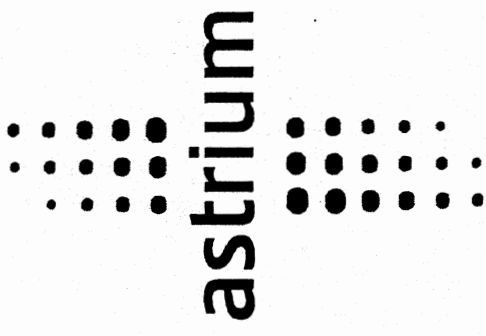




H.-J. Pospieszczyk
Columbus Eng. Manager
14.09.01

System Engineering (SE)
Practical Experience based
SpaceLab and Columbus



General

- System Engineering for a manned spacecraft is a very complex process involving several parties with different responsibilities

- Customer
- Different disciplines within the System Engineering Team
- Subsystem subcontractors
- Assembly/Equipment subcontractors

- Success of a design/development program
 - Fulfillment of customer requirements
 - Staying within funding and schedule

depends on splitting of proper responsibilities of the „System“
(= Product(s) to be delivered) and continues control

- As for any European Space Program compromises necessary for COLUMBUS obeying:
 - Geographical return
 - Company interests
 - Political constraints

but these Issues are not the only reasons for unexpected technical problems; SE performance to be discussed.



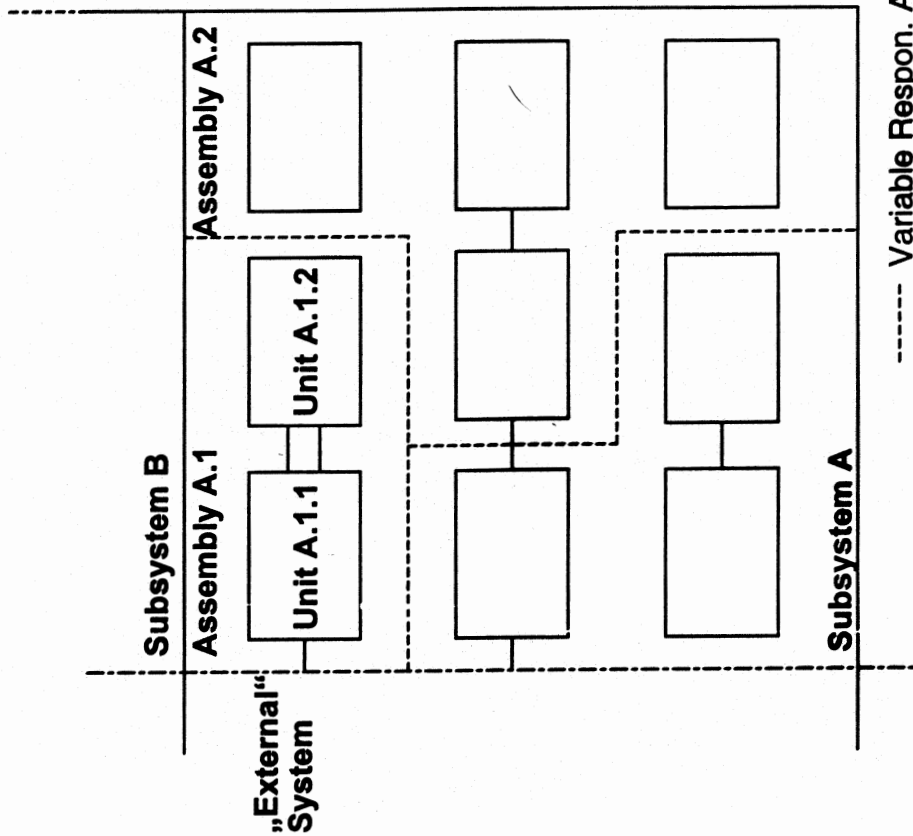
Was ist System Engineering?

