



h_da

HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Therac-25 - Probleme mit der Nebenläufigkeit

Wissenschaftliches Arbeiten in der Informatik 1
Sommersemester 2016

Max Stümpfl und Vera Schmitt

Gliederung

- Einführung Therac-25
 - Hardware und Software
- Einführung in die Nebenläufigkeit
 - Threading
 - Speichermodelle und Zustände
 - Probleme
- Die Fehlfunktionen von Therac-25
 - Texas Bug
 - Washington Bug
 - Hintergründe und Versäumnisse
- Fazit

Einführung Therac-25

Hardware und Software

- Linearbeschleuniger zur Behandlung von Karzinomen
- Schlimmste Zwischenfälle in 35 Jahre Strahlentherapie
- Dual-Mode Gerät: Röntgen- und Elektronenbestrahlung
- Drehteller und Bleiplatte werden zur Bündelung verwendet
- Auf *Hardware-Interlocks* wird komplett verzichtet
- Falsches Einstellen der Behandlung kann zu schwerwiegenden Folgen führen

Einführung Therac-25

Hardware und Software

| | | | | | |
|--------------------------|-------------|--------------------|------------------|--------|--------|
| PATIENT NAME | :TEST | | | | |
| TREATMENT MODE | :FIX | BEAM TYPE: X | PENERGY(MeV): 25 | | |
| UNIT RATE/MINUTE | | ACTUAL | PRESCRIBED | | |
| MONITOR UNITS | | 0 | 200 | | |
| TIME (MIN) | | 50 50 | 200 | | |
| | | 0.27 | 1.00 | | |
| GANTRY ROTATION(DEG) | 0:0 | 0 | VERIFIED | | |
| COLLIMATOR ROTATION(DEG) | 359.2 | 359 | VERIFIED | | |
| COLLIMATOR X(CM) | 14.2 | 14:3 | VERIFIED | | |
| COLLIMATOR Y(CM) | 27.2 | 27:3 | VERIFIED | | |
| WEDGE NUMBER | 1 | 1 | VERIFIED | | |
| ACCESSORY NUMBER | 0 | 0 | VERIFIED | | |
| DATE | :84-OCT-26 | SYSTEM :BEAM READY | OP.MODE | :TREAT | AUTO |
| TIME | :12:55:8 | TREAT :TREAT PAUSE | | X-RAY | 173777 |
| OPR | :T25V02-R03 | REASON :OPERATOR | COMMAND | | |

<http://www5.in.tum.de/lehre/seminare/semsoft/unterlagen02/therac/website/interface.gif>

- Selbst-programmiertes Echtzeitbetriebs-system „32K PDP 11/23“
- Verwendet präemptives Scheduling von kritischen und nicht kritischen Tasks

