Was muß ich tun, damit Embedded-Linux in einer Sekunde bootet?!

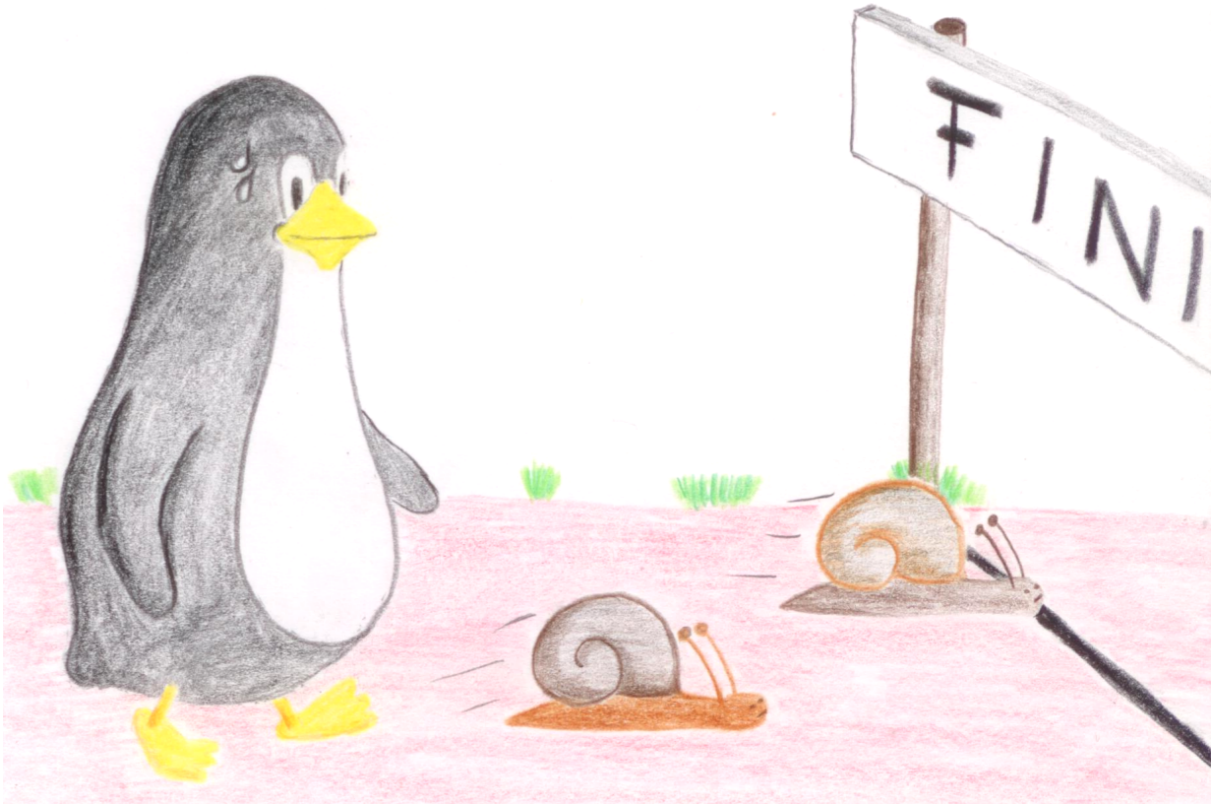
Jan Altenberg

Linutronix GmbH

22. Mai 2013

linu tronix

from zero...



linu
tronix

to hero...

Überblick

- Grundlagen
  - Motivation
  - Theoretische Grundlagen
- Optimierungen
  - Bootloader
  - Kernel
  - Dateisystem
  - Applikation
- Beispiel
  - Analyse des Testsystems
  - Optimierung des Testsystems

linu tronix

Grundlagen
- Motivation
- Theoretische Grundlagen

Optimierungen
- Bootloader
- Kernel
- Dateisystem
- Applikation

Beispiel
- Analyse des Testsystems
- Optimierung des Testsystems

Motivation

- Automotiveanwendungen
- Energie sparen

linu tronix

Der erste Schritt: Anforderungsdefinition

- Wo liegt die Obergrenze für die Bootzeit?
- Welche Funktionalität muß nach dieser Zeit zur Verfügung stehen?
- Geschwindigkeit vs. Flexibilität

Teilkomponenten des Bootprozesses

- Hardware-Reset
- Bootloader
- Betriebssystem (Laden von Treibern, Einbinden des Dateisystems)
- Startskripte / Applikation

Kritische Hardwarekomponenten

- Netzteil
- Resetlogik
- Bootlogik / Bootreihenfolge
- Anbindung des Bootmediums
- Anbindung der benötigten Peripherie

Wichtig: Die Hardware ist wesentlicher Bestandteil eines Fastbootkonzeptes!!

