

TEXT: DIETER STÖRIG BILDER: AUTOR, HUBMUS, NASA/JPL-CALTECH

# GENIALITÄT TRIFFT MODELLBAU

## Der Ingenuity Mars-Helikopter als Standmodell für das Hubschraubermuseum Bückeburg

Ein Mini-Hubschrauber wird – voraussichtlich – bald Weltraumgeschichte schreiben! Der auf den Namen Ingenuity (Genialität/Einfallsreichtum) getaufte Koax-Heli ist Teil des NASA-Mars-Rover-Projekts »Perseverance«, der ab Februar auf dem Roten Planeten Gesteinsproben sammeln soll. Mit dem 1,8 kg schweren Koax-Heli wird u. a. das Flugverhalten bei anderer Schwerkraft/Atmosphäre erforscht; zudem sollen autonome Erkundungsflüge mit dem Ingenuity durchgeführt werden. Unser Vollblut-Modellbauer Dieter Störig hat für das Hubschraubermuseum Bückeburg einen 1:1-Nachbau des technisch pfiffigen Helis realisiert und berichtet hier über dessen Entstehung.

**Gegenläufig drehende  
Rotoren und viel verbaute  
Technik: das Original des  
Ingenuity-Mars-Helikopters.**

Abb. NASA/JPL-CALTECH



Am 3. August 2020 habe ich gerade den ersten Startversuch mit meinem selbstentworfenen Modell-Experimental-Flugzeug SWINGING durchgeführt, als völlig überraschend Dieter Bals auf unserem schönen Fluggelände des MFC Condor Bückeburg auftaucht. Er erklärte mir in seiner Eigenschaft als Geschäftsführer des Hubschraubermuseums Bückeburg sofort sein Anliegen: Ob ich denn bereit sei, den Mars-Helikopter Ingenuity, der ja gerade eben zum Mars gestartet sei, als Modell nachzubauen.

Von dieser Idee begeistert, sage ich sofort zu, worauf die ersten Starts und glücklichen Landun-

gen meines SWINGINGS von ihm gefilmt werden. Und Dieter Bals hat auch gleich Fotos und Beschreibungen des Mars-Ingenuity mitgebracht, so dass ich bereits am nächsten Tag Nägel mit Köpfchen mache, indem erste Ideen-Skizzen entstehen. Weg vom vertrauten Flettner-Hubschrauber zum Koaxial.

Beim Sichten der Fotos fällt auf das erstens: Die Entwicklungsmannschaft der NASA ganz offensichtlich die Plattform der heute überall umherschwirrenden Quadrokopter, Multikopter usw. übernommen hat. Und zweitens: Diese stark verschränkte Formgebung der Rotorblätter eine viele Jahrzehnte zurückliegende französische Vorge-

schichte hat. Denn da gab's in Frankreich einen »mit allen Wassern gewaschenen« Ingenieur, der sich intensiv mit dem Flügel-Verhalten der Vögel und Libellen auseinandergesetzt hatte.

Und der, um das viel zu schnelle Schlagen der Flügel für das menschliche Auge erfassbar zu machen, kurz nach der (vorherigen) Jahrhundertwende eine allererste Zeitlupenkamera erfand und obendrein auch noch selbst baute. Und da er unbedingt einen manntragenden Hubschrauber entwickeln wollte, kam er durch das Studium der Vogel- und Libellenflügel auf diese auftriebserzeugende Plattform für seine Hubschrauberentwicklungen.

So entstand bereits 1922 sein Apparat Nr. 1, dem bald darauf der Apparat Nr. 2 folgte. Nr. 2 in Form eines filigran zusammengeschweißten »Quadropters« aufgebaut, der erste, jedoch sehr erfolgreiche Flüge ermöglichte und den er dann bis ins Jahr 1938 in mehr als eintausend Flügen ausgiebig erprobte (in der Serie der »Ausgegraben«, Juni, Juli, August und September 2015 mit dem Titel Quadratquartett ausführlich beschrieben.)

