

Das Tragflügelboot ist ein Projekt der Fachhochschulen Wädenswil und Rapperswil sowie einiger Privatunternehmen, der Prototyp trägt den Namen GF 09

(Bilder: Hochschule Rapperswil)



Boot im Gleitflug

Bootsbau. Designer und Entwickler haben ein ultraleichtes, elektrisch angetriebenes Ein-Personen-Tragflügelboot entworfen, das Rennruderboote überholen kann und selbst an Kursschiffen vorbeizieht. In der Leichtbaukonstruktion sind Faserverbundwerkstoffe mit Strukturschäumen und Aluminium kombiniert.

**MARKUS HENNE
ANDREAS MARTI
STEFAN STAUFFACHER**

Mit einer Pferdestärke Antriebsleistung elegant über das Wasser zu gleiten, haben Entwickler und Designer in einem Projekt der Schweizer Fachhochschulen Wädenswil und Rapperswil umgesetzt. Die Idee hinter dem Projekt war, ein leichtes, elektrisch betriebenes Sportboot zu bauen, das eine Person über eine Zeitdauer von circa dreißig Minuten mit einer Geschwindigkeit von rund 20 km/h befördert. Ein Tragflügelboot, bei dem sich der Bootsrumf ab einer bestimmten Geschwindigkeit aus dem Wasser hebt und somit der Fahrtwiderstand drastisch reduziert wird, war die Lösung (Titelbild).

Ein Konzept mit Auftrieb

Der nötige Auftrieb rührt vom Tragflügel (engl. Hydrofoil). Um den Rumpf bei der

relativ kleinen Geschwindigkeit aus dem Wasser zu heben, muss der Antrieb leistungsfähig und das Gewicht des Boots gering sein. Zur Umsetzung des Projekts werden Energiespeicher mit hoher Energiedichte, ein Antrieb mit hoher Effizienz und Leistungsdichte sowie eine geeignete Leichtbaukonstruktion des Rumpfs und der Tragflächen gesucht. Damit eine Person das Tragflügelboot transportieren und in Betrieb nehmen kann, soll das Gesamtgewicht des Boots inklusive Antrieb und Akkumulator maximal 35 kg betragen.

Bei Tragflügelkonstruktionen wird zwischen fully und semi-submerged Hydrofoils unterschieden. Fully submerged Hydrofoils sind horizontal und quer zur Fahrtrichtung angeordnet. Durch die aktive Regelung des Anstellwinkels der Flügel kann der Auftrieb kontrolliert werden, sodass sich das Boot auf einer bestimmten Höhe über der Wasseroberfläche stabilisiert. Semi-submerged (oder surface piercing) Hydrofoils steigen hingegen gegen die Seite an. Die Tragflügelenden werden bei höherer Geschwindigkeit aus dem Wasser gehoben und tragen nicht mehr

zum Auftrieb bei. Die Flughöhe im Gleitbetrieb regelt sich selbst. Eine aktive Regelung fällt in diesem Fall weg, sodass die semi-submerged Konstruktion einfacher zu realisieren ist. Daher wurde sie auch für das Boot gewählt.

Antrieb im Leitwerk integriert

Die u-förmige Tragflügelkonstruktion ist an der Bootsmittle unter dem Rumpf angeordnet. Der Tragflügel steigt seitlich steil an und gewährleistet die Rollstabilität. Unterhalb des Hecks ist zusätzlich ein horizontales, symmetrisches Profil am Steuerruder befestigt. Es dient als Leitwerk und garantiert die Längsstabilität. Das Ruder wird über eine Pedalsteuerung mit Seilzug bedient, wie im Kanusport üblich. Zwei auf beiden Seiten des Hydrofoils montierte Schwimmer verhindern ein Kippen des stehenden Boots.

Der Antriebsmotor ist im Leitwerk am Kreuzungspunkt zwischen Steuerruder und horizontalem Profil integriert. Sowohl in der Schwimm- als auch in der Gleitphase befindet sich der Motor unter Wasser und wird über das Gehäuse

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110304

gekühlt. Der Propeller ist dem Motor vorgeschaltet und überträgt die Leistung direkt mit einem Wirkungsgrad von über 70 % ins Wasser. Im Steuerruder werden die Leistungskabel, die den Motor mit der notwendigen Energie versorgen, in den Rumpf geführt.

Die Energie liefert ein Lithium-Polymer-Akkumulator, bestehend aus zehn Zellen. Mit einer Spannung von rund 40 V und einer Kapazität von 10 Ah speist er den Regler, der den dreiphasigen Wechselstrom für den Motor erzeugt. Eine schonende Nutzung des Akkumulators (wenig energieintensive Startphasen) ermöglicht eine dreißigminütige Fahrt. Der bürstenlose Asynchronmotor mit einem Gewicht von 400 g erreicht eine Dauerleistung von 1800 W und eine Spitzenleistung von 3600 W. Seine Effizienz liegt bei rund 90 %.

