

Die Welt der Elektronik 10

ELO

Magazin für Praxis und Hobby

Oktober 19
DM 3.50, s
öS 32.-

**Spacelab -
Europa erobert den
Weltraum**

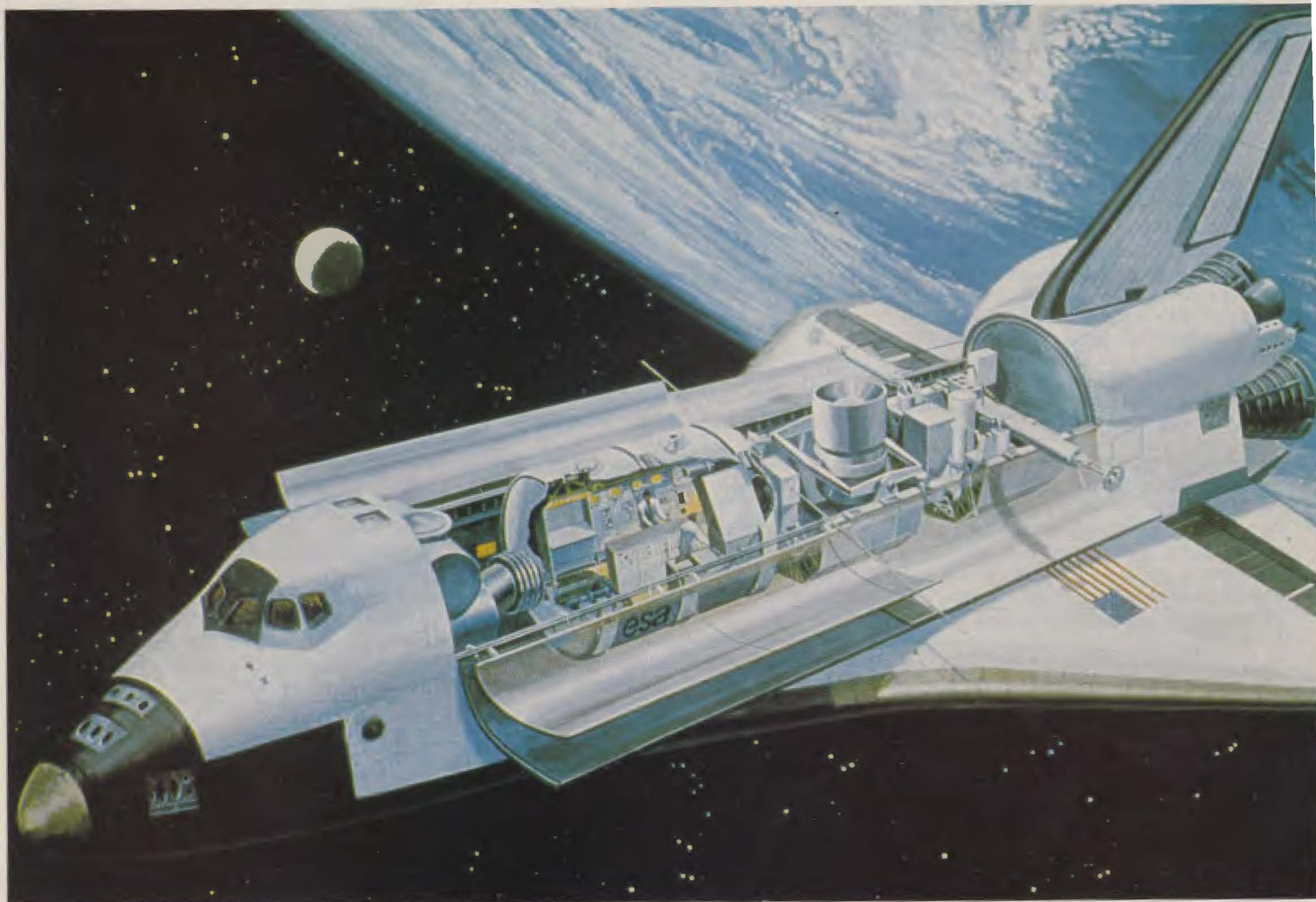
**Neue Serie:
Elektronik -
was ist
das ?**

**Lichttelefon
Pulsmoduliertes
Hörvergnügen**

**Poster:
Operations-
verstärker**



Computer erobern den Weltraum



Mit Spacelab in die Erdumlaufbahn

Viel zu wenig von der Öffentlichkeit bemerkt, arbeitet ein deutsches Unternehmen im Auftrag der ESA (European Space Agency) an einem Projekt, das in der europäischen Weltraumgeschichte beispiellos ist. Die Firma Erno in Bremen baut nämlich das Spacelab, ein Raumlabor. An diesem Projekt sind ca. 50 weitere europäische Firmen beteiligt. Spacelab ist ein Wunderwerk der Technik und der Elektronik, auch wenn man, so Ants Kutzer, Spacelab-Projectmanager, „nie den Ehrgeiz

gehabt hat, das Neueste vom Allerneuesten zu machen“. Spacelab wird mit der amerikanischen Raumfähre Space-Shuttle in die Umlaufbahn transportiert werden. Eine solche Weltraum-Mission soll bis zu acht Tage dauern. Das gesamte Projekt soll Wissenschaftlern und Ingenieuren die Möglichkeit bieten, Versuche und Fertigungsprozesse durchzuführen, bei denen die physikalischen Bedingungen des Weltraums (Schwerkraftlosigkeit und Vakuum) wichtig sind.

Space-Shuttle und Spacelab – eine Einheit

Die Raumfähre Space-Shuttle ist das erste fast vollständig wiederverwendbare bemannte Raumtransportsystem der Welt. Es besteht aus dem Orbiter, dem damit verbundenen Zusatztank und den beiden seitlich angebrachten Feststoffraketen.

Um das Spacelab an die 200 geplanten unterschiedlichen Missionen anzupassen, hat man es modular aufgebaut. Hans-Jörg Pospieszyk, bei Emo in Bremen verantwortlicher Entwicklungsleiter für die Spacelab-Elektronik, erläutert das folgendermaßen: „Wir schneiden das gesamte System quasi in Scheiben (Moduln), die miteinander kombinierbar und jede für sich prüfbar sind.“

In der Praxis sieht das so aus wie es schematisch auf Bild S. 43 erkennbar ist: Der zylinderförmige Flugkörper (Durchmesser etwa 3,8 m) gliedert sich in die beiden Teile *Hauptsegment (Core Segment)* und *Experimentier-Segment (Experiment Segment)*; darunter sind die Versorgungssysteme einschließlich Tanks und Lüfter angeordnet. Im Schlepptau kann das Spacelab bis zu drei Paletten hinter sich herziehen, die offen aufgebaut sind und Versuche unter Weltraum-Bedingungen zulassen. Diese Konfiguration ist die sogenannte *Modul-Version* des Spacelab, die bemannt ist und je nach Aufgabenstellung einem bis vier Nutzlastexperten einen Arbeitsplatz hoch droben verschafft.

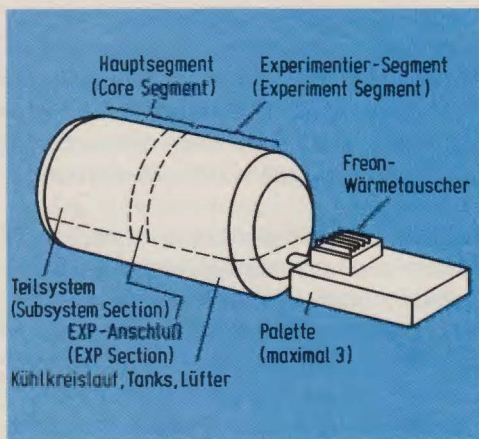
Die im Bild S. 43 gezeigte *Iglu-Version* ist für unbemannte Missionen vorgesehen. Sie kommt daher ohne die Lebenserhaltungssysteme aus, ist ansonsten aber funktionell gleich aufgebaut wie die oben vorgestellte Version.

Im Inneren von Spacelab herrschen (bis auf die Schwerelosigkeit) irdische Umgebungsbedingungen. Die klimatisierten Druckkammern sollen es ermöglichen, die Experimente unter gewohnten Bedingungen, aber unter Einbeziehung der Schwerelosigkeit durchzuführen.