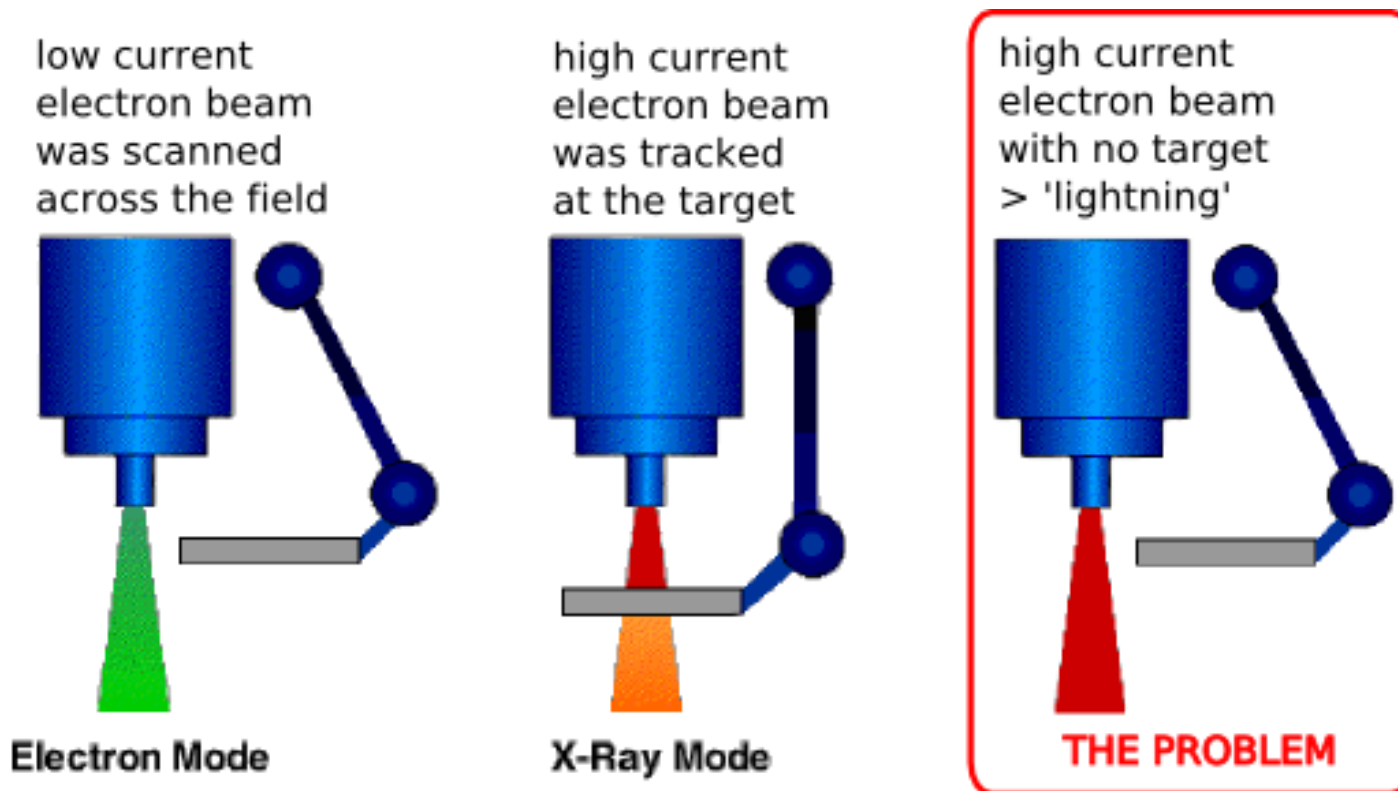
Einführung Therac-25

Hardware und Software

- Komponenten:
 - Daten(Kalibrierungstabellen, Einstellungen der Maschine, Patientendaten)
 - Scheduler(Ablaufplan)
 - Satz von kritischen und unkritischen Aufgaben
 - Interrupted Services(Fehlerbehandlung und Initialisierung des Systems)
- Aufgaben:
 - Überwachung
 - Vergleichen der Daten
 - Einstellung der Maschine
 - Abbruch
 - Überwachung Sicherheitssperre(„Interlocks“)

Einführung Therac-25

Hardware und Software



tray including the target, a flattening filter, the collimator jaws and an ion chamber was moved OUT for "electron" mode, and IN for "photon" mode.

<http://radonc.wdfiles.com/local--files/radiation-accident-therac25/Therac25.png>