Bootloader

- ”Basiskonfiguration” der CPU
- Aufsetzen der sogenannten ATAGs Struktur
- Flushen der Caches
- Ausschalten der MMU

Der Linux Kernel

- Viele Funktionen zur Bootzeitoptimierung
- Sehr flexibel
- Kompression
- Möglichkeiten zur Parallelisierung von Initialisierungen
- Ca. 150ms - 250ms bis zum Einbinden des Dateisystems

Die Applikation

- In bestehenden Systemen oft am meisten Optimierungspotential
- Startskripte
- Linking

linutronix

Grundlagen
- Motivation
- Theoretische Grundlagen

Optimierungen
- Bootloader
- Kernel
- Dateisystem
- Applikation

Beispiel
- Analyse des Testsystems
- Optimierung des Testsystems

Bootloader-Optimierungen (U-Boot) 1

Entfernen von im Feld nicht benötigten Features:

```
1 /* include/configs/boardname.h */
2 [...]
3 #include <config_cmd_default.h>
4 #undef CONFIG_CMD_NET
5 [...]
```

Bootloader-Optimierungen (U-Boot) 2

Verifizieren des Kernel Images:

```
setenv verify n
```

Keine Ausgaben der U-Boot Konsole:

```
setenv silent 1
```

Warten auf Nutzereingabe:

```
setenv bootdelay 0
```

linutronix

Grundlagen
- Motivation
- Theoretische Grundlagen

Optimierungen
- Bootloader
- Kernel
- Dateisystem
- Applikation

Beispiel
- Analyse des Testsystems
- Optimierung des Testsystems

Kerneloptimierungen: Konfiguration

```
General setup  --->
Kernel compression mode -->
```

- LZO für Embeddedsysteme sehr interessant
- Kopieren vs. Dekomprimieren
- Für Speichermedien mit wahlfreiem Lesezugriff steht auch ”Execute in Place (XIP)” zur Verfügung

Kerneloptimierungen: Commandlineparameter

- Parameter zur Analyse der Laufzeit im Bootprozeß: ”initcall_debug”, ”printk_time=1”
- Delay Loop Calibration: ”lpj=”; Kann auf ARM9 Systemen > 100ms einsparen.

Kerneloptimierungen: Delayloop

```
...
[0.018847] Calibrating delay loop...
           626.68 BogoMIPS (lpj=3133440)
[0.316717] pid_max: default: 32768 minimum: 301
...
```

Kerneloptimierungen: initcall_debug

```
[0.452115] calling  exceptions_init+0x0/0x90 @ 1
[0.452172] initcall exceptions_init+0x0/0x90
                returned 0 after 0 usecs
[0.452203] calling  versatile_i2c_init+0x0/0x24 @ 1
[0.452321] initcall versatile_i2c_init+0x0/0x24
                returned 0 after 0 usecs
[0.452352] calling  pl011_init+0x0/0x54 @ 1
[0.452382] Serial: AMBA PL011 UART driver
[0.453647] dev:f1: ttyAMA0 at MMIO 0x101f1000
                (irq = 12) is a PL011 rev1
[0.481540] console [ttyAMA0] enabled
...
[0.484427] initcall pl011_init+0x0/0x54
                returned 0 after 29296 usecs
```

