



Universität
Zürich^{UZH}

Institut für Informatik

Martin Glinz Thomas Fritz
Software Engineering

Fallstudie

Ariane Flug 501

Was geschah mit Flug 501?

So hätte es aussehen sollen...



...und so sah es tatsächlich aus

Chronik der Ereignisse – 1

- Die Software für das Trägheitsnavigationssystem wird unverändert von der Ariane 4 übernommen. Ein Test dieser Software unterbleibt daher.
- Die übrigen Systeme der Rakete werden komponentenweise gründlich getestet. Ein gemeinsamer Test der gesamten Steuerungssoftware der Rakete unterbleibt aus Kosten- und Machbarkeitsgründen.
- In der Software für das Trägheitsnavigationssystem gibt es eine Abgleichsfunktion, deren Werte eigentlich nur sinnvoll sind, solange die Rakete noch nicht fliegt. Diese Funktion arbeitet programmgemäß bis ca. 40 s nach H0 weiter, weil das bei der Ariane 4 im Fall eines Countdownabbruchs kurz vor dem Abheben sinnvoll war.
- Flug 501 startet am 4. Juni 1996. Die Triebwerke zünden um H0 = 9:33:59 Ortszeit. Die ersten 36 Sekunden des Flugs verlaufen normal.

Chronik der Ereignisse – 2

- Da die Ariane 5 eine andere Flugbahn hat als die Ariane 4, berechnet die Abgleichsfunktion einen Wert, der wesentlich größer ist als erwartet.
- Bei der Konvertierung dieses Werts von einer 64 Bit Gleitkommazahl in eine 16-Bit Festkommazahl tritt ein Überlauf ein; der Rechner erzeugt eine Ausnahmebedingung.
- Die Ausnahmebedingung wird nicht behandelt (obwohl dies in der verwendeten Programmiersprache Ada möglich wäre).
- Der Trägheitsnavigatorer setzt eine Fehlermeldung an den Steuerrechner der Rakete ab und schaltet sich 36,75 s nach H0 ab.
- Das Trägheitsnavigationssystem ist aus Sicherheitsgründen doppelt ausgelegt. Ein Umschalten auf das zweite System schlägt fehl, da dieses System das gleiche Problem gehabt und sich vor 0,05 s ebenfalls abgeschaltet hat.

Chronik der Ereignisse – 3

- Die Software des Steuerrechners ist auf den Ausfall beider Trägheitsnavigationssysteme nicht ausgelegt und interpretiert die gemeldeten Fehlercodes als Flugbahndaten.
- Dies führt zu völlig unsinnigen Berechnungen und als Folge davon zu unsinnigen Stellbefehlen an die Steerdüsen der Rakete: Diese werden bis zum maximal möglichen Anstellwinkel ausgeschwenkt.
- Aufgrund der resultierenden Scherkräfte zerbricht die Rakete, worauf der Selbstzerstörungsmechanismus ordnungsgemäß anspricht. Dieser sprengt Rakete und Nutzlast und verhindert damit, dass größere Trümmerteile auf den Boden fallen.

Untersuchung der Ursachen

- Die Untersuchungskommission hat Glück: aus den gefundenen Trümmern lässt sich die Unfallursache exakt rekonstruieren:

Lions, J.L. (1996). *ARIANE 5 Flight 501 Failure*. Report by the Inquiry Board. Paris: ESA.

<http://esamultimedia.esa.int/docs/esa-x-1819eng.pdf>



Schaden

- 4 Satelliten verloren: 400-500 M Euro
 - 2 Jahre Verzug im Entwicklungsprogramm: > 500 M Euro
 - 2 zusätzliche Erprobungsstarts
 - bei Gesamtkosten des Projekts von 1987 bis 1998 von 6700 M Euro
- ⇒ Was können wir daraus lernen für Software Engineering?

Spezifikation und Entwurf – 1

- **Spezifikation:** Bestehende Software darf nicht unbesehen für eine neue Aufgabe *wiederverwendet* werden. Vorher muss geprüft werden, ob ihre Fähigkeiten den Anforderungen der neuen Aufgabe entsprechen.
- **Dokumentation:** Die *Fähigkeiten* einer Software sowie alle *Annahmen*, die sie über ihre Umgebung macht, müssen *dokumentiert* sein. Andernfalls ist die Prüfung auf Wiederverwendbarkeit extrem aufwendig.
- **Design by Contract:** Kooperieren zwei Software-Komponenten miteinander, so müssen eindeutige *Zusammenarbeitsregeln* definiert, dokumentiert und eingehalten werden: Wer liefert wem was unter welchen Bedingungen.

Spezifikation und Entwurf – 2

- **Fehlerbehandlung:** Jede potentielle *Fehlersituation* in einer Software muss entweder *behandelt* werden oder die Gründe für die Nichtbehandlung müssen so *dokumentiert* werden, dass die Gültigkeit der dabei getroffenen Annahmen überprüfbar ist.
- **Software ≠ Hardware:** Mehrfache identische Auslegung von Systemen hilft nicht gegen logische Fehler in der Software.
- **Sicherheit:** Bei Störungen in sicherheitskritischen Systemen ist *Abschalten* nur dann eine zulässige Maßnahme, wenn dadurch wieder ein sicherer Zustand erreicht wird.

Qualitätsmanagement

- **Test:** Bei der *Prüfung* von Software, die aus mehreren Komponenten besteht, genügt es *nicht*, jede Komponente *nur isoliert* für sich zu prüfen.

Umfangreiche Systemtests unter möglichst realistischen Bedingungen sind notwendig.

- **Review:** Jedes Programm muss – neben einem sorgfältigen Test – durch kompetente Fachleute *inspiziert* werden, weil insbesondere die Erfüllbarkeit und Adäquatheit von Annahmen und Ergebnissen häufig nicht testbar ist.

- **Effektivität:** Software, die nicht benötigt wird, sollte auch nicht benutzt werden.

Projektführung

- **Risikomanagement:** Die *Risiken* erkennen, angemessene technische Maßnahmen (siehe oben) planen, durchsetzen und überprüfen.