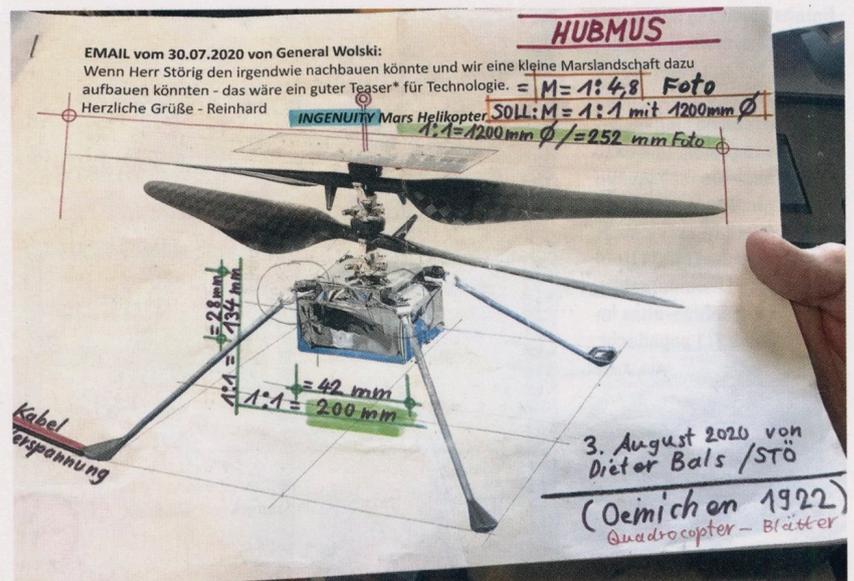
So steht also ein möglichst preiswerter Nachbau an, denn das Hubschraubermuseum Bückeburg lebt ja nur von den Eintrittsgeldern der Besucher und den weiterhelfenden »Geldspritzen« aus Bayern durch ehemals Eurocopter, jetzt Airbus-Helicopters. Und auch der Bund hilft neuerdings tatkräftig.

Im Gegensatz zu den Innereien des Ingenuity-Kastens, der aus Sensoren, zwei Kameras, einem Lithium-Ionen-Akku, der Computer-Steuerung, Funkanlage usw. besteht, könnten die Innereien des Modellnachbaus so aussehen: E-Motor mit Ritzel dreht Zahnrad mit integriertem Freilauf und angeschlossenen ersten Kegelzahnrad. Dieses dreht zwei weitere Kegelzahnräder in die erwünschte koaxiale Gegenläufigkeit. Eine Hohlwelle mit angeschlossenen Zweiblattrotor dreht unten rechtsherum. Eine »drüber gestülpte« Hohlwelle mit angeschlossenen Zweiblattrotor dreht oben linksherum.

Und da das oberhalb der Koaxialrotoren angeordnete Solar-Panel natürlich nicht mitdrehen soll, befindet sich in der kleineren Hohlwelle eine weitere Stahlwelle mit 7 Millimeter Durchmesser, die sich aus Cobra-Altbeständen von Dieter Schlüter im Keller anbietet. Diese ist am unteren Ende starr gelagert und hält das Panel oben sicher fest.

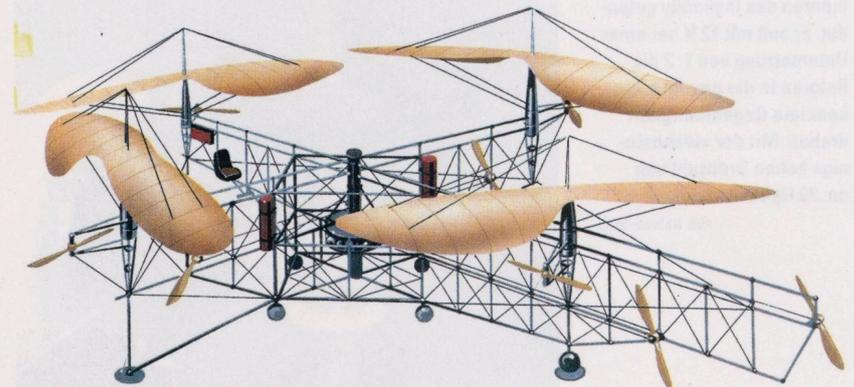
Schnell hat unser Geschäftsführer Dieter Bals entschieden, dass das Modell im Maßstab 1 : 1 gefertigt werden soll – selbstverständlich auf einer (originalen) Mars-Landschaft stehend. Und es soll beim 32. Internationalen Hubschrauberforum in Bückeburg (7. und 8. Juli 2021) der manntragenden Fachwelt vorgestellt werden. Doch erstens kommt es anders und zweitens – denn auch dieses Forum fällt dem Corona-Virus zum Opfer!

