

Projekt Ariane

von **Jürg Thüring**, TRA-Präfekt der **Advanced Rocketry Group Of Switzerland (ARGOS)**

Als Beispiel dafür, wie weit Raketenmodellbau in den Händen einiger im guten Sinne „Verrückter“ führen kann, lässt sich zweifellos das „ARIANE-Projekt“ anführen.

Begonnen hatte alles mit meiner Reise an den weltgrössten Raketenflugtag „LDRS“ in den USA im Jahre 1997. Ein Team aus Nebraska flog an diesem viertägigen Meeting ein Monstrum von einer Modellrakete, welches sie als Teamarbeit entwickelt und gebaut und hatten. Beeindruckend war hierbei weniger die Grösse dieser im Grundaufbau recht simplen Rakete, als vielmehr die Idee des Gruppenprojektes.



Team Ariane, von links nach rechts:

Daniel Flury (Bau, Software)

Herbert Gort (Bau, Metallbearbeitung)

Matthias Gloor (Bau, CAD/Konstruktion)

Jürg Thüring (Bau, Elektronik, Konstruktion; Teamleader)

Nicht im Bild: Chris Graf (PR, teilw. Bau)

Jahre später, nachdem ich selber die nötige Zertifizierung zur Verwendung der stärksten Triebwerksklasse erlangt hatte, führte dies dann zum „Ariane Projekt“. Erklärtes Ziel war, die Modellraketen-Grossmacht USA zu beeindrucken und in ihrem Glauben an die eigene

Überlegenheit zu relativieren. Allerdings sollte und konnte dies nicht durch schiere Grösse und Antriebsleistung gelingen, allein der nötige Transport in die USA an den Flugtag setzte hier natürliche Grenzen.

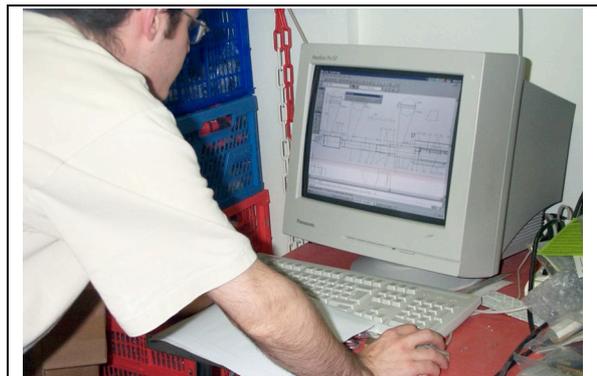
Anlässlich eines gemütlichen Grillabends im Jahre 2000 brütete das Team darüber, welche Rakete wir bauen wollten und wie gross das Modell werden sollte. Schnell stand die europäische Trägerrakete Ariane im Zentrum unseres Interesses. Schliesslich viel unsere Wahl auf den Typ „Ariane 44LP“, eine der stärkeren Ariane-Varianten. Die Version 44LP hatte zwei kleine Feststoff- und zwei grössere Flüssigtreibstoff-Starthilferaketen und konnte bei einem Startgewicht von 420 Tonnen eine Nutzlast von knapp über neun Tonnen in einen 200 Kilometer-Orbit starten. Ihre komplizierte, aber elegante Form und ihre abwerfbaren Starthilferaketen (Booster) boten genügend Möglichkeiten für technisch anspruchsvolle Lösungen.

Die möglichen Massstäbe der Rakete wurden aufgrund der zur Verfügung stehenden Rohrdurchmesser ermittelt und nach einigen Diskussionen auf 1:13 festgelegt. Damit würde die Ariane imposante 4.5 Meter lang werden und dreissig Zentimeter Rumpfdurchmesser aufweisen. Ein sehr detailgetreuer Scale-Aufbau sowie ein komplexes elektronisches und mechanisches Inneneben komplettierten das Pflichtenheft.

Der folgende Artikel soll einige Einblicke in die konstruktiven und logistischen Herausforderungen geben und einen Blick ins normalerweise unzugängliche Innere dieses Gross-Raketenmodelles gestatten.

