

**Michael Dienst**

# Liftkoeffizienten für Standardprofile aus kubischen Ersatzfunktionen

Beitrag zu Strömungswirklichkeit von Surfboardfinnen

**Wissenschaftlicher Aufsatz**

# 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](http://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 © 2017 GRIN Verlag  
ISBN: 9783668442849

## **Dieses Buch bei GRIN:**

<https://www.grin.com/document/366746>

**Michael Dienst**

# **Liftkoeffizienten für Standardprofile aus kubischen Ersatzfunktionen**

**Beitrag zu Strömungswirklichkeit von Surfboardfinnen**

## **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](http://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](http://www.twitter.com/grin_com)

## Liftkoeffizienten für Standardprofile aus kubischen Ersatzfunktionen

Beitrag zu Strömungswirklichkeit von Surfboardfinnen.

Michael Dienst, Berlin im Mai 2017

Es besteht die Absicht, auch schmutzige Codes einzusetzen. Die Verfügbarkeit eines virtuellen Raumes und die schiereren Möglichkeiten die dieses neuartige Instrument in der Forschung eröffnet, haben unsere Phantasie beflügelt. Strömungsphänomene und deren computergestützte Simulation könnten zukünftig in der Nähe der Echtzeit berechnet und dargestellt werden. Hierzu sind Substitute - insbesondere für Datentransfervorgänge während und nach der der fluidmechanischen Analyse - zu entwickeln und auf ihre Tauglichkeit zu untersuchen. Vielleicht sind diese Codes ja nicht nur *quickndirty* sondern auch hinreichend genau. Eine Möglichkeit der Beschleunigung von Computerprogrammen besteht in der Substitution von Datenbankprozessen (Heap) durch Algebra (Stack). Der Aufsatz beschreibt eine sehr einfache Methode berechnete, auf Datenstrukturen abgelegte und verfügbare Integralwerte aus Strömungssimulationen, durch kubische Splines zu ersetzen.

**Intro.** Bei der Ermittlung der Strömungswirklichkeit von Surfboardfinnen zum Einsatz kommenden Computermodelle von standardisierten, Laborfinnen gehört eine grobe Abschätzung des Lifts, des Form- und des Reibungswiderstands zu den ersten Vorüberlegungen der Gestaltungsaufgabe. Neben Klärung der relevanten geometrischer Kenngrößen des Strömungskörpers und Kenngrößen der Fluide (Dichte, Temperaturbereich, Transportkoeffizienten) liefern Aussagen über das Wechselwirkungsgeschehen des Strömungskörpers im Strömungsfeld (Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung) erste quantitative Aussagen damit frühe Entscheidungen und das Lösungsprinzip zum Erfüllen einer Gesamtaufgabe zu begründen. Eine Kenngröße des Wechselwirkungsgeschehens des Finnenprofils im Strömungsfeld ist der Lift. Für eine erste Abschätzung des Wellenwiderstands werden in der Praxis der frühen Phase der Produktentwicklung Liftkoeffizienten aus Messreihen oder potentialtheoretischen Untersuchungen in Abhängigkeit vom Anstellwinkel in Tabellenform oder in Diagrammen angeboten. Im Laboralltag und in der Forschungspraxis werden diese Werte nicht selten graphisch und von Hand mit Lineal und Zirkel abgegriffen. Der nachstehende Aufsatz führt auf eine Darstellung des Liftkoeffizienten in einer Ersatzfunktion (Polynom 3ten Grades) die bestimmte Gütekriterien erfüllt und auch für numerische Implementationen geeignet ist.

