

Erfahrungen mit einem schubvektorgesteuerten Luftschiff

Florian Böhm, Alexander Bormann

Technische Universität Berlin
Institut für Luft- und Raumfahrt
Projektwerkstatt *LUFTffISCH*

Inhalt:

Luftschifftechnik ist derzeit kein übliches Lehrgebiet an Hochschulen. An der TU Berlin beschäftigen sich Studierende im Rahmen der Projektwerkstatt Luftffisch mit den Grundlagen der Luftschifftechnik und ihrer Weiterentwicklung. Ziel ist der Bau eines modernen Luftschiffes u.a. für den Freizeitverkehr. Als praktisches Anschauungsbeispiel und Versuchsgerät wurde ein ferngesteuertes Experimentalluftschiff gebaut. Am Beispiel des Versuchsträgers Luftffisch N°.1 wird erstmals das Prinzip einer rein aktiven Steuerung von Luftschiffen mittels Schubvektoren untersucht. Ein Vorteil dieses Prinzips liegt in der einfachen und leichten Konstruktion - verstellbare Klappen wurden eingespart und die Leitwerksfläche minimiert. Neben den guten Flugeigenschaften im Reiseflug gewährleistet die aktive Steuerung eine ausgezeichnete Manövrierbarkeit des Luftschiffs auch bei geringen Geschwindigkeiten. Es wird ein Überblick über die Tätigkeit der Projektwerkstatt gegeben und die Entwicklung von Luftffisch N°. 1 dargestellt.

1 Das Projekt Luftffisch

Im Projekt Luftffisch an der TU Berlin arbeiten Studierende aus verschiedenen Fachrichtungen an der Weiterentwicklung der Luftschifftechnik. Anhand eines konkreten Beispiels beschäftigen sich die Studierenden mit allen Phasen einer Luftfahrzeugentwicklung - vom Vorentwurf über die Konstruktion bis hin zum Bau und der Inbetriebnahme. Im Rahmen des selbstbestimmten, forschenden Lernens erwerben sie so Fähigkeiten, die im Hochschulbetrieb normalerweise kaum vermittelt werden können.

Das Projekt wird daher durch das Projektwerkstätten-Programm der TU Berlin gefördert. Projektwerkstätten sind Lehrveranstaltungen, die von Studierenden entwickelt, organisiert und durchgeführt werden. Um Studierende bei der Umsetzung einer Projektidee zu unterstützen, erhalten diese eine Förderung im Umfang von zwei Tutorenstellen und einem kleinen Sachmittelletat. Zudem kann die gesamte Infrastruktur der TU, wie Werkstätten, Computernetze, Transfereinrichtungen etc. für das Projekt genutzt werden. Die TU Berlin möchte mit diesem Programm innovative Ansätze in der Lehre fördern und Studierenden die Möglichkeit geben, wissenschaftliches Arbeiten zu trainieren. Wichtig bei der Auswahl der Projekte ist ein hoher Bezug zu realen Problemen und die inhaltliche Erweiterung des regulären Lehrangebotes.

Inhalte und Rahmen

Die Initiatoren der Projektwerkstatt begannen ihre Arbeiten mit der Absicht, ein Fluggerät für den Freizeitsport zu bauen, mit dem man z. B. auf angenehme Art und

Weise einen Wochenendausflug unternehmen kann. Für diesen Zweck kam nur ein Luftschiff in Frage, denn es:

- hat den Auftrieb eingebaut;
- kann mit geringen Geschwindigkeiten fliegen;
- benötigt minimale Motorisierung und
- kann auf seiner großen Fläche genügend Sonnenenergie für den Vortrieb sammeln.

Schnell wurde den Initiatoren klar, daß Luftschiffe über ein interessantes Potential zur Ergänzung und partiellen Substitution des heutigen Luftverkehrs verfügen, insbesondere in Bereichen, wo hohe Geschwindigkeiten keine zentrale Rolle spielen.

Da sich zu diesem Zeitpunkt kein Fachgebiet der TU mit dem Thema LTA-Fluggeräte beschäftigte, war hier weitgehend Neuland zu betreten. Das Projekt, spontan begonnen, traf auf ein großes Interesse von Studierenden sowohl der Luft- und Raumfahrt als auch vieler anderer, z.T. nicht technischer Fachrichtungen. Gemeinsam arbeitete man an der Erschließung der Grundlagen der Luftschiffe, der einschlägigen Literatur und der Entwicklung eines Vorentwurfs für einen Technologieträger, an dem neue Konzepte der Luftschifftechnik ausprobiert werden sollten. Parallel dazu wurde die Projektwerkstatt ins Leben gerufen, die zum Wintersemester 97/98 offiziell ihre Arbeit aufnahm.