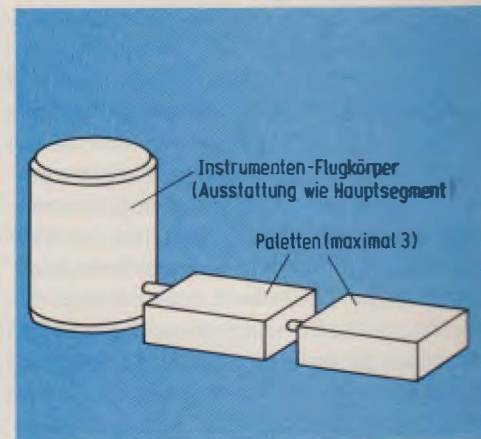
Das Space-Shuttle startet senkrecht wie eine Rakete und landet im Gleitflug wie ein Flugzeug. Es kann verschiedenartige Nutzlasten in Erdumlaufbahnen befördern und auch wieder zur Erde zurückbringen.

Die Besatzung der Raumfähre besteht aus Commander, Pilot und *Mission-Specialist* sowie – entsprechend den Mission-Anforderungen – aus ein bis vier Experten.

Durch den Tunnel sind das Spacelab (Arbeitsbereich) und der Orbiter (Aufenthaltsbereich/Mannschaftsunterkünfte) miteinander verbunden. Dieser Tunnel wird von der NASA geliefert. Spacelab selbst besteht aus Moduln, dessen drei wichtigste Bausteine die druckbeaufschlagte Kabine, die U-förmige, oben of-



In der Modul-Version des Spacelab können außen bis zu drei offene Paletten angegekoppelt werden.



Die Iglu-Version ist unbemannt, ansonsten aber gerätentechnisch gleich ausgerüstet wie die bemannte Version.



Satellit SPAS bei der Freigabe im Erdorbit.

ne Palette und ein kleiner druckbeaufschlagter Iglu sind.

In Inneren der Kabine sind die Experimente in standardisierten 19-Zoll-Geräteschränken untergebracht, wie sie ebenfalls in irdischen Labors verwendet werden. Die Nutzlastexperimente arbeiten unter irdischen Atmosphärenbedingungen, wodurch es möglich ist, erprobte Versuchsmethoden anzuwenden und gleichzeitig von den besonderen Eigenschaften des Weltraums (z. B. verminderte Schwerkraft) Gebrauch zu machen. Auf den Paletten sind diejenigen Experimente angeordnet, die dem freien Weltraum ausgesetzt werden sollen. Die Besatzung von Raumfähre und Raumla-



Hans-Jörg Pospieszycki, Entwicklungsleiter für die Spacelab-Elektronik bei Erno in Bremen: „Raumfahrt macht man nicht nur, um ein bestimmtes, meßbares Ziel zu erreichen, sondern man will auch die europäische Technologie vorantreiben.“

Der steht mit den Wissenschaftlern in den Bodenkontrollstationen über Daten-, Kommando-, Fernseh- und Wechselsprechverbindungen in fast ständigem Kontakt, während die Nutzlastspezialisten die experimentellen Aufgaben durchführen. Nach der Rückkehr zur Erde erfolgt die Auswertung der Ergebnisse und die Vorbereitung auf den nächsten Flug.

Europa dokumentiert Zusammenarbeit

Firmen aus zehn europäischen Nationen arbeiten an Spacelab und haben ein System geschaffen, das hoffentlich von den Fehlern europäischer Weltraumzusammenarbeit verschont bleibt. Auf die Frage, ob denn den Europäern nicht die Erfahrung in der Weltraumtechnik fehle, antwortet Ants Kutzer: „Ganz unerfahren ist Europa nicht. Wir haben schließlich einige Satelliten und Raketen gebaut.“ Und daß die Amerikaner von der Qualität „Made in Europe“ überzeugt sind, dokumentiert sich dadurch, daß die NASA ein weiteres Spacelab bei Erno bestellt hat.

Was die Europäer am meisten gelernt haben ist Systemtechnik-Management, denn bisher gab es in Europa selten eine solche komplexe Aufgabe. Voll Stolz meint Ants Kutzer: „Jetzt haben wir ein Know-how, das wir verkaufen und das wir den Amerikanern vermitteln müssen.“

Zweifellos haben die Russen heute in der bemannten Weltraumfahrt einen technologischen Vorsprung. Doch mit Spacelab und Space-Shuttle hoffen Europäer und Amerikaner, die Russen wieder zu überrunden. Das allerdings ist zum großen Teil auch ein finanzielles Problem.

„Was wir jetzt dringend brauchen, ist die erste Mission und wenigstens ein spektakuläres Ergebnis“, meint beschwörend Ants Kutzer, wohl wissend, daß die Gelder in Amerika oder auch in der Bundesrepublik vom Bundesforschungsministerium besser fließen könnten. Anderen Geldgebern, wie etwa aus der Wirtschaft, sind mögliche Erfolge zu vage, als daß

sie hier den Forschern finanziell unter die Arme greifen würden.

Eine unklare Zukunft

Was dann wohl auch nach Spacelab, das für 50 Flüge oder 10 Jahre Lebensdauer konzipiert ist, an Weltraumaktivitäten kommen wird, kann man heute noch nicht sagen. Wohl gibt es von der NASA – wie auch der ESA – Studien, doch wird man erst einmal vier/fünf Jahre Space-Shuttle-, Spacelaberfahrungen sammeln müssen, um die Entscheidungen für die weitere Zukunft zu treffen. Was man sich da allerdings vorstellen könnte,



Jupiter-Orbiter „Galileo“.

beschreibt uns Ants Kutzer sehr anschaulich: „Große Strukturen im Weltraum, die sich über Kilometer erstrecken, Energieanlagen, Kraftwerke im Weltraum.“ Das Spacelab-System selbst würde aufgrund seiner Modulbauweise eine Fortentwicklung ohne Schwierigkeiten zulassen. Die an dem System beteiligten Firmen jedenfalls rufen dringend danach. Denn für sie wird es außer Ersatzteillieferungen in den nächsten Jahren nicht mehr allzuviel geben. Gleichwohl ist Ants Kutzer überzeugt, daß die meisten Firmen nicht die Absicht haben, aus der Weltraumtechnik auszusteigen. Daß ein erheblicher Teil unserer technischen und technologischen Fortentwicklungen ohne

die bemannte Raumfahrt unterbleiben müßte, ist Wissenschaftlern und den Ingenieuren ebenso klar, wie den Politikern. Letztere verfolgen aber möglicherweise noch andere Ziele. Schließlich ist es kein großes Geheimnis, daß die Russen in den Erdumlaufbahnen nicht nur Experimente machen. Und so gibt denn auch Ants Kutzer zu bedenken: „Wer oben eine bemannte Station hat mit entsprechenden Waffensystemen, beherrscht natürlich den Weltraum.“ Hoffen wir, daß die Weltraumfahrt ausschließlich friedlichen Zwecken dient und daß die erwartete krebstötende Substanz ebenso gefunden wird, wie es möglich sein soll, außerhalb der Schwerkraft

Kugellager herzustellen mit einer Präzision, die unvorstellbar ist.

Kein Saft aus der Dose

Woher nimmt nun ein so komplexes Gebilde die elektrische Energie für die einzelnen Systeme? Dazu Hans-Jörg Pospieszczyk: „Zur elektrischen Energieversorgung sind drei Brennstoffzellen vorhanden, von denen aber nur eine aktiv ist.“ Die liefert eine kontinuierliche elektrische Leistung von 7 kW, und kurzzeitig kann man ihr sogar bis zu 12 kW abzapfen. Das muß ausreichen, um alle Bordsysteme einschließlich Experimente zu versorgen, und wenn Sie diese Zahlen lesen, dann erübrigt sich die Frage nach einer möglichen Versorgung über Solarzellen.

