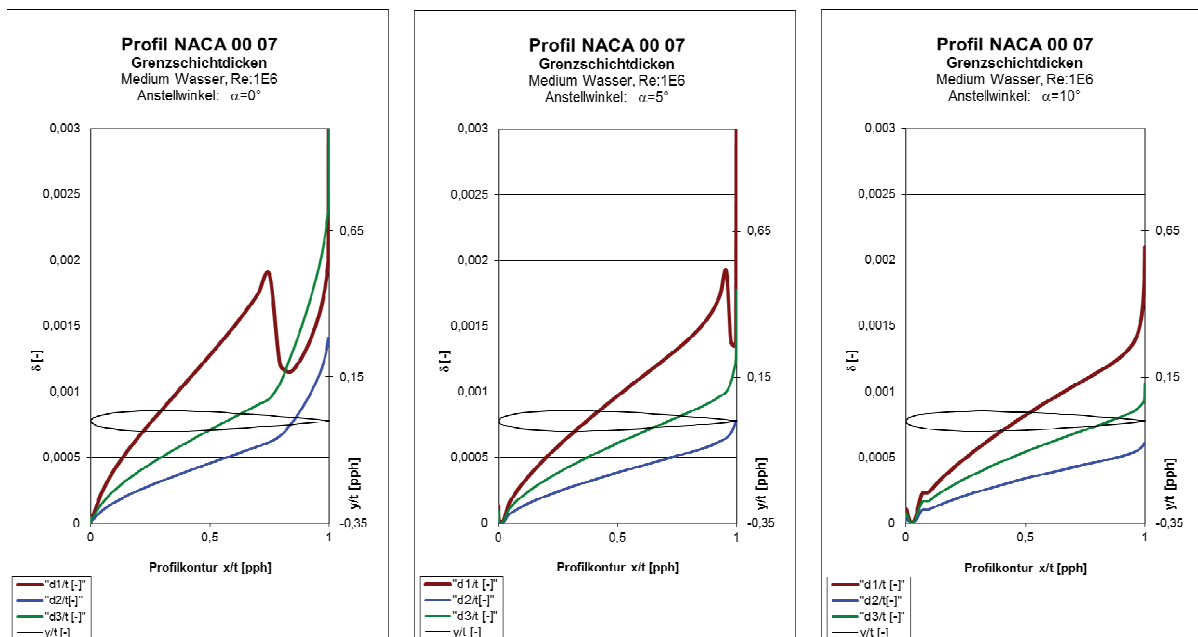
Da wir in diesem Aufsatz auf der Suche nach Kriterien für die charakteristischen Stalleigenschaften (ebenfalls synthetischer) Profilkonturen sind, kommt die Energieverlustdicke δ_3 (die mathematisch betrachtet eine generalisierte Norm zweiten Grades über den Geschwindigkeitsgradienten darstellt) vor dem Hintergrund einer Sensitivitätsbetrachtung der Grenzschicht unseren Erfordernissen am ehesten nach.

Letztendlich ist es der Energieaustausch, der eine Strömung in den Ablösezustand zwingt. Betrachten wir zum Abschluss berechnete Grenzschichtdicken des Profils NACA 00 07 für drei unterschiedliche Anströmszenarien.

Im deutschsprachigen Raum beschreibt der Begriff des Stalls (stalling) die Ursache des Einbruchs der Querkraft einer Kraft- und/oder

Arbeitstragfläche, bzw. der Strömungsablösung, den Abriss der Strömung selbst. Dieser Argumentation folgend besitzt die Stall-Ursache

Strömungsablösung einen Zeitpunkt oder einen Ort auf der Profilkontur, der im Rahmen einer messtechnischen oder numerischen Grenzschichtanalyse terminiert und/oder lokalisiert werden kann. Die Verfolgung der für einen Strömungszustand ermittelbaren Größen Verdrängungsdicke δ_1 , Impulsaustauschdicke δ_2 und Energieverlustdicke δ_3 liefert Charakteristiken einer Profilkontur für das Stall-Verhalten im idealisierten Betrieb.

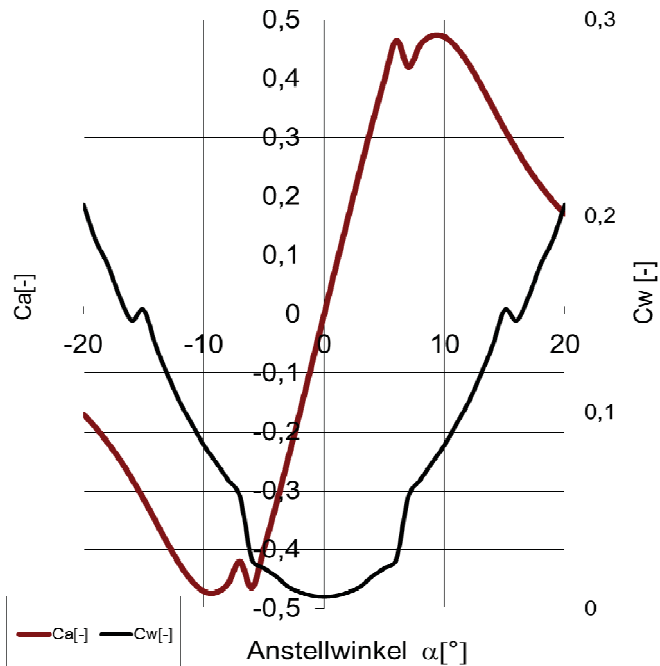


Wir sind nun im Besitz einer Reihe von Analysewerkzeugen für die (theo-retische) Untersuchung von Surfboard-finnen und ich versuche eine Zusammen-fassung der ersten Berechnungs-ergebnisse für das Querkraft generieren-de, symmetrische Profil NACA 00 07 und die Grenzen der potentialtheoretischen Untersuchungen. Beim Manövrieren oder in Fahrt bilden symmetrisch profilierte Kraft- und Arbeitstragflächen dann ein Querkraft generierendes System, wenn die Anströmung nichtaxial erfolgt. Dabei ist die Variation des Auftriebs (Querkraft, Lift) eines symmetrischen Profils über den Anstellwinkel selbst symmetrisch. Den entscheidenden aber nicht einzigen Einfluss auf das Stallverhalten sym-metrisch profilierter Kraft- und Arbeits-tragflächen nimmt der Anstellwinkel des Profils in der Strömung.

Im Diagramm ist das Auftriebsgebaren des Standardprofils NACA 00 07 und der maximale Anstellwinkels α_{STALL} , bei dem gerade ein Strömungsabriss auftritt, leicht zu identifizieren. Das Diagramm zeigt die Auftriebs- Widerstandskoeff-zienten des Profils.

Profil NACA 00 07

Auftriebs- und Widerstandsbeiwert
Medium: Wasser, $Re: 10^6$



α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm0.25 T.U. [-]	T.U. [-]	T.L. [-]	S.U. [-]	S.L. [-]	GZ [-]	N.P. [-]	D.P. [-]
-19,0	-0,192	0,18791	0,004	1,000	0,002	1,000	0,020	-1,023	0,240	0,270
-18,0	-0,218	0,17548	0,004	1,000	0,001	1,000	0,018	-1,240	0,240	0,266
-17,0	-0,246	0,15912	0,003	1,000	0,001	1,000	0,015	-1,549	0,241	0,263
-16,0	-0,279	0,14683	0,003	1,000	0,001	1,000	0,012	-1,899	0,242	0,261
-15,0	-0,314	0,15212	0,003	1,000	0,001	1,000	0,011	-2,066	0,244	0,259
-14,0	-0,352	0,13403	0,003	1,000	0,001	1,000	0,010	-2,626	0,245	0,257
-13,0	-0,390	0,11901	0,002	1,000	0,001	1,000	0,009	-3,276	0,245	0,256
-12,0	-0,425	0,10526	0,002	1,000	0,002	1,000	0,009	-4,038	0,244	0,255
-11,0	-0,453	0,09418	0,002	1,000	0,002	1,000	0,009	-4,815	0,241	0,254
-10,0	-0,471	0,08329	0,002	1,000	0,003	1,000	0,008	-5,650	0,230	0,254
-9,0	-0,473	0,07463	0,002	1,000	0,003	1,000	0,008	-6,336	0,273	0,253
-8,0	-0,458	0,06568	0,001	0,982	0,004	1,000	0,009	-6,974	0,255	0,253
-7,0	-0,420	0,05714	0,001	0,974	0,005	1,000	0,011	-7,353	0,439	0,253
-6,0	-0,465	0,02500	0,003	0,962	0,005	1,000	0,999	-18,6070,204		0,256
-5,0	-0,398	0,02055	0,002	0,947	0,006	1,000	0,999	-19,3580,257		0,256
-4,0	-0,324	0,01647	0,002	0,929	0,009	1,000	0,999	-19,6690,256		0,256
-3,0	-0,246	0,01114	0,001	0,903	0,337	1,000	0,999	-22,0440,256		0,256

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

-2,0	-0,165	0,00825	0,001	0,863	0,488	1,000	0,999	-19,9560,256	0,256
-1,0	-0,083	0,00650	0,000	0,807	0,618	1,000	0,999	-12,6880,256	0,256
0,0	0,000	0,00590	-0,000	0,727	0,727	1,000	0,999	0,000 0,256	0,250
1,0	0,083	0,00650	-0,000	0,618	0,807	1,000	0,999	12,689 0,256	0,256
2,0	0,165	0,00825	-0,001	0,488	0,863	1,000	0,999	19,958 0,256	0,256
3,0	0,246	0,01114	-0,001	0,337	0,903	1,000	0,999	22,046 0,256	0,256
4,0	0,324	0,01647	-0,002	0,009	0,929	1,000	0,999	19,670 0,256	0,256
5,0	0,398	0,02055	-0,002	0,006	0,947	1,000	0,999	19,358 0,257	0,256
6,0	0,465	0,02501	-0,003	0,005	0,962	1,000	0,999	18,607 0,204	0,256
7,0	0,420	0,05714	-0,001	0,005	0,974	0,011	0,998	7,353 0,437	0,253
8,0	0,458	0,06568	-0,001	0,004	0,982	0,009	0,998	6,974 0,255	0,253
9,0	0,473	0,07463	-0,002	0,003	0,998	0,008	0,998	6,336 0,273	0,253
10,0	0,471	0,08329	-0,002	0,003	0,998	0,008	0,998	5,650 0,230	0,254
11,0	0,453	0,09418	-0,002	0,002	0,998	0,009	0,998	4,815 0,241	0,254
12,0	0,425	0,10526	-0,002	0,002	0,998	0,009	0,998	4,038 0,244	0,255
13,0	0,390	0,11901	-0,002	0,001	0,998	0,009	0,998	3,276 0,245	0,256
14,0	0,352	0,13403	-0,003	0,001	0,998	0,010	0,998	2,626 0,245	0,257
15,0	0,314	0,15212	-0,003	0,001	0,998	0,011	0,998	2,066 0,244	0,259
16,0	0,279	0,14683	-0,003	0,001	0,998	0,012	0,998	1,899 0,242	0,261
17,0	0,246	0,15912	-0,003	0,001	0,998	0,015	0,998	1,549 0,241	0,263
18,0	0,218	0,17548	-0,004	0,001	0,998	0,018	0,998	1,240 0,240	0,266
19,0	0,192	0,18791	-0,004	0,002	0,998	0,020	0,999	1,023 0,241	0,270
20,0	0,170	0,20584	-0,004	0,002	0,998	0,020	0,998	0,826 0,242	0,273

Die Tabelle listet neben den Integralwerten der Auftriebs- und Widerstandsbeiwertes den Transitionspunkt T und den Separationspunkt S in Abhängigkeit vom Anstellwinkel für die Ober- und die Unterseite der Profilkontur dar. Der Untersuchung des NACA-Standardprofils NACA0007 hinsichtlich der Transitions- und Separationseigenschaften unter Variation der Anströmrichtung mit potentialtheoretischen Methoden werden generelle Erläuterungen zu laminaren und turbulenten Grenzschichten vorangestellt.

Realität und Wirklichkeit

Es werden in dieser Arbeit Methoden bereitgestellt, die erste Aussagen über die mechanische und die Strömungswirklichkeit der Leit- und Steuertragflächen von kleinen Seefahrzeugen, speziell Surfboardfinnen, liefern. Unseren Job als Theoretiker erledigen wir in erster Linie am Computer oder in der Bibliothek. Und ja, in Datenbanken im Netz. Wir haben Zugriff auf Theorien und physikalische Modelle, die wir dann auf spezielle Fragestellungen anwenden und konditionieren. Aber was hat das mit der realen Finne zu tun? Taugen die

dargestellten Methoden im realen Leben, im Umgang mit Surfboards an der Welle?

Natürlich nicht. Oder nur bedingt. Aber es ist ein Anfang. Mich interessiert in erster Linie ja die Wirklichkeit. Bei Strömungsbauteilen speziell die Strömungswirklichkeit. Die Wirklichkeit ist nur ein klitzekleiner Teil der Realität, die mich gerade umgibt, vom gestern ins morgen führt, zurzeit unendlich oft an beliebig vielen Stellen der Welt stattfindet. Die Wirklichkeit, im Sinne einer Wechselwirklichkeit wird dann zu einer „begreifbaren“ Erfahrung, wenn ich mit ein paar gut ausgewählten Instrumenten, Modelle auf die ich mich verlassen kann, das Wirken des Einen mit dem Anderen, das wechselseitige Wirken, beschreiben kann. Die Realität ist alles, die Wechsel- Wirklichkeit nur der kleine Teil, den ich verstehen will; von dem ich mir ein Modell erstellen kann. Meine ganze Welt ist nur das Modell von ihr. Ein Erklärungsmodell. Ein Wechselwirkungsmodell. Meine Modellvorstellung. Ich kann mir so in etwa vorstellen, wie es klappert, wenn mein Schreibstift auf den Holztisch fällt. Mein Modell im Kopf ist so gut, dass es mir sogar das Experiment erspart, die Realität. Die Realität?

Die meisten Menschen die ich kenne, sind auf ihre oder auf irgendeine Weise Realisten. Sie sagen: „ich glaube nur was ich sehe“. Das ließe sich nun wohlwollend erweitern auf: was ich rieche, schmecke, fühle und vor allem höre; was meine Sinne mir mitteilen. Die Definition der Gesamtheit jeder sinnlichen Erfahrung ist die Ästhetik. In der Ästhetik Kants besteht ein Kontakt zwischen einem Objekt und mir, dem Subjekt. Auch hier resultiert meine sinnliche Wahrnehmung aus (physikalischen) Wirkungen. Wechselwirkungen, physikalischer Wirklichkeit.

In den vergangenen fünfzehn Jahren hatten wir, die kleine Forschergruppe der BIONIC RESEARCH UNIT der Beuth Hochschule für Technik in Berlin, in erster Linie Projekte initiiert und durchgeführt, die inhaltlich mit Seefahrzeugen zu tun hatten. Unser wichtigster Forschungspartner ist die die Firma FutureShip in Potsdam bzw. der Germanische Lloyd DNVGL in Hamburg. Gelegentlich durften wir Fragestellungen aus dem Yachtbereich bearbeiten, Vorträge halten und hören, Patente für zukünftiges YachtDesign entwickeln oder an Symposien und an Gesprächsrunden mit Experten für YachtDesign teilnehmen. Für einen Wassermenschen, der am See lebt und seine Freizeit am liebsten mit Segeln verbringt, ist das ein großes Glück. Leit- und Steuertragflächen schon, aber speziell Surfboardfinnen hatten wir bislang nicht im Programm. Am Anfang meiner Untersuchungen stand dann auch nicht der Anspruch auf

Vervollständigung des Repertoires im Sinne von: „ ... auch mal was mit Surfen machen!“, sondern die Aussicht auf ein Stückchen „Realität“. Weil Surfboards recht klein sind, besteht jetzt die Aussicht, Strömungsbauteile in diesem Zusammenhang nicht als maßstäbliches Modell, sondern in einer Ausführung 1/1 betrachten, messen und auch anfertigen zu dürfen. Wir haben die Chance, Berechnungen durch Messungen zu verifizieren, aus Computermodellen gebrauchsfertige Produkte selbst herzustellen, der Realität damit ein wenig näher zu kommen, ihr einen größeren Brocken Wirklichkeit abzurufen als sonst.

Dieser erste Teil des Aufsatzes sollte erprobte Arbeitsmethoden erörtern und bekannte Herangehensweisen ausloten, die für eine Entwicklung einer neuen Art Surfboardfinnen nützlich erscheinen. Die ausgewählten Instrumente sollten einfach sein, aber auch brauchbare Informationen liefern. Gebraucht wurde eine Art „Überblick“, den wir gewinnen mussten für unsere ersten laienhaften Schritte in dem – so erschien es mir am Anfang – pfadlosen Land der Surfboardfinnen-Forschung.

Der Text, der das Wenige was wir zum Thema schon zu wissen glaubten, umschließen sollte, entstand in relativ kurzer Zeit. Eigentlich als mein Rechner crashte und ich den Nachmittag nicht untätig herumsitzen wollte, während mein netter Kollege sich mit Hard- und Software abrackert. Der Nachmittag, den es dauern sollte, liegt nun Wochen zurück.

Kommen wir zum Ende des ersten Teils. Auch Messungen basieren auf Modellen, sind Wechselwirklichkeit. Ein Messaufbau stellt eine kalkulierte Wirklichkeit her; ein Strömungskanal etwa, eine Strömungswirklichkeit. In unserer Argumentation um Strömungsprofile für Surfboardfinnen werde ich in erster Linie mit Computermodellen arbeiten und es stellt sich sofort die Frage, inwiefern Berechnungen, etwa nach der Potentialtheorie, die Strömungswirklichkeit abzubilden vermögen. Die Profile realer Surfboardfinnen vom Stand der Technik sind nicht ganz eindeutig zu identifizieren, so dass auch hier kluge, sinnfällige Ersatzmodelle die Argumentation dominieren. Den ersten Teil meiner Ausführungen möchte ich daher mit dem Vergleich gesicherter, veröffentlichter Messdaten und Berechnungsdaten meines bevorzugten Simulationsinstruments abschließen. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass die Aussagekraft von Strömungs-simulationen mit der Potentialtheorie dort beschränkt ist, wo eine Korrelation der Transitions- und Separationseigenschaften auf einer Tragflächen-Profiloberfläche mit phänomenologischen Stallkriterien, etwa dem "Einbruch" der Quer- oder Auftriebskraft am Tragflügel

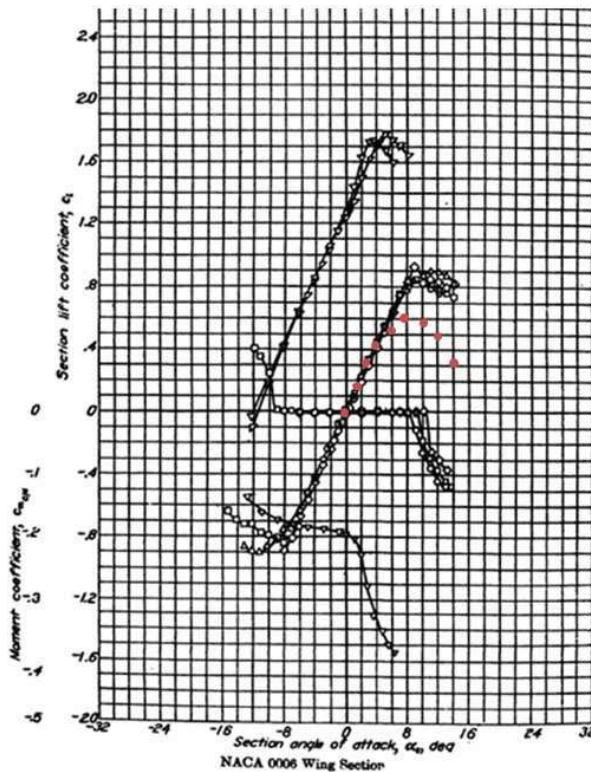
hergestellt werden soll. Integral- und Mittelwerte stellen aber äußerst hilfreiche erste Informationen bei der Entwicklung synthetischer Profile für Kraft- und Arbeitstragflächen von Leit- und Steuertragflächen von Seefahrzeugen dar.

Die Stärke des Potentiallösers ist seine enorme Berechnungsgeschwindigkeit. Vergleichende Analysen potentialtheoretischer Simulation mit CFD-Berechnungen haben gezeigt, dass dem (schnellen) Potentiallöser hinsichtlich der Berechnungsqualität dort getraut werden kann, wo es um „konturnahe“ Berechnungszielgrößen geht und immer dann, wenn die zu Grunde gelegten Anströmgeschwindigkeiten nicht (zu) klein sind, also $Re > 10E6$ rangieren die berechneten Werte des Potentiallösers hinreichend nahe der Kurven der aufwändigen CFD-Berechnung.

Bauartbedingt sind die Profile der Surfboardfinnen vom Stand der Technik sehr schlank. Für das uns vorliegende kommerzielle Produkt der Firma FUTURES identifizieren wir ein Strömungsprofil von lediglich 6% Dicke (bezogen auf die Profiltiefe, wir kennen den argumentationsweg von den Ausführungen oben im Text). Für das Standardprofil der vierstelligen NACA-Reihe existieren Messdaten, die für eine Reynoldszahl $Re = 10E6$ ermittelt wurden [Abbo-59]. Die Gegenüberstellung berechneter und gemessener Liftkoeffizienten ergibt eine deutliche und für diese sehr schlanken Tragflügelprofile typische Bevorteilung der realen Messwerte gegenüber der Computersimulation. Dies sollte in der (im Teil II) nachfolgenden Diskussion weiterer Profilkonturen bedacht werden.

Michael Dienst, Berlin im Sommer 2016.

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen



•NACA 0006 berechnet

Re = 10E6, Luft.

α	CL	CW
0,0	0,000	0,00527
1,0	0,114	0,00546
2,0	0,228	0,00598
3,0	0,340	0,00890
4,0	0,447	0,00945
5,0	0,547	0,01007
6,0	0,510	0,04132
7,0	0,559	0,04723
8,0	0,580	0,05522
9,0	0,574	0,06333
10,0	0,544	0,07572
11,0	0,500	0,08719
12,0	0,449	0,09914
13,0	0,396	0,11767
14,0	0,345	0,11083
15,0	0,300	0,12247
16,0	0,260	0,13528

(links) NACA 0006 gemessen,
Re = 10E6, Luft.

aus: Abbott u. von Doenhoff (1957)
Theory of Wing Section (NASA)

Bibliographie und weiterführende Literatur

- [Abbo-59] Ira H. Abbott, Albert E. von Doenhoff: Theory of Wing Sections: Including a Summary of Airfoil Data. Dover Publications, New York 1959.
- [BaNe-98] Barthlott, W.; Neinhuis, C.: Lotusblumen und Autolacke – Ultrastruktur pflanzlicher Grenzflächen und biomimetische unverschmutzbare Werkstoffe. Biona Report 12, Schriftenreihe der Wissenschaften und der Literatur, Mainz. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart 1998.
- [Bann-02] Bannasch, Rudolph. Vorbild Natur. In: design report 9/02, S.20ff. Blue. C Verlag Stuttgart: 2002.
- [Bapp-99] Bappert, R. Bionik, Zukunftstechnik lernt von der Natur. SiemensForum München/Berlin und Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim (Herausgeber): 1999
- [Bech-93] Bechert, D.W.: Verminderung des Strömungswiderstandes durch bionische Oberflächen. In: VDI-Technologieanalyse Bionik, S. 74 – 77. VDI-Technologiezentrum Düsseldorf 1993.

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

- [Bech-97] Bechert, D.W., Biological Surfaces and their Technological Application. 28th AIAA Fluid Dynamics Conference: 1997
- [Cal-84] Calder, W.A. (1984) Size, Function and Life History. Harvard University Press. Cambridge 431pp.
- [Die13-3] Dienst, Mi.(2013) Reihenuntersuchung zu Profilkonturen für Leit- und Steuerflächen von Seefahrzeugen. Datenreihe ERpL2050. GRIN-Verlag GmbH München, ISBN 978-3-656-47215-5
- [Die11-4] Dienst, Mi.(2011) Methoden in der Bionik. Die Reynolds-basierte Fluidische Fitness. GRIN-Verlag GmbH München.
- [Die09-4] Dienst, Mi.(2009) Physical Modelling driven Bionics. GRIN-Verlag München.
- [DUB-95] Dubbel, Handbuch des Maschinenbaus, Springer Verlag Berlin, 15.Auflage 1995.
- [Eppl-90] Richard Eppler: Airfoil Design and Data. Springer, Berlin, New York 1990.
- [Fli-02] Flindt, R. (2002) Biologie in Zahlen Berlin: Spektrum Akademischer Verl.
- [Fren-94] French, M.: Invention and Evolution: design in nature and engineering. Cambridge University Press. Cambridge 1994.
- [Fren-99] French, M.: Conceptual Design for Engineers. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio: Springer: 1999
- [Gel-10] Produktinformation, 05 2010, GELITA 69412 Eberbach. www.gelita.com
- [Guen-98] Günther, B., Morgado, E. (1998) Dimensional analysis and allometric equations concerning Cope's rule. Revista Chilena de Historia Natural 71: 331-335, 1989
- [Gör-75] Görtler, H. Diemensionsanalyse. Berlin Springer 1975
- [Gorr-17] Edgar Gorrell, S. Martin: Aerofoils and Aerofoil Structural Combinations. In: NACA Technical Report. Nr. 18, 1917.
- [Guen-66] Günther, B., Leon, B. (1966) Theorie of biological Similarities, nondimensional Parameters and invariant Numbers. Bulletin of Mathematical Biophysics Volume 28, 1966.
- [Gutm-89] Gutmann, W.: Die Evolution hydraulischer Konstruktionen. Verlag W. Kramer: Frankfurt am Main, 1989.
- [Hüt-07] Hütte, 2007, 33. Auflage, Springer Verlag. S.E147
- [Hux-32] Huxley, J.S. (1932) Problems of relative Growth. London: Methuen.
- [Katz-01] Joseph Katz, Allen Plotkin: Low-Speed Aerodynamics (Cambridge Aerospace Series) Cambridge University Press; 2 edition (2001)
- [Liao-03] Liao, J.C.; Beal, D.; Lauder, G.; Triantayllou, M. Fish Exploting Vortices Decrease Muscle Activy. In: Science 2003, S. 1566-1569. AAAS. 2003.
- [Matt-97] Mattheck, C.: Design in der Natur. Rombach Verlag. Freiburg 1997.
- [Marc-64] Marchaj, C. A. (1964) "Sailing Theory and Practice", Adlard Coles Nautical, 1964, Library of Congress Catalogue Card Number 64-13694.
- [Marc-86] Marchaj, C. A. (1986) Seaworthiness: the forgotten factor, ISBN 0-87742-227-3
- [Marc-97] Marchaj, C. A. (1997) Die Aerodynamik der Segel. Bielefeld: Delius Klasing.
- [Marc-00] Marchaj, C. A. (2000) Aero-hydrodynamics of sailing, ISBN 0-229-98652-8
- [Marc-03] Marchaj, C. A. (2003) Sail performance: techniques to maximize sail power, ISBN 0-07-141310-3
- [Mial-05] B. Mialon, M. Hepperle: "Flying Wing Aerodynamics Studies at ONERA and DLR", CEAS/KATnet Conference on Key Aerodynamic Technologies, 20.-22. Juni 2005, Bremen.
- [Nac-01] Nachtigall, W. (2001) Biomechanik. Braunschweig: Vieweg Verlag.