Die Projektgruppe wählte für sich den Namen Luftffisch (nur echt mit den zwei f), unter dem Motto „In der Luft so wohl fühlen wie ein Fisch im Wasser“, das sich auf das Fernziel des Projekts bezieht: *Das Fliegen im eigenen Luftschiff*.

Aufgabengebiete

Das Nutzen des eigenen Fluggeräts, das „sanfte Schweben“, von dem historische Darstellungen der Zeppelin-Fahrten berichten, stellt einen wichtigen Motivationsfaktor bei der Arbeit in der Projektwerkstatt dar. Das Thema ist gut für eine solche Projektveranstaltung geeignet, da die prinzipielle Funktionstüchtigkeit von Luftschiffen seit über 100 Jahren praktisch bewiesen ist und bereits eine Reihe von Kleinluftschiffen gebaut wurden. Mit der erfolgreichen Umsetzung des aerostatischen Prinzips für ein Fluggerät ergeben sich jedoch zugleich eine Reihe wesentlicher Herausforderungen. Luftschiffe müssen „alltagstauglich“ gemacht werden; die sichere und einfache Handhabung eines Luftschiffes ist auch bei Start und Landung zu gewährleisten. Um diese Ziele erreichen zu können, wurden viele konkrete Aufgaben und Arbeitsmethoden definiert:

- Entwickeln einer arbeitsfähigen Gruppe ohne zunächst den Anreiz eines Leistungsnachweises bieten zu können;
- Selbstbestimmte Lehre im Bereich der Luftschifftechnik;
- Akquisition von Ressourcen (etwa. 50% des Etats kommen z.Z. aus Spenden);
- Anwenden ingenieurwissenschaftlicher Methoden
 - Nachweisen von Sicherheit und Zuverlässigkeit.
 - Bestimmung der flugmechanischen Parameter;
- Identifikation (und Untersuchung) von Innovationspotentialen;
 - Untersuchung von neuartigen Antriebstechnologien;
 - Umsetzung moderner Steuer- und Regelungskonzepte;
 - Vereinfachung des Aufbaus - robuste Konstruktion;
 - Untersuchung optimierter Luftschiffformen;
- Entwickeln eines Prototypen und Technologieträgers;

- Sammeln von Erkenntnissen für den Entwurf des großen Luftschiffes;

Einige dieser Punkte werden im Folgenden näher erläutert.

Lehr- und Forschungsgebiet Luftschifftechnik

Das große Interesse an dem Projekt zeigt, daß hier ein Bedarf an Lehrangeboten besteht. Daher gehört zur permanenten Arbeit der Projektwerkstatt die gemeinsame Erarbeitung von Grundlagen (wie Aerostatik, Aerodynamik, Flugphysik etc.), ihre Systematisierung und Dokumentation sowie die Vermittlung an die neuen TeilnehmerInnen. Besonders wichtig ist es dabei, die Besonderheiten von Luftschiffen zu erkennen. Aufgrund ihrer potentiell größeren Anfälligkeit gegenüber Witterungsverhältnissen ist beispielsweise die Beschäftigung mit Fragen der Betriebsabwicklung und der Meteorologie unerlässlich.

Innovationspotentiale

Insbesondere im Bereich der Antriebs- und Steuerungstechnik, des robusten Leichtbaus sowie der Widerstandsreduktion wurden von den ProjektteilnehmerInnen Gebiete mit einem erheblichen Innovationsbedarf identifiziert. Die rechnerische und experimentelle Untersuchung eines elektrostatischen Antriebssystems führte leider nicht zu den erhofften Ergebnissen. Weitere innovative Lösungsansätze sind in der Verwendung einer Schubvektorsteuerung, durch die Untersuchung von Formoptimierungsprinzipien und die Entwicklung einer leichten und dabei zugleich stabilen Konstruktion verwirklicht worden.