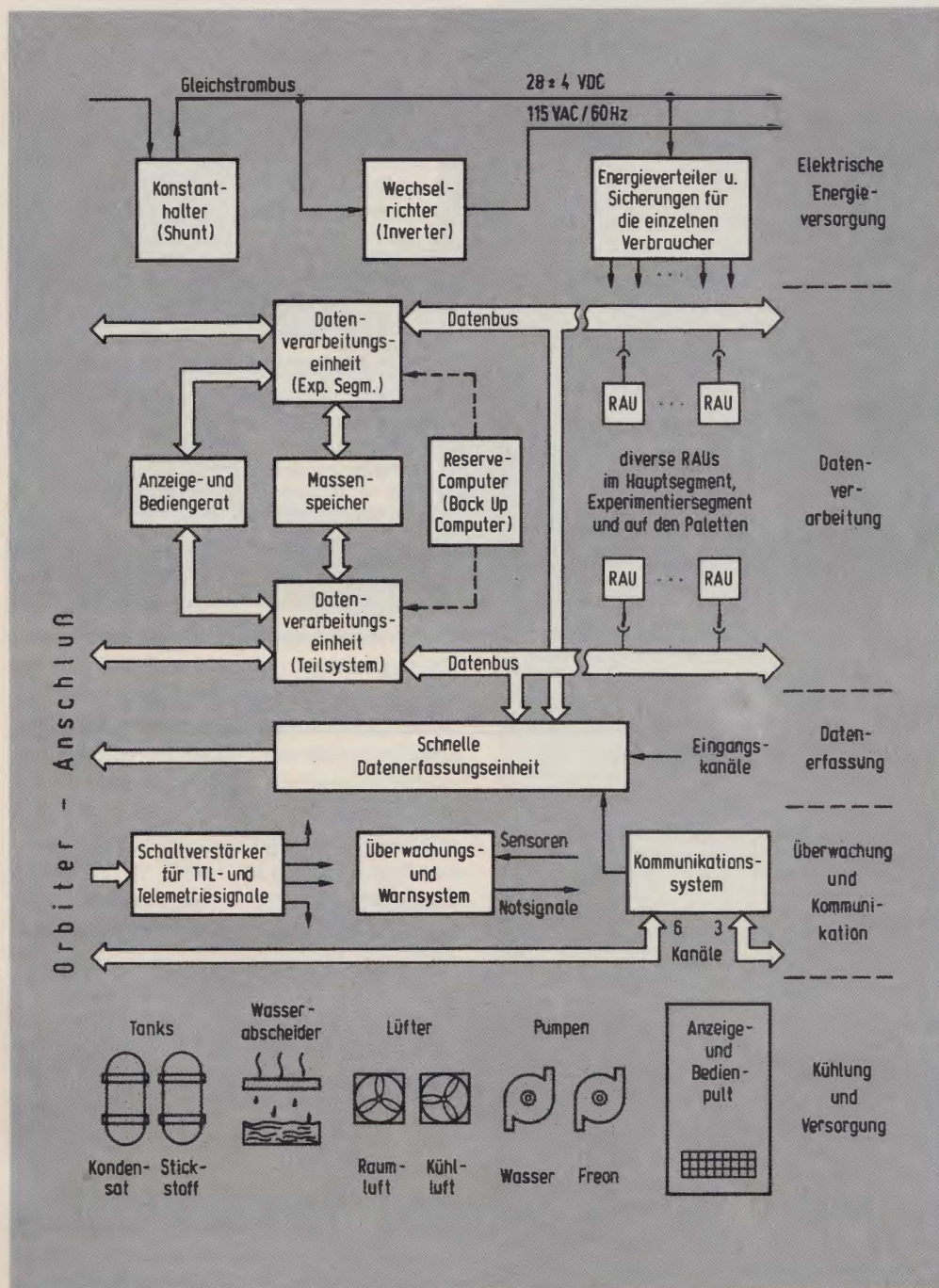
„Die zweite Zelle dient nur zur Reserve“, fährt er fort, „wenn also die Hauptzelle ausfällt oder nicht mehr zuverlässig arbeitet. Dann stehen uns nur noch 5 kW kontinuierliche bzw. 8 kW Spitzenleistung zur Verfügung.“ Brennstoffzelle Nummer drei schließlich liefert die Notration bei Ausfall der ersten beiden; dann ist gerade noch genügend Energie vorhanden, um die Funktion der Lebenserhaltungssysteme einschließlich Notbeleuchtung zu garantieren und um alle Bordsysteme nach erstarkter Hauptversorgung wieder in Betrieb zu setzen. (Power Saving Mode).

An Brennstoff für diese Wasserstoff/Sauerstoff-Zellen können je nach Verteilung der Nutzlast Zusatztanks mitgenommen werden, von denen jeder für eine elektrische Energie von 450 kW (!) gut ist. Die Zellen geben eine Nennspannung von 28 V ab, die allerdings je nach Belastung bis zu ± 4 V schwanken kann, also separat stabilisiert werden muß (Shunt Regler).

Auf vielen Pfaden zum Ziel

Würde man jetzt alle elektrischen Verbraucher wahllos an die Spannungsquelle anschließen, hätte ein auftretender Defekt katastrophale Folgen, weil dadurch die gesamte Versorgung ausfallen könnte. Dazu Hans-Jörg Pospieszczyk beim Erläutern des Blockschaltbildes für das gesamte elektrische System (Bild S. 45): „Besonders für die Experimente müssen wir eine so idiotensichere Schnittstelle kreieren, daß man danach allen möglichen Unsinn machen kann, ohne daß sich der Fehler in das System fortpflanzt.“ Wie wahr diese Worte, die den Spacelab-Kommandanten sicherlich bewegen werden, wenn er einem seiner Nutzlast-Experten beim Schmelzen einer Metallprobe zusieht, was bei einer Temperatur von etwa 1600°C erfolgt.

Zur elektrischen Energieversorgung steht deshalb ein aufwendiges Verteiler-System (Power Distribution Boxes) mit einer Vielzahl einzeln abgesicherter Kreise zur Verfügung.



Das gesamte elektrische System setzt sich aus einer Vielzahl einzelner Teilsysteme zusammen.

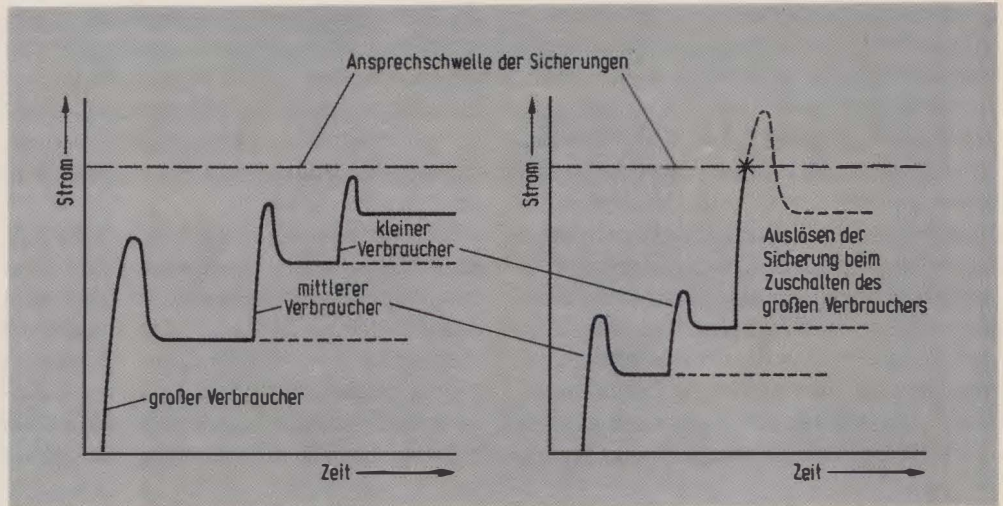
Die Elektronikgeräte bekommen im allgemeinen die 28 V des Bordnetzes zugeführt, während bestimmte Verbraucher Wechselspannung vorziehen; dazu gehören beispielsweise die Asynchronmotoren der Lüfter oder die Hochspannungserzeugung für die Bildaufbereitung.