Konstruktion am Computer

Nachdem die Eckdaten des Projektes festgelegt waren, bestand die erste Aufgabe darin, das grobe Layout der Rakete zu entwerfen. Als erster Schritt waren die wichtigsten Dimensionen festzulegen, die Machbarkeit zu klären und auch ein erstes grobes Budget zu erstellen.



Matthias Gloor am CAD

Unzählige Stunden Diskussionen, Skizzen und einige lange Nächte waren nötig, bis die Konstruktion der Ariane den Vorstellungen entsprach, und alle möglichen Schwachpunkte eliminiert waren..



Einer von vielen erfolgreichen Teststarts der "kleinen Ariane"

Rumpfaufbau

Nachdem die Konstruktion der Ariane auf dem Computer weitgehend fertig war, konnte mit dem Bau begonnen werden.

Der Rumpf der Rakete wurde in der im Raketenmodellbau üblichen Konstruktion aus glasfaserverstärkten Hartpapier-Rohren aufgebaut. Zweischalige Bauweise und ein inneres Skelett aus Sperrholz sorgen für eine biegesteife, robuste Struktur, welche die beträchtlichen im Flug auftretenden Kräfte sicher aufnehmen kann. Immerhin beschleunigt die 85kg schwere Rakete innerhalb von nur 5 Sekunden auf über 400km/h!



Mat Gloor & Juerg Thuering beim Laminieren



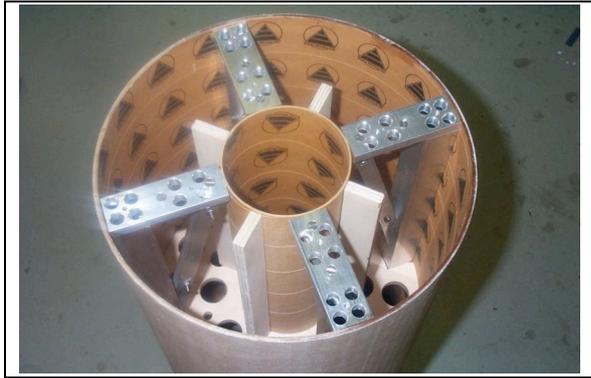
Die Aushärtung im Vakuum-Sack unter erhöhter Temperatur sorgt für optimale Festigkeit

Das unterste, Schub übertragende Segment des Hauptumpfes wurde als Aluminiumkäfig ausgeführt.



Testmontage der Tragestruktur

Über seine seitlichen Streben werden sowohl der Schub des Haupttriebwerkes, immerhin über 2kN (~200kp) als auch der Schub der vier seitlich angebrachten Startraketen von je um die 800N (~80kp) in die Struktur eingeleitet. Zusätzlich wirken die Seitenführungskräfte der vier grossen Haupt-Stabilisierungsflossen ebenfalls auf diese Struktur und müssen abgefangen werden. Die Rohrhülle hat bei diesem Segment keinerlei tragende Funktion und dient nur optischen und aerodynamischen Zwecken.



Abwerfbare Starthilfsraketen

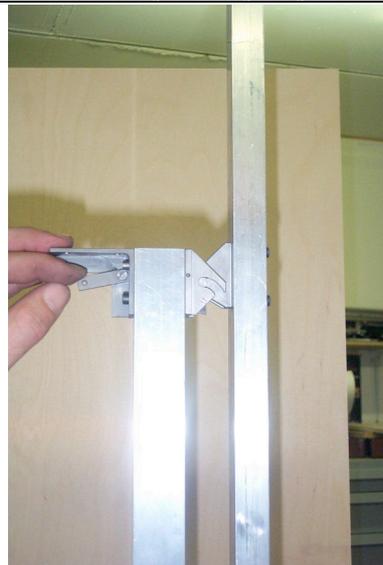
Von Anfang an war ein Ziel des Projektes, die Startraketen wie beim Vorbild nach deren Brennschluss im Flug abzuwerfen. Dies ist eine Funktion, die bisher bei Modellraketen dieser Grössenordnung noch nie zu sehen gewesen war. Das Problem dabei sind die grossen, in alle möglichen Richtungen auftretenden Kräfte, denen eine zuverlässige Verriegelung widerstehen können muss.

