

**Michael Dienst**

## Superformance of Surfboard Fins

Bionik, Leistungsähnlichkeit und affine Skalierung

**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: 9783668377141

## **Dieses Buch bei GRIN:**

<https://www.grin.com/document/351786>

**Michael Dienst**

# **Superformance of Surfboard Fins**

**Bionik, Leistungsähnlichkeit und affine Skalierung**

## **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)

# SUPERFORMANCE of Surfboard Fins

## Bionik, Leistungsähnlichkeit und affine Skalierung

Michael Dienst, Berlin im Januar 2017

### Abstract

Das Mittelhandknochensystem der Wirbeltiere ist Vorbild für einen belastungsadaptiven künstlichen Tragflügel für Surfboardfinnen mit intelligenter Mechanik. Die Leistungscharakteristik verbessert sich, die Geometrie in einem zukünftigen Entwurf kann kompakter ausfallen, Geometriereduktion, Elastizität und Kompaktheit führen auf ein extrem robustes, regenerationsfähiges und damit resilientes Tragflügelsystem.

*The center-hand bone system of vertebrates is a model for a load-adaptive artificial wing for surfboard fins with intelligent mechanics. The performance characteristics are improved, the geometry in a future design can be more compact, geometry reduction, elasticity and compactness lead to an extremely robust, regenerative and thus resilient wing system.*

*Key words: Adaptation, medial hand bones, surfboard, resiliency, downsizing.*

### Introduction

In Besitz einer fluidmechanischen Innovation, tauchen an Strömungsbauteilen insbesondere an Leit- und Steuertragflächen kleiner

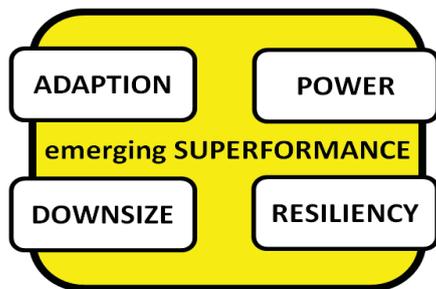
Seefahrzeuge Qualitäten auf, die auf eine Leistungsoptimierung des Bauteils zielen. Stammt eine Innovation aus der systematischen Analyse physikalischer Wirkmechanismen der belebten Natur, sprechen wir von *Bionic Engineering*. Die Bionik verbindet Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften mit dem Ziel, Prinzipien der belebten Natur zu entschlüsseln und diese auf Technik zu übertragen. Seitens der Industrie besteht ein klares Interesse an Problemlösungen aus der belebten Natur. Für die erfolgreiche Übertragung biologischer Prinzipien auf technische Produkte und Verfahren bedarf es der Entwicklung von Methoden, Vorgehensweisen und Instrumenten, die den industriellen Produktentwicklungsprozess unterstützen. Die BIONIC RESEARCH UNIT der Beuth Hochschule für Technik Berlin ist eine forschungsbezogene Fachgruppe für Bionik und befasst sich mit der Untersuchung strömungsmechanischer Phänomene und ihrer Übertragung auf maritime Zukunftstechnik. Der Schwerpunkt unserer Forschung liegt derzeit in der Untersuchung von Strömungs- und Adaptionsphänomenen die die mit so genannter intelligenter Mechanik (i-mech) in Zusammenhang stehen. Downsizing<sup>1</sup> bedeutet in diesem Zusammenhang die gestalterische Einflussnahme auf geometrische und funktionale Parameter der Konstruktion. Eine Skalierung gilt als geometrisch affin,

---

<sup>1</sup> nach: <https://de.wikipedia.org/wiki/Downsizing>

wenn die Topologie der Struktur und das relationale Zusammenspiel signifikanter Konstruktionsparameter erhalten bleibt<sup>2</sup>.

Das Auftauchen neuer Qualitäten (*Emergenz*) kann zu extremen Funktionsüberlagerungen (*Integration*) Leistungsverdichtung (*Kompaktheit*) und zu mechanischer Robustheit (*Resilienz*) führen. Oftmals verändern sich dann weitere geometrische, funktionale und Prozessführungsgrößen in eine positive Richtung. Für zukunftsweisende Konstruktionen ist die funktionale *Adaptionsfähigkeit*, die *Funktionsintegration*, eine *Leistungsverdichtung* bei hoher *Kompaktheit* und systeminhärente *Resilienz* eine Kombination erwünschter Eigenschaften. Führen Emergentien gleichzeitig auf eine affine, kongruente Skalierung, nenne ich sie **SuPerformance**.



Superformance ist radikal, ändert den Status quo des Artefakts und den Stand der Technik. Die Wirkung der Konstruktion liegt in der Zukunft. Superformance ist in der Emergenzphase neuartiger Technik durchaus vage und mehrdeutig.

