

**Navigation im Tornado:**



**Pilot Navigator**

- Trägheitsnavigationssystem steuert über Hauptcomputer die Karten für den Piloten (RPMD) sowie den Navigator (CRPMD).
- Autopilot, Flight-Director, HUD, diverse Anzeigen und externe „Stores“ erhalten Lage- und Positions-information alle 30ms (PP, Speed, ... , AOA, Drift,...)
- Genauigkeit besser als 1nm/h Flug. Vorgewärmt in <5 min einsatzbereit (sonst 15 min). AutoCalib in 4h.
- Während Flug gelegentlich Korrektur durch Overlay von Radar- und Kartenbild durch Navigator = Fix.

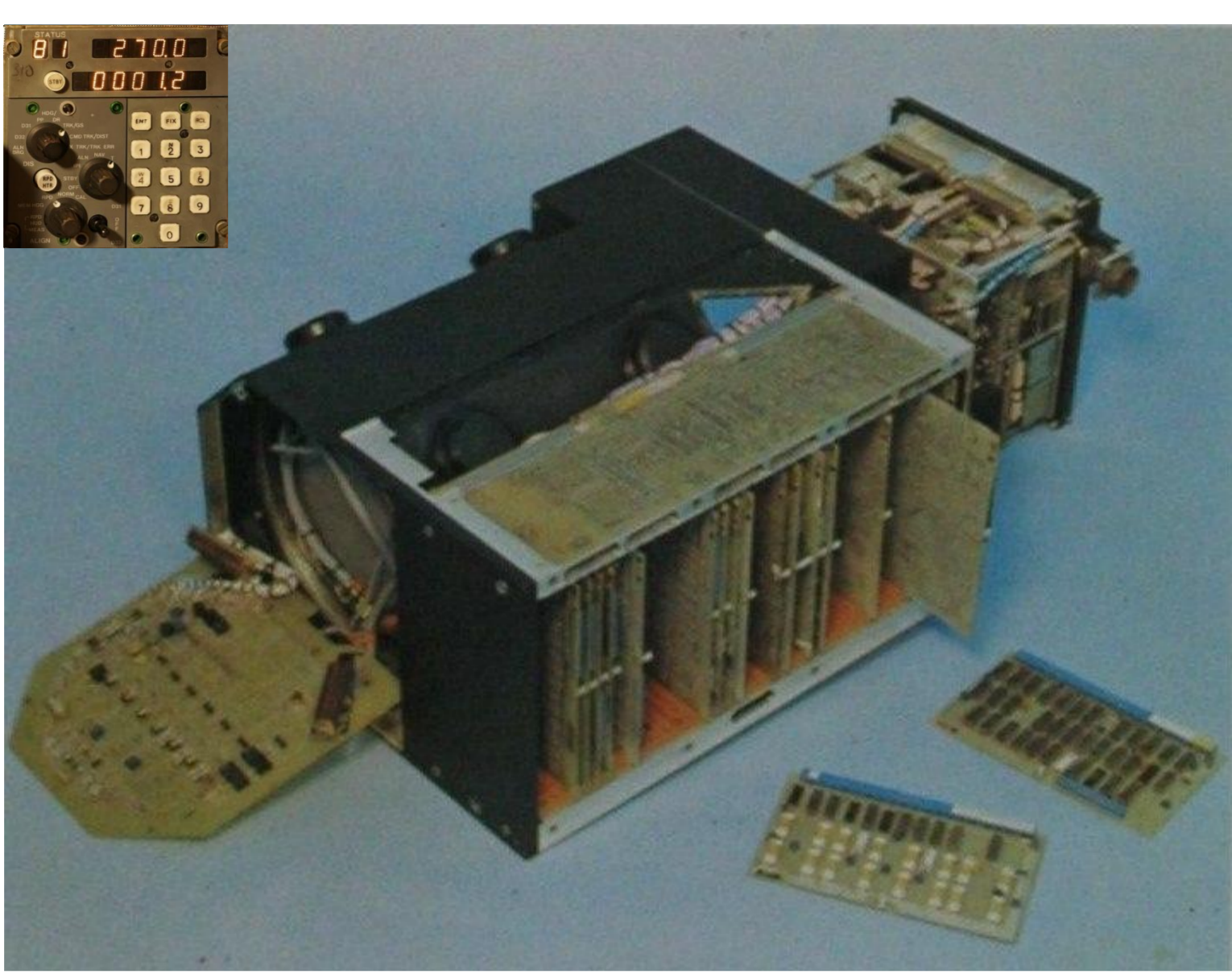
**Kartenmaterial in den Displays:**

Karte mit Streifen-Kamera auf Film belichtet, „Höhe“ z.B. 1° in N-S- und 5° in E-W-Richtung, reale Länge 15cm, Korrekturdaten & Aufteilung wurde über Kasette im Cockpit eingespielt. Display nimmt bis zu 12m auf → EU in 3 verschiedenen Scales!

Belichten: „Rektifizierung“ Vermessen:

Danke an Hr. Hans Kiening von der Kodak!

**Aufbau FIN1010/1012:**

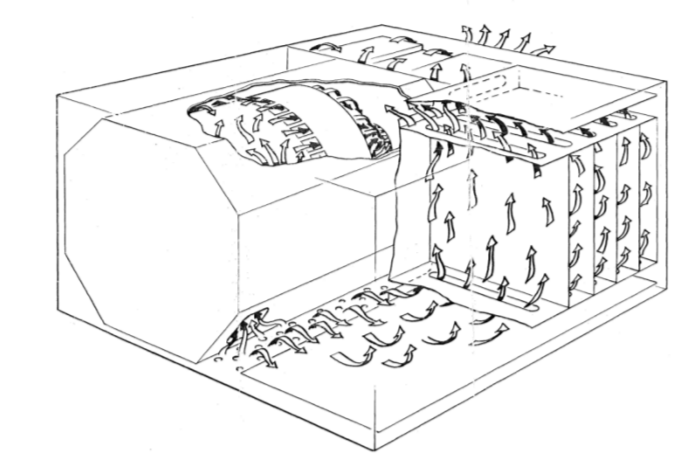


**Betriebssicherheit:**

- Navigator und Displays setzen auf bewährte Bausteine (MIL-SPEC) im Keramik/Blechgehäuse (Temperaturbereich -80°C-125°C).
- Keine hochintegrierten Bausteine (max. Schieberegister und PROMS).
- Übertragung analoger Daten von der Plattform und zwischen den PCBs des analogen Computers durch (Wechsel)strom → Wenig stör anfällig!
- In den Displays Birnenmagazin: 3 Glühbirnen mit automatischem Wechsler! BITE prüft Reservelampen.
- Netzteil beinhaltet Anschluss für Akku als Backup falls Essential-DC ausfällt.
- Schleifringe in Plattform alle redundant!
- Computer macht alle 70ms BITE in dem alle Instruktionen getestet werden.
- Überwachung von Strömen und Spannungen, bei Abweichungen automatische Abschaltung.
- **DENNOCH:** Spätere Tornado (ADV, UK) bekamen 2\*FIN1012 als redundante Lösung!