- Definition nach MIL STD 499 vom 07.01.1970:
„Systemtechnik ist die Anwendung techn. / wissenschaftl. Methoden um:
 - a) Eine betriebliche Anforderung in eine Beschreibung von Systemleistungsparametern und in die Systemkonfiguration umzusetzen, wobei in Schritten wie Definition, Synthese, Analyse, Entwurf, Integration, Test und Erprobung vorgegangen wird;
 - b) Zueinander in Beziehung stehende technische Parameter aufeinander abzustimmen, sowie die Kompatibilität sämtlicher physikalischer, funktioneller und ablaufbedingter Schnittstellen auf solche Weise sicherzustellen, daß die gesamte Systemdefinition und Ausführung optimiert ist;
 - c) Die Zuverlässigkeit, Wartbarkeit, Funktionssicherheit und Überlebensfähigkeit sowie Mensch- Maschine-Beziehung wie Bedienbarkeit, Wartbarkeit und andere derartige Faktoren in die gesamte technische Bearbeitung einzubeziehen.“
- Prioritäten / Emphase hängen von Vertragsbedingungen und Zeitplan / aktuellem Programm-Zeitpunkt ab.



Spacecraft System Definition

- Ideal Responsibility Splitting sometimes called „American Prime Contractor“:
 - Complete system level under one responsibility w/o contractual barriers
 - Subsystem level only for technically complex entities (e.g. Data Management Subsystem, Env. Control / Life Support)
 - Hardware units, software programs



- Low Costs / Best Efficiency
- Minimum Risk



System Splitting Principles

- Responsibility allocation to that entity, who can **best understand and fulfill the imposed requirements** (valid within System Engineering team or for subcontractors)
- Divide system, where **interface definition is simply** defineable (where possible use existing Standards) and verifiable
- Technical **decisions** (design and qualification) **on lowest possible level**
- Subcontractors to receive **complete and manageable / objectively controllable task**
- Design, qualification, manufacturing and assembly integration / test to be imposed by **one product specification**.
(Note: Plans shall say only **HOW** to do something but not contain techn. reqmts.)



Actual System Definitions

- **Spacelab**
 - **System level:** ERNO
 - **Subsystems/Units:** Several subcontractors with clear responsibilities
ERNO and AEG / Wedel
Initially too many subs
 - **Harness:**
 - **Software:**

- **Columbus**
 - **System level:** Astrium and Alenia (PICA)
 - **Subsystems/Units:** Less than for Spacelab (improvement)
Astrium, Alenia, OHB
Onboard reasonable, splitting for EGSE / ABT and CGS / Astrium
 - **Harness:**
 - **Software:**



Columbus: System Engineering Responsibilities

- Columbus program close to „ideal“ System Engineering responsibility allocations from subsystem implementation point of view, i.e. only *subsystem intermediate levels* where advantageous
- However, split of APM system responsibility between Prime Contractor Astrium-Bremen and PICA subcontractor Alenia necessary to achieve political agreement
- Both companies are aware that the System Engineering process is less efficient (two locations, technical decision process burdened by complicated contractual considerations etc.) and needs special regulations to ***make it a success!***