**Ersatzfunktionen.** Ein Spline n-ten Grades ist eine Funktion, die stückweise aus Polynomen (n-ten Grades zusammengesetzt ist. Dabei werden an den Stellen, die zwei Polynomstücke koppeln bestimmte Bedingungen gestellt, etwa dass der Spline (n-1)-mal stetig differenzierbar sei. Ist der Spline eine stückweise lineare Funktion, so heißt er linear (Polygonzug); analog gibt es quadratische, kubische Splines usw. Der Begriff Spline wurde zuerst in einer englischen Veröffentlichung von Isaac

## Strömungswirklichkeit von Surfboardfinnen: Liftkoeffizienten

Jacob Schoenberg<sup>1</sup> im Jahr 1946 für glatte, harmonische, zusammengesetzte mathematische Kurven dritten Grades eingeführt<sup>2</sup>. Splines dienen der Interpolation und Approximation von Kurven aus vorgegebenen Wertemengen, beispielsweise Berechnungs- oder Messdaten. Durch ihre stückweise Definition sind sie flexibler als Polynome und dennoch relativ einfach. Namensgebend ist die in der Schiffskonstruktion und Yachtdesign verwendete elastische „Straklatte“ (engl.: spline), eine Art flexibles Lineal das an einigen Stützstellen (Knoten) durch Gewichte (Molche) fixiert wird und eine (natürlich) gekrümmte Linie abbildet. Die Krümmung der Kurve entspricht dabei der eines kubischen Splines, durch die an Normalkraft freien Lagerungen an den Stützstellen ist die Spannenergie der Straklatte minimiert, sie weisen eine minimale Gesamtkrümmung auf. Jedes Teilstück der Kurve ist dabei durch eine kubische Parabel mit den Koeffizienten  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  und  $d_i$  definiert<sup>3</sup>.

$$\text{kubische Parabel } a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i$$

Die hier verwendeten kubischen Splines sind zweimal stetig differenzierbar. Alle gegebenen Punkte sind Stützstellen der Kurve und zugleich Nahtstellen zwischen den Teilkurven. In den Stützstellen stimmen jeweils sowohl beide Funktionswerte der zusammentreffenden Teilkurven, als auch die ersten  $S'_i(x_i)$  und die zweiten Ableitungen  $S''_i(x_i)$  an der Stelle  $i$  überein (lead in, lead out). Es seien  $n+1$  Punkte  $(x_0|y_0)$ ,  $(x_1|y_1)$  ...  $(x_n|y_n)$  gegeben, wobei  $x_0 < x_1 < \dots < x_n$  gelten soll. Zur Ermittlung der Koeffizienten werden  $n$  Teilstücke des Splines definiert, mit

$$\text{Teilstück des Splines: } S_i(x) = a_i(x-x_i)^3 + b_i(x-x_i)^2 + c_i(x-x_i) + d_i$$

Auch hier soll gelten:  $0 \leq i < n$  ist und es sei  $S_i(x)$  das Kurvenstück zwischen den Punkten  $(x_i|y_i)$  und  $(x_{i+1}|y_{i+1})$ . Die Teilstücke in den gegebenen Punkten sollen nahtlos ineinander übergehen, so dass gilt:

$$S_{i-1}(x_i) = S_i(x_i) = y_i \text{ für } 1 < i \leq n.$$

Mit  $S_i(x_i) = y_i$  folgt sofort  $d_i = y_i$ , weil alle  $(x_i-x_i)$  in  $S_i(x_i) = a_i(x_i-x_i)^3 + b_i(x_i-x_i)^2 + c_i(x_i-x_i) + d_i = y_i$  zu Null werden. Wegen  $S_{i-1}(x_i) = S_i(x_i)$  gilt:

$$a_{i-1}(x_i-x_{i-1})^3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + c_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + d_{i-1} = a_i(x_i-x_i)^3 + b_i(x_i-x_i)^2 + c_i(x_i-x_i) + d_i$$

also:

$$a_{i-1}(x_i-x_{i-1})^3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + c_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + d_{i-1} = d_i \quad (1)$$