Entwicklungsmethoden

Um ein Luftschiff bauen zu können, müssen zunächst die Prinzipien dieses Flugsystems verstanden sein. Für den Systementwurf werden Heuristiken zur Lösungsfindung benötigt. Eine für diesen Zweck gut geeignete Methode ist die Bionik. Sie basiert auf Analogieschlüssen zu natürlichen Konstruktionen. Es wird untersucht, ob für die jeweilige Fragestellung in der Natur Lösungen existieren. Ist dies der Fall, werden diese Lösungen analysiert und die Funktionsprinzipien für die technologische Umsetzung adaptiert. Die Systemtechnik ist ein weiteres Verfahren, um technischen Lösungen zu finden und umzusetzen. Sie beschäftigt sich mit der Entwicklung von Methoden für die Unterstützung von Problemlösungs- und Entscheidungsprozessen bei der Planung komplexer Systeme.

Prototypenbau

Der Aspekt des praktischen Arbeitens kommt durch den Bau des verkleinerten Prototypen in die Projektwerkstatt. Wie die Erfahrung gezeigt hat, ist die Arbeit an einem Versuchsträger die beste Grundlage für das Verständnis des komplexen Entwurfs und Entwicklungsprozesses eines Luftschiffes. Physikalische Optimallösungen mußten nicht selten pragmatischen und minimalistischen Alternativen weichen. Durch die anschließenden Flugversuche mit dem Prototypen konnte die Flugphysik veranschaulicht und die Korrektheit sowie die Grenzen theoretischer Berechnungsmodelle gezeigt werden.

Nachweis und Zulassung

Die Zulassung eines neuen Luftfahrtgerätes gehört zu den aufwendigsten Arbeitsbereichen im Bereich der Luft- und Raumfahrt. Für die Entwicklung des geplanten größeren Luftschiffes ist daher das Erlangen der Zulassung eine bedeutende Herausforderung. Daher ist die Begleitung eines Zulassungsverfahrens eine bedeutende Praxiserfahrung für die Studierenden der Projektwerkstatt.

2 LUFTFFISCH N^o. 1



Abbildung 1: Luftffisch N^o. 1 bei den ersten Flugversuchen in der historischen AEG-Halle 15

Luftffisch N^o. 1 (Abb. 1) ist das erste „Produkt“ der Projektwerkstatt Luftffisch. Es ist ein ferngesteuerter Erprobungsträger, mit dem die von der Projektgruppe entwickelten und adaptierten Technologien experimentell untersucht werden können. Die technischen Daten sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

<i>LUFTFFISCH N^o. 1</i>	
Länge	9,7 m
Durchmesser	2,2 m
Volumen	19,5 m ³
Abflugmasse	19,5 kg
Zuladung (inkl. Akku)	5 kg
Antrieb	4 x 65 W (Nenn)
Standschub	4 x 6,5 N
Reisegeschwindigkeit	25 km/h
Flugdauer	1 h

Tabelle 1: Technische Daten von Luftffisch N^o. 1

Bionische Form

Eines der zentralen Probleme von Luftschiffen ist ihr vergleichsweise hoher Luftwiderstand, der sich aus ihrem notwendigerweise hohen Volumen ergibt. Ein erfolgversprechender Lösungsansatz ist die bionische Formoptimierung. Nach Studien des Fachgebiets Bionik und Evolutionsstrategie der TU Berlin (Dr. Rudolf Bannasch) ist der Pinguin ein Lebewesen mit einem extrem geringen volumenbezogenen Luftwiderstand. Versuche mit Pinguinen haben ergeben, daß ihr Energiebedarf pro zurückgelegter Schwimmstrecke sehr niedrig ist. Die Pinguinform besitzt daher ein erhebliches Potential für die technische Anwendung bei ähnlichen Stromungsverhältnissen. Mit Luftffisch N°. 1 soll nunmehr die praktische Eignung der Pinguinform für Luftschiffe näher untersucht werden und Werte für ihren Luftwiderstand anhand eines technisch realisierten Körpers mit dieser Form ermittelt werden

Zu diesem Zweck wurden die Geometriedaten eines Pinguins, die vom Fachgebiet Bionik und Evolutionsstrategie zur Verfügung gestellt wurde, für die technische Umsetzung leicht vereinfacht. Dieser Datensatz ist Grundlage einer innerhalb der Projektwerkstatt entwickelten Software zur Berechnung der Zuschnitte des Hüllensstoffs auf Basis der Entwurfparameter (gewünschtes Volumen, Anzahl der Hüllenteile etc.). Das mit diesem Programm ermittelte Schnittmuster wurde auf einem Großformatplotter ausgedruckt und auf den Hüllensstoff übertragen.

