

**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 Positionsinformation 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 Kassette 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!

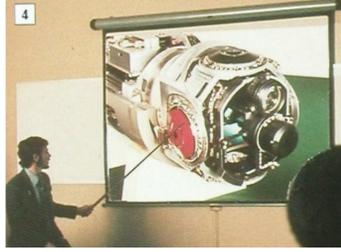
- Eine der ersten All-in-One-Lösungen (siehe unten F4FGR/Harrier)
- Integriertes Schaltteil (300W) mit Akkuanschluss: Erzeugt 5V, +/-15V, +/-16V, +/-22V, 6VAC 15kHz, 40VDC, 12-60V (VariAC Quarzstabilisiert), +/-10V Vref, Iref (Aus ofenkontrollierter Referenz): 300W!
- Auf 40 Platinen analoger Computer (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.



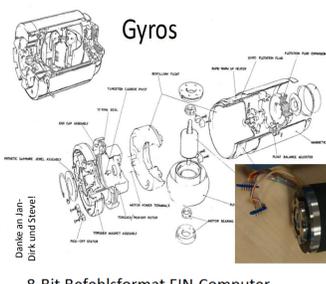
**Synergien:**

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:



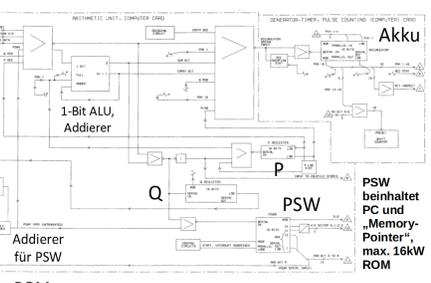
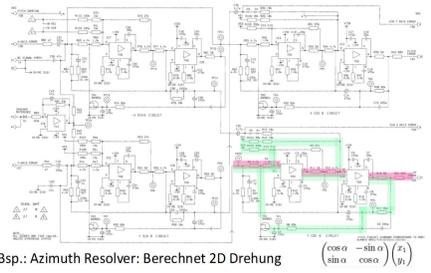
**Computing im Detail:**

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



**Analoger Computer** aus OpAmps, FETs, Schaltern und Relais: Plattformstabilisierung, 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“!



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



„In Service 1974-2007“



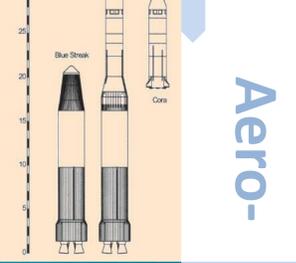
Kosten ca. 500000DM/St in 1974

Adresse (Store oder Unterfunktion)	Funktion
7	
6	
5	
4	
3	
2	
1	
0	

Function	32 Bit (auf PA)? Function (Octal)	Im Logic-Mode? Beschreibung des Befehls	
1	Store>Accu	Ja Lade Accu	
2	Accu>Store	Ja Accu speichern	
3	Accu>Accu[Store]	Ja AND	
4	Accu>Accu[Store]	Ja N-EXOR	
5	IOtransfer	135 305 175, 205 005, 375 245, 255, 265	Read INS Status Read CDU Status Program Inspect Load Accu with 0 / 0xFF Gyro Torquing
6	Shift Right	Ja 006-176: Arithmetic; 206-376: Cyclic	
7	Master Jump State	007-177 207-377	Transfer Bit of Accu to MIS Abfrage von HW-Zuständen
0	Special Functions	110, 120 130-150 210 220, 230 260 300 320, 330 360, 370	Interrupts alle 20ms: Aus/An Wähle aktiven Speichersektor Nächste 3 oder 4 wird "Logic" Lade Accu aus ROM (PSW+1, [Accu]) If Accu=0 setze MIS Jump to [Accu] if MIS set 32 Bit An/Aus Multiply: PA>P*Q, Divide: P=A/Q