Contractual Relations

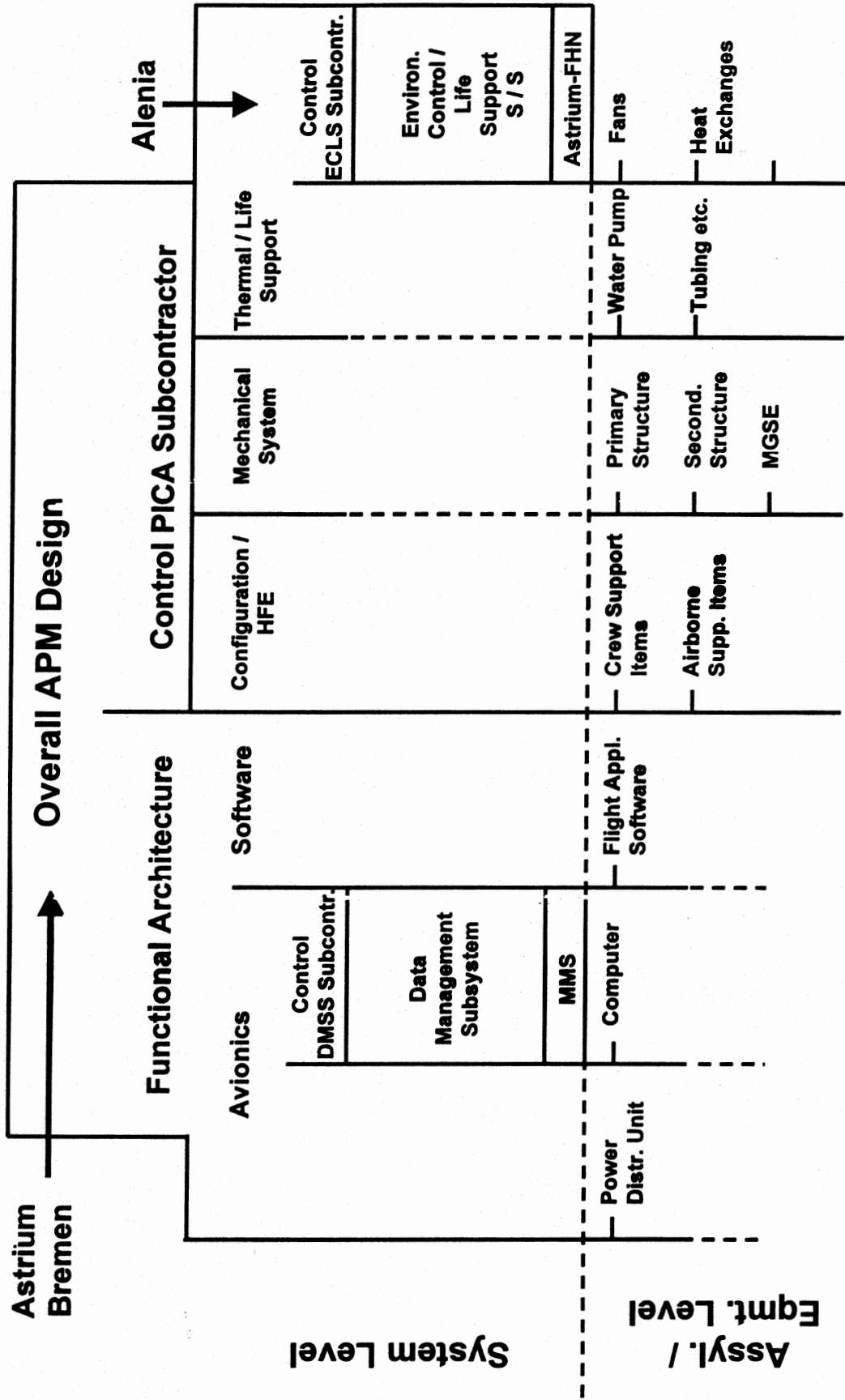
- Due to splitted system responsibility Astrium and Alenia agreed to take full liability for their segment
- If Alenia made a failure e.g.
 - Mech./therm./configuration requirements are wrong/incompleteOR
- PICA constituents do not fulfill Astrium generated requirements
- OR
- Mech./thermal ICD's lead to hardware incompatibilities

they have to pay for the impact quoted by Astrium subcontractors
(Astrum system impacts excluded)

- If Astrium-Bremen made a failure within in their area of responsibility the same principle applies, i.e. Alenia subcontractor impacts to be funded by Astrium.