bootgraph.pl

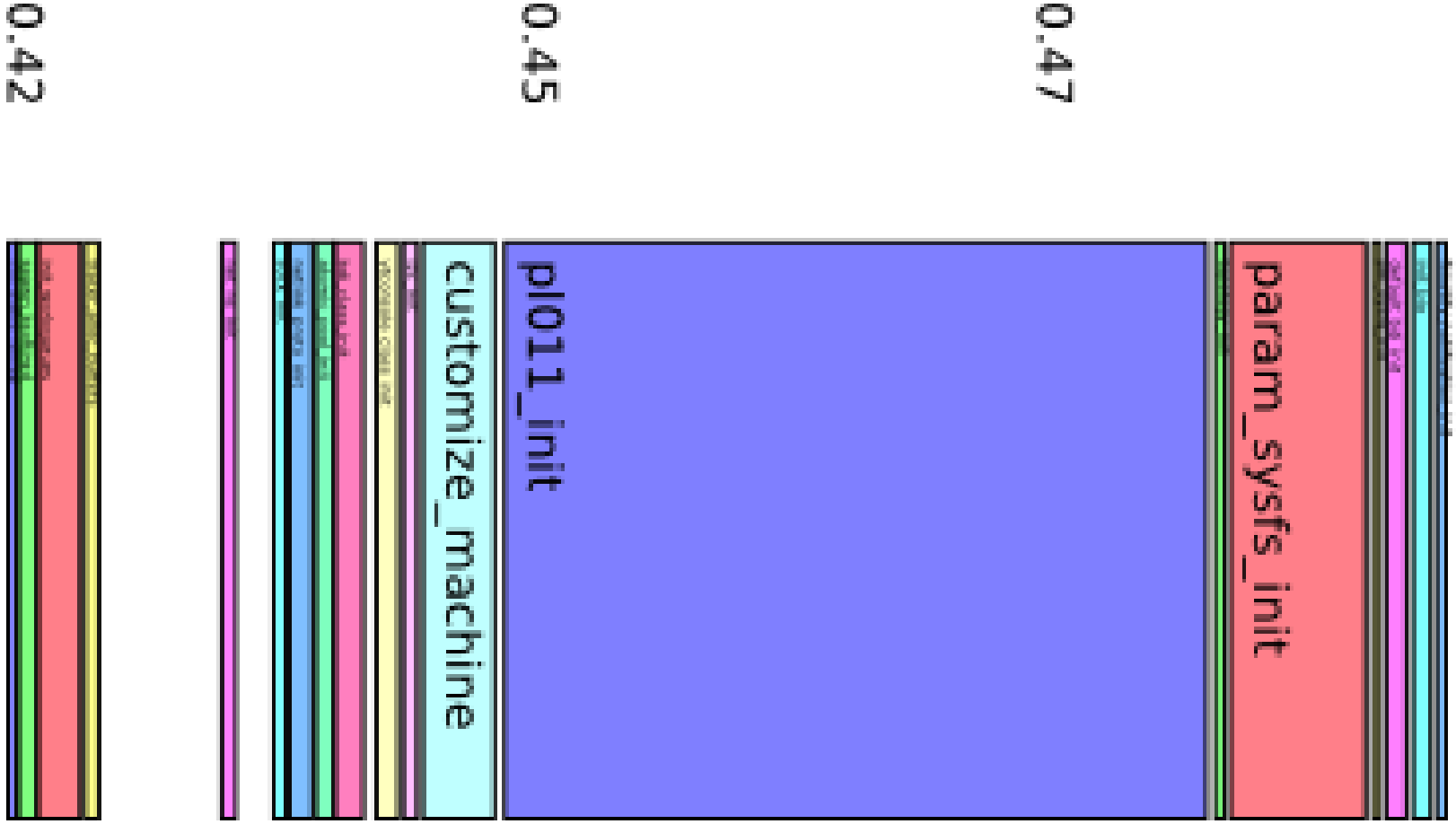
1. Vorbereitung: Booten mit ”initcall_debug loglevel=8
2. Auf dem Target:

```
$ dmesg > bootlog.txt
```

3. Auf dem Host:

```
$ cd linux-XXX
$ cat /path_to_rfs/bootlog.txt | \
   perl scripts/bootgraph.pl > bootlog.svg
```

scripts/bootchart.pl



linutronix

Grundlagen
- Motivation
- Theoretische Grundlagen

Optimierungen
- Bootloader
- Kernel
- Dateisystem
- Applikation

Beispiel
- Analyse des Testsystems
- Optimierung des Testsystems

InitRAMFS

```
dir /dev 755 0 0
nod /dev/console 644 0 0 c 5 1
nod /dev/loop0 644 0 0 b 7 0
dir /bin 755 1000 1000
slink /bin/sh busybox 777 0 0
file /bin/busybox initfs/busybox 755 0 0
[...]
dir /proc 755 0 0
dir /sys 755 0 0
dir /mnt 755 0 0
```