### Surfboardfins

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 seit annähernd 4000 Jahre bekannt. In vorchristlicher Zeit 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

<sup>2</sup> Dienst, Mi. (2017) Performance und Downsizing von Surfboardfinnen. Beitrag zur Phänomenologie und Strömungswirklichkeit. GRIN-Verlag GmbH

Blütezeit erlebte das ursprüngliche Wellenreiten auf den Inseln von Hawaii und war von hoher gesellschaftlicher Bedeutung. So blieben etwa die Strände mit den größten und besten Wellen den Königen vorbehalten.

Das Konstruktionsprinzip des Surfboards 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 sind das Motiv dieses Aufsatzes.

Die Tragflächen der Surfbrettfinnen besitzen in der Regel symmetrische Profile. In Fahrt bilden diese Tragflächen dann ein Querkraft generierendes System, wenn die Anströmung nichtaxial erfolgt. Die Variation des Lifts eines symmetrischen Profils über den Anstellwinkel ist selbst symmetrisch. Die aus dem hydrodynamischen Auftriebsgebaren der Tragfläche resultierende Querkraft wird vom Surfer/der Surferin beim Manövrieren genutzt. Der Mensch und das Material, Surferin und Board bilden - wie in jeder professionell ausgeübten Sportart - eine unmittelbare Einheit. Surfen ist mehr als nur ein Sport und eine Kunst. Surfen ist eine Lebenseinstellung.

Forschung an Surfboardfinnen ist insofern einzigartig, weil hier nicht mit Modellen im Strömungskanal und mit skalierten Funktions- und Technologiedemonstratoren gearbeitet werden muss, sondern „Originale“ Gegenstand der Untersuchungen sind. Für uns<sup>3</sup> zumindest war dies ein Novum. Surfboardfinnen nehmen in der Familie der Kraft- und Arbeitstragflächen auch deshalb eine Sonderstellung ein, weil als etablierte Werkstoffe, bis auf einige exotische Ausnahmen, solche Kunststoffe infrage kommen, die eine gewisse Elastizität aufweisen. Nachfolgend interessieren wir uns vornehm für die von dieser strukturellen Elastizität der Finnentragfläche herrührenden Gestaltänderungseigenschaften im Betrieb.

Die ebenfalls strukturelle Verformungsantwort einer durch ein strömendes Fluid beaufschlagten Tragfläche erscheint auf den ersten Blick offensichtlich. Zwar verformt sich ein

<sup>3</sup> Die BIONIC RESEARCH UNIT im Fachbereich Maschinenbau der Beuth Hochschule Berlin. Siehe auch die URL der Fachgruppe: <http://projekt.beuth-hochschule.de/bru/>

Strömungskörper, dessen Kontur von einem regulärem Rechteckflügel abweicht, nicht mehr den ersten Erwartungen nach einer (zu einer Fläche extrudierten) elastischen Linie, aber tendenziell stimmt der reale Verformungsverlauf mit unserer Erfahrungsaffirmation übereinstimmen.

### Hands

Werfen wir aber zuerst einen Blick auf die belebte Natur. Die teilweise bis an die Grenze des physikalisch Machbaren optimierte Gestalt vieler Lebewesen tritt nicht selten mit einer von Einfachheit getragenen Eleganz auf<sup>4</sup>. Eingedenk der Komplexität der Lebewesen ist es für jeden Konstrukteur beeindruckend, Wesen und ihren biologischen Gestaltlösungen zu begegnen: biologischen Bauelementen, die sich im Laufe der Evolution zu Idealstrukturen entwickelt haben, „organisiert“ zu Körpern selbstständig agieren und mit geringstem kognitivem und strukturellen Aufwand komplizierte Aufgaben erfüllen. Neben der Mechanik der strömungsadaptiven Flossenstrahlen der Fische<sup>5</sup> kommt heute ein weiteres biofunktionales, passiv-adaptives Bewegungssystem in der Forschung der BIONIC RESEARCH UNIT auf: Das Mittelhandknochensystem der Wirbeltiere. Die Tetrapoden<sup>6</sup> haben sich im oder nahe dem Süßwasser entwickelt. Mit ihren starken Flossen konnten sie auch an Land Nahrung finden und aquatischen Feinden entkommen. Fossilien amphibienähnlicher Fische und fischähnlicher Amphibien liefern Deutungsmodelle für die Entwicklung der Flossen hin zu einem für das

Leben auf dem Festland geeignetem Bein. Die allmähliche Verwandlung der Flossen zu Gliedmaßen verlangte einen morphologischen Umbau, den Verlust der Flossenstrahlen und die Ausbildung von Fingern. Der Übergang aus dem Wasser an das Land und die Geschichte des Gestaltwandels der Wirbeltiere ist Gegenstand der einschlägigen Literatur (Neil Shubin<sup>7</sup> „Your inner Fish“) und soll in diesem Aufsatz nicht erzählt werden.