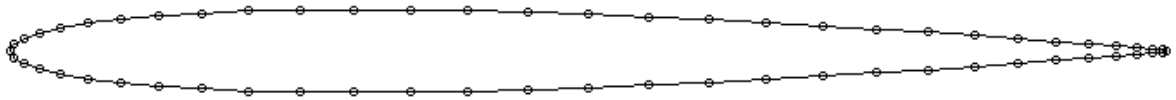
Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

- [Nach-98] Nachtigall, W. : Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1998.
- [Nach-00] Nachtigall, Werner; Blüchel, Kurt. Das große Buch der Bionik. Stuttgart: Deutsche Verlags Anstalt: 2000.
- [PaBe-93] Pahl. G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, 3.Auflage. Berlin- Heidelberg-New York-London-Paris-Tokio: Springer 1993
- [Pflu-96] Pflumm, W. (1996) Biologie der Säugetiere. Berlin: Blackwell Wissenschaftsverlag.
- [Rech-94] Rechenberg, Ingo. Evolutionsstrategie'94. Frommann-Holzog Verlag. Stuttgart: 1994.
- [Schü-02] Schütt, P., Schuck, H-J., Stimm, B. (2002) Lexikon der Baum- und Straucharten. Nikol, Hamburg, ISBN 3-933203-53-8
- [Tho-59] Thompson, D'Arcy, W. (1959) On Growth and Form. London: Cambridge University Press. (Neuaufgabe der Originalschrift 1907)
- [Tho-92] Thompson, D W., (1992). *On Growth and Form*. Dover reprint of 1942 2nd ed. (1st ed., 1917). ISBN 0-486-67135-6
- [Tria-95] Triantafyllou, M.: Effizienter Flossenantrieb für Schwimmroboter. In: Spektrum der Wissenschaft 08-1995, S. 66–73. Spektrum der Wissenschaft- Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg 1995.
- [Zie - 72] Zierep, J. (1972) Ähnlichkeitsgesetze und Modellregeln der Strömungslehre.
- [W-1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Profil> (abgerufen 04042016)
- [W-2] The Airfoil Investigation Database,
<http://www.worldofkrauss.com/foils/578> (abgerufen 04042016)
- [W-3] UIUC Airfoil Coordinates Database, (abgerufen 04042016)
http://www.ae.illinois.edu/m-selig/ads/coord_database.html

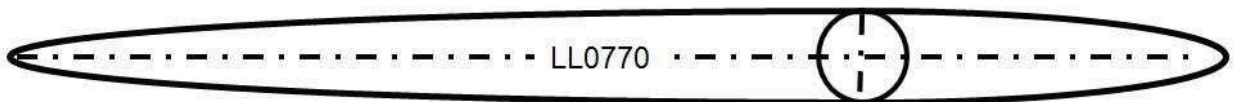
Anhang

Reihenuntersuchungen an Profilen für die Nullfinne

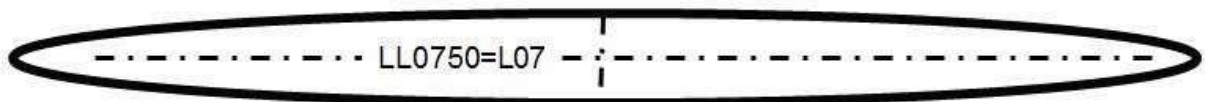
NACA 00 07
Re = 10E6, Wasser



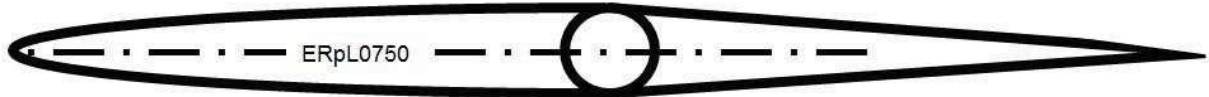
LL0770



LL0750 = L07

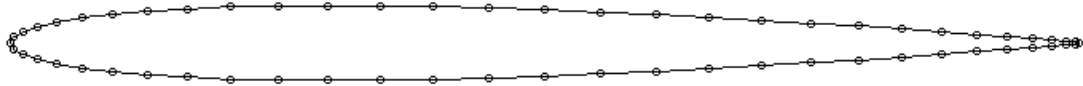


ERpL 0750



α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,196	0,54810	0,004	-29,119	0,150
-18,0	-0,250	0,40079	0,003	-24,432	0,163
-16,0	-0,316	0,25450	0,003	-20,085	0,180
-14,0	-0,391	0,19889	0,002	-16,098	0,199
-12,0	-0,458	0,14205	0,002	-12,492	0,225
-10,0	-0,488	0,10574	0,002	-9,284	0,258
-8,0	-0,456	0,07800	0,001	-6,489	0,303
-6,0	-0,360	0,05635	0,001	-4,121	0,368
-4,0	-0,240	0,04227	0,000	-2,193	0,470
-2,0	-0,136	0,01937	-0,001	-0,944	0,615
-0,0	0,029	0,01569	-0,003	-0,377	0,755
2,0	0,194	0,02084	-0,004	-1,079	0,593
4,0	0,285	0,04448	-0,003	-2,013	0,485
6,0	0,398	0,05960	-0,003	-3,111	0,412
8,0	0,481	0,08230	-0,003	-4,368	0,359
10,0	0,494	0,11256	-0,004	-5,777	0,318
12,0	0,449	0,15393	-0,004	-7,332	0,287
14,0	0,376	0,21330	-0,004	-9,025	0,261
16,0	0,301	0,30655	-0,005	-10,848	0,240
18,0	0,237	0,32131	-0,006	-12,792	0,222
20,0	0,186	0,43144	-0,006	-14,847	0,207

NACA 00 07



α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,169	0,46309	0,003	-34,508	0,138
-18,0	-0,217	0,45260	0,002	-28,932	0,151
-16,0	-0,278	0,32421	0,002	-23,765	0,165
-14,0	-0,351	0,21601	0,002	-19,034	0,184
-12,0	-0,424	0,15120	0,002	-14,760	0,208
-10,0	-0,470	0,10964	0,002	-10,964	0,238
-8,0	-0,458	0,08061	0,001	-7,666	0,281
-6,0	-0,373	0,05816	0,001	-4,881	0,343
-4,0	-0,324	0,02232	0,002	-2,623	0,440
-2,0	-0,165	0,01391	0,001	-0,903	0,623
-0,0	0,000	0,01155	-0,000	-0,241	0,808
2,0	0,165	0,01391	-0,001	-0,878	0,628
4,0	0,324	0,02232	-0,002	-1,868	0,499
6,0	0,373	0,05816	-0,001	-3,059	0,415
8,0	0,458	0,08061	-0,001	-4,445	0,356
10,0	0,470	0,10964	-0,002	-6,020	0,313
12,0	0,424	0,15120	-0,002	-7,774	0,279
14,0	0,351	0,21601	-0,002	-9,701	0,253
16,0	0,278	0,32421	-0,002	-11,790	0,231
18,0	0,217	0,45260	-0,002	-14,032	0,213
20,0	0,169	0,46309	-0,003	-17,958	0,190

ERpL0770



α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,157	0,42831	0,006	-31,935	0,144
-18,0	-0,203	0,33527	0,006	-26,865	0,155
-16,0	-0,263	0,29651	0,005	-22,157	0,171
-14,0	-0,336	0,21052	0,004	-17,833	0,190
-12,0	-0,410	0,14557	0,003	-13,915	0,214
-10,0	-0,459	0,11022	0,003	-10,421	0,244
-8,0	-0,449	0,08190	0,002	-7,369	0,286
-6,0	-0,364	0,05791	0,002	-4,774	0,346
-4,0	-0,249	0,04248	0,001	-2,648	0,439
-2,0	-0,148	0,01602	-0,000	-1,001	0,606
-0,0	0,017	0,01117	-0,002	-0,429	0,737
2,0	0,183	0,01890	-0,005	-1,030	0,601
4,0	0,275	0,04345	-0,003	-1,929	0,493
6,0	0,387	0,05997	-0,004	-2,984	0,419
8,0	0,456	0,08329	-0,004	-4,190	0,365
10,0	0,452	0,11503	-0,004	-5,541	0,324
12,0	0,395	0,16387	-0,005	-7,030	0,292
14,0	0,319	0,21941	-0,006	-8,650	0,267
16,0	0,249	0,26413	-0,007	-10,393	0,245
18,0	0,192	0,34120	-0,007	-12,251	0,227
20,0	0,149	0,40416	-0,008	-15,117	0,205

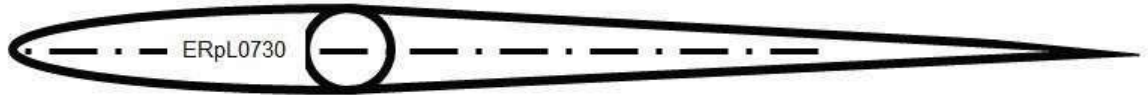
Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

NACA 00 07



α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]		Cp* [-]	M krit.
-8,0	-0,458	0,08061		0,001	-7,666	0,281
-6,0	-0,373	0,05816		0,001	-4,881	0,343
-4,0	-0,324	0,02232		0,002	-2,623	0,440
-2,0	-0,165	0,01391		0,001	-0,903	0,623
-0,0	0,000	0,01155		-0,000	-0,241	0,808
2,0	0,165	0,01391		-0,001	-0,878	0,628
4,0	0,324	0,02232		-0,002	-1,868	0,499
6,0	0,373	0,05816		-0,001	-3,059	0,415
8,0	0,458	0,08061		-0,001	-4,445	0,356
10,0	0,470	0,10964		-0,002	-6,020	0,313
12,0	0,424	0,15120		-0,002	-7,774	0,279
14,0	0,351	0,21601		-0,002	-9,701	0,253
16,0	0,278	0,32421		-0,002	-11,790	0,231
18,0	0,217	0,45260		-0,002	-14,032	0,213
20,0	0,169	0,46309		-0,003	-17,958	0,190

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen



α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,297	0,36738	0,001	-26,730	0,156
-18,0	-0,364	0,30575	0,001	-22,362	0,170
-16,0	-0,440	0,21815	0,001	-18,316	0,188
-14,0	-0,510	0,17522	0,001	-14,612	0,209
-12,0	-0,553	0,13068	0,001	-11,268	0,235
-10,0	-0,546	0,10037	0,001	-8,301	0,271
-8,0	-0,473	0,07596	0,000	-5,724	0,320
-6,0	-0,368	0,05546	0,000	-3,551	0,391
-4,0	-0,302	0,02087	-0,000	-1,855	0,500
-2,0	-0,138	0,01452	-0,001	-0,912	0,621
-0,0	0,028	0,01311	-0,002	-0,413	0,743
2,0	0,194	0,01722	-0,003	-1,066	0,595
4,0	0,289	0,04182	-0,002	-2,033	0,484
6,0	0,408	0,05684	-0,002	-3,176	0,409
8,0	0,505	0,07803	-0,002	-4,489	0,355
10,0	0,565	0,10630	-0,002	-5,967	0,314
12,0	0,558	0,13458	-0,003	-7,602	0,282
14,0	0,505	0,18363	-0,003	-9,387	0,257
16,0	0,430	0,21829	-0,003	-11,311	0,235
18,0	0,353	0,31463	-0,003	-13,367	0,218
20,0	0,287	0,42820	-0,003	-15,544	0,202

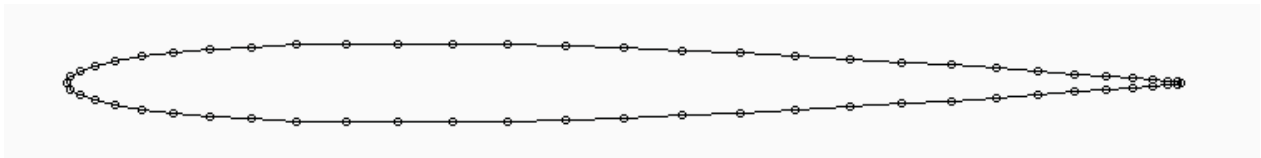
Horten 07 00



α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]		Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,158	0,43937	0,003	-34,317		0,138
-18,0	-0,204	0,36201	0,002	-28,764		0,151
-16,0	-0,263	0,28200	0,002	-23,619		0,166
-14,0	-0,334	0,22497	0,002	-18,909		0,185
-12,0	-0,408	0,15215	0,001	-14,655		0,208
-10,0	-0,458	0,11095	0,001	-10,878		0,239
-8,0	-0,451	0,07844	0,001	-7,598		0,282
-6,0	-0,372	0,05577	0,001	-4,829		0,345
-4,0	-0,323	0,02024	0,002	-2,585		0,443
-2,0	-0,164	0,01196	0,001	-0,878		0,628
-0,0	-0,000	0,00909	-0,000	-0,248		0,806
2,0	0,164	0,01196	-0,001	-0,852		0,633
4,0	0,323	0,02025	-0,002	-1,833		0,501
6,0	0,372	0,05577	-0,001	-3,014		0,418
8,0	0,451	0,07844	-0,001	-4,389		0,358
10,0	0,458	0,11095	-0,001	-5,951		0,314
12,0	0,408	0,15215	-0,001	-7,693		0,280
14,0	0,334	0,22497	-0,002	-9,605		0,254
16,0	0,263	0,28200	-0,002	-11,679		0,231
18,0	0,204	0,36201	-0,002	-13,905		0,214
20,0	0,158	0,43937	-0,003	-17,955		0,190

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

NACA 00 07 Re 10^6



1,00000000	0,00073500
0,99726095	0,00095881
0,98907380	0,00162328
0,97552826	0,00270811
0,95677273	0,00418111
0,93301270	0,00600036
0,90450850	0,00811669
0,87157241	0,01047610
0,83456530	0,01302165
0,79389263	0,01569468
0,75000000	0,01843512
0,70336832	0,02118117
0,65450850	0,02386849
0,60395585	0,02642932
0,55226423	0,02879209
0,50000000	0,03088181
0,44773577	0,03262161
0,39604415	0,03393545
0,34549150	0,03475192
0,29663168	0,03500872
0,25000000	0,03465725
0,20610737	0,03366658
0,16543470	0,03202630
0,12842759	0,02974755
0,09549150	0,02686188
0,06698730	0,02341803
0,04322727	0,01947678
0,02447174	0,01510443
0,01092620	0,01036567
0,00273905	0,00531678
0,00000000	0,00000000
0,00273905	-0,00531678
0,01092620	-0,01036567
0,02447174	-0,01510443
0,04322727	-0,01947678
0,06698730	-0,02341803
0,09549150	-0,02686188
0,12842759	-0,02974755
0,16543470	-0,03202630
0,20610737	-0,03366658

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,25000000	-0,03465725
0,29663168	-0,03500872
0,34549150	-0,03475192
0,39604415	-0,03393545
0,44773577	-0,03262161
0,50000000	-0,03088181
0,55226423	-0,02879209
0,60395585	-0,02642932
0,65450850	-0,02386849
0,70336832	-0,02118117
0,75000000	-0,01843512
0,79389263	-0,01569468
0,83456530	-0,01302165
0,87157241	-0,01047610
0,90450850	-0,00811669
0,93301270	-0,00600036
0,95677273	-0,00418111
0,97552826	-0,00270811
0,98907380	-0,00162328
0,99726095	-0,00095881
1,00000000	-0,00073500

Mit $\alpha = 0^\circ$

Ausserdem $C_p = 1 - (v/V)^2$

x/t	y/t	v/V
1,00000	0,00073	0,30931
0,99726	0,00096	0,96897
0,98907	0,00162	0,93661
0,97553	0,00271	0,95155
0,95677	0,00418	0,96580
0,93301	0,00600	0,97825
0,90451	0,00812	0,98917
0,87157	0,01048	0,99892
0,83457	0,01302	1,00781
0,79389	0,01569	1,01608
0,75000	0,01844	1,02393
0,70337	0,02118	1,03156
0,65451	0,02387	1,03910
0,60396	0,02643	1,04664
0,55226	0,02879	1,05425
0,50000	0,03088	1,06193
0,44774	0,03262	1,06964
0,39604	0,03394	1,07729
0,34549	0,03475	1,08475

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,29663	0,03501	1,09184
0,25000	0,03466	1,09837
0,20611	0,03367	1,10413
0,16543	0,03203	1,10889
0,12843	0,02975	1,11236
0,09549	0,02686	1,11413
0,06699	0,02342	1,11337
0,04323	0,01948	1,10809
0,02447	0,01510	1,09236
0,01093	0,01037	1,04526
0,00274	0,00532	0,85390
0,00000	0,00000	0,00000
0,00274	-0,00532	0,85390
0,01093	-0,01037	1,04526
0,02447	-0,01510	1,09236
0,04323	-0,01948	1,10809
0,06699	-0,02342	1,11337
0,09549	-0,02686	1,11413
0,12843	-0,02975	1,11236
0,16543	-0,03203	1,10889
0,20611	-0,03367	1,10413
0,25000	-0,03466	1,09837
0,29663	-0,03501	1,09184
0,34549	-0,03475	1,08475
0,39604	-0,03394	1,07729
0,44774	-0,03262	1,06964
0,50000	-0,03088	1,06193
0,55226	-0,02879	1,05425
0,60396	-0,02643	1,04664
0,65451	-0,02387	1,03910
0,70337	-0,02118	1,03156
0,75000	-0,01844	1,02393
0,79389	-0,01569	1,01608
0,83457	-0,01302	1,00781
0,87157	-0,01048	0,99892
0,90451	-0,00812	0,98917
0,93301	-0,00600	0,97825
0,95677	-0,00418	0,96580
0,97553	-0,00271	0,95155
0,98907	-0,00162	0,93661
0,99726	-0,00096	0,96897
1,00000	-0,00073	0,30931

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

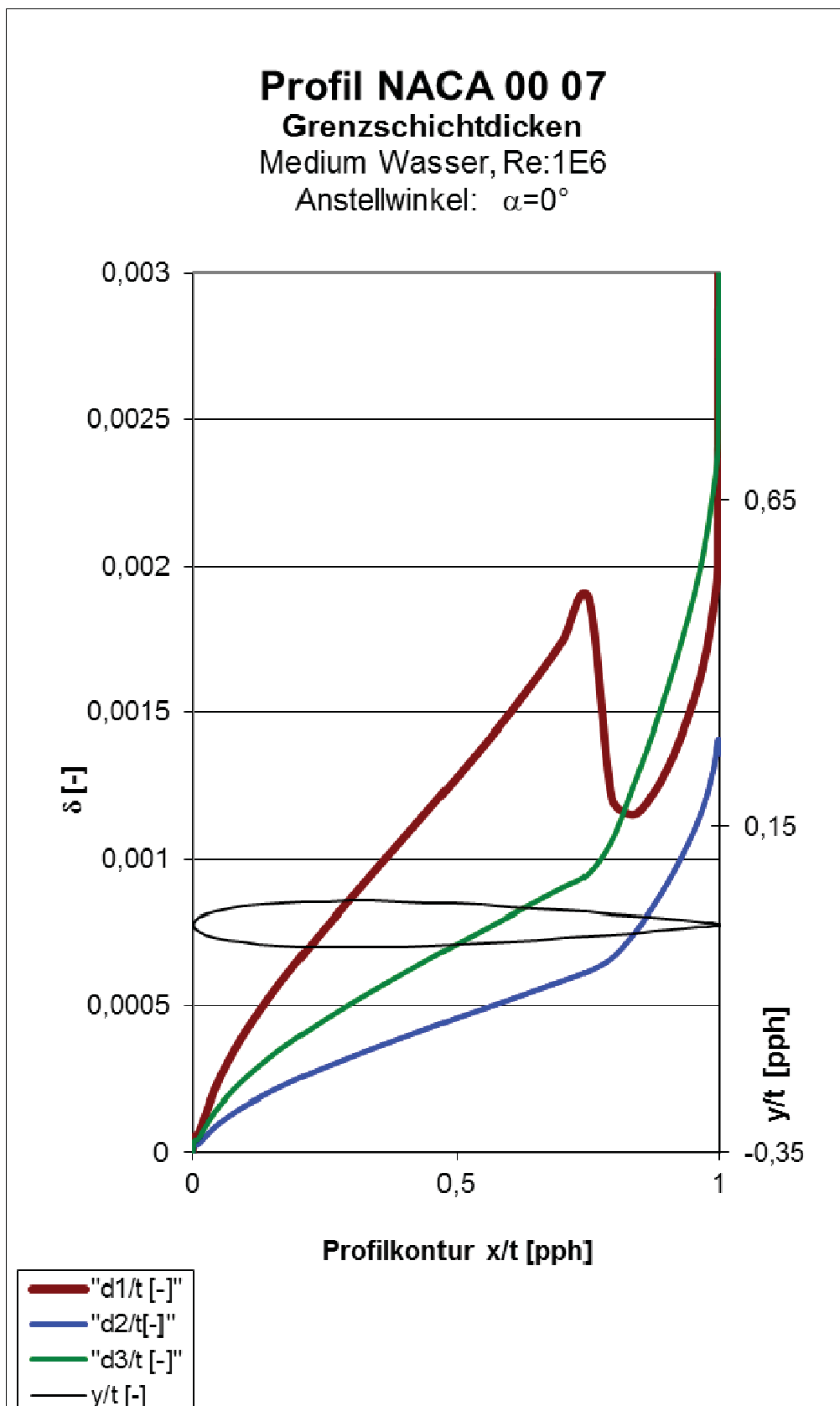
$$-20 < \alpha < 20$$

α [°]	C_a [-]	C_w [-]	C_m 0.25 [-]	C_p^* [-]	M krit.
-20,0	-0,169	0,46309	0,003	-34,508	0,138
-18,0	-0,217	0,45260	0,002	-28,932	0,151
-16,0	-0,278	0,32421	0,002	-23,765	0,165
-14,0	-0,351	0,21601	0,002	-19,034	0,184
-12,0	-0,424	0,15120	0,002	-14,760	0,208
-10,0	-0,470	0,10964	0,002	-10,964	0,238
-8,0	-0,458	0,08061	0,001	-7,666	0,281
-6,0	-0,373	0,05816	0,001	-4,881	0,343
-4,0	-0,324	0,02232	0,002	-2,623	0,440
-2,0	-0,165	0,01391	0,001	-0,903	0,623
-0,0	0,000	0,01155	-0,000	-0,241	0,808
2,0	0,165	0,01391	-0,001	-0,878	0,628
4,0	0,324	0,02232	-0,002	-1,868	0,499
6,0	0,373	0,05816	-0,001	-3,059	0,415
8,0	0,458	0,08061	-0,001	-4,445	0,356
10,0	0,470	0,10964	-0,002	-6,020	0,313
12,0	0,424	0,15120	-0,002	-7,774	0,279
14,0	0,351	0,21601	-0,002	-9,701	0,253
16,0	0,278	0,32421	-0,002	-11,790	0,231
18,0	0,217	0,45260	-0,002	-14,032	0,213
20,0	0,169	0,46309	-0,003	-17,958	0,190

Alfa = 10

NACA 00 07 Re 10⁶ Grenzschicht 0°

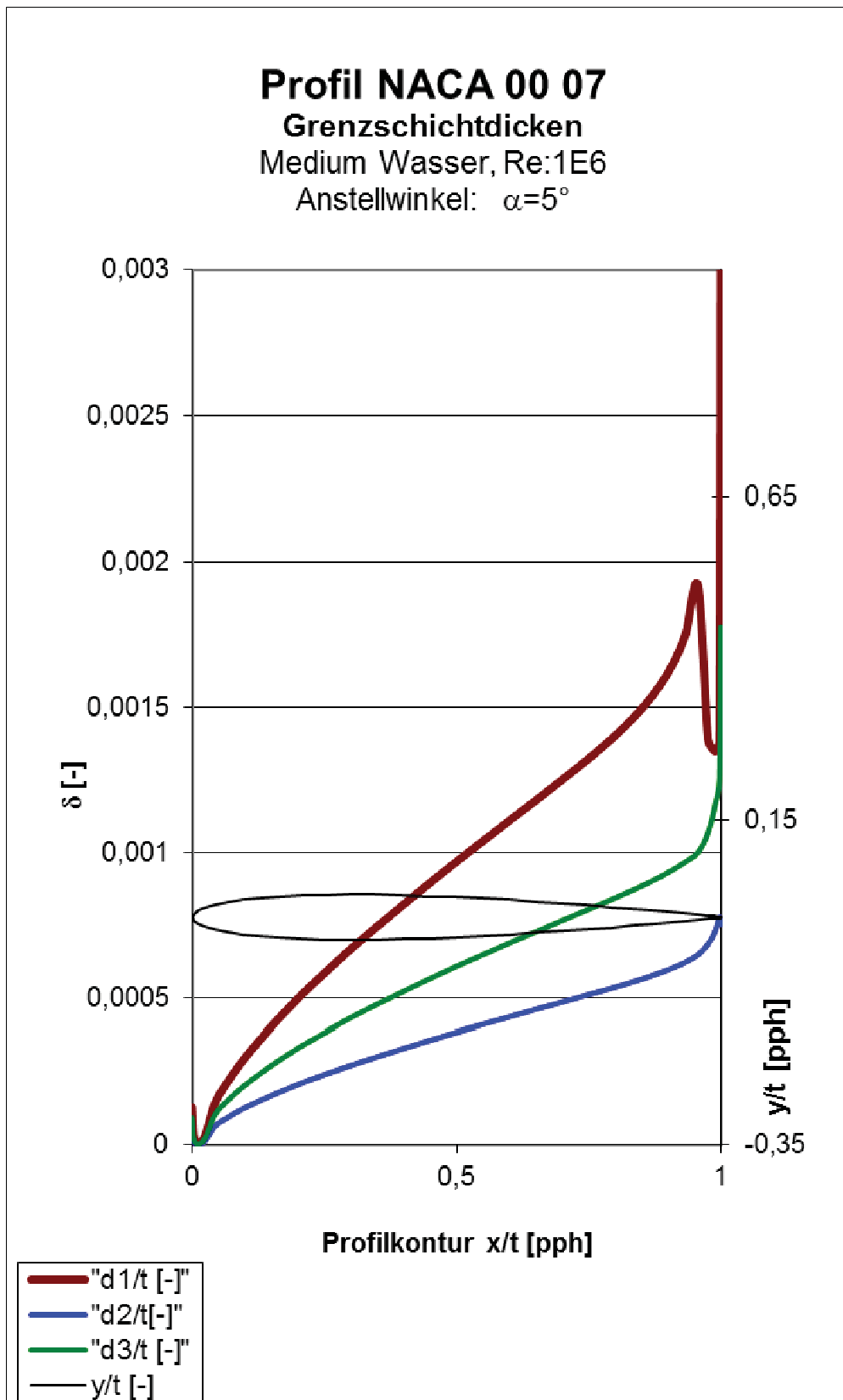
x/l	y/l	v/V	δ_1	δ_2	δ_3	Re δ_2	C _f	H ₁₂	H ₃₂	Zust.	y1
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]
1,0000	0,0007	0,3093	0,008690	0,001362	0,004557	421,4	0,0000	6,3783	3,3452	turb.	0,0000
0,9973	0,0010	0,9690	0,002030	0,001411	0,002428	1321,7	0,0034	1,4387	1,7203	turb.	0,0024
0,9891	0,0016	0,9366	0,001868	0,001314	0,002269	1249,9	0,0036	1,4222	1,7271	turb.	0,0024
0,9755	0,0027	0,9516	0,001715	0,001215	0,002105	1173,8	0,0037	1,4115	1,7317	turb.	0,0023
0,9568	0,0042	0,9658	0,001577	0,001120	0,001941	1095,6	0,0038	1,4078	1,7333	turb.	0,0023
0,9330	0,0060	0,9783	0,001450	0,001027	0,001779	1015,7	0,0038	1,4116	1,7317	turb.	0,0023
0,9045	0,0081	0,9892	0,001326	0,000930	0,001605	928,9	0,0038	1,4264	1,7255	turb.	0,0023
0,8716	0,0105	0,9989	0,001220	0,000834	0,001427	840,5	0,0036	1,4624	1,7111	turb.	0,0023
0,8346	0,0130	1,0078	0,001152	0,000742	0,001247	754,4	0,0032	1,5515	1,6788	turb.	0,0025
0,7939	0,0157	1,0161	0,001209	0,000663	0,001062	678,6	0,0021	1,8242	1,6024	turb.	0,0031
0,7500	0,0184	1,0239	0,001890	0,000618	0,000949	637,2	0,0003	3,0594	1,5363	lam.	0,0076
0,7034	0,0212	1,0316	0,001748	0,000586	0,000903	609,1	0,0004	2,9813	1,5407	lam.	0,0070
0,6545	0,0239	1,0391	0,001622	0,000555	0,000857	580,7	0,0005	2,9236	1,5443	lam.	0,0065
0,6040	0,0264	1,0466	0,001502	0,000522	0,000809	550,8	0,0005	2,8753	1,5477	lam.	0,0061
0,5523	0,0288	1,0543	0,001389	0,000490	0,000760	520,4	0,0006	2,8340	1,5508	lam.	0,0058
0,5000	0,0309	1,0619	0,001277	0,000457	0,000710	488,7	0,0007	2,7962	1,5538	lam.	0,0054
0,4477	0,0326	1,0696	0,001169	0,000423	0,000659	456,0	0,0008	2,7613	1,5567	lam.	0,0051
0,3960	0,0339	1,0773	0,001063	0,000389	0,000607	422,4	0,0009	2,7290	1,5595	lam.	0,0048
0,3455	0,0348	1,0847	0,000959	0,000355	0,000555	387,8	0,0010	2,6989	1,5622	lam.	0,0045
0,2966	0,0350	1,0918	0,000858	0,000321	0,000503	352,9	0,0011	2,6718	1,5648	lam.	0,0042
0,2500	0,0347	1,0984	0,000763	0,000288	0,000451	318,0	0,0013	2,6475	1,5671	lam.	0,0039
0,2061	0,0337	1,1041	0,000668	0,000255	0,000399	282,3	0,0015	2,6255	1,5692	lam.	0,0037
0,1654	0,0320	1,1089	0,000576	0,000221	0,000348	246,1	0,0018	2,6049	1,5712	lam.	0,0034
0,1284	0,0297	1,1124	0,000484	0,000187	0,000295	208,8	0,0021	2,5833	1,5735	lam.	0,0031
0,0955	0,0269	1,1141	0,000396	0,000155	0,000244	172,4	0,0027	2,5608	1,5761	lam.	0,0027
0,0670	0,0234	1,1134	0,000307	0,000122	0,000192	134,8	0,0036	2,5266	1,5802	lam.	0,0024
0,0432	0,0195	1,1081	0,000218	0,000089	0,000141	96,9	0,0055	2,4622	1,5883	lam.	0,0019
0,0245	0,0151	1,0924	0,000128	0,000055	0,000089	58,1	0,0111	2,3173	1,6079	lam.	0,0013
0,0109	0,0104	1,0453	0,000065	0,000029	0,000047	18,1	0,0395	2,2352	1,6202	lam.	0,0007
0,0027	0,0053	0,8539	0,000054	0,000024	0,000039	2,1	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0000	0,0000	0,0000	0,000001	0,000000	0,000001	0,0	0,0000	2,2364	1,6200	lam.	0,0000
0,0027	-0,0053	0,8539	0,000054	0,000024	0,000039	2,1	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0109	-0,0104	1,0453	0,000065	0,000029	0,000047	18,1	0,0395	2,2352	1,6202	lam.	0,0007
0,0245	-0,0151	1,0924	0,000128	0,000055	0,000089	58,1	0,0111	2,3173	1,6079	lam.	0,0013
0,0432	-0,0195	1,1081	0,000218	0,000089	0,000141	96,9	0,0055	2,4622	1,5883	lam.	0,0019
0,0670	-0,0234	1,1134	0,000307	0,000122	0,000192	134,8	0,0036	2,5266	1,5802	lam.	0,0024
0,0955	-0,0269	1,1141	0,000396	0,000155	0,000244	172,4	0,0027	2,5608	1,5761	lam.	0,0027
0,1284	-0,0297	1,1124	0,000484	0,000187	0,000295	208,8	0,0021	2,5833	1,5735	lam.	0,0031
0,1654	-0,0320	1,1089	0,000576	0,000221	0,000348	246,1	0,0018	2,6049	1,5712	lam.	0,0034
0,2061	-0,0337	1,1041	0,000668	0,000255	0,000399	282,3	0,0015	2,6255	1,5692	lam.	0,0037
0,2500	-0,0347	1,0984	0,000763	0,000288	0,000451	318,0	0,0013	2,6475	1,5671	lam.	0,0039
0,2966	-0,0350	1,0918	0,000858	0,000321	0,000503	352,9	0,0011	2,6718	1,5648	lam.	0,0042
0,3455	-0,0348	1,0847	0,000959	0,000355	0,000555	387,8	0,0010	2,6989	1,5622	lam.	0,0045
0,3960	-0,0339	1,0773	0,001063	0,000389	0,000607	422,4	0,0009	2,7290	1,5595	lam.	0,0048
0,4477	-0,0326	1,0696	0,001169	0,000423	0,000659	456,0	0,0008	2,7613	1,5567	lam.	0,0051
0,5000	-0,0309	1,0619	0,001277	0,000457	0,000710	488,7	0,0007	2,7962	1,5538	lam.	0,0054
0,5523	-0,0288	1,0543	0,001389	0,000490	0,000760	520,4	0,0006	2,8340	1,5508	lam.	0,0058
0,6040	-0,0264	1,0466	0,001502	0,000522	0,000809	550,8	0,0005	2,8753	1,5477	lam.	0,0061
0,6545	-0,0239	1,0391	0,001622	0,000555	0,000857	580,7	0,0005	2,9236	1,5443	lam.	0,0065
0,7034	-0,0212	1,0316	0,001748	0,000586	0,000903	609,1	0,0004	2,9813	1,5407	lam.	0,0070
0,7500	-0,0184	1,0239	0,001890	0,000618	0,000949	637,2	0,0003	3,0594	1,5363	lam.	0,0076
0,7939	-0,0157	1,0161	0,001209	0,000663	0,001062	678,6	0,0021	1,8242	1,6024	turb.	0,0031
0,8346	-0,0130	1,0078	0,001152	0,000742	0,001247	754,4	0,0032	1,5515	1,6788	turb.	0,0025
0,8716	-0,0105	0,9989	0,001220	0,000834	0,001427	840,5	0,0036	1,4624	1,7111	turb.	0,0023
0,9045	-0,0081	0,9892	0,001326	0,000930	0,001605	928,9	0,0038	1,4264	1,7255	turb.	0,0023
0,9330	-0,0060	0,9783	0,001450	0,001027	0,001779	1015,7	0,0038	1,4116	1,7317	turb.	0,0023
0,9568	-0,0042	0,9658	0,001577	0,001120	0,001941	1095,6	0,0038	1,4078	1,7333	turb.	0,0023
0,9755	-0,0027	0,9516	0,001715	0,001215	0,002105	1173,8	0,0037	1,4115	1,7317	turb.	0,0023
0,9891	-0,0016	0,9366	0,001868	0,001314	0,002269	1249,9	0,0036	1,4222	1,7271	turb.	0,0024
0,9973	-0,0010	0,9690	0,002030	0,001411	0,002428	1321,7	0,0034	1,4387	1,7203	turb.	0,0024
1,0000	-0,0007	0,3093	0,008690	0,001362	0,004557	421,4	0,0000	6,3783	3,3452	turb.	0,0000



Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

NACA 00 07 Re 10⁶ Grenzschicht 05°

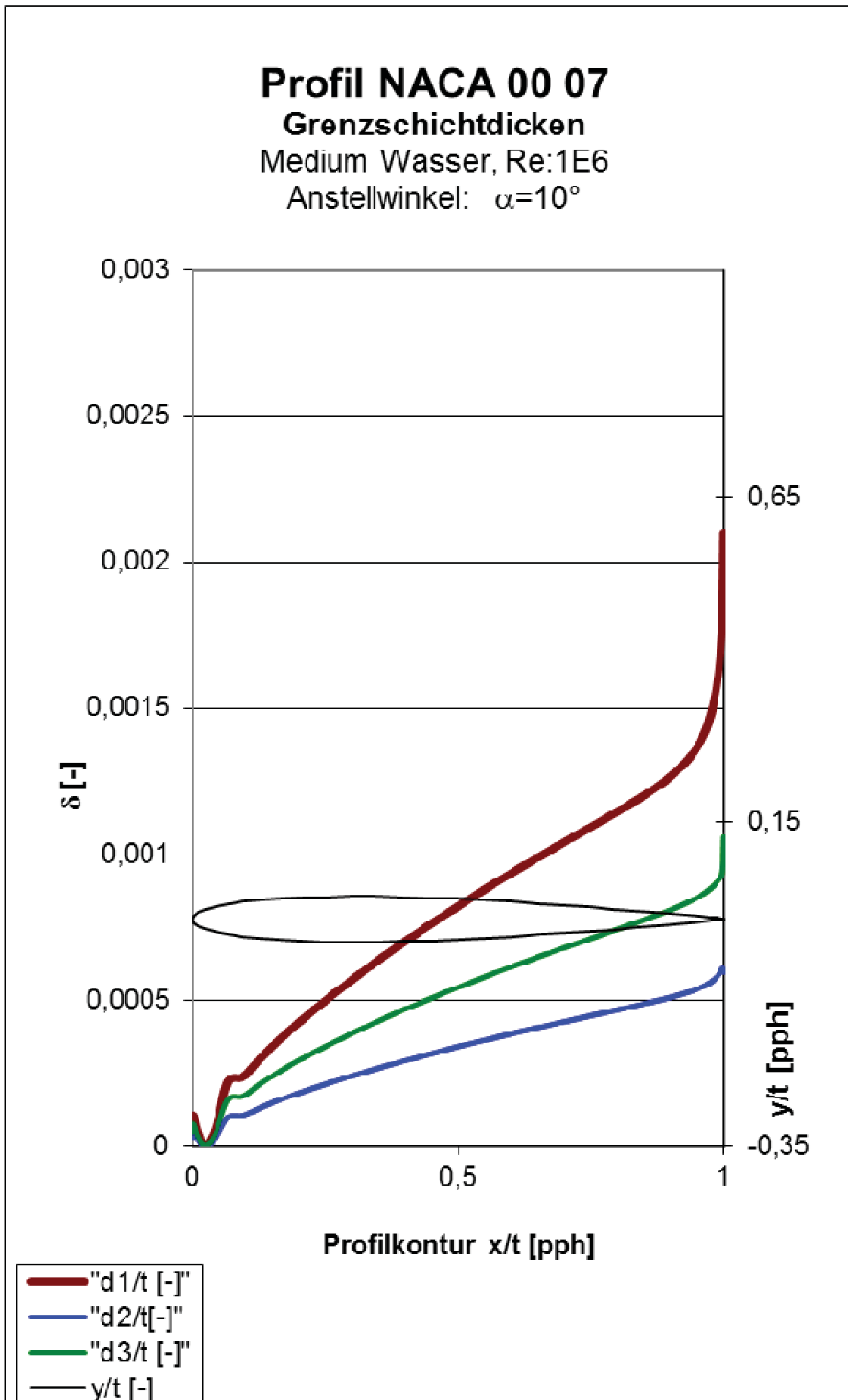
x/l	y/l	v/V	δ_1	δ_2	δ_3	Re δ_2	C _f	H ₁₂	H ₃₂	Zust.	y1
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]
1,0000	0,0007	0,3081	0,023915	0,004687	0,012698	1444,2	0,0000	5,1027	2,7094	turb.	0,0000
0,9973	0,0010	0,9711	0,007616	0,004868	0,008147	4580,1	0,0021	1,5646	1,6738	turb.	0,0031
0,9891	0,0016	0,9417	0,006840	0,004506	0,007615	4329,1	0,0023	1,5180	1,6900	turb.	0,0030
0,9755	0,0027	0,9608	0,006234	0,004200	0,007151	4112,2	0,0024	1,4843	1,7025	turb.	0,0029
0,9568	0,0042	0,9794	0,005718	0,003920	0,006713	3906,7	0,0026	1,4586	1,7124	turb.	0,0028
0,9330	0,0060	0,9965	0,005304	0,003681	0,006330	3725,8	0,0027	1,4407	1,7195	turb.	0,0027
0,9045	0,0081	1,0123	0,004929	0,003454	0,005958	3547,6	0,0028	1,4272	1,7251	turb.	0,0027
0,8716	0,0105	1,0272	0,004596	0,003243	0,005607	3377,6	0,0029	1,4174	1,7292	turb.	0,0026
0,8346	0,0130	1,0416	0,004292	0,003043	0,005271	3211,7	0,0029	1,4104	1,7322	turb.	0,0026
0,7939	0,0157	1,0556	0,003999	0,002846	0,004936	3043,4	0,0030	1,4052	1,7344	turb.	0,0026
0,7500	0,0184	1,0696	0,003714	0,002649	0,004599	2871,6	0,0030	1,4017	1,7359	turb.	0,0026
0,7034	0,0212	1,0839	0,003439	0,002457	0,004268	2699,6	0,0031	1,3994	1,7369	turb.	0,0025
0,6545	0,0239	1,0985	0,003173	0,002269	0,003943	2527,1	0,0032	1,3981	1,7375	turb.	0,0025
0,6040	0,0264	1,1139	0,002905	0,002078	0,003612	2348,6	0,0032	1,3977	1,7376	turb.	0,0025
0,5523	0,0288	1,1300	0,002648	0,001894	0,003291	2172,3	0,0033	1,3981	1,7375	turb.	0,0025
0,5000	0,0309	1,1471	0,002394	0,001711	0,002972	1993,5	0,0033	1,3993	1,7370	turb.	0,0025
0,4477	0,0326	1,1654	0,002147	0,001532	0,002660	1815,1	0,0034	1,4014	1,7361	turb.	0,0024
0,3960	0,0339	1,1850	0,001908	0,001359	0,002357	1638,5	0,0035	1,4046	1,7347	turb.	0,0024
0,3455	0,0348	1,2061	0,001677	0,001190	0,002062	1462,7	0,0035	1,4091	1,7327	turb.	0,0024
0,2966	0,0350	1,2290	0,001459	0,001031	0,001784	1293,0	0,0036	1,4154	1,7301	turb.	0,0024
0,2500	0,0347	1,2541	0,001256	0,000882	0,001522	1130,0	0,0036	1,4238	1,7265	turb.	0,0023
0,2061	0,0337	1,2820	0,001058	0,000737	0,001269	968,6	0,0037	1,4356	1,7217	turb.	0,0023
0,1654	0,0320	1,3138	0,000879	0,000605	0,001039	817,6	0,0037	1,4512	1,7154	turb.	0,0023
0,1284	0,0297	1,3513	0,000708	0,000481	0,000820	670,9	0,0038	1,4728	1,7070	turb.	0,0023
0,0955	0,0269	1,3972	0,000546	0,000363	0,000615	528,7	0,0038	1,5045	1,6951	turb.	0,0023
0,0670	0,0234	1,4566	0,000401	0,000258	0,000433	397,0	0,0037	1,5529	1,6780	turb.	0,0023
0,0432	0,0195	1,5383	0,000274	0,000168	0,000277	277,1	0,0035	1,6348	1,6517	turb.	0,0024
0,0245	0,0151	1,6594	0,000169	0,000089	0,000141	165,0	0,0026	1,9043	1,5840	turb.	0,0028
0,0109	0,0104	1,8544	0,000082	0,000036	0,000057	77,0	0,0087	2,2909	1,6119	lam.	0,0015
0,0027	0,0053	2,1647	0,000066	0,000030	0,000048	31,7	0,0229	2,2226	1,6222	lam.	0,0009
0,0000	0,0000	1,8424	0,000129	0,000058	0,000093	26,7	0,0264	2,2455	1,6185	lam.	0,0009
0,0027	-0,0053	0,4634	0,000031	0,000014	0,000023	3,4	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0109	-0,0104	0,2281	0,000001	0,000000	0,000001	0,0	0,0000	2,2364	1,6200	lam.	0,0000
0,0245	-0,0151	0,5170	0,000031	0,000014	0,000023	3,3	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0432	-0,0195	0,6694	0,000143	0,000064	0,000104	33,1	0,0214	2,2410	1,6193	lam.	0,0010
0,0670	-0,0234	0,7617	0,000216	0,000094	0,000152	63,7	0,0106	2,2812	1,6131	lam.	0,0014
0,0955	-0,0269	0,8226	0,000288	0,000124	0,000199	94,4	0,0067	2,3252	1,6066	lam.	0,0017
0,1284	-0,0297	0,8650	0,000360	0,000152	0,000244	125,4	0,0048	2,3606	1,6016	lam.	0,0020
0,1654	-0,0320	0,8955	0,000434	0,000182	0,000291	157,4	0,0037	2,3880	1,5979	lam.	0,0023
0,2061	-0,0337	0,9179	0,000510	0,000212	0,000338	189,7	0,0030	2,4108	1,5948	lam.	0,0026
0,2500	-0,0347	0,9343	0,000585	0,000241	0,000383	220,9	0,0025	2,4320	1,5920	lam.	0,0028
0,2966	-0,0350	0,9464	0,000663	0,000270	0,000430	252,6	0,0021	2,4509	1,5895	lam.	0,0031
0,3455	-0,0348	0,9551	0,000739	0,000299	0,000475	283,5	0,0018	2,4689	1,5873	lam.	0,0033
0,3960	-0,0339	0,9614	0,000816	0,000328	0,000520	313,4	0,0016	2,4860	1,5851	lam.	0,0035
0,4477	-0,0326	0,9657	0,000893	0,000357	0,000565	342,9	0,0015	2,5022	1,5831	lam.	0,0037
0,5000	-0,0309	0,9686	0,000969	0,000385	0,000609	371,8	0,0013	2,5174	1,5813	lam.	0,0039
0,5523	-0,0288	0,9705	0,001043	0,000412	0,000651	399,0	0,0012	2,5314	1,5796	lam.	0,0041
0,6040	-0,0264	0,9715	0,001116	0,000438	0,000692	425,4	0,0011	2,5449	1,5780	lam.	0,0043
0,6545	-0,0239	0,9717	0,001186	0,000464	0,000731	450,5	0,0010	2,5579	1,5764	lam.	0,0044
0,7034	-0,0212	0,9714	0,001256	0,000488	0,000769	474,5	0,0010	2,5713	1,5749	lam.	0,0046
0,7500	-0,0184	0,9704	0,001323	0,000512	0,000805	497,1	0,0009	2,5859	1,5732	lam.	0,0047
0,7939	-0,0157	0,9688	0,001392	0,000534	0,000839	518,4	0,0008	2,6062	1,5711	lam.	0,0049
0,8346	-0,0130	0,9664	0,001464	0,000556	0,000872	538,7	0,0008	2,6326	1,5685	lam.	0,0051
0,8716	-0,0105	0,9630	0,001542	0,000578	0,000904	558,4	0,0007	2,6689	1,5650	lam.	0,0053
0,9045	-0,0081	0,9585	0,001633	0,000600	0,000936	577,7	0,0006	2,7221	1,5601	lam.	0,0056
0,9330	-0,0060	0,9525	0,001749	0,000623	0,000968	597,5	0,0005	2,8059	1,5530	lam.	0,0060
0,9568	-0,0042	0,9448	0,001916	0,000649	0,001001	618,3	0,0004	2,9521	1,5424	lam.	0,0069
0,9755	-0,0027	0,9351	0,001390	0,000685	0,001068	646,6	0,0016	2,0311	1,5596	turb.	0,0036
0,9891	-0,0016	0,9244	0,001348	0,000729	0,001164	681,7	0,0020	1,8491	1,5965	turb.	0,0031
0,9973	-0,0010	0,9594	0,001381	0,000777	0,001253	717,9	0,0022	1,7778	1,6132	turb.	0,0030
1,0000	-0,0007	0,3081	0,003455	0,000753	0,001775	232,0	0,0000	4,5893	2,3580	turb.	0,0000

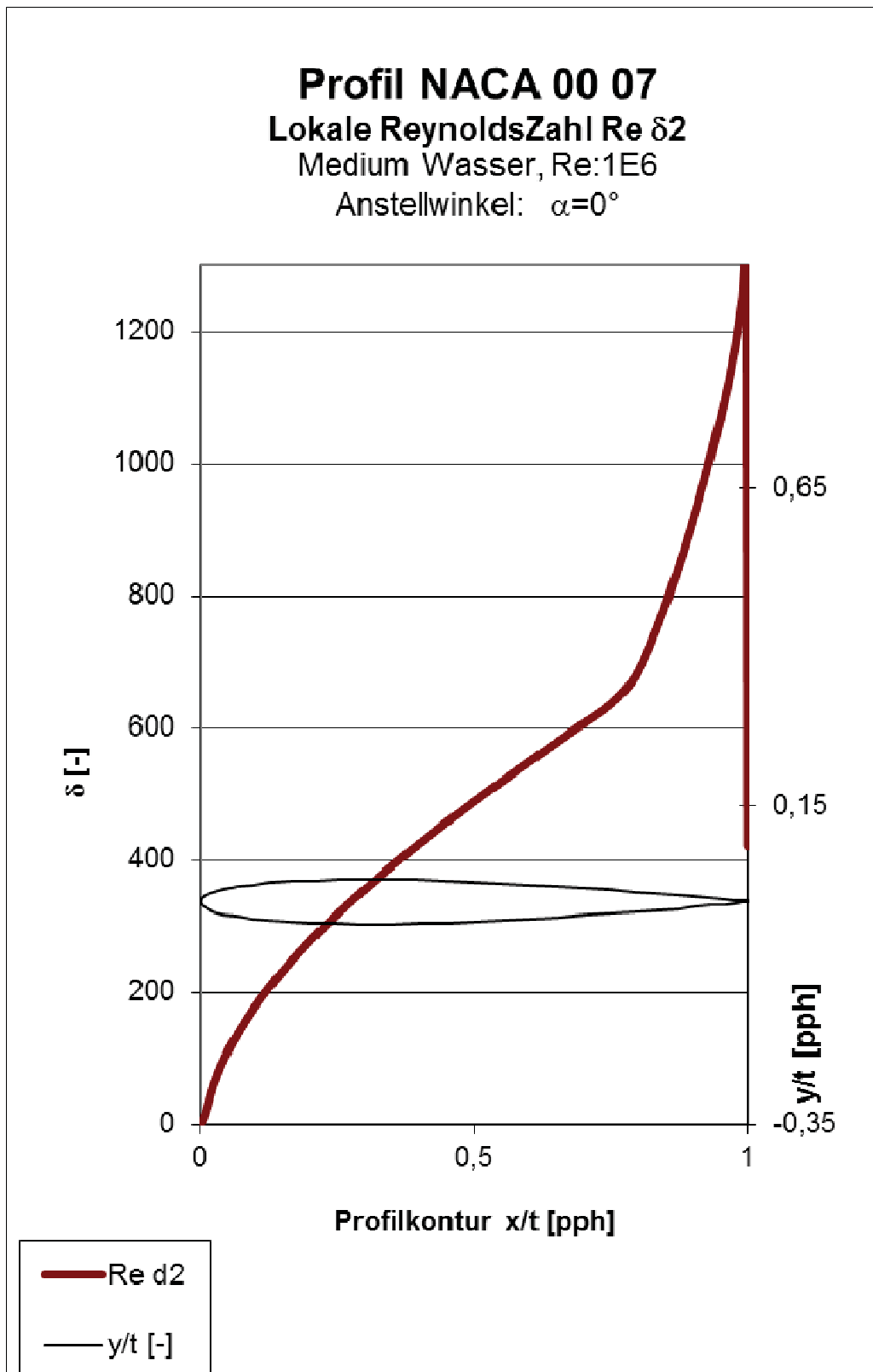


Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

NACA 00 07 Re 10⁶ Grenzschicht 10°

x/l	y/l	v/V	δ_1	δ_2	δ_3	Reδ_2	C_f	H_12	H_32	Zust.	y1
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]
1,0000	0,0007	0,3046	0,000267	0,007737	0,000140	2356,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9973	0,0010	0,9659	0,000267	0,007737	0,000140	7473,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9891	0,0016	0,9397	0,000267	0,007737	0,000140	7270,4	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9755	0,0027	0,9627	0,000267	0,007737	0,000140	7448,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9568	0,0042	0,9856	0,000267	0,007737	0,000140	7625,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9330	0,0060	1,0072	0,000267	0,007737	0,000140	7793,2	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9045	0,0081	1,0278	0,000267	0,007737	0,000140	7952,5	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,8716	0,0105	1,0478	0,000267	0,007737	0,000140	8106,8	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,8346	0,0130	1,0674	0,000267	0,007737	0,000140	8259,0	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,7939	0,0157	1,0871	0,000267	0,007737	0,000140	8411,5	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,7500	0,0184	1,1072	0,000267	0,007737	0,000140	8566,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,7034	0,0212	1,1279	0,000267	0,007737	0,000140	8727,1	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,6545	0,0239	1,1496	0,000267	0,007737	0,000140	8895,0	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,6040	0,0264	1,1726	0,000267	0,007737	0,000140	9072,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,5523	0,0288	1,1971	0,000267	0,007737	0,000140	9262,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,5000	0,0309	1,2236	0,000267	0,007737	0,000140	9467,4	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,4477	0,0326	1,2523	0,000267	0,007737	0,000140	9689,6	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,3960	0,0339	1,2837	0,000267	0,007737	0,000140	9932,5	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,3455	0,0348	1,3183	0,000267	0,007737	0,000140	10200,1	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,2966	0,0350	1,3568	0,000267	0,007737	0,000140	10497,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,2500	0,0347	1,4002	0,000267	0,007737	0,000140	10833,8	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,2061	0,0337	1,4501	0,000267	0,007737	0,000140	11219,6	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,1654	0,0320	1,5087	0,000267	0,007737	0,000140	11673,4	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,1284	0,0297	1,5799	0,000267	0,007737	0,000140	12224,0	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0955	0,0269	1,6697	0,000267	0,007737	0,000140	12918,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0670	0,0234	1,7888	0,000267	0,007737	0,000140	13840,2	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0432	0,0195	1,9568	0,000267	0,007737	0,000140	15140,4	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0245	0,0151	2,2139	0,000267	0,007737	0,000140	17129,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0109	0,0104	2,6495	0,000267	0,007737	0,000140	20499,8	0,0000	0,0345	0,0181	lam.	0,0000
0,0027	0,0053	3,4589	0,000065	0,000029	0,000047	71,6	0,0101	2,2343	1,6203	lam.	0,0014
0,0000	0,0000	3,6708	0,000065	0,000029	0,000047	45,8	0,0157	2,2314	1,6208	lam.	0,0011
0,0027	-0,0053	1,7771	0,000107	0,000048	0,000077	28,2	0,0253	2,2352	1,6202	lam.	0,0009
0,0109	-0,0104	0,5907	0,000053	0,000024	0,000038	2,0	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0245	-0,0151	0,0624	0,000001	0,000000	0,000001	0,0	0,0000	2,2364	1,6200	lam.	0,0000
0,0432	-0,0195	0,2257	0,000059	0,000026	0,000043	1,8	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0670	-0,0234	0,4042	0,000222	0,000100	0,000161	22,5	0,0317	2,2359	1,6201	lam.	0,0008
0,0955	-0,0269	0,5247	0,000238	0,000106	0,000172	42,9	0,0167	2,2372	1,6199	lam.	0,0011
0,1284	-0,0297	0,6110	0,000302	0,000133	0,000215	69,9	0,0098	2,2678	1,6151	lam.	0,0014
0,1654	-0,0320	0,6754	0,000368	0,000160	0,000258	98,2	0,0067	2,2934	1,6113	lam.	0,0017
0,2061	-0,0337	0,7247	0,000433	0,000187	0,000301	126,5	0,0051	2,3167	1,6078	lam.	0,0020
0,2500	-0,0347	0,7632	0,000499	0,000213	0,000342	154,6	0,0040	2,3375	1,6048	lam.	0,0022
0,2966	-0,0350	0,7937	0,000565	0,000240	0,000384	183,1	0,0033	2,3552	1,6023	lam.	0,0025
0,3455	-0,0348	0,8182	0,000632	0,000266	0,000426	211,5	0,0028	2,3706	1,6002	lam.	0,0027
0,3960	-0,0339	0,8381	0,000697	0,000292	0,000467	239,1	0,0024	2,3846	1,5983	lam.	0,0029
0,4477	-0,0326	0,8545	0,000760	0,000317	0,000506	265,7	0,0022	2,3972	1,5966	lam.	0,0030
0,5000	-0,0309	0,8680	0,000822	0,000342	0,000545	291,8	0,0019	2,4081	1,5951	lam.	0,0032
0,5523	-0,0288	0,8793	0,000883	0,000365	0,000582	317,1	0,0018	2,4172	1,5939	lam.	0,0034
0,6040	-0,0264	0,8889	0,000940	0,000388	0,000618	341,0	0,0016	2,4248	1,5929	lam.	0,0035
0,6545	-0,0239	0,8970	0,000994	0,000409	0,000651	363,6	0,0015	2,4314	1,5921	lam.	0,0036
0,7034	-0,0212	0,9039	0,001046	0,000429	0,000683	384,9	0,0014	2,4371	1,5913	lam.	0,0038
0,7500	-0,0184	0,9096	0,001094	0,000448	0,000712	404,8	0,0013	2,4425	1,5906	lam.	0,0039
0,7939	-0,0157	0,9141	0,001140	0,000465	0,000740	423,3	0,0013	2,4486	1,5898	lam.	0,0040
0,8346	-0,0130	0,9176	0,001184	0,000482	0,000766	440,6	0,0012	2,4563	1,5889	lam.	0,0041
0,8716	-0,0105	0,9197	0,001228	0,000498	0,000790	456,7	0,0011	2,4674	1,5874	lam.	0,0042
0,9045	-0,0081	0,9205	0,001274	0,000513	0,000813	471,6	0,0011	2,4839	1,5854	lam.	0,0043
0,9330	-0,0060	0,9196	0,001326	0,000528	0,000836	486,4	0,0010	2,5102	1,5821	lam.	0,0044
0,9568	-0,0042	0,9167	0,001389	0,000544	0,000859	500,6	0,0009	2,5511	1,5772	lam.	0,0046
0,9755	-0,0027	0,9115	0,001479	0,000563	0,000884	516,2	0,0008	2,6264	1,5690	lam.	0,0050
0,9891	-0,0016	0,9051	0,001613	0,000585	0,000910	532,9	0,0007	2,7588	1,5568	lam.	0,0055
0,9973	-0,0010	0,9426	0,001824	0,000610	0,000939	551,8	0,0004	2,9908	1,5398	lam.	0,0067
1,0000	-0,0007	0,3046	0,002099	0,000597	0,001060	181,9	0,0000	3,5135	1,7749	lam.	0,0000





Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

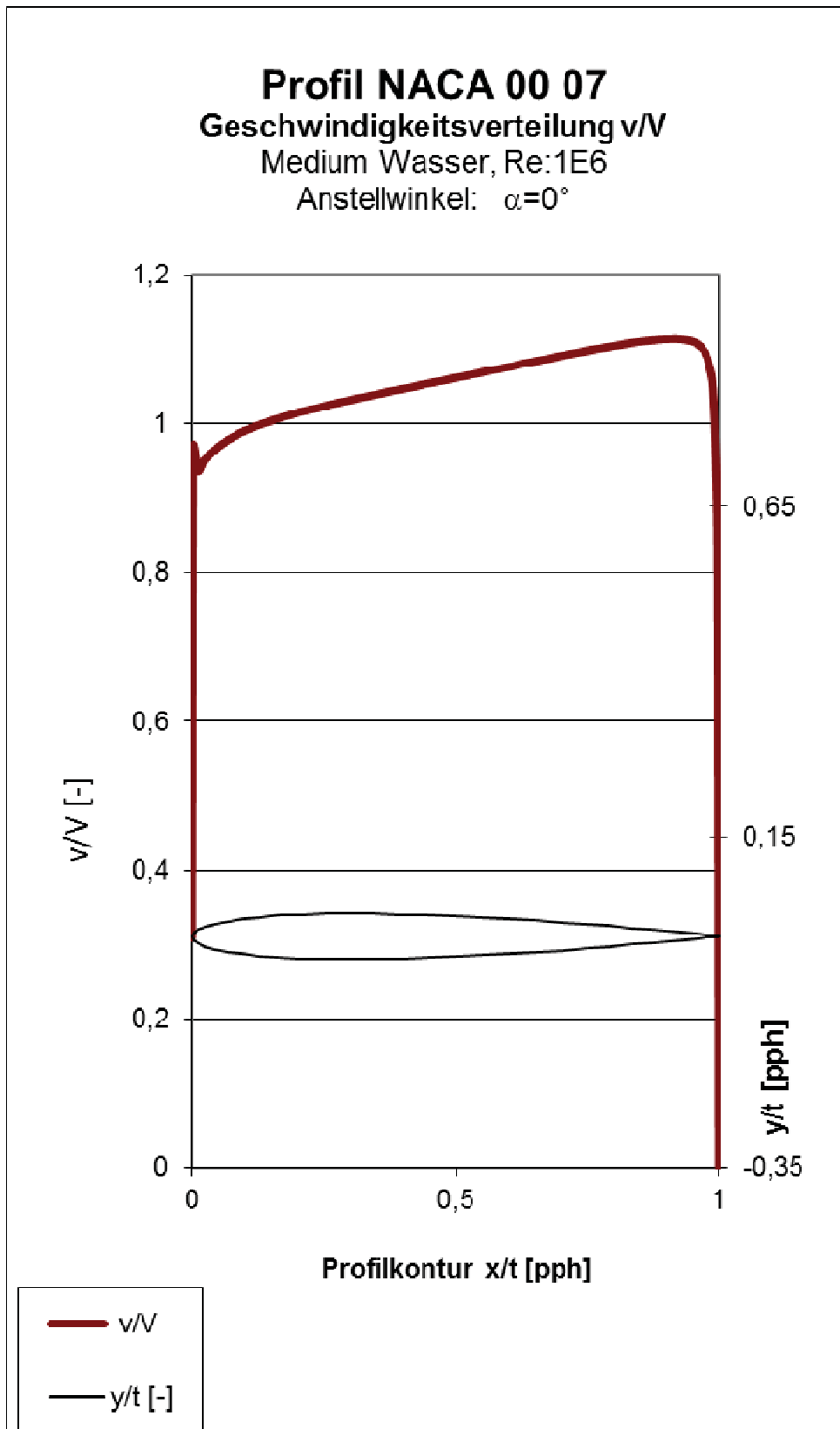
NACA 00 07 Re 10⁶

α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	T.U. [-]	T.L. [-]	S.U. [-]	S.L. [-]	GZ [-]	N.P. [-]	D.P.
-49,0	-0,017	0,89359	0,006	0,501	0,003	0,501	0,039	-0,020	0,261	0,600
-48,0	-0,018	0,85568	0,006	0,501	0,003	0,501	0,038	-0,021	0,256	0,585
-47,0	-0,019	0,82323	0,006	0,501	0,003	0,501	0,038	-0,023	0,256	0,569
-46,0	-0,020	0,77804	0,006	0,500	0,003	0,500	0,038	-0,026	0,248	0,554
-45,0	-0,021	0,75250	0,006	0,500	0,003	0,501	0,037	-0,028	0,640	0,538
-44,0	-0,022	0,73071	0,007	1,000	0,003	1,000	0,037	-0,031	0,599	0,562
-43,0	-0,024	0,71009	0,007	1,000	0,003	1,000	0,036	-0,033	0,222	0,544
-42,0	-0,025	0,69358	0,007	1,000	0,003	1,000	0,036	-0,036	0,204	0,526
-41,0	-0,027	0,66643	0,007	1,000	0,003	1,000	0,034	-0,040	0,209	0,507
-40,0	-0,028	0,64007	0,007	1,000	0,003	1,000	0,034	-0,044	0,214	0,490
-39,0	-0,030	0,61213	0,007	1,000	0,003	1,000	0,033	-0,049	0,202	0,473
-38,0	-0,032	0,59029	0,007	1,000	0,003	1,000	0,032	-0,054	0,203	0,456
-37,0	-0,034	0,57380	0,006	1,000	0,003	1,000	0,031	-0,060	0,199	0,439
-36,0	-0,037	0,54738	0,006	1,000	0,003	1,000	0,029	-0,067	0,189	0,423
-35,0	-0,040	0,52918	0,006	1,000	0,002	1,000	0,027	-0,075	0,198	0,406
-34,0	-0,043	0,50319	0,006	1,000	0,003	1,000	0,026	-0,085	0,210	0,392
-33,0	-0,046	0,48779	0,006	1,000	0,002	1,000	0,025	-0,095	0,213	0,378
-32,0	-0,050	0,47279	0,006	1,000	0,002	1,000	0,024	-0,106	0,221	0,366
-31,0	-0,054	0,44375	0,006	1,000	0,002	1,000	0,024	-0,123	0,226	0,354
-30,0	-0,059	0,40662	0,006	1,000	0,002	1,000	0,024	-0,146	0,228	0,344
-29,0	-0,065	0,38537	0,005	1,000	0,002	1,000	0,024	-0,168	0,229	0,334
-28,0	-0,071	0,35914	0,005	1,000	0,002	1,000	0,024	-0,198	0,230	0,325
-27,0	-0,078	0,33625	0,005	1,000	0,002	1,000	0,023	-0,233	0,232	0,316
-26,0	-0,087	0,31780	0,005	1,000	0,002	1,000	0,023	-0,273	0,234	0,308
-25,0	-0,096	0,30001	0,005	1,000	0,002	1,000	0,023	-0,321	0,235	0,301
-24,0	-0,107	0,27814	0,005	1,000	0,002	1,000	0,023	-0,385	0,235	0,294
-23,0	-0,120	0,25896	0,005	1,000	0,002	1,000	0,022	-0,462	0,236	0,288
-22,0	-0,134	0,23921	0,004	1,000	0,002	1,000	0,021	-0,560	0,239	0,283
-21,0	-0,151	0,21847	0,004	1,000	0,002	1,000	0,021	-0,690	0,240	0,278
-20,0	-0,170	0,20584	0,004	1,000	0,002	1,000	0,020	-0,826	0,241	0,274
-19,0	-0,192	0,18791	0,004	1,000	0,002	1,000	0,020	-1,023	0,241	0,270
-18,0	-0,218	0,17548	0,004	1,000	0,001	1,000	0,018	-1,240	0,240	0,266
-17,0	-0,246	0,15912	0,003	1,000	0,001	1,000	0,015	-1,549	0,241	0,263
-16,0	-0,279	0,14683	0,003	1,000	0,001	1,000	0,012	-1,899	0,242	0,261
-15,0	-0,314	0,15212	0,003	1,000	0,001	1,000	0,011	-2,066	0,244	0,259
-14,0	-0,352	0,13403	0,003	1,000	0,001	1,000	0,010	-2,626	0,245	0,257
-13,0	-0,390	0,11901	0,002	1,000	0,001	1,000	0,009	-3,276	0,245	0,256
-12,0	-0,425	0,10526	0,002	1,000	0,002	1,000	0,009	-4,038	0,244	0,255
-11,0	-0,453	0,09418	0,002	1,000	0,002	1,000	0,009	-4,815	0,241	0,254
-10,0	-0,471	0,08329	0,002	1,000	0,003	1,000	0,008	-5,650	0,230	0,254
-9,0	-0,473	0,07463	0,002	1,000	0,003	1,000	0,008	-6,336	0,273	0,253
-8,0	-0,458	0,06568	0,001	0,982	0,004	1,000	0,009	-6,974	0,255	0,253
-7,0	-0,420	0,05714	0,001	0,974	0,005	1,000	0,011	-7,353	0,439	0,253
-6,0	-0,465	0,02500	0,003	0,962	0,005	1,000	0,999	-18,60	0,204	0,256
-5,0	-0,398	0,02055	0,002	0,947	0,006	1,000	0,999	-19,35	0,257	0,256
-4,0	-0,324	0,01647	0,002	0,929	0,009	1,000	0,999	-19,66	0,256	0,256
-3,0	-0,246	0,01114	0,001	0,903	0,337	1,000	0,999	-22,04	0,256	0,256
-2,0	-0,165	0,00825	0,001	0,863	0,488	1,000	0,999	-19,95	0,256	0,256