Gleichzeitig aber muss der Riegel mit einem herkömmlichen Modellbauservo zu lösen sein und dann eine sichere Trennung der Hilfsbooster von der mit vierfacher Erdbeschleunigung weiter steigenden Rakete gewährleisten sein.

Über hundert Stunden intensive Arbeit am CAD System durch den Autor sowie weitere geschätzte hundert Stunden Arbeit unseres Mechanikgenies Herbert Gort waren nötig, bis vier Sätze Booster-Koppelungsmechanismen fertig gestellt waren, welche auf Anhieb alle Erwartungen erfüllten. Selbst unter einer angehängten Last von siebzig Kilogramm können sie noch leicht mit einer Fingerspitze betätigt werden.

Servogesteuert erlauben sie drei verschiedene Stellungen:

- federbelastete Verriegelung zum Einrasten der Booster (Accept)
- massive mechanische Verriegelung für die Schubphase (Lock)
- Abwurf der Booster nach deren Brennschluss (Release).



Booster (rechts) mechanisch verriegelt



Verriegelung gelöst, Booster fällt

Das Bergungssystem

Das schwierigste Kapitel beim Flug von Modellraketen dieser Grössenordnung ist nicht der Start und der senkrechte Flug nach oben, sondern die unbeschädigte Bergung am Fallschirm!

Insgesamt sechs Bordcomputer mit Höhenmesssensor sorgen dafür, dass die sechs Einzelteile - vier abgetrennte Booster und die beiden Hälften der Hauptrakete - am Gipfelpunkt ihrer jeweiligen Flugbahn einen kleinen Hilfsfallschirm ausstossen. Dadurch werden die Teile sanft abgebremst und sinken schnell, aber kontrolliert auf eine Höhe von 200m über Grund. Dort werden computergesteuert die Hauptschirme ausgestossen und die Geschwindigkeit für eine weiche Landung weiter reduziert. So werden die auftretenden Kräfte und auch die Abdrift durch Wind in Grenzen gehalten.

Beim Blick in die Fallschirmkammer des Hauptrumpfes erkennt man die beiden seitlich angebrachten

Halterungen für die pyrotechnische Trennladung. Neun Gramm Schwarzpulver der Primärladung trennen die Rakete sanft, aber unwiderstehlich am Gipfelpunkt in zwei Teile. Eine Reserveladung von 15 Gramm stellt sicher, dass diese Trennung auch im Falle eines Versagens des Primärsystems zuverlässig stattfindet.

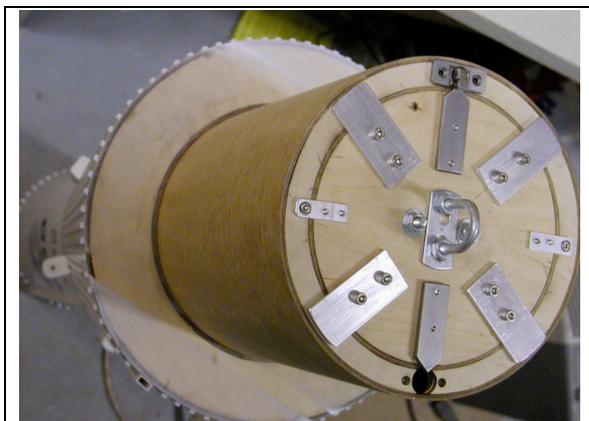
Bei allen sechs Raketenteilen dienen die Hilfschirme auch dazu, die Hauptschirme aus deren Kammern herauszuziehen. Im Bild sichtbar sind die Fallschirmbefestigungspunkte (drei Metallbügel) und die dazwischen angebrachten Verriegelungsmechanismen (rot). Diese funktionieren elektromechanisch und sind, wie alle anderen Teile des Bergungssystems auch, redundant ausgelegt. Sie geben die Hauptfallschirme erst frei, wenn der Bordcomputer das Signal dazu gibt.