Die verschlungenen Wege der biologischen Evolution führte einige Wirbeltiere zurück ins Wasser. Die modernen Wale entwickelten sich vor 30-40 Millionen Jahren. Entwicklungsmorphologen sind sich heute nicht mehr so ganz sicher, ob primitive Huftiere des Eozäns die Urväter modernen Wale (Cetacea) und Walartigen waren, denn neuste Untersuchungen legen die Vermutung nahe, dass fleischfressende Urhuftiere, die in ihrer Gestalt Wölfen ähnelten, zur Jagt mehr und mehr Küstengewässer, Flussmündungen und das Meer aufsuchten und eine aquatische Lebensform annahmen. Der früheste bekannte Urwal *Pakicetus* lebte vor etwa 53 Millionen Jahren. Sein Schädel weist noch große Gemeinsamkeiten mit denen der Landtiere auf. Im Laufe einer einzigartigen Evolutionskampagne wandelt sich das Skelett dieses Säugetiers. Es entwickelt eine stromlinienförmige Körperkontur, der Verlust seines Haarkleides geht einher mit der Ausbildung der wärmedämmenden und strömungselastischen Speckschicht (Blubber), die Vordergliedmaße bilden sich zu Flossen (Flippers) um, Hintergliedmaße und Beckengürtel bilden sich zurück. Fluke und Finne sind Neuerfindungen in der Phylogenie der Meeressäuger. Die Skelette der Vordergliedmaßen der Wale und Walartigen tragen den typischen Aufbau der Säugerhand. Der Oberarm ist kompakt, Fibula und Tabia sind verflacht. Die Finger sind verschieden lang, tragen 4 bis 12 Segmente und können sogar innerhalb eines Individuums unterschiedlich sein. Bei einigen Arten werden die Mittelhandknochen überhaupt nicht ausgebildet. Eine nähere Betrachtung der Hände der Meeressäuger offenbart das generale Grundmuster der Vertebratenhand und seine

<sup>4</sup> Dienst, Mi. (2016) THE ORIGIN OF BIOLOGICAL COMPLEX GEAR, Design Intent regarding Surfboard fins with “Intelligent Mechanics, i-mech”. GRIN-Verlag GmbH München

<sup>5</sup> Voß, M., Thamsen, P.U., Kleinschrodt, H-D., Dienst, Mi. (2015) EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION ON FLUIDSTRUCTURE-INTERACTION OF AUTO-ADAPTIVE FLEXIBLE FOILS in: Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'15)

<sup>6</sup> Tetrapoda (*tetra* ‚vier‘ und *pod-* ‚Fuß‘) fasst in der biologischen Systematik die Wirbeltiere zusammen, die vier Gliedmaßen (Extremitäten) haben. Zu diesen Vierfüßern gehören die Amphibien (Amphibia), die Reptilien (Reptilia), die Vögel (Aves) und die Säugetiere (Mammalia) einschließlich des Menschen. Es zählen etwa 26.700 Tierarten zu den Tetrapoden. Nach: <https://de.wikipedia.org/wiki/Landwirbeltiere>

<sup>7</sup> Neil Shubin (2009). Your Inner Fish: A Journey into the 3.5-Billion-Year History of the Human Body, Vintage Verlag. ISBN-10: 0307277453, ISBN-13: 978-0307277459

potentiellen geometrischen und funktionalen Spielarten<sup>8</sup>.

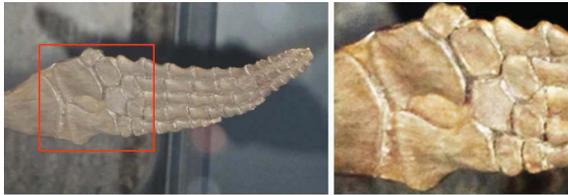


Abb.1: Präparat einer „modernen“ Delfinhand. Naturkundemuseum Berlin, Mi. Dienst 2013.

Die Skelettbaupläne der Handwurzel der Wirbeltiere variieren ein gemeinsames Grundmuster; evolutionäre Gestaltänderung erfolgt insbesondere durch Skalierung und Reduktion. Die Knochen des Handgelenks bilden den Carpus. Bei der Individualentwicklung entsteht das Skelett der Wirbeltierhände aus knorpeligen Elementen innerhalb der sich entwickelnden Gliedmassenknospe, die sich in einer Reihenfolge von proximal nach distal aus Vorläuferelementen bilden. Wir wissen heute, dass die Finger der Wirbeltierhand nicht durch eine Umwandlung der evolutionsgeschichtlich vorausgehenden Fischflossen entstanden, sondern eine Neuerfindung der Tetrapoden sind. Auf den ersten Blick scheinen Arme und Hände der modernen Wirbeltiere wenig mit den Brustflossen der Fische verwandt. Doch bei näherer Betrachtung erscheint auch hier eine Variation des generalen Grundmusters der Verdebratenhand. Das Handgelenk des Menschen wird von Morphologen schematisch als ein „verzahntes Scharniergelenk“ beschrieben. Wegen seiner räumlich gewölbten Form und bedingt durch Bänder und Gelenkkapseln ist die Beweglichkeit dieses „Getriebes“ begrenzt. Die Interkarpalgelenke bezeichnen die gelenkigen Verbindungen der Handwurzelknochen einer Reihe untereinander. Sie sind so genannte Wackelgelenke, die durch zahlreiche Bandzüge versteift und kaum beweglich sind. Die Karpometakarpalgelenke bezeichnen die Verbindung der distalen Handwurzelknochen mit dem zweiten bis fünften Mittelhandknochen.