In allen gegebenen Punkten haben die gekoppelten Teilkurven gleiche Tangenten, so dass gilt:

$$S'_{i-1}(x_i) = S'_i(x_i) \text{ mit der ersten Ableitung von } S_i(x_i): \quad S'_i(x) = 3a_i(x-x_i)^2 + 2b_i(x-x_i) + c_i \text{ und somit:}$$

$$\begin{aligned} S'_{i-1}(x_i) &= S'_i(x_i) \\ 3a_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + 2b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} &= 3a_i(x_i-x_i)^2 + 2b_i(x_i-x_i) + c_i \\ 3a_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + 2b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} &= c_i \end{aligned} \quad (2)$$

Die Krümmungen der gekoppelten Teilkurven sind in allen gegebenen Punkten gleich, so dass gilt:

$$S''_{i-1}(x_i) = S''_i(x_i), \text{ mit der zweiten Ableitung von } S_i(x_i): \quad S''_i(x) = 6a_i(x-x_i) + 2b_i$$

<sup>1</sup> Isaac Jacob Schoenberg (\* 21. April 1903, Galați, Rumänien; † 21. Februar 1990) war ein rumänisch-amerikanischer Mathematiker, bekannt für die Entdeckung von Splines.

<sup>2</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Spline>

<sup>3</sup> Herleitung der Formeln und Darstellung G01 nach Brünner, A. / Siehe auch <http://www.arndt-bruenner.de>

## Strömungswirklichkeit von Surfboardfinnen: Liftkoeffizienten

also:

$$\begin{aligned} S''_{i-1}(x_i) &= S''_i(x_i) \\ 6a_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + 2b_{i-1} &= 6a_i(x_i-x_i) + 2b_i \\ 6a_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + 2b_{i-1} &= 2b_i \end{aligned}$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$a_{i-1} = (b_i - b_{i-1}) / 3(x_i-x_{i-1}) \quad (3)$$

mit Form (3) und (2) folgt:

$$\begin{aligned} (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) + 2b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} &= c_i \\ (b_i+b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} &= c_i \end{aligned} \quad (4)$$

mit Form (3) und (1) folgt:

$$\begin{aligned} (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})^2/3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + c_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + d_{i-1} &= d_i \\ (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})/3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} + d_{i-1}/(x_i-x_{i-1}) &= d_i/(x_i-x_{i-1}) \\ (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})/3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} &= (d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1}) \end{aligned}$$

$$c_{i-1} = (d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1}) - (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})/3 - b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) \quad (5)$$

$$c_i = (d_{i+1}-d_i)/(x_{i+1}-x_i) - (b_{i+1}-b_i)(x_{i+1}-x_i)/3 - b_i(x_{i+1}-x_i) \quad (6)$$

mit Form (5) und (6) in (4) folgt: eingesetzt:

$$\begin{aligned} (b_i+b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) + (d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1}) - (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})/3 - b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) &= \\ &= (d_{i+1}-d_i)/(x_{i+1}-x_i) - (b_{i+1}-b_i)(x_{i+1}-x_i)/3 - b_i(x_{i+1}-x_i) \end{aligned}$$

und

$$\begin{aligned} 3(b_i+b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) + 3(d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1}) - (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) - 3b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) &= \\ &= 3(d_{i+1}-d_i)/(x_{i+1}-x_i) - (b_{i+1}-b_i)(x_{i+1}-x_i) - 3b_i(x_{i+1}-x_i) \end{aligned}$$

und letztendlich:

$$(x_i-x_{i-1})b_{i-1} + 2(x_{i+1}-x_{i-1})b_i + (x_{i+1}-x_i)b_{i+1} = 3((d_{i+1}-d_i)/(x_{i+1}-x_i) - (d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1})) \quad (7)$$

Mit  $d_i=y_i$  ist auch die rechte Seite der Form (7) für  $i>0$  und  $i<n$  bekannt. Da alle jeweiligen  $x$  bekannt sind, lassen sich die  $b_i$  für  $0<i<n$  mit einem linearen Gleichungssystem aus allen Gleichungen (7) ermitteln. Die Koeffizienten  $b_0$  und  $b_n$  sind die (halben) Krümmungen im ersten und im letzten Punkt (lead in, lead out) werden hier 0 angenommen. Der Koeffizient  $b_n$  dient der Ermittlung der Koeffizienten  $a_{n-1}$  und  $c_{n-1}$ .