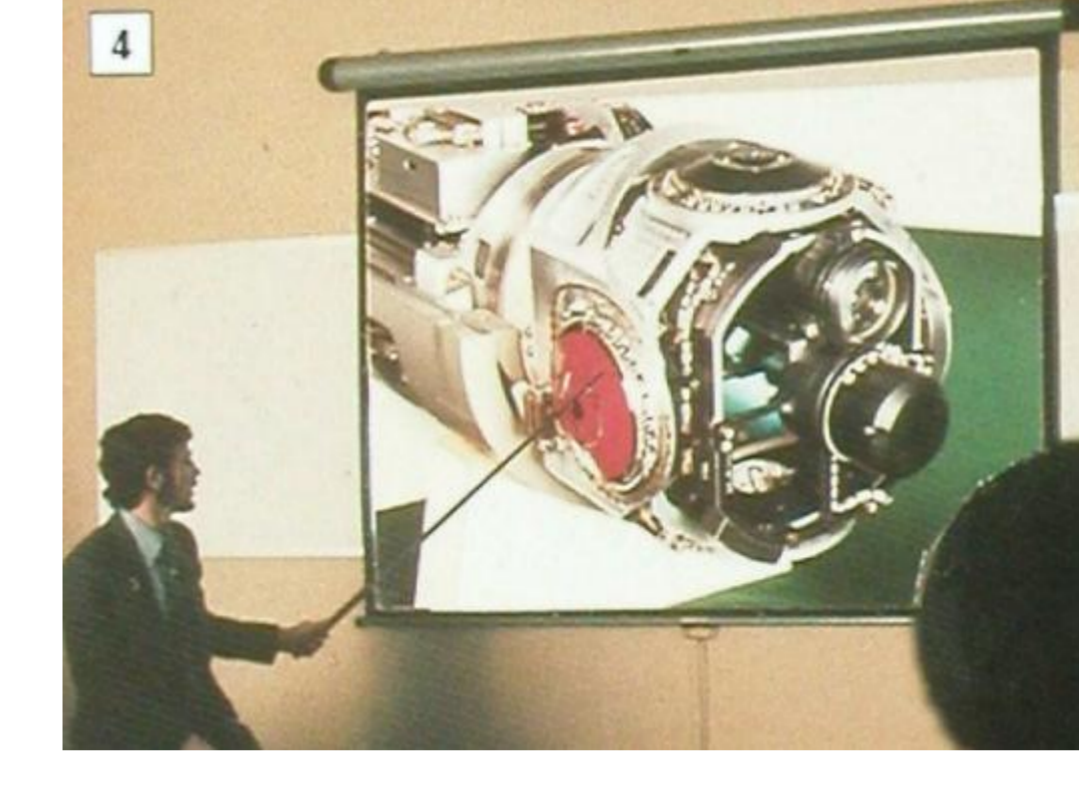
- Eine der ersten All-in-One-Lösungen (siehe unten F4FGR/Harrier)
- Integriertes Schaltteil (300W) mit Akkuanschluss: Erzeugt 5V, +/-15V, +/-16V, +/-22V, 6VAC 15kHz, 40VDC, 12-60V (VariAC Quarz-stabilisiert), +/-10V Vref, Iref (Aus ofenkontrollierter Referenz): 300W!
- Auf 40 Platinen analoger Computer (Kleinhirn) und digitaler Computer sowie Schaltungen für BITE und Diagnose. Einzig Integration Drehrate zu Richtung erfolgt mechanisch in den „rate-integrating“ Gyros vom Typ 125.
- Thermomanagement über Fast/Normalheizer und steuerbare Luftklappe.
- Digitaler Computer mit 128 Worten RAM (32 davon batteriegepuffert), 8192 Worten ROM (8Bit); Bitserielle Harvard-Architektur.
- Zykluszeit 11-20µs, Interrupt alle 20ms und integrierter BITE.

- ROM nur zu 50% genutzt (De nur 15%)
- Control-Panel (CDU) mit Glühbirnen; LEDs wurde noch nicht vertraut!!
- 12 Digitale und 3 analoge Ausgänge auf separatem Stecker.
- Diagnoseklappen erlauben Zugang zu vielen relevanten Signalen.