<sup>8</sup> Dienst, Mi. (2016) Das kinematische Versprechen biologischer Komplexgetriebe. GRIN-Verlag GmbH München,

## Bionics

Der oben verwendete Terminus der Karpometakarpalgelenke als „verzahnte Scharniergelenke“ weist auf eine prinzipielle biologische Gestaltlösung hin und bildet die Grundlage einer Transformation der Kinematik der biologischen Verdebratenmittelhand (Carpus) in ein artifizielles, technisches Bewegungssystem (CARPO). Die intelligente Kinematik (i-mech) der Wirbeltierskelette, insbesondere das Mittelhandknochensystem sind bislang nicht hinreichend erklärt und das belastungsadaptive Beaufschlagungs-Bewegungsgebaren räumlicher Komplexgetriebe aus diskreten Gelenken und strukturelastischen Elementen bleibt bis heute wenig erforscht.

Versuchen wir also an dieser Stelle eine erste Schematisierung des Komplexgetriebes der Wirbeltier-Mittelhand. Als Grundlage einer semantischen Analyse der Wirbeltierextremität dient die schematische Darstellung der Hand eines Schweinswals nach H.G. Seeley<sup>9</sup>. Die Schematisierung der Meeressäugerhand zeigt (in Abb.2.) die funktionalen Elementgruppen. Beim biologischen System stammt die Gelenkigkeit des räumlichen Getriebes aus der Elastizität in den Lagerungen. Gleichsam bilden mehrere Segmente elastische Cluster, deren Elemente ihrerseits mit beweglichen Kantengelenken koppeln. Von dieser kinematischen Idee elastischer Gelenke wollen wir uns für die Dauer einer ersten Gestaltänderungssimulation trennen. Ziel ist hier, die Funktionsursachen und kinematischen Eigenschaften artifizierlicher Kinematiken (die in der Art dreidimensionaler Getriebe arbeiten) zu verstehen.

Wir definieren einen schematischen Probenkörper und ermitteln das Verformungsverhalten unter Last. Es sind einfachste mechanische Modelle die mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) analysiert werden; sie liefern erste Erkenntnisse über das Beaufschlagungs-Verformungsgebaren räumlicher Komplexgetriebe aus diskreten Gelenken mit

<sup>9</sup> Hand eines Schweinswals. Schematische Darstellung; nach: Seeley, H. G. (2011) Dragons of the Air, An Account of Extinct Flying Reptiles, [PROJECT GUTENBERG EBOOK #35316] ISO-8859-1. In: <https://archive.org/details/cu31924003932591>.

strukturelastischen Elementen. Formalmechanisch sind es statisch überbestimmte Systeme, die sich zwar einer geschlossenen analytischen Lösung entziehen, der numerischen Analyse aber zugänglich sind.

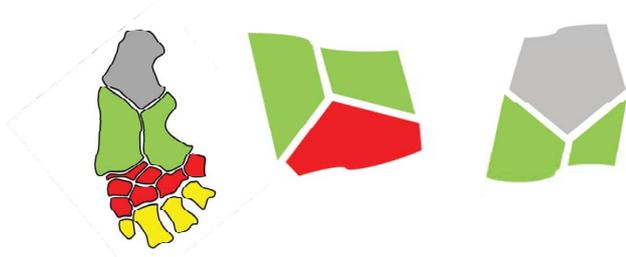


Abb.2 Schematisierung der Meeressäuger-Hand: Metacarpala (gelb); Centralia, Carpalia (rot); Fibula, Tabia (grün); Femur (grau), links im Bild. Gelenkprinzipien: Beugen und Spreizen (rechts im Bild).

„Das Gestaltungsprinzip, aus der Phänomenologie der Mittelhandknochen stammend, sagt eine Beaufschlagungs-Formänderung für die Tragflügelfläche voraus derart, dass der Flügel immer dann eine bevorzugte Wölbform annimmt, wenn die Gestaltänderung mit der über die Lager vermittelten und nach Lee gerichteten zwangskinematischen Strukturbeziehung des Gesamtsystems erkauft werden kann“. So lautet das Beaufschlagungs-Formänderungs-Paradigma der CARPO-Technologie.