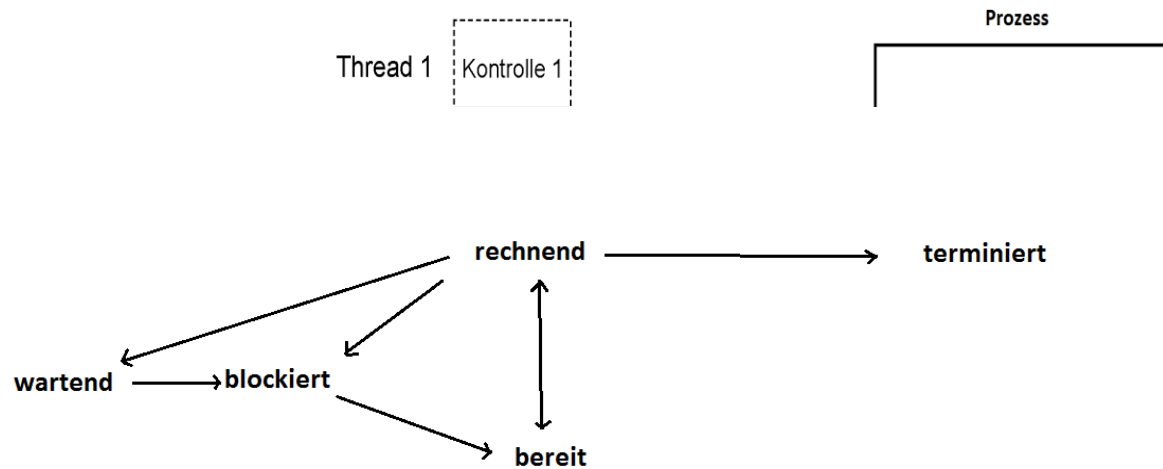
Einführung in die Nebenläufigkeit

Threading

- Thread, auch Aktivitätsträger oder leichtgewichtiger Prozess genannt = Ausführungsreihenfolge eines Prozesses
- Prozesse können mehrere Threads haben.
- Alle Threads greifen auf den Hauptspeicher zu und tauschen untereinander Daten aus.
- Multithreading, mehrere Threads des gleichen Prozesses arbeiten nebeneinander = *Simultanes Multithreading*
- Hyper-Threading: ein Prozessor wird in zwei virtuelle Prozessoren aufgeteilt.
- Somit werden fast alle Ressourcen der CPU verwendet.

Einführung in die Nebenläufigkeit

Speichermodelle und Zustände



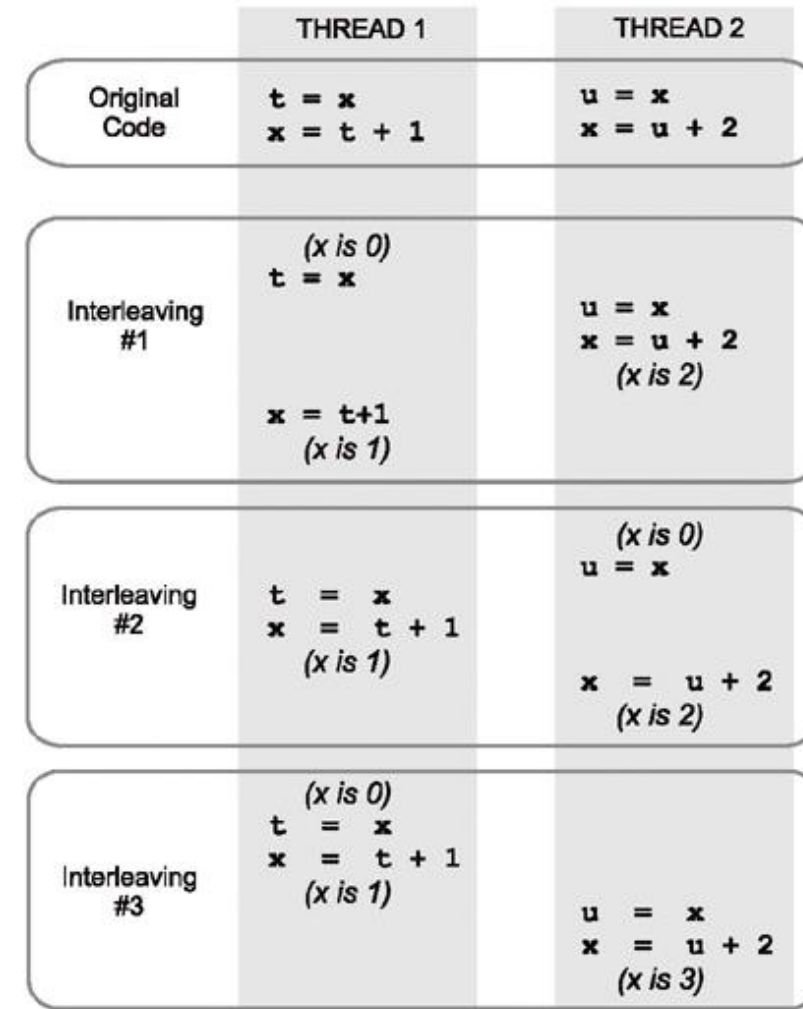
| | |
|------------|---------------------------------------|
| Rechnend | Wird ausgeführt |
| Bereit | Ist rechnen bereit |
| Blockiert | Braucht etwas was nicht Vorhanden ist |
| Wartend | wartet |
| Terminiert | Wird nicht mehr benötigt |