Hülle

Als Hüllensstoff dient ein reißfestes Nylongewebe für den Drachenbau der Firma Carrington Performance Fabrics, das im Herstellerwerk eine spezielle Polyuretanbeschichtung zur Gewährleistung der Gasdichtheit erhalten hat. Das Gewicht des Hüllensstoffs liegt bei etwa 110 g/m³. Die Reißfestigkeit des Materials liegt nach Messungen der TU Berlin bei etwa 7 N/mm.

Die Hülle wurde zusammen mit Gewölbeklebebahnen zunächst genäht. Die Nähte wurden danach zur Abdichtung mit einer Decklage verschweißt. Durch die PU-Beschichtung ist der Hüllensstoff gut heißverschweißbar.

Robuste Konstruktion

Durch eine Kielkonstruktion aus Aluminium wird Luftffisch N°. 1 zu einem halbstarren Luftschiff. Der maschinell gebogene und der Hüllensform angepaßte Kiel ist als mehrteiliges, zusammensteckbares Rohr ausgebildet. Dieses ermöglicht zusammen mit den übrigen Komponenten des Schiffes eine leichte Demontierbarkeit und Transportabilität. Am Kiel wird die Hülle über Klettverbindungen gesichert. Bug- und Heckspitze werden aufgesteckt und durch Schraubverbindungen gesichert. Die vier in X-Anordnung am Heck angebrachten Stabilisierungsflächen konnten als leichte Segelkonstruktion ausgeführt werden, die durch CFK-Stäben ausgesteift wird. Die Stabilisierungsflossen sind am Heckkonus mit dem Kiel des Luftschiffes verbunden. Zusätzlich stützen sie sich auf die Hülle ab. Der Kiel dient gleichzeitig als Aufhängung für Batterien und Nutzlast. Dabei ist die Kielstange ist darauf ausgelegt, daß Lasten wie Kamera, Meßgeräte etc. einfach angehängt und gesichert werden. Der Einsatz von neuen Materialien wie CFK-Rohren zur Gewichtsersparnis für den Kiel ist in der Diskussion.