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

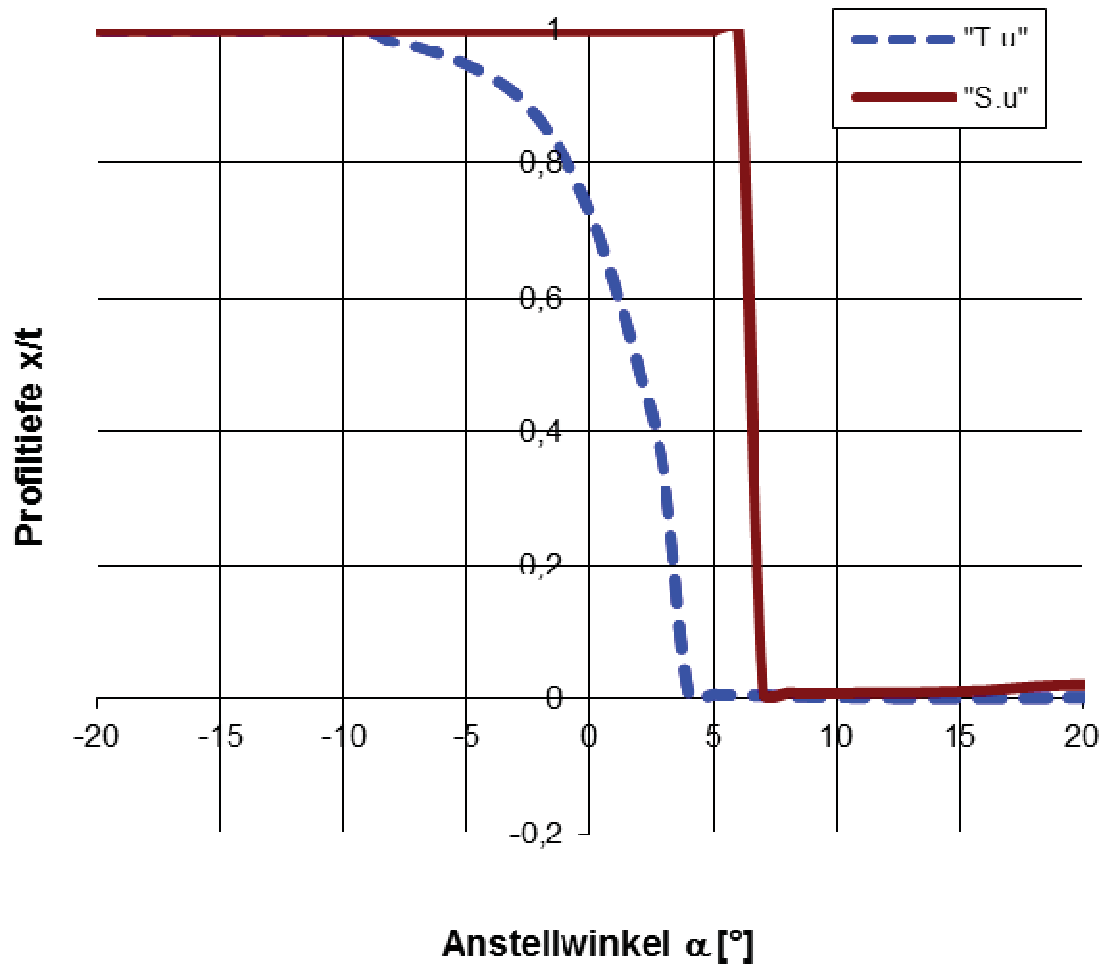
-1,0	-0,083	0,00650	0,000	0,807	0,618	1,000	0,999	-12,68	0,256	0,256
0,0	0,000	0,00590	-0,000	0,727	0,727	1,000	0,999	0,000	0,256	0,250
1,0	0,083	0,00650	-0,000	0,618	0,807	1,000	0,999	12,689	0,256	0,256
2,0	0,165	0,00825	-0,001	0,488	0,863	1,000	0,999	19,958	0,256	0,256
3,0	0,246	0,01114	-0,001	0,337	0,903	1,000	0,999	22,046	0,256	0,256
4,0	0,324	0,01647	-0,002	0,009	0,929	1,000	0,999	19,670	0,256	0,256
5,0	0,398	0,02055	-0,002	0,006	0,947	1,000	0,999	19,358	0,257	0,256
6,0	0,465	0,02501	-0,003	0,005	0,962	1,000	0,999	18,607	0,204	0,256
7,0	0,420	0,05714	-0,001	0,005	0,974	0,011	0,998	7,353	0,437	0,253
8,0	0,458	0,06568	-0,001	0,004	0,982	0,009	0,998	6,974	0,255	0,253
9,0	0,473	0,07463	-0,002	0,003	0,998	0,008	0,998	6,336	0,273	0,253
10,0	0,471	0,08329	-0,002	0,003	0,998	0,008	0,998	5,650	0,230	0,254
11,0	0,453	0,09418	-0,002	0,002	0,998	0,009	0,998	4,815	0,241	0,254
12,0	0,425	0,10526	-0,002	0,002	0,998	0,009	0,998	4,038	0,244	0,255
13,0	0,390	0,11901	-0,002	0,001	0,998	0,009	0,998	3,276	0,245	0,256
14,0	0,352	0,13403	-0,003	0,001	0,998	0,010	0,998	2,626	0,245	0,257
15,0	0,314	0,15212	-0,003	0,001	0,998	0,011	0,998	2,066	0,244	0,259
16,0	0,279	0,14683	-0,003	0,001	0,998	0,012	0,998	1,899	0,242	0,261
17,0	0,246	0,15912	-0,003	0,001	0,998	0,015	0,998	1,549	0,241	0,263
18,0	0,218	0,17548	-0,004	0,001	0,998	0,018	0,998	1,240	0,240	0,266
19,0	0,192	0,18791	-0,004	0,002	0,998	0,020	0,999	1,023	0,241	0,270
20,0	0,170	0,20584	-0,004	0,002	0,998	0,020	0,998	0,826	0,241	0,273
21,0	0,151	0,21847	-0,004	0,002	0,998	0,021	0,998	0,690	0,240	0,278
22,0	0,134	0,23921	-0,004	0,002	0,998	0,021	0,998	0,560	0,238	0,283
23,0	0,120	0,25896	-0,005	0,002	0,998	0,022	0,999	0,462	0,236	0,288
24,0	0,107	0,27814	-0,005	0,002	0,998	0,023	0,999	0,385	0,235	0,294
25,0	0,096	0,30001	-0,005	0,002	0,998	0,023	0,999	0,321	0,235	0,301
26,0	0,087	0,31780	-0,005	0,002	0,998	0,023	0,998	0,273	0,234	0,308
27,0	0,078	0,33625	-0,005	0,002	0,998	0,023	0,998	0,233	0,232	0,316
28,0	0,071	0,35914	-0,005	0,002	0,998	0,024	0,998	0,198	0,230	0,325
29,0	0,065	0,38537	-0,005	0,002	0,998	0,024	0,998	0,168	0,229	0,334
30,0	0,059	0,40662	-0,006	0,002	0,998	0,024	0,999	0,146	0,228	0,344
31,0	0,054	0,44375	-0,006	0,002	0,998	0,024	0,998	0,123	0,226	0,354
32,0	0,050	0,47279	-0,006	0,002	0,998	0,024	0,999	0,106	0,221	0,366
33,0	0,046	0,48779	-0,006	0,002	0,998	0,025	0,998	0,095	0,213	0,378
34,0	0,043	0,50319	-0,006	0,003	0,998	0,026	0,998	0,085	0,210	0,392
35,0	0,040	0,52918	-0,006	0,002	0,998	0,027	0,998	0,075	0,198	0,406
36,0	0,037	0,54738	-0,006	0,003	0,998	0,029	0,998	0,067	0,189	0,422
37,0	0,034	0,57380	-0,006	0,003	0,998	0,031	0,998	0,060	0,199	0,439
38,0	0,032	0,59029	-0,007	0,003	0,998	0,032	0,998	0,054	0,203	0,455
39,0	0,030	0,61213	-0,007	0,003	0,998	0,033	0,998	0,049	0,202	0,473
40,0	0,028	0,64007	-0,007	0,003	0,998	0,034	0,998	0,044	0,214	0,490
41,0	0,027	0,66643	-0,007	0,003	0,998	0,034	0,998	0,040	0,209	0,507
42,0	0,025	0,69358	-0,007	0,003	0,998	0,036	0,998	0,036	0,204	0,526
43,0	0,024	0,71009	-0,007	0,003	0,998	0,036	0,998	0,033	0,222	0,544
44,0	0,022	0,73071	-0,007	0,003	0,998	0,037	0,998	0,031	0,598	0,562
45,0	0,021	0,75250	-0,006	0,003	0,500	0,037	0,501	0,028	0,639	0,538
46,0	0,020	0,77804	-0,006	0,003	0,500	0,038	0,500	0,026	0,248	0,554
47,0	0,019	0,82323	-0,006	0,003	0,501	0,038	0,501	0,023	0,256	0,569
48,0	0,018	0,85568	-0,006	0,003	0,501	0,038	0,501	0,021	0,256	0,585
49,0	0,017	0,89359	-0,006	0,003	0,501	0,039	0,501	0,020	0,277	0,600

50,0 0,017 0,88746 -0,006 0,003 0,501 0,039 0,501 0,019 0,294 0,614



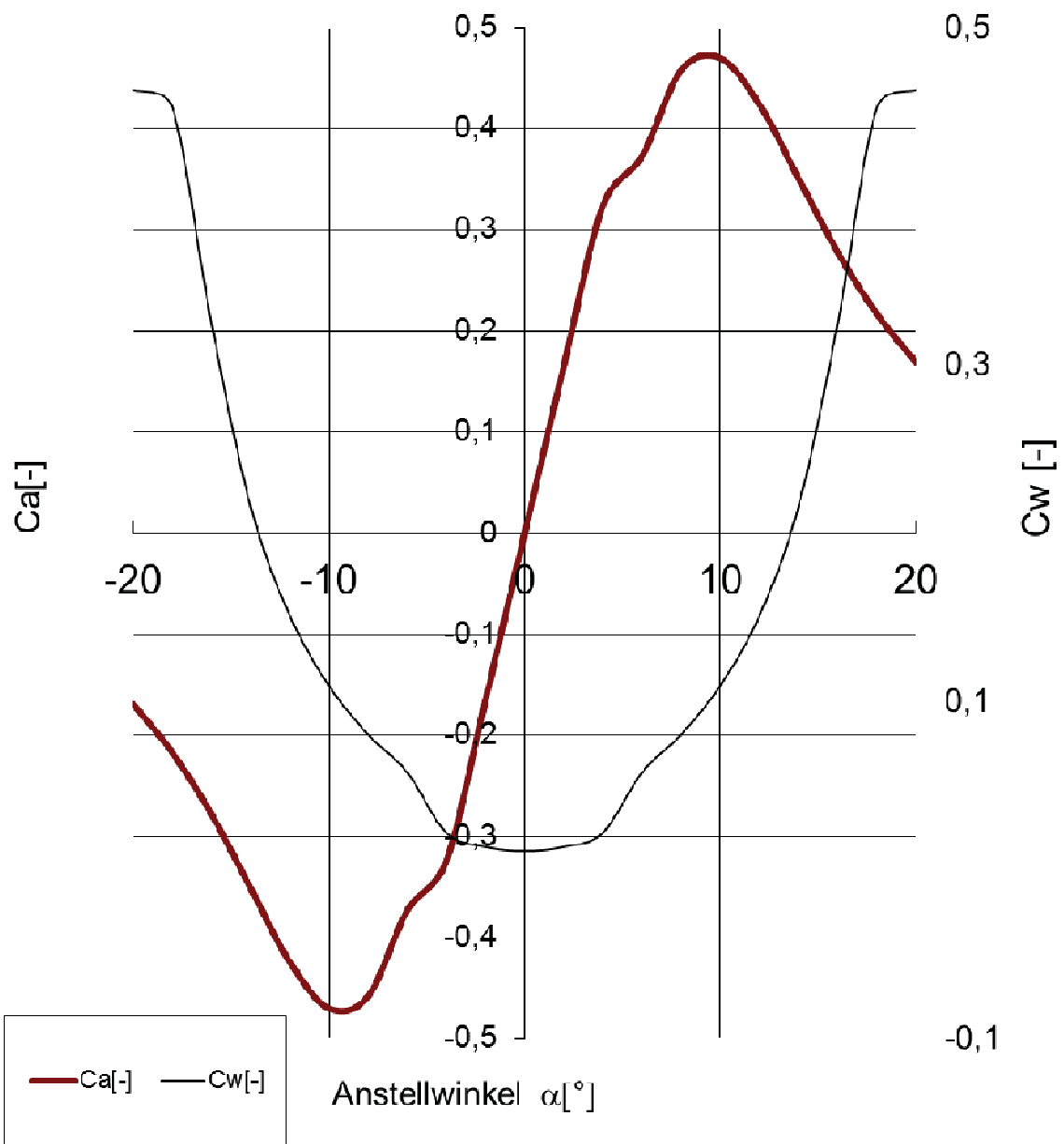
Profil NACA 00 07

Profiloberseite: Transition T und Separation S
Variation der Anstellwinkel α , Wasser, Re: 1E6



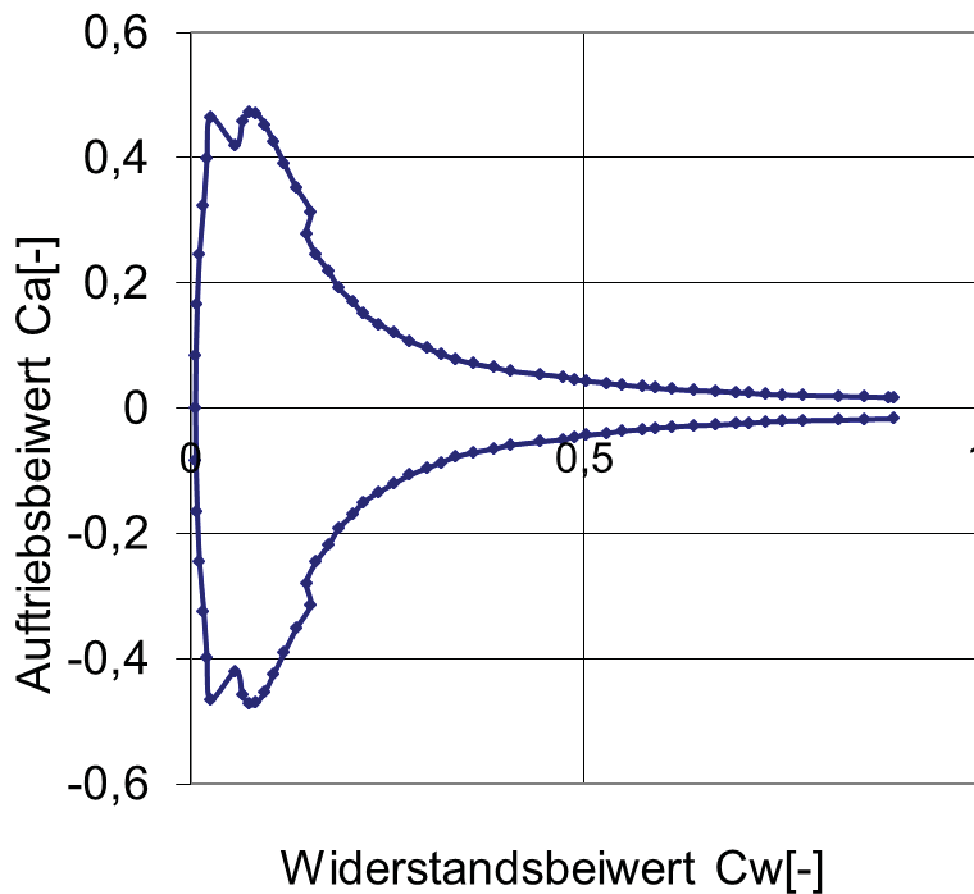
Profil NACA 00 07

Auftriebs- und Widerstandsbeiwert
Medium: Wasser, $Re: 10^6$



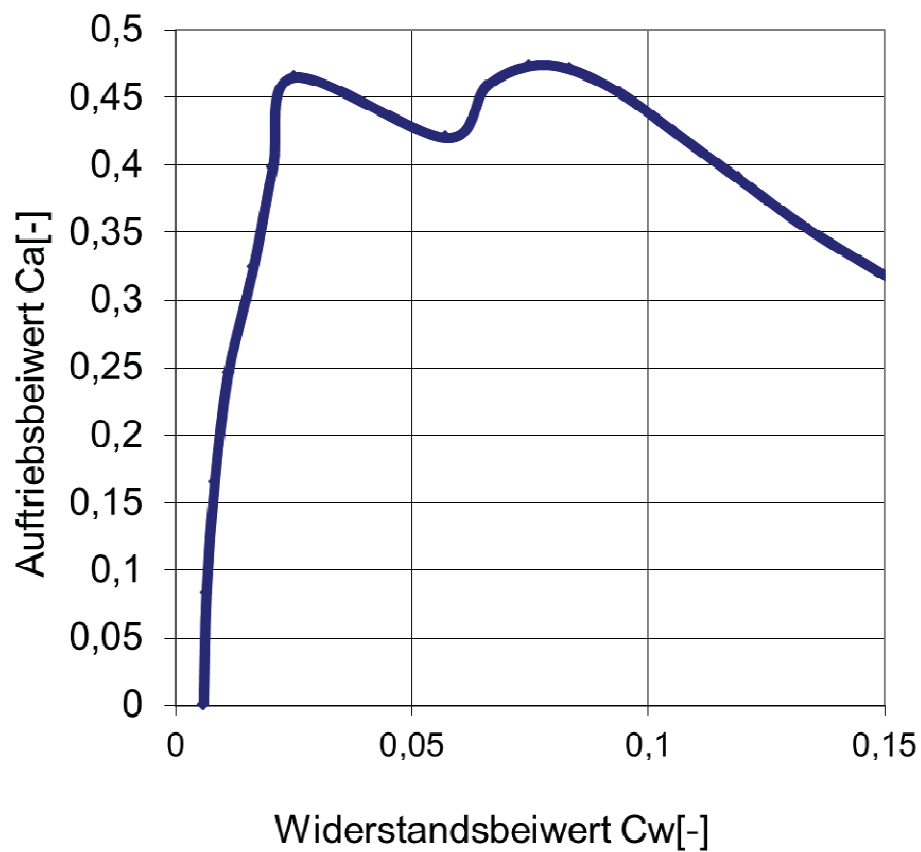
Profil NACA 00 07

Polare: Auftriebs- über Widerstandsbeiwert
Medium Wasser Re: 10E6



Profil NACA 00 07

Polare: Auftriebs- über Widerstandsbeiwert
Medium Wasser Re: 10E6



Profil ERpL 0730



1,00000000	0,00000000
0,99293821	0,00211790
0,98083522	0,00345370
0,96407164	0,00499619
0,94283107	0,00711869
0,91731114	0,00967098
0,88775438	0,01262611
0,85436537	0,01496099
0,81750003	0,01693375
0,77758303	0,01949362
0,73490842	0,02159160
0,68997358	0,02433873
0,64315575	0,02665457
0,59492713	0,02944021
0,54576260	0,03220713
0,49610367	0,03477115
0,44645853	0,03778158
0,39729041	0,04034473
0,34905638	0,04300919
0,30225630	0,04589626
0,25725990	0,04471272
0,21455532	0,04373990
0,17460553	0,04178730
0,13777991	0,03923192
0,10444282	0,03621256
0,07497309	0,03249914
0,04969092	0,02820252
0,02884671	0,02360157
0,01311282	0,01788002
0,00294452	0,01049380
-0,00000023	0,00391094
0,00296111	-0,00269062
0,01306115	-0,01020902
0,02880016	-0,01585923
0,04958254	-0,02074135
0,07488466	-0,02489206
0,10434326	-0,02862360
0,13765891	-0,03178350
0,17447748	-0,03429686

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

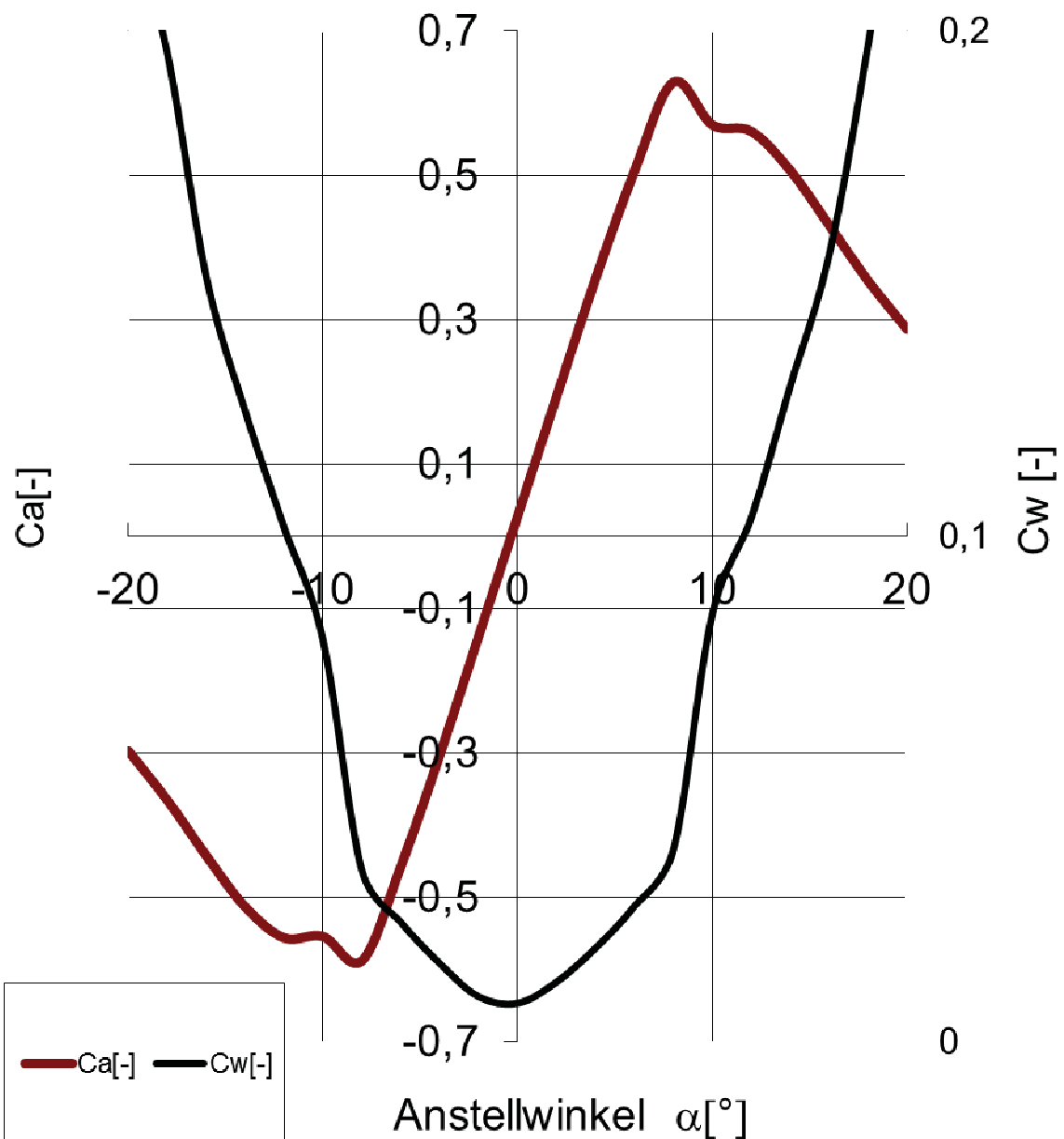
0,21442825	-0,03631910
0,25709587	-0,03788553
0,30210508	-0,03791116
0,34890740	-0,03546397
0,39711010	-0,03286484
0,44627791	-0,03033228
0,49595103	-0,02814901
0,54562032	-0,02570949
0,59481362	-0,02329822
0,64305541	-0,02090862
0,68988889	-0,01876753
0,73484519	-0,01656118
0,77748478	-0,01421600
0,81744759	-0,01263104
0,85428045	-0,01054527
0,88766117	-0,00867037
0,91729297	-0,00728169
0,94288488	-0,00607629
0,96417894	-0,00502389
0,98100089	-0,00459137
0,99285282	-0,00195185
1,00000000	0,00000000

α	Ca	Cw	Cm 0.25		Cp*	M krit.
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
-20,0	-0,297	0,22484	0,002	-26,730		0,156
-18,0	-0,365	0,19575	0,002	-22,362		0,170
-16,0	-0,442	0,15146	0,002	-18,316		0,188
-14,0	-0,513	0,12487	0,001	-14,612		0,209
-12,0	-0,556	0,10182	0,001	-11,268		0,235
-10,0	-0,554	0,07957	0,001	-8,301		0,271
-8,0	-0,588	0,03390	0,001	-5,724		0,320
-6,0	-0,457	0,02366	0,000	-3,551		0,391
-4,0	-0,303	0,01552	-0,000	-1,855		0,500
-2,0	-0,138	0,00892	-0,001	-0,912		0,621
-0,0	0,028	0,00761	-0,002	-0,413		0,743
2,0	0,194	0,01183	-0,003	-1,066		0,595
4,0	0,357	0,01855	-0,004	-2,033		0,484
6,0	0,506	0,02682	-0,005	-3,176		0,409
8,0	0,629	0,03797	-0,005	-4,489		0,355
10,0	0,570	0,08461	-0,003	-5,967		0,314
12,0	0,561	0,10371	-0,004	-7,602		0,282
14,0	0,507	0,12973	-0,004	-9,387		0,257
16,0	0,431	0,15570	-0,004	-11,311		0,235
18,0	0,354	0,19717	-0,004	-13,367		0,218
20,0	0,287	0,24534	-0,005	-15,544		0,202