<https://www.pst:if i:lmun.de/lehre/SS06/infoII/folien/Folien15Threads1SS06.pdf>

Einführung in die Nebenläufigkeit

Probleme

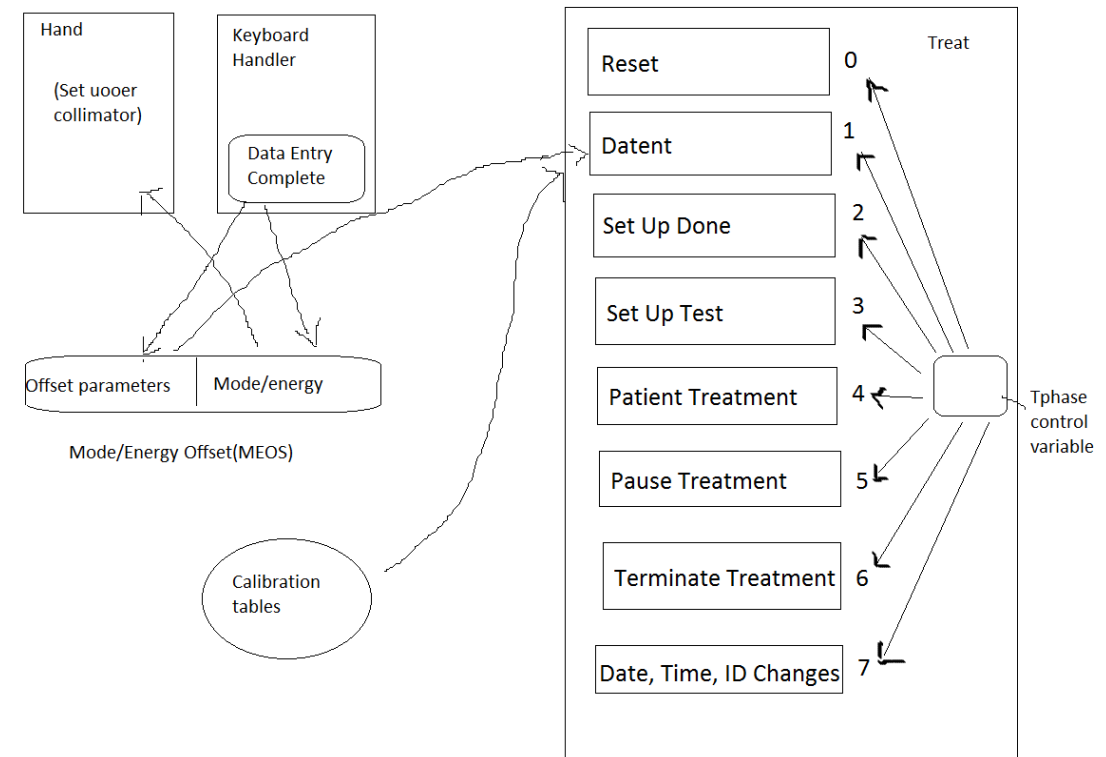
- *race condition*
- Vorkommen indem man Threads nur eine gewisse Zeit gibt
- Wichtigster Fehler bei Therac-25



Die Fehlfunktionen von Therac-25

Texas-Bug

- *Datent* und *Keyboard Handler* haben gemeinsame Variable = *Date entry complete*
- Wenn Eingabe komplett → Magnet wird ausgerichtet, ca. 8 Sek.
- Jeder Magnet ruft *ptime* auf
- Wenn Einstellung geändert wird soll *ptime* das überprüfen.
- Magnet ausrichten = **kritisch**
- Einstellung ändern = **nicht kritisch**