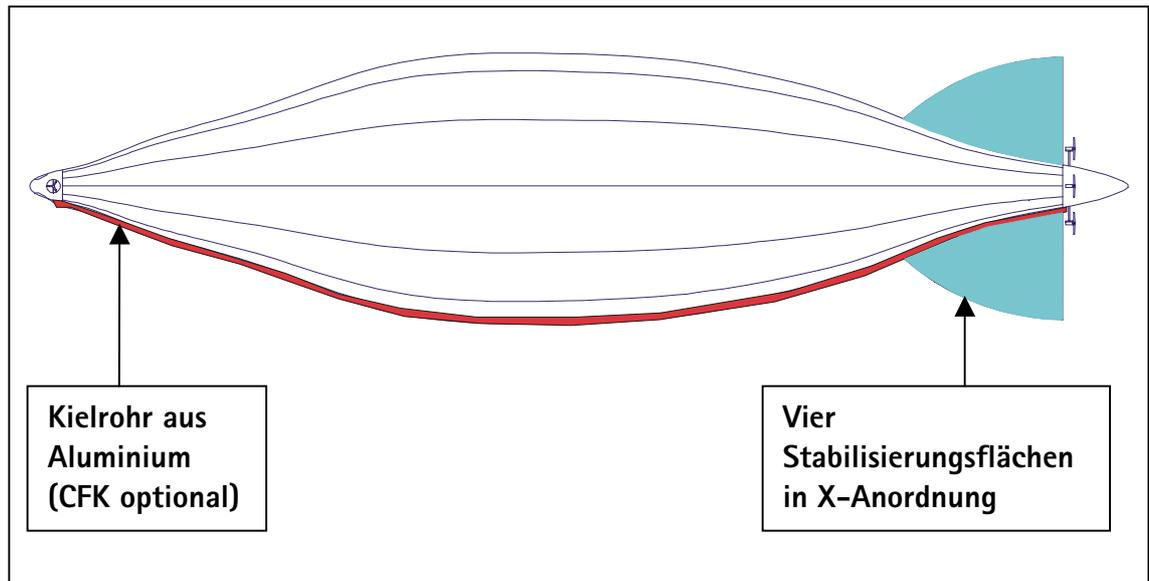


Abbildung 2: Struktur von Luftffisch N°. 1

Aktiv geregeltes Luftschiff

Luftffisch N°. 1 besitzt als eines der ersten Luftschiffe eine rein aktive Steuerung. Ausgangsgedanke war hierbei die Gewichtsreduzierung. Die Leitwerkskonstruktion stellt bei bisherigen Luftschiffentwürfen einen beträchtlichen Gewichtsaktor dar, weil sie die Aktuatorik zur Ansteuerung von Höhen- und Seitenruder sowie die gesamten Steuerkräfte tragen muß. Bei Luftffisch N°. 1 wurde die Steuerfunktion komplett von der Stabilisierungsfunktion der Leitwerke abgetrennt. Diese Stabilisatorflächen konnten in extremer Leichtbauweise ausgeführt werden. Die Steuerung erfolgt komplett über die Schubvektoren an Bug und Heck.

Das Problem der aerodynamischen Steuerung

Dieses Systemkonzept bietet einen Lösungsansatz für ein altes Problem der Luftschiffe: Aufgrund ihrer Trägheit sind sie bei geringer Fluggeschwindigkeit nur schwer auf aerodynamischem Weg über Ruderflächen zu manövrieren. Im Schwebeflug/Stand ohne relative Luftbewegung ist ein klassisches Luftschiff überhaupt nicht steuerbar. Eine rein aerodynamische Steuerung des Luftschiffes ist gerade im geringen Geschwindigkeitsbereich nur mit sehr großen Leitwerksflächen zu bewältigen. Dementsprechend erhöhen sich Gewicht und Widerstand des Luftschiffes.

Lösungsansatz Schubvektoren

Durch Schuberzeuger, die in verschiedenen Richtungen wirken, kann die Manövrierfähigkeit von Luftschiffen massiv erhöht werden. Diese Schuberzeuger können statisch oder verstellbar sein. Bei Luftffisch N°. 1 erfolgt die Steuerung über vier kreuzförmig angeordnete und um ihre Achse drehbare Propellerantriebe am Heck. Jeweils zwei Antriebsmotoren befinden sich auf einer um 180° schwenkbaren Achse. Hierbei sind die Antriebsmotoren gleichzeitig Manövereinheiten, was zu einer weiteren Gewichtsersparnis führt.

Antriebstechnik

Zur Unterstützung der Hauptmotoren am Heck befinden sich zwei Strahlruder in vertikaler und horizontaler Richtung am Bug. Die Propulsionseinheiten befinden sich

damit an den am weitesten vom Schwerpunkt entfernten Positionen, was für eine optimale Manövrierfähigkeit sorgt.

Als Hauptantriebe werden handelsübliche Elektrotriebemotoren aus dem Modellflugbereich mit jeweils 65 W Nennleistung verwendet. Das Schwenken der Drehachsen erfolgt über Servomotoren mit angebauten Zahnradgetrieben.