Voll redundantes Haupt-Bergungssystem

Die obere Hälfte der Hauptrakete bildet mittels einer zylindrischen Koppereinheit eine Steckverbindung mit dem Rumpfunterteil. Der Druck der Schwarzpulverladungen sorgt dafür, dass diese Verbindung getrennt wird, indem die Koppereinheit wie ein Kolben im Zylinder durch den Druck ausgetrieben wird.

Um den Fallschirm des Oberteiles von Hitze und Druck dieser Ladungen zu schützen, wird er in einer eigenen Kammer eingeschperrt und zum richtigen Zeitpunkt durch zwei seitlich angebrachte Servo-betätigte Riegel freigegeben. Der am U-Bolzen befestigte kleine Hilfsfallschirm wird zum Schutz in eine Tasche aus feuerfestem Nomex verpackt.



Fallschirmbehälter mit einem Riegel (oben) installiert

Semi-Scale Details

Neben all den technischen Leckerbissen sollte die Ariane unbedingt auch ein möglichst vorbildgetreues, bis ins Detail ausgefeiltes Äussere mit auf den Weg bekommen. In den USA, wo die Ariane vor allem auch ihr Publikum finden sollte, sind die Raketen zwar gross, selten aber im Detail sehr schön ausgeführt. Hier sollte demonstriert werden, dass es auch anders geht.

Das fängt beim originalgetreuen Nachbau der Düsen an. Sie haben bei diesem Modell zwar keine technische Funktion, tragen jedoch viel zum vorbildgetreuen Äusseren der fertigen Rakete bei. Herbert Gort baute einen Stempel für eine Hydraulikpresse. Damit konnte er die aus 0.5mm-Edelstahlblech nahtlos verschweissten Edelstahl-Konusse in die bekannte Glockenform treiben.



Viele der originalgetreuen Anbauteile wurden in GFK-Formtechnik hergestellt. Dazu gehören die Spitzen der Hauptrakete und aller Booster, die seitlichen Motorverschalungen, Heckblenden und Ähnliches. Selbst die flexiblen, aus feuerfestem Stoff gefertigten Schutzverpackungen der Raketenmotoren wurden originalgetreu nachgebaut.

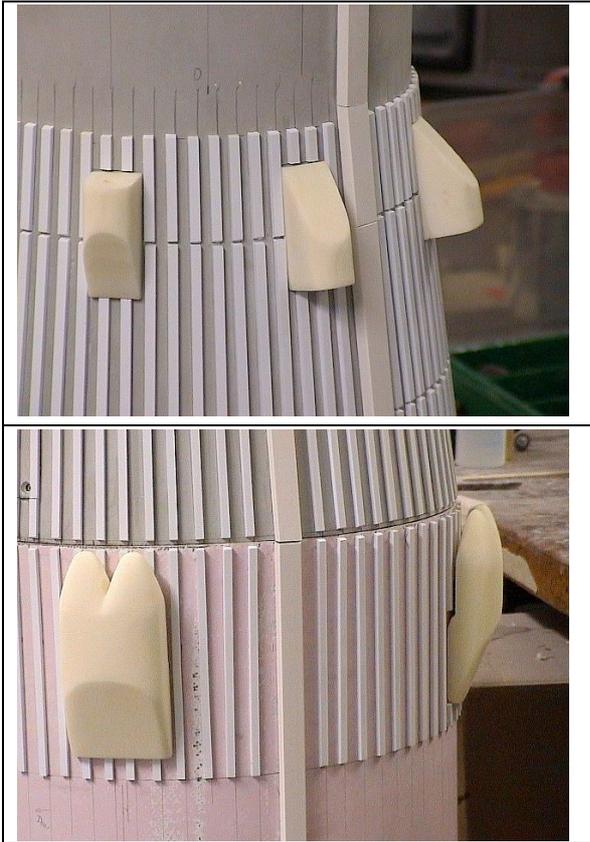


Motorverschalung mit Form

Eine Sisyphusarbeit war das Anbringen der unzähligen Rippen, welche aus Kunststoffprofilen geschnitten und einzeln aufgeklebt wurden.