Profil ERpL 0730

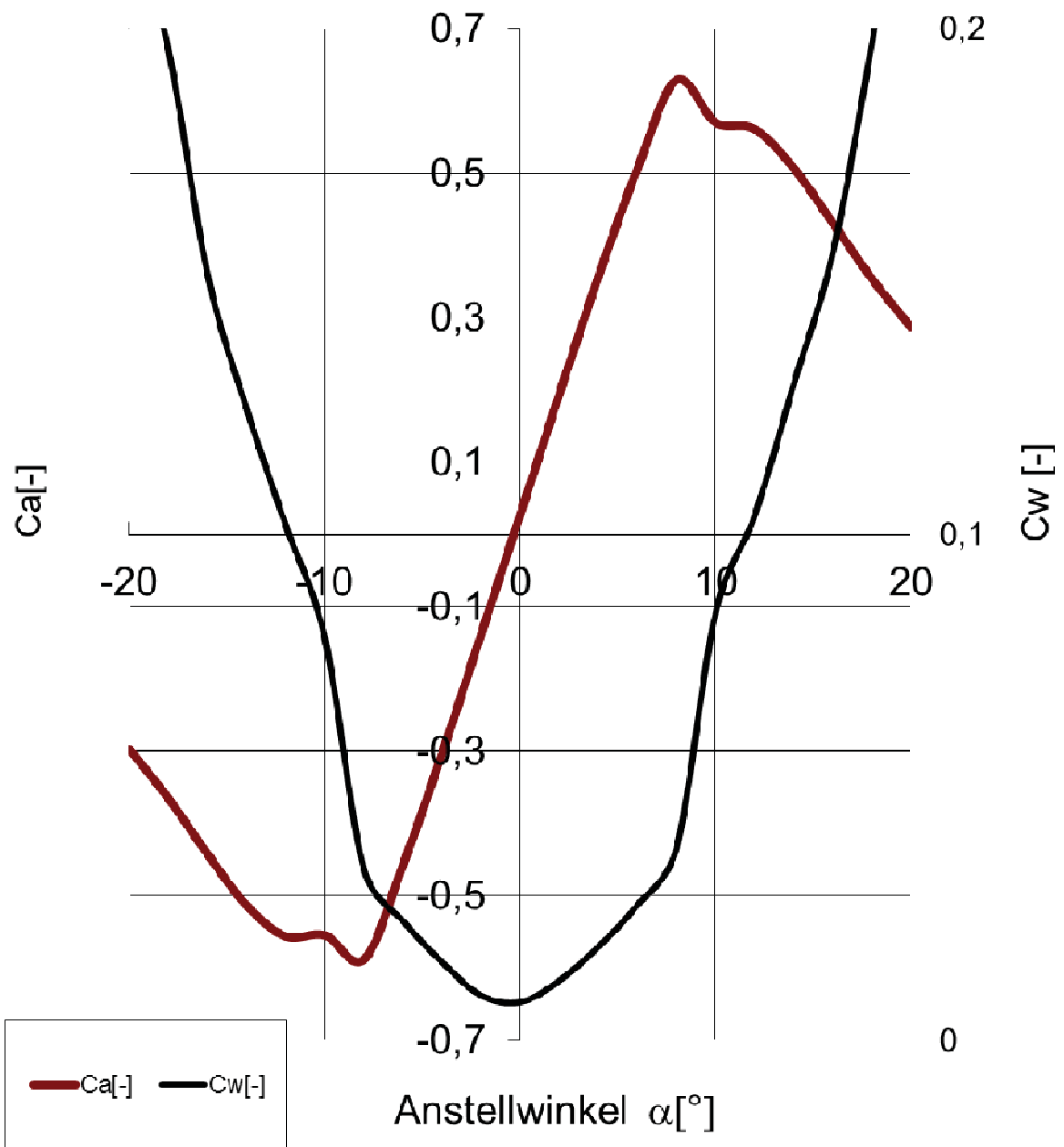
Auftriebs- und Widerstandsbeiwert

Medium: Wasser, $Re: 10^6$



Profil ERpL 0730

Auftriebs- und Widerstandsbeiwert
Medium: Wasser, $Re: 10^6$



Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

x/l	y/l	v/V	δ_1	δ_2	δ_3	Re δ_2	C _f	H ₁₂	H ₃₂	Zust.	y/l
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]
1,0000	0,0000	0,3106	0,001044	0,006532	0,000534	2028,8	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9929	0,0021	1,0222	0,001044	0,006532	0,000534	6677,9	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9808	0,0035	0,9693	0,001044	0,006532	0,000534	6332,3	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9641	0,0050	0,9767	0,001044	0,006532	0,000534	6380,1	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9428	0,0071	1,0017	0,001044	0,006532	0,000534	6543,9	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9173	0,0097	1,0285	0,001044	0,006532	0,000534	6718,5	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,8878	0,0126	1,0749	0,001044	0,006532	0,000534	7021,8	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,8544	0,0150	1,0827	0,001044	0,006532	0,000534	7072,5	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,8175	0,0169	1,0749	0,001044	0,006532	0,000534	7021,6	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,7776	0,0195	1,1070	0,001044	0,006532	0,000534	7231,3	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,7349	0,0216	1,1015	0,001044	0,006532	0,000534	7195,6	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,6900	0,0243	1,1356	0,001044	0,006532	0,000534	7418,4	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,6432	0,0267	1,1381	0,001044	0,006532	0,000534	7434,7	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,5949	0,0294	1,1660	0,001044	0,006532	0,000534	7616,9	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,5458	0,0322	1,1917	0,001044	0,006532	0,000534	7785,1	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,4961	0,0348	1,2067	0,001044	0,006532	0,000534	7882,8	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,4465	0,0378	1,2526	0,001044	0,006532	0,000534	8182,9	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,3973	0,0403	1,2807	0,001044	0,006532	0,000534	8366,4	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,3491	0,0430	1,3265	0,001044	0,006532	0,000534	8665,3	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,3023	0,0459	1,4666	0,001044	0,006532	0,000534	9580,5	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,2573	0,0447	1,4194	0,001044	0,006532	0,000534	9272,6	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,2146	0,0437	1,4853	0,001044	0,006532	0,000534	9702,6	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,1746	0,0418	1,5275	0,001044	0,006532	0,000534	9978,2	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,1378	0,0392	1,5865	0,001044	0,006532	0,000534	10363,7	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,1044	0,0362	1,6763	0,001044	0,006532	0,000534	10950,5	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,0750	0,0325	1,7817	0,001044	0,006532	0,000534	11639,3	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,0497	0,0282	1,9195	0,001044	0,006532	0,000534	12538,9	0,0000	0,1599	0,0818	turb.	0,0000
0,0288	0,0236	2,2118	0,000224	0,000118	0,000187	309,9	0,0023	1,8924	1,5854	turb.	0,0030
0,0131	0,0179	2,6396	0,000120	0,000045	0,000071	144,0	0,0029	2,6425	1,5675	lam.	0,0026
0,0029	0,0105	3,1738	0,000065	0,000029	0,000048	68,3	0,0106	2,2289	1,6211	lam.	0,0014
-0,0000	0,0039	3,2049	0,000069	0,000031	0,000050	49,6	0,0145	2,2335	1,6204	lam.	0,0012
0,0030	-0,0027	1,5906	0,000124	0,000056	0,000090	26,9	0,0266	2,2352	1,6202	lam.	0,0009
0,0131	-0,0102	0,4812	0,000097	0,000043	0,000070	3,0	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0288	-0,0159	0,0273	0,000001	0,000000	0,000001	0,0	0,0000	2,2364	1,6200	lam.	0,0000
0,0496	-0,0207	0,2862	0,000118	0,000053	0,000086	2,4	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0749	-0,0249	0,4419	0,000186	0,000083	0,000135	23,9	0,0299	2,2352	1,6202	lam.	0,0008
0,1043	-0,0286	0,5519	0,000257	0,000114	0,000185	50,5	0,0139	2,2513	1,6177	lam.	0,0012
0,1377	-0,0318	0,6323	0,000320	0,000141	0,000227	78,4	0,0087	2,2726	1,6145	lam.	0,0015
0,1745	-0,0343	0,6915	0,000381	0,000166	0,000267	105,4	0,0063	2,2980	1,6107	lam.	0,0018
0,2144	-0,0363	0,7413	0,000444	0,000191	0,000307	132,2	0,0048	2,3250	1,6067	lam.	0,0020
0,2571	-0,0379	0,7961	0,000500	0,000214	0,000344	158,9	0,0040	2,3303	1,6059	lam.	0,0022
0,3021	-0,0379	0,8352	0,000523	0,000228	0,000367	181,8	0,0036	2,2952	1,6110	lam.	0,0023
0,3489	-0,0355	0,8209	0,000583	0,000249	0,000399	208,0	0,0030	2,3412	1,6043	lam.	0,0026
0,3971	-0,0329	0,8264	0,000867	0,000316	0,000492	259,4	0,0014	2,7441	1,5580	lam.	0,0038
0,4463	-0,0303	0,8331	0,000876	0,000344	0,000543	284,5	0,0017	2,5433	1,5783	lam.	0,0035
0,4960	-0,0281	0,8514	0,000931	0,000373	0,000590	310,4	0,0016	2,4991	1,5835	lam.	0,0035
0,5456	-0,0257	0,8585	0,000902	0,000381	0,000609	324,3	0,0018	2,3686	1,6005	lam.	0,0033
0,5948	-0,0233	0,8676	0,000995	0,000408	0,000648	350,0	0,0015	2,4417	1,5907	lam.	0,0036
0,6431	-0,0209	0,8736	0,001032	0,000425	0,000677	368,7	0,0015	2,4277	1,5926	lam.	0,0037
0,6899	-0,0188	0,8863	0,001093	0,000446	0,000709	389,7	0,0014	2,4497	1,5897	lam.	0,0038
0,7348	-0,0166	0,8949	0,001071	0,000452	0,000723	400,7	0,0015	2,3702	1,6003	lam.	0,0037
0,7775	-0,0142	0,8884	0,001106	0,000465	0,000743	415,7	0,0014	2,3798	1,5989	lam.	0,0038
0,8174	-0,0126	0,9157	0,001306	0,000505	0,000795	449,1	0,0010	2,5845	1,5730	lam.	0,0045
0,8543	-0,0105	0,9098	0,001050	0,000469	0,000760	429,3	0,0017	2,2384	1,6202	lam.	0,0035
0,8877	-0,0087	0,9079	0,001256	0,000509	0,000808	463,2	0,0011	2,4665	1,5871	lam.	0,0042
0,9173	-0,0073	0,9197	0,001353	0,000532	0,000839	482,6	0,0010	2,5462	1,5777	lam.	0,0045
0,9429	-0,0061	0,9290	0,001230	0,000518	0,000829	476,8	0,0012	2,3742	1,6001	lam.	0,0040
0,9642	-0,0050	0,9272	0,001181	0,000512	0,000825	476,3	0,0014	2,3057	1,6096	lam.	0,0038
0,9810	-0,0046	1,0601	0,001265	0,000529	0,000845	490,7	0,0012	2,3903	1,5971	lam.	0,0041
0,9929	-0,0020	0,9144	0,000612	0,000327	0,000579	348,5	0,0048	1,8733	1,7705	lam.	0,0020

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

1,0000	0,0000	0,3106	0,001772	0,000428	0,000929	132,9	0,0000	4,1389	2,1703	turb.	0,0000
α	Ca	Cw	Cm 0.25	T.U.	T.L.	S.U.	S.L.	GZ	N.P.	D.P.	
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
-49,0	-0,033	0,89018	0,002	0,547	0,003	0,547	0,035	-0,037	0,305	0,310	
-48,0	-0,035	0,87790	0,002	0,546	0,003	0,546	0,035	-0,040	0,380	0,310	
-47,0	-0,036	0,87409	0,002	1,000	0,002	1,000	0,033	-0,042	0,368	0,316	
-46,0	-0,038	0,86789	0,003	1,000	0,002	1,000	0,032	-0,044	0,287	0,315	
-45,0	-0,040	0,82634	0,003	1,000	0,002	1,000	0,030	-0,049	0,278	0,314	
-44,0	-0,042	0,91859	0,003	1,000	0,002	1,000	0,029	-0,046	0,275	0,312	
-43,0	-0,045	0,84095	0,003	1,000	0,002	1,000	0,028	-0,053	0,272	0,310	
-42,0	-0,048	0,82078	0,003	1,000	0,002	1,000	0,028	-0,058	0,270	0,308	
-41,0	-0,050	0,77675	0,003	1,000	0,003	1,000	0,028	-0,065	0,265	0,305	
-40,0	-0,054	0,70695	0,003	1,000	0,003	1,000	0,027	-0,076	0,260	0,303	
-39,0	-0,057	0,68581	0,003	1,000	0,003	1,000	0,027	-0,083	0,257	0,300	
-38,0	-0,061	0,64103	0,003	1,000	0,003	1,000	0,026	-0,095	0,255	0,297	
-37,0	-0,065	0,65203	0,003	1,000	0,003	1,000	0,026	-0,100	0,253	0,294	
-36,0	-0,070	0,63478	0,003	1,000	0,002	1,000	0,026	-0,110	0,250	0,291	
-35,0	-0,075	0,57978	0,003	1,000	0,002	1,000	0,025	-0,130	0,251	0,289	
-34,0	-0,081	0,53522	0,003	1,000	0,002	1,000	0,026	-0,151	0,249	0,286	
-33,0	-0,087	0,54695	0,003	1,000	0,002	1,000	0,025	-0,160	0,247	0,283	
-32,0	-0,095	0,50610	0,003	1,000	0,002	1,000	0,025	-0,187	0,247	0,280	
-31,0	-0,103	0,48927	0,003	1,000	0,002	1,000	0,024	-0,210	0,246	0,278	
-30,0	-0,112	0,45655	0,003	1,000	0,002	1,000	0,023	-0,245	0,245	0,275	
-29,0	-0,122	0,43536	0,003	1,000	0,001	1,000	0,023	-0,280	0,246	0,273	
-28,0	-0,133	0,38178	0,003	1,000	0,002	1,000	0,023	-0,349	0,246	0,270	
-27,0	-0,146	0,36130	0,003	1,000	0,002	1,000	0,023	-0,405	0,245	0,268	
-26,0	-0,161	0,34127	0,003	1,000	0,002	1,000	0,022	-0,472	0,244	0,266	
-25,0	-0,178	0,33092	0,002	1,000	0,001	1,000	0,020	-0,536	0,244	0,264	
-24,0	-0,196	0,31793	0,002	1,000	0,001	1,000	0,018	-0,617	0,244	0,262	
-23,0	-0,217	0,28283	0,002	1,000	0,001	1,000	0,016	-0,768	0,246	0,260	
-22,0	-0,241	0,26207	0,002	1,000	0,002	1,000	0,017	-0,920	0,246	0,259	
-21,0	-0,268	0,24226	0,002	1,000	0,002	1,000	0,015	-1,105	0,245	0,258	
-20,0	-0,297	0,22484	0,002	1,000	0,002	1,000	0,013	-1,322	0,246	0,256	
-19,0	-0,330	0,20718	0,002	1,000	0,002	1,000	0,013	-1,593	0,247	0,256	
-18,0	-0,365	0,19575	0,002	1,000	0,001	1,000	0,013	-1,867	0,248	0,255	
-17,0	-0,403	0,17550	0,002	1,000	0,001	1,000	0,016	-2,297	0,249	0,254	
-16,0	-0,442	0,15146	0,002	1,000	0,002	1,000	0,020	-2,916	0,248	0,254	
-15,0	-0,479	0,14073	0,002	1,000	0,002	1,000	0,021	-3,402	0,247	0,253	
-14,0	-0,513	0,12487	0,001	1,000	0,002	1,000	0,024	-4,105	0,247	0,253	
-13,0	-0,540	0,11072	0,001	1,000	0,003	1,000	0,027	-4,873	0,244	0,252	
-12,0	-0,556	0,10182	0,001	1,000	0,004	1,000	0,028	-5,462	0,238	0,252	
-11,0	-0,561	0,09158	0,001	1,000	0,005	1,000	0,034	-6,121	0,312	0,252	
-10,0	-0,554	0,07957	0,001	0,961	0,006	1,000	0,064	-6,958	0,254	0,252	
-9,0	-0,641	0,03916	0,001	0,351	0,006	1,000	0,993	-16,3730,252		0,252	
-8,0	-0,588	0,03390	0,001	0,345	0,008	1,000	0,994	-17,3590,256		0,252	
-7,0	-0,526	0,02865	0,001	0,340	0,011	1,000	0,994	-18,3700,256		0,251	
-6,0	-0,457	0,02366	0,000	0,337	0,015	1,000	0,995	-19,3060,255		0,251	
-5,0	-0,382	0,01937	-0,000	0,335	0,019	1,000	0,996	-19,7090,255		0,250	
-4,0	-0,303	0,01552	-0,000	0,334	0,022	1,000	0,996	-19,4900,255		0,249	
-3,0	-0,221	0,01241	-0,001	0,332	0,029	1,000	0,996	-17,8110,255		0,246	

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

-2,0	-0,138	0,00892	-0,001	0,331	0,323	1,000	0,995	-15,5220,255	0,241
-1,0	-0,055	0,00773	-0,002	0,332	0,326	1,000	0,995	-7,168 0,255	0,221
0,0	0,028	0,00761	-0,002	0,330	0,328	1,000	0,995	3,665 0,255	0,323
1,0	0,111	0,00843	-0,002	0,329	0,334	1,000	0,996	13,178 0,255	0,272
2,0	0,194	0,01183	-0,003	0,048	0,338	1,000	0,995	16,398 0,255	0,265
3,0	0,276	0,01476	-0,003	0,033	0,343	1,000	0,995	18,713 0,255	0,262
4,0	0,357	0,01855	-0,004	0,023	0,349	1,000	0,995	19,234 0,255	0,260
5,0	0,434	0,02154	-0,004	0,018	0,990	1,000	0,993	20,146 0,256	0,260
6,0	0,506	0,02682	-0,005	0,011	0,991	1,000	0,993	18,877 0,256	0,259
7,0	0,572	0,03238	-0,005	0,008	0,991	1,000	0,993	17,665 0,257	0,259
8,0	0,629	0,03797	-0,005	0,007	0,991	1,000	0,993	16,566 0,321	0,259
9,0	0,551	0,07236	-0,004	0,006	0,991	0,075	0,993	7,610 0,286	0,256
10,0	0,570	0,08461	-0,003	0,005	0,991	0,039	0,993	6,735 0,241	0,256
11,0	0,572	0,09474	-0,003	0,004	0,991	0,028	0,993	6,036 0,227	0,256
12,0	0,561	0,10371	-0,004	0,004	0,991	0,027	0,993	5,410 0,243	0,256
13,0	0,538	0,11609	-0,004	0,003	0,991	0,021	0,993	4,633 0,245	0,257
14,0	0,507	0,12973	-0,004	0,002	0,991	0,022	0,993	3,907 0,244	0,258
15,0	0,470	0,13875	-0,004	0,002	0,991	0,021	0,993	3,389 0,247	0,258
16,0	0,431	0,15570	-0,004	0,002	0,991	0,018	0,993	2,769 0,248	0,259
17,0	0,392	0,17274	-0,004	0,002	0,991	0,016	0,993	2,269 0,249	0,261
18,0	0,354	0,19717	-0,004	0,001	0,991	0,012	0,993	1,796 0,248	0,262
19,0	0,319	0,21947	-0,004	0,001	0,991	0,012	0,993	1,455 0,244	0,263
20,0	0,287	0,24534	-0,005	0,001	0,991	0,013	0,993	1,171 0,239	0,266
21,0	0,259	0,24215	-0,005	0,002	0,991	0,017	0,993	1,068 0,238	0,269
22,0	0,233	0,26834	-0,005	0,001	0,991	0,017	0,993	0,868 0,241	0,272
23,0	0,210	0,28332	-0,005	0,001	0,990	0,018	0,993	0,741 0,237	0,276
24,0	0,190	0,31044	-0,006	0,001	0,990	0,021	0,993	0,611 0,233	0,280
25,0	0,172	0,31845	-0,006	0,002	0,990	0,023	0,992	0,539 0,236	0,285
26,0	0,156	0,35655	-0,006	0,001	0,990	0,022	0,992	0,437 0,235	0,290
27,0	0,142	0,35715	-0,006	0,002	0,990	0,024	0,993	0,397 0,232	0,296
28,0	0,129	0,38145	-0,007	0,002	0,990	0,025	0,993	0,339 0,235	0,301
29,0	0,118	0,41751	-0,007	0,002	0,990	0,024	0,993	0,283 0,234	0,307
30,0	0,109	0,44664	-0,007	0,002	0,990	0,025	0,992	0,243 0,226	0,315
31,0	0,100	0,46850	-0,007	0,002	0,990	0,026	0,992	0,213 0,226	0,323
32,0	0,092	0,47938	-0,007	0,002	0,990	0,026	0,993	0,192 0,229	0,330
33,0	0,085	0,52884	-0,008	0,002	0,989	0,026	0,992	0,161 0,225	0,339
34,0	0,079	0,57243	-0,008	0,002	0,989	0,026	0,992	0,138 0,222	0,348
35,0	0,073	0,57373	-0,008	0,002	0,989	0,026	0,993	0,128 0,217	0,358
36,0	0,068	0,61848	-0,008	0,002	0,989	0,027	0,992	0,110 0,219	0,368
37,0	0,064	0,62739	-0,008	0,002	0,989	0,027	0,992	0,101 0,222	0,378
38,0	0,060	0,67519	-0,008	0,002	0,989	0,027	0,992	0,088 0,215	0,390
39,0	0,056	0,68903	-0,008	0,002	0,989	0,027	0,992	0,081 0,213	0,401
40,0	0,052	0,74951	-0,009	0,002	0,988	0,027	0,993	0,070 0,208	0,414
41,0	0,049	0,76763	-0,009	0,002	0,989	0,028	0,992	0,064 0,206	0,427
42,0	0,047	0,80578	-0,009	0,002	0,988	0,028	0,993	0,058 0,204	0,440
43,0	0,044	0,81841	-0,009	0,002	0,989	0,028	0,993	0,054 0,197	0,454
44,0	0,042	0,89379	-0,009	0,002	0,989	0,029	0,993	0,047 0,190	0,468
45,0	0,040	0,86744	-0,009	0,002	0,989	0,030	0,993	0,046 0,182	0,483
46,0	0,038	0,86615	-0,009	0,002	0,989	0,031	0,993	0,043 0,168	0,499
47,0	0,036	0,93354	-0,010	0,002	0,988	0,033	0,993	0,038 0,485	0,516
48,0	0,034	0,94996	-0,009	0,002	0,547	0,033	0,549	0,036 0,526	0,501

49,0	0,033	0,97380	-0,009	0,002	0,547	0,034	0,549	0,033	0,192	0,515
50,0	0,031	1,00066	-0,009	0,002	0,547	0,035	0,549	0,031	0,192	0,530

Ellipsen-Profile für die Berechnung der Tragflügel- Geometrie / Re 10E6 Wasser

ELL 07 50



1,00000000	0,00000000
0,99572274	0,00609414
0,98550711	0,01220948
0,96896534	0,01622162
0,94792133	0,01981594
0,92247315	0,02305596
0,89291016	0,02610817
0,85952112	0,02873571
0,82265249	0,03100243
0,78271078	0,03363867
0,74002771	0,03514933
0,69504635	0,03708643
0,64815173	0,03796760
0,59985590	0,03891996
0,55056597	0,03891824
0,50079780	0,03891821
0,45102964	0,03891822
0,40173984	0,03891714
0,35343132	0,03825383
0,30653808	0,03734791
0,26155724	0,03524406
0,21887340	0,03367700
0,17892912	0,03126779
0,14205789	0,02901265
0,10867721	0,02626041
0,07911252	0,02324208
0,05366124	0,02005977
0,03256546	0,01639226

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,01594673	0,01246777
0,00310137	0,00610948
-0,00005257	0,00069979
0,00319254	-0,00543496
0,01385084	-0,01216842
0,03007725	-0,01643055
0,05117627	-0,01999948
0,07666243	-0,02335823
0,10627287	-0,02645737
0,13971804	-0,02912756
0,17663127	-0,03176149
0,21668031	-0,03363597
0,25943489	-0,03580908
0,30451983	-0,03752281
0,35146841	-0,03889459
0,39989550	-0,03891788
0,44927261	-0,03891820
0,49912893	-0,03891821
0,54898524	-0,03891820
0,59836239	-0,03891836
0,64679072	-0,03895493
0,69373652	-0,03753775
0,73882750	-0,03589329
0,78160142	-0,03380579
0,82164940	-0,03164008
0,85856573	-0,02907740
0,89202429	-0,02657278
0,92163874	-0,02350796
0,94714975	-0,02031743
0,96818905	-0,01650066
0,98433826	-0,01189359
0,99417083	-0,00466343
1,00000000	0,00000000

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,187	0,21900	0,007	-29,503	0,149
-18,0	-0,240	0,18996	0,006	-24,683	0,162
-16,0	-0,308	0,15545	0,005	-20,220	0,179
-14,0	-0,386	0,12443	0,004	-16,136	0,199
-12,0	-0,458	0,10511	0,003	-12,451	0,225
-10,0	-0,492	0,08170	0,002	-9,183	0,259
-8,0	-0,460	0,06199	0,001	-6,348	0,306
-6,0	-0,443	0,01881	-0,001	-3,960	0,374
-4,0	-0,288	0,01089	-0,003	-2,030	0,484
-2,0	-0,122	0,00607	-0,006	-0,978	0,610
-0,0	0,046	0,00318	-0,008	-0,333	0,771
2,0	0,214	0,01009	-0,011	-1,065	0,595
4,0	0,376	0,01712	-0,013	-1,951	0,491
6,0	0,519	0,02644	-0,015	-2,986	0,419
8,0	0,490	0,06746	-0,008	-4,165	0,366
10,0	0,488	0,08569	-0,009	-5,483	0,326
12,0	0,431	0,10722	-0,009	-6,933	0,294
14,0	0,351	0,13066	-0,010	-8,508	0,269
16,0	0,276	0,16213	-0,011	-10,200	0,247
18,0	0,215	0,21338	-0,012	-12,088	0,229
20,0	0,168	0,21300	-0,013	-15,730	0,201

ELL 06 50



1,00000000	0,00000000
0,99550958	0,00592987
0,98487246	0,01129182
0,96819613	0,01453560
0,94706578	0,01751912
0,92157072	0,02024182
0,89197951	0,02278883
0,85858405	0,02500426
0,82172450	0,02708965
0,78176902	0,02907885
0,73910594	0,03107874
0,69412083	0,03226576
0,64728577	0,03361688
0,59897439	0,03359681
0,54971640	0,03359684
0,49998041	0,03359741

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,45024486	0,03367697
0,40099138	0,03359666
0,35268577	0,03340640
0,30582832	0,03233443
0,26086193	0,03111552
0,21821532	0,02921299
0,17827504	0,02709458
0,14141417	0,02508908
0,10802838	0,02277036
0,07843066	0,02030455
0,05292563	0,01761276
0,03180626	0,01453713
0,01547739	0,01102072
0,00419343	0,00547113
-0,00000478	-0,00046444
0,00429659	-0,00614606
0,01561190	-0,01153762
0,03191672	-0,01508470
0,05304022	-0,01800056
0,07850696	-0,02085425
0,10807834	-0,02335000
0,14143212	-0,02574526
0,17826829	-0,02772063
0,21820211	-0,02964951
0,26083432	-0,03088726
0,30576421	-0,03226745
0,35257427	-0,03356776
0,40082440	-0,03424405
0,44999691	-0,03489560
0,49969126	-0,03491435
0,54938647	-0,03492931
0,59858930	-0,03386514
0,64685195	-0,03356544
0,69365413	-0,03228753
0,73858372	-0,03086940
0,78123747	-0,02968141
0,82114611	-0,02750527
0,85798418	-0,02570944
0,89133266	-0,02325390
0,92090659	-0,02078631
0,94638532	-0,01802232
0,96747369	-0,01491983
0,98371069	-0,01092994
0,99390875	-0,00426835
1,00000000	0,00000000

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,129	0,20976	0,006	-28,985	0,151
-18,0	-0,168	0,18669	0,005	-24,370	0,163
-16,0	-0,220	0,14882	0,004	-20,084	0,180
-14,0	-0,288	0,12299	0,003	-16,147	0,199
-12,0	-0,362	0,09993	0,002	-12,580	0,224
-10,0	-0,417	0,08129	0,001	-9,400	0,256
-8,0	-0,418	0,06256	0,000	-6,621	0,300
-6,0	-0,428	0,01838	-0,002	-4,258	0,363
-4,0	-0,278	0,01076	-0,004	-2,322	0,461
-2,0	-0,116	0,00615	-0,007	-0,884	0,626
-0,0	0,050	0,00355	-0,009	-0,381	0,754
2,0	0,215	0,01045	-0,011	-1,169	0,579
4,0	0,375	0,01743	-0,013	-2,127	0,476
6,0	0,418	0,04939	-0,009	-3,251	0,405
8,0	0,467	0,06677	-0,008	-4,536	0,353
10,0	0,442	0,08694	-0,008	-5,975	0,314
12,0	0,370	0,10605	-0,009	-7,561	0,283
14,0	0,288	0,12449	-0,010	-9,287	0,258
16,0	0,219	0,15468	-0,011	-11,144	0,237
18,0	0,166	0,19788	-0,012	-13,123	0,220
20,0	0,127	0,21599	-0,013	-15,214	0,205

ELL 05 50



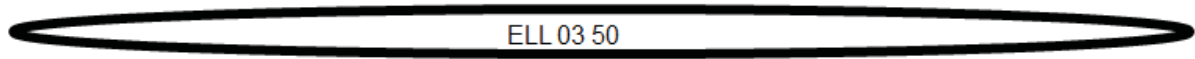
1,00000000	0,00000000
0,99540078	0,00582283
0,98465009	0,01097392
0,96795918	0,01391213
0,94679210	0,01638832
0,92131162	0,01886710
0,89172206	0,02083906
0,85837896	0,02293805
0,82158186	0,02501390
0,78169012	0,02635302
0,73905673	0,02752075
0,69416884	0,02894043
0,64738583	0,03032560
0,59915093	0,03026290
0,54996930	0,03029029
0,50030941	0,03026321
0,45064927	0,03024316
0,40147158	0,03026496
0,35323762	0,03030730
0,30645210	0,02894587
0,26154179	0,02763069
0,21891150	0,02633909
0,17900899	0,02500849
0,14219067	0,02319312
0,10885025	0,02096204
0,07926260	0,01898817
0,05376550	0,01659771
0,03261905	0,01393810
0,01622549	0,01116651
0,00437128	0,00633692
-0,00000228	0,00076435
0,00437911	-0,00488454
0,01579255	-0,01000494
0,03220257	-0,01301715
0,05333159	-0,01569625
0,07883830	-0,01791538
0,10838569	-0,02029121
0,14174027	-0,02217988
0,17852714	-0,02377787

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,21841382	-0,02553599
0,26101738	-0,02690384
0,30592835	-0,02789216
0,35270204	-0,02895286
0,40092424	-0,02894654
0,45004441	-0,03024838
0,49969248	-0,03026288
0,54934039	-0,03024429
0,59846200	-0,02908052
0,64668328	-0,02895111
0,69343492	-0,02753717
0,73834180	-0,02673481
0,78094386	-0,02548451
0,82083856	-0,02372941
0,85764175	-0,02232525
0,89098319	-0,02026706
0,92052679	-0,01784743
0,94603364	-0,01571277
0,96715033	-0,01290869
0,98382780	-0,01003646
0,99475891	-0,00524847
1,00000000	0,00000000

α	Ca	Cw	Cm 0.25	Cp*	M krit.
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	
-20,0	-0,113	0,20129	0,006	-30,114	0,148
-18,0	-0,148	0,19090	0,005	-25,343	0,160
-16,0	-0,197	0,15374	0,004	-20,910	0,176
-14,0	-0,261	0,12122	0,003	-16,837	0,195
-12,0	-0,337	0,09631	0,002	-13,144	0,220
-10,0	-0,401	0,08329	0,001	-9,848	0,251
-8,0	-0,414	0,06330	0,001	-6,967	0,294
-6,0	-0,351	0,04621	-0,000	-4,513	0,354
-4,0	-0,288	0,01275	-0,002	-2,499	0,449
-2,0	-0,128	0,00759	-0,004	-0,966	0,612
-0,0	0,037	0,00520	-0,006	-0,368	0,758
2,0	0,200	0,00970	-0,008	-1,125	0,586
4,0	0,358	0,01637	-0,010	-2,041	0,483
6,0	0,395	0,05002	-0,006	-3,113	0,412
8,0	0,434	0,06693	-0,006	-4,335	0,360
10,0	0,399	0,08488	-0,007	-5,701	0,320
12,0	0,324	0,10204	-0,008	-7,205	0,289
14,0	0,247	0,12575	-0,008	-8,838	0,264
16,0	0,185	0,15607	-0,009	-10,594	0,242
18,0	0,139	0,19801	-0,010	-12,463	0,225
20,0	0,107	0,20367	-0,011	-14,437	0,210

ELL 03 50



1,00000000	0,00000000
0,99505188	0,00549851
0,98378075	0,00939995
0,96703679	0,01152442
0,94584914	0,01342861
0,92034484	0,01485203
0,89081296	0,01638967
0,85751931	0,01786998
0,82077145	0,01918726
0,78093608	0,02036036
0,73840681	0,02172598
0,69354580	0,02174864
0,64688375	0,02303430
0,59875516	0,02302896
0,54972232	0,02433043
0,50017066	0,02434201
0,45061843	0,02434486
0,40156629	0,02353010
0,35344781	0,02303161
0,30677550	0,02183137
0,26191607	0,02172483
0,21938629	0,02037402
0,17955303	0,01914151
0,14280011	0,01791072
0,10952187	0,01638708
0,07998335	0,01503601
0,05448471	0,01343349
0,03330981	0,01155384
0,01681100	0,00980612
0,00473352	0,00561929
-0,00001856	0,00026552
0,00497155	-0,00475219
0,01670254	-0,00868451
0,03325390	-0,01062990
0,05440727	-0,01248019
0,07987219	-0,01435634
0,10939711	-0,01594136
0,14269026	-0,01733323
0,17940847	-0,01869299
0,21923055	-0,01929158
0,26172205	-0,02042155

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,30650379	-0,02170694
0,35318784	-0,02168612
0,40124639	-0,02302212
0,45028566	-0,02302646
0,49980098	-0,02302632
0,54931631	-0,02302650
0,59835581	-0,02302897
0,64641420	-0,02169046
0,69309951	-0,02173662
0,73787140	-0,02042186
0,78035948	-0,01921780
0,82017807	-0,01851670
0,85690772	-0,01737032
0,89019670	-0,01588466
0,91972072	-0,01429257
0,94519095	-0,01255816
0,96635494	-0,01066607
0,98308250	-0,00865811
0,99439294	-0,00480765
1,00000000	0,00000000