InitRAMFS: Mehrstufiges booten

Initprozeß für das InitRAMFS wird mit rdinit= festgelegt.
Zum Beispiel: rdinit=/etc/init.d/start.sh

InitRAMFS: Mehrstufiges booten

/etc/init.d/start.sh:

```
#!/bin/sh
mount -t proc proc /proc
mount -t sysfs sysfs /sys
mount -t devtmpfs devtmpfs /dev

mount /dev/mmcblk0p1 /media
fbsplash -s /media/splash.ppm -d /dev/fb0

mount -o move /proc /mnt/proc
mount -o move /sys /mnt/sys
mount -o move /dev /mnt/dev

exec switch_root /mnt /linuxrc
```

linutronix

Grundlagen
- Motivation
- Theoretische Grundlagen

Optimierungen
- Bootloader
- Kernel
- Dateisystem
- Applikation

Beispiel
- Analyse des Testsystems
- Optimierung des Testsystems

Optimierungen der Applikation

- Analyse des Startprozesses mit bootchartd
- Ggf. direktes Starten der Applikation mit init=
- Überprüfung dynamisch gelinkter Applikationen
- pre-linking der Applikation
- ”function-reordering”

Dynamisches Linken

1. DT_RPATH Sektion des ELF Executables
2. Pfade, die in LD_LIBRARY_PATH spezifiziert sind
3. DT_RUNPATH Sektion des ELF Executables
4. Binärfile /etc/ld.so.cache
5. Defaultpfade /lib und /usr/lib

Dynamisches Linken: Analyse

```
$ LD_DEBUG=libs ls
   3082: find library=librt.so.1 [0];
         searching
   3082: search cache=/etc/ld.so.cache
   3082: trying file=/lib/librt.so.1
```

linutronix

Grundlagen
- Motivation
- Theoretische Grundlagen

Optimierungen
- Bootloader
- Kernel
- Dateisystem
- Applikation

Beispiel
- Analyse des Testsystems
- Optimierung des Testsystems

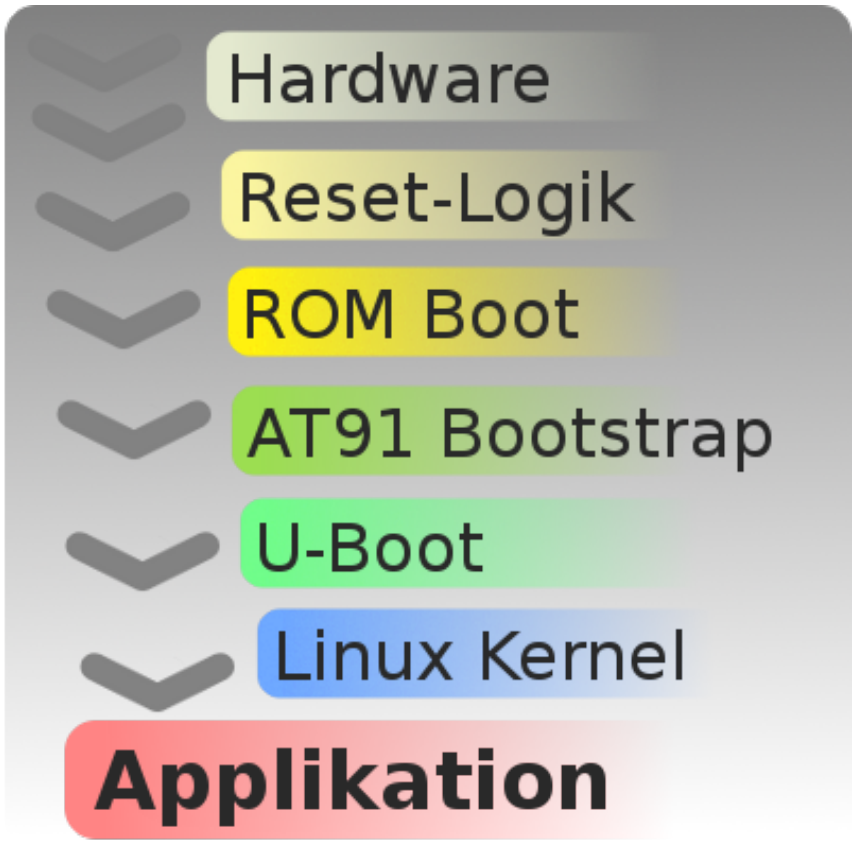
Testsystem

- ARM9 CPU der Atmel AT91 Serie
- Ausgangspunkt: Busybox Image der Angstrom Distribution
- Speichermedium: NAND-Flash
- Testapplikation: Toggeln eines GPIO über das SysFS GPIO-Interface

