



Entwicklung adaptiver
Tragflächen und Heckleitwerke

Wendig wie ein Vogel

Durch die ständige Weiterentwicklung von Sensornetzwerken und durch neue Erkenntnisse in den Werkstoffwissenschaften eröffnen sich neue Möglichkeiten für adaptive Flugzeugtechnologien. Bei den Tests dieser neuartigen Bauformen an der University of Michigan spielt die MicroLabBox eine entscheidende Rolle für die Datenerfassung, die Aktorsteuerung und die Koordination der Experimente.



Flugzeugen die Wendigkeit von Vögeln (hier ein Falke bei der Jagd) zu verleihen, ist ein Wunschtraum von Flugzeugkonstrukteuren.

Bei der Entwicklung adaptiver Flugzeugtechnologien (Morphing) lässt sich das AIMS (Adaptive Intelligent Multifunctional Structure)-Labor an der Universität Michigan regelmäßig von der Natur inspirieren. Denn im Gegensatz zu modernen Flugzeugen mit ihrer größtenteils starren Struktur können Vögel durch den gezielten Einsatz von Flügeln und Schwanz viel flexibler auf atmosphärische Einflüsse bzw. veränderliche Strömungsbedingungen reagieren. Eine derartige Anpassungsfähigkeit wäre gerade für kleine Flugzeuge nützlich, die genau wie Vögel anfälliger sind für die Einflüsse von Wind und Wetter als größere Flugzeuge. Die Forschungen am AIMS-Labor konzentrieren sich auf die Entwicklung von Fluggeräten, die ihre Geometrie aktiv und unmittelbar an die sie umgebenden Strömungsbedingungen anpassen können, insbesondere durch Formänderungen von Tragflächen und Heckleitwerken. Beides wird am AIMS-Labor mit dem Ziel untersucht, ein Flugzeug zu entwickeln, das sich ganz nach dem Vorbild der Natur den atmosphärischen Gegebenheiten anpasst.

Adaptive Flügel – der Vogelflug als Vorbild

Für die aerodynamische Steuerung von Flugzeugen spielen die Querruder an den Tragflächen eine zentrale Rolle, was sie zu einem wichtigen Forschungsobjekt im Bereich adaptiver Flugzeugtechnologien macht. Das AIMS-Labor untersucht die Auswirkungen von Formveränderungen entlang der gesamten Flügeloberfläche mit Hilfe von MFC (Macro Fiber Composite)-Aktoren, die über elastomerische Wabenkörper verbunden sind (Abbildung 1). Auf diese Weise können bestimmte Teilbereiche des Flügels darauf ausgerichtet werden, unerwünschte Strömungseffekte abzumildern. Diese Methode ist besonders geeignet für den Fall des Strömungsabrisses, denn hierbei ver-

liert der Flügel deutlich an Auftrieb. Durch das Modellieren des nicht-linearen aerodynamischen Verhaltens beim Strömungsabriss kann das AIMS-Labor die für das Optimieren der Flügelverformung notwendige Biegung der Aktuatoren im Voraus berechnen. So lassen sich die unerwünschten Strömungseffekte kompensieren, um wieder eine stabile Fluglage ohne Turbulenzen herzustellen. Angeregt wurde dieses Konzept von Biologen, die bei Steppenadlern (*Aquila nipalensis*) ein Verhalten beobachteten, bei dem die Tiere absichtlich einen Strömungsabriss provozieren, um Steilkurven zu fliegen.

Adaptives Heck

Neben den adaptiven Flügeln haben die Forscher am AIMS-Labor auch den Luftwiderstand eines beweglichen, horizontal ausgerichteten Heckleitwerkes analysiert (Abbildung 2). Dessen Aktuator-Mechanismus basiert auf der Beobachtung der feinabgestimmten, schnellen Bewegungen, die ein Vogel mit seinem Schwanz vollführt, während er Kopf und Rumpf ruhig hält, um seine Beute zu beobachten und dann blitzschnell und zielgenau zuzuschlagen. Hier liegt der Unterschied zu herkömmlichen Flugzeugen, deren vertikales Heckleitwerk lediglich für Richtungsstabilität und Steuerung sorgt. Dagegen ist das Besondere an einem aktiven Heckleitwerk, dass es darüber hinaus auch Nick- und Gierbewegungen ermöglicht und als aerodynamische Bremse fungieren kann. Derart konstruierte Flugzeuge wären hochgradig manövrierfähig und ähnlich vielseitig wie ein Vogel.

Entscheidend: Flexibles Verformen von Oberflächen

Eine wesentliche Herausforderung bei adaptiven Flugzeugen besteht in der Entwicklung von Methoden, um auf Oberflächen, zum Beispiel an den Flügeln und am Schwanz, Verformungen zu erzeugen, die ohne abrupte Übergänge ineinander übergehen.

>>

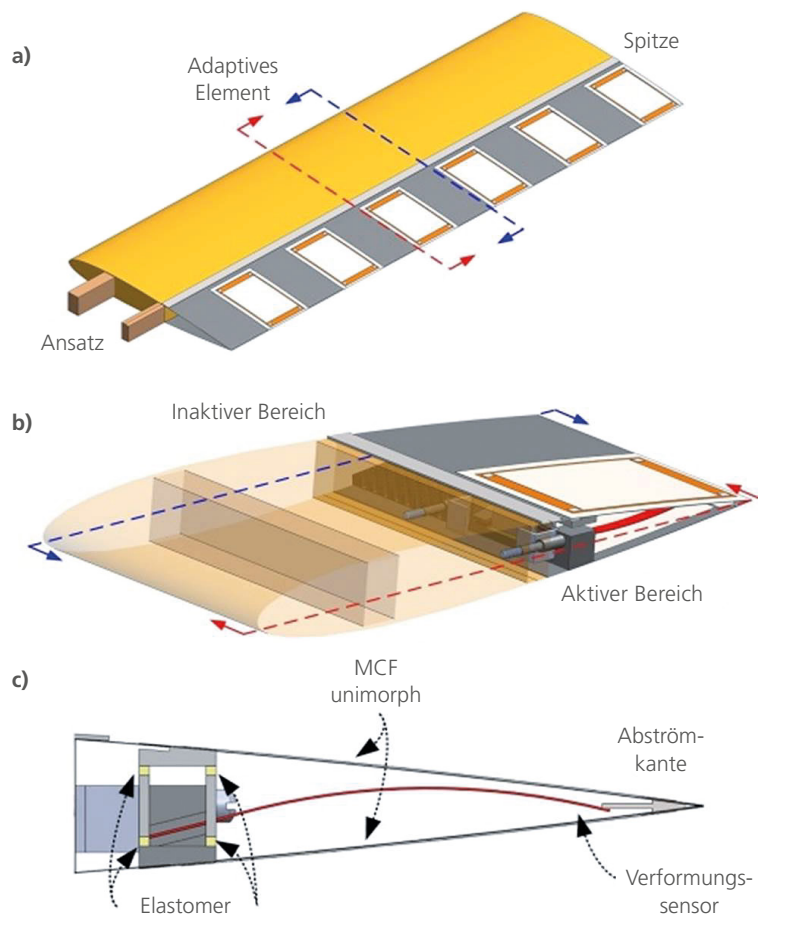


Abbildung 1: a) Aufbau des Adaptivflügels b) Morphing Unit Section c) Aktiver Adaptivmechanismus. Die MFCs verformen sich bei Ansteuerung, verbiegen die Spitze der Abström-kante und erzeugen eine Wölbung.

zeitig als Oberfläche und als Aktor fungieren und sind damit eine leichtgewichtige Alternative zu herkömmlichen Servo- oder Hydraulikmechanismen in kleinen UAVs (Unmanned Aerial Vehicles). Durch die Integration von geeigneten Wabenstrukturen ist die kontinuierliche Formänderung zwischen den Aktoren gewährleistet, wodurch sich die Wirbelbildung und damit der Strömungswiderstand reduzieren. Eine weitere Herausforderung liegt darin, für die wechselnden Flugbedingungen immer die optimale Kombination von Aktorverformungen einzustellen. Genau hier kommt die Simulation der Aerodynamik ins Spiel. Vereinfacht gesagt beantwortet die optimierte Simulation die Frage, welche Form der Flügel besitzen muss, um sich an die Umströmungsgegebenheiten anpassen zu können. Der Ausgang der Optimierung bestimmt die Verformung jedes Aktors und gibt letztlich die Oberflächegeometrie über die gesamte Flügelspannweite vor. Die Herausforderung besteht dann in der Zustandsüberwachung der Flügelgeometrie über interne Sensoren, dem Steuern der geeigneten Verformungen bei aerodynamischen Lasten und dem Aufzeichnen von Echtzeitdaten der aerodynamischen Kräfte und Momente.

Windkanaltests mit Hilfe der MicroLabBox

Die durch die Biologie inspirierten Flugzeugkonstruktionen erfordern umfassende Tests im Windkanal, um die aerodynamischen Kräfte und

Lawren Gamble

Lawren Gamble ist Doktorandin im Bereich Aerospace Engineering an der University of Michigan, USA.



Genau dies können MFCs, denn sie besitzen eine dünne biegsame Struktur, die sich durch Anlegen einer Hochspannung verformen lässt. Auf diese Art und Weise können MFCs gleich-

„Die Fähigkeit der MicroLabBox, Sensorsignale über Dutzende von Kanälen aufzuzeichnen und eine Vielzahl von Aktuatoren hochpräzise zu steuern, half dabei, die komplexen strukturellen und aerodynamischen Eigenschaften der adaptiven Flügel während der Windkanaltests zu beobachten.“

Lawren Gamble, University of Michigan

Momente zu messen. Bei dieser Aufgabe kann die MicroLabBox ihr ganzes Können zeigen, denn es gilt hierbei, große Datenmengen zu erfassen und die Aktoren hochpräzise anzusteuern (Abbildung 3).

Bei den Windkanaltests müssen die aerodynamischen und strukturellen Eigenschaften eines skalierten Flügels oder auch des ganzen Flugzeugs für die Datenverarbeitung und den Datenvergleich erfasst und aufgezeichnet werden. Da das Ziel dieser Vergleiche üblicherweise darin besteht zu ermitteln, wie gut die adaptiven Strukturen in der Lage sind, sich an widrige Flugbedingungen anzupassen, liegt der Fokus hier auf Präzision und Zeitgenauigkeit.

Außerdem ist die MATLAB®/Simulink®-basierte Arbeitsweise mit der MicroLabBox sehr hilfreich, um die komplexen Experimente mit dem breitgefächerten Equipment zu steuern und zu koordinieren.

Ziel ist ein „Fly-by-Feel“-Adaptivflugzeug

Mit Hilfe der MicroLabBox konnten die Forscher am AIMS-Labor drei sehr wichtige Erkenntnisse gewinnen. Erstens: Im Vergleich zu einem herkömmlichen starren Flügel reduziert der Adaptivflügel den Luftwiderstand beträchtlich. Zweitens: Der Adaptivflügel verarbeitet den Strömungsabriss sehr gut, wie die deutliche Reduzierung der Wirbelbildung zeigt (Abbildung 4). Drittens: Das Adaptivheck ermöglicht die Steuerung der Fluglage und erhöht die Richtungsstabilität. Basierend auf diesen Erkenntnissen ist das übergeordnete Ziel dieser Forschungsarbeiten die Entwicklung eines vollständig integrierten Fly-by-Feel-Adaptivflugzeugs, das sowohl über ein verteiltes Sensornetzwerk verfügt als auch über Heck und Flügel, die sich an die Flugsituation anpassen. ■

Lawren Gamble, University of Michigan

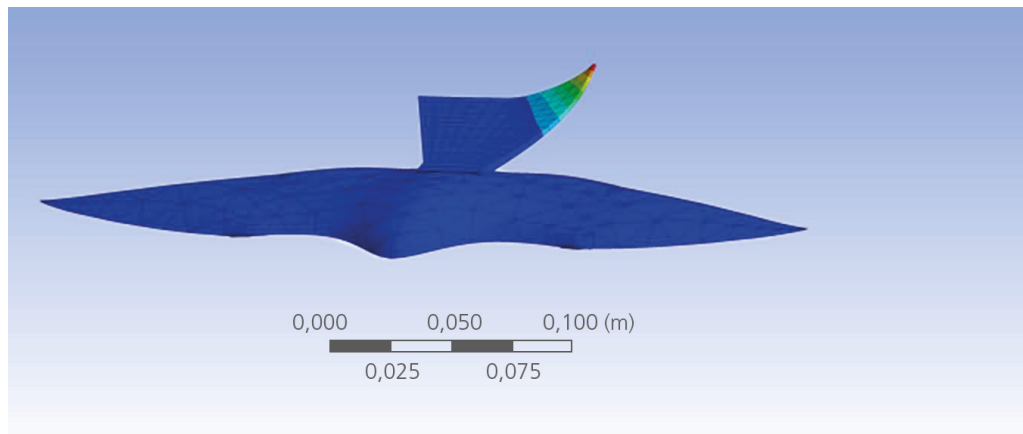


Abbildung 2: Die Ergebnisse der Finite-Elemente-Methode eines biomechanisch inspirierten aktiven Hecks verdeutlichen die resultierende Verformung aus der Ansteuerung der rechten Heckhälfte.

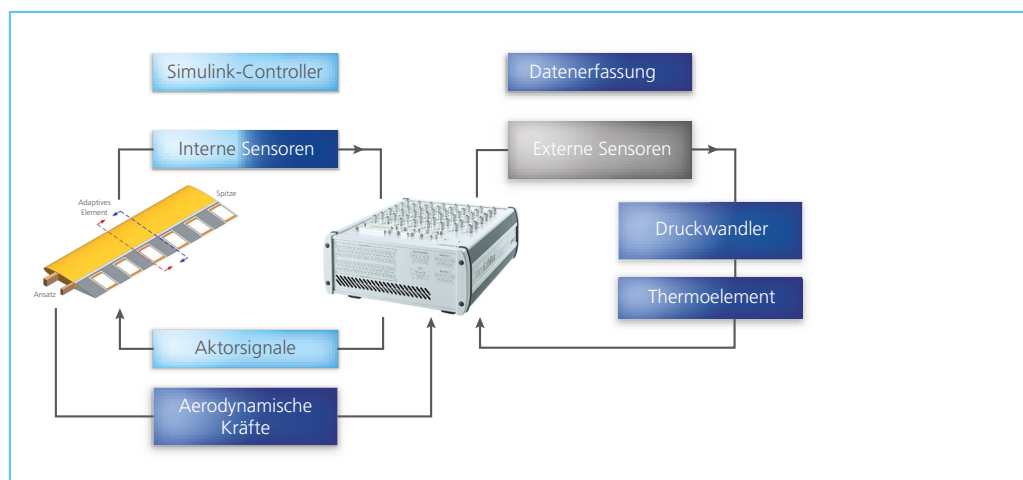


Abbildung 3: Schematische Darstellung von Experimentaufbau und Regelsystem. Die MicroLabBox sorgt als Schlüsselinstrument sowohl für die Regelung der Aktoren als auch für die Datenerfassung während der Windkanaltests.

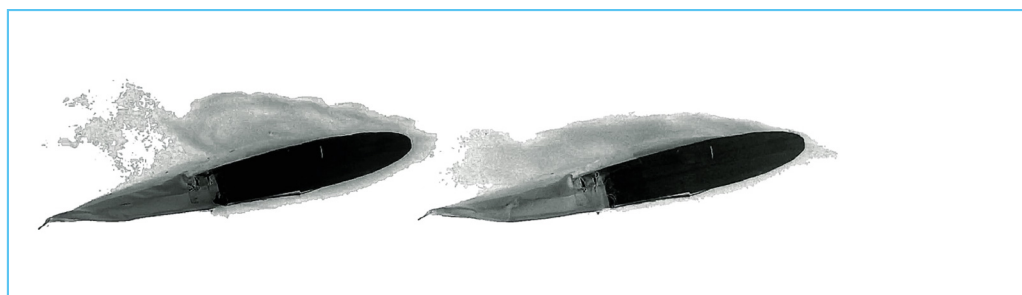


Abbildung 4: Die Strömungsvisualisierung zeigt, wie sich die an den Strömungsabriss angepasste Flügelform auswirkt. Linkes Bild: Starke Wirbelbildung aufgrund fehlender Anpassung. Rechtes Bild: Durch Flügelformanpassung wurde die Wirbelbildung fast vollständig unterdrückt.