Fahrzeugdesign mit sportlicher Linienführung

Am Anfang des Prozesses waren ausschließlich eine Grundidee und einige noch recht vage formulierte technische und hydrodynamische Vorgaben vorhanden. In einer ersten Phase wurden die funktionalen und technischen Grundkonzeptionen verfeinert und präzisiert:

- Welche Anforderungen stellen potenzielle Nutzer an das Boot?
- Welche Nutzungsphasen (Transport, Einwassern, Fahren, Zerlegen, Lagerung etc.) sind zu berücksichtigen?
- Wie können die theoretisch formulierten hydrodynamischen und technischen Vorgaben mit den Anforderungen der Benutzer-Ergonomie in Übereinstimmung gebracht werden?

Mit der Klärung der Fragen konnte die formale Gestaltung des Bootskörpers und der einzelnen Komponenten in Angriff genommen werden. Auch bei dieser Arbeit ging es zuerst darum, eine konkrete Zielsetzung zu formulieren: Das fertige Boot sollte auf den ersten Blick als etwas Neues erkennbar sein, dabei aber nicht durch eine zu futuristische Gestaltung befremden. Sein Design soll Neugierde wecken und technische Kompetenz verkörpern, Geschwindigkeit spürbar machen, ohne aggressiv zu wirken, und elegantes, fast lautloses Gleiten über das Wasser ausdrücken.

Nach eingehender Recherche ähnlicher Bootstypen (Segelboote, Sportrunderboote, Surfbretter, Jet-Skis etc.) fertigten die



Bild 1. Maßstäbliche Schaummodelle entstanden während des Erarbeitens eines geeigneten Designs

Entwickler Skizzen und maßstäbliche Schaummodelle an (Bild 1). Mehrere Varianten wurden danach mittels CAD skizziert und im Hinblick auf Ästhetik und technische Realisierbarkeit überprüft. Ebenfalls im CAD wurde das ausgewählte Modell konstruiert, sodass die Fertigung die Daten direkt verwenden konnte. Das Resultat ist ein Tragflügelboot mit einzigartigem Fahrzeugkonzept, das in dieser Art noch nicht existiert (Bild 2). Trotz relativ großem Volumen wirkt das Boot leicht, wobei es sich durch seine sportliche Linienführung auszeichnet. Eine prägnante Farbgebung betont die für die Funktion entscheidenden Komponenten.

materialien und Fertigungsprozesse auszuwählen, die sich für eine spätere Produktion in kleinen Stückzahlen eignen. Da eine Person die Möglichkeit haben soll, das Boot zu wassern und in Betrieb zu nehmen, müssen zusätzliche Anforderungen bezüglich des Gesamtgewichts und der Demontierbarkeit der Hauptkomponenten erfüllt werden.

So haben Rumpf und Schwimmer einen Sandwichtaufbau mit kohlefaserverstärkten Deckschichten. Beide Teile werden im Handlaminier-Verfahren hergestellt. Die biegesteifen Sandwichelemente erlauben eine einfache



Bild 2. Das ausgewählte Modell in CAD-Ansicht: Das Hydrofoil in der Bootsmitte sowie das Leitwerk mit integriertem Motor am Heck sind rot lackiert

Fertigung in Integralbauweise

Die eingeschränkte Energiespeicherkapazität der Batterie und die limitierte Dauerleistung des Elektromotors stellen sehr große Anforderungen an die geplante Leichtbaukonstruktion. Zudem sind Ma-

Fertigung in Integralbauweise statt der klassischen Bauweise mit Kiel, Spanten und Beplankungen. Im Handlaminier-Verfahren kann einseitig eine sehr hohe Oberflächengüte erzielt werden. Das ist für die optische Erscheinung des Boots im Gleitbetrieb wichtig, wenn der gesamte Rumpf über dem Wasser schwebt. Rumpf und Schwimmer bestehen aus jeweils zwei Halbschalen, die mit einem Strukturklebstoff verbunden werden. Die Schwimmer sind doppelsymmetrisch



Bild 4. Erste Versuche, um das Fahrverhalten zu testen, zeigten: Bei geringer Geschwindigkeit (< 15 km/h) liegt das Boot ganz im Wasser (links), bei ungefähr 15 km/h hebt es sich teilweise aus dem Wasser (Mitte) und bei Geschwindigkeiten größer 15 km/h ist der Bootsrumf über dem Wasser (rechts); gut zu erkennen ist auch, dass weniger Wasser aufgewirbelt wird – d.h. wenig Verlustleistung tritt auf

gestaltet, um mit einem Werkzeug alle vier Schwimmerhälften laminieren zu können.