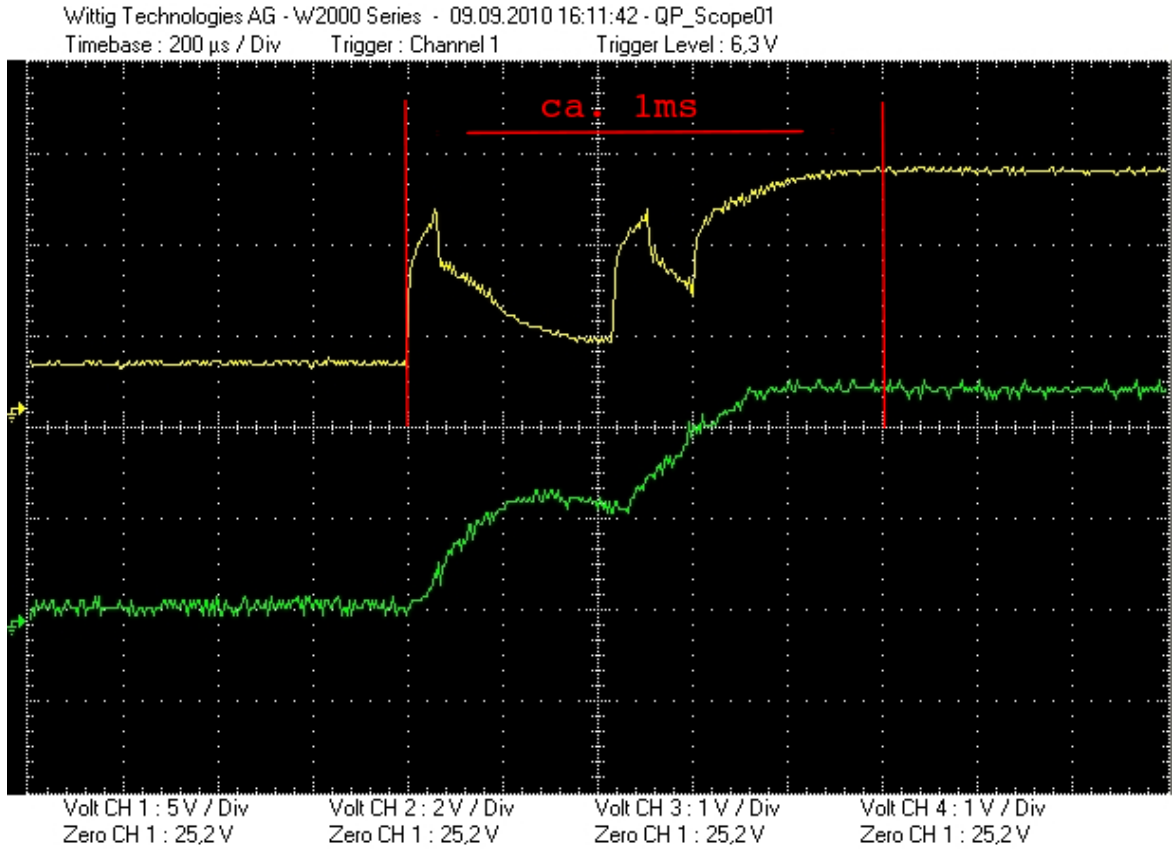
Bootmodi der AT91 Familie

- RomBOOT: Booten über eine interne Bootlogik
- Booten über CS0 des External Bus Interface