### Emerging SuPerformance

Die kinematische Analyse der adaptiv-flexiblen Wirbeltierhand führt auf ein Beaufschlagungs-Verformungs-Gebaren (ADAPTATION), das eine artifizielle, konkave Tragflächenwölbung hervorbringt.

Wir wenden dieses biologische Prinzip jetzt auf eine Surfboardfinne an. Das beim Manövrieren durch die Strömungslast deformierte Tragflügelprofil hat nun eine hinsichtlich seiner Auftriebsleistung (POWER) vorteilhafte Fluid- Struktur- Wechselwirkung. Gegenüber einem fluidmechanisch wirksamen Tragflügel vom Stand der Technik ist eine derart konditionierte Leit- und Steuertragfläche von

kompakter Geometrie (DOWNSIZE) und die Kraftangriffspunkte wandern hin zur Tragflügelwurzel. Geometriereduktion, Elastizität, aufkommende Robust- und Kompaktheit führen auf ein extrem regenerationsfähiges System (RESILIENCY).

Als erstes strukturelles Ersatzmodell für ein Plattengelenkgetriebe untersuchten wir 2016 einen Systemprobenkörper, an dem einige wenige grundlegende geometrische Parameter variiert werden<sup>10</sup>. Die Grundabmessungen (Tragflügelhöhe  $h$ , Tragflügelprofilkontur und Profiltiefe  $t$ ) des Probenkörpers blieben über der Simulationskampagne<sup>11</sup> konstant. Der grundsätzliche Aufbau des Probenkörpers zeigte eine Ersatztragflügelfläche, die mit einer homogenen Druckbelastung beaufschlagt werden kann. Die Probe war im Wurzelbereich (nichtelastisch) gelagert. Die Untersuchungen gingen zuerst der Frage nach, welchen Einfluss Gelenkanordnungen auf die Wölbverformung der mechanisch beaufschlagten Probe haben. Die numerische Simulation und Festigkeitsanalyse nach der FEM lieferte die Gesamtverformung des belasteten Flügels. In den Profilebenen konnten palmare Messpunkte auf der konvexen Innenseite am Bug, in der Mitte und am Heck abgefragt werden. Gegenstand der Betrachtung der Gesamtverformung waren die Profilebenen an der Tragflügelwurzel, im Median und am Tragflügeltip. Aus den Messwerten waren nun weitere Verformungskenngrößen ableitbar. Die Finite Elemente Analyse des Beaufschlagungs- Gestaltungsgebarens der standardisierten Probe lieferte neben der Spannungsverteilung auch die Verformungen des Tragflügelteils unter Last. Wir interessierten uns für genau jene Kurve einer Profilschneide CURVE die bei einem elastischen Ausweichverhalten CANT während

<sup>10</sup> Dienst, Mi. (2016) Das kinematische Versprechen biologischer Komplexgetriebe. Beitrag zum kinematischen Konzept der CARPO-Finne. GRIN-Verlag GmbH München,

<sup>11</sup>Dienst, Mi. (2017) Reihenuntersuchung zu NACA-Profilkonturen der vierstelligen Serie. Analyse zur Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen. GRIN-Verlag GmbH München

Dienst, Mi. (2017) Zur numerischen Analyse einer Laborfinne. Mittelschnittverfahren und Manövriereleistung. GRIN-Verlag GmbH München

der Beaufschlagung mit einer konstanten Flächenlast erreicht werden kann. CANT und CURVE wurden aus den erhobenen Messdaten in einfacher Weise ermittelt<sup>12</sup>.

Der analysierte Probenkörper ist ein sehr rudimentäres Modell einer Tragfläche mit einem strukturelastischem Wölbplattengetriebe. Vereinfachend wurde linearelastisches Material und eine homogene Flächenlast angenommen. Der Probenkörper benutzt bewusst eine voll durchgesetzte Fuge als Modell, die in der gestalterischen Anwendungspraxis durch eine elastische geschlossene Fuge ersetzt wird.

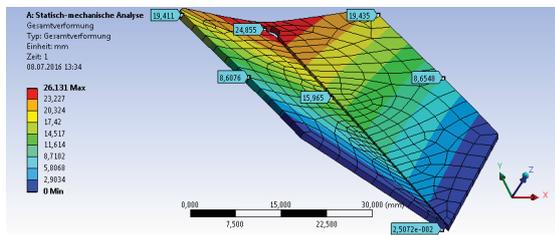


Abb. 3: Deformierte Modellkörperprobe. Und Berechnungsdaten in der Ebene MERIDIA und TIP. Gesamtverformung unter homogener Flächenbelastung analysiert mit der Finite Element Methode FEM (ANSYS Release 16 Academic Research Version). Mi. Dienst 2016.