Die Koeffizientenmatrix der linken Seite des Gleichungssystems für  $b_0=b_n=0$  wie folgt:

	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	...	$b_{n-3}$	$b_{n-2}$	$b_{n-1}$
$i=1$	$2(x_2-x_0)$	$x_2-x_1$	0	0	...	0	0	0
$i=2$	$x_2-x_1$	$2(x_3-x_1)$	$x_3-x_2$	0	...	0	0	0
$i=3$	0	$x_3-x_2$	$2(x_4-x_2)$	$x_4-x_3$	...	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$i=n-2$	0	0	0	0	0	$x_{n-2}-x_{n-3}$	$2(x_{n-1}-x_{n-3})$	$x_{n-1}-x_{n-2}$
$i=n-1$	0	0	0	0	0	0	$x_{n-1}-x_{n-2}$	$2(x_n-x_{n-2})$

Die rechte Seite ergibt sich aus (7) für die angegebenen Indizes. Die Lösungen rückwärts in (5) und (3) eingesetzt, folgen die Koeffizienten  $c_i$  und  $a_i$ .



**Datenbasis.** Die durch einen Potentiallöser erstellte Strömungswirklichkeit kann in ausgesuchten Fällen mit hoher Wahrscheinlichkeit an das reale Strömungsphänomen hinreichen. In der Potentialtheorie werden, unter Berücksichtigung spezieller Randbedingungen, geschlossene (Potential-) Gleichungen aufgestellt und gelöst. Eingebettet in moderne Programmumgebungen können potentialtheoretische Codes sehr schnell sein. Wir betrachten 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. Bei Potentialströmungen ist die Zirkulation immer dann Null, wenn keine Singularitäten eingeschlossen werden. Mit der Zirkulation lassen sich Wirbelstärke und Auftriebskräfte an einem Tragflügel berechnen. Als Potential werden hierbei Skalarfunktionen verstanden, deren partielle Ableitung eine Größe mit physikalischer Bedeutung angibt. Ist eine Strömung wirbelfrei, so folgen aus dem Gradienten der Feld-funktion 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. Programmsysteme wie JAVAFOIL, EPPLER PROFIL und XFOIL<sup>4</sup> sind robuste, einfache Codes zur zweidimensionalen Strömungsberechnung nach der Potentialtheorie. Sie arbeiten jedoch mit einigen Einschränkungen. Die nachfolgenden Berechnungen stammen aus JAVAFOIL. Die Analyse des Strömungsgeschehens in der Grenzschicht eines Tragflügels ist bei einem Potentiallöser direktional. Die Grenzschichtanalyse gibt also keine Rückmeldung an die potentialtheoretische Strömungslösung und enthält keine (zur Konvergenz führenden) Iterationsschleifen. Die Direktionalität schränkt damit die Aussagekraft der berechneten Strömungswirklichkeit des Potentiallösers über eine reale Strömung ein. Für das wandnahe Strömungsgeschehen berechnet JAVAFOIL keine laminaren Trennblasen und modelliert keine Strömungstrennung in derartigen Strömungsgebieten. Immer dann, wenn solche Effekte auftreten, werden die Berechnungsergebnisse ungenau. Eine Auftrennung der Strömung, wie sie bei Stall auftritt, wird nur bis zu einem gewissen Grad durch empirische modellierte Korrekturen beschrieben. Strömungstrennung und speziell Stall sind drei-dimensionale Strömungsgeschehen und auch schnittweise durch einen zweidimensionalen Strömungslöser nicht darstellbar. Für Strömungszustände, die jenseits des Stallpunktes liegen, liefert der (zweidimensionale) Potentiallöser ungenaue Ergebnisse. Eine genauere Analyse der Grenzschichtströmung würde ein anspruchsvolleres Verfahren zur Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen erfordern; dies ist (im Falle einer CFD-Rechnung) mit einer Steigerung der CPU-Zeit um den Faktor 1000 verbunden.