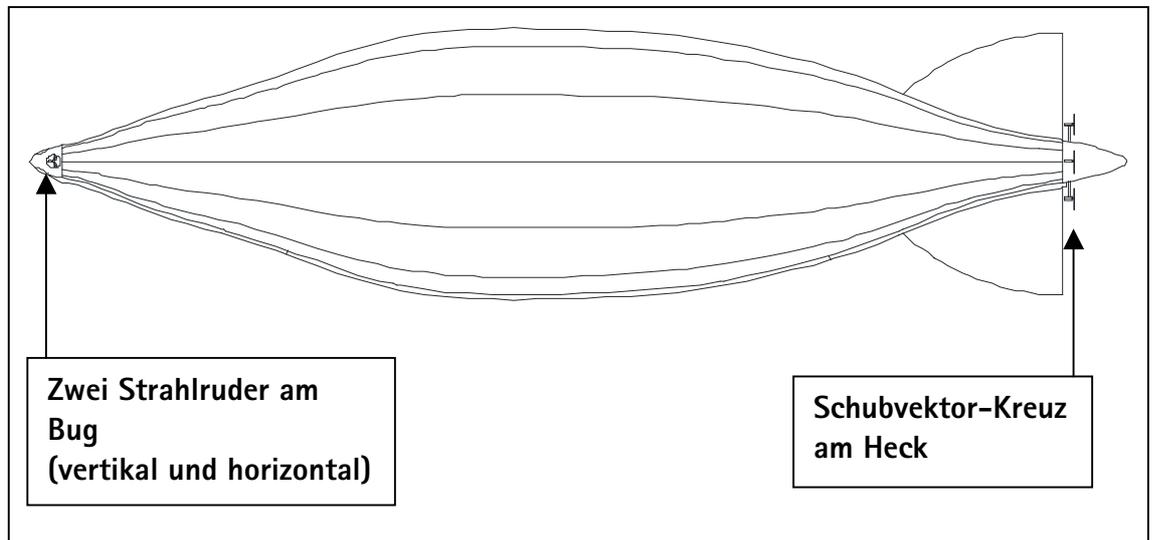


Abbildung 3: Anordnung der Antriebe von Luftffisch N°. 1

Steuerung und Regelung

Die Antriebsmotoren werden über eine Leistungselektronik aus MOSFET-Bausteinen angesteuert. Derzeit sind diese Bauteile direkt mit dem Empfänger der Funkfernsteuerung verbunden. Sämtliche Steuerbefehle werden elektrisch übertragen („Fly-by-wire“), mechanische Verbindungen existieren nicht mehr. Ein Flugregelsystem, das auf einem Motorola 68332 Mikroprozessor basiert, befindet sich gegenwärtig in der Entwicklung. Dieses soll den Piloten bei der Steuerung dahingehend unterstützen, daß die Lageregelung auf Basis der Sensorinformationen automatisch erfolgt. Das Flugregelsystem ermittelt außerdem auf Basis der vom Piloten kommandierten Geschwindigkeit und Richtung, die optimale Schubkonfiguration von Hauptantrieben und Bugstrahlrudern und gibt über einen internen Datenbus entsprechende Befehle an die Leistungselektronik der Antriebe. In einer weiteren Ausbaustufe ist ein automatischer Flugbetrieb des Luftschiffes auf Basis einer vom Piloten kommandierten Zielposition oder Flugtrajektorie geplant.

Sensorik

Die Sensorik von Luftffisch N°. 1 wird primär auf Lage- und Kursensoren (Attitude Heading Reference System (AHRS)) basieren. Dieses derzeit in der Entwicklung befindliche System ist aus Beschleunigungssensoren für die drei Starrkörperbeschleunigungen und drei Drehraten sowie Magnetometern (Fluxvalves) für die Bestimmung des Kurses aufgebaut. Die Informationen des AHRS werden sowohl für die Lageregelung als auch für die Bewegungsmessung während Flugversuchen verwendet. Als spätere Ausbaustufe ist der Einbau eines GPS-Empfängers zur exakten Bestimmung der absoluten Position geplant.

Flugeigenschaften

Flugversuche mit Luftffisch N°. 1 haben ergeben, daß durch die Schubvektoren eine präzise Positionierung des Schiffes möglich ist, sofern der Wind eine Geschwindigkeit

von 5 m/s nicht übersteigt. Unter den gleichen Bedingungen kann das Schiff auch schnell auf der Stelle drehen (siehe Abb. 4). Bei vertikaler Einstellung der Heckvektoren und der Nutzung des vertikalen Bugstrahlruders ist ein Steigen und Sinken über einem Punkt möglich. Die Steuerbarkeit des Schiffes wurde von allen Piloten positiv bewertet. Alle Flugaufgaben können mit dieser Schubvektorkonfiguration durch den Piloten komfortabel ausgeführt werden. Testflüge ohne Stabilisierungsflossen in einer Halle haben gezeigt, daß eine rein aktive Stabilisierung des Luftschiffes durch den Piloten möglich ist. Die Manövrierfähigkeit in dieser Konfiguration ist sogar besser. Aufgrund der verminderten Eigenstabilität folgt das Schiff jeder Steuerbewegung wesentlich direkter und damit schneller. Unter Windeinfluß ist das Schiff mit verminderter Eigenstabilität jedoch kaum zu steuern, das Schiff wird schnell unkontrollierbar. Deshalb wird von der Projektgruppe eine rein aktive Stabilisierung eines Luftschiffes ohne Flossen als nicht wünschenswert angesehen, nicht zuletzt auch wegen des wesentlich höheren Energieverbrauchs für die Schubvektoren.