Mit dem Bus durchs Raumlabor

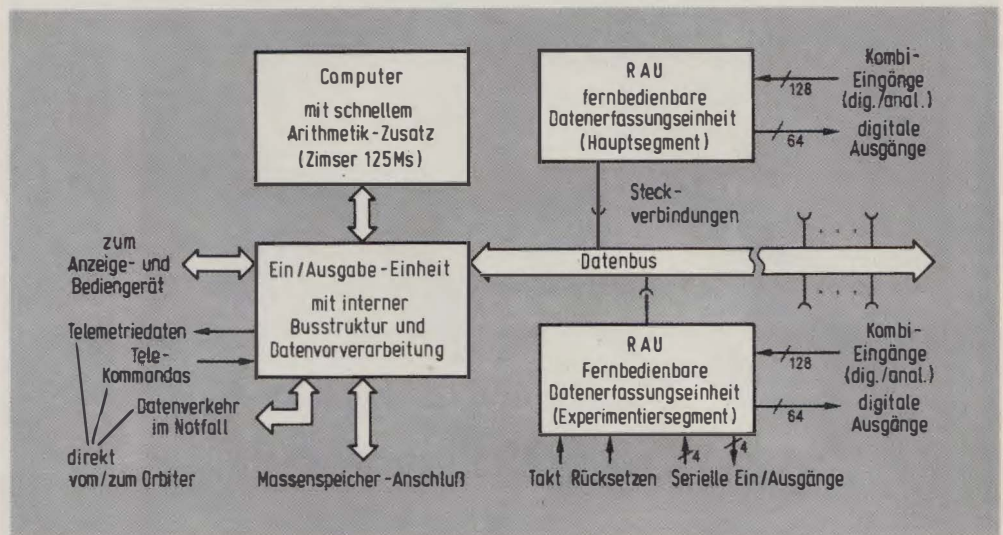
Sowohl 28 V Gleichspannung als auch 115 V Wechselspannung (Zugeständnis an die Amerikaner; wie sollten sonst die Astronauten ohne Umschalten ihre Rasierapparate benutzen können?) werden auf eigenen Bus-Systemen durchs Spacelab geschleift. Verblüffend sind die dabei auftretenden Randbedingungen: „Wir können mit unserem Verteilsystem bis ca. 18 kW kontinuierlich verteilen“, erläutert Hans-Jörg Pospieszczyk, „dann sind wir auch am Ende, weil die Leitungen einfach zu warm werden.“ Und zu dem haarscharf abgestimmten Sicherungs-System fügt er hinzu: „Die Sicherungen können Sie schon dadurch hochblasen, daß Sie bei den Geräten die Einschaltreihenfolge nicht beachten.“ Beim Blick auf Bild S. 46 leuchtet dieser Sachverhalt schnell ein: Der Spitzenstrom, den die Geräte kurzzeitig beim Einschalten ziehen, kann zum Auslösen der Sicherungen führen, wenn die anstehende Grundlast zu hoch ist; deshalb müssen leistungsintensive Verbraucher vor den kleineren Lasten zugeschaltet werden. Von einer ebenfalls zu den Lebenserhaltungssystemen zählenden Luke, dem sogenannten *Overboard Dump Assy*, erzählt uns der Emo-Entwicklungsleiter: „Damit können Sie ein Feuer, das Sie mit dem Handlöscher nicht mehr ausbekommen, einfach dadurch löschen, daß Sie das ganze Spacelab aufmachen und Vakuum produzieren.“ Das leuchtet ein, aber hoffentlich kommen die Raumfahrer dabei nicht vom Regen in die Traufe, wenn sie vergessen, vorher das Sauerstoffgerät anzulegen!

Ein laues Lüftchen sorgt für Kühlung

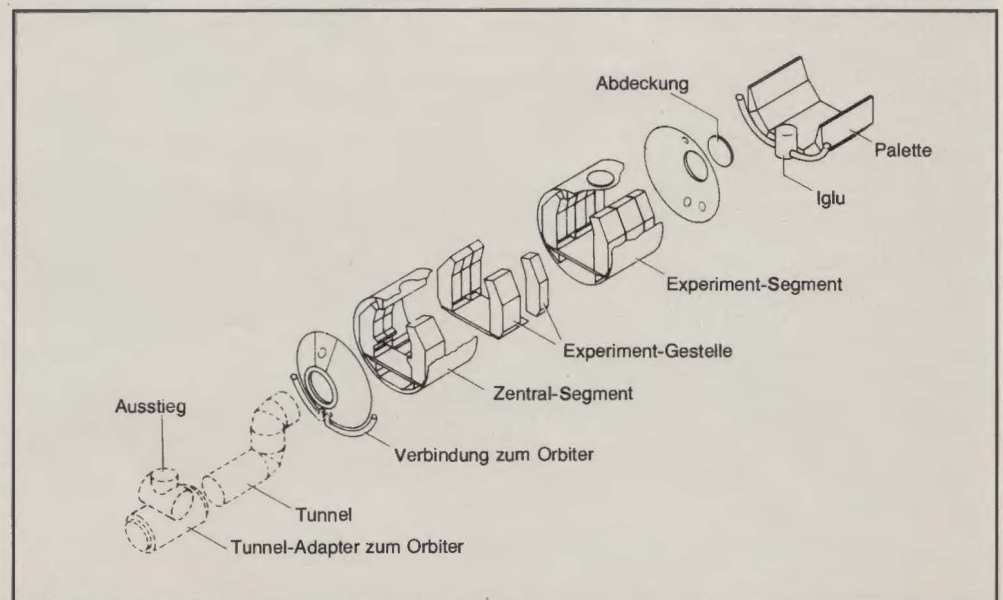
Das führt uns zu den Kühl- und Versorgungssystemen (s. S. 45), die für erträgliche Umweltbedingungen sorgen. „Bei den Kühlproblemen haben sich unsere Experten ganz schön die Haare gerauft“, weiß Hans-Jörg Pospieszczyk zu berichten, „denn bei 0 g (1 g = Erdbeschleunigung, d. Red.) funktioniert das mit der Konvektionskühlung ja nicht mehr.“ Und so sorgt im Inneren von Spacelab ein ausgeklügelter Wasserkühlkreislauf für die Abfuhr der entstehenden Verlustwärme. Geräte mit großer Wärmeentwicklung montiert man dabei auf sogenannte *Cold Plates*, die, ähnlich einem Kühler beim Auto, von Kühlwasser durchflossen werden. Ansonsten bla-



Beim Einschalten der Verbraucher ist eine bestimmte Reihenfolge zu beachten, um die Sicherungen nicht zu überlasten.



In der Datenverarbeitungseinheit sorgt ein leistungsfähiger Computer mit vorgeschalteter Vorverarbeitung für optimalen Datendurchsatz.



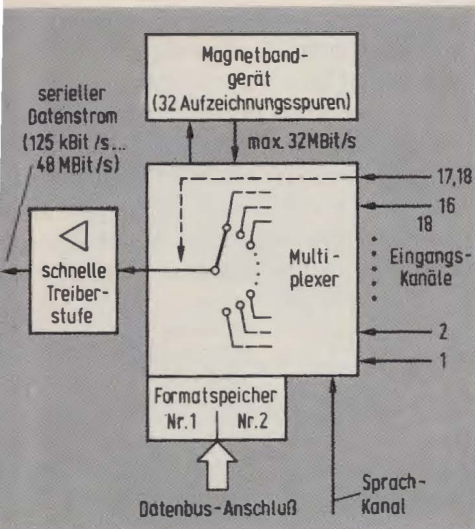
Spacelab ist modular aufgebaut und ermöglicht die phantastischsten Kombinationen.

Vorverarbeitung an Bord

Natürlich kommt der eigentlichen Datenverarbeitung eine ganz besondere Bedeutung zu. Zwei voneinander unabhängige Datenverarbeitungseinheiten (*Bild S. 46*) sorgen dafür, daß für den Bordbetrieb (Core-Segment) und die Experimente (Experiment-Segment) separate Anlagen bereitstehen. Die Bedienung beider erfolgt über das Anzeige- und Bediengerät, und beide Einheiten greifen auch auf einen gemeinsamen externen Massenspeicher

zu. Die zentrale Informationssteuerung übernimmt eine schnelle Ein/Ausgabe-Einheit mit interner Busstruktur und separater Datenvorverarbeitung. Erst danach folgt der eigentliche Computer, von dem sich insgesamt drei Exemplare an Bord befinden: Je einer für Core- und Experimentier-Segment, und der dritte (*Back Up Computer*) fliegt als stille Reserve für den Fall mit, daß einer der beiden anderen ausfällt.