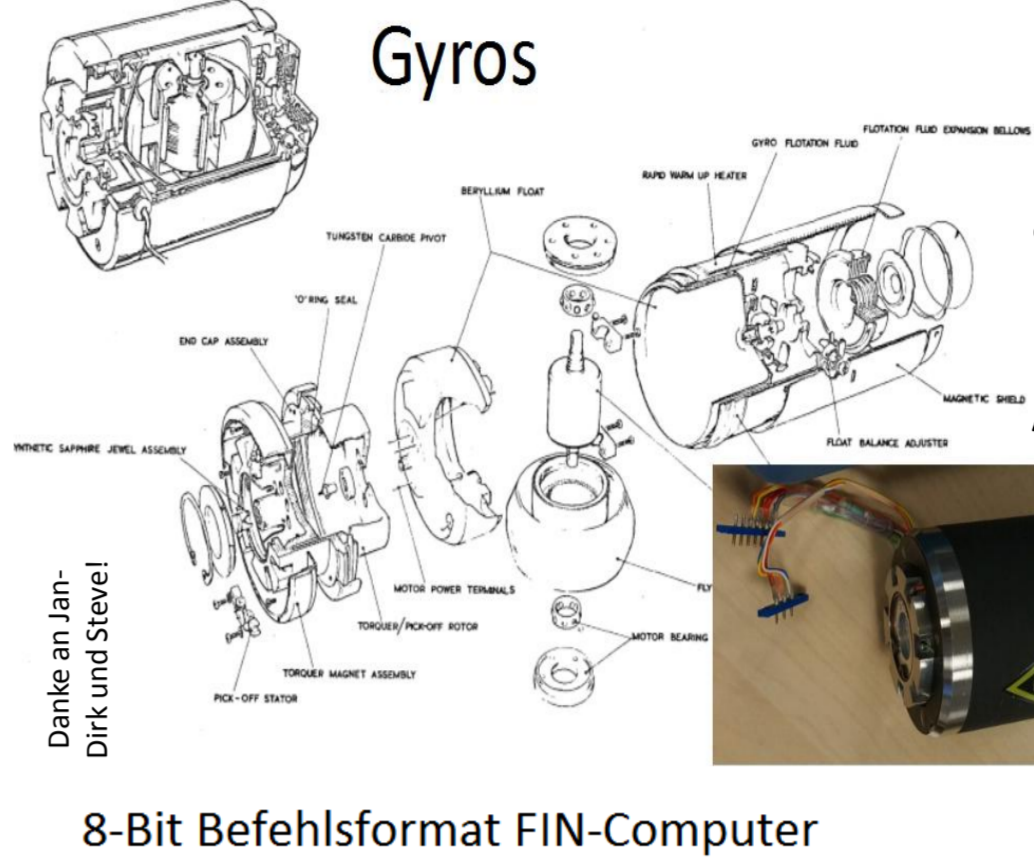
**Synergien:**

Das erlernte KnowHow wurde von Ferranti nicht nur in vielen „Remakes“ der Plattform (siehe unten) wiederverwendet, sondern z.B. auch bei „Laser-Rangern“ und „Illuminatoren“ eingesetzt:



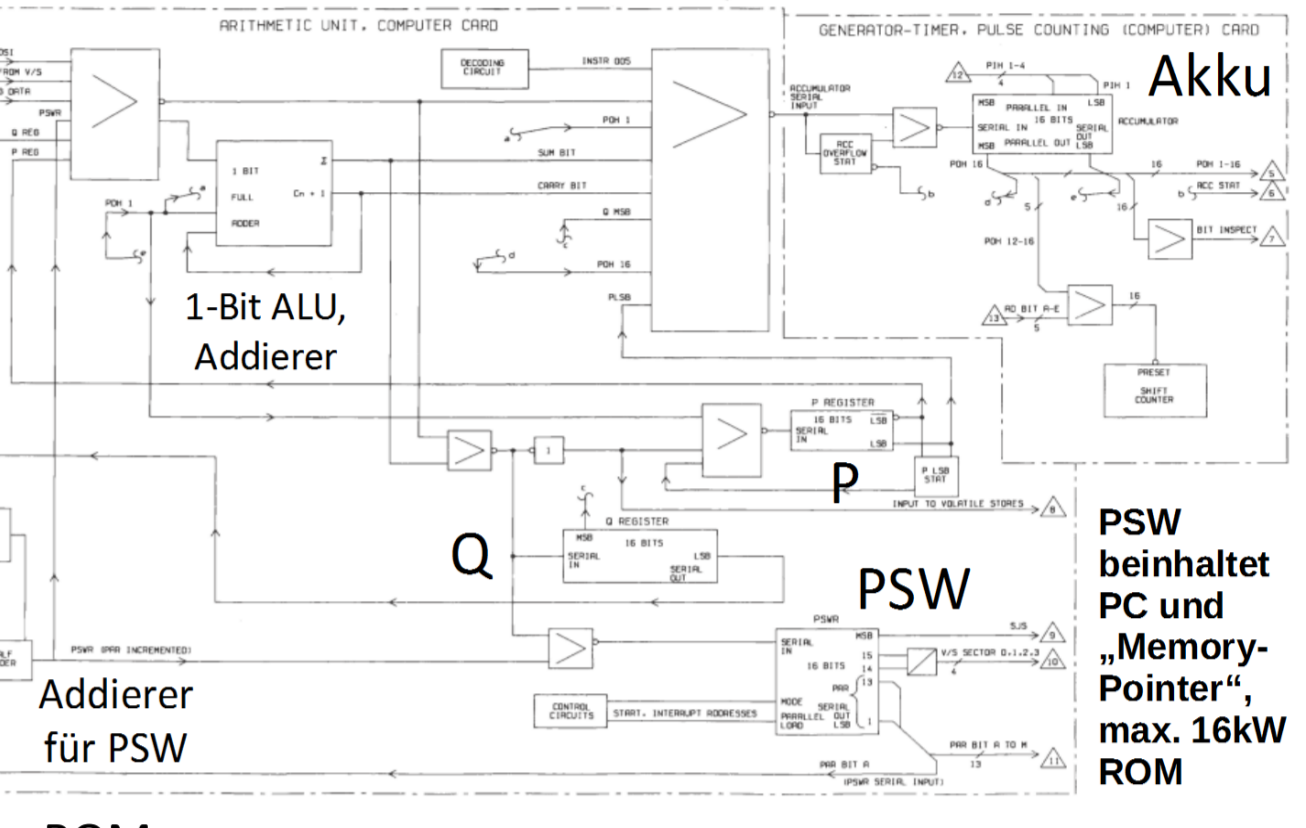
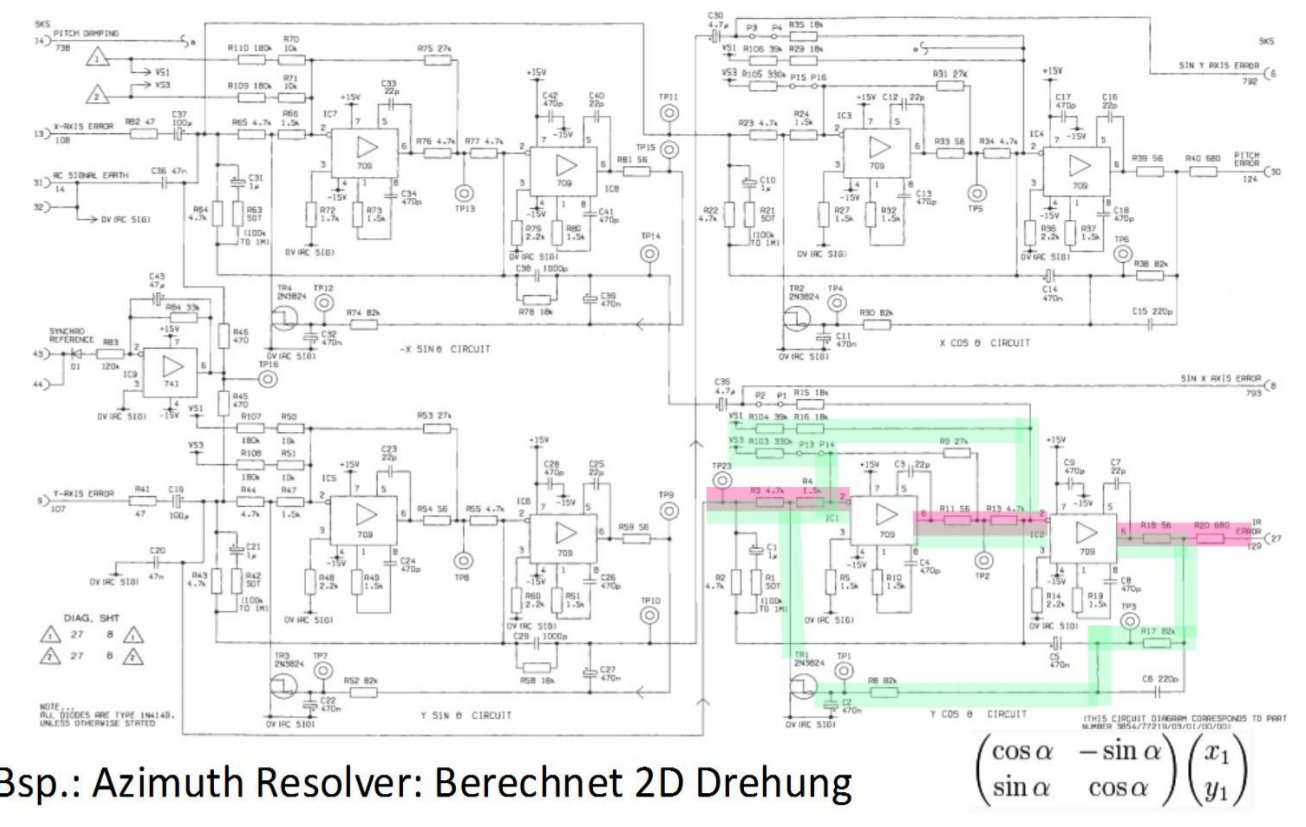
**Computing im Detail:**