Gegenstand der potentialtheoretischen Untersuchung ist ein standardisiertes, ebenes Plattenprofil. Die Kontur (des Plattenprofils) PLT 06 besitzt die parametrisierte Profildicke  $d/t = 6\%$ . Die Profilnase ist gerundet mit dem Radius  $r/t=d/2$ ; am Heck des Profils ist die Kontur symmetrisch gefast im Winkel von  $45^\circ$ . Das Profil PLT 06 ist als Surfboardprofil nicht die erste Wahl. Der vorliegende Aufsatz soll

---

<sup>4</sup> Das frei verfügbare Programm *JavaFoil* ist in der Programmiersprache Java geschrieben. The [potential flow analysis](http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/javafoil.htm) is done with a higher order *panel method* (linear varying vorticity distribution). Taking a set of airfoil coordinates, it calculates the local, inviscid flow velocity along the surface of the airfoil for any desired angle of attack. <http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/javafoil.htm>

The Eppler program PROFIL from *Public Domain Computer Programs for the Aeronautical Engineer* containing the original source code, the source code converted to modern Fortran, and several test cases, references for the Eppler program and a revision of Eppler models that includes a correction for compressibility in: <http://www.pdas.com/epplerdownload.html>  
XFOIL wurde in den 1980er Jahren von Mark Drela als Entwicklungstool im Daedalus-Projekt beim Massachusetts Institute of Technology programmiert.

XFOIL ist ein interaktives Programm zum Entwurf und zur Berechnung von Tragflächenprofilen im Unterschallbereich.

nicht als praktische Hilfe im Werftbetrieb dienen, sondern eine exemplarische Herangehensweise bei der Zuweisung von Ersatzfunktionen erörtern.



Abb.1: Das Standardprofil PLT 006.



Abb.2: Nichtuniformale Eingabediskretisierung mit Nasen- und Hecklinse.

Tabelle1:

Liftkoeffizient, Widerstandsbeiwert, Transitions- und Separationspunkte als Funktion des Anstellwinkels als Referenz aus potentialtheoretischer Berechnung

$\alpha$	$C_l$	$C_d$	$C_m$	0.25 T.U.	T.L.	S.U.	S.L.
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0.0	0.054	0.01246	-0.012	0.046	0.045	0.989	0.980
2.0	0.295	0.00844	-0.015	0.044	0.048	0.990	0.980
4.0	0.528	0.00812	-0.018	0.041	0.058	0.990	0.979
6.0	0.618	0.03457	-0.014	0.032	0.951	0.129	0.959
8.0	0.774	0.04617	-0.014	0.029	0.949	0.086	0.959
10.0	0.909	0.05985	-0.015	0.027	0.949	0.067	0.959
12.0	1.020	0.07643	-0.016	0.027	0.948	0.063	0.961
14.0	1.100	0.09454	-0.018	0.026	0.947	0.059	0.964
16.0	1.150	0.11900	-0.019	0.023	0.947	0.057	0.965
18.0	1.171	0.14495	-0.020	0.024	0.947	0.055	0.971
19.0	1.172	0.15653	-0.020	0.024	0.947	0.054	0.971
20.0	1.156	0.17298	-0.021	0.024	0.947	0.051	0.971
22.0	1.108	0.20888	-0.022	0.022	0.947	0.049	0.972
24.0	1.046	0.24102	-0.022	0.023	0.947	0.047	0.973
26.0	0.957	0.28004	-0.023	0.022	0.947	0.044	0.975
28.0	0.867	0.32663	-0.023	0.022	0.947	0.044	0.975
30.0	0.781	0.36915	-0.024	0.021	0.948	0.042	0.975