α	Ca	Cw	Cm 0.25	Cp*	M krit.
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	
-20,0	-0,078	0,19742	0,005	-30,436	0,147
-18,0	-0,103	0,16200	0,004	-25,703	0,159
-16,0	-0,139	0,15051	0,003	-21,296	0,174
-14,0	-0,190	0,12079	0,003	-17,237	0,193
-12,0	-0,257	0,09433	0,002	-13,545	0,216
-10,0	-0,328	0,07837	0,001	-10,240	0,246
-8,0	-0,365	0,06373	0,000	-7,337	0,287
-6,0	-0,331	0,04704	-0,000	-4,849	0,344
-4,0	-0,282	0,01294	-0,003	-2,790	0,430
-2,0	-0,125	0,00958	-0,004	-1,168	0,579
-0,0	0,035	0,00937	-0,006	-0,431	0,737
2,0	0,196	0,01141	-0,008	-1,206	0,574
4,0	0,349	0,01683	-0,010	-2,141	0,474
6,0	0,378	0,05001	-0,005	-3,233	0,406
8,0	0,398	0,06643	-0,005	-4,475	0,355
10,0	0,345	0,08212	-0,006	-5,862	0,316
12,0	0,265	0,09968	-0,007	-7,387	0,286
14,0	0,194	0,12319	-0,007	-9,042	0,261
16,0	0,141	0,15395	-0,008	-10,820	0,240
18,0	0,105	0,17298	-0,009	-12,712	0,223
20,0	0,079	0,20346	-0,010	-14,708	0,208

Reihenuntersuchung / Gegenüberstellung

(1) historische HORTEN-Profil HO-07 00

(2) NACA 00 07

(3) ERpL 0730

Re=10E6, Wasser
-20 < alfa < 20

HORTEN-Profil HO-07 00



1,00000000	0,00000000
0,99726095	0,00019173
0,98907380	0,00076479
0,97552826	0,00171251
0,95677273	0,00302308
0,93301270	0,00467858
0,90450850	0,00665386
0,87157241	0,00891548
0,83456530	0,01142086
0,79389263	0,01411775
0,75000000	0,01694430
0,70336832	0,01982966
0,65450850	0,02269517
0,60395585	0,02545621
0,55226423	0,02802450
0,50000000	0,03031089
0,44773577	0,03222839
0,39604415	0,03369545
0,34549150	0,03463909
0,29663168	0,03499805
0,25000000	0,03472549
0,20610737	0,03379129
0,16543470	0,03218387
0,12842759	0,02991121
0,09549150	0,02700129
0,06698730	0,02350169

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

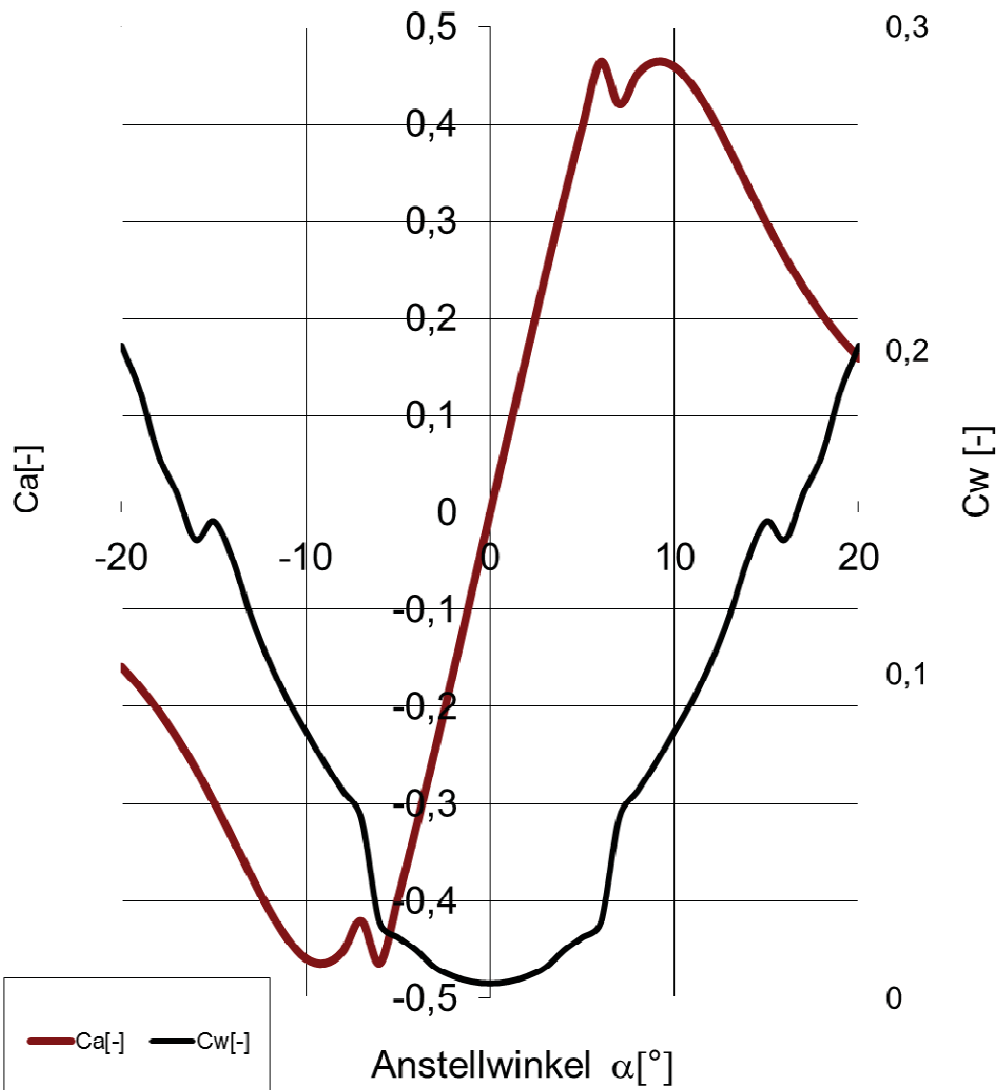
0,04322727	0,01947852
0,02447174	0,01501454
0,01092620	0,01020673
0,00273905	0,00516327
0,00000000	0,00000000
0,00273905	-0,00516327
0,01092620	-0,01020673
0,02447174	-0,01501454
0,04322727	-0,01947852
0,06698730	-0,02350169
0,09549150	-0,02700129
0,12842759	-0,02991121
0,16543470	-0,03218387
0,20610737	-0,03379129
0,25000000	-0,03472549
0,29663168	-0,03499805
0,34549150	-0,03463909
0,39604415	-0,03369545
0,44773577	-0,03222839
0,50000000	-0,03031089
0,55226423	-0,02802450
0,60395585	-0,02545621
0,65450850	-0,02269517
0,70336832	-0,01982966
0,75000000	-0,01694430
0,79389263	-0,01411775
0,83456530	-0,01142086
0,87157241	-0,00891548
0,90450850	-0,00665386
0,93301270	-0,00467858
0,95677273	-0,00302308
0,97552826	-0,00171251
0,98907380	-0,00076479
0,99726095	-0,00019173
1,00000000	0,00000000

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,159	0,20143	0,004	-34,317	0,138
-19,0	-0,180	0,18747	0,003	-31,491	0,145
-18,0	-0,204	0,16771	0,003	-28,764	0,151
-17,0	-0,232	0,15594	0,003	-26,139	0,158
-16,0	-0,263	0,14155	0,003	-23,619	0,166
-15,0	-0,298	0,14729	0,002	-21,208	0,175
-14,0	-0,335	0,13589	0,002	-18,909	0,185
-13,0	-0,373	0,11835	0,002	-16,723	0,195
-12,0	-0,409	0,10402	0,002	-14,655	0,208
-11,0	-0,439	0,09228	0,002	-12,706	0,223
-10,0	-0,459	0,08239	0,002	-10,878	0,239
-9,0	-0,464	0,07279	0,001	-9,175	0,259
-8,0	-0,452	0,06409	0,001	-7,598	0,282
-7,0	-0,420	0,05571	0,001	-6,148	0,310
-6,0	-0,464	0,02323	0,002	-4,829	0,345
-5,0	-0,397	0,01880	0,002	-3,641	0,387
-4,0	-0,323	0,01476	0,002	-2,585	0,443
-3,0	-0,245	0,00954	0,001	-1,664	0,518
-2,0	-0,164	0,00677	0,001	-0,878	0,628
-1,0	-0,082	0,00514	0,000	-0,449	0,731
0,0	-0,000	0,00462	-0,000	-0,248	0,806
1,0	0,082	0,00514	-0,000	-0,449	0,731
2,0	0,164	0,00677	-0,001	-0,852	0,633
3,0	0,245	0,00954	-0,001	-1,317	0,559
4,0	0,323	0,01476	-0,002	-1,833	0,501
5,0	0,397	0,01881	-0,002	-2,399	0,456
6,0	0,464	0,02324	-0,002	-3,014	0,418
7,0	0,420	0,05571	-0,001	-3,678	0,385
8,0	0,452	0,06409	-0,001	-4,389	0,358
9,0	0,464	0,07279	-0,001	-5,147	0,335
10,0	0,459	0,08239	-0,002	-5,951	0,314
11,0	0,439	0,09228	-0,002	-6,800	0,297
12,0	0,409	0,10402	-0,002	-7,693	0,280
13,0	0,373	0,11835	-0,002	-8,628	0,267
14,0	0,335	0,13589	-0,002	-9,605	0,254
15,0	0,298	0,14729	-0,002	-10,623	0,242
16,0	0,263	0,14155	-0,003	-11,679	0,231
17,0	0,232	0,15594	-0,003	-12,774	0,223
18,0	0,204	0,16771	-0,003	-13,905	0,214
19,0	0,180	0,18747	-0,003	-15,819	0,201
20,0	0,159	0,20143	-0,004	-17,955	0,190

Profil HORTEN 07 00

Auftriebs- und Widerstandsbeiwert
Medium: Wasser, $Re: 10^6$



Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	Re [-]	Mach [-]	Λ [-]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]					
10,000	1000000	0,000	5,000	0,459	0,08239	-0,002					
x/l [-]	y/l [-]	v/V [-]	δ_1 [-]	δ_2 [-]	δ_3 [-]	Re δ_2 [-]	C_f [-]	H_12 [-]	H_32 [-]	Zust. [-]	y1 [%]
1,0000	0,0000	0,0770	0,000365	0,009213	0,000191	709,3	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,9973	0,0002	0,8606	0,000365	0,009213	0,000191	7928,4	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,9891	0,0008	0,9219	0,000365	0,009213	0,000191	8493,0	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,9755	0,0017	0,9535	0,000365	0,009213	0,000191	8784,7	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,9568	0,0030	0,9778	0,000365	0,009213	0,000191	9008,2	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,9330	0,0047	0,9993	0,000365	0,009213	0,000191	9205,9	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,9045	0,0067	1,0195	0,000365	0,009213	0,000191	9392,7	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,8716	0,0089	1,0394	0,000365	0,009213	0,000191	9575,8	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,8346	0,0114	1,0594	0,000365	0,009213	0,000191	9759,7	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,7939	0,0141	1,0797	0,000365	0,009213	0,000191	9947,3	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,7500	0,0169	1,1008	0,000365	0,009213	0,000191	10140,9	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,7034	0,0198	1,1226	0,000365	0,009213	0,000191	10342,6	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,6545	0,0227	1,1456	0,000365	0,009213	0,000191	10554,0	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,6040	0,0255	1,1698	0,000365	0,009213	0,000191	10777,0	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,5523	0,0280	1,1955	0,000365	0,009213	0,000191	11013,7	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,5000	0,0303	1,2229	0,000365	0,009213	0,000191	11266,5	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,4477	0,0322	1,2524	0,000365	0,009213	0,000191	11538,3	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,3960	0,0337	1,2844	0,000365	0,009213	0,000191	11833,1	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,3455	0,0346	1,3195	0,000365	0,009213	0,000191	12156,0	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,2966	0,0350	1,3584	0,000365	0,009213	0,000191	12514,2	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,2500	0,0347	1,4022	0,000365	0,009213	0,000191	12917,7	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,2061	0,0338	1,4525	0,000365	0,009213	0,000191	13381,1	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,1654	0,0322	1,5116	0,000365	0,009213	0,000191	13926,2	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,1284	0,0299	1,5833	0,000365	0,009213	0,000191	14586,6	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,0955	0,0270	1,6734	0,000365	0,009213	0,000191	15416,9	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,0670	0,0235	1,7922	0,000365	0,009213	0,000191	16511,2	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,0432	0,0195	1,9586	0,000365	0,009213	0,000191	18043,5	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,0245	0,0150	2,2110	0,000365	0,009213	0,000191	20369,5	0,0000	0,0396	0,0207	abgel.	0,0000
0,0109	0,0102	2,6365	0,000365	0,009213	0,000191	24289,0	0,0000	0,0396	0,0207	turb.	0,0000
0,0027	0,0052	3,4465	0,000065	0,000029	0,000047	69,7	0,0104	2,2341	1,6203	lam.	0,0014
0,0000	0,0000	3,7364	0,000065	0,000029	0,000047	45,9	0,0157	2,2313	1,6208	lam.	0,0011
0,0027	-0,0052	1,7811	0,000107	0,000048	0,000077	28,4	0,0251	2,2352	1,6202	lam.	0,0009
0,0109	-0,0102	0,5942	0,000052	0,000023	0,000038	2,0	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0245	-0,0150	0,0653	0,000001	0,000000	0,000001	0,0	0,0000	2,2364	1,6200	lam.	0,0000
0,0432	-0,0195	0,2249	0,000058	0,000026	0,000042	1,8	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0670	-0,0235	0,4050	0,000225	0,000101	0,000163	22,6	0,0315	2,2360	1,6200	lam.	0,0008
0,0955	-0,0270	0,5266	0,000237	0,000106	0,000171	42,9	0,0167	2,2367	1,6199	lam.	0,0011
0,1284	-0,0299	0,6133	0,000301	0,000133	0,000214	69,9	0,0098	2,2676	1,6152	lam.	0,0014
0,1654	-0,0322	0,6777	0,000367	0,000160	0,000258	98,3	0,0067	2,2934	1,6112	lam.	0,0017
0,2061	-0,0338	0,7270	0,000433	0,000187	0,000300	126,7	0,0051	2,3172	1,6077	lam.	0,0020
0,2500	-0,0347	0,7654	0,000498	0,000213	0,000342	155,0	0,0040	2,3382	1,6047	lam.	0,0022
0,2966	-0,0350	0,7958	0,000565	0,000240	0,000385	183,8	0,0033	2,3556	1,6023	lam.	0,0025
0,3455	-0,0346	0,8201	0,000631	0,000266	0,000426	211,7	0,0028	2,3719	1,6000	lam.	0,0027
0,3960	-0,0337	0,8397	0,000697	0,000292	0,000467	239,4	0,0024	2,3862	1,5981	lam.	0,0029
0,4477	-0,0322	0,8556	0,000761	0,000317	0,000507	266,5	0,0022	2,3993	1,5963	lam.	0,0030
0,5000	-0,0303	0,8686	0,000826	0,000342	0,000546	293,0	0,0019	2,4111	1,5947	lam.	0,0032
0,5523	-0,0280	0,8792	0,000888	0,000366	0,000584	318,4	0,0017	2,4222	1,5933	lam.	0,0034
0,6040	-0,0255	0,8878	0,000948	0,000390	0,000620	342,6	0,0016	2,4325	1,5919	lam.	0,0035
0,6545	-0,0227	0,8948	0,001006	0,000412	0,000655	365,8	0,0015	2,4421	1,5907	lam.	0,0037
0,7034	-0,0198	0,9005	0,001062	0,000433	0,000689	387,6	0,0014	2,4512	1,5895	lam.	0,0038
0,7500	-0,0169	0,9051	0,001114	0,000453	0,000720	408,0	0,0013	2,4597	1,5884	lam.	0,0039
0,7939	-0,0141	0,9087	0,001165	0,000472	0,000749	427,3	0,0012	2,4683	1,5873	lam.	0,0040
0,8346	-0,0114	0,9114	0,001213	0,000490	0,000777	445,0	0,0012	2,4772	1,5862	lam.	0,0042
0,8716	-0,0089	0,9131	0,001259	0,000506	0,000802	461,4	0,0011	2,4877	1,5849	lam.	0,0043
0,9045	-0,0067	0,9137	0,001305	0,000522	0,000826	476,2	0,0010	2,5014	1,5832	lam.	0,0044
0,9330	-0,0047	0,9129	0,001354	0,000537	0,000848	490,4	0,0010	2,5224	1,5806	lam.	0,0045
0,9568	-0,0030	0,9100	0,001413	0,000553	0,000871	504,4	0,0009	2,5580	1,5764	lam.	0,0047
0,9755	-0,0017	0,9033	0,001503	0,000571	0,000896	519,6	0,0008	2,6319	1,5685	lam.	0,0050
0,9891	-0,0008	0,8884	0,001685	0,000598	0,000927	539,9	0,0006	2,8185	1,5518	lam.	0,0058
0,9973	-0,0002	0,8394	0,002318	0,000584	0,001185	490,5	0,0000	3,9664	2,0286	turb.	0,0000
1,0000	0,0000	0,0770	0,002318	0,000584	0,001185	45,0	0,0000	3,9664	2,0286	abgel.	0,0000

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	T.U. [-]	T.L. [-]	S.U. [-]	S.L. [-]	GZ [-]	N.P. [-]	D.P.
-19,0	-0,180	0,18747	0,003	0,993	0,001	1,000	0,020	-0,961	0,241	0,269
-18,0	-0,204	0,16771	0,003	0,993	0,002	1,000	0,018	-1,219	0,242	0,265
-17,0	-0,232	0,15594	0,003	0,992	0,002	0,997	0,017	-1,489	0,242	0,263
-16,0	-0,263	0,14155	0,003	0,991	0,002	0,997	0,013	-1,860	0,242	0,260
-15,0	-0,298	0,14729	0,002	0,991	0,001	0,997	0,011	-2,023	0,244	0,258
-14,0	-0,335	0,13589	0,002	0,991	0,001	0,997	0,010	-2,466	0,245	0,257
-13,0	-0,373	0,11835	0,002	0,991	0,001	0,996	0,009	-3,151	0,245	0,255
-12,0	-0,409	0,10402	0,002	0,990	0,001	0,995	0,008	-3,931	0,246	0,255
-11,0	-0,439	0,09228	0,002	0,987	0,002	0,996	0,009	-4,758	0,245	0,254
-10,0	-0,459	0,08239	0,002	0,983	0,002	0,997	0,009	-5,569	0,236	0,253
-9,0	-0,464	0,07279	0,001	0,981	0,003	0,996	0,008	-6,370	0,295	0,253
-8,0	-0,452	0,06409	0,001	0,977	0,004	0,997	0,009	-7,050	0,253	0,253
-7,0	-0,420	0,05571	0,001	0,969	0,004	1,000	0,016	-7,542	0,346	0,253
-6,0	-0,464	0,02323	0,002	0,960	0,005	1,000	0,998	-19,990		0,215 0,255
-5,0	-0,397	0,01880	0,002	0,943	0,006	1,000	0,998	-21,109		0,256 0,255
-4,0	-0,323	0,01476	0,002	0,919	0,009	1,000	0,998	-21,899		0,255 0,255
-3,0	-0,245	0,00954	0,001	0,883	0,332	1,000	0,998	-25,685		0,255 0,255
-2,0	-0,164	0,00677	0,001	0,833	0,471	1,000	0,998	-24,256		0,255 0,255
-1,0	-0,082	0,00514	0,000	0,763	0,583	1,000	0,998	-16,019		0,255 0,255
0,0	-0,000	0,00462	-0,000	0,680	0,680	1,000	0,998	-0,000	0,255	0,250
1,0	0,082	0,00514	-0,000	0,583	0,763	1,000	0,998	16,023	0,255	0,255
2,0	0,164	0,00677	-0,001	0,471	0,833	1,000	0,999	24,260	0,255	0,255
3,0	0,245	0,00954	-0,001	0,332	0,883	1,000	0,998	25,687	0,255	0,255
4,0	0,323	0,01476	-0,002	0,009	0,919	1,000	0,998	21,900	0,255	0,255
5,0	0,397	0,01881	-0,002	0,006	0,943	1,000	0,998	21,108	0,256	0,255
6,0	0,464	0,02324	-0,002	0,005	0,960	1,000	0,997	19,988	0,215	0,255
7,0	0,420	0,05571	-0,001	0,004	0,969	0,016	0,997	7,542	0,344	0,253
8,0	0,452	0,06409	-0,001	0,004	0,977	0,009	0,997	7,050	0,253	0,253
9,0	0,464	0,07279	-0,001	0,003	0,981	0,008	0,996	6,370	0,295	0,253
10,0	0,459	0,08239	-0,002	0,002	0,983	0,009	0,997	5,569	0,236	0,253
11,0	0,439	0,09228	-0,002	0,002	0,987	0,009	0,996	4,758	0,245	0,254
12,0	0,409	0,10402	-0,002	0,001	0,990	0,008	0,995	3,931	0,246	0,255
13,0	0,373	0,11835	-0,002	0,001	0,991	0,009	0,996	3,151	0,245	0,255
14,0	0,335	0,13589	-0,002	0,001	0,991	0,010	0,997	2,466	0,245	0,257
15,0	0,298	0,14729	-0,002	0,001	0,991	0,011	0,997	2,023	0,244	0,258
16,0	0,263	0,14155	-0,003	0,002	0,991	0,013	0,997	1,860	0,242	0,260
17,0	0,232	0,15594	-0,003	0,002	0,992	0,017	0,997	1,489	0,242	0,263
18,0	0,204	0,16771	-0,003	0,002	0,993	0,018	0,998	1,219	0,242	0,265
19,0	0,180	0,18747	-0,003	0,001	0,993	0,020	0,998	0,961	0,241	0,269
20,0	0,159	0,20143	-0,004	0,002	0,993	0,021	0,998	0,790	0,242	0,272

ERpL 07 30



1,00000000	0,00000000
0,99293821	0,00211790
0,98083522	0,00345370
0,96407164	0,00499619
0,94283107	0,00711869
0,91731114	0,00967098
0,88775438	0,01262611
0,85436537	0,01496099
0,81750003	0,01693375
0,77758303	0,01949362
0,73490842	0,02159160
0,68997358	0,02433873
0,64315575	0,02665457
0,59492713	0,02944021
0,54576260	0,03220713
0,49610367	0,03477115
0,44645853	0,03778158
0,39729041	0,04034473
0,34905638	0,04300919
0,30225630	0,04589626
0,25725990	0,04471272
0,21455532	0,04373990
0,17460553	0,04178730
0,13777991	0,03923192
0,10444282	0,03621256
0,07497309	0,03249914
0,04969092	0,02820252
0,02884671	0,02360157
0,01311282	0,01788002
0,00294452	0,01049380
-0,00000023	0,00391094
0,00296111	-0,00269062
0,01306115	-0,01020902
0,02880016	-0,01585923
0,04958254	-0,02074135
0,07488466	-0,02489206
0,10434326	-0,02862360
0,13765891	-0,03178350

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,17447748	-0,03429686
0,21442825	-0,03631910
0,25709587	-0,03788553
0,30210508	-0,03791116
0,34890740	-0,03546397
0,39711010	-0,03286484
0,44627791	-0,03033228
0,49595103	-0,02814901
0,54562032	-0,02570949
0,59481362	-0,02329822
0,64305541	-0,02090862
0,68988889	-0,01876753
0,73484519	-0,01656118
0,77748478	-0,01421600
0,81744759	-0,01263104
0,85428045	-0,01054527
0,88766117	-0,00867037
0,91729297	-0,00728169
0,94288488	-0,00607629
0,96417894	-0,00502389
0,98100089	-0,00459137
0,99285282	-0,00195185
1,00000000	0,00000000

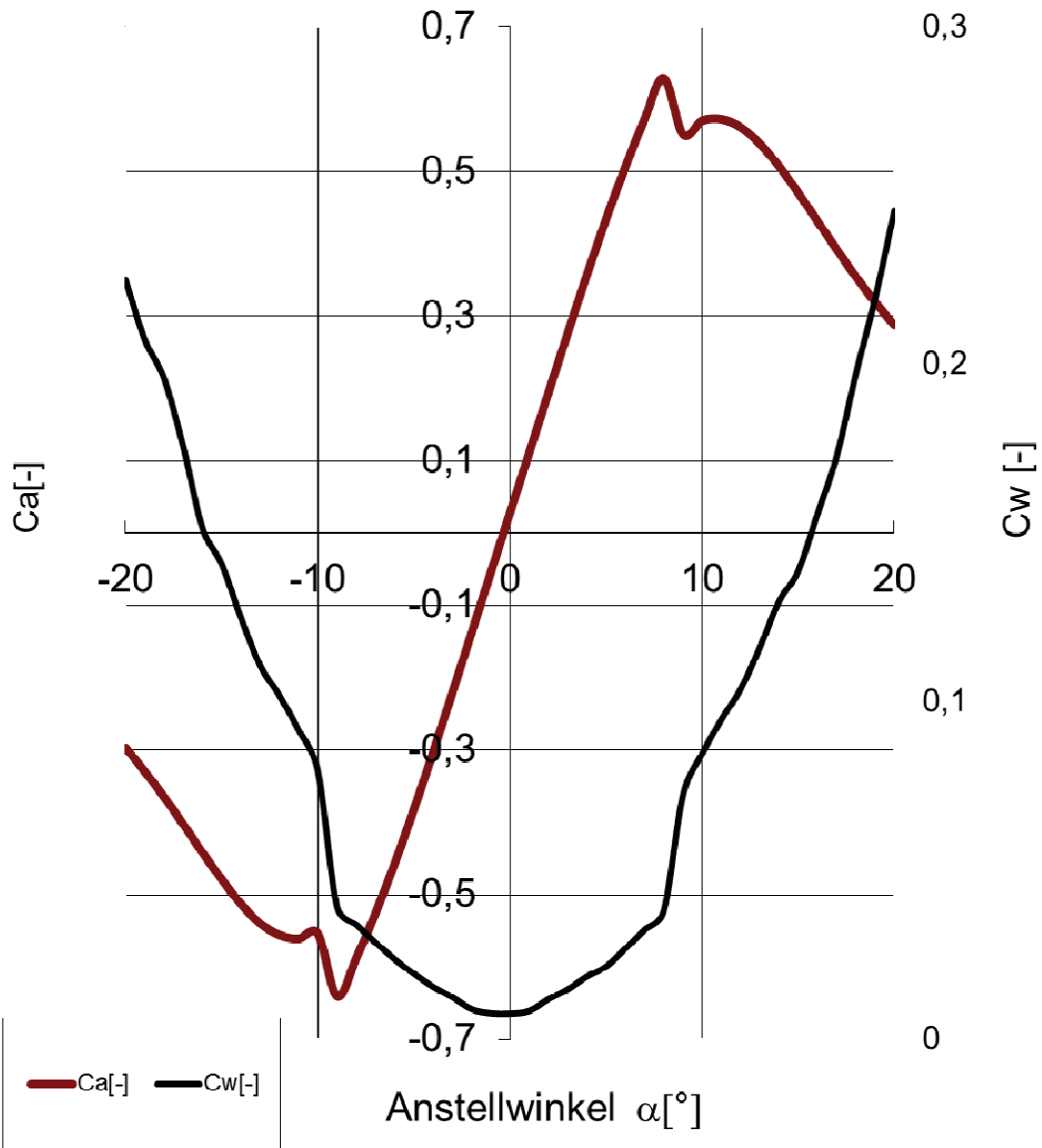
Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,297	0,22484	0,002	-26,730	0,156
-19,0	-0,330	0,20718	0,002	-24,507	0,163
-18,0	-0,365	0,19575	0,002	-22,362	0,170
-17,0	-0,403	0,17550	0,002	-20,297	0,179
-16,0	-0,442	0,15146	0,002	-18,316	0,188
-15,0	-0,479	0,14073	0,002	-16,420	0,197
-14,0	-0,513	0,12487	0,001	-14,612	0,209
-13,0	-0,540	0,11072	0,001	-12,894	0,222
-12,0	-0,556	0,10182	0,001	-11,268	0,235
-11,0	-0,561	0,09158	0,001	-9,737	0,252
-10,0	-0,554	0,07957	0,001	-8,301	0,271
-9,0	-0,641	0,03916	0,001	-6,963	0,294
-8,0	-0,588	0,03390	0,001	-5,724	0,320
-7,0	-0,526	0,02865	0,001	-4,587	0,351
-6,0	-0,457	0,02366	0,000	-3,551	0,391
-5,0	-0,382	0,01937	-0,000	-2,620	0,440
-4,0	-0,303	0,01552	-0,000	-1,855	0,500
-3,0	-0,221	0,01241	-0,001	-1,361	0,553
-2,0	-0,138	0,00892	-0,001	-0,912	0,621
-1,0	-0,055	0,00773	-0,002	-0,509	0,713
0,0	0,028	0,00761	-0,002	-0,413	0,743
1,0	0,111	0,00843	-0,002	-0,650	0,676
2,0	0,194	0,01183	-0,003	-1,066	0,595
3,0	0,276	0,01476	-0,003	-1,527	0,533
4,0	0,357	0,01855	-0,004	-2,033	0,484
5,0	0,434	0,02154	-0,004	-2,582	0,443
6,0	0,506	0,02682	-0,005	-3,176	0,409
7,0	0,572	0,03238	-0,005	-3,812	0,380
8,0	0,629	0,03797	-0,005	-4,489	0,355
9,0	0,551	0,07236	-0,004	-5,208	0,333
10,0	0,570	0,08461	-0,003	-5,967	0,314
11,0	0,572	0,09474	-0,003	-6,766	0,297
12,0	0,561	0,10371	-0,004	-7,602	0,282
13,0	0,538	0,11609	-0,004	-8,476	0,269
14,0	0,507	0,12973	-0,004	-9,387	0,257
15,0	0,470	0,13875	-0,004	-10,332	0,245
16,0	0,431	0,15570	-0,004	-11,311	0,235
17,0	0,392	0,17274	-0,004	-12,324	0,226
18,0	0,354	0,19717	-0,004	-13,367	0,218
19,0	0,319	0,21947	-0,004	-14,441	0,210
20,0	0,287	0,24534	-0,005	-15,544	0,202