Pre-Integrated Columbus Attached Press. Module (PICA) Principle





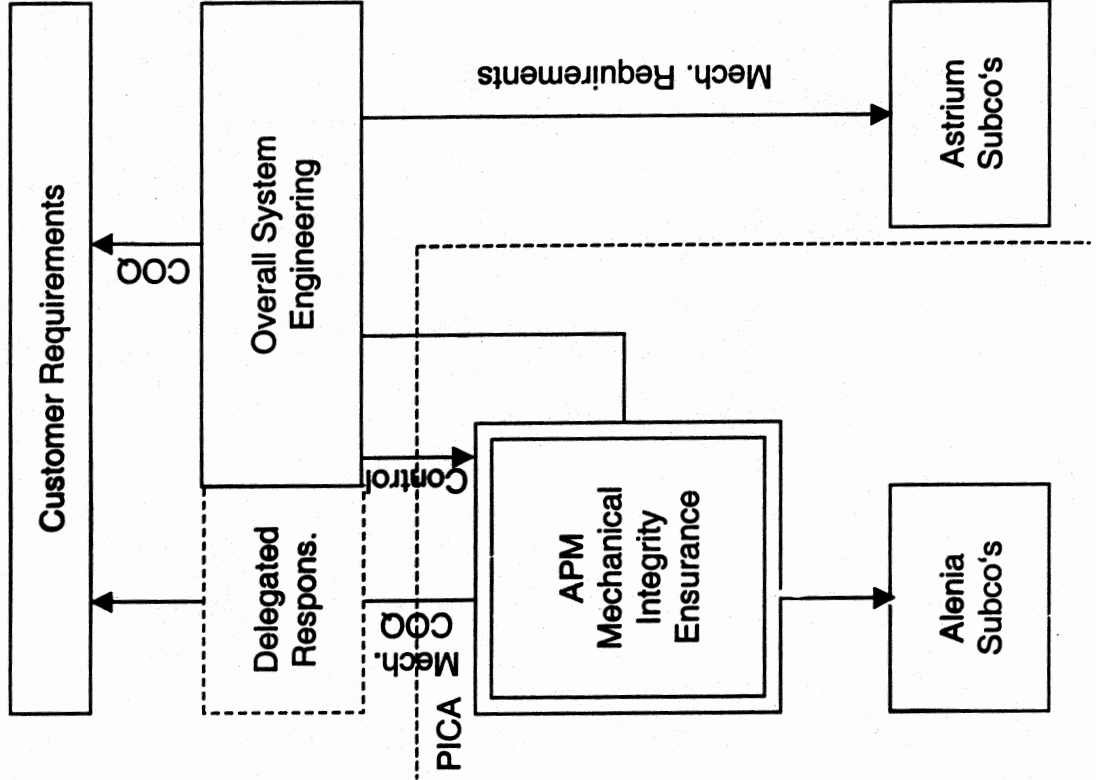
PICA Tasks

- In addition to the APM System Engineering responsibility for Configuration, Mechanical and Life Support system PICA responsibility includes
 - Mechanical design of complete on-board harness (thermal design unclear)
 - Ground handling of APM
- PICA fully responsible for control of Alenia subcontractors based on Columbus technical plans and System Support Specifications (EMC and Power Quality, PA & Safety etc.)
- Alenia “pre-integrates” APM Flight Model covering all hardware under their responsibility



Example: Mechanical Design Integrity

- PICA System Engineering team has delegated responsibility for APM Mechanical Design Integrity
- PICA to generate all qualification data necessary to receive ESA approval of related APM COQ sections
- Prime Contractor Astrium to
 - control PICA subcontractor activities(as for any other subcontractor)
 - control other subcontractors w.r.t. mechanical design integrity





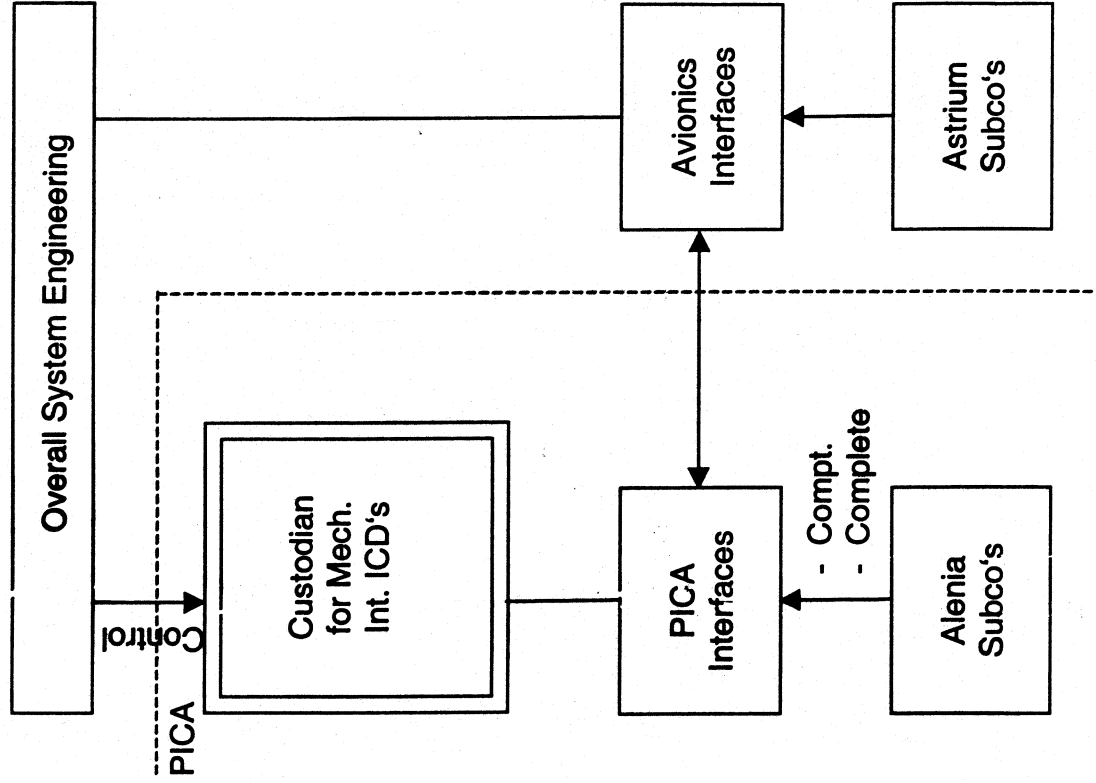
Interface Control Documents (ICD's)