Tabelle 2: Gegebene Intervalle und berechnete Koeffizienten des Polynoms

Kurvenabschnitt			Koeffizienten des Polynoms: $S_i(x) = a_i(x_i)^3 + b_i(x_i)^2 + c_i(x_i) + d_i$			
Intervall	$x_{\text{Anfang}}$	$x_{\text{End}}$	a	b	c	d
1	0	2	0,001	--	0,116	0,054
2	2	4	-0,007	0,049	0,018	0,119
3	4	6	0,01	0,15	0,813	0,941
4	6	8	-0,005	0,122	- 0,82	2,325
5	8	10	0,001	-0,044	+ 0,509	- 1,219
6	10	12	-0,001	0,018	- 0,112	+ 0,852
7	12	14	-0,013	--	0,26	-0,637
8	14	16	0,003	--	+ 0,04	0,39
9	16	18	-0,028	--	+ 0,529	- 2,214
10	18	19	-0,004	0,191	- 3,402	+ 21,366
11	19	20	0,003	-0,208	+ 4,169	- 26,581
12	20	22	--	-0,009	+ 0,197	- 0,1
13	22	24	-0,001	0,044	- 0,985	+ 8,564
14	24	26	0,001	-0,077	1,938	- 14,815
15	26	28	--	0,007	- 0,244	+ 4,097
16	28	30	--	0,008	- 0,273	+ 4,366

Die Intervalle  $(x-x_i)$  entsprechen den zugrundeliegenden Bereichen der Liftkoeffizienten über dem Anstellwinkel.  $S$  ist der den Argumenten  $x$  zugehörige Wert des Liftkoeffizienten  $c_w$  [ $10^{-3}$ ]. Der Graph Abb.3 zeigt die berechneten Erwartungswerte der Liftkoeffizienten  $c_L$  über den Anstellwinkel. In Anbetracht des doch erheblichen Deklarationsaufwandes für einen stückweise definierten kubischen Spline und vor dem Hintergrund, dass heute jedes Bauhaus-Handy leistungsfähiger ist, als alle meine PCs der vergangenen 30 Jahre zusammen, stellt sich die Frage, ob die Spline-Kurve nicht vielleicht direkt in der Einbettung des Potentiallösers in nahezu Echtzeit berechnet werden sollten. Dieser Aspekt wird sorgfältig zu prüfen sein. Häufig jedoch reichen und dies sicher in der frühen Phase der industriellen Produktentwicklung Berechnungswerte, die auf idealisierenden Annahmen beruhen mögen. Insbesondere bei Optimierungsfragen erscheint eine grobe, dafür aber griffige und leicht zu handhabende Formel wünschenswert.