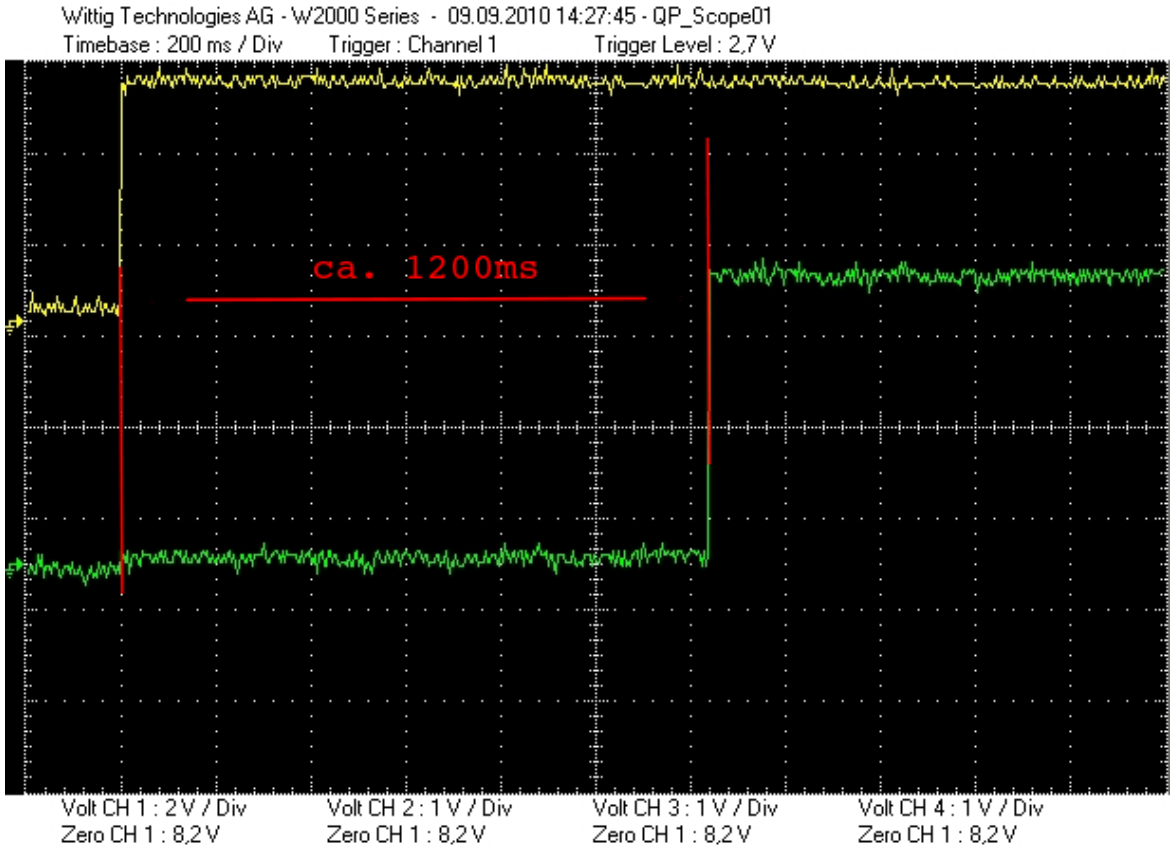
AT91 RomBOOT



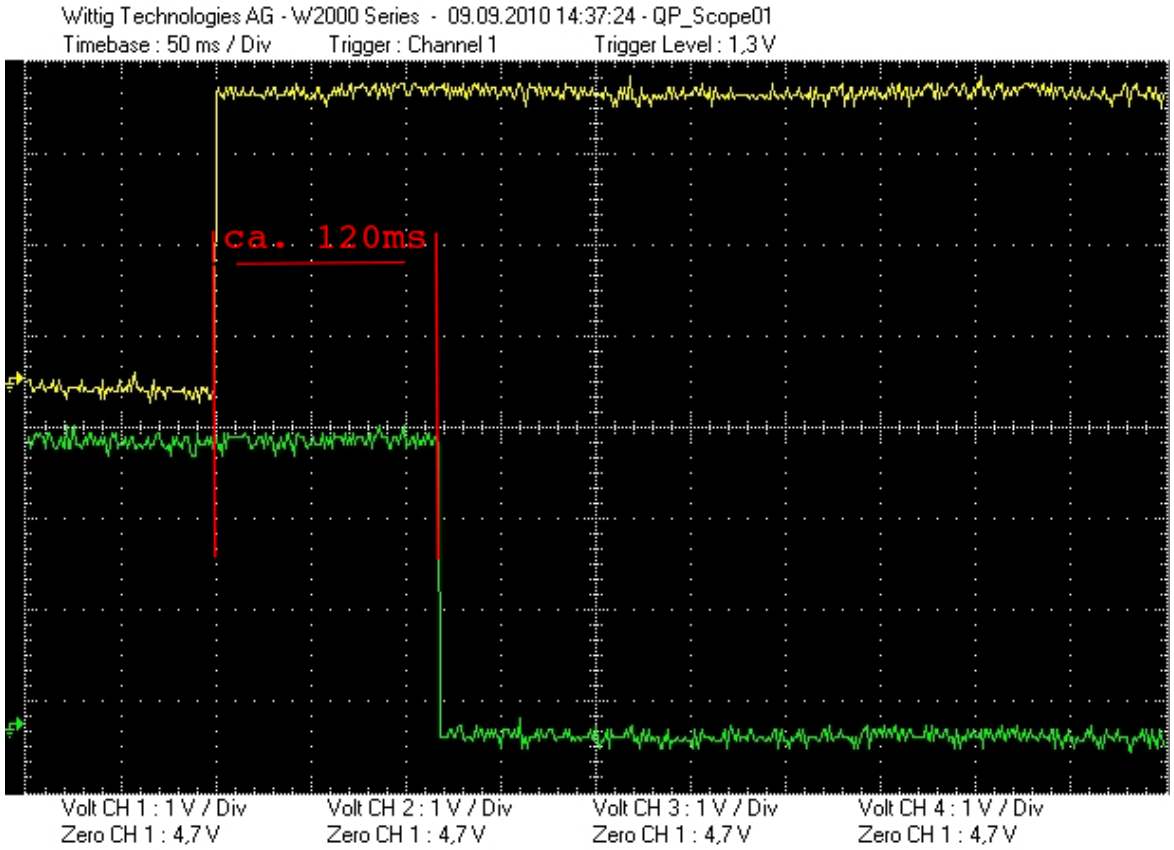
Einschaltverhalten / Netzteil



Resetverhalten



RomBOOT


Wittig Technologies AG - W2000 Series - 09.09.2010 14:37:24 - QP_Scope01
Timebase : 50 ms / Div
Trigger : Channel 1
Trigger Level : 1,3 V
ca. 120ms
Volt CH 1 : 1 V / Div
Zero CH 1 : 4,7 V
Volt CH 2 : 1 V / Div
Zero CH 1 : 4,7 V
Volt CH 3 : 1 V / Div
Zero CH 1 : 4,7 V
Volt CH 4 : 1 V / Div
Zero CH 1 : 4,7 V

Fazit / Hardwareoptimierungen

- Internen Oszillator für Slowclock verwenden: > 1s Ersparnis
- Booten von CS0: 100ms - 150ms Ersparnis