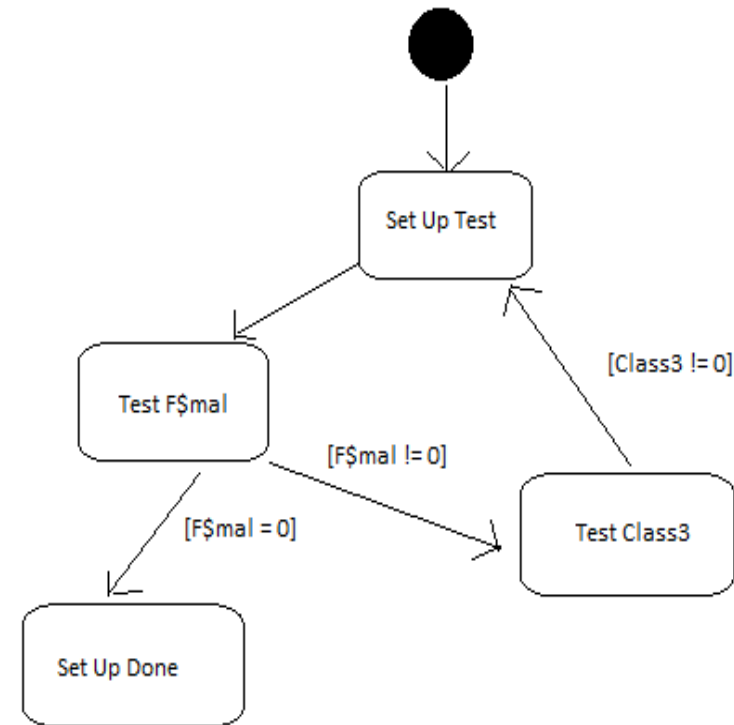


<http://formal:iti.kit.edu/beckert/teaching/Seminar-Softwarefehler-SS03/Ausarbeitungen/pfeifer.pdf>

Die Fehlfunktionen von Therac-25

Washington-Bug

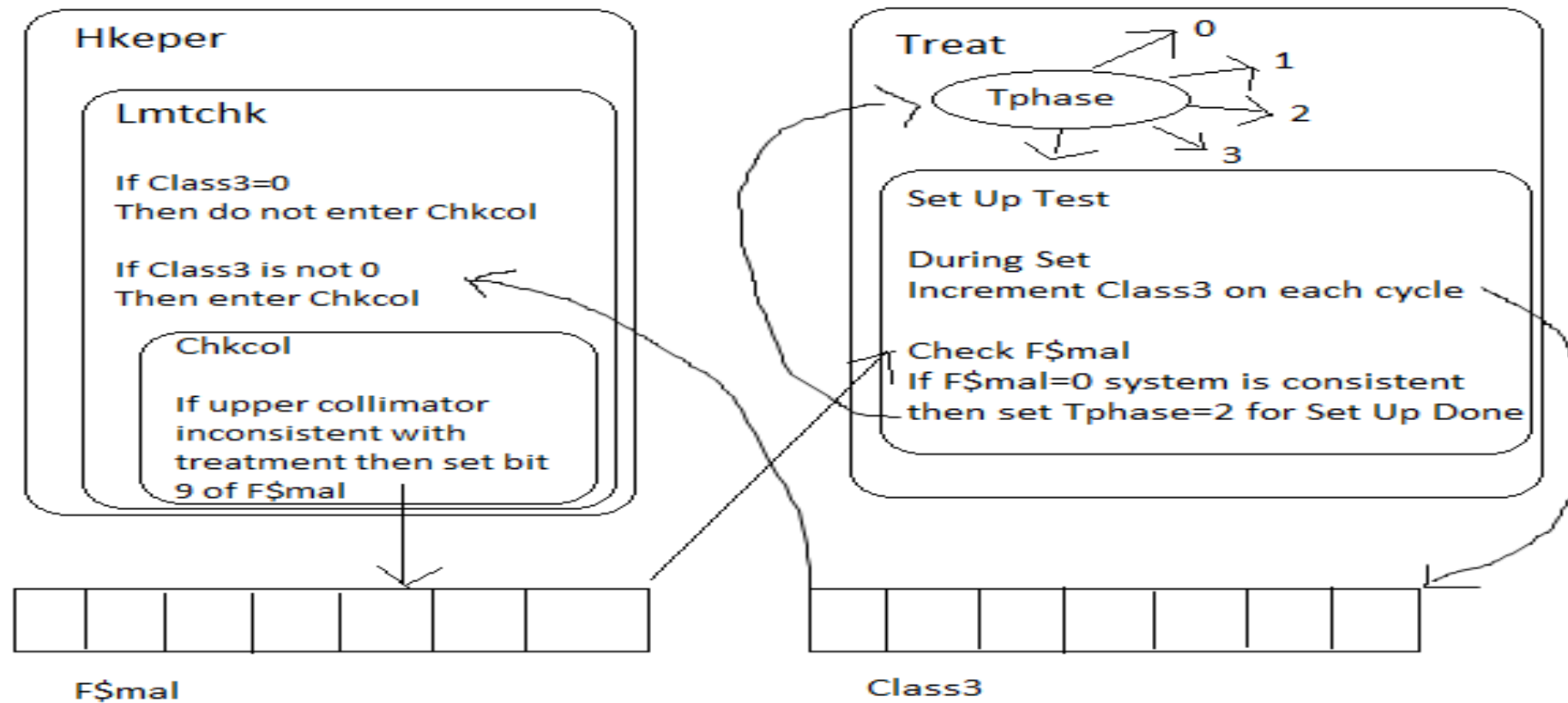
- Wenn Terminal eingestellt = Varified
- Benutzer drückt SET, dann wird SET UP TEST ausgeführt
- Bei jedem Aufruf wird die Variable Class 3 erhöht
 - Diese gibt an, ob Gerät in richtiger Position ist
- $\text{Class } 3 \neq 0$ Widerspruch, $= 0$ Behandlung wird ausgeführt
- SET UP Test wird mehrere 100mal zur Kontrolle aufgerufen
- → Class 3 wird dadurch immer erhöht und sobald sie über 1Byte kommt, passiert ein Overflow und = 0