So gilt also zwingend ab sofort: Dass der »Grips« des – inzwischen achtzigjährigen – Autors von schräg ineinanderkämmenden Flettner-Rotoren jetzt voller Konzentration auf parallel übereinan-



3. August 2020: Unser langjähriges Mitglied im Hubschraubermuseum Bückeburg, General a. D. Reinhard Wolski, hat seine begeisternde Idee gleich richtig rübergebracht. Und da das Foto, bezogen auf 120 cm Rotordurchmesser, die Größe der untergehängten »Kiste« von ca. 20 x 17 x 14 cm (L x B x H) ergibt, ist also ein Nachbau durchaus drin.

Abb. HUBMUS



Dieser »Quadrocopter-Stahlrohr-Esel« Nr. 2 des französischen Ingenieurs Etienne Oehmichen stellte einen Hubschrauber-Rekordflug bereits im Jahr 1924 auf: Ununterbrochene Flugdauer 7 Minuten, 30 Sekunden, über einen vollen Kilometer mit gesteuerter Rückkehr zum Startplatz. Unzählige weitere und längere Flüge erfolgten bis 1938. Aber sind das nicht die Rotorblätter des modernen Mars-Ingenuity?

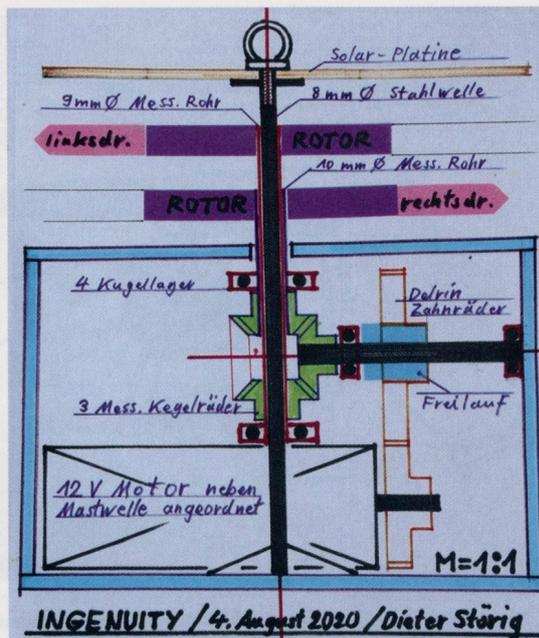
Abb. Weltencyklopädie der Flugzeuge von Giorgio Apostolo / HUBMUS

derdrehende Koaxial-Rotoren umzuschalten ist. Aber da taucht auch schon ein erstes Problem auf: Serienmäßige Rotorblätter für Quadrocopter gibt's in dieser gewünschten Größe nicht – also steht hier die Eigenanfertigung an. Zweimal Prototypenfertigung, mit folgendem Formenbau und Laminieren.

Im Internet sehe ich mir alle irgendwie erreichbaren Videos und die ungezählten Bilder über den Ingenuity an, um Größenverhältnisse, Funktionen und Details erahnen zu können. Und außerdem werde ich schon von fürsorglichen Kollegen aus dem Archiv des Hubschraubermuseums Bückeburg, die sehr fleißig ausgedruckt haben, mit vielen weiteren Unterlagen eingedeckt. Eben ein echtes, bestens funktionierendes Team.