Die V-förmig ausgeführte Lagerung an der Wurzel des Tragflügels stellt die konstruktive Minimalforderung unseres Gestaltungsprinzips CARPO aus der Phänomenologie der Mittelhandknochen der Wirbeltiere nach. Insofern zeigt das aus den Graphiken ablesbare Beaufschlagungs-Verformungs-Gebaren der druckbelasteten Modelltragfläche ein mit Blick auf die Entwicklungsziele ermutigendes Simulationsergebnis. Nach den Gestaltungsparadigmata für artifizielle Systeme aus der Phänomenologie der biologischen Mittelhandknochen kann eine Tragflügelfläche erst dann eine bevorzugte konkave „Wölbform CURV“ annehmen, wenn

<sup>12</sup> Modus der Messdatenerhebung für die Auslenkung CANT und die Wölbung CURV aus einer FEM-Simulation. Messpunkte und Betrachtungsebenen (FEM-Simulation: ANSYS Release 16 Academic Research Version).

die Gestaltänderung mit der über die Lager vermittelten nach Lee gerichteten kinematischen Strukturbewegung des Gesamtsystems „CANT erzwungen“ wird.

Ein Gestaltungs- und Entwicklungsziel für strukturkinematisch bewegliche Finnen wird zukünftig also sein, eine angemessen große Wölbverformung CURV mit möglichst moderat investiertem CANT zu realisieren. In unserem (generalisierenden) Simulationsbeispiel wird die Krümmung CURV am Tragflügelrandbogen TIP mit  $C_{TIP}=5\%$  Wölbung und in der Mittelebene MEDIAN mit  $C_{MEDIAN}=7\%$  Wölbung errechnet. Ich gehe außerdem davon aus, dass ein geschlossenes Fugenmodell vergleichbare Krümmungen CURV realisiert.

Betrachten wir nun den Verlauf der Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte geeigneter Profile für Surfboardfinnen. Die wenigen Proben realer Finnen die uns physisch vorliegen, tragen Profile, die wir nicht kennen! In der Surf-Szene wird in der Regel auf NACA-Profile verwiesen und tatsächlich weist das von einer Finne der Firma *FUTURES* abgeformte Profil eine „hinreichend überzeugende Ähnlichkeit“ mit dem Profil NACA0006 auf, von dem wir (sympathischer Weise) über einen ausreichend fein diskretisierten Messdatensatz verfügen<sup>13</sup>.

Das Profil NACA 0006 scheint nach einem ersten Blick auf die Liftbeiwerte der Kontur nicht besonders leistungsfähig zu sein. Aber dennoch: der Formwiderstand besitzt im Bereich kleiner Anströmwinkel  $\{-5 < \alpha < 5\}$  eine deutlich ausgeprägte Delle, die bei Geradeausfahrt des Boards einen geringen Widerstand verspricht<sup>14</sup>. Dies können wir auf der positiven Seite verbuchen. Negativ ist der geringe Auftriebskoeffizient, dessen Maximum unterhalb der  $\alpha=10^\circ$  Marke aufzufinden ist. Weshalb man sich überhaupt für ein derartiges Profil entscheidet, ist in den Standardisierungs- und Fertigungsbelangen der Hersteller zu suchen, denn bei einer Profiltiefe von maximal 115 [mm] (*FUTURES*) liefert ein NACA-Profil mit  $d/t=6\%$  Konturdicke

<sup>13</sup> Ira H. Abbott, Albert E. von Doenhoff: Theory of Wing Sections: Including a Summary of Airfoil Data. Dover Publications, New York 1959.

<sup>14</sup> Dienst, Mi. (2017) Reihenuntersuchung zu NACA-Profilkonturen der vierstelligen Serie. Analyse zur Strömungswirklichkeit der Surfboard-Finnen. GRIN-Verlag GmbH München.

an der Flügelwurzel hat eine Bauteildicke von 6.9 [mm] und das Terminal der symmetrischen *FUTURES*-Finne bietet Raum für Plugs von maximal 7[mm] Dicke. So einfach ist das. Wahrscheinlich.

Das Wunderbare daran: Sobald dieses Profil aber eine - auch nur geringe - Konturwölbung annimmt, werden durchaus respektable Liftbeiwerte von  $c_L > 1.5$  erreicht. Wenden wir nun die Gestaltungsprinzipien der CARPO-Technologie an und würden sich durch diesen „bionischen Adaptions-Trick“ – bei Leistungsähnlichkeit die Finne geometrisch herabskalieren lassen, wären vielleicht auch spezifische Konturdicken von  $d/t > 6\%$  realisierbar. Das geht auf theoretische Überlegungen hinaus, insbesondere den potentialtheoretischen Berechnungen, dargestellt im Diagramm der Krümmungsvariationen an NACA-Profilen der 4er-Reihe.