Von den Schwierigkeiten bei der Auswahl eines geeigneten Computers erzählt Hans-Jörg



Die schnelle Datenerfassungs-Einheit arbeitet als Multiplexer mit angeschlossenem Magnetbandgerät.

sen die Lüfter einen frischen Wind durch die Elektronik-Systeme, und ein davon getrenntes Lüftersystem sorgt für die Umwälzung der Kabinenluft. Um die dem Modul entzogene Wärme nach außen abzuführen, überträgt man sie in einem Wärmetauscher an den externen Freon-Kühlkreislauf, denn draußen würde das Wasser ja gefrieren (vgl. S. 43). Die in der Raumluft enthaltene Feuchtigkeit wird in einem Wasserabscheider wieder entzogen. Verschiedene Tanks für die Mannschaft, die Systemversorgung und Bevorratung ergänzen diesen Teil des Raumlabor.

Kontakt per Ringleitung

Alle sechs Orbiter-Kommunikationskanäle (*Intercom*) sind zum Spacelab geführt und können dort auf drei interne Ringleitungen verteilt werden. Die gegenseitige Verständigung läßt sich dann über Mikrofon und Lautsprecher oder per Kopfhörer-Satz (*Headset*) abwickeln. Besteht hier noch die Möglichkeit, sich zu einem bestimmten Kanal zuzuschalten, so sorgt das Überwachungs- und Warnsystem im Gefahrenfall dafür, daß über alle vorhandenen Kanäle eine Warnmeldung ergeht. Die Kommunikation an Bord läßt sich auch direkt zu den Bodenstationen übertragen, obwohl der Funkkontakt dorthin nicht zu jeder Zeit des Fluges gesichert ist. Hans-Jörg Pospieszczyk zu diesem Punkt: „Die NASA hat ja heute auch nicht mehr so viel Geld wie früher, und deshalb hat man auch nicht bei jedem Orbit 100 % Bodenkontakt, weil einfach Bodenstationen fehlen.“

Noch stärkeren Beschränkungen ist das geostationäre Satelliten-System TDRS (*Tracing and Data Relay Satellite*) zum Opfer gefallen: Von den geplanten drei Satelliten, die ein lückenloses Kommunikationsnetz herstellen sollen, wird bei den ersten Flügen nur ein einziger seinen Dienst verrichten.

SPACE-SHUTTLE auf einen Blick

Das System besteht aus dem ORBITER (der eigentlichen flugzeugähnlichen Raumfähre), dem Flüssigtreibstofftank und zwei Feststoff-Zusatzraketen

HAUPTDATEN ORBITER

Länge	37,4 m
Höhe (mit Leitwerk)	14,5 m
Laderaum-Nutzfläche	18,3 m ²
Laderaum-Durchmesser	4,5 m
ORBITER	68 t
Nutzlast max.	29,5 t
Wiederverwendbarkeit	100mal
Umlaufbahn	200–500 km
Besatzung	3 Personen
SHUTTLE-Startmasse	1906 t
Rücktransportmasse	44,2 t

ZUSATZRAKETEN

Länge	10,25 m
Durchmesser	4 m
Masse	14,5 t

TREIBSTOFFTANK

Außentank-Länge	47,4 m
Außentank-Durchmesser	8,1 m
Masse Tank	742 t

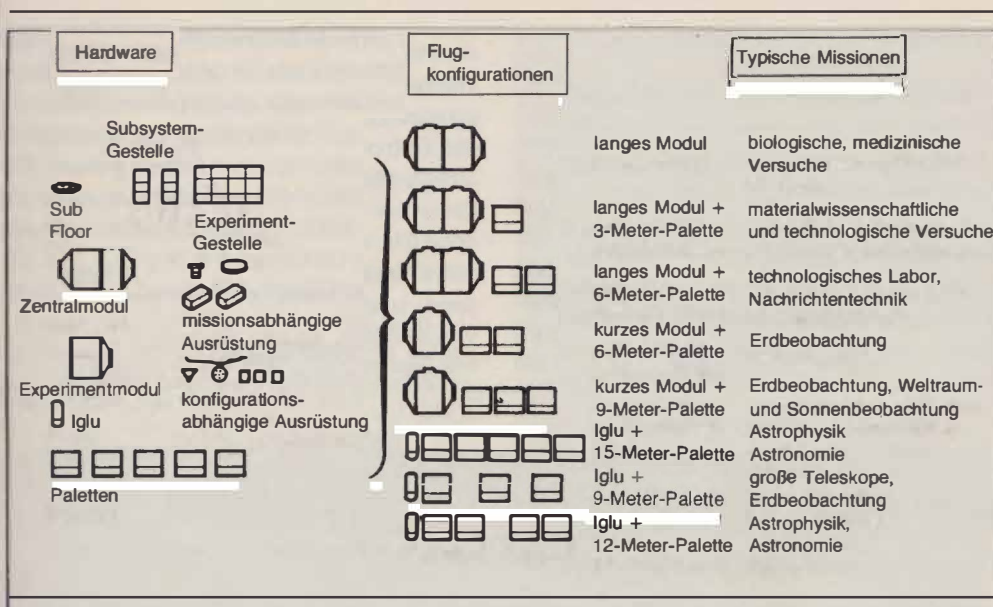
SPACELAB auf einen Blick

BAUWEISE

modular, bestehend aus Moduln und Palettensegmenten

HAUPTABMESSUNGEN

Durchmesser	4,06 m
Modullänge (1 Segment)	2,70 m
Palettenlänge (1 Segment, max. 5 Segm.)	2,90 m
max. Länge einer Flugkonfiguration	18,30 m
Masse max.	11 340 kg
Nutzlastmasse	5,5–9,1 t
Missionsdauer	7–30 Tage (max.)
Lebensdauer	10 Jahre
Einsatzfähigkeit max.	50mal
Besatzung (Modul)	2–4 Personen
Elektrische Leistung für Experimente (Durchschnitt) (28 V Gleichstrom und 115/200 V Wechselstrom bei 400 Hz)	3,6–5,1 kW
CDMS-Experiment-Rechner	64 000 Kemspeicher
Daten-Speicherung	50 Mio. Bits/s Telemetrie, Telekommando, Sprach- und Fernsehübertragung



Typische Spacelab-Missions-Konfiguration.

Pospieszczyk: „Der beste Computer wäre der AP101 von IBM gewesen, aber da wurde uns indirekt oder direkt angedeutet, daß dessen Einsatz politisch sehr unklug wäre; denn Raumfahrt macht man ja nicht nur, um ein bestimmtes, meßbares Ziel zu erreichen, sondern man will auch die europäische Technologie vorantreiben.“ Eine ganz bemerkenswerte Aussage, die ihre Fortsetzung in folgenden Worten findet: „Aber der beste europäische Computer war gar nicht so einfach zu finden, denn unser bester hatte immer noch einen sehr großen Abstand zum AP101!“

Daß man schließlich doch einen fand, der das Plazet der NASA-Gewaltigen bekam, ist den Franzosen mit ihrem CIMS-125-Computer zu verdanken. Erweitert durch einen schnellen Arithmetik-Zusatz fällt er nun nicht mehr ganz so stark gegen die amerikanische Konkurrenz ab.

Datenerfassung vor Ort

Wiederum über getrennte Busleitungen gelangen die Informationen aus Core- und Experimentier-Teil in die zugehörigen Bordcomputer. An diese Bussysteme sind sogenannte RAUs (*Remote Acquisition Unit*) angeschlossen, von denen eine jede 128 Eingangs- und 64 Ausgangs-Kanäle besitzt. Diese Einheiten sind fernbedienbar und erlauben einseitig die Umschaltung von analogem auf digitales Verhalten. Das vollzieht sich in der Praxis einfacher als es sich anhört, denn zur Digitalisierung gibt man den analog arbeitenden Kanälen lediglich einen Schwellwert vor. Über Steckverbindungen sind die RAUs überall im Modul anschließbar.

Im Experimentier-Segment stehen neben den normalen Ein- und Ausgängen noch einige Steuerkanäle zur Verfügung, um insbesondere Zeitvorgänge bei den Versuchen exakt erfassen und dokumentieren zu können.