Profil ERpL 07 30

Auftriebs- und Widerstandsbeiwert

Medium: Wasser, $Re: 10^6$



Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α	Re	Mach	Λ	Ca	Cw	Cm 0.25	
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
10,000	1000000		0,000	5,000	0,570	0,08461	-0,003

x/l	y/l	v/V	δ_1	δ_2	δ_3	Re δ_2	C_f	H_12	H_32	Zust.	y1
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]
1,0000	0,0000	0,3106	0,001044	0,006532	0,000534	2028,8	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9929	0,0021	1,0222	0,001044	0,006532	0,000534	6677,9	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9808	0,0035	0,9693	0,001044	0,006532	0,000534	6332,3	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9641	0,0050	0,9767	0,001044	0,006532	0,000534	6380,1	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9428	0,0071	1,0017	0,001044	0,006532	0,000534	6543,9	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,9173	0,0097	1,0285	0,001044	0,006532	0,000534	6718,5	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,8878	0,0126	1,0749	0,001044	0,006532	0,000534	7021,8	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,8544	0,0150	1,0827	0,001044	0,006532	0,000534	7072,5	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,8175	0,0169	1,0749	0,001044	0,006532	0,000534	7021,6	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,7776	0,0195	1,1070	0,001044	0,006532	0,000534	7231,3	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,7349	0,0216	1,1015	0,001044	0,006532	0,000534	7195,6	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,6900	0,0243	1,1356	0,001044	0,006532	0,000534	7418,4	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,6432	0,0267	1,1381	0,001044	0,006532	0,000534	7434,7	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,5949	0,0294	1,1660	0,001044	0,006532	0,000534	7616,9	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,5458	0,0322	1,1917	0,001044	0,006532	0,000534	7785,1	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,4961	0,0348	1,2067	0,001044	0,006532	0,000534	7882,8	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,4465	0,0378	1,2526	0,001044	0,006532	0,000534	8182,9	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,3973	0,0403	1,2807	0,001044	0,006532	0,000534	8366,4	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,3491	0,0430	1,3265	0,001044	0,006532	0,000534	8665,3	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,3023	0,0459	1,4666	0,001044	0,006532	0,000534	9580,5	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,2573	0,0447	1,4194	0,001044	0,006532	0,000534	9272,6	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,2146	0,0437	1,4853	0,001044	0,006532	0,000534	9702,6	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,1746	0,0418	1,5275	0,001044	0,006532	0,000534	9978,2	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,1378	0,0392	1,5865	0,001044	0,006532	0,000534	10363,7	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,1044	0,0362	1,6763	0,001044	0,006532	0,000534	10950,5	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,0750	0,0325	1,7817	0,001044	0,006532	0,000534	11639,3	0,0000	0,1599	0,0818	abgel.	0,0000
0,0497	0,0282	1,9195	0,001044	0,006532	0,000534	12538,9	0,0000	0,1599	0,0818	turb.	0,0000
0,0288	0,0236	2,2118	0,000224	0,000118	0,000187	309,9	0,0023	1,8924	1,5854	turb.	0,0030
0,0131	0,0179	2,6396	0,000120	0,000045	0,000071	144,0	0,0029	2,6425	1,5675	lam.	0,0026
0,0029	0,0105	3,1738	0,000065	0,000029	0,000048	68,3	0,0106	2,2289	1,6211	lam.	0,0014
-0,0000	0,0039	3,2049	0,000069	0,000031	0,000050	49,6	0,0145	2,2335	1,6204	lam.	0,0012
0,0030	-0,0027	1,5906	0,000124	0,000056	0,000090	26,9	0,0266	2,2352	1,6202	lam.	0,0009
0,0131	-0,0102	0,4812	0,000097	0,000043	0,000070	3,0	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0288	-0,0159	0,0273	0,000001	0,000000	0,000001	0,0	0,0000	2,2364	1,6200	lam.	0,0000
0,0496	-0,0207	0,2862	0,000118	0,000053	0,000086	2,4	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0749	-0,0249	0,4419	0,000186	0,000083	0,000135	23,9	0,0299	2,2352	1,6202	lam.	0,0008
0,1043	-0,0286	0,5519	0,000257	0,000114	0,000185	50,5	0,0139	2,2513	1,6177	lam.	0,0012
0,1377	-0,0318	0,6323	0,000320	0,000141	0,000227	78,4	0,0087	2,2726	1,6145	lam.	0,0015
0,1745	-0,0343	0,6915	0,000381	0,000166	0,000267	105,4	0,0063	2,2980	1,6107	lam.	0,0018
0,2144	-0,0363	0,7413	0,000444	0,000191	0,000307	132,2	0,0048	2,3250	1,6067	lam.	0,0020
0,2571	-0,0379	0,7961	0,000500	0,000214	0,000344	158,9	0,0040	2,3303	1,6059	lam.	0,0022
0,3021	-0,0379	0,8352	0,000523	0,000228	0,000367	181,8	0,0036	2,2952	1,6110	lam.	0,0023
0,3489	-0,0355	0,8209	0,000583	0,000249	0,000399	208,0	0,0030	2,3412	1,6043	lam.	0,0026
0,3971	-0,0329	0,8264	0,000867	0,000316	0,000492	259,4	0,0014	2,7441	1,5580	lam.	0,0038
0,4463	-0,0303	0,8331	0,000876	0,000344	0,000543	284,5	0,0017	2,5433	1,5783	lam.	0,0035
0,4960	-0,0281	0,8514	0,000931	0,000373	0,000590	310,4	0,0016	2,4991	1,5835	lam.	0,0035
0,5456	-0,0257	0,8585	0,000902	0,000381	0,000609	324,3	0,0018	2,3686	1,6005	lam.	0,0033
0,5948	-0,0233	0,8676	0,000995	0,000408	0,000648	350,0	0,0015	2,4417	1,5907	lam.	0,0036
0,6431	-0,0209	0,8736	0,001032	0,000425	0,000677	368,7	0,0015	2,4277	1,5926	lam.	0,0037
0,6899	-0,0188	0,8863	0,001093	0,000446	0,000709	389,7	0,0014	2,4497	1,5897	lam.	0,0038
0,7348	-0,0166	0,8949	0,001071	0,000452	0,000723	400,7	0,0015	2,3702	1,6003	lam.	0,0037
0,7775	-0,0142	0,8884	0,001106	0,000465	0,000743	415,7	0,0014	2,3798	1,5989	lam.	0,0038
0,8174	-0,0126	0,9157	0,001306	0,000505	0,000795	449,1	0,0010	2,5845	1,5730	lam.	0,0045
0,8543	-0,0105	0,9098	0,001050	0,000469	0,000760	429,3	0,0017	2,2384	1,6202	lam.	0,0035
0,8877	-0,0087	0,9079	0,001256	0,000509	0,000808	463,2	0,0011	2,4665	1,5871	lam.	0,0042
0,9173	-0,0073	0,9197	0,001353	0,000532	0,000839	482,6	0,0010	2,5462	1,5777	lam.	0,0045
0,9429	-0,0061	0,9290	0,001230	0,000518	0,000829	476,8	0,0012	2,3742	1,6001	lam.	0,0040
0,9642	-0,0050	0,9272	0,001181	0,000512	0,000825	476,3	0,0014	2,3057	1,6096	lam.	0,0038
0,9810	-0,0046	1,0601	0,001265	0,000529	0,000845	490,7	0,0012	2,3903	1,5971	lam.	0,0041
0,9929	-0,0020	0,9144	0,000612	0,000327	0,000579	348,5	0,0048	1,8733	1,7705	lam.	0,0020
1,0000	0,0000	0,3106	0,001772	0,000428	0,000929	132,9	0,0000	4,1389	2,1703	turb.	0,0000

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	T.U. [-]	T.L. [-]	S.U. [-]	S.L. [-]	GZ [-]	N.P. [-]	D.P.
-19,0	-0,330	0,20718	0,002	1,000	0,002	1,000	0,013	-1,593	0,247	0,256
-18,0	-0,365	0,19575	0,002	1,000	0,001	1,000	0,013	-1,867	0,248	0,255
-17,0	-0,403	0,17550	0,002	1,000	0,001	1,000	0,016	-2,297	0,249	0,254
-16,0	-0,442	0,15146	0,002	1,000	0,002	1,000	0,020	-2,916	0,248	0,254
-15,0	-0,479	0,14073	0,002	1,000	0,002	1,000	0,021	-3,402	0,247	0,253
-14,0	-0,513	0,12487	0,001	1,000	0,002	1,000	0,024	-4,105	0,247	0,253
-13,0	-0,540	0,11072	0,001	1,000	0,003	1,000	0,027	-4,873	0,244	0,252
-12,0	-0,556	0,10182	0,001	1,000	0,004	1,000	0,028	-5,462	0,238	0,252
-11,0	-0,561	0,09158	0,001	1,000	0,005	1,000	0,034	-6,121	0,312	0,252
-10,0	-0,554	0,07957	0,001	0,961	0,006	1,000	0,064	-6,958	0,254	0,252
-9,0	-0,641	0,03916	0,001	0,351	0,006	1,000	0,993	-16,373		0,252 0,252
-8,0	-0,588	0,03390	0,001	0,345	0,008	1,000	0,994	-17,359		0,256 0,252
-7,0	-0,526	0,02865	0,001	0,340	0,011	1,000	0,994	-18,370		0,256 0,251
-6,0	-0,457	0,02366	0,000	0,337	0,015	1,000	0,995	-19,306		0,255 0,251
-5,0	-0,382	0,01937	-0,000	0,335	0,019	1,000	0,996	-19,709		0,255 0,250
-4,0	-0,303	0,01552	-0,000	0,334	0,022	1,000	0,996	-19,490		0,255 0,249
-3,0	-0,221	0,01241	-0,001	0,332	0,029	1,000	0,996	-17,811		0,255 0,246
-2,0	-0,138	0,00892	-0,001	0,331	0,323	1,000	0,995	-15,522		0,255 0,241
-1,0	-0,055	0,00773	-0,002	0,332	0,326	1,000	0,995	-7,168	0,255	0,221
0,0	0,028	0,00761	-0,002	0,330	0,328	1,000	0,995	3,665	0,255	0,323
1,0	0,111	0,00843	-0,002	0,329	0,334	1,000	0,996	13,178	0,255	0,272
2,0	0,194	0,01183	-0,003	0,048	0,338	1,000	0,995	16,398	0,255	0,265
3,0	0,276	0,01476	-0,003	0,033	0,343	1,000	0,995	18,713	0,255	0,262
4,0	0,357	0,01855	-0,004	0,023	0,349	1,000	0,995	19,234	0,255	0,260
5,0	0,434	0,02154	-0,004	0,018	0,990	1,000	0,993	20,146	0,256	0,260
6,0	0,506	0,02682	-0,005	0,011	0,991	1,000	0,993	18,877	0,256	0,259
7,0	0,572	0,03238	-0,005	0,008	0,991	1,000	0,993	17,665	0,257	0,259
8,0	0,629	0,03797	-0,005	0,007	0,991	1,000	0,993	16,566	0,321	0,259
9,0	0,551	0,07236	-0,004	0,006	0,991	0,075	0,993	7,610	0,286	0,256
10,0	0,570	0,08461	-0,003	0,005	0,991	0,039	0,993	6,735	0,241	0,256
11,0	0,572	0,09474	-0,003	0,004	0,991	0,028	0,993	6,036	0,227	0,256
12,0	0,561	0,10371	-0,004	0,004	0,991	0,027	0,993	5,410	0,243	0,256
13,0	0,538	0,11609	-0,004	0,003	0,991	0,021	0,993	4,633	0,245	0,257
14,0	0,507	0,12973	-0,004	0,002	0,991	0,022	0,993	3,907	0,244	0,258
15,0	0,470	0,13875	-0,004	0,002	0,991	0,021	0,993	3,389	0,247	0,258
16,0	0,431	0,15570	-0,004	0,002	0,991	0,018	0,993	2,769	0,248	0,259
17,0	0,392	0,17274	-0,004	0,002	0,991	0,016	0,993	2,269	0,249	0,261
18,0	0,354	0,19717	-0,004	0,001	0,991	0,012	0,993	1,796	0,248	0,262
19,0	0,319	0,21947	-0,004	0,001	0,991	0,012	0,993	1,455	0,244	0,263
20,0	0,287	0,24534	-0,005	0,001	0,991	0,013	0,993	1,171	0,243	0,266

NACA 00 07



1,00000000	0,00073500
0,99726095	0,00095881
0,98907380	0,00162328
0,97552826	0,00270811
0,95677273	0,00418111
0,93301270	0,00600036
0,90450850	0,00811669
0,87157241	0,01047610
0,83456530	0,01302165
0,79389263	0,01569468
0,75000000	0,01843512
0,70336832	0,02118117
0,65450850	0,02386849
0,60395585	0,02642932
0,55226423	0,02879209
0,50000000	0,03088181
0,44773577	0,03262161
0,39604415	0,03393545
0,34549150	0,03475192
0,29663168	0,03500872
0,25000000	0,03465725
0,20610737	0,03366658
0,16543470	0,03202630
0,12842759	0,02974755
0,09549150	0,02686188
0,06698730	0,02341803
0,04322727	0,01947678
0,02447174	0,01510443
0,01092620	0,01036567
0,00273905	0,00531678
0,00000000	0,00000000
0,00273905	-0,00531678
0,01092620	-0,01036567
0,02447174	-0,01510443
0,04322727	-0,01947678
0,06698730	-0,02341803
0,09549150	-0,02686188
0,12842759	-0,02974755
0,16543470	-0,03202630
0,20610737	-0,03366658
0,25000000	-0,03465725

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,29663168	-0,03500872
0,34549150	-0,03475192
0,39604415	-0,03393545
0,44773577	-0,03262161
0,50000000	-0,03088181
0,55226423	-0,02879209
0,60395585	-0,02642932
0,65450850	-0,02386849
0,70336832	-0,02118117
0,75000000	-0,01843512
0,79389263	-0,01569468
0,83456530	-0,01302165
0,87157241	-0,01047610
0,90450850	-0,00811669
0,93301270	-0,00600036
0,95677273	-0,00418111
0,97552826	-0,00270811
0,98907380	-0,00162328
0,99726095	-0,00095881
1,00000000	-0,00073500

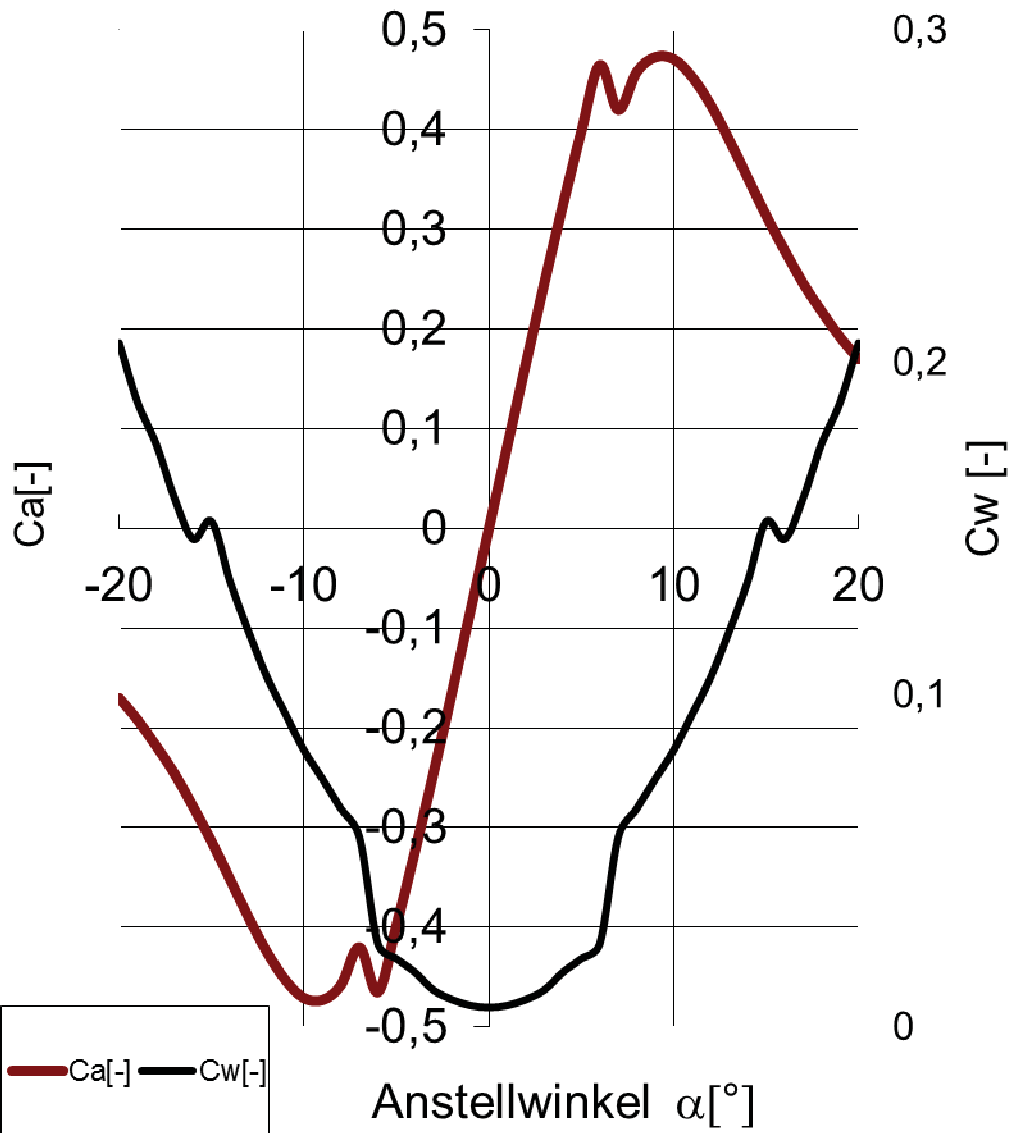
Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α	Ca	Cw	Cm 0.25	Cp*	M krit.
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	
-20,0	-0,170	0,20584	0,004	-34,508	0,138
-19,0	-0,192	0,18791	0,004	-31,671	0,144
-18,0	-0,218	0,17548	0,004	-28,932	0,151
-17,0	-0,246	0,15912	0,003	-26,296	0,157
-16,0	-0,279	0,14683	0,003	-23,765	0,165
-15,0	-0,314	0,15212	0,003	-21,344	0,174
-14,0	-0,352	0,13403	0,003	-19,034	0,184
-13,0	-0,390	0,11901	0,002	-16,838	0,195
-12,0	-0,425	0,10526	0,002	-14,760	0,208
-11,0	-0,453	0,09418	0,002	-12,801	0,222
-10,0	-0,471	0,08329	0,002	-10,964	0,238
-9,0	-0,473	0,07463	0,002	-9,252	0,258
-8,0	-0,458	0,06568	0,001	-7,666	0,281
-7,0	-0,420	0,05714	0,001	-6,209	0,308
-6,0	-0,465	0,02500	0,003	-4,881	0,343
-5,0	-0,398	0,02055	0,002	-3,686	0,385
-4,0	-0,324	0,01647	0,002	-2,623	0,440
-3,0	-0,246	0,01114	0,001	-1,695	0,515
-2,0	-0,165	0,00825	0,001	-0,903	0,623
-1,0	-0,083	0,00650	0,000	-0,459	0,728
0,0	0,000	0,00590	-0,000	-0,241	0,808
1,0	0,083	0,00650	-0,000	-0,459	0,728
2,0	0,165	0,00825	-0,001	-0,878	0,628
3,0	0,246	0,01114	-0,001	-1,347	0,555
4,0	0,324	0,01647	-0,002	-1,868	0,499
5,0	0,398	0,02055	-0,002	-2,439	0,453
6,0	0,465	0,02501	-0,003	-3,059	0,415
7,0	0,420	0,05714	-0,001	-3,728	0,384
8,0	0,458	0,06568	-0,001	-4,445	0,356
9,0	0,473	0,07463	-0,002	-5,209	0,333
10,0	0,471	0,08329	-0,002	-6,020	0,313
11,0	0,453	0,09418	-0,002	-6,875	0,295
12,0	0,425	0,10526	-0,002	-7,774	0,279
13,0	0,390	0,11901	-0,002	-8,717	0,266
14,0	0,352	0,13403	-0,003	-9,701	0,253
15,0	0,314	0,15212	-0,003	-10,726	0,241
16,0	0,279	0,14683	-0,003	-11,790	0,231
17,0	0,246	0,15912	-0,003	-12,893	0,222
18,0	0,218	0,17548	-0,004	-14,032	0,213
19,0	0,192	0,18791	-0,004	-15,819	0,201
20,0	0,170	0,20584	-0,004	-17,958	0,190

Profil NACA 00 07

Auftriebs- und Widerstandsbeiwert

Medium: Wasser, $Re: 10^6$



Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α	Re	Mach	Λ	Ca	Cw	Cm 0.25					
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]					
10,000	1000000		0,000	5,000	0,471	0,08329	-0,002				
x/l	y/l	v/V	δ_1	δ_2	δ_3	Re δ_2	C _f	H ₁₂	H ₃₂	Zust.	y1
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]
1,0000	0,0007	0,3046	0,000267	0,007737	0,000140	2356,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9973	0,0010	0,9659	0,000267	0,007737	0,000140	7473,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9891	0,0016	0,9397	0,000267	0,007737	0,000140	7270,4	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9755	0,0027	0,9627	0,000267	0,007737	0,000140	7448,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9568	0,0042	0,9856	0,000267	0,007737	0,000140	7625,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9330	0,0060	1,0072	0,000267	0,007737	0,000140	7793,2	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,9045	0,0081	1,0278	0,000267	0,007737	0,000140	7952,5	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,8716	0,0105	1,0478	0,000267	0,007737	0,000140	8106,8	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,8346	0,0130	1,0674	0,000267	0,007737	0,000140	8259,0	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,7939	0,0157	1,0871	0,000267	0,007737	0,000140	8411,5	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,7500	0,0184	1,1072	0,000267	0,007737	0,000140	8566,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,7034	0,0212	1,1279	0,000267	0,007737	0,000140	8727,1	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,6545	0,0239	1,1496	0,000267	0,007737	0,000140	8895,0	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,6040	0,0264	1,1726	0,000267	0,007737	0,000140	9072,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,5523	0,0288	1,1971	0,000267	0,007737	0,000140	9262,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,5000	0,0309	1,2236	0,000267	0,007737	0,000140	9467,4	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,4477	0,0326	1,2523	0,000267	0,007737	0,000140	9689,6	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,3960	0,0339	1,2837	0,000267	0,007737	0,000140	9932,5	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,3455	0,0348	1,3183	0,000267	0,007737	0,000140	10200,1	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,2966	0,0350	1,3568	0,000267	0,007737	0,000140	10497,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,2500	0,0347	1,4002	0,000267	0,007737	0,000140	10833,8	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,2061	0,0337	1,4501	0,000267	0,007737	0,000140	11219,6	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,1654	0,0320	1,5087	0,000267	0,007737	0,000140	11673,4	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,1284	0,0297	1,5799	0,000267	0,007737	0,000140	12224,0	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0955	0,0269	1,6697	0,000267	0,007737	0,000140	12918,9	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0670	0,0234	1,7888	0,000267	0,007737	0,000140	13840,2	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0432	0,0195	1,9568	0,000267	0,007737	0,000140	15140,4	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0245	0,0151	2,2139	0,000267	0,007737	0,000140	17129,7	0,0000	0,0345	0,0181	abgel.	0,0000
0,0109	0,0104	2,6495	0,000267	0,007737	0,000140	20499,8	0,0000	0,0345	0,0181	lam.	0,0000
0,0027	0,0053	3,4589	0,000065	0,000029	0,000047	71,6	0,0101	2,2343	1,6203	lam.	0,0014
0,0000	0,0000	3,6708	0,000065	0,000029	0,000047	48,8	0,0157	2,2314	1,6208	lam.	0,0011
0,0027	-0,0053	1,7771	0,000107	0,000048	0,000077	28,2	0,0253	2,2352	1,6202	lam.	0,0009
0,0109	-0,0104	0,5907	0,000053	0,000024	0,000038	2,0	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0245	-0,0151	0,0624	0,000001	0,000000	0,000001	0,0	0,0000	2,2364	1,6200	lam.	0,0000
0,0432	-0,0195	0,2257	0,000059	0,000026	0,000043	1,8	0,0001	2,2364	1,6200	lam.	0,0141
0,0670	-0,0234	0,4042	0,000222	0,000100	0,000161	22,5	0,0317	2,2359	1,6201	lam.	0,0008
0,0955	-0,0269	0,5247	0,000238	0,000106	0,000172	42,9	0,0167	2,2372	1,6199	lam.	0,0011
0,1284	-0,0297	0,6110	0,000302	0,000133	0,000215	69,9	0,0098	2,2678	1,6151	lam.	0,0014
0,1654	-0,0320	0,6754	0,000368	0,000160	0,000258	98,2	0,0067	2,2934	1,6113	lam.	0,0017
0,2061	-0,0337	0,7247	0,000433	0,000187	0,000301	126,5	0,0051	2,3167	1,6078	lam.	0,0020
0,2500	-0,0347	0,7632	0,000499	0,000213	0,000342	154,6	0,0040	2,3375	1,6048	lam.	0,0022
0,2966	-0,0350	0,7937	0,000565	0,000240	0,000384	183,1	0,0033	2,3552	1,6023	lam.	0,0025
0,3455	-0,0348	0,8182	0,000632	0,000266	0,000426	211,5	0,0028	2,3706	1,6002	lam.	0,0027
0,3960	-0,0339	0,8381	0,000697	0,000292	0,000467	239,1	0,0024	2,3846	1,5983	lam.	0,0029
0,4477	-0,0326	0,8545	0,000760	0,000317	0,000506	265,7	0,0022	2,3972	1,5966	lam.	0,0030
0,5000	-0,0309	0,8680	0,000822	0,000342	0,000545	291,8	0,0019	2,4081	1,5951	lam.	0,0032
0,5523	-0,0288	0,8793	0,000883	0,000365	0,000582	317,1	0,0018	2,4172	1,5939	lam.	0,0034
0,6040	-0,0264	0,8889	0,000940	0,000388	0,000618	341,0	0,0016	2,4248	1,5929	lam.	0,0035
0,6545	-0,0239	0,8970	0,000994	0,000409	0,000651	363,6	0,0015	2,4314	1,5921	lam.	0,0036
0,7034	-0,0212	0,9039	0,001046	0,000429	0,000683	384,9	0,0014	2,4371	1,5913	lam.	0,0038
0,7500	-0,0184	0,9096	0,001094	0,000448	0,000712	404,8	0,0013	2,4425	1,5906	lam.	0,0039
0,7939	-0,0157	0,9141	0,001140	0,000465	0,000744	423,3	0,0013	2,4486	1,5898	lam.	0,0040
0,8346	-0,0130	0,9176	0,001184	0,000482	0,000766	440,6	0,0012	2,4563	1,5889	lam.	0,0041
0,8716	-0,0105	0,9197	0,001228	0,000498	0,000790	456,7	0,0011	2,4674	1,5874	lam.	0,0042
0,9045	-0,0081	0,9205	0,001274	0,000513	0,000813	471,6	0,0011	2,4839	1,5854	lam.	0,0043
0,9330	-0,0060	0,9196	0,001326	0,000528	0,000836	486,4	0,0010	2,5102	1,5821	lam.	0,0044
0,9568	-0,0042	0,9167	0,001389	0,000544	0,000859	500,6	0,0009	2,5511	1,5772	lam.	0,0046
0,9755	-0,0027	0,9115	0,001479	0,000563	0,000884	516,2	0,0008	2,6264	1,5690	lam.	0,0050
0,9891	-0,0016	0,9051	0,001613	0,000585	0,000910	532,9	0,0007	2,7588	1,5568	lam.	0,0055
0,9973	-0,0010	0,9426	0,001824	0,000610	0,000939	551,8	0,0004	2,9908	1,5398	lam.	0,0067
1,0000	-0,0007	0,3046	0,002099	0,000597	0,001060	181,9	0,0000	3,5135	1,7749	lam.	0,0000

