

Michael Dienst

Zur numerischen Analyse einer Laborfinne

Mittelschnittverfahren und Manövrierleistung

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 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: 9783668374188

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/351364>

Michael Dienst

Zur numerischen Analyse einer Laborfinne

Mittelschnittverfahren und Manövrierleistung

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

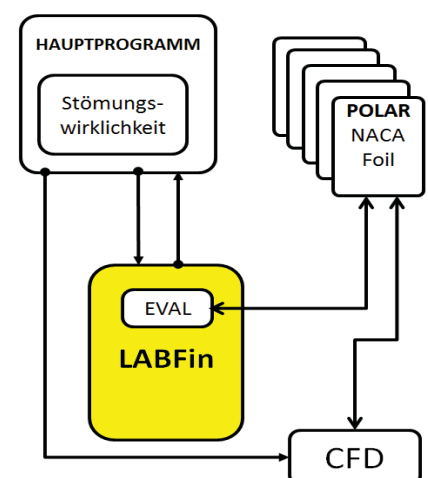
Zur numerischen Analyse einer Laborfinne

Mittelschnittverfahren und Manövrierleistung

Mi. Dienst, Berlin im Januar 2017

Simulationssoftware nimmt in den naturwissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Berufsfeldern einen zunehmend größeren Anteil ein: organisatorisch, zeitlich und hinsichtlich der Kosten. In klassischen maschinenbaubetonten Produktentwicklungs-Methodiken, wie etwa der VDI-R 2221, werden bereits in der frühen Phase Wirkprinzipien und Funktionsmodelle nachgefragt; sie geben erste Auskünfte über Form und Art, Abmessungen, Anordnung und Anzahl der Gestaltungselemente eines frühen Entwurfs und bilden die Entscheidungsgrundlagen für die weitere Entwicklung. An Bedeutung gewinnen gegenständliche Modelle, die mit Rapid Prototyping-Verfahren (RP) direkt aus den CAD-Datenbeständen generiert werden können. Experimentieren mit gegenständlichen Modellen umfasst das ganze Spektrum sehr einfacher Tests bis hin zu aufwändigen Erprobungen mit Prototypen und Vorläuferprodukten. Beanspruchungsmodelle dienen der Klärung des Bauteilverhaltens bei äußerer Beanspruchung (statisch, dynamisch, Schwingung, isolierte Kräfte), Verformungs- und Funktionsmodelle zur Analyse des Bauteilverhaltens hinsichtlich Kinematik, Dynamik, thermischen, elektrischen und chemischen Verhaltens. Ergonomiemodelle und Anmutungen dienen zur Erprobung der Handhabung, Montage, Bedienung und von Nutzungsszenarien im Anwendungsfeld sowie zur Vermittlung eines realistischen Eindrucks über die visuellen Eigenschaften des späteren Produkts, auch dessen Haptik.

Das Analyseprogramm LABFin liefert ein numerisches Modell einer standardisierten Surfboardfinnen und wird als Bibliothek in ein lauffähiges Hauptprogramm eingebunden. Dies kann eine Entwicklungsumgebung sein oder eine auf die besonderen Analysebelange zugeschnittenes Steuerprogramm.



Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

```
function test=LABFin Test; // Test = ansteuernde Routine
    global DONE BUSY PROCESS
    test = BUSY;
    vv= 5.0;           // ... im Prg. Setzen!
    RE= 1000000;       // ... im Prg. setzen!
    inLt = 58.9;        // Fluegel-Profiltiefe (BASE)
    inLd = 9;          // Fluegel-Profildicke (BASE)
    inLa = 120;         // FluegelLaenge (BASE 2 TIP)
    inLb = 60;         // Fluegel-Profiltiefe (TIP)
    //Path: get Matrix der PolarenAnalyse
    path= 'F:\Desktop\MID\MID0_Workbench\LABFinDATA\PROFIL_NACA8306.txt';
    LABFin(inLt,inLd,inLa,inLb,path);
    test= DONE;
endfunction
```