Andere Details wie Antennenverschalungen, Trennraketen und Ähnliches wurden als Positivmodell hergestellt, mit Silikongummi abgeformt und mit PU-Harz gegossen.





Das Resultat spricht für sich und ist vom Original fast nicht zu unterscheiden!

Lohn der Arbeit war ein doch sehr ansprechendes und originalgetreues Aussehen der Rakete.

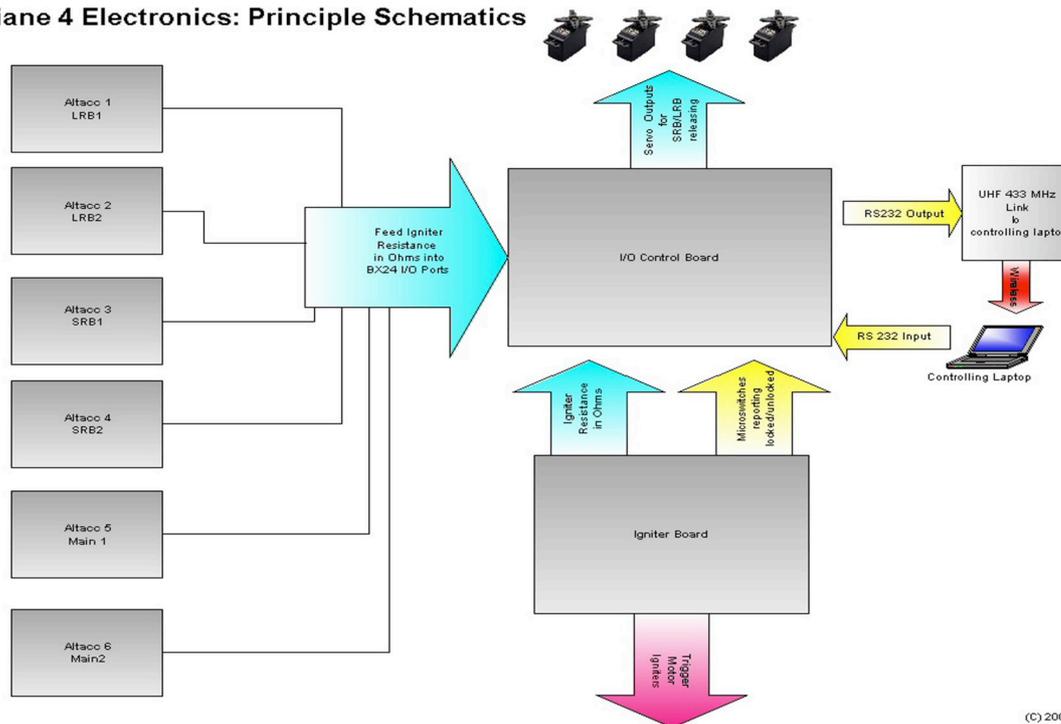


Dutzende Scale-Abziehbilder waren nötig. Hier entsteht gerade ein Logo für die Nutzlastverkleidung. Wir konnten dabei auf den Schneidervice der Spacetec GmbH zurückgreifen.

Avionik

Der Rumpf der Ariane ist vollgestopft mit Elektronik, insgesamt arbeiten 18 Prozessoren zusammen!