Abbildung 4: Drehversuch zur Untersuchung der Schubvektorsteuerung

3 Der Stand des Projekts

Zeitablauf des Baus von Luftffisch N°. 1

- SEM (WS 97/98) – Detailkonstruktion Luftffisch N°. 1
- SEM (SS 98) – Bau Luftffisch N°.1
- SEM (WS 98/99) - Inbetriebnahme
- SEM (SS 99) - Flugversuche

Mit der Fertigstellung von Luftffisch N°. 1 im Herbst 1998 ist ein wesentlicher Meilenstein des Projektes erreicht worden. Das Schiff wird intensiv für Testflüge eingesetzt und laufend optimiert. So befindet sich derzeit eine verbesserte Bugspitze mit einem drehbaren Strahlruder größerer Leistung im Bau. Ein Kamerasystem ist installiert worden, das die Übertragung von Bildern während des Fluges über eine Funkstrecke ermöglicht und zur Dokumentation von Flugversuchen verwendet wird. Dieses wird durch eine kardanis aufgehängte, fernsteuerbare Plattform ergänzt, an der Videokameras oder Photoapparate befestigt werden können.

Ergebnisse der Projektwerkstatt

Eine Reihe von Studierenden hat sich im Rahmen der Projektwerkstatt mit dem Thema Luftschifftechnik auseinandergesetzt und die Erkenntnisse praktisch umgesetzt. Die Projektwerkstatt besitzt eine ständige Teilnehmerzahl von ca. 12-14 Studierenden.

Luftffisch N°. 1 war der Blickfang des Stands der TU Berlin auf der Internationalen Luft- und Raumfahrttausstellung 1998 (ILA '98) am Flughafen Berlin-Schönefeld. Weiterhin wurde das Schiff auf der DGLR-Jahrestagung 1998 in Bremen und diversen Veranstaltungen der TU Berlin vorgeführt. Dabei konnte im ca. 40 m x 40 m großen Lichthof der TU Berlin die ausgezeichnete Manövrierfähigkeit auf engem Raum des Luftffisches N°. 1 gezeigt werden. Auf allen Veranstaltungen konnten die Teilnehmer der Projektwerkstatt ein reges Interesse von Besuchern und Medien verzeichnen. Es wurde deutlich, daß auch in der Öffentlichkeit nicht zuletzt wegen der derzeit aktuellen großen Luftschiffprojekte wie Zeppelin NT oder Cargolifter ein großer Bedarf an Informationen über das Thema Luftschiffe besteht.

Auch weitere Einrichtungen der TU Berlin interessieren sich mittlerweile für Luftschiffe. So hat das Verkehrsweseneminar in Zusammenarbeit mit der Projektwerkstatt Luftffisch eine zweisemestrige Lehrveranstaltung zum Thema „Luftschiff und Binnenschiff – Verkehrsinnovationen für die Region Berlin-Brandenburg“ durchgeführt. Fachgebiete aus der Geodäsie sind an einem Einsatz des Luftffisches N°. 1 als Kameraplattform für Vermessungsaufgaben interessiert.

In diesem Zusammenhang ist es erwähnenswert, daß in Brand (60 km von der Berliner Stadtgrenze entfernt) die Werft der Cargolifter AG entsteht, wo das mit einem Volumen von ca. 550.000 m³ (zum Vergleich: LZ 129 „Hindenburg“ - 200.000 m²) bislang größte Luftschiff überhaupt entstehen soll. Einer der Initiatoren der Projektwerkstatt ist mittlerweile bei Cargolifter beschäftigt. Andere Studierende haben Studienarbeiten oder Praktika bei Cargolifter absolviert.

Meßprogramm Sommer 1999

Zur Auswertung der Flugeigenschaften von Luftffisch N°. 1 findet im Sommer 1999 ein umfangreiches Meßprogramm statt. Dieses dient u. a. zur Kalibrierung der flugmechanischen Rechenmodelle und der daraus abgeleiteten Reglersoftware für die Inbetriebnahme des Flugregelsystems. Die in Ansätzen bereits vorhandenen Rechenmodelle sollen anhand der Flugversuchsdaten ausgebaut und verifiziert werden.

Dieses Meßprogramm wird sowohl im Freien als auch in einer großen, ehemaligen Produktionshalle für Generatoren (Maße 190 m x 30 m x 30 m) stattfinden, die freundlicherweise die Bauabteilung der TU Berlin durch einen schnellen und unbürokratischen Einsatz zur Verfügung gestellt hat. Durch die Versuche in der Halle sollen die aerodynamischen und flugmechanischen Parameter von Luftffisch N°. 1 in ungestörter Umgebung ohne Wind bestimmt werden. Im Freien wird ein vergleichbares Programm unter Windbedingungen durchgeführt.

Zum Meßprogramm gehört der klassische Auslaufversuch zur Bestimmung des Luftwiderstandes sowie Beschleunigungsversuche für die Leistungsermittlung der Antriebseinheiten. Durch Drehversuche soll die Manövrierfähigkeit des Schiffes untersucht und die Leistung und optimale Betriebsstrategie der Schubvektoren identifiziert werden.

Für die Messungen wird zunächst ein optisches Aufnahmeverfahren über eine Videokamera verwendet. Später wird das AHRS-System verwendet und der Luftffisch N°. 1 mit Drucksensoren ausgestattet.

Die Ergebnisse dieser Messungen sollen systematisiert werden und in die Entwicklung des größeren Luftffisches N°. 2 einfließen, dessen Entwurf im Herbst 1999 beginnt.

4 Ausblick

Bau und Zulassung von Luftffisch N°. 2

Mit Luftffisch N°. 2 soll die Ausgangsidee der Projektwerkstatt, ein Verkehrsmittel für den Freizeitverkehr zu entwickeln, erfüllt werden. Dementsprechend ist als zentraler Entwurfsparameter eine Nutzlast von 500 kg vorgegeben, die den Transport von vier Personen ermöglicht. Auch für dieses Schiff soll eine bionisch optimierte Form verwendet werden. Ebenso sollen das in Luftffisch N°. 1 getestete Schubvektor-konzept Eingang in den Entwurf finden. Für den Antrieb ist die Nutzung von Solarenergie geplant. Derzeit werden zudem verschiedene bionische Propellerformen und Strukturprinzipien evaluiert. Die Vorentwicklung soll Ende 2000 abgeschlossen werden.

Projektwerkstatt/Lehre

Im Rahmen der Projektwerkstatt soll am Beispiel von Luftffisch N°. 2 die Lehre auf dem Gebiet der Luftschifftechnik auf größere Schiffe ausgedehnt werden. Dabei spielen Fragen von Nachweisrechnungen und Zulassungsbestimmungen eine besondere Rolle. Auch das Potential bionischer Konzepte in der Luftfahrt soll in Zusammenarbeit mit den einschlägigen Fachgebieten weiterhin untersucht und dokumentiert werden. Der Ansatz des forschenden Lernens soll durch verstärkte Außenkontakte mit Praktikern aus der Industrie ausgebaut werden. Dieses könnte beispielsweise in Form einer Seminarreihe geschehen.

Verifikation der Modelle

Es ist für das Verständnis der Luftschifftechnik von besonderer Wichtigkeit, verlässliche Modelle über ihr Verhalten zu haben.

Aerarium e. V.

Für die Finanzierung der Weiterentwicklung von Luftffisch N°. 1 und der Konstruktion von Luftffisch N°. 2 haben Mitglieder der Projektwerkstatt Luftffisch den Aerarium e. V. als Förderverein für die Erforschung aerostatischer Fluggeräte gegründet. Der Name entstand aus der Überlegung, daß Fische in einem Aquarium schwimmen, dementsprechend müßten Luftffische in einem Aerarium Zuhause sein. Im Lateinischen bedeutet Aerarium zudem Geldspeicher oder Spardose.

5 Fazit

Für die TeilnehmerInnen ist natürlich zunächst das bedeutendste Ergebnis der Projektwerkstatt, daß man auch ohne viel Aufwand etwas herstellen kann, was funktioniert, und daß man alles in allem viel Spaß dabei hat. Durch die Projektwerkstatt konnte im Rahmen eines selbstbestimmten Praxisprojektes die Luftschifftechnik in neuer Form an der TU Berlin etabliert werden. Dabei konnten auch neue Konzepte des forschenden Lernens in die Didaktik einbezogen werden. Anhand der Luftschiffe der Projektwerkstatt, Luftffisch N°. 1 und noch mehr mit dem künftigen Luftffisch N°. 2, kann von interessierten Studierenden die Luftschifftechnik direkt „erfahren“ werden. Gleichzeitig kann die Entstehung und Umsetzung neuer Konzepte wie der Schubvektorsteuerung oder der Einsatz bionischer Prinzipien in der Luftfahrt prozeßorientiert studiert werden.