- All external ICD's under Astrium responsibility; Alenia provides inputs for mech./therm. parts

- „Internal“ ICD custodianship

split		
- Mechanical		X
- Thermal		X
- Avionics	X	
- Software	X	

- As there are no contractual relations between Alenia and Astrium subcontractors, Astrium represents mech./thermal interfaces vs. Alenia (and vice-versa)





Technical Plans

- Technical Plans made applicable via SOW for detailed task definitions
- Design and Development Plan prepared commonly by Astrium and Alenia
- Subplans prepared in accordance with PICA principle

	Astrium-Bremen	Alenia / PICA
• AIV Plan: commonly	X	X
• Fracture Control Plan		X
• EMC Control Plan	X	
• Microgravity Control Plan		X
• Contamination Control Plan		X
• Audible Noise/Human Vibration Control Plan		X



Gemeinsam benutzte Produkte

- Zielsetzung:
Bereitstellung (Zwangsbenutzung oder freiwillig) von Tools zur Verbesserung und Vereinfachung von Aufgaben verschiedener Firmen und / oder Projekt- und Fachdisziplinen.
- Zwecks Erhöhung der Produktivität:
 - SDE
 - AIVDB etc.
- Risikoreduktion:
 - Entwicklung von aufgezungenen, gemeinsamen Produkten innerhalb des eigentlichen Entwicklungsprogrammes ist zu minimieren
 - Frühzeitige Fertigstellung damit im nicht erfolgreichen Fall Optionen implementiert werden können (Abbruchkriterien einführen)

- Aufgabe:
 - Kontrolle von unvermeidbaren Risiken (technisch und zeitlich) und gezielte Abarbeitung
 - „Problem erkannt, Problem gebannt“
- Methodik:
 - Identifikation in Plänen (Critical Technologies, usw.)
 - Entscheidungspunkte mit Alternativlösungen definieren
 - Periodische Kontrolle / Definition von „potential cost items“
- Zur Beachtung:
 - Unerfahrene Systemingenieure unterschätzen Probleme / Risiken (Murphy's Law: Was schiefgehen kann, geht schief)
 - Programm-Manager entscheiden häufig nach politischen Gesichtspunkten, wenn das Risiko noch weit entfernt ist, und üben später Kritik, wenn der Problemfall eintritt
- Beispiele
 - Optimistischer Zeitplan (Frühe Freigabe von lower level Spezifikation / Vertragsabschluß)
 - Kostenschätzungen ohne Berücksichtigung von Entwicklungsproblemen (siehe ETC's)
 - Unzureichende Reserven (Masse, Rechnergröße) usw.



SE Organisationsprinzipien

- Die SE Organisation nach gleichen Regeln wie ein System definieren, d.h. Verantwortung demjenigen geben, der sie am besten ausfüllen kann (know-how, Erfahrung)
- Verantwortung (innerhalb SE und von SE zu anderen Projektgruppen) so teilen, daß einfache Arbeitsschnittstellen entstehen
- Organisationshierarchie so aufbauen, daß Entscheidungen auf möglichst niedriger Ebene gefällt werden können (Verständnis und Effektivität maximal)
- Aufgabenzuteilung und Kontrolle nur über einen Weg sicherstellen
- Ein guter Systemingenieur muß auch berücksichtigen:
 - Kosten- / Zeitplan
 - Vertragsbedingungen
- ➔ Nicht das techn. Beste Produkt ist zu liefern, sondern das, welches alle Anforderungen und Randbedingungen gerade erfüllt