**Mechanisches „Rechnen“** in den Gyroskopen: Integration Drehrate zu Richtung! 21000 RPM, MTBF>10a!!



**Analoger Computer** aus OpAmps, FETs, Schaltern und Relais: Plattform-stabilisierung, Alignment, Korrektur von Fehlern und Bahnsteuerung beim Gimballflip, Integration von Beschleunigung zu Geschwindigkeit; BITE. >>2000 Teile!

**Digitaler Computer** aus 250 TTL ICs, archaische Architektur, ohne Stack, kein Carry/Zero-Flag. Keine Unterprogramme!  
**ABER:** - Es gibt MUL/DIV!  
- Wählbar 16/32 Bit  
- Umschaltbar zw. Arithmetik/Logik  
- Verzweigungen und bedingte Jumps via eines „Master Jump State Flags“!



- Rechner löst alle Aufgaben (inkl. Grosskreisgleichungen) alle 30ms.
- Funktion „unten“ im Programmwort – ungewöhnlich, aber: Das sind die ersten Bits bei jedem Lesen aus dem ROM.

**Gelöste Bewegungsgleichungen:**

$$V = \sqrt{(v_x \cos \alpha + v_y \sin \alpha)^2 + v_z^2}$$

$$v_x = V \cos \alpha \cos \beta$$

$$v_y = V \sin \alpha \cos \beta$$

$$v_z = V \sin \beta$$

Danke an das RAF Museum London

**Erde ist keine Kugel!**

$$R_p = R_e (1 - \frac{2}{3} \sin^2 \phi)$$

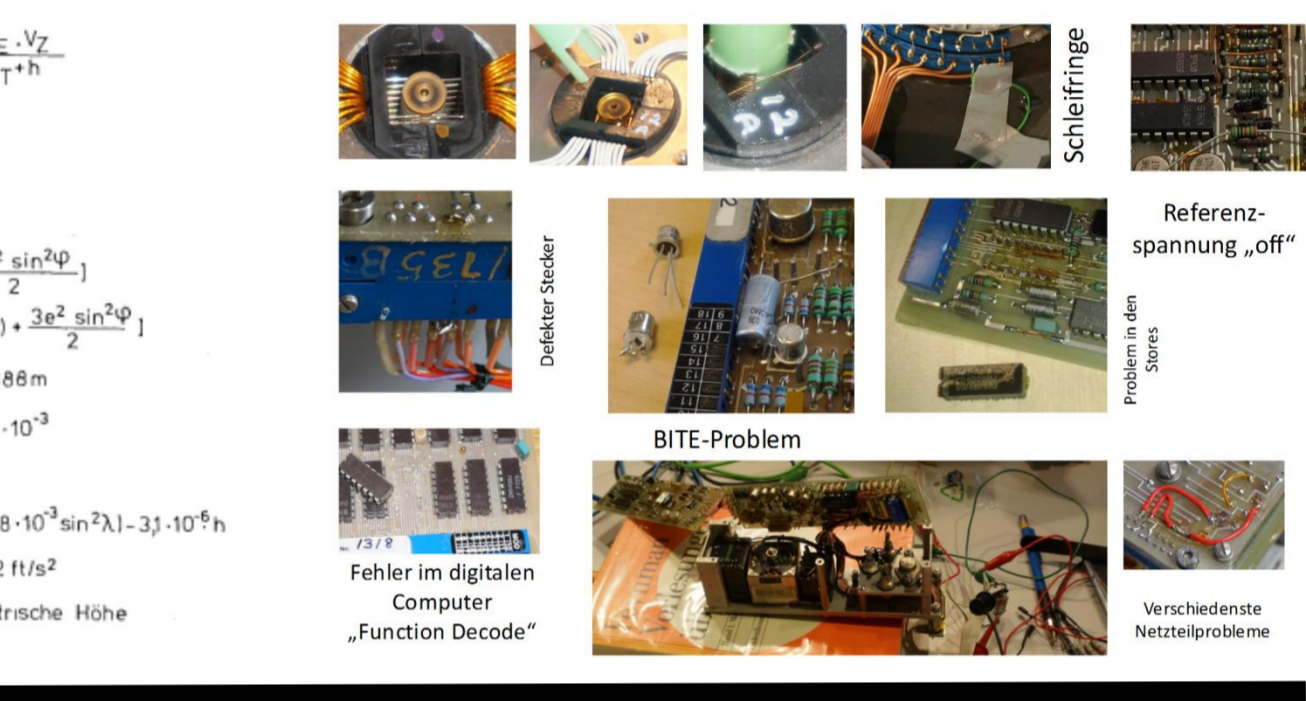
$$R_p = 6378.137 \text{ km}$$

$$R_e = 6378.137 \text{ km}$$

$$R_p = 6378.137 \text{ km}$$

LSB von  $R_p$  ist bzw.  $R_p$  ist 1280ft.

