Der Beweis, daß die Riesensaurier fliegen konnten

In den USA wurden Knochen einer Flugechse ausgegraben, die elf Meter Spannweite gehabt haben muß. Jetzt wird das Tier in Originalgröße nachgebaut. Elektromotoren sollen seine Schwingen bewegen, und ein Computer soll es so »intelligent« machen, daß es frei durch die Luft gleiten kann.

Der Ort der Veranstaltung – das California Institute of Technology – ließ auf eine wissenschaftliche Konferenz schließen; ein Eindruck, den die Namensschilder der über 30 Teilnehmer mit ihren Professoren- und Doktortiteln verstärkten.

Das Verhalten der Konferenzteilnehmer selbst erinnerte eher an eine Faschingsveranstaltung: Fast alle Redner – erwachsene Männer – leiteten ihren Vortrag mit schwingenden Armen ein, wie Vögel, die mit Gegenwind zu kämpfen haben. Andere ließen Papiervögel aufsteigen, die mit schlagenden Flügeln ihre Runden durch das Nebengebäude der Universität im kalifornischen Pasadena drehten.

Seltsam schließlich auch der Name dieser Zusammenkunft: »Quetzalcoatlus Northropi workshop«.

Das war im Sommer vergangenen Jahres, eine durchaus ernstzunehmende wissenschaftliche Konferenz. Hochkarätige Wissenschaftler aus den verschiedensten Fachrichtungen hatten sich getroffen, um zu diskutieren, ob sich ihr ehrgeiziges Vorhaben in die Tat umsetzen läßt. Spezialisten für Paläontologie – die Lehre von den Lebewesen vergangener Erdperioden – waren ebenso unter ihnen wie solche für Elektronik, Aerodynamik und Mechanik, und sie kamen überein, daß ihr Plan machbar ist: Der Quetzalcoatlus Northropi, etwas bekannter unter dem Namen Pterosaurus, wird nach 65 Millionen Jahren ein weltweit beachtetes Comeback feiern.

Der Pterosaurus, das war eine Flugechse, die sich mit ihren Riesenflügeln in die Lüfte erhob, als sich noch Dinosaurier auf unserer Erde tummelten – mit rund elf Metern Spannweite das größte fliegende Lebewesen überhaupt. Den Pterosaurus ereilte das gleiche Schicksal wie seine Saurierkollegen – er starb aus.

Das mag der anzweifeln, den es im Frühjahr 1986 in die amerikanische Hauptstadt Washington verschlägt. Dort wird ein Pterosaurus nach 65 Millionen Jahren wieder zum Flug ansetzen: An der Smithsonian Institution, dem bekannten Luft- und Raumfahrtmuseum, soll er sich in die Lüfte erheben, mit sanftem Flügelschlag zum Washington Monument fliegen und es umrunden. Natürlich wird das kein wirklich lebender Pterosaurus sein, sondern ein ferngesteuerter, mechanischer Nachbau, der durch den Einsatz moderner Robotertechnik, Elektronik und neuester Erkenntnisse in der Aerodynamik dem Original bis aufs Haar gleichen soll.

Das klingt erst einmal wie ein netter Gag. In Wirklichkeit ist es ein teurer Spaß. Rund 430000 Dollar, schätzt man heute, wird der fliegende Saurier-Roboter kosten – weit über eine Million Mark. Dafür soll er denn auch was tun, der Pterosaurus. Einen Teil der Kosten trägt die Smithsonian Institution selbst; sie will mit dem spektakulären Saurierflug für ihre neueste Filmproduktion »On the Wing« werben, die zu diesem Zeitpunkt anläuft.

Das meiste Geld kommt aber von der Firma des Flugenthusiasten Sam Johnson, Chef von Johnson Wax (Boden- und Autopflegemittel), der sich zum einen aus Begeisterung an der Sache solche Experimente etwas kosten läßt, andererseits aber auch auf den Pterosaurus als Werbeträger schielt. Zumindest hat er sich die Abkürzung »QN«, für den unaussprechlichen Namen Quetzalcoatlus Northropi, bereits als Warenzeichen patentieren lassen. Vielleicht, wer weiß, bricht 1986 in den USA das QN-Fieber aus.

Das Interesse am »QN« erschöpft sich aber keineswegs an seinen PR-Qualitäten. Die teilnehmenden Wissenschaftler versprechen sich auch neue Erkenntnisse über Aerodynamik. Denn auf dem Gebiet der mechanischen, flügelschlagenden Fluggeräte (der Fachausdruck dafür ist Ornithopter) gibt es bisher kaum ernstzunehmende Forschung. Lediglich kleine Spielzeugmodelle, die den Vogelflug imitieren, wurden gebaut und auch erfolgreich verkauft. Die haben mit einem Riesentier mit über zehn Metern Spannweite aber kaum etwas gemein.