Ants Kutzer, Space-lab-Projekt-Manager: „Jetzt haben wir ein Know-how, das wir verkaufen und das wir den Amerikanern vermitteln müssen.“

Geschwindigkeit ist manchmal doch fast Hexerei

Um die Flut aller eingehenden Daten gezielt übertragen zu können, egal, ob diese von den Bordsystemen oder den Experimenten stammen, ist die schnelle Datenerfassungseinheit vorgesehen worden. Dabei handelt es sich um einen 18kanaligen Multiplexer, über den auch die zuvor digitalisierten Sprachinformationen der Kommunikationskanäle laufen. Ausgangsseitig spuckt der Multiplexer einen Datenstrom von 125 K...48 MBit pro Sekunde (!) aus, eine Datenrate mit unvorstellbar hoher Informationsdichte.

Der Treibertransistor muß entsprechend hohen Anforderungen genügen, was in der Praxis allerdings auf erhebliche Schwierigkeiten

stieß. Freimütig bekennt Hans-Jörg Pospieszczyk hierzu: „Wir haben hier – wenn man ehrlich ist – nicht die normalen Raumfahrt-Bedingungen erfüllt, sondern mußten die Transistoren mit einer Ausnahmegenehmigung der NASA ein bißchen gesundbeten!“ Aber keine Angst – die Zuverlässigkeit bleibt gewahrt! Mittlerweile hat es sich nämlich herausgestellt, daß die kritischen Spezifikationen zu scharf formuliert waren.

Bitströme auf Band

Zur Dokumentation und insbesondere zur Überbrückung bei Unterbrechungen des Bodenkontakts kann der Multiplexer-Ausgang einem Magnetbandgerät zugeführt werden. Von dort lassen sich alle Aufzeichnungen an die Bodenstation überspielen, sobald der einwandfreie Funkkontakt wiederhergestellt ist. Diese Bandmaschinen sind allerdings „nur“ in der Lage, eine maximale Datenrate von 32 MBit pro Sekunde aufzuzeichnen, denn „48 MBit/s zu recorden, ist auch auf dem Boden nicht sehr einfach“, erklärt Hans-Jörg Pospieszczyk. Bereits unterschiedliche Wärmeausdehnung an Bandober- und -unterkante führen zu Störungen der Aufzeichnung, und es darf zu den Spitzenleistungen im Rahmen dieses Entwicklungsprogramms gezählt werden, was diese Bandmaschine zu leisten in der Lage ist.

Schwieriger Systemtest

Jede einzelne Sektion des Raumlabors durchläuft umfangreiche Prüfprozeduren, wobei Simulatoren die Ein- und Ausgangssignale bereitstellen, die sonst von den übrigen Systemkomponenten geliefert werden. Zu den Prüfproblemen bei dem riesigen Spacelab äußert sich der Entwicklungsleiter kritisch: „Das ist überhaupt unser großes Problem, daß es nicht genügend große Testkammern gibt, die das gesamte System aufnehmen können; wie etwa bei einem Satelliten, den Sie eben mal in die Vakuum-Kammer stecken können.“ Und er folgert daraus: „Das System wird nur in normaler Umwelt getestet, und nachher müssen wir Farbe bekennen beim Flug!“ Auf den Verwaltungsaufwand der Tonnen von Dokumentationsmaterial und deren Kennzeichnung angesprochen, meint Hans-Jörg Pospieszczyk abschließend, daß die eigentliche Buchführung recht unproblematisch ist, aber „der Code zur Kennzeichnung der Dokumente ist eine Wissenschaft für sich.“ Und die Bezeichnung „FU H/OF/O/LM2P“ der obenauf liegenden riesigen Zeichnungskopie erläutert er so: „Dabei geht es (im Unterschied zu Geräten am Boden) um die *Flight Unit*, und zwar um das lange Modul, das mit zwei Paletten ausgerüstet werden kann.“



Werkstofflabor.

Wir haben es versäumt, uns nach dem speziellen Raumfahrer-Gruß zu erkundigen, jedoch wünschen wir allen Beteiligten Megabit- und Brennstoffzellen-Ausfall, aber dabei allzeit glückliche Heimkehr vom Orbit!

Ein Raum für Experimente im Raum

Als Hauptauftragnehmer baut MBB derzeit im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie das Werkstofflabor für die erste Spacelab-Mission, mit dem etwa 40 Experimente ausgeführt werden sollen. Vorgesehener Starttermin dafür: Ende 1982. Unterauftragnehmer sind die Firmen AEG-Telefunken, Dornier System, Erno Raumfahrttechnik, Leybold Heraeus und Standard Elektrik Lorenz (SEL).

Das Werkstofflabor gilt als Pilotprojekt für die gesamte Shuttle-/Spacelab-Nutzung. Dieser Vorreiter enthält folgende Versuchseinrichtungen:

- eine isotherme Heizanlage, mit der sich Schmelzproben bis zu 1600°C aufheizen lassen,
- eine aus dem französischen Raumfahrtprogramm beigestellte Gradienten-Heizanlage,
- eine Spiegelheizanlage für Kristallzuchtversuche und

- eine Prozeßkammer, in der die Molekülbewegungen in Abhängigkeit von Wärmezufuhr, Rotation und Vibration bei reduziertem Schwerkrafteinfluß analysiert werden können.

Gemeinsame Zusatzeinrichtungen für diese Geräte sind: Beschleunigungsmesser, Gasversorgung, Vakuumentleitung, Kühlsysteme. Ein Prozeßrechner übernimmt die Ablaufsteuerung und Kontrolle des Gesamtsystems. Was an Untersuchungen mit dem Werkstofflabor durchgeführt werden kann, würde auch einer erdgebundenen Materialprüfstelle zur Ehre gereichen:

- Metalle, Verbundwerkstoffe, technische Werkstoffe und Fügeverfahren; Herstellung von Legierungen ohne thermische Konvektion; Herstellung von Teilchen- und Kurzfaserverbundwerkstoffen; Fügeverfahren und Sondertechnologien.
- Kristalle, Werkstoffe für elektronische Anwendungen.
- Kristallzuchtverfahren, Kristallisation organisch-biologischer Substanzen, Modellkristalle, Vorgänge bei der Schmelzzüchtung.
- Transportphänomene, Grenzflächen, Flüssigkeiten, Zellularkonvektion, Kapillarität, Benetzbarkeit, Flüssigkeitskinetik, Oberflächenspannung, Viskosität, Oberflächenschichten, Strömungs- und Wärmetransport, Strömungsbilder.

Wir mußten zum Verständnis dieser Begriffe den großen Brockhaus zu Rate ziehen – scheuen Sie sich nicht, es auch zu tun.

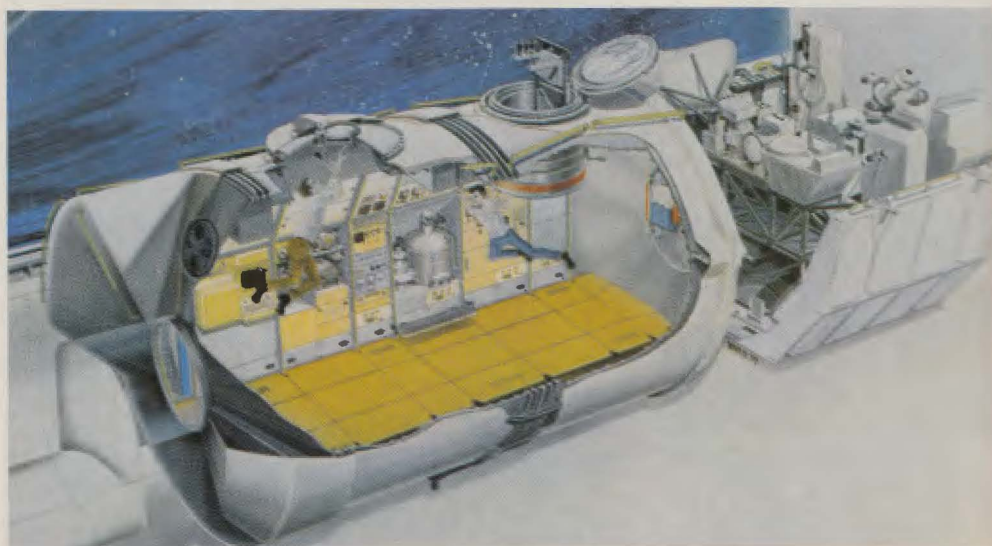
MBB baut gegenwärtig als Hauptauftragnehmer den Instrumententräger MPSS (*Modular Payload Support Structure*) zur Befestigung der europäischen Experimente auf der Palette

des Spacelab. Weiterhin werden bei der Firma in Ottobrunn bei München die notwendigen Anlagen und Einrichtungen erstellt, die später zur Integration des Instrumententrägers erforderlich sind.