**„Maintenance“:**



**FIN-1010/1012 Trägheitsnavigation Panavia Tornado**

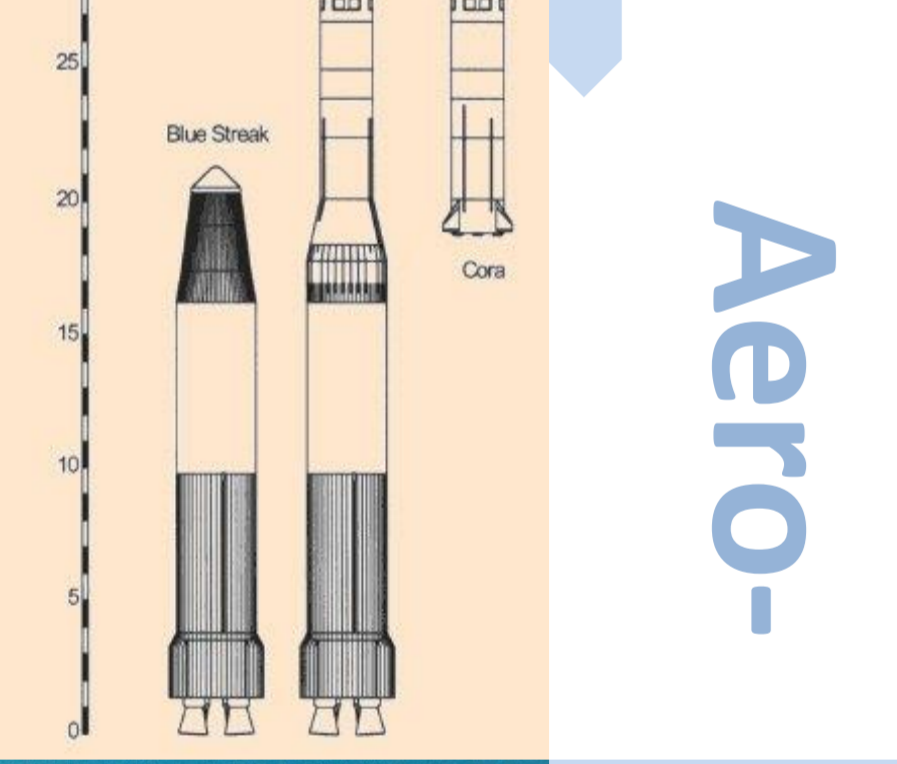


**„In Service 1974-2007“**



Kosten ca. 500000DM/St in 1974

**Blue Streak 1957-1960**

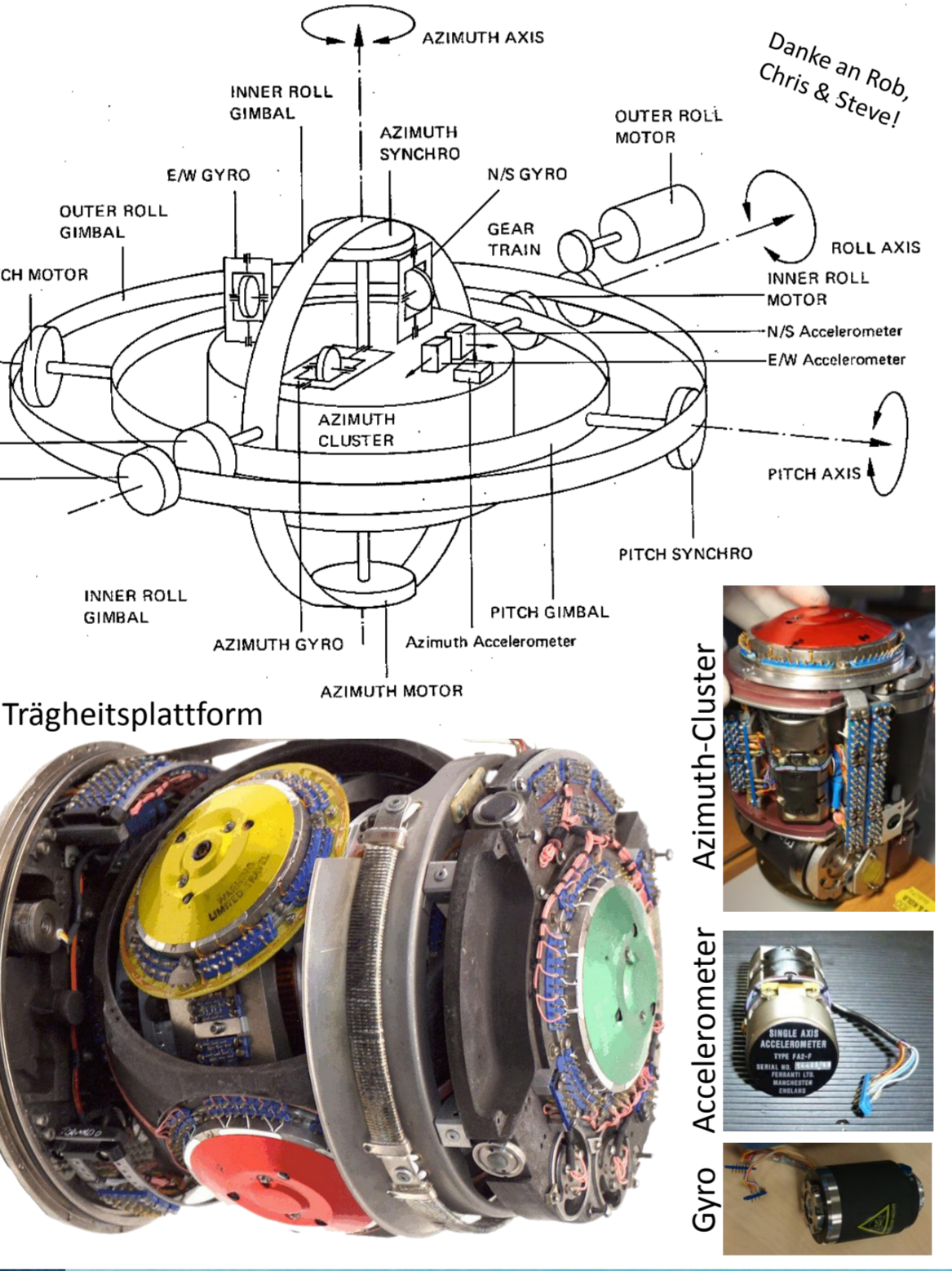


**Black Arrow 1964-1971**

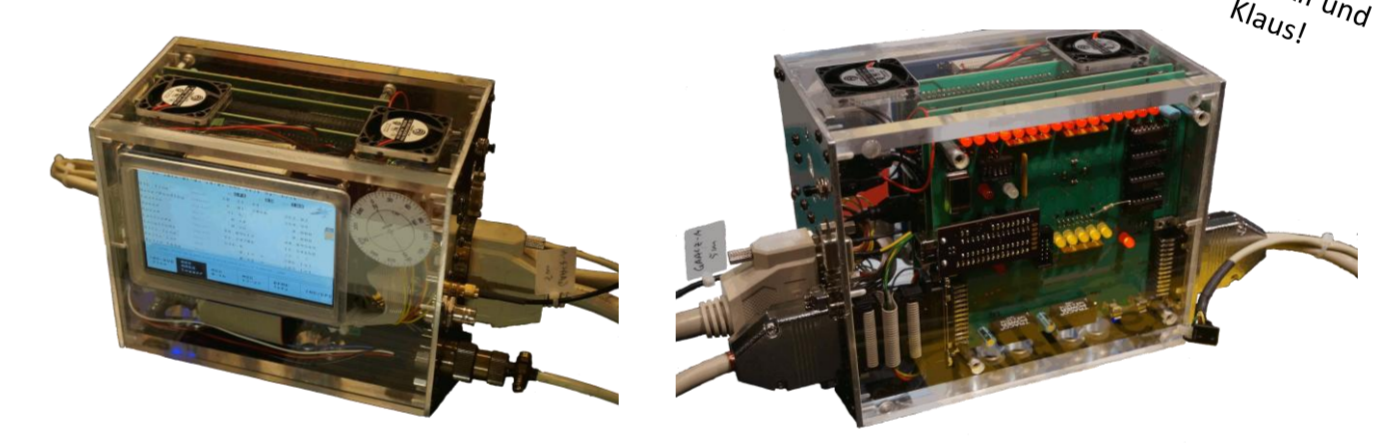


**Basis des FIN1010/1012:**

- Plattform – entwickelt und verbessert über 20 Jahre – mit 3 Gyroskopen (Typ 125) und Beschleunigungssensoren (FA2-F). Cluster durch 4 Gimbals frei im Raum drehbar:
- Messung der Orientierung mit 4 Synchros, besser als 3' Genauigkeit, 16 Bit ADC im digitalen Computer
- Plattformnachführung (ausser outer-Roll) durch Kurzschlussläufer unter Kontrolle des analogen Computers.
- Plattform in Drucktank (He-N-Mischung) zur Schirmung vor Umwelteinflüssen – hochgenau temperaturstabilisiert (Sogar Ausgleich für Motoren!)
- Kontaktierung durch Schleifringe (22 Paare)
- Schnellaufheizung mit 1000W, danach 40W für Regler
- Thermomanagement in Box durch Luftklappe
- Trimmer-Board fest mit an Plattform, enthält „Korrekturmatrix“ für den analogen Computer: Crosstalk, Temperatureffekte, Anisoelektizität, ...
- Aufheizen und Alignment in <15 min möglich!
- >>2000 Teile, exotische Materialien, Montage im Reinraum.



**Eigenbau-Logger:**



- Basiert auf Arduino-Due, liest Panavia-Link-Protokoll vom FIN101[0,2] mit 64kBit/s. Folgende Funktionen:
- Kompl. Log auf SD-Karte (FAT)
- Touchscreen-Ein/Ausgabe, inkl. HUD-View, Plattform Temp
- GPS mit Repeater auch in Log
- Broadcast NMEA via Bluetooth und RS232C / Kommandoparser
- Steuerung RPMD inkl. Mapping der Koordinaten

Gemeinschaftsprojekt der „Finer“ Alf, Klaus und Erik von 2013-2015, ab 2016 Erik (RPMD)