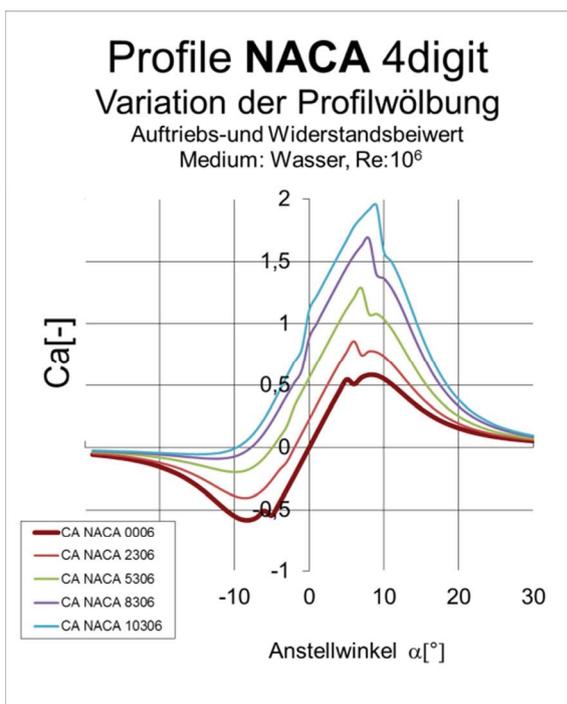


Abb. 4. Variation der Krümmung einer NACA-Profilkontur.

### Fazit

Auf genau derartige Phänomene der fluidmechanischen Verformungsadaptation und ei-

nem Downsizing auf deren Grundlage, zielt unsere Argumentation in diesem Aufsatz.

Downsizing als Gestaltungsaufgabe gelingt mit dem anwendungsorientierten Verfahren (z.B. Reverse Engineering) gut. Bei Leistungsähnlichkeit werden mit der Reduktion der geometrischen Gestaltungsparameter auch die vom Lateralplan abhängigen Friktionseffekte deutlich verringert und das Bauvolumen sinkt. Sind die Tragflügel wenig schlank, ist die Zirkulation um die Tragflügelkante dann aber vergleichsweise groß. Das hat Einfluss auf den auftriebsbedingten, induzierten Widerstand; dieser nimmt etwa 75% des Gesamtwiderstands ein. Das ist erheblich. Im Downsizing verstärkt sich dieses Phänomen, weil sich aus physikalischen Ursachen die Zirkulation dann nahezu verdoppelt. In der Summe aber überwiegen die positiven Effekte.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass das aus dem physiologischen Aufbau des Mittelhandknochensystems der Wirbeltiere extrahierten Gestaltungsprinzip funktionsartbedingt unter fluidischer Belastung eine Tragfläche ausbildet, deren Profilkontur eine konkave Wölbung aufweist. Die Struktur besitzt somit ein so genanntes „nicht-orthodoxes Beaufschlagungs-Verformungs-Verhalten“. Ursache ist die funktionale Ausbildung eines „Gelenkplattengetriebes“, dessen Arbeitsprinzip die Grundlage für die Gestaltung passiver, belastungsadaptiver, autonom arbeitender, mechanische Anordnungen ist, die sich selbstständig, also ohne Steuerungs- und Regeleingriffe, unter Last zu einem konkaven System verformen (ADAPTION). In dem hier verhandelten Beispiel sind dies Surfboardfinnen mit einer hinsichtlich der Auftriebsleistung (POWER) vorteilhaften Fluid-Struktur- Wechselwirkung. Durch die Leistungssteigerung kann in einem zukünftigen Entwurf die Geometrie kompakter ausfallen (DOWNSIZE). Die Kraftangriffspunkte der Strömungslast wandern hin zur Tragflügelwurzel. Geometriereduktion, Elastizität und Kompaktheit führen auf ein extrem robustes, und regenerationsfähiges System (RESILIENCY). Zusammengenommen entspricht dies dem hier vertretenen Begriff der **SuPerformance**.