Halbschalen im Laminataufbau

Nach dem Fräsen der Urmodelle aus Polyurethanschaum mit einer Dichte von 400 kg/m^3 , werden die Kunststoffformen laminiert. Die zu fertigenden Halbschalen haben folgenden Laminataufbau:

- Auftragen des In-Mold-Coatings mit einer Spritzpistole (zweikomponentiger Polyurethanlack),
- eine Außenlage Glasgewebe mit einem Flächengewicht von 80 g/m^2 und durchtränkt mit Epoxidharz (EP),

- zwei Lagen Carbongewebe (245 g/m^2) mit EP als Verstärkungen an Krafteinleitungspunkten wie Wellenlagerung und Tragflügelbefixierung,
- ein Schaumkern aus Airex R63 sowie an den Krafteinleitungspunkten mit Airex T90.150 verstärkt,
- zwei Lagen Carbongewebe (245 g/m^2) mit EP als Verstärkungen an Krafteinleitungspunkten wie Wellenlagerung, Tragflügelbefixierung, Sitzfixierung sowie Bodenplatte und
- abschließend Einbringen von Abrießgewebe, Lochfolie, Saugvlies und Vakuumsack.

Im nächsten Fertigungsschritt härten die Bauteile unter Vakuum und Raumtemperatur aus (**Bild 3**). Nach dem Entformen der Halbschalen werden die Kanten besäumt sowie verschliffen und anschließend mit einem Strukturklebstoff (Typ: ScotchWeld 3M DP 7240) gefügt. Das Anbringen der Anbaukomponenten wie Tragflügel, Antrieb, Sitz inkl. Lenkung sowie der elektrischen und elektronischen Komponenten vom Antriebsstrang erfolgt im letzten Arbeitsgang.

Tragflügel mit Profil

Der Tragflügel und das hintere Leitwerk sind aus Aluminiumprofilen aufgebaut, die im Strangpressverfahren kosteneffizient gefertigt werden. Um das Eindringen des Wassers zu verhindern, sind die hohlen Profile mit Polyurethanschaum ausgeschäumt. Eckelemente aus Stahl verbinden die geraden Profilabschnitte. Für einen festen Halt werden sie miteinander verklebt. Die Montage des Tragflügels ist einfach: Der horizontale Träger, der die Enden der Tragflügel verbindet, wird über das Boot gelegt und mit Klemmen am Rumpf befestigt.

Der Carbonsitz stammt aus dem Liegeradbau, die Lenkung über Fußpedale aus dem Kanubau. Alle Halterungen und Verbindungselemente wurden über num-

merische Berechnungsmethoden hinsichtlich ihrer Gewichte bei vorgegebener Festigkeit und Steifigkeit optimiert. Die meisten Teile sind gefräste Aluminiumelemente oder Carbonplatten.

Der gesamte Produktentwicklungsprozess, d.h. Konstruktion, analytische und numerische Berechnung, Fertigung und Montage des Boots erfolgte an der Hochschule für Technik Rapperswil. Mit einem Totalgewicht (inklusive Antriebsstrang) von 35 kg entstand ein sehr leichtes und ansprechendes Tragflügelboot. Erste Fahrversuche zeigten, dass die gewünschte Funktionalität erreicht wird. Bei einer Geschwindigkeit von ca. 15 km/h hebt sich der Bootsrumf aus dem Wasser und verlässt es bei höherer Geschwindigkeit vollständig, wie in **Bild 4** ersichtlich. Die Leistung des Antriebs sinkt beim Austreten aus dem Wasser von rund 1200 W auf 600 W (**Bild 5**).

Ausblicke

Im Falle einer Weiterentwicklung sind folgende Punkte zu bedenken: Die Form des Bugs fällt steil ab und entspricht noch zu stark derjenigen eines klassischen Verdrängerrumpfs. Eine weniger steile Bugform ließe den Rumpf flacher ins Wasser eintreten. Die Änderung würde zudem zu einem leichten Anheben der Bootsspitze bereits bei geringen Geschwindigkeiten führen. Das Leitwerk steuert das Boot und ist in der aktuellen Ausführung nur um die vertikale Achse drehbar. Mit einer Trimmfunktion im Leitwerk könnte der Fahrer die Bootslage in der Flugphase korrigieren. Optimierungspotenzial besteht weiterhin bei der Geometrie des Flügelprofils, um den Energiebedarf im Gleitbetrieb zu senken.