Ariane 4 Electronics: Principle Schematics



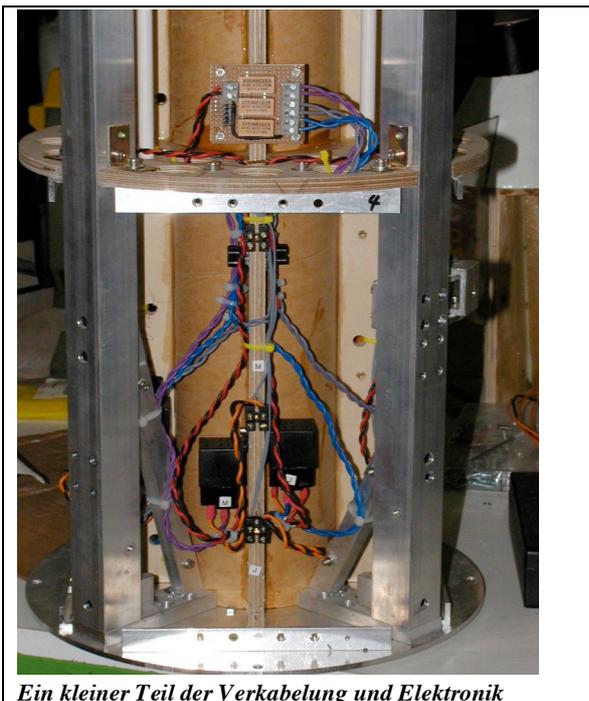
Legende:

LRB = Liquid Rocket Booster (Flüssigtreibstoff-Starthilfsrakete)

SRB = Solid Rocket Booster (Feststoff-Starthilfsrakete)

ALTACC = Bordcomputer mit Höhenmessung

Bereits die Zündung der Rakete ist computergesteuert. Ein Bordsystem überwacht dauernd alle Zünder und meldet deren Status an den Hauptcomputer. Der über eine normale elektrische Zündanlage von aussen zugeführte Zündbefehl wird in eine Zündabfolge umgewandelt. Diese sorgt dafür, dass die fünf Raketentriebwerke der Rakete trotz unterschiedlicher Zündgeschwindigkeiten praktisch gleichzeitig zum Leben erwachen. Natürlich musste auch hier einiger Aufwand betrieben werden, um eine vorzeitige Zündung durch elektromagnetische Störungen oder Fehlmanipulationen mit Sicherheit auszuschliessen.



Ein kleiner Teil der Verkabelung und Elektronik

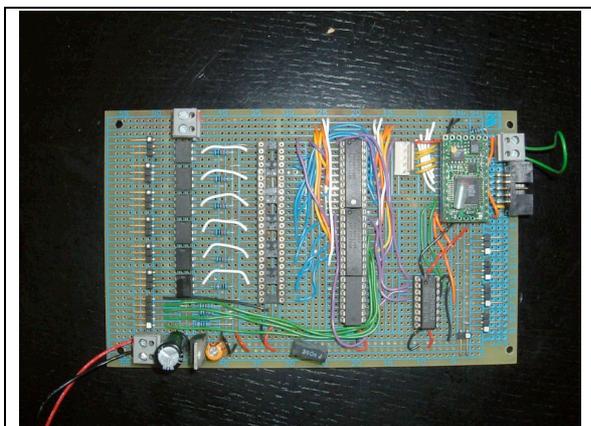
Viel Aufwand wurde auch auf die Überwachung aller für den Flugablauf wichtigen Systeme gemacht. So werden Messwerte und Schalterstellungen in der ganzen Rakete erfasst und zentral zusammengeführt.



Rückmeldung der erfolgten Booster-Verriegelung über Endschalter an den Zentralcomputer (Flury)

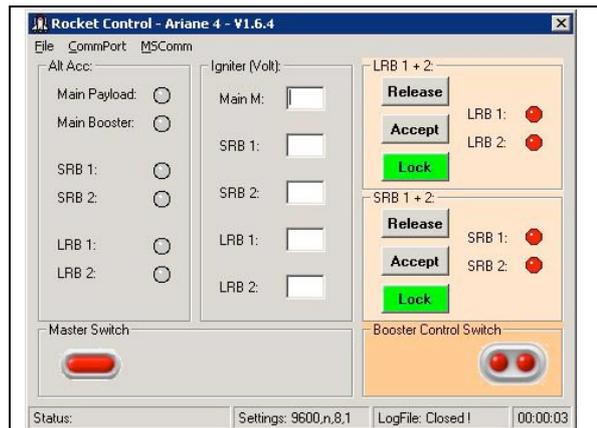
Zentralcomputer

Kernstück des zentralen Steuerrechners ist ein Microcontroller-Board, welches in der Sprache BASIC programmierbar ist. Hier laufen alle sicherheitsrelevanten Daten der Rakete zusammen und werden über Funk auf den Startkontroll-Laptop übermittelt. Ebenso steuert dieser Rechner auch den Abwurf der seitlichen Startraketen nach deren Brennschluss.