**Ferranti, Edinburgh, UK:**

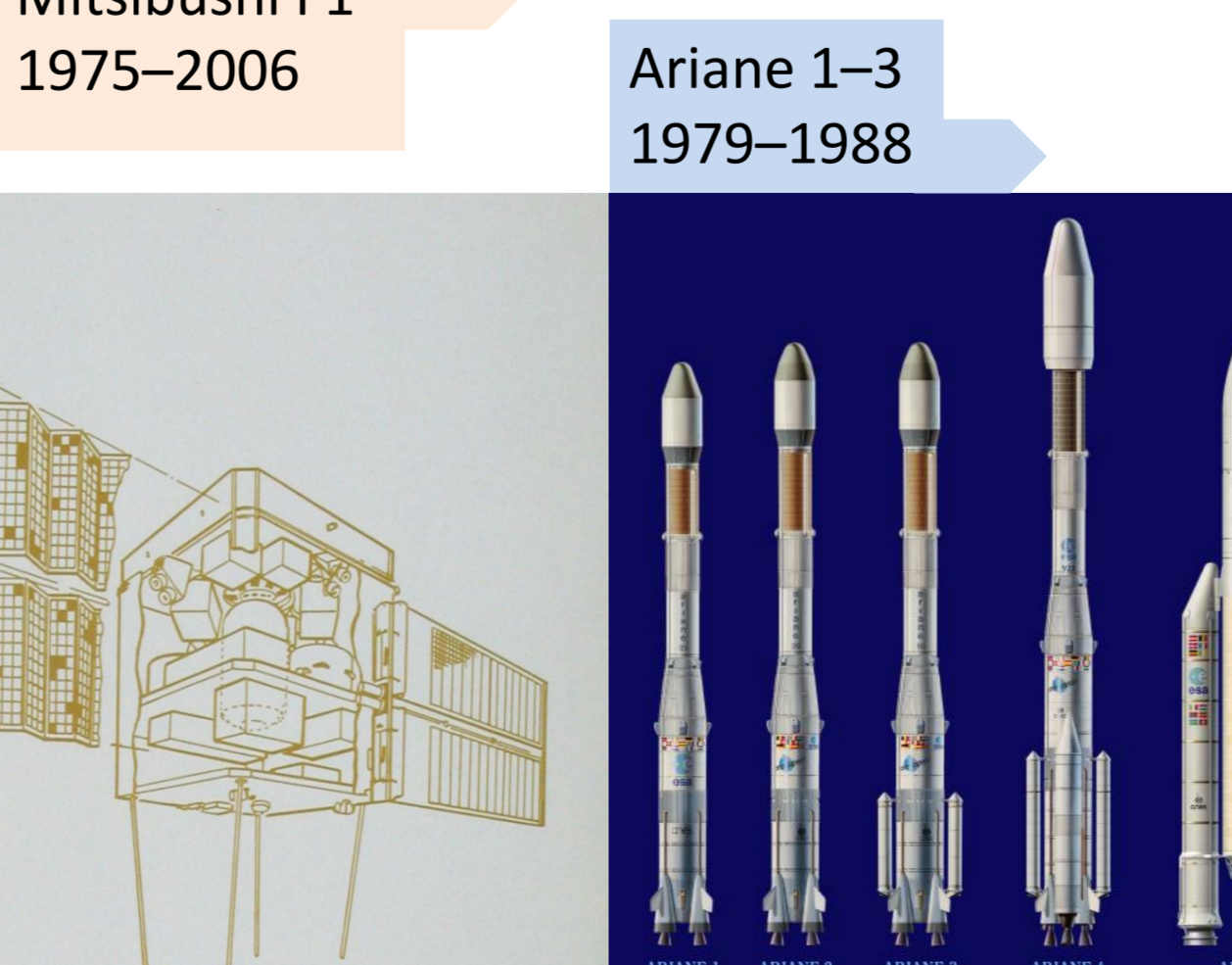
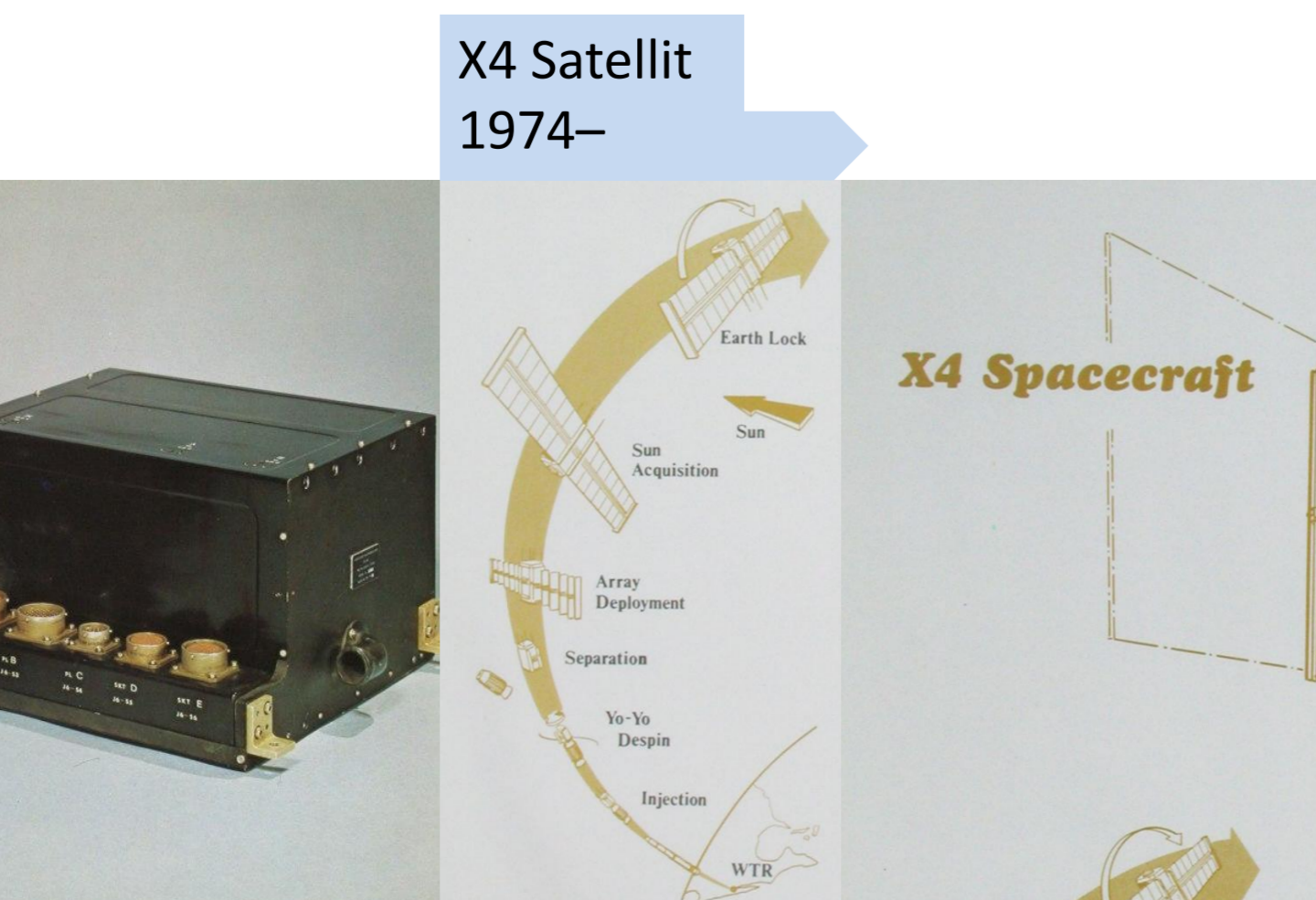
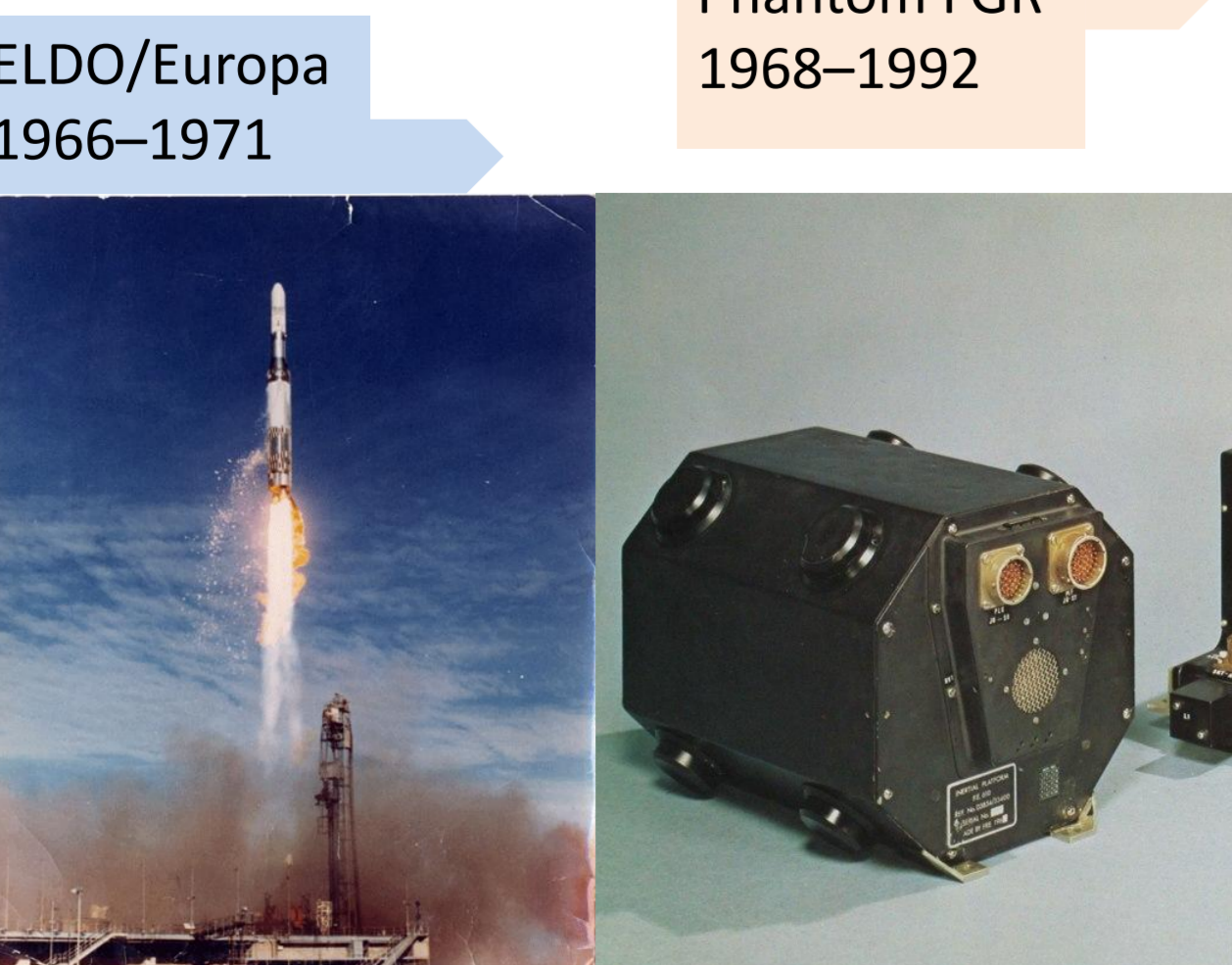
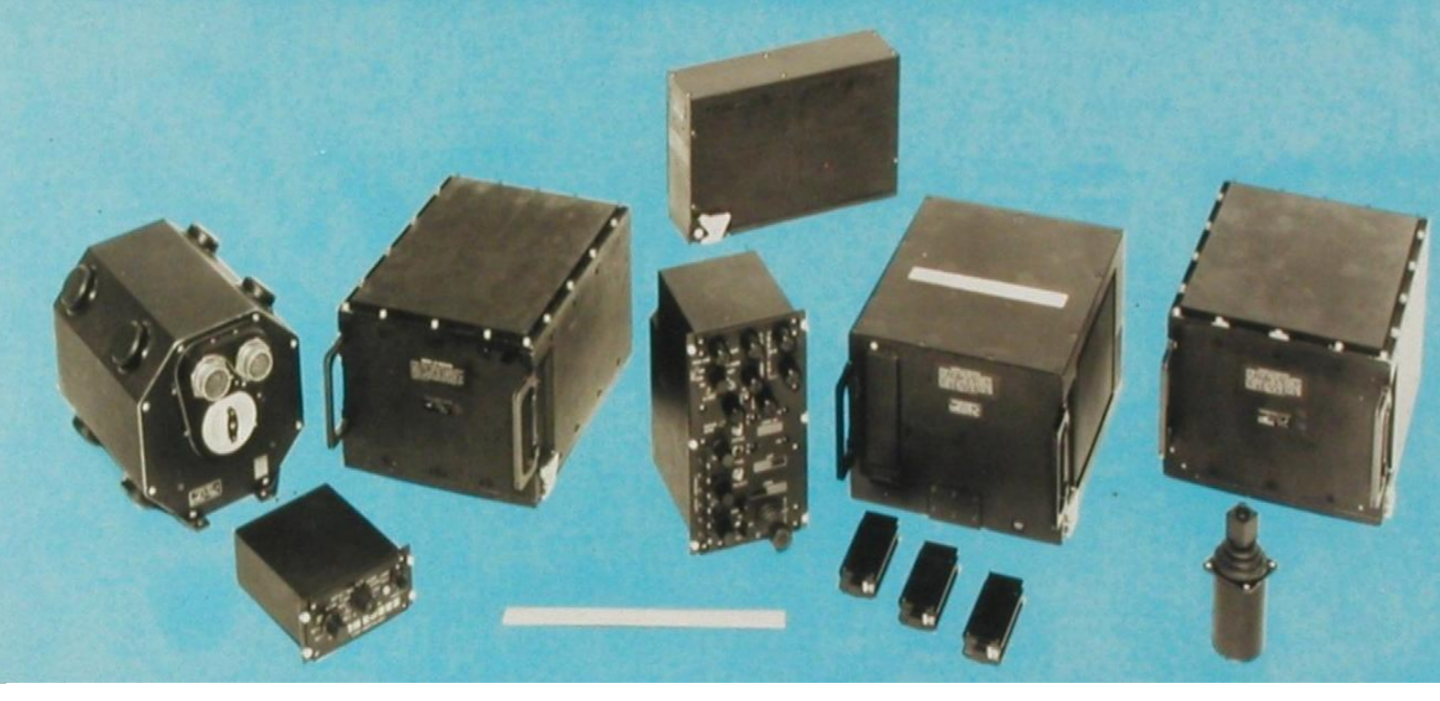


- 1885 Sebastian de Ferranti, Generatoren und Trafos
- 1900 HV-Equipment, 1910 Turbinen, WW1 Munition
- 1930 Radar, Radios – Volles Spektrum an Röhren (5000MA)
- 1951 Erste Computer, 1956 Pegasus, 1960 Argus, ...
- 1955 Halbleiterfabrik, Dioden, ICs (z.B. Sinclair ULA 1980)
- 1962 Bloodhound-Projekt → später vier Rüstung (20000MA)
- 1963 Ausgliederung der zivilen Computer an ICL
- 1974 Industrielaser und „Numerical Control“, CIM, CNC-Fräsen
- 1987 Trafos Pleite, Halbleiter machen nur noch Verlust, ...

1988

Ferranti Defence Systems Limited  
Navigation Systems Department  
Edinburgh EH4 4AD  
Telephones: 031 332 2411 Telex: 727  
Facsimile: 031 343 5050

1994



**Fragen**  
erik@baigar.de

©2017, Dr. Erik Baigar, Gotzmannstrasse 5/1, D81245 München

Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=EQqkxGg98