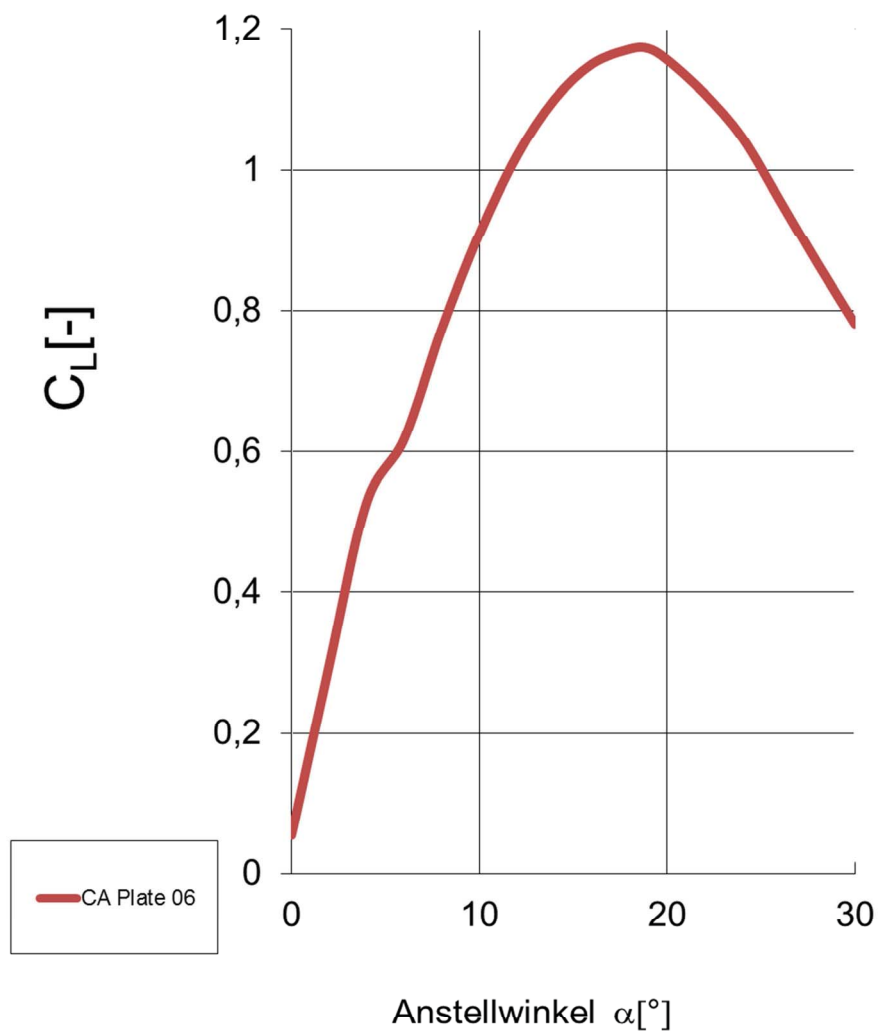
Mi. Dienst, Berlin im Mai 2017

## PLT06 als kubisches Spline

Symmetrisches Vollprofil für LABFin Modelle

**Auftriebsbeiwerte  $C_L$**  über Anstellwinkel  $\alpha$

Medium: Wasser,  $Re=10^6$



## 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.
- [Bech-97] Bechert, D.W., Biological Surfaces and their Technological Application. 28<sup>th</sup> AIAA Fluid Dynamics Conference: 1997
- [Cal-84] Calder, W.A. (1984) Size, Function and Life History. Harvard University Press. Cambridge 431pp.
- [Die11-4] Dienst, Mi.(2011) Methoden in der Bionik. Die Reynoldsbasierte 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.
- [Epp1-90] 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](http://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
- [Gotm-02] A. Sh. Gotman1 (2002) Study Of Michell's Integral And Influence Of Viscosity And Ship Hull Form On Wave Resistance, *Novosibirsk State Academy of Water Transport, Russia*
- [Gör-75] Görtler, H. Diemensionsanalyse. Berlin Springer 1975
- [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 Activty. In: Science 2003, S. 1566-1569. AAAS. 2003.
- [Matt-97] Mattheck, C.: Design in der Natur. Rombach Verlag. Freiburg 1997.
- [Nac-01] Nachtigall, W. (2001) Biomechanik. Braunschweig: Vieweg Verlag.
- [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-Holzooog 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
- [Shar-69] Sharma, S.D. 1969 Some results concerning the wavemaking of a thin ship. *J. Ship Research*, **13**, 72-81.
- [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. Karlsruhe: Braun Verlag 1972.