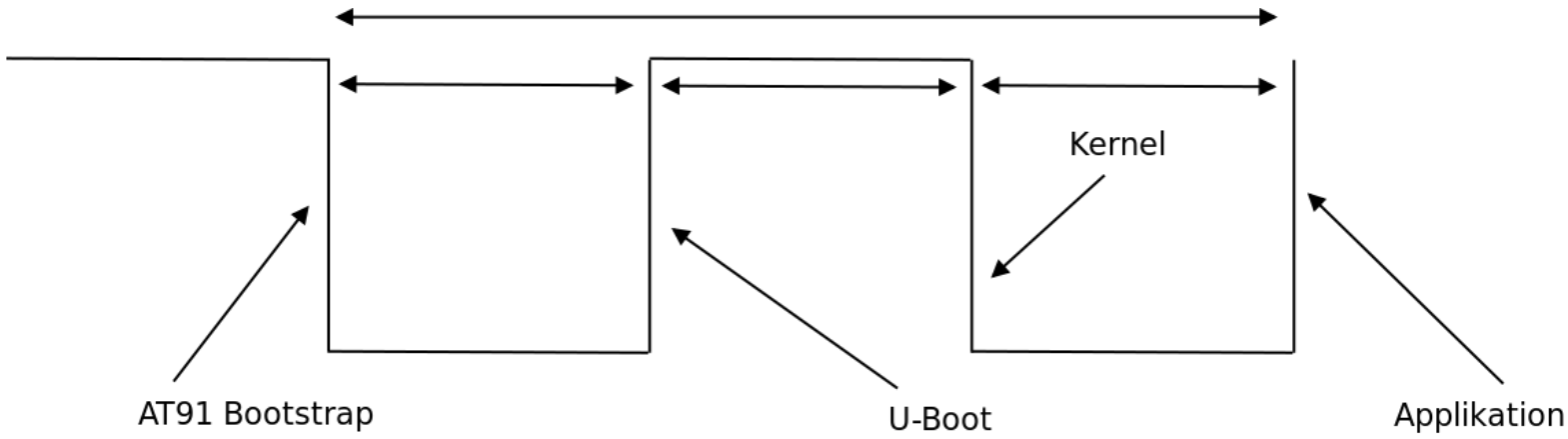
linutronix

Grundlagen
- Motivation
- Theoretische Grundlagen

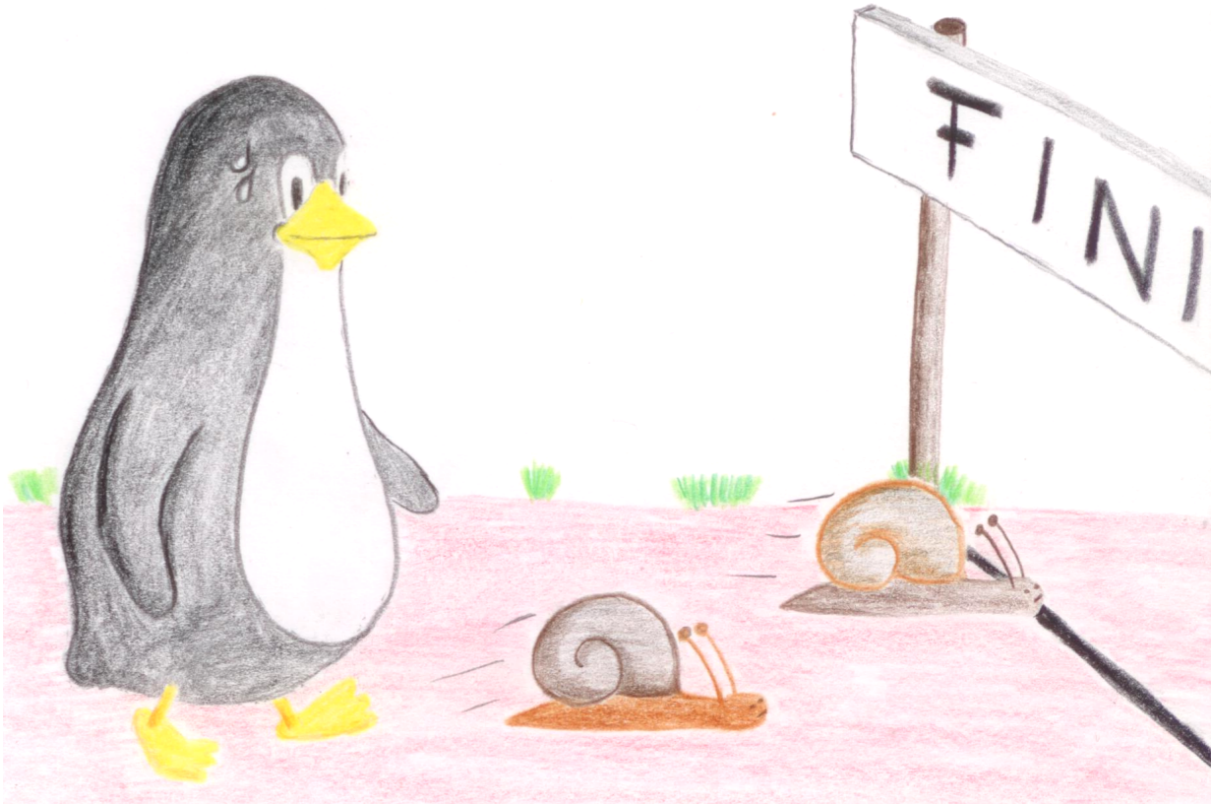
Optimierungen
- Bootloader
- Kernel
- Dateisystem
- Applikation

Beispiel
- Analyse des Testsystems
- Optimierung des Testsystems

Bootzeitmessung mittels GPIO



Initiales Bootverhalten



Initiales Bootverhalten

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Uboot	—
Uboot - Kernel	6,5s
Kernel - Applikation	4,5s
Gesamt	**11s**

Einfache Optimierungen

U-Boot ohne Netzwerkunterstützung

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Uboot	—
Uboot - Kernel	4,25s
Kernel - Applikation	4,5s
Gesamt	**8,75s**