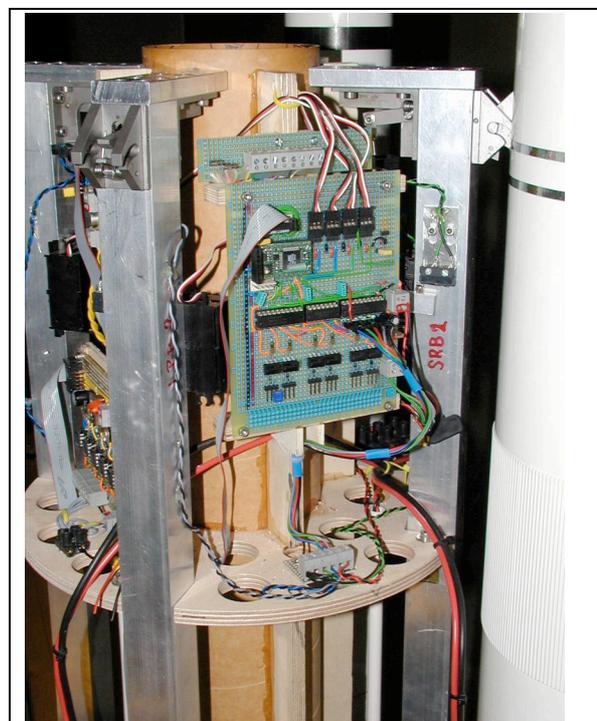
Der zentrale Bordcomputer der Ariane

Auf dem Kontroll-Laptop läuft ein von Daniel Flury geschriebenes Steuerprogramm. Über dieses kann die Ankopplung und Verriegelung der Booster manuell gesteuert werden. Ausserdem werden alle relevanten Messwerte wie Endschalter-Zustände, Zünderwiderstände, Höhenmesser-Status etc. übersichtlich dargestellt.

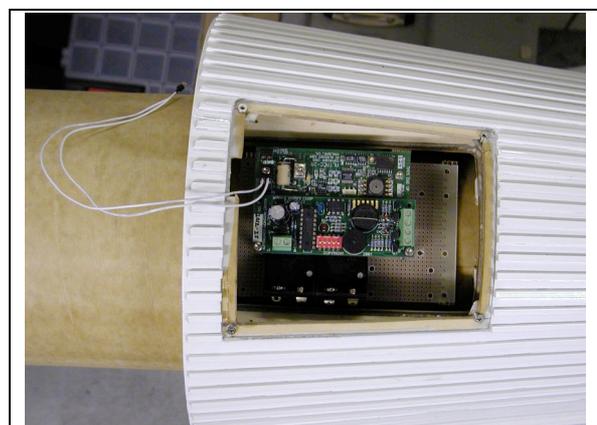


Bildschirmdarstellung des Steuerprogramms

Die folgenden, nicht weiter kommentierten Bilder verdeutlichen die Komplexität des Innenlebens besser als alle weiteren Erklärungen.



Zentralrechner, teilweise verkabelt



Bergungs-Avionik der oberen Raketenhälfte

Video und Foto an Bord

Viele technische Highlights sind schon dargestellt worden. Um das Mass voll zu machen, bekam die Ariane als Nutzlast eine vollwertige 35mm Spiegelreflexkamera sowie eine Mini-DV Videokamera an Bord.

Ein weiterer Kleincomputer übernimmt flugphasenabhängig die Steuerung der Fotosequenz und sorgt dafür, dass in interessanten Flugphasen bis zu zwei Bilder pro Sekunde geschossen werden.



Jürg Thüring installiert eine der beiden Kameras