In Anlehnung an:
<http://formal.iti.kit.edu/~beckert/teaching/Seminar-Softwarefehler-SS03/Ausarbeitungen/pfeifer.pdf>

Die Fehlfunktionen von Therac-25

Washington-Bug



Die Fehlfunktionen von Therac-25

Hintergründe und Versäumnisse

- Gemeinsamer Zugriff auf die Variablen
- *Test* und *Set* waren keine atomaren Anweisungen
- Behandlung konnte mit *treatment suspend* und *treatment pause* unterbrochen und aufgenommen werden.
- Fehlermeldungen Bezeichnung: *Mal-Funktion* und eine Zahl 1-64
- Über 40 Meldungen pro Tag
- Benutzung eines primitiven, eigenen Betriebssystems
- Softwareentwicklung, sowie wichtige Entscheidungen getroffen durch einen Entwickler
- Softwaretest: Systemtest bei Endkunde
- Unausgereiftes Betriebssystem
- Keine Hardware-Interlocks
- Bequemlichkeit der Endanwender über Sicherheit der Patienten
- Unzureichendes Prüfen und Zulassen des Geräts durch Behörden

Fazit

- Software sollte ausgiebig getestet werden.
- Hardware-Überwachungskomponenten verwenden = zuverlässiger
- Richtig dokumentieren
 - Damit Fehler behoben werden können
- Dadurch erhöhte sich die Aufmerksamkeit auf neue Geräte bevor sie auf den Markt kommen.

Danke für ihre Aufmerksamkeit 😊

Fragen?

Kritik?

Quellen

- [http://formal:iti:kit:edu/beckert/teaching/Seminar-Softwaref ehler-SS03=Ausarbeitungen/pfeifer:pdf](http://formal:iti:kit:edu/beckert/teaching/Seminar-Softwaref%20ehler-SS03=Ausarbeitungen/pfeifer.pdf)
- <http://www5.in.tum.de/lehre/seminare/semsoft/unterlagen02/therac/website/>
- [http://ww4.in.tum.de/lehre/seminare/ps/WS0203/desaster/Herbers-Hasan-Therac-Ausarbeitung-18-11-02:pdf](http://ww4.in.tum.de/lehre/seminare/ps/WS0203/desaster/Herbers-Hasan-Therac-Ausarbeitung-18-11-02.pdf)
- [http://www5.in.tum.de/lehre/seminare/semsoft/unterlagen02/therac/website/swskizze:gif](http://www5.in.tum.de/lehre/seminare/semsoft/unterlagen02/therac/website/swskizze.gif)
- [http://www5.in.tum.de/lehre/seminare/semsoft/unterlagen02/therac/website/interface:gif](http://www5.in.tum.de/lehre/seminare/semsoft/unterlagen02/therac/website/interface.gif)