Der Spacelab-Multiplexer – ein elektronisches Kabel zur Erde

Im Frühjahr 1978 begann MBB im Auftrag der französischen Firma Matra mit der Entwicklung eines Qualifikationsmodells des *High Rate Multiplexers* (HRM) für das Spacelab. MBB war als Hauptauftragnehmer zuständig für die Entwicklung und Herstellung eines Qualifikations- und zweier Flugmodelle des Multiplexers einschließlich der Bodengeräte. Das erste HRM-Fluggerät ist Anfang dieses Jahres von MBB an Matra geliefert und in das Spacelab eingebaut worden, nachdem es zuvor auf Herz und Nieren geprüft wurde. Das Konzept des Multiplexers, der die wissenschaftlichen Daten der Spacelab-Nutzer zur Erde übermitteln wird, ist eine technische Neuentwicklung auf dem Gebiet der Raumfahrt-Elektronik. Erstmals wurde ein Gerät entwickelt, das bei niedrigem Stromverbrauch und geringem Platzbedarf eine hervorragende Datenqualität liefert und eine hohe Flexibilität gewährleistet.

Der Multiplexer HRM an Bord des Spacelab und sein Gegenstück, der *High Rate Demultiplexer* (HRDM) der Datenempfangsanlage am Boden, bilden ein „elektronisches Kabel“ zwischen den Experimenten und ihren jeweiligen Bodenanlagen. Die Daten der vorgesehenen 16 Experimente fließen zunächst mit einer „Geschwindigkeit“ von 16 MBit/s in den Multiplexer, werden dort in einem Telemetriekanal zusammengefaßt und mit einer maximalen Geschwindigkeit von 50 MBit/s an den Demultiplexer übertragen. Dieser schlüsselt die ge-



Typische Spacelab-Mission.

bündelte Information wieder in die 16 Experiment-Datenströme auf und leitet sie an die jeweiligen Experiment-Computer. Neben der Übermittlung der Experimentdaten ist der Multiplexer geeignet, die Daten zweier Bandgeräte (32 MBit/s bzw. 1 MBit/s), zweier Bordrechner (1 MBit/s) und dreier zuvor digitalisierter Sprachkanäle (32 kBit/s) zu übertragen. Diese hohen Datenraten waren mit

herkömmlicher Abfragetechnik nicht zu bewältigen. Daher wurde ein asynchrones Datenübertragungskonzept gewählt, das jedem Experiment gestattet, seine Daten ohne Anforderung durch den Multiplexer mit beliebiger eigener Frequenz zu übergeben. Der Multiplexer HRM ist programmierbar und kann somit den unterschiedlichen Anforderungen der bis zu 200 geplanten Spacelab-Missionen ange-

paßt werden. Der Demultiplexer (HRDM) wird von der amerikanischen Firma Martin Marietta im Unterauftrag entwickelt.

Instrumentenplattform – Orientierungshilfe in der Schwerelosigkeit

MBB entwickelt im Auftrag von Dornier das *Instrument Pointing System (IPS)* für Spacelab. IPS ist ein in drei Achsen stabilisierter Instrumententräger, der Meßgeräte von 200 bis 2000 kg Gewicht, z. B. Teleskope, mit einer Genauigkeit von zwei Bogensekunden auf Beobachtungsobjekte im Weltraum ausrichten kann.

60 Prozent der Arbeiten daran werden bei MBB geleistet. Darin enthalten sind die kardane Aufhängung, Antriebs- und Lagereinheiten, Nutzlasthalterung und -justierung, Thermalkontrolle und Lagemeßsystem. Die Entwicklung des IPS kostete allein ca. 60 Millionen DM und wurde von der europäischen Weltraumorganisation ESA finanziert.

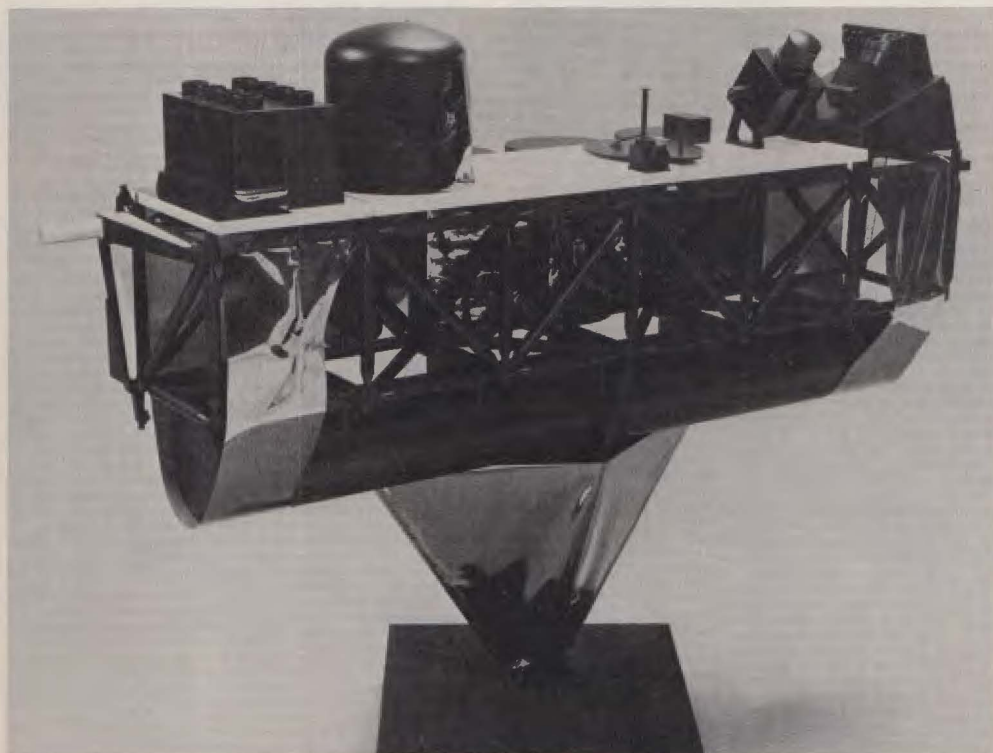
Elektronik für ein neues „Weltbild“

Im Unterauftrag von Erno entwickelte MBB die Steuerelektronik einschließlich Stromversorgung für eine multispektrale Filmkamera, die vom Spacelab aus Bodensegmente mit den Abmessungen 188,5 km x 188,5 km im Abbildungsmaßstab 1:819 600 kartographisch erfassen soll. Die neue Kamera basiert auf einer von Zeiss in Serie produzierten Luftbildkamera, die im Auftrag des BMFT von der Raumfahrtindustrie in Zusammenarbeit mit Zeiss für den Raumflug umgerüstet wird. Die Kosten für die gesamte Umrüstung betragen ca. 1,5 Millionen DM.

Die MBB-Stuerelektronik ermöglicht einen weitgehend automatisch ablaufenden Betrieb der Filmkamera, d. h. Aufnahmesequenzen, Belichtungszeiten, Blenden, Filter etc. werden vorprogrammiert und über einen Prozessor gesteuert. Die charakteristischen Bilddaten werden in den Film mit eingebildet. Neben der Beteiligung an den Spacelab-Ex-



Modulares Nutzlast-Element (MPSS).



Stabilisierter Instrumententräger (IPS).



Anzeige- und Bediengerät von Spacelab.

perimenten sind bei MBB derzeit verschiedene Satellitenprojekte in Entwicklung, für die das Space Shuttle als Trägerfahrzeug vorgesehen ist.