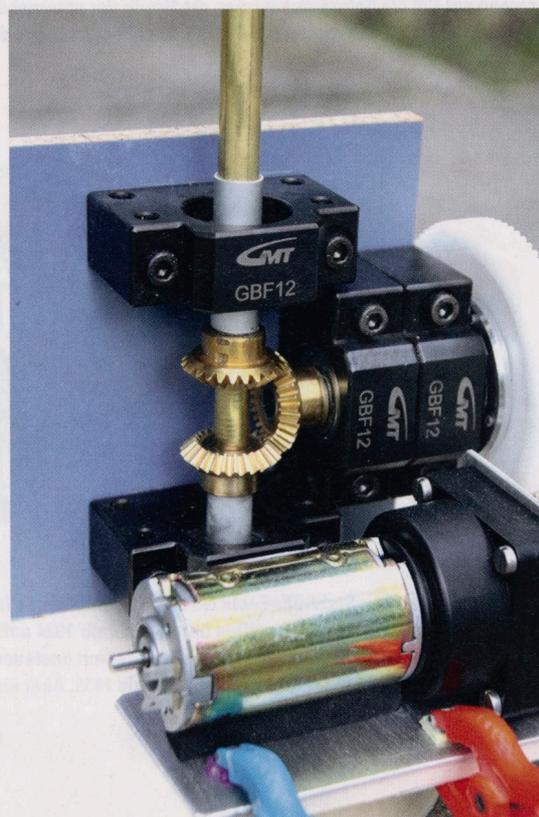
Bereits einen Tag später, am 4. August, steht die Grund-Idee. In Form einer ersten Skizze des Kastens, um die Machbarkeit des Ingenuity-Modells zu prüfen. Und dazu muss auch die wahnsinnig hohe Original-Rotor-Drehzahl von 2.400 UpM auf sichtbar gemachte lausige 30 UpM beim Modell heruntergefahren werden – alles im Maßstab 1:1 angedacht.

Abb. Autor



Alles im Kasten – noch ohne Sperrholz-Seitenteile und Deckel. Auch der 24 Volt-Getriebe-Motor von Bühler ist schon mal provisorisch im Inneren des Ingenuity gelandet. Er soll mit 12 V bei einer Untersetzung von 1:2 die Rotoren in die gewünschte koaxiale Gegenläufigkeit drehen. Mit der »wahnsinnig« hohen Drehzahl von ca. 30 UpM.

Abb. Roland Oster



Und dann diese freudige Überraschung: Die bisher nur nach den Fotos grob geschätzten Maße des Ingenuity-Kastens werden durch die Unterlagen bestätigt und betragen 7,9 x 6,3 x 5,5 ziemlich krumme Zoll-Maße, jedoch auch 20 cm Länge, 16 cm Breite und 14 cm Höhe. Und auch die Gesamthöhe des Ingenuity ist mit ca. 49 cm angegeben (hier hat jemand bei der NASA erstaunlicherweise in Zentimetern gedacht und gerechnet). Es kann also losgehen!

Weitere Zeichnungen und Skizzen entstehen und es werden Alt-Bestände an Zahnrädern, Taulmscheiben usw. aus dem Kellerschlaf geholt. Dann Vorräte an Messingrohren und Stahlwellen



Die zusammengeschaubte »Zahnrad-Versammlung« mit Mast und Solarauflage zeigt, dass alles in dieser Form funktioniert und auch in den Kasten des Ingenuity – wie gedacht – hineinpasst.

Abb. Roland Oster

gesichtet und deren Verwendung geprüft. Es erfolgen die ersten Bestellungen durchs Hubschrauberzentrum nach dem Motto »Mädler macht's möglich«. Ein passender 12-Volt-Getriebe-Motor ist auszuwählen. Und für die Anfertigung des untergehängten Ingenuity-Kastens, in dem sich die ganze Antriebs-Mechanik konzentrieren soll, finden sich reichlich vorhandene Sperrholzreste.

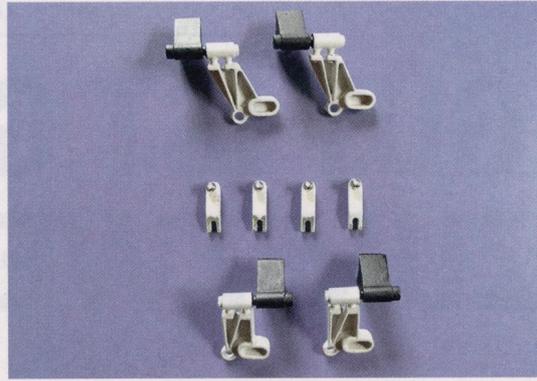
Hier einige technische Daten zum Nachbau des Mars-Hubschraubers:

Maßstab	1:1
Rotordurchmesser	2 x 1.200 mm gegenläufig
Kasten-Außenmaße (L x B x H)	200 x 160 x 140 mm
Kasten-Material	3 mm und 5 mm Birken-Sperrholz
Solar-Platinengröße	434 x 166 mm, 1-mm-Alu
Solar-Panel	LEMO-SOLAR, in zwei Größen
Gleichstrom-Getriebemotor	Bühler 1.61.070.002, bei 12V, 53 UpM
Untersetzung	40 Z : 80 Z = 1 : 2 = 26,5 Rotor-UPM
Koaxial-Getriebe, 3 Kegelräder	Mädler, Messing, Modul 1, 25 Zähne
Wellenlager 10-mm-Durchmesser	Mädler, vier Stahllager BF, 64200212
1. Mastwelle für Solar-Panel	7 mm Ø, Stahl (Schlüter-COBRA-Rest)