**Blue Streak 1957-1960**

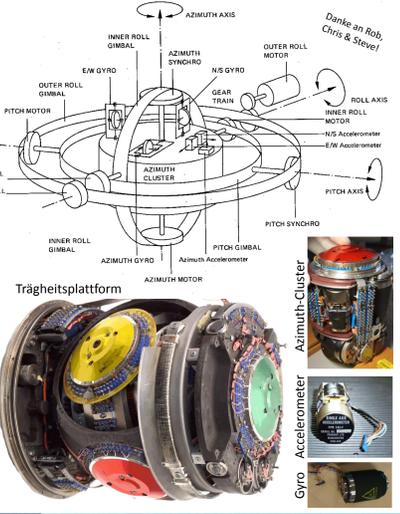


**Black Arrow 1964-1971**



**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
- Plattfornachführung (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, Anisoelelastizität, ...
- Aufheizen und Alignment in <15 min möglich!
- >>2000 Teile, exotische Materialien, Montage im Reinraum.



**Eigenbau-Logger:**



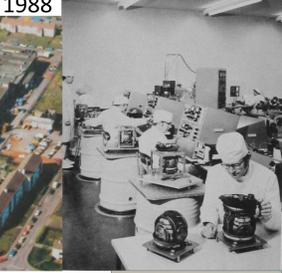
- Basiert auf Arduino-Due, liest Panavia-Link-Protokoll vom FIN101[0,2] mit 64kBit/s. Folgende Funktionen:
- Kompl. Log auf SD-Karte (FAT)
- Touchscreen-Ein/Ausgabe, Inkl. HUD-View, Plattform Temp
- GPS mit Repeater auch in Log
- Broadcast NMEA via Bluetooth und RS232C / Kommandoparser
- Steuerung RPMD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



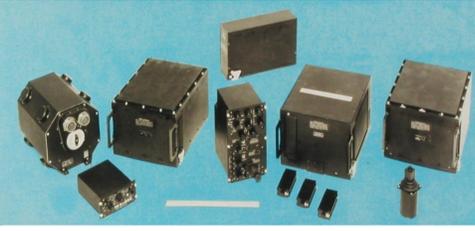
**Ferranti, Edinburgh, UK:**



- 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 (200000MA)
- 1963 Ausgliederung der zivilen Computer an ICL
- 1974 Industrielaser und „Numerical Control“, CIM, CNC-Fräsen
- 1987 Trafos Pleite, Halbleiter machen nur noch Verlust, ...



Phantom FGR 1968-1992



X4 Satellit 1974-



Mitsubishi F1 1975-2006



Concorde Proto 1974



Nimrod 1969-2011



Jaguar 1968-2007



Harrier 1967-2016



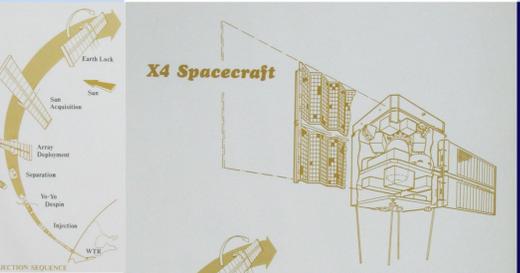
Tornado 1974-2007



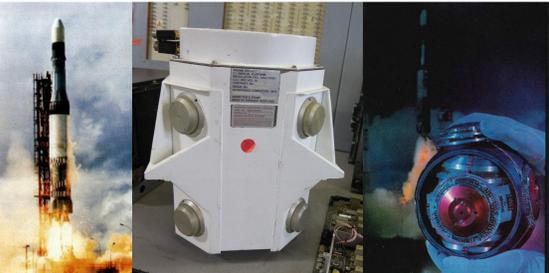
ELDO/Europa 1966-1971



SF 600 INERTIAL SENSING SYSTEM



Ariane 1-3 1979-1988



Concorde Proto 1974



Ferranti. World leaders in space guidance.

**Fragen**  
 erik@baigar.de  
 ©2017, Dr. Erik Baigar, Gotzmannstrasse 5/1, D81245 München  
 Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=EQqkxGg98