Das Programm LABFin ermittelt die Manövrierleistung der standardisierten Laborfinne LABFin nach dem Mittelschnittverfahren für Tragflügelanalysen. LABfin ist ein sehr einfaches Programm und sollte in der laufenden Kampagne nur den Taschenrechner als Fehlerquelle ersetzen. In der derzeitigen Version (1.1-2016) ist LABFin auf verfügbare Datensätze der zu betrachtenden Tragflügelprofile angewiesen. Es kann sich dabei um Messdaten¹ über reale Tragflügelprofile handeln, Berechnungsergebnissen aus hochauflösenden CFD-Analysen, oder wie in unserem Fall, um Berechnungsergebnisse einer Potentialtheoretischen Untersuchung. Die Geometrie der Laborfinne ist sehr einfach, der Tragflügel ist ein Trapez mit einer rechtwinkligen Seite. Deshalb habe ich für einen ersten Hub auf die Anwendung des feinauflösenden Traglinienverfahrens² das einen gewissen Deklarationsaufwand erfordert, verzichtet und ein so genanntes Mittelschnittverfahren programmiert. Für homologe Profilverteilungen liefert das Mittelschnittverfahren die gleichen Berechnungsergebnisse wie ein über die Kontur differenziertes Traglinienverfahren.

Niedrigschwelligen Betrachtungen umströmter Körper können mit dem Ansatz der reibungsfreien und rotorfreien Potentialströmung erfolgen. In der Potentialtheorie werden, unter Berücksichtigung spezieller Randbedingungen, Potentialgleichungen aufgestellt und gelöst. 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. Für Potentialströmungen ist die Zirkulation immer dann Null, wenn keine Festkörper oder Singularitäten eingeschlossen werden. Mit der Zirkulation lassen sich Wirbelstärke und

¹ Siehe auch: The Airfoil Investigation Database, <http://www.worldofkrauss.com/foils/578>
UIUC Airfoil Coordinates Database, http://www.ae.illinois.edu/m-selig/ads/coord_database.html

² Dienst, Mi. (2016) Fast Fluid Computation, FFC, München, GRIN Verlag, <http://www.grin.com/de/e-book/322622/fast-fluid-computation-ffc>

Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

Auftriebskräfte 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 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) Abfluss-bedingung erfüllt ist. Diese fordert ein glattes Abströmen des Fluids an der Hinterkante.

Das nachfolgende Programm evaluiert einen entsprechenden Datensatz, der in unserem Fall aus einer Potentialanalyse stammt:

```
function [aStall, lStall, wStall]=evalPolarDATA(getpath_PROFILDATA);  
// evaluiert ein benanntes Datenfile: POLAR  
global DONE BUSY PROCESS  
test = BUSY;  
anadim = 100;  
//getpath_PROFILDATA=F:\Desktop\MID\MID0_Workbench\LABFinDATA\PROFIL_NACA0009.txt';  
Matrix der PolarenAnalyse  
[PolarMat,tex]=fscanfMat(getpath_PROFILDATA); mclose(getpath_PROFILDATA);  
// öffnet, liest eine "bunte Matrix" und schließt  
// disp(PolarMat); // .... mal sehen..  
for j=1:anadim // Matrix der PolarenAnalyse auswerten (nur Relevante)  
    alfa(j) = PolarMat(j,1); // [°] Anstellwinkel  
    cLift(j) = PolarMat(j,2); // [-] AuftriebsKoeffizient  
    cDrag(j) = PolarMat(j,3); // [-] WiderstandsKoeffizient  
    cM25(j) = PolarMat(j,4); // [-] Momenten25Koeffizient  
    TUp(j) = PolarMat(j,5); // [%] TransitionPoint Upper Contour  
    TLow(j) = PolarMat(j,6); // [%] TransitionPoint Lower Contour  
    SUp(j) = PolarMat(j,7); // [%] SeparationPoint Upper Contour  
    SLow(j) = PolarMat(j,8); // [%] SeparationPoint Lower Contour  
end;  
CLmaxIndex = maxLiftIndex(anadim,cLift);  
disp(CLmaxIndex,"=Index des max Auftriebs:"); // BasisRoutinen siehe ca Zeile 650  
alfaOfCLmax= alfa(CLmaxIndex);  
disp(alfaOfCLmax,"=Alfa des max Auftriebs:");  
Liftmax=cLift(CLmaxIndex);  
disp(Liftmax,"maxLift: ... der max. Auftrieb");  
DragOfLiftmax=cDrag(CLmaxIndex);  
disp(DragOfLiftmax,"Drag dort:");  
    aStall = alfaOfCLmax;  
    lStall = Liftmax;  
    wStall = DragOfLiftmax;  
test= DONE;  
endfunction;
```