Jupiter erhält Besuch

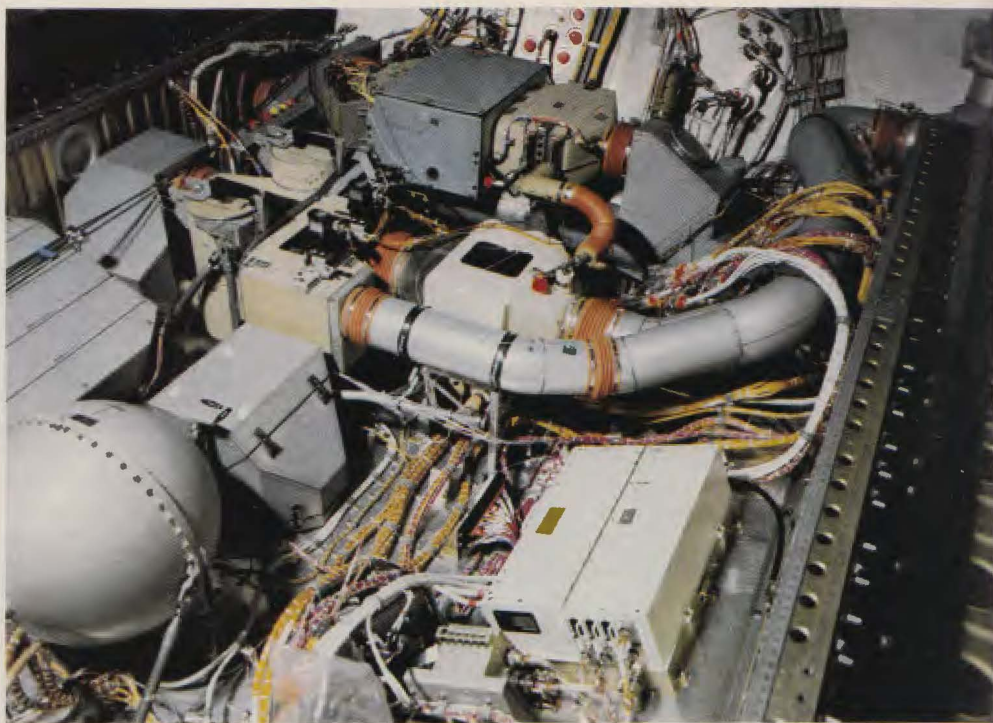
1984 sollen nacheinander zwei Raumfluggeräte mit dem Space-Shuttle zum Jupiter gestartet werden: zuerst eine Sonde, die in die Atmosphäre des größten Planeten unseres Sonnensystems eindringen und dort Messungen vornehmen soll, später der Jupiter-Orbiter „Galileo“, der nach Vorbeiflug am Mars in eine Kreisbahn um den Jupiter einschwenkt. Die Meßergebnisse der Atmosphärensonde werden von ihrem Trägergerät, mit dem sie vom Shuttle aus startet, zur Erde übertragen. Galileo überträgt seine Meßdaten selbst, wobei er bis zum Ende seiner vorgesehenen Missionsdauer etwa im Frühjahr 1989 mehrfach seine Umlaufbahn ändern wird, um neben Jupiter auch dessen wichtigste Monde Ganymed und Kallisto zu erforschen und zu kartieren.

Auch am Projekt Galileo hat MBB maßgeblichen Anteil: In Ottobrunn wird das gesamte Galileo-Antriebsmodul einschließlich Struktur, Tanks und Treibstoff-Fördersystem für alle Bahnkorrektur- und Lageregelungsmanöver entwickelt und gebaut. Von der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Antriebssystems ist der Erfolg der Galileo-Mission wesentlich bestimmt.

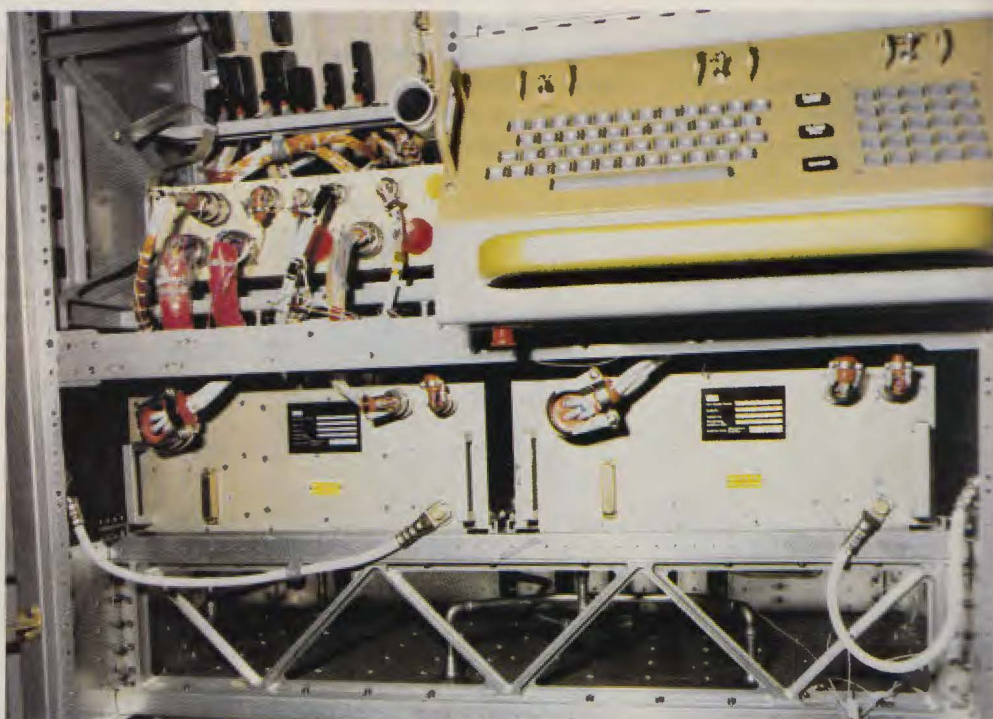
Das MBB-Flüssigkeits-Antriebsmodul für Galileo, das sogenannte *Unified Propulsion Module*, hat insgesamt 14 Triebwerke. Noch niemals zuvor wurde für eine planetarische Mission eine derart anspruchsvolle Antriebseinheit entwickelt. Sie verwendet die bewährten Zweistofftriebwerke des Projekts Symphonie mit 400 N und 10 N Schub. Das Fördersystem, die Tanks und die Struktur sind Neuentwicklungen. Die Gesamtmasse des Antriebsmoduls beträgt 1033 kg, davon entfallen 850 kg auf den Treibstoff (für Chemiker: Monomethyl-Hydrazin/ N_2O_4).

SPAS muß sein

Unter dem Namen SPAS (*Shuttle Pallet Satellite*) konzipiert MBB eine Familie künftiger freifliegender Systeme, deren Start mit dem Raumtransporter Space-Shuttle erfolgen soll. Das SPAS-Konzept stellt eine modulare Trägerstruktur mit unterschiedlicher Hilfsausrüstung dar. Es kann sich dabei um eine einfache Montage-Plattform handeln, jedoch auch andere Anwendungsgebiete, die von der Werkstoff-Forschung bis zur Astrophysik reichen, sind denkbar. Durch die Verwendung eines Antriebsmoduls können auch geostationäre Umlaufbahnen erreicht werden; d. h. der Satellit kann über einem bestimmten Punkt der Erde „geparkt“ werden.



Elektrische Leistungsversorgung, Kühlung der Spacelab-Unterbodengruppe.



Spacelab-Bedienungsrack.

GIRL – ein deutsches Mädchen

Im Auftrag der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrttechnik (DFVLR) entwickelt MBB für spätere Shuttle-Missionen das gekühlte Infrarotlaboratorium GIRL (*German Infra-Red Laboratory*). Das Teleskop wird auf der Instrumenten-Plattform IPS montiert und ist für einen Flug auf der Spacelab-Palette vorgesehen.

Obwohl aus Platzgründen nicht alle Space-

Shuttle-/Spacelab-Aktivitäten der Firma MBB aufgeführt werden konnten, geben die vorstehenden Informationen dennoch einen ausreichenden Überblick über die diesbezüglichen Arbeiten des größten deutschen Luft- und Raumfahrtkonzerns. Weitere Projekte ergeben sich aus den technisch-wissenschaftlichen Notwendigkeiten der Zukunft.

Reinhard Göbler
Henning Kriebel
Björn Schwarz