## Anhang 2:

Die berechneten Koeffizienten in einer höheren Auflösung:

x aus [0; 2]

$$S0(x) = 0,001185x^3 + 0,115761x + 0,054$$

$$= 0,001185x^3 + 0,115761x + 0,054$$

x aus [2; 4]

$$S1(x) = -0,006923(x-2)^3 + 0,007108(x-2)^2 + 0,129977(x-2) + 0,295$$

$$= -0,006923x^3 + 0,048648x^2 + 0,018465x + 0,118864$$

x aus [4; 6]

$$S2(x) = 0,009634(x-4)^3 - 0,034432(x-4)^2 + 0,075329(x-4) + 0,528$$

$$= 0,009634x^3 - 0,150036x^2 + 0,8132x - 0,940783$$

x aus [6; 8]

$$S3(x) = -0,005486(x-6)^3 + 0,02337(x-6)^2 + 0,053205(x-6) + 0,618$$

$$= -0,005486x^3 + 0,122123x^2 - 0,819752x + 2,325122$$

x aus [8; 10]

$$S4(x) = 0,001436(x-8)^3 - 0,009548(x-8)^2 + 0,08085(x-8) + 0,774$$

$$= 0,001436x^3 - 0,044023x^2 + 0,509414x - 1,219319$$

x aus [10; 12]

$$S5(x) = -0,000635(x-10)^3 - 0,000929(x-10)^2 + 0,059896(x-10) + 0,909$$

$$= -0,000635x^3 + 0,018108x^2 - 0,111892x + 0,851699$$

x aus [12; 14]

$$S6(x) = 0,000227(x-12)^3 - 0,004736(x-12)^2 + 0,048566(x-12) + 1,02$$

$$= 0,000227x^3 - 0,0129x^2 + 0,260205x - 0,636689$$

x aus [14; 16]

$$S7(x) = -0,000148(x-14)^3 - 0,003376(x-14)^2 + 0,032342(x-14) + 1,1$$

$$= -0,000148x^3 + 0,002821x^2 + 0,040102x + 0,390457$$

x aus [16; 18]

$$S8(x) = 0,000488(x-16)^3 - 0,004261(x-16)^2 + 0,017068(x-16) + 1,15$$

$$= 0,000488x^3 - 0,027705x^2 + 0,528521x - 2,214441$$

x aus [18; 19]

$$S9(x) = -0,003555(x-18)^3 - 0,00133(x-18)^2 + 0,005885(x-18) + 1,171$$

$$= -0,003555x^3 + 0,190635x^2 - 3,401588x + 21,366213$$

x aus [19; 20]

$$S10(x) = 0,003435(x-19)^3 - 0,011995(x-19)^2 - 0,00744(x-19) + 1,172$$

$$= 0,003435x^3 - 0,207819x^2 + 4,169023x - 26,580992$$

x aus [20; 22]

$$S11(x) = 0,000125(x-20)^3 - 0,001689(x-20)^2 - 0,021124(x-20) + 1,156$$

$$= 0,000125x^3 - 0,009213x^2 + 0,196909x - 0,100234$$

x aus [22; 24]

$$S12(x) = -0,000688(x-22)^3 - 0,000936(x-22)^2 - 0,026374(x-22) + 1,108$$

$$= -0,000688x^3 + 0,044493x^2 - 0,984613x + 8,56426$$

x aus [24; 26]

$$S13(x) = 0,001003(x-24)^3 - 0,005066(x-24)^2 - 0,038379(x-24) + 1,046$$

$$= 0,001003x^3 - 0,077272x^2 + 1,937738x - 14,814544$$

x aus [26; 28]

$$S14(x) = -0,000073(x-26)^3 + 0,000951(x-26)^2 - 0,046609(x-26) + 0,957$$

$$= -0,000073x^3 + 0,006654x^2 - 0,244349x + 4,096881$$

x aus [28; 30]

$$S15(x) = -0,000085(x-28)^3 + 0,000512(x-28)^2 - 0,043683(x-28) + 0,867$$

$$= -0,000085x^3 + 0,007684x^2 - 0,273173x + 4,365902$$



# 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](http://www.GRIN.com) hochladen  
und kostenlos publizieren