Die Standardfinne LABFin

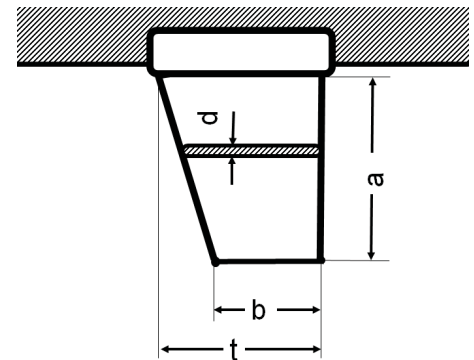
Die Standardisierung betrifft eine vollparametrisierte Laborfinne „LAB-Fin“, deren Gestalt mit geringen deklaratorischen Mitteln beschreiben werden kann. Die Laborfinne dient in der laufenden Forschungskampagne als Technik- und Technologiedemonstrator. Der Standardisierung liegt die Idee einer fludmechanisch wirksamen Leit- und Steuertragfläche für kleine Seefahrzeuge zu Grunde, die durch einfache geometrische Elemente beschrieben und durch lediglich vier Parameter eindeutig definiert ist. Die Surfboardfinne kann skaliert und mit unterschiedlichen Profilkonturen ausgestattet werden. Für die Beschreibung von Konturen nach dem Stand der Technik wird auf Datenbanken oder Profiltabellen zurückgegriffen (siehe hierzu auch: Abbot und Doenhoff³, Eppler⁴ und Gorrell⁵).

Die Laborfinne LAB-Fin ist ein standardisierter Messkörper, der durch lediglich vier Parameter [P0] [P1] [P2] [P3] eindeutig definiert wird. Der Parameter P0 ist die Profiltiefe an der Flügelwurzel t [mm], der Parameter P1 ist die spezifische Profildicke d/t [%]. Der Parameter P2 ist die spezifische Profiltiefe am Tragflügelende (Flügel-Tip) b/t [%], der Parameter P3 ist die spezifische Tragflügelänge a/t [%] der Finne. Die Profilkontur und weitere Features der Finne, die das Strömungsteil spezifizieren können der Spezifikation nachgestellt werden, wie folgt:

LABFin[t,mm],[d/t,%],[a/t,%],[b/t,%],[Profil],[Feature 1],...,[Feature n]

Die Glattheit der Tragflügeloberfläche und die Tragflügelprofilkontur sollen in einer Grundkonfiguration als gegeben und gesetzt gelten, so dass sich die Spezifikation vereinfacht zu: **LABFin [P0] [P1] [P2] [P3]**.

LABFin ist einer systematischen messtechnischen und/oder simulations-technischen Analyse und Vergleichbarkeit zugänglich. Die Analyse der mechanische Beanspruchung von Bauteilen und Baugruppen erfolgt mit klassischen Methoden der technischen Mechanik, wie etwa der Elastischen Theorie oder mit zeitgemäßen finiten Verfahren (Finite Element Methode, FEM). Die Strömungswirklichkeit wird nach der Potentialtheorie grob ermittelt, oder mit Finite Volumen Verfahren realitätsnah analysiert (Computational Fluid



FIGUR 2

³ [Abbo-59] Ira H. Abbott, Albert E. von Doenhoff: Theory of Wing Sections: Including a Summary of Airfoil Data. Dover Publications, New York 1959

⁴ [Eppl-90] Richard Eppler: Airfoil Design and Data. Springer, Berlin, New York 1990

⁵ [Gorr-17] Edgar Gorrell, S. Martin: Aerofoils and Aerofoil Structural Combinations. In: NACA Technical Report. Nr. 18, 1917.

Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

Dynamics, CFD). Die standardisierte Finne ist außerdem einer Analyse der Fluid-Struktur- Wechselwirkung (Fluid Structure Interaction, FSI) zugänglich.