Die Maßnahmen bedingen einen kompletten Neubau des Rumpfs und der Tragflächen. Für die Weiterentwicklung werden derzeit Hersteller gesucht. Großes Interesse haben bereits Ruderver-

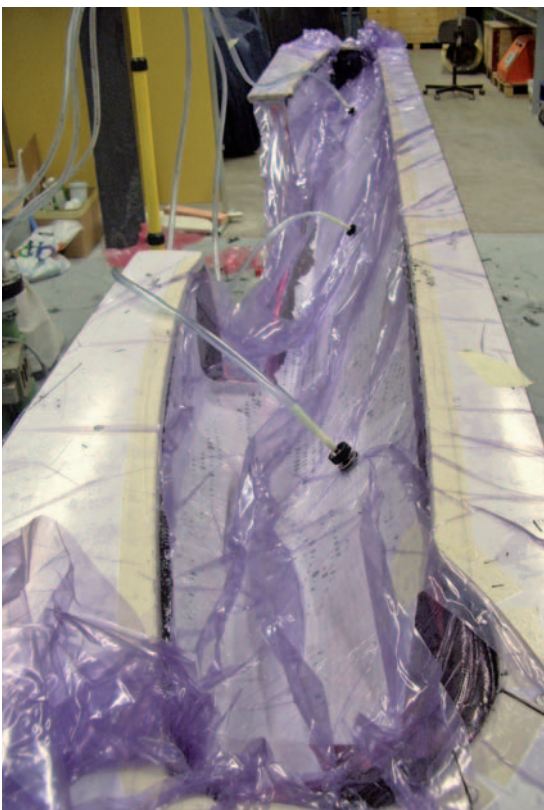


Bild 3. Nachdem der Laminataufbau vollständig in die Form eingebracht ist, härtet die Halbschale des Rumpfs unter Vakuum und bei Raumtemperatur aus

eine bekundet, die für die Begleitung der Rennruderboote ein leises und verdrängungsarmes Boot sehr gut einsetzen könnten. ■

DANK

Das Boot ist aus einer Zusammenarbeit der Fachhochschulen Wädenswil und Rapperswil sowie Privatunternehmen entstanden. Spezieller Dank gilt den Sponsoren (StauffacherBenz Product Design, Swiss-composite AG, BolleterComposites AG, LEC AG, Novosport, Lettmann GmbH) sowie den

Institutsmitarbeitern Dominik Stapf, Tobias Wiethaler, Beat Schraner und Senad Lisica für ihre wertvolle Mitarbeit. Der Prototyp trägt den Namen „GF 09“ in Gedenken an Georg Furger, der das Projekt initiiert und bis zu seinem überraschenden Tod mit viel Enthusiasmus vorangetrieben hat.

DIE AUTOREN

PROF. DR. MARKUS HENNE, geb. 1972, ist stellvertretender Institutsleiter und Dozent für Maschinenteknik am Institut für Werkstofftechnik und Kunst-

stoffverarbeitung der Hochschule für Technik in Rapperswil; mhenne@hsr.ch

DIPL. ING. ANDREAS MARTI, geb. 1980, wissenschaftlicher Assistent an der Fachstelle Erneuerbare Energien der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Wädenswil; andreas.marti@zhaw.ch

STEFAN STAUFFACHER, geb. 1965, Industrie Designer, führt zusammen mit seiner Partnerin Nicole Benz das Design Studio StauffacherBenz in Uster/Zürich; stefan.stauffacher@stauffacherbenz.ch

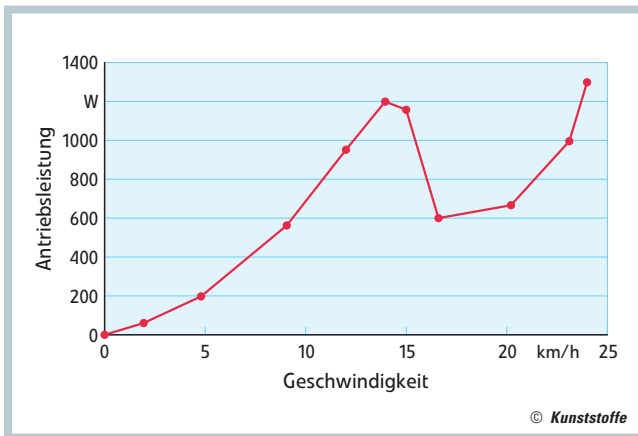


Bild 5. Im Verlauf der Antriebsleistung bei zunehmender Geschwindigkeit zeichnet sich eine starke Leistungsabnahme nach dem Abheben des Boots von rund 1200 W auf 600 W ab

SUMMARY

GLIDING BOAT

MARINE ENGINEERING. Designers and developers have created an ultra-lightweight, electrically driven one-person hydrofoil that can overtake rowing boats and even leave behind passenger boats. The lightweight structure combines fiber composites with structural foams and aluminum.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on

www.kunststoffe-international.com

© Carl Hanser Verlag, München 2010. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe dieses Sonderdrucks und der Übersetzung behält sich der Verlag vor.