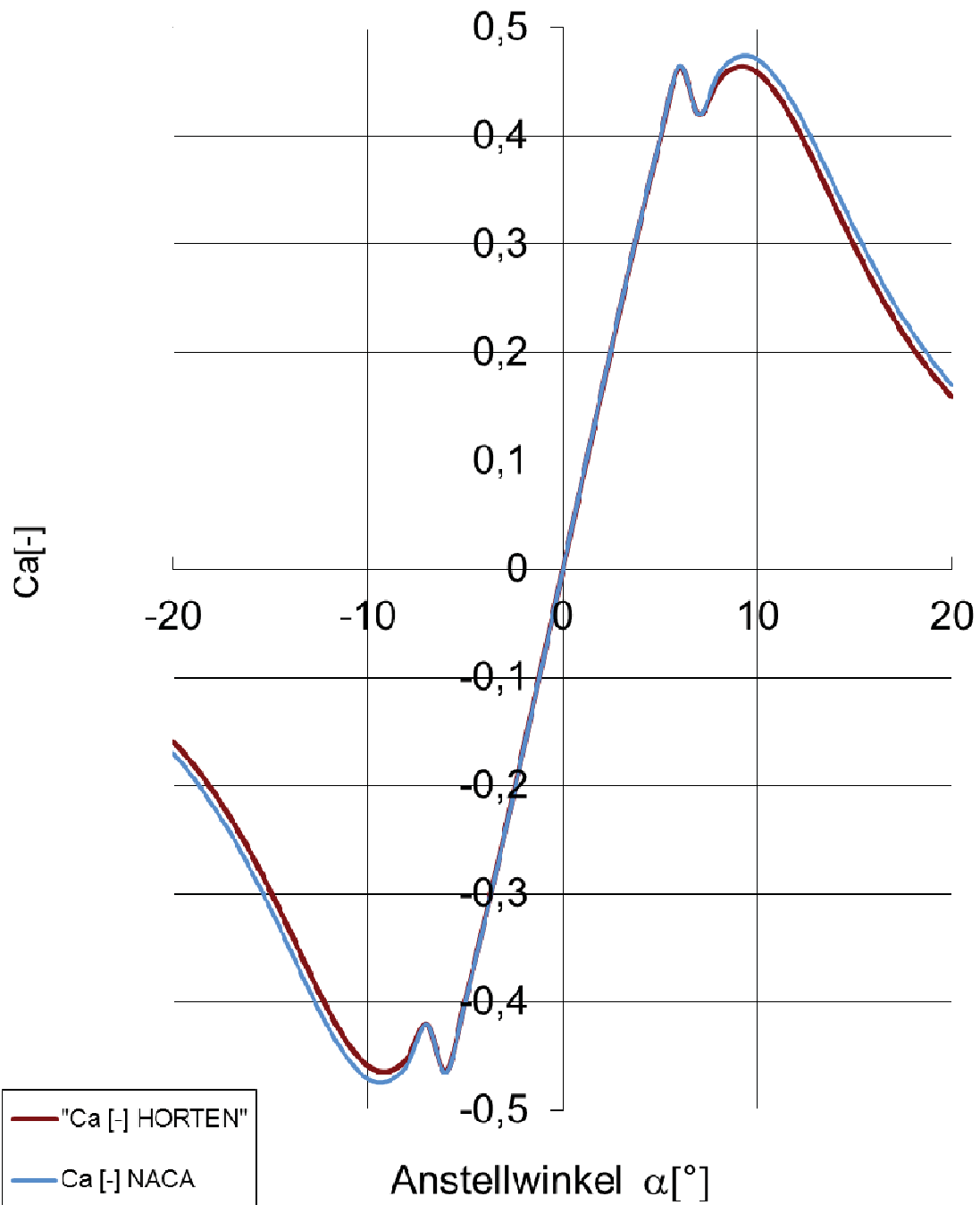
Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	T.U. [-]	T.L. [-]	S.U. [-]	S.L. [-]	GZ [-]	N.P. [-]	D.P.
-19,0	-0,192	0,18791	0,004	1,000	0,002	1,000	0,020	-1,023	0,240	0,270
-18,0	-0,218	0,17548	0,004	1,000	0,001	1,000	0,018	-1,240	0,240	0,266
-17,0	-0,246	0,15912	0,003	1,000	0,001	1,000	0,015	-1,549	0,241	0,263
-16,0	-0,279	0,14683	0,003	1,000	0,001	1,000	0,012	-1,899	0,242	0,261
-15,0	-0,314	0,15212	0,003	1,000	0,001	1,000	0,011	-2,066	0,244	0,259
-14,0	-0,352	0,13403	0,003	1,000	0,001	1,000	0,010	-2,626	0,245	0,257
-13,0	-0,390	0,11901	0,002	1,000	0,001	1,000	0,009	-3,276	0,245	0,256
-12,0	-0,425	0,10526	0,002	1,000	0,002	1,000	0,009	-4,038	0,244	0,255
-11,0	-0,453	0,09418	0,002	1,000	0,002	1,000	0,009	-4,815	0,241	0,254
-10,0	-0,471	0,08329	0,002	1,000	0,003	1,000	0,008	-5,650	0,230	0,254
-9,0	-0,473	0,07463	0,002	1,000	0,003	1,000	0,008	-6,336	0,273	0,253
-8,0	-0,458	0,06568	0,001	0,982	0,004	1,000	0,009	-6,974	0,255	0,253
-7,0	-0,420	0,05714	0,001	0,974	0,005	1,000	0,011	-7,353	0,439	0,253
-6,0	-0,465	0,02500	0,003	0,962	0,005	1,000	0,999	-18,607		0,204 0,256
-5,0	-0,398	0,02055	0,002	0,947	0,006	1,000	0,999	-19,358		0,257 0,256
-4,0	-0,324	0,01647	0,002	0,929	0,009	1,000	0,999	-19,669		0,256 0,256
-3,0	-0,246	0,01114	0,001	0,903	0,337	1,000	0,999	-22,044		0,256 0,256
-2,0	-0,165	0,00825	0,001	0,863	0,488	1,000	0,999	-19,956		0,256 0,256
-1,0	-0,083	0,00650	0,000	0,807	0,618	1,000	0,999	-12,688		0,256 0,256
0,0	0,000	0,00590	-0,000	0,727	0,727	1,000	0,999	0,000	0,256	0,250
1,0	0,083	0,00650	-0,000	0,618	0,807	1,000	0,999	12,689	0,256	0,256
2,0	0,165	0,00825	-0,001	0,488	0,863	1,000	0,999	19,958	0,256	0,256
3,0	0,246	0,01114	-0,001	0,337	0,903	1,000	0,999	22,046	0,256	0,256
4,0	0,324	0,01647	-0,002	0,009	0,929	1,000	0,999	19,670	0,256	0,256
5,0	0,398	0,02055	-0,002	0,006	0,947	1,000	0,999	19,358	0,257	0,256
6,0	0,465	0,02501	-0,003	0,005	0,962	1,000	0,999	18,607	0,204	0,256
7,0	0,420	0,05714	-0,001	0,005	0,974	0,011	0,998	7,353	0,437	0,253
8,0	0,458	0,06568	-0,001	0,004	0,982	0,009	0,998	6,974	0,255	0,253
9,0	0,473	0,07463	-0,002	0,003	0,998	0,008	0,998	6,336	0,273	0,253
10,0	0,471	0,08329	-0,002	0,003	0,998	0,008	0,998	5,650	0,230	0,254
11,0	0,453	0,09418	-0,002	0,002	0,998	0,009	0,998	4,815	0,241	0,254
12,0	0,425	0,10526	-0,002	0,002	0,998	0,009	0,998	4,038	0,244	0,255
13,0	0,390	0,11901	-0,002	0,001	0,998	0,009	0,998	3,276	0,245	0,256
14,0	0,352	0,13403	-0,003	0,001	0,998	0,010	0,998	2,626	0,245	0,257
15,0	0,314	0,15212	-0,003	0,001	0,998	0,011	0,998	2,066	0,244	0,259
16,0	0,279	0,14683	-0,003	0,001	0,998	0,012	0,998	1,899	0,242	0,261
17,0	0,246	0,15912	-0,003	0,001	0,998	0,015	0,998	1,549	0,241	0,263
18,0	0,218	0,17548	-0,004	0,001	0,998	0,018	0,998	1,240	0,240	0,266
19,0	0,192	0,18791	-0,004	0,002	0,998	0,020	0,999	1,023	0,241	0,270
20,0	0,170	0,20584	-0,004	0,002	0,998	0,020	0,998	0,826	0,242	0,273

HORTEN 0700 und NACA 00 07

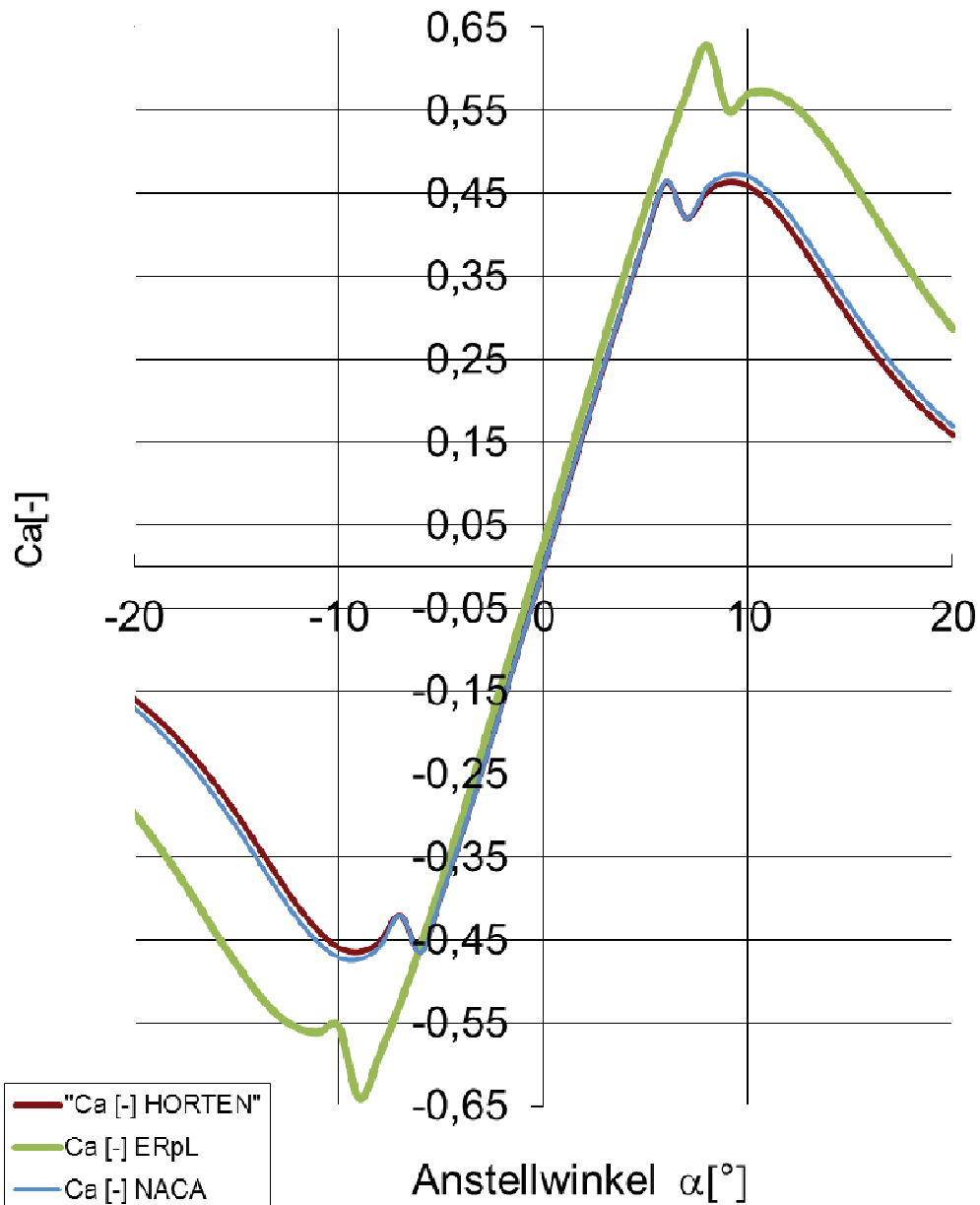
Auftriebsbeiwert

Medium: Wasser, $Re: 10^6$



HORTEN 0700, ERpL 0730 und NACA 00 07

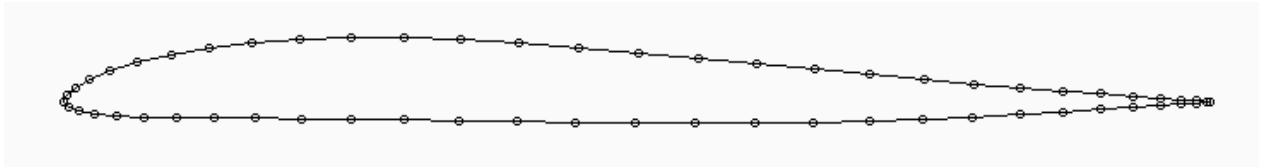
Auftriebsbeiwert
Medium: Wasser, $Re:10^6$



Vorversuche nichtsymmetrische Wölb-Profile

Horten und NACA 7% - Profile

Horten 07 02



1,00000000	0,00000000
0,99726095	0,00019174
0,98907385	0,00076503
0,97552882	0,00171522
0,95677576	0,00303773
0,93302358	0,00473175
0,90453862	0,00680314
0,87164174	0,00926531
0,83470389	0,01213657
0,79414001	0,01543368
0,75040153	0,01916177
0,70396807	0,02330189
0,65533913	0,02779836
0,60502690	0,03254814
0,55355093	0,03739475
0,50143535	0,04212874
0,44920852	0,04649580
0,39740459	0,05021292
0,34656579	0,05299160
0,29724402	0,05456636
0,25000000	0,05472549
0,20539846	0,05334008
0,16399827	0,05038713
0,12633743	0,04596217
0,09291434	0,04027815
0,06416779	0,03364914
0,04045904	0,02646025
0,02205918	0,01912759
0,00914335	0,01205457
0,00179230	0,00559087
0,00000000	0,00000000
0,00368581	-0,00456057
0,01270905	-0,00804506
0,02688431	-0,01051129
0,04599550	-0,01210137
0,06980681	-0,01301477
0,09806866	-0,01347789

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

0,13051775	-0,01371401
0,16687113	-0,01391646
0,20681628	-0,01422763
0,25000000	-0,01472549
0,29601934	-0,01541903
0,34441722	-0,01625326
0,39468372	-0,01712303
0,44626302	-0,01789365
0,49856465	-0,01842503
0,55097753	-0,01859515
0,60288479	-0,01831921
0,65367786	-0,01756158
0,70276857	-0,01633929
0,74959847	-0,01471732
0,79364525	-0,01279748
0,83442672	-0,01070347
0,87150309	-0,00856512
0,90447838	-0,00650444
0,93300183	-0,00462538
0,95676970	-0,00300842
0,97552769	-0,00170980
0,98907375	-0,00076454
0,99726095	-0,00019173
1,00000000	0,00000000

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen

α [°]	C_a [-]	C_w [-]	C_m 0.25 [-]	C_p^* [-]	M krit.
-20,0	-0,115	0,19431	0,002	-36,867	0,134
-19,0	-0,129	0,18262	0,002	-34,047	0,139
-18,0	-0,145	0,16322	0,002	-31,316	0,145
-17,0	-0,163	0,15437	0,002	-28,676	0,151
-16,0	-0,184	0,13935	0,002	-26,132	0,158
-15,0	-0,207	0,12597	0,002	-23,686	0,165
-14,0	-0,232	0,13534	0,002	-21,341	0,174
-13,0	-0,259	0,12132	0,002	-19,101	0,184
-12,0	-0,287	0,10539	0,001	-16,967	0,194
-11,0	-0,312	0,09365	0,001	-14,942	0,206
-10,0	-0,334	0,08472	0,001	-13,030	0,220
-9,0	-0,347	0,07387	0,001	-11,231	0,236
-8,0	-0,348	0,06370	0,001	-9,549	0,255
-7,0	-0,334	0,05512	0,001	-7,986	0,276
-6,0	-0,305	0,04726	0,001	-6,542	0,302
-5,0	-0,261	0,04074	0,001	-5,221	0,333
-4,0	-0,206	0,03548	0,001	-4,024	0,372
-3,0	-0,181	0,00956	0,002	-2,951	0,421
-2,0	-0,102	0,00808	0,001	-2,006	0,486
-1,0	-0,021	0,00795	0,001	-1,187	0,577
0,0	0,061	0,00539	0,001	-0,498	0,717
1,0	0,143	0,00670	0,000	-0,537	0,705
2,0	0,226	0,00892	-0,000	-0,666	0,673
3,0	0,308	0,01208	-0,001	-0,826	0,638
4,0	0,389	0,01614	-0,001	-1,231	0,571
5,0	0,467	0,02101	-0,002	-1,754	0,509
6,0	0,541	0,02871	-0,002	-2,329	0,461
7,0	0,608	0,03467	-0,003	-2,957	0,421
8,0	0,665	0,04060	-0,003	-3,636	0,387
9,0	0,711	0,04636	-0,004	-4,366	0,359
10,0	0,587	0,08572	-0,002	-5,146	0,335
11,0	0,580	0,09378	-0,002	-5,975	0,314
12,0	0,555	0,10389	-0,002	-6,852	0,296
13,0	0,516	0,11520	-0,002	-7,776	0,279
14,0	0,470	0,12907	-0,003	-8,745	0,265
15,0	0,420	0,14107	-0,003	-9,759	0,252
16,0	0,372	0,15891	-0,003	-10,816	0,240
17,0	0,326	0,17822	-0,004	-11,915	0,230
18,0	0,286	0,17070	-0,004	-13,055	0,220
19,0	0,250	0,18466	-0,005	-14,235	0,211
20,0	0,219	0,20262	-0,005	-15,452	0,203

NACA 23 07

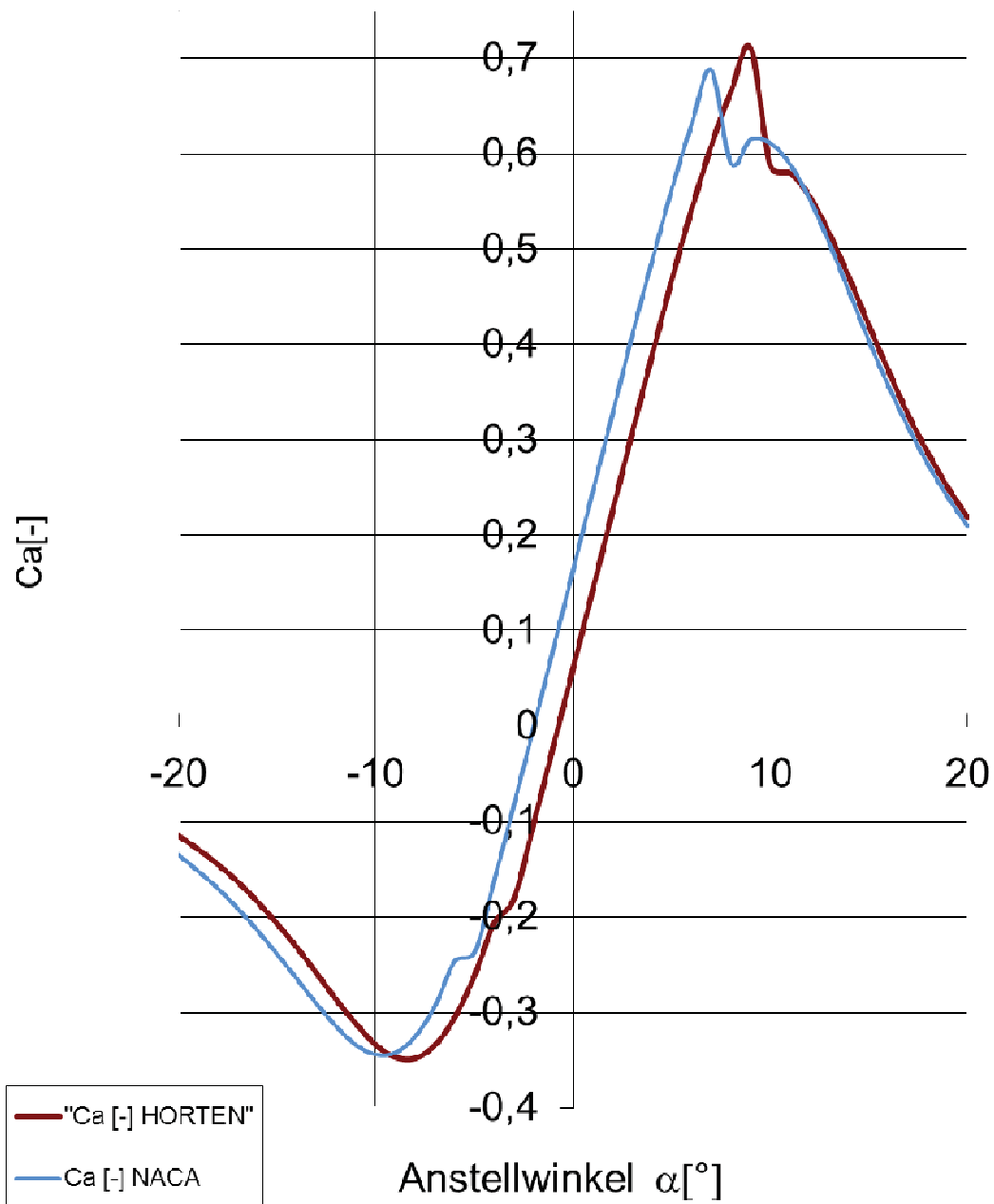


α [°]	Ca [-]	Cw [-]	Cm 0.25 [-]	Cp* [-]	M krit.
-20,0	-0,135	0,19998	-0,007	-35,419	0,136
-19,0	-0,152	0,18693	-0,007	-32,602	0,142
-18,0	-0,170	0,17495	-0,007	-29,879	0,148
-17,0	-0,191	0,15528	-0,007	-27,253	0,155
-16,0	-0,214	0,14308	-0,007	-24,727	0,162
-15,0	-0,239	0,13421	-0,007	-22,305	0,170
-14,0	-0,265	0,13935	-0,007	-19,988	0,180
-13,0	-0,291	0,11818	-0,007	-17,781	0,191
-12,0	-0,315	0,10514	-0,007	-15,686	0,202
-11,0	-0,334	0,09332	-0,007	-13,705	0,215
-10,0	-0,344	0,07965	-0,007	-11,841	0,231
-9,0	-0,342	0,07074	-0,007	-10,096	0,248
-8,0	-0,325	0,06099	-0,008	-8,472	0,269
-7,0	-0,293	0,05294	-0,008	-6,971	0,293
-6,0	-0,246	0,04563	-0,008	-5,595	0,323
-5,0	-0,237	0,01320	-0,021	-4,346	0,360
-4,0	-0,162	0,01088	-0,021	-3,225	0,406
-3,0	-0,083	0,00927	-0,021	-2,233	0,467
-2,0	-0,001	0,00857	-0,022	-1,372	0,551
-1,0	0,081	0,00630	-0,022	-0,643	0,678
0,0	0,164	0,00772	-0,023	-0,437	0,734
1,0	0,246	0,01040	-0,023	-0,536	0,705
2,0	0,328	0,01445	-0,024	-0,673	0,671
3,0	0,410	0,01866	-0,024	-1,118	0,587
4,0	0,488	0,02362	-0,025	-1,624	0,522
5,0	0,562	0,03169	-0,025	-2,183	0,471
6,0	0,630	0,03775	-0,026	-2,794	0,430
7,0	0,688	0,04370	-0,027	-3,455	0,395
8,0	0,590	0,07278	-0,013	-4,167	0,366
9,0	0,615	0,08247	-0,011	-4,928	0,342
10,0	0,611	0,09117	-0,011	-5,738	0,319
11,0	0,589	0,09932	-0,011	-6,594	0,301
12,0	0,552	0,10954	-0,011	-7,498	0,284
13,0	0,506	0,12124	-0,011	-8,446	0,270
14,0	0,455	0,13858	-0,012	-9,439	0,256
15,0	0,404	0,15193	-0,012	-10,475	0,244
16,0	0,356	0,15018	-0,013	-11,552	0,233
17,0	0,313	0,16071	-0,013	-12,670	0,223
18,0	0,274	0,17673	-0,014	-13,827	0,214
19,0	0,240	0,19338	-0,015	-15,021	0,206
20,0	0,210	0,20632	-0,015	-16,251	0,198

HORTEN 0702 und NACA 23 07

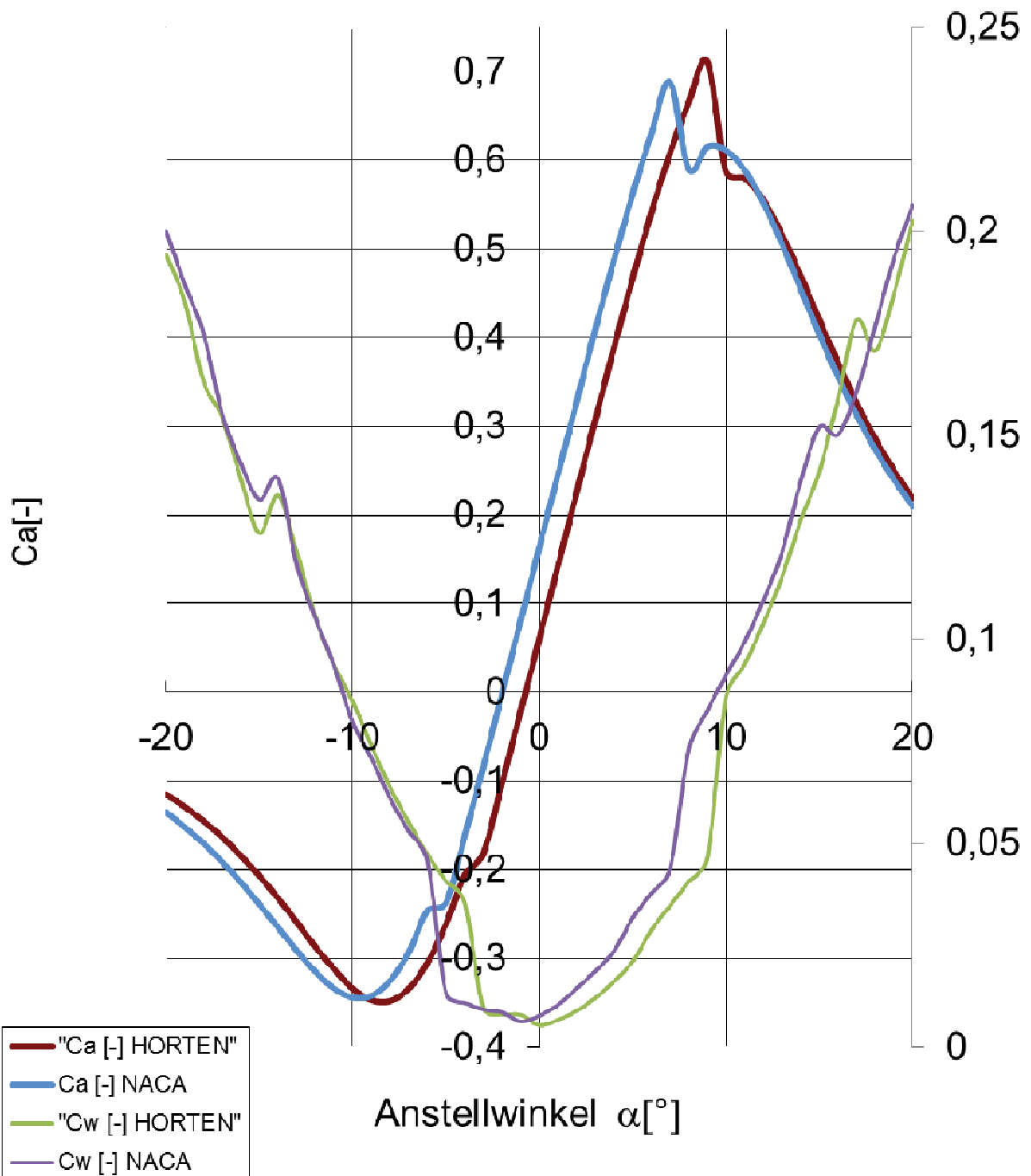
Auftriebsbeiwert

Medium: Wasser, $Re: 10^6$



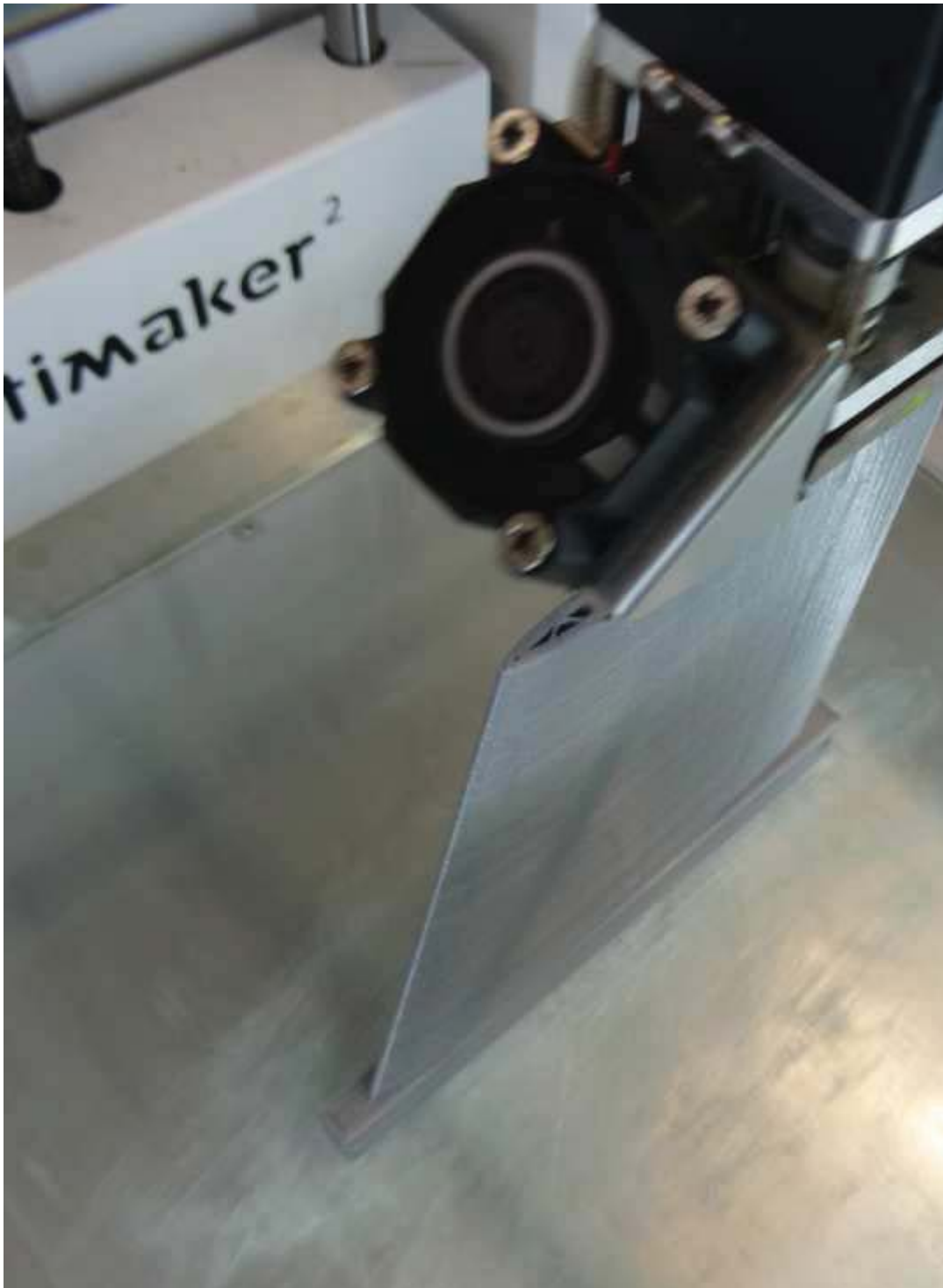
HORTEN 0702 und NACA 23 07

Auftriebs- und Widerstandsbeiwert
Medium: Wasser, $Re: 10^6$



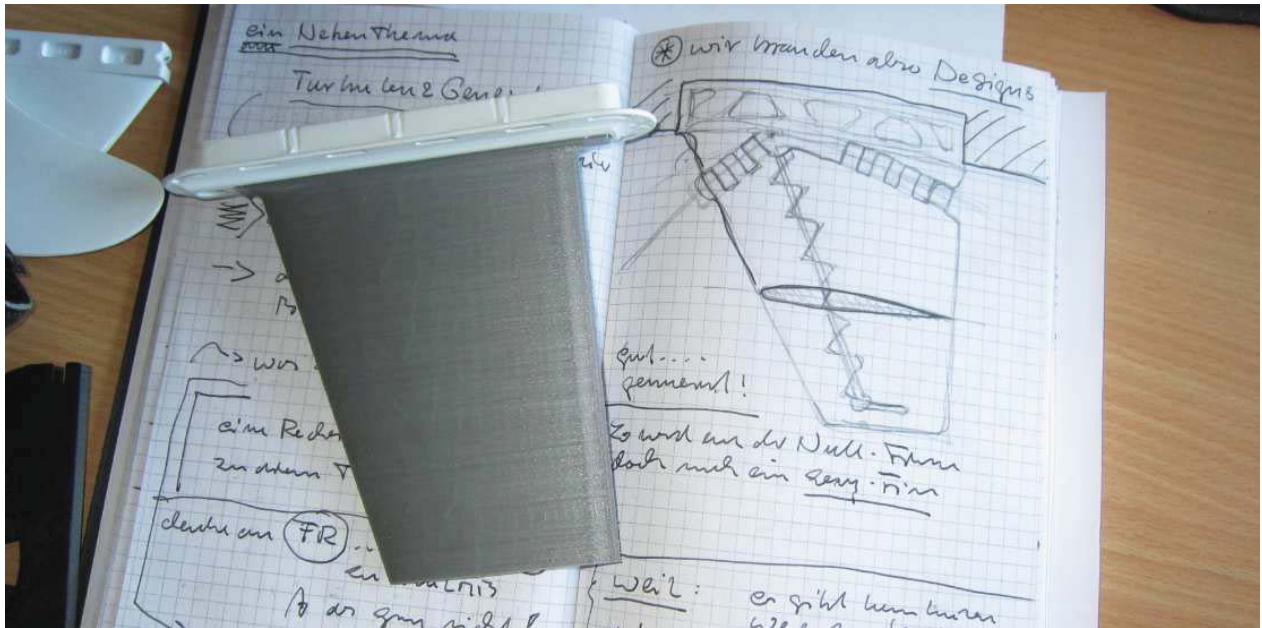
Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen





Olsson Block, Fertigerät Hohe Druckgeschwindigkeit, extrem kleine Schichthöhe, großes Druckvolumen, USB-Anbindung sowie der computerunabhängige Druck von SD-Karten.

Über die Strömungswirklichkeit bei Surfboardfinnen



Have a Look into the Future

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren