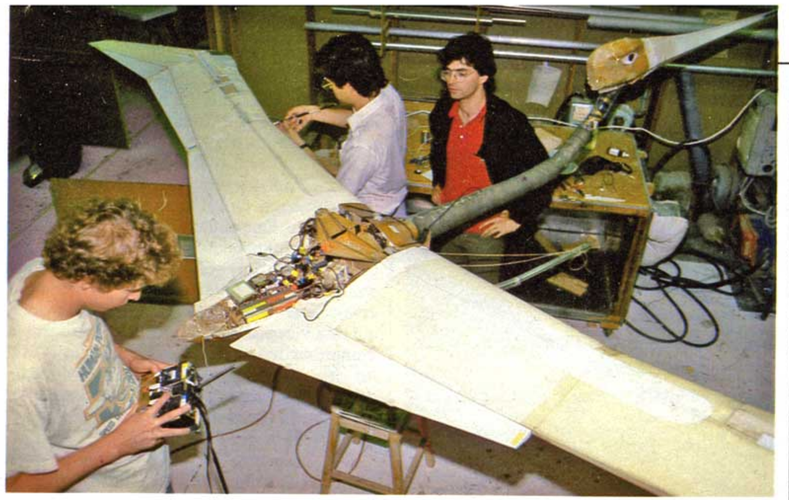
Die Idee zu diesem ungewöhnlichen Projekt hatte der Flugpionier Paul MacCready, vielen als »Vater der mit Menschenkraft angetriebenen Flugzeuge« bekannt. Sein Experimental-Flugzeug Gossamer Albatros gewann 1979 den 213000-Dollar-Kremer-Preis, als es den Ärmelkanal überquerte – nur durch Pedale vom Piloten angetrieben. (Eines von MacCreadys Projekten ist das »Flugzeug für jedermann«, mit dem man im eigenen Garten landet.) 1981 begegnete MacCready dem Pterosaurus zum ersten Mal, im Forschungslabor des Paläontologie-Professors Wann Langston, einem der wenigen Flugsaurier-Spezialisten auf der Welt. Auch er arbeitet nun am Roboterprojekt als wissenschaftlicher Berater mit. Für MacCready war der QN das »erstaunlichste aeronautische Geschöpf«, das er je gesehen hatte. Bis 1983 hatte MacCready so viele Informationen über das Flugreptil gesammelt, daß er zu der Ansicht kam, ein Modell in Lebensgröße, das sich wirklich mit seinen Flügeln durch die Lüfte schwingt, müßte mit der heutigen Technik zu bauen sein.

Bei einem informellen Mittagessen gewann er den Direktor der Smithsonian Institution, Walter Boyne, als Verbündeten: Das QN-Projekt wurde gestartet. Paul Mac Cready wacht nun als Direktor über die Fortschritte in der Entwicklungsarbeit.

In der Tat ein ehrgeiziges Projekt – es wäre sicherlich leichter, jeden heute auf der Erde lebenden Vogel mechanisch nachzubauen. Die Schwierigkeiten beim Pterosaurus beginnen bereits mit den Details seines Körperbaus. Wie groß war sein Rumpf, welche Spannweite hatten seine Flügel? Da sind

Das ehrgeizige Ziel der amerikanischen Forscher: Im Frühjahr 1986 soll ihr »Roboter-Saurier« zum Erstflug um das Washington-Monument in der amerikanischen Bundeshauptstadt aufsteigen.

Flugsaurier: Elf Meter Flügelspannweite und zwölf Elektromotoren als Muskeln



P.M.-Mitarbeiter Reinhard Weber (rechts im Bild) in der Werkstatt der Saurierforscher. Ein verkleinertes Flugmodell wird gerade einem Funktionstest unterzogen. Deutlich zu erkennen: die komplizierte Mechanik im Rumpf.

sich die Wissenschaftler noch heute nicht ganz einig. Denn die Überreste, die man vom Pterosaurus bislang gefunden hat, sind außerordentlich spärlich.

Ein Schüler von Professor Langston war es, Douglas A. Lawson, der 1971 im Westen von Texas den entscheidenden Fund machte. Nach monatelanger Laborarbeit hatte man das Puzzle gelöst, die kleinen Knochenstücke zusammengesetzt: Heraus kam dabei ein Flügel des Urtiers. Lawson prägte auch den Namen für das Flugreptil, mit dem sich die Wissenschaft seither herumplagen muß: Quetzalcoatlus Northropi, nach dem gefiederten Schlangengott der Aztekten, Quetzalcoatl, und nach John Northrop, der das fast nur aus Flügeln bestehende Experimentalflugzeug »Flying Wing« konstruierte.

Mehr als dieser eine Flügel steht den Wissenschaftlern zur Rekonstruktion des QN nicht zur Verfügung. Ihre weiteren Erkenntnisse bezogen sie deshalb vom »kleinen Bruder« des Flugreptils: Wenige Jahre später wurden, etwa dreißig Meilen von der QN-Fundstelle entfernt, zwanzig guterhaltene Skelette entdeckt, die zwar nur halb so groß sind wie das des QN, sonst aber praktisch identisch. (Diesen Funden hat man den vorläufigen Namen Quetzalcoatlus Sp. gegeben, für Spezies; man ist sich noch nicht ganz sicher, wie man sie genau einordnen soll.)

Professor Langston und seine Mitarbeiter arbeiten noch immer an möglichst detailgetreuen Entwürfen des Pterosaurus. Mittlerweile sind sie sich recht sicher, daß sie dem Original nahekommen, doch waren dafür zahlreiche Revisionen nötig: Die ursprünglich geschätzte Spannweite von etwa 16 Metern wurde auf 11 Meter zurückgenommen, der Hals des QN wurde mit jedem Entwurf länger, der Kopf größer. Der nunmehr endgültige QN-Entwurf, nach dem MacCready und sein Team jetzt arbeiten (die Illustrationen in diesem Bericht sind danach angefertigt), läßt allerdings jedem Flugzeugbauer die Haare zu Berge stehen.

Ein fliegendes Objekt mit dieser Körperform, so stellten die Wissenschaftler schnell fest, war in der Luft völlig instabil. Anders als Vögel hat der QN keinen stabilisierenden Schwanz; seine winzigen Hinterbeine sind aerodynamisch unbedeutend. Ein solcher Schwanz (wie ihn auch jedes Flugzeug hat) sorgt dafür, daß der Flugkörper stabil in der Luft »liegt«, nicht mit dem vorderen oder hinteren Teil nach unten wegkippt und damit sofort abstürzt.

Dasselbe Problem stellt sich bei der waagrechten Stabilitätskontrolle: Bei einem Flugzeug sorgt das senkrechte Leitwerk mit dafür, daß es nicht seitlich wegkippt – der Pterosaurus hat nichts Vergleichbares. Er mußte dieses Handicap mit »aktiver Kontrolle« ausgleichen: durch ständiges Drehen der Flügel, durch Verändern ihres Winkels zum Körper. Selbst die Stellung seines Kopfes und der winzigen Finger, die aus den Flügeln ragen, muß der Pterosaurus eingesetzt haben, damit er sich sicher in der Luft bewegen konnte.

Auf eine solche mehr oder weniger ausgeprägte aktive Kontrolle trifft man bei vielen Lebewesen, der fahrradfahrende Mensch ist nur ein Beispiel dafür. Instinktiv gleicht er jede Instabilität durch die richtige Verlagerung seines Gewichts aus – das hat er irgendwann einmal gelernt und macht es fortan automatisch.

Das QN-Team steht nun vor der Schwierigkeit, einer Maschine beizubringen, erstens solche Instabilitäten zu erkennen und zweitens ohne Verzögerung diese Instabilitäten zu korrigieren. Bei einem Fluggerät ist das schwieriger, als einem Roboter das Radfahren beizubringen.

Mit seiner Entwicklung eines instabilen »Flugzeugs« steht das QN-Team übrigens nicht allein: Zur Zeit wird von Flugzeugherstellern an solchen Flugzeugtypen geforscht, die nur durch die Kontrolle des Bordcomputers sicher in der Luft gehalten werden. Sie versprechen sich dadurch eine erhebliche Treibstoffersparnis gegenüber der herkömmlichen Bauweise (diese neuen Flugzeuge sollen natürlich nicht mit den Flügeln schlagen).

MacCready und seine Leute sind auf dem Weg zum flugbereiten Saurier schon ein gutes Stück vorangekommen. In einer Werkstatt im kalifornischen Simi Valley, eine Autostunde von Los Angeles entfernt, haben MacCreadys Mitarbeiter in der eigens für diesen Zweck gegründeten Firma »Aerovironment« bereits mehrere vorläufige Modelle der »QN-Replica« gebaut (so der offizielle Name des Modells).

Wer hier ein High-Tech-Labor erwartet, wird enttäuscht. Die Räumlichkeiten gleichen eher einer normalen Schreinerwerkstatt mit Werkbänken. Mit Holzstücken und Styropor übersät, zeugen sie von handfester Arbeit. Kein modernes computerisiertes CAD-System weit und breit, mit dem am Bildschirm konstruiert wird und bei dem der Computer die Rechenarbeit übernimmt. »So etwas hätten wir gern, aber das ist in unserem Budget nicht drin«, erklärt Martyn Cowley, der für die Konstruktionsarbeit mit zuständig ist. »Wir gehen mehr praktisch vor: Eine Idee wird gleich ins Modell umgesetzt, dann sieht man am schnellsten, ob es funktioniert. Selbst wenn wir einen Fehler gemacht haben, erkennen wir gleich, woran es liegt.«

Ganz ohne Theorie geht's allerdings nicht. In einem Nebenraum stehen drei Personal Computer, mit denen Berechnungen zur Aerodynamik, zum Beispiel zur Effizienz bestimmter Flügelformen, gemacht wurden.

Zur besseren Veranschaulichung des Flügelproblems dient eine kleine Computersimulation: Wenn das Programm läuft, ist auf dem Bildschirm ein stilisierter Pterosaurus zu sehen, der die genauen Auf-, Abwärts- und Drehbewegungen seiner Flügel ausführt. Genau diese sollen ihm nach den Berechnungen zu einem stabilen Flugverhalten verhelfen.

Praktisch nur bei einem einzigen der vielen zu lösenden Probleme bewegt sich das Entwicklungsteam auf altbekanntem Boden: Das Skelett, oder, besser gesagt, die Karosserie des QN, wird aus Karbonfiber hergestellt, einem Material, das bei gleicher Festigkeit nur ein Fünftel des Gewichts von Stahl hat. In unverarbeitetem Zustand sieht es aus wie dünnes, schwarzes Teerpapier – Lage für Lage wird es übereinandergelegt, um so das

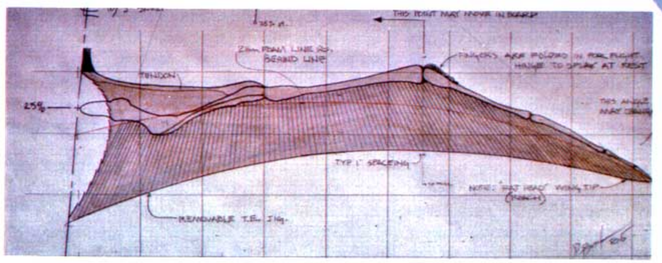
Zur Veränderung des Luftwiderstands kann der Saurierkopf mit einem Elektromotor gekippt werden.

Drei bewegliche Finger an jedem Flügel erleichtern das Manövrieren des fliegenden »Monsters«. Jeder Finger wird von einem eigenen Motor gesteuert.

Der Flugsaurier und seine wichtigsten Antriebs- und Steuerungssysteme. Zwölf Elektromotoren bringen es zusammen auf etwa 1 PS Leistung, die zum Fliegen dieses Modells im Originalmaßstab, also mit 11 Metern Flügelspannweite, erforderlich ist. Eine Nickel-Cadmium-Batterie mit 1,5 Kilogramm Gewicht liefert die Energie für einen etwa fünfminütigen Flug.

Der Hauptantrieb im Bauch besteht aus fünf Elektromotoren. Zwei Motoren (Flap motor, 1) sorgen für den Flügelschlag, ein Motor (Sweep motor, 2) läßt die Flügel je nach Fluglage und Trimmung nach vorn und hinten schwenken. Zwei weitere Motoren (Twist actuator, 3) sorgen für die richtige Flügeldrehung.

Vorbereitungen zum Flugversuch mit einem verkleinerten Modell. Es geht zuerst einmal darum, die Segelflugeigenschaften des Flügelentwurfs (Zeichnung unten) zu testen.



Flugsaurier: Die Aerodynamik berechnet der Computer

Rohrgestell für den Körper selbst oder die Rippen für die Flügel zusammenzuleimen. An Erfahrung mangelt es hier nicht: Schon die Rekordflugzeuge aus derselben Werkstatt wurden aus Karbonfiber gebaut – bei einer Spannweite von 24 Metern wiegt eines davon, der »Pinguin«, zum Beispiel nur etwas über 30 Kilogramm.

Mehr Kopfzerbrechen bereitet dem Team dagegen die Kontrolle der Flugstabilität des QN. Um die Lösung der Aufgabe besser in den Griff zu bekommen, spaltete das Team sie in mehrere Teilprobleme auf. Jedes von ihnen wird mit einem speziellen, vorläufigen QN-Modell zu lösen versucht. Die so zusammengetragenen Detaillösungen werden im abschließenden Modell angewendet und sorgen zusammen für einen »lebensechten Pterosaurus, der seinen Jungfernflug hoffentlich ohne Absturz übersteht.

So etwas hat es bisher – wen wundert's – bei den Tests oft genug gegeben. »Denk jetzt nicht, wie schrecklich«, kommentiert Martyn Cowley die Video-Aufzeichnungen von den frühen Flugversuchen, die er mit dem Projektmanager Dr. Alec Brooks zusammen vorführt. »Es kommt ja niemand dabei zu Schaden, und wir lernen bei jedem Crash etwas dazu.« Auf dem Bildschirm ist das zweite der bisher gebauten QN-Modelle zu sehen. Die Flügel sind noch unbeweglich, die Ähnlichkeit mit dem Pterosaurus hält sich auch noch in Grenzen; es gleicht mehr einem Segelflugzeug mit Kopf und Schnabel.

Start: Eine Seilwinde zieht das QN-Modell hoch in die Luft, nach etwa 15 Sekunden wird – per Fernsteuerung – das Fahrgestell abgeworfen; an einem kleinen Fallschirm schwebt es sanft zu Boden. Bei den ersten drei Versuchen segelt der Pterosaurus artig dahin, legt sich sogar in eine sanfte Rechtskurve. Zur Landung klappt der lange Hals auf Anweisung der Fernsteuerung nach oben, damit sich der lange und spitze Schnabel nicht in den Boden bohrt. »Genau umgekehrt wie bei der Concorde«, scherzt Martyn Cowley, um dann gleich die erste Flugkatastrophe anzukündigen, noch bevor sie auf dem Bildschirm zu sehen ist: »Das war damals noch nicht perfekt, da ist er uns völlig außer Kontrolle geraten«, sagt er mit leicht entschuldigendem Ton in der Stimme.

Gleich darauf ist das Malheur auf dem Bildschirm zu sehen: Eben noch im scheinbar schwerelosen Gleitflug, gerät das QN-Modell plötzlich aus der Bahn und stürzt ab wie ein Stein. Aber auch hier ist vorgesorgt: Von der Fernsteuerung angefordert, öffnet

Bitte lesen Sie weiter auf Seite 82

Dr. Alec Brooks mit einem Gleitflügel modernster Konstruktion. Er besteht aus Karbonfiber, das bei gleicher Festigkeit wie Stahl nur ein Fünftel von dessen Gewicht besitzt. Karbonfiber wird auch beim Flugzeug- und Raketenbau verwendet.

Drei Personal Computer stehen den Aerodynamikern zur Berechnung der optimalen Flügelform zur Verfügung. Jede Änderung der Flügelform, aber auch jede Flügelstellung und Drehung kann durch Computersimulation auf ihre Wirkung überprüft werden.

Extrem leicht wie der Flügel muß auch der Kopf des Sauriers gebaut sein. Er wird aus Karbonfibermatten geformt und dann im Ofen hartgebacken.

Zu Beginn wurde das Sauriermodell auf einen Kleinbus montiert und im Fahrtwind getestet. Entscheidende Bewährungsprobe für den elektronischen Autopiloten: Kann er bei 80 km/h das Modell in der richtigen Lage halten?

sich ein Fallschirm, das Modell landet sanft auf dem Boden.

Auch wenn die Flugversuche noch von mancher Panne gebeutelt waren und auf den Außenstehenden nicht gerade beeindruckend wirken – in diesem Modell steckt bereits ein Großteil der Technik, die die endgültige QN-Nachbildung später in der Luft halten wird. Ein eingebauter Bordcomputer bekommt bereits die zur Steuerung notwendigen Informationen von Meßfühlern zugeliefert. Um ihn zur Funktionsreife zu entwickeln, waren umfangreiche Vorabtests nötig: Das QN-Modell wurde auf einen Kleinbus montiert und bei etwa 80 km/h Geschwindigkeit im Fahrtwind auf sein Flugverhalten getestet. Anfangs gab der Computer, der »Autopilot«, oft noch falsche Anweisungen, der QN drehte sich gegen die Fahrtrichtung – bei einem wirklichen Flug hätte das den sofortigen Absturz bedeutet.

Doch mittlerweile hat die Elektronik die Sache recht zuverlässig im Griff. Die endgültige Version des Autopiloten ist vom Konzept her bereits entwickelt. Sie soll den QN auch bei unvorhergesehenen Windböen folgendermaßen im Gleichgewicht halten:

Zwei schnell rotierende Kreisel im Körper des Modells (mit rund 8000 Umdrehungen pro Minute) überprüfen ständig, ob der QN stabil in der Luft liegt. Einer von ihnen hat seine Achse senkrecht zum Körper (sie zeigt auf Rücken und Bauch) und mißt, ob der QN nach vorn oder nach hinten abzukippen droht. Durch die schnelle Rotation ist ein solcher Kreisel »träge«, jede Kippbewegung wird von ihm registriert und als geeichtes Signal an die Kontrollelektronik weitergegeben. Im stabilen Flugzustand liefert der Kreisel eine Spannung von 2,5 Volt – bei Kippbewegungen des Kopfes nach oben oder unten kann sie sich auf bis zu 3,5 Volt erhöhen oder auf 1,5 Volt absinken. Die Achse des zweiten Kreisels liegt in Längsrichtung im Körper; er sorgt nach dem gleichen Prinzip für die Kontrolle des Kurses. Weicht das Modell vom Geradeausflug ab und legt sich in die Kurve, wird das der Kontrollelektronik – durch Erhöhung oder Absenken der ausgegebenen Spannung – sofort gemeldet.

Der zweite Meßkreisel für Kursabweichungen sorgt automatisch auch für Kontrolle über die waagrechte Stabilität des fliegenden Modells. Denn um vom geraden Weg abzuweichen, muß sich das Modell »in die Kurve legen« – wie jedes andere Flugzeug auch. Kursabweichung heißt also zugleich: Der QN hängt schief in der Luft; je stärker die Kursabweichung, um so schiefer.

Trotzdem ist zur ständigen Überprüfung der waagrechten Lage des Modells noch ein zweites Meßinstrument vorgesehen: der Kippsensor, eine kleine, frei bewegliche Klappe an einem der Beine des QN. Vergleichbar mit einer Wetterfahne, dreht sie sich bei jeder Kursänderung im Fahrtwind mit. Ihre Achse ist mit einem Potentiometer (Drehregler) verbunden – je nach Stellung des Reglers wird eine bestimmte Spannung an die Elektronik abgegeben; ein weiteres auswertbares Signal.

Ein letztes, viertes Meßinstrument informiert die Elektronik über die Flugbahn: Eine zweite bewegliche Klappe, waagrecht an eines der Beine montiert und ebenfalls mit einem Drehregler verbunden, mißt ständig den Winkel, mit dem der Wind auf Körper und Flügel des Modells trifft (die Aerodynamiker nennen das anschaulich »angle of attack«, Angriffswinkel). Der Angriffswinkel der Luft hängt natürlich eng mit der augenblicklichen Lage des Modells in der Luft zusammen; taucht es mit der Nase nach unten, verändert sich auch der Angriffswinkel. Das Signal dieser »Windfahne« ergänzt sich mit den Messungen des Kreisels, der eventuelle Kippbewegungen des Kopfes überwacht.

Diese vier Meßinstrumente lassen den QN während seines Flugs also keinen Moment lang unbeobachtet. Der Bordelektronik fällt es nun zu, die Informationen über auftretende Instabilitäten oder gewollte Kursänderungen auszuwerten und die richtigen Signale an die vorhandenen Steuereinrichtungen weiterzuleiten. Und zwar so, daß der Flug kein jähes Ende nimmt.

Der Name »Computer« ist für den Autopiloten im Grunde übertrieben; es handelt sich dabei um eine herkömmliche elektronische Schaltung. Das Entwicklungsteam entschied sich für diese Lösung, weil nur wenige Signale zu verarbeiten sind und diese Signale direkt an die insgesamt zwölf Elektromotoren im QN weitergeleitet werden kön-

Bitte lesen Sie weiter auf Seite 84

Flugsaurier: Die ersten Tests

Start wie bei einem Segelflugzeug: Der Saurier wird am Seil nach oben gezogen. Das Fahrwerk und Zusatzleitflossen für den Start werden dann per Fallschirm abgeworfen (rechts).

Flugsaurier: Ein Chip steuert die Flügel

nen: Die von den Sensoren gelieferten Spannungen werden miteinander verglichen, oft werden sie voneinander subtrahiert oder zusammengezählt oder gar mit komplizierten mathematischen Operationen wie Integrieren oder Differenzieren in die benötigte Form gebracht (das ist mit entsprechenden Schaltkreisen durchaus möglich).

Die so erhaltenen Spannungen treiben dann – nach Verstärkung – direkt die Motoren an. Bei einem digitalen Mikroprozessor als Bordcomputer hätten die Sensoren-Signale zunächst in ein computergerechtes Format übersetzt werden müssen, in einen Binärkode von Nullen und Einsen. Und eine Zurückübersetzung wäre nötig gewesen, damit die Elektromotoren etwas mit den Informationen anfangen können. »Die Entwicklung und Programmierung eines digitalen Bordcomputers hätte mehr Aufwand bedeutet«, erläutert Projektmanager Dr. Alex Brooks. »Unsere Steuerelektronik programmieren wir um, indem wir ein paar Bauteile auswechseln oder die Stellung von Potentiometern verändern.« Für diese Arbeiten wurde Alan Coceoni angeheuert, ein Spezialist für Kontrollelektronik.

Superschnelle Motoren sorgen für den sanften Flügelschlag

Über die bereits angesprochenen zwölf Elektromotoren kann der Autopilot den QN in der Luft steuern. Sechs Motoren dienen zum Bewegen der Finger, von denen jeweils drei aus der Vorderkante der beiden Flügel ragen. Ein Motor ermöglicht ein Drehen des Kopfes, die restlichen widmen sich der wichtigsten Aufgabe, der Steuerung der Flügel. Was beim echten Pterosaurus die Muskeln übernahmen, führt beim Modell ein Set von Nickel-Cadmium-Batterien aus. Trotz ihres relativ geringen Gewichts von knapp drei Pfund sind sie für eine Leistung von 750 Watt gut. Zwar nur für kurze Zeit, doch soll der Washingtoner Renommierflug im nächsten Jahr ohnehin nicht länger als fünf Minuten dauern.

Finger- und Kopfbewegung spielen für die Steuerung eine untergeordnete Rolle. Die Rolle der Finger ist vergleichbar mit den Steuerklappen am Flügel eines Flugzeugs. Sie wirken in aufgestelltem Zustand wie eine »Luftbremse« und können so ihren Flügel nach unten drücken (sie werden nie an beiden Flügeln gleichzeitig eingesetzt). Damit lassen sich Kippbewegungen korrigieren oder Kurvenflüge einleiten.

Ähnlich bei Drehungen des Kopfes: So kann einseitig der Luft ein höherer Widerstand entgegengesetzt und eine Kurskorrektur unterstützt werden. An den Drehachsen für Kopf und Finger sind – wie gehabt – Potentiometer angeschlossen, die dem Autopiloten deren augenblickliche Stellung mitteilen.

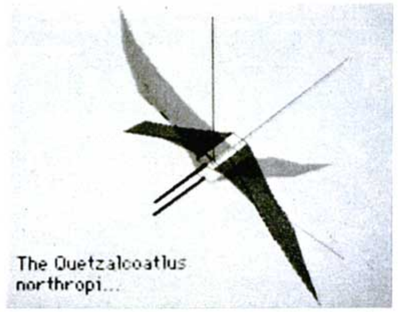
Bei den Flügeln liegt die Sache komplizierter. Hier sind Spezialmotoren nötig, um eine ausreichend exakte Steuerung zu erreichen. Die verwendeten Servomotoren können innerhalb von nur zwei Zehntelsekunden auf rund 9000 Touren beschleunigen.

Das Foto auf Seite 79 zeigt das komplizierte Getriebe, das die Kraft der fünf Motoren in Flügelbewegung übersetzt. Ein solcher Aufwand ist notwendig, da beide Flügel genaugenommen drei verschiedene Bewegungen gleichzeitig und exakt aufeinander abgestimmt ausführen müssen:

– den Flügelschlag selbst, die Auf- und Abwärtsbewegung. Das ist der eigentliche Antrieb, das QN-Modell soll damit sogar zum Steigflug fähig sein.

– das Verändern des Winkels der Flügel zum Körper. Sie können nach vorn gestellt oder zurückgelegt werden, um das Zentrum des Flügelauftriebs zu verschieben. Wirkung: Die Nase des QN geht nach oben oder unten (je nach Winkel der Flügel).

– das Drehen der Flügel. Um durch Flügelschlag wirklich eine An- und Auftriebswirkung zu erhalten, müssen die Flügel eines Vogels bei Auf- und Abwärtsbewegung verschiedene Stellungen einnehmen (um darüber nähere Informationen zu bekommen, studierte das Entwicklungsteam zahlreiche Filmaufnahmen von fliegenden Vögeln). Im Segelflug kann mit einer entgegengesetzten Drehung der beiden Flügel auch gesteuert werden. Auf dem Foto ist es zu sehen: Über einen Schraubenmechanismus werden die Flügel zum Schlagen gebracht und im Winkel zum Körper verändert. Die beiden dafür zuständigen Motoren treiben die Schrauben an und bewegen so die daraufsitzenden Muttern samt »angeschlossenen« Flügeln auf und ab. Der »Flügelschlagmotor« bekommt zusätzlich durch ein Gummiband Unterstützung: Nur wenn die Flügel waagrecht stehen, ist es entspannt, mit jeder Auf- oder Abwärtsbewegung rollt es sich auf und speichert auf diese Weise Energie. Sie wird bei der nächsten entgegengesetzten Bewegung wieder freigesetzt; der Antriebsmotor kommt so schneller auf Touren.



Der Flug des Quetzalcoatlus Northropi auf dem Computerbildschirm. Der Bewegungsablauf des Flügelschlags wurde von den Aerodynamikern programmiert und kann in allen Flugphasen sichtbar gemacht werden.

Die beiden Motoren für die Flügeldrehung sind direkt an der Flügelachse montiert – über eine Führung im Inneren des Flügels greifen sie etwa in der Mitte des Flügels an und sorgen so für eine saubere Drehung.

Die »Drehmotoren« sind allerdings nur zur Unterstützung gedacht. Die flexiblen Flügel wurden bereits so konstruiert, daß sie – bedingt durch den Luftwiderstand – beim Schlagen so ihre Form verändern, wie es der geforderten Drehbewegung entspricht. Nur wenn die Kontrollpotentiometer, die an allen Antriebsachsen sitzen, abweichende Werte melden, hilft über den Autopiloten die Motorsteuerung nach.

Dem QN-Modell ist die korrekte (kombinierte) Bewegung seiner Flügel einprogrammiert. In einem Computerchip (einem sogenannten EPROM, in dem sich Informationen schnell verändern lassen) sind für jede der drei Teilbewegungen insgesamt 256 Positionen abgespeichert, die für eine vollständige Flügelbewegung nacheinander einzunehmen sind. Dieser Chip ist übrigens das einzige Teil aus der heute üblichen Computertechnik. Die einzelnen digitalen Informationen – jede Position ist durch acht Bits kodiert – werden in analoge Form zurückübersetzt und verstärkt an die jeweiligen Motoren geleitet. Der QN beginnt mit den Flügeln zu schlagen.

Die Aufgabe der Kontrollelektronik ist also komplizierter, als man zunächst glaubt: Sie muß einerseits die Befehle (aus dem Computerchip und von der Fernsteuerung) umsetzen und weiterleiten, andererseits mit den angeschlossenen Sensoren auch ständig darüber wachen, daß das Modell mit diesen Befehlen stabil in der Luft bleibt. Ist das nicht der Fall, muß sie diese Befehle so verändern, daß auftretende Instabilitäten auf der Stelle ausgeglichen werden.

Der Autopilot hat demnach einiges zu tun. Er befindet sich während des Flugs in einer ständigen Kontrollschleife, vergleicht die ankommenden Meßdaten ununterbrochen mit den vorgegebenen Werten.

Wieviel technische Zauberei nötig ist, um den Pterosaurus wieder in die Luft zu bekommen, das wird wohl den wenigsten der Zuschauer in Washington bewußt sein, wenn der QN zu seinem Jungfernflug ansetzt. »Im Grunde ist das aber noch alles sehr einfach, was wir hier machen«, rückt Martyn Cowley das Bild von den Möglichkeiten der heutigen Technik zurecht. »In der Natur ist das viel komplizierter: Ein Vogel kann zum Beispiel nicht nur fliegen, er kann nach Nahrung suchen und verdauen, er kann sich fortpflanzen.« Und nach kurzem Nachdenken fügt Cowley hinzu: »Ich bin wirklich froh, daß unser Modell nicht auch noch Eier legen können muß.« *Reinhard Weber*

Der Beweis, dass die Riesensaurier fliegen konnten.
Erschienen im P. M. Magazin, Ausgabe 6/85 vom 18.10.1985

Das Copyright liegt beim
Verlag Gruner & Jahr AG & Co KG, Verlagsgruppe München