Eingabeparameter	absolute Abmessung		Parameter
Profiltiefe an der Flügelwurzel	t	[m]	P0
Profildicke	d	[m]	
Profiltiefe am Tragflügel-Tip	b	[m]	
Tragflügelänge	a	[m]	

Geometriebeschreibung (relativ)	spezifische Abmessung		Parameter
Spezifische Profildicke	d/t	[%]	P1
Spezifische Profiltiefe (Flügel-Tip)	b/t	[%]	P2
Spezifische Tragflügelänge	a/t	[%]	P3

Aus der Definition der Laborfinnenengeometrie ergibt sich ein Schlankheitsgrad λ (Aspect Ratio) des Tragflügels und den bugwärtigen Pfeilungswinkel β

$$\lambda = 2 \cdot a / (t+b) \quad [-]$$

$$\beta = \arctan((t-b)/a) \quad [^\circ]$$

Der Formwiderstand indizierter Widerstand und der Lift einer Tragfläche sind über die Lateralfäche des Tragflügels determiniert, der Reibungswiderstand mit der benetzten Tragflügelfläche und der Druckwiderstand über die (in Fahrtrichtung) projizierte Tragflügelfläche:

laterale Tragflügelfläche	A	=	$(a \cdot t) - (a^2 \tan \beta)/2$	[m ²]
benetzte Tragflügelfläche	A _b	=	$(2 \cdot a \cdot t) - (a^2 \tan \beta)$	[m ²]
projizierte Anströmfläche	AS	=	d · a	[m ²]

Für das Mittelschnittverfahren ist der Druckmittelpunkt PS(x_s,y_s), aller angreifenden Kräfte von Bedeutung. Der Lagrange Koordinatenursprung mit (KoordinatenNull: x₀=t₀ , y₀=a₀) soll am bugwärtigen Fuß (Flügelwurzel) der Surfboardtragfläche gedacht, liegen.

Druckmittelpunkt PS(x_s,y_s):

$$x_s = (2t^2 - 2bt - b^2)/3(t+b) \quad [m]$$

$$y_s = a(t + 2b)/3(t+b) \quad [m]$$

Profilkontur (exemplarisch)	NACA 0006	Standardprofil
alsoFeature (exemplarisch)	glatt	Oberfläche
alsoFeature (exemplarisch)	FUTURES	Hersteller- PLUG

Finnenterminal (exemplarisch, Hersteller: FUTURES)

PLUG- Länge	L= 115	[mm]
PLUG-Tiefe	T=18	[mm]
PLUG-Dicke	D = 7	[mm]

Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

```
function test=LABFin(Lt, Ld, La, Lb, AnalyseGETpath);
##### StroemungsLeistungen an der Standardfinne LABFin ##### LABFin V.1.2 16.12.2016 #####
#####
global DONE BUSY PROCESS
// generalisierte Parameter
getpath_ANYDATA= 'F:\Desktop\MID\MIDO_Workbench\LABFinDATA\LABFin_any.txt'; // Path: put DATA
putpath_FINDATA= 'F:\Desktop\MID\MIDO_Workbench\LABFinDATA\LABFin_000.txt'; // Path: put DATA
getpath_PROFILDATA= 'F:\Desktop\MID\MIDO_Workbench\LABFinDATA\PROFIL_NACA0006.txt'; //Path: get Matrix der
pi = 3.141593;
// Globale Stoffwerte
dens = 998; // [kg/m3] Dichte v. Wasser in
kinv = 0.0000001012; // [m2/s] kinematische Viskosität v. Wasser in
asos = 1000.0; // [m/s] Speed of Sound v. Wasser
Vuend = 1.0 // [m/s] Umgebungsgeschwindigkeit Vunendlich
RE = 1000000; // [-] "bevorzugte" Re-Zahl
LO = 0.1; // [m] Standard. relevante Laenge (0.1m ..0.3m)
Ps0 = 0.0;
vv = 5.0; // [m s-1]Start-Geschwindigkeit
// Deklaration StandardFinne
profil = 'NACA0006'; // [Str]Standard-Startprofil: NACA 4 digit-series
t = Lt/1000; FIN(1) = t; // [m] Standard-Profil-Konturtiefe Wurzel
a = t*La/100; FIN(2) = a; // [-] scal. Tragflügelänge
b = t*Lb/100; FIN(3) = b; // [-] scal. Standard-Profil-Konturtiefe Tip
d = t*Ld/100; FIN(4) = d; // [m] setting d(spezNACA0006) .....
// Evaluation
[aStall, lStall, wStall] = evalPolarDATA(AnalyseGETpath); // evaluiert ein benanntes Datenfile: POLAR
CL = lStall; FIN(5) = CL; // CL Finne NACA-Analyse
CW = wStall; FIN(6) = CW; // CW Finne NACA-Analyse
aS = aStall; FIN(7) = aS; // alfaStall NACA-Analyse
FIN(8) = vv;
FIN(9) = RE;
// Ableitungen LABFin
beta_b = atan((t-b)/a); FIN(10) = beta_b; // [rad] Pfeilungswinkel Tragflügel (bugseitig)
beta_b_Grd = beta_b*180/pi; FIN(10) = beta_b_Grd; // [°]
AspR = (2*a)/(t+b); FIN(11) = AspR; // [-] Schlankheitsgrad Tragflügel (Aspect Ratio)
A_LAT = (a*t)-(a*a*tan(beta_b))/2; FIN(12) = A_LAT; // [m2] Tragflügelarea lateral (radial)
A_BEN = (2*a*t)-(a*a*tan(beta_b)); FIN(13) = A_BEN; // [m2] Tragflügelarea benetzt (radial)
A_PRJ = d*a; FIN(14) = A_PRJ; // [m2] Tragflügelarea projiziert (axial)
PsX = ((2*t^2)-(2*b*t)-(b^2))/(3*(t+b)); FIN(15) = PsX; // [m] x-Druckmittelpunkt auf Tragflügelarea (radial)Null=x0
PsY = (a*(t+2*b))/(3*(t+b)); FIN(16) = PsY; // [m] y-Druckmittelpunkt auf Tragflügelarea (radial)Null=y0
// Deklaration Strömungswirklichkeit bei StandardProfilKontur
alfa_Stall = 8.0; FIN(17) = alfa_Stall; // [°] Winkel scheinbar.Anströmrichtung v-unendlich; Null = Voraus
vrue = vv; FIN(18) = vrue; // [ms-2] v-unendlich resultieren geg. Profileseele
vxue = vrue*cos(alfa_Stall); FIN(19) = vxue; // [ms-2] v-unendlich x-Komponente.
vyue = vrue*sin(alfa_Stall); FIN(20) = vyue; // [ms-2] v-unendlich y-Komponente.
// Deklaration Koeffizienten
c_LIFT = CL; FIN(21) = c_LIFT; // = 0.58; [-] setting Lift-Koeffi (NACA0006)
c_DRAG = CW; FIN(22) = c_DRAG; // = 0.0533; [-] setting Form-Koeffi (NACA0006) .....
c_FRIC = 0.074 * RE^(-0.2); FIN(23) = c_FRIC; // [-] setting Reibungs-Koeffi (NACA0006) .....
c_INDU = (c_LIFT^2)/(AspR*pi); FIN(24) = c_INDU; // [-] setting induziert-Koeffi (NACA0006) .....nok späterändern
vortty = c_LIFT * vrue*b; FIN(25) = vortty; // [m2s-1] Zirkulation am Fluegel-Tip
// Strömungskraefte
K_LIFT = c_LIFT * 0.5 * dens * A_LAT * vrue^2; FIN(26) = K_LIFT; // [N] Liftkraft
K_DRAG = c_DRAG * 0.5 * dens * A_PRJ * vrue^2; FIN(27) = K_DRAG; // [N] Form-Wi-Kraft
K_FRIC = c_FRIC * 0.5 * dens * A_BEN * vrue^2; FIN(28) = K_FRIC; // [N] Reib-Wi-Kraft
K_INDU = c_INDU * 0.5 * dens * A_LAT * vrue^2; FIN(29) = K_INDU; // [N] induzierte Wi-Kraft
K_SUMM = K_DRAG + K_FRIC + K_INDU; FIN(30) = K_SUMM; // [N] totale Wi-Kraft
K_RES = ((K_LIFT^2)+(K_SUMM^2))^0.5; FIN(31) = K_RES; // [N] resultierende Manoevierkraft
gama_Kres = atan(K_LIFT/K_SUMM); FIN(32) = gama_Kres; // [°] Kraftrichtung(Manoever); Null = achteraus
gama_Kres_Grd = gama_Kres*180/pi; FIN(32) = gama_Kres_Grd; // [°] Kraftrichtung(Manoever); Null = achteraus
// StrömungsLeistungen
P_LIFT = c_LIFT * 0.5 * dens * A_LAT * vrue^3; FIN(33) = P_LIFT; // [N] Liftleistung
P_DRAG = c_DRAG * 0.5 * dens * A_PRJ * vrue^3; FIN(34) = P_DRAG; // [N] Form-Wi-Leistung
P_FRIC = c_FRIC * 0.5 * dens * A_BEN * vrue^3; FIN(35) = P_FRIC; // [N] Reib-Wi-Leistung
P_INDU = c_INDU * 0.5 * dens * A_LAT * vrue^3; FIN(36) = P_INDU; // [N] induzierte Wi-Leistung
P_SUMM = P_DRAG + P_FRIC + P_INDU; FIN(37) = P_SUMM; // [N] totale Wi-Leistung
P_RES = ((P_LIFT^2)+(P_SUMM^2))^0.5; FIN(38) = P_RES; // [N] resultierende Manoevierleistung
gama_Pres = atan(P_LIFT/P_SUMM); FIN(39) = gama_Pres; // [rad] Leistungsrichtung(Manoever); Null = achteraus
gama_Pres_Grd = gama_Pres*180/pi; FIN(39) = gama_Pres_Grd; // [°] Leistungsrichtung(Manoever); Null = achteraus
putpath_FINDATA= 'F:\Desktop\MID\MIDO_Workbench\LABFinDATA\LABFin_113.txt'; // Path: get DATA
fprintfMat(putpath_FINDATA,FIN); // ... als FIN-Datei ablegen.
test= DONE;
endfunction;
```