Keineswegs aus dem 3D-Drucker entsprungen, sondern einfach handgefertigt: Zwei unterschiedliche DFC-Ansteuerungen (à la Align) für die Taumelscheiben. Bestehend aus Messingblech, kombiniert mit gut zu bearbeitendem Auto-Feinspachtel. Die erste Formhälfte aus Silikon kann gegossen werden.

Abb. Roland Oster



Die unterschiedlichen Steuerhebel des Ingenuity sind in der heißen Silikonform gründlich ausgebacken und fertig lackiert. Das zäh-harte Material: UHU-PLUS. Nacharbeit: äußerst gering!

Abb. Thomas Mallwitz



Die beiden (noch schwarz zu spritzenden) Attrappen der Antriebsmotoren mit den Zentralstücken für die (je drei) E-Stellmotoren der NASA, die für die zyklische und kollektive Steuerung der Rotoren zuständig sind.

Abb. Roland Oster



Teile der beiden Stator-Taumelscheiben aus Alu, die jedoch als Korrektur noch mit drei Anlenk-Kugeln versehen werden. Dazu die rotierenden Oberteile aus Epoxidharz-Resten, die sich »butterweich« drehen und bearbeiten lassen.

Abb. Roland Oster



Der untere, rechtsdrehende Rotor des Ingenuity ist schon mal zur Kontrolle versuchsweise zusammengesteckt worden.

Abb. Thomas Mallwitz

2. Mastwelle für Rotor	9 mm Ø, Messing, 0,5 mm Wandstärke
3. Mastwelle für Rotor	10 mm Ø, 0,5 mm Wandstärke
Taumelscheiben-Statoren	Eigenbau, Alu, mit drei Kugelgelenken
Taumelscheiben-Rotoren	Eigenbau, Epoxidharz, Gussreste
DFC-Steuerarme	Eigenbau, UHU PLUS, heiß gebacken
Motorenattrappen	Eigenbau, MDF-Drehteile
Rotorblätter gegenläufig	Eigenbau, Cfk, R&G
Landegestell	Eigenbau-Füße, Cfk-Rohre
Landegestell-Drehlager	Mädler, Gabelköpfe, 8 x 16, modifiz.
Landegestell-Federung	Eigenbau, Stahlrohr
Landegestell-Füße	Eigenbau, Epoxidharz-Gipsgemisch
»Chinese Weights«, PMGs	Eigenbau, Epoxidharz-Gipsgemisch



Wozu ein alter Besenstiel-Rest doch gut ist! Mit etwas Autospachtel aufgepeppt – und ab in die Drehbank! Zwecks Abformung in Silikon. Denn auch der kleine Ingenuity-Hubschrauber ist mit helfenden »Chinese Weights« (PMGs) an den Rotoren ausgerüstet.

Abb. Roland Oster

Dann trudeln auch schon die bestellten Einzelteile ein und werden gleich einmal provisorisch zusammengesetzt, um die angedachten Maße und Funktionen zu überprüfen. Und es passt und passt! Modellbau-Freude pur – jetzt geht's erst richtig los!

Es entstehen die ersten Drehteile auf der professionellen Drehbank im Hubschraubermuseum Bückeburg, wie z. B. die beiden Antriebsmotoren, die aus Resten von MDF-Material gedreht werden.

Hinzu kommen Taumelscheibenteile, gedreht aus Alu-Resten, die sich im heimischen Keller finden.

Die Kleinteile der Rotoransteuerung werden als Prototypen aus Messingblech und Auto-Feinspachtel nach alter Modellbausitte einfach per Hand gefertigt. Um anschließend zwecks Vervielfältigung in Silikon-Formen umgewandelt zu werden.

Das war's fürs Erste! Nachdem im ersten Teil dieses Bauberichtes nun viele Details vorgestellt wurden, sind im nächsten die auftriebserzeugenden »Flügel« dran. ♦