- An einen idealen Systemingenieur werden folgende Anforderungen gestellt:
 1. Universelle technische Ausbildung im Hinblick auf die zu entwickelnden Systeme. Für Raumfahrtssysteme zum Beispiel Kenntnisse in folgenden Disziplinen:
 - Strukturmechanik, Statik, Dynamik
 - Thermodynamik, Wärmeübertragung
 - Antriebstechnik, Raketenantriebe
 - Meß- und Regelungstechnik
 - Nachrichtentechnik
 - Datenverarbeitung
 - Bahnanalyse, Bahnmechanik
 - usw.
 2. Praktische Erfahrung in der Entwicklung von verschiedenen Teilsystemen / Produkten
 3. Erfahrungen oder Kenntnisse im Management von Entwicklungsaufgaben
 4. Führungsqualitäten
- Bei komplexeren Systemen, zu denen die Raumfahrtssysteme generell zu rechnen sind, empfiehlt es sich zuweilen, die Systemarbeit aufzuteilen und außer oder anstelle eines Systemingenieurs für das Gesamtsystem einen Systemingenieur für funktionelle Systeme und einen weiteren für mechanische oder thermische Systeme einzusetzen. (Ermöglicht es, die Anforderungen auf einen bestimmten technischen Teilaspekt zu beschränken).



Verhaltensweisen

- Im Folgenden sind einige Verhaltensweisen, skizziert, die die SE Team-Leistung reduzieren
- „Ähnlichkeiten mit wirklichen Personen sind rein zufällig“
- Der „Beleidigte“
 - Ich bin bei der letzten Umorganisation nicht richtig berücksichtigt worden...
 - Meine Vorschläge werden nie akzeptiert...



Verhaltensweisen

- Der „Überhebliche“
 - Die anderen (Engineering Kollegen, Project Control, ESA-Angehörige, Unterauftragnehmer usw.) sind alle unfähig, deswegen rede ich nicht mit ihnen
 - Ich weiß genau, was die Firmenleitung (ESA, BMFT usw.) alles falsch macht
 - Meine Formulierung ist die Beste (deswegen schreibe ich alle ESA Requirements um)
 - Das haben wir bei EURECA (Spacelab oder sonst ein Programm, was der andere nicht kennt) so gemacht und deswegen muß es richtig sein; eine Diskussion über das Thema lehne ich ab.



Verhaltensweisen Forts.

- Der „Schüchterne“
 - In der offenen Diskussion schweige ich aber hinterher schreibe ich ein MMO, das das ganze Besprechungsergebnis auf den Kopf stellt.
 - Probleme diskutiere ich nicht aus, sondern schreibe meine Meinung einfach auf ein Viewgraph (möglichst spät) oder in ein MMO
 - Ich sitze in meinem Büro und warte bis mich einer auf das Problem anspricht. Die Möglichkeit mal schnell bei einem Subcontractor oder Kollegen oder ESA oder ...anzurufen, nehme ich nicht wahr, weil mir das evtl. Unannehmlichkeiten einbringt.
 - Präsentationen vermeide ich möglichst oder „lasse“ andere vortragen, um nicht in die Gefahr zu geraten, in einer Diskussion zu „verlieren“
- Der „Vergeßliche“
 - „Ungeliebte“ Aufgaben vergesse ich einfach. Der andere wird vielleicht nicht darauf zurückkommen
- Der „Sekretär“ (oder Computerfreak)
 - Ich schreibe meine MMO's/Viewgraphs lieber mit meiner Software selbst
 - Der Zeitverlust wird durch mein „schönes Layout“ kompensiert (und ich kann mich am Computer so schön ausruhen, während ich einen Buchstaben nach dem anderen suche - vielleicht auch mal ein kleines Spielchen gefällig?)



Verhaltensweisen Forts.

- Der „Sture / Widerständler“
 - Obwohl bereits mehrmals entschieden wurde, daß „mein“ Design nicht implementiert wird, versuche ich es immer wieder
 - Bei Besprechungen mit ESA oder Subcontractoren und bei Dry-Runs finde ich immer eine gute Zuhörerschaft, um meine Argumente erneut vorzubringen
 - Meine Dokumente für das Datenpaket liefere ich so spät, daß sie niemand mehr reviewen kann.
- Der „Vorprogrammierte“
 - MATRA Leute sind alle Lügner und wollen mir nur etwas Böses antun
 - ABT ist unfähig
- Der „Maurer“
 - Ich behalte mein Wissen für mich, ein anderer könnte mir sonst meinen Platz streitig machen
 - Meine Ergebnisse (Viewgraphs, Dokumententeile) verteile ich erst so spät, daß niemand mehr darüber vor dem Druck des Datenpakets diskutieren kann
- Der „Filzer“
 - Meinen alten Freund X in der Fachabteilung X muß ich AA's zukommen lassen (egal, ob das Ergebnis benutzbar ist oder nicht)
 - Meinem Bekannten X muß ich hier einen Sitzplatz/eine Stelle in der Organisation besorgen