Berechnungsergebnisse für eine Laborfinne

LABFin[t,mm],[d/t,%],[a/t,%],[b/t,%],[Profil],[Feature 1],...[Feature n]

Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

Mittelschnittverfahren

Analysedaten für eine Laborfinne mit dem Programm LABFin (V1.1.)				
Berechnungs- und Messdaten			LABFin[100][6][120][60][NACA0006]	
INDEX	Wert	Dim	Beschreibung	inProg.
1	0.100000	[m]	t Standard-Profil-Konturtiefe Wurzel (setting)	t
2	0.120000	[-]	a Tragflügelänge (setting)	a
3	0.060000	[-]	b Profil-Konturtiefe Tip (setting)	b
4	0.006000	[m]	D Profil-Dicke Wurzel (NACA-Spezifikation)	d
5	0.583000	[-]	CL Liftbeiwert aus Analyse NACA	CL
6	0.053290	[-]	CW Widerstandsbeiwert aus Analyse NACA	CW
7	8.000000	[°]	Stallwinkel aus Analyse NACA	aS
8	5.000000	[m s ⁻¹]	Basis-Geschwindigkeit (Vunendlich)	vv
9	1000000.000000	[-]	RE, Reynoldszahl	RE
0	18.434947	[°]	Pfeilungswinkel Tragflügel (bugseitig)	beta_b
1	1.500000	[-]	Schlankheitsgrad Tragflügel (Aspect Ratio)	AspR
2	0.009600	[m ²]	Tragflügelfläche lateral (radial)	A_LAT
3	0.019200	[m ²]	Tragflügelfläche benetzt (radial)	A_BEN
4	0.000720	[m ²]	Tragflügelfläche projiziert (axial)	A_PRJ
5	0.009167	[m]	x-Druckmittelpunkt auf Tragflügel (radial)Null=x0	PsX
6	0.055000	[m]	y-Druckmittelpunkt auf Tragflügel (radial)Null=y0	PsY
7	8.000000	[°]	Winkel der Anströmrichtung, Stallwinkel	aS
8	5.000000	[ms ⁻¹]	v-unendlich resultieren geg. Profilseele	vreu
9	-0.727500	[ms ⁻¹]	v-unendlich x-Komponente.	vxue
0	4.946791	[ms ⁻¹]	v-unendlich y-Komponente.	vyue
1	0.583000	[-]	Lift-Koeffi (aus Analyse NACA)	c_LIFT
2	0.053290	[-]	Form-Koeffi (aus Analyse NACA)	c_DRAG
3	0.004669	[-]	Reibungs-Koeffi (NACA)	c_FRIC
4	0.072127	[-]	induziert-wi-Koeffi (NACA)	c_INDU
5	0.174900	[m ² s ⁻¹]	Zirkulation am Fluegel-Tip	vortty
6	69.820080	[N]	Liftkraft	K_LIFT
7	0.478651	[N]	Form-Wi-Kraft	K_DRAG
8	1.118339	[N]	Reib-Wi-Kraft	K_FRIC
9	8.637891	[N]	induzierte Wi-Kraft	K_INDU
0	10.234881	[N]	totale Wi-Kraft	K_SUMM
1	70.566255	[N]	resultierende ManoevrierKraft	K_RES
2	81.660436	[°]	Kraftrichtung(Manoever); Null = achteraus	gama_Kres
3	349.100400	[W]	LiftLeistung	P_LIFT
4	2.393254	[W]	Form-Wi-Leistung	P_DRAG
5	5.591695	[W]	Reib-Wi-Leistung	P_FRIC
6	43.189455	[W]	induzierte Wi-Leistung	P_INDU
7	51.174404	[W]	totale Widerstands-Leistung	P_SUMM
8	352.831275	[W]	resultierende ManoevrierLeistung	P_RES
9	81.660436	[°]	Leistungsrichtung(Manoever); Null = achteraus	gama_Pres

Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

Hinweise zum Traglinienverfahren

Für die strömungsmechanischen Analysen verwende ich das System FS-Flow⁶, JavaFoil⁷ und andere Programmsysteme, für Implementationen SciLab⁸.

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

Geometrie

x_d/t	[%]	Dickenrücklage der Profilkontur
$t(z)$	[m]	$t=t(z)$ über die horizontale Koordinate z
x	[m]	x - Koordinate der Punkte $P_K(x_K, y_K, x_K)$ auf der Kontur
y	[m]	y - Koordinate
z	[m]	z - Koordinate / horizont. Koordinate Flügelwurzel Tip
dx, dy, dz	[m]	differentielle Koordinaten
$\Delta x, \Delta y, \Delta z$	[m]	
$\underline{x}$	[-]	$\underline{x} = (x/t)$ generalisierte Koordinate x , 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

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 $q(x)=\underline{K} \Delta x$ Kraft auf 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 auf Segment, 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 auf Profilsektion

Stoff

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

⁶ FS-Flow ist ein kommerzielles Programmsystem der Firma FutureShip GmbH / Germanischer Lloyd, DNV-GL das nach dem PANEL-Verfahren arbeitet. <https://www.dnvgl.de>

⁷ 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>

⁸ SciLab ist 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.

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 K mit $q(x) = \frac{F}{\Delta x}$ angesetzt. In SI-Einheiten besitzt die Streckenlast q die Einheit [m·Pa]⁹. 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 Normdruck¹⁰ p_0 bezogen angegeben. Für den lokalen Druckkoeffizienten c_p gilt dann folgende Beziehung¹¹:

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

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

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

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

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

Die lokale, konturnahe Geschwindigkeit $v(x)$, bzw. die auf die Systemgeschwindigkeit $V=v_\infty$ bezogene spezifische Geschwindigkeit $(v(x)/V)$

⁹ 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)

¹⁰ Mit dem Normdruck p_0 101 325 [Pa] = 101,325 [kPa] = 1 013,25 [hPa] = 1 013,25 [mbar]. Im atmosphärischen Normzustand bei $T = 273,15[\text{K}]$ bzw. $T=0[^\circ\text{C}]$ entsprechend DIN 1343.

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

¹¹ Katz, J., Plotkin, A. (2001) Low-Speed Aerodynamics, Cambridge University Press. ISBN 13 978-0-521-66219-2.

Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

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.

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

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:

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

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:

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

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.

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

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:

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

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.

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. 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 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.
- [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

Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

- [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. Dimensionsanalyse. 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 Activty. In: *Science* 2003, S. 1566-1569. AAAS. 2003.
- [Matt-97] Mattheck, C.: Design in der Natur. Rombach Verlag. Freiburg 1997.
- [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.
- [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

Phänomenologie und Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen

Analyse der Laborfinne LABFin

- [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

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