Mi. Dienst, im Januar 2017

**Bibliographie**

- [Bann-02] Bannasch, Rudolph. (2002) Vorbild Natur. In: design report 9/02, S.20ff. Blue.C Verlag Stuttgart.
- [Bapp-99] Bappert, R. Bionik, (1999) Zukunftstechnik lernt von der Natur. SiemensForum München/Berlin und Landesmuseum für Technik und Arbeit (Herausgeber).
- [Barg-11] Bagaric, B. (2011). Modellierung, Simulation und Parametrisierung eines virtuellen Strömungskanals mit dem Programmsystem FS-Flow. Untersuchung typischer Szenarien endlicher Tragflügel. Bachelorarbeit a.d. BeuthHS Berlin (082011).
- [Bech-97] Bechert, D.W., Biological Surfaces and their Technological Application. 28<sup>th</sup> AIAA Fluid Dynamics Conference: 1997
- [Curr-25] Curry, M. (1925) Die Aerodynamik des Segels und die Kunst des Regatta-Segelns. Diessen vor München: Jos. C. Huber, 1925.
- [Die 17-3] Dienst, Mi. (2017) Performance und Downsizing von Surfboardfinnen. Beitrag zur Phänomenologie und Strömungswirklichkeit. GRIN-Verlag GmbH München, ISBN(e-Book): 783668374881, ISBN(Buch): 9783668374898
- [Die 17-2] Dienst, Mi. (2017) Reihenuntersuchung zu NACA-Profilkonturen der vierstelligen Serie. GRIN-Verlag GmbH München, ISBN(e-Book): 783668374201, ISBN(Buch): 9783668374218
- [Die 17-1] Dienst, Mi. (2017) Zur numerischen Analyse einer Laborfinne. Mittelschnittverfahren und Manövrierleistung. GRIN-Verlag GmbH München, ISBN(e-Book): 783668374188, ISBN(Buch): 9783668374195
- [Die 16-11] Dienst, Mi. (2016) LEISTUNGS-ÄHNLICHKEIT VON TRAG-FLÜGELN, GRIN-Verlag GmbH München, ISBN(e-Book): 783668346888, ISBN(Buch): 9783668346895
- [Die 16-9] Dienst, Mi. (2016) THE ORIGIN OF BIOLOGICAL COMPLEX GEAR. GRIN-Verlag GmbH München, ISBN(e-Book): 9783668264779, ISBN(Buch): 9783668264786
- [Die 16-4] Dienst, Mi. (2016) Das kinematische Versprechen biologischer Komplexgetriebe. Beitrag zum kinematischen Konzept der CARPO-Finne. GRIN-Verlag GmbH München, ISBN (e-Book): 783668213401, ISBN (Buch): 978-366821341-8
- [Die15-3] Dienst, Mi. (2015). Zur Fluid-Struktur-Wechselwirkung biologischer Finnen. Beitrag zu zur FSI biologischer und artifiziieller Fluidsysteme. GRIN-Verlag GmbH München, ISBN (eBook): 978366800166-4, ISBN (Buch): 783668001671
- [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
- [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.
- [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
- [Hild-01] Hildebrand, M., Goslow, G.E., (2001) Vergleichende und funktionelle Anatomie der Wirbeltiere. Springer Verlag Berlin, N.Y.
- [Katz-01] Joseph Katz, Allen Plotkin: Low-Speed Aerodynamics (Cambridge Aerospace Series) Cambridge University Press; 2 edition (2001)
- [Kreb-08-2] Krebber, B.: "i-mech". Untersuchung der intelligenten Mechanik von Fischflossen mit Hilfe von FSI-Simulation. Forschungsbericht der Technischen Fachhochschule Berlin 2007/08
- [Kreb-08-1] Krebber, B., H.-D. Kleinschrodt und K. Hochkirch: (2008) Fluid-Struktur-Simulation zur Untersuchung intelligenter Mechanik von Fischflossen. ANSYS Conference & 26. CADFEM Users' Meeting,
- [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.
- [Mirs-05] Mirtsch, F.; Dienst, M.: FlowBow-Artifizielle adaptive Strömungskörper nach dem Vorbild der Natur. In: Forschungsbericht der Technischen Fachhochschule Berlin 2005
- [PaBe-93] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, 3.Auflage. Berlin- Heidelberg- New York- London-Paris-Tokio: Springer 1993
- [Pfeif-07] Pfeiffer, Rolf; Bongard, Josh (2007): How the body shapes the way we think, The MIT Press
- [Read-02] D.A. Read (2002) Forces on oscillating foils for propulsion and maneuvering, in Journal of Fluids and Structures 17 (2003) 163–183 Cambridge University Press
- [Siew-10] Siewert, M; Kleinschrodt, H-D; Krebber, B; Dienst, Mi. (2010) FSI-Analyse auto-adaptiver Profile für Strömungsleitflächen. In: Tagungsband, ANSYS Conference & 28<sup>th</sup> CADFEM Users' Meeting Aachen 2010.
- [Stre-96] Streitlien, K. (1996) Efficient foil propulsion through vortex control, Aiaa Journal - AIAA J , vol. 34, no. 11, pp. 2315-2319, 1996
- [Tria-95] Triantafyllou, M., Triantafyllou, G. (1996): An efficient Swimming Machine. Scientific American, March 1996. p.64-70.
- [Tria-02] Triantafyllou, M. (2002) Vorticity Control in Fish-like Propulsion and Maneuvering, INTEGR. COMP. BIOL., 42:1026–1031 (2002)
- [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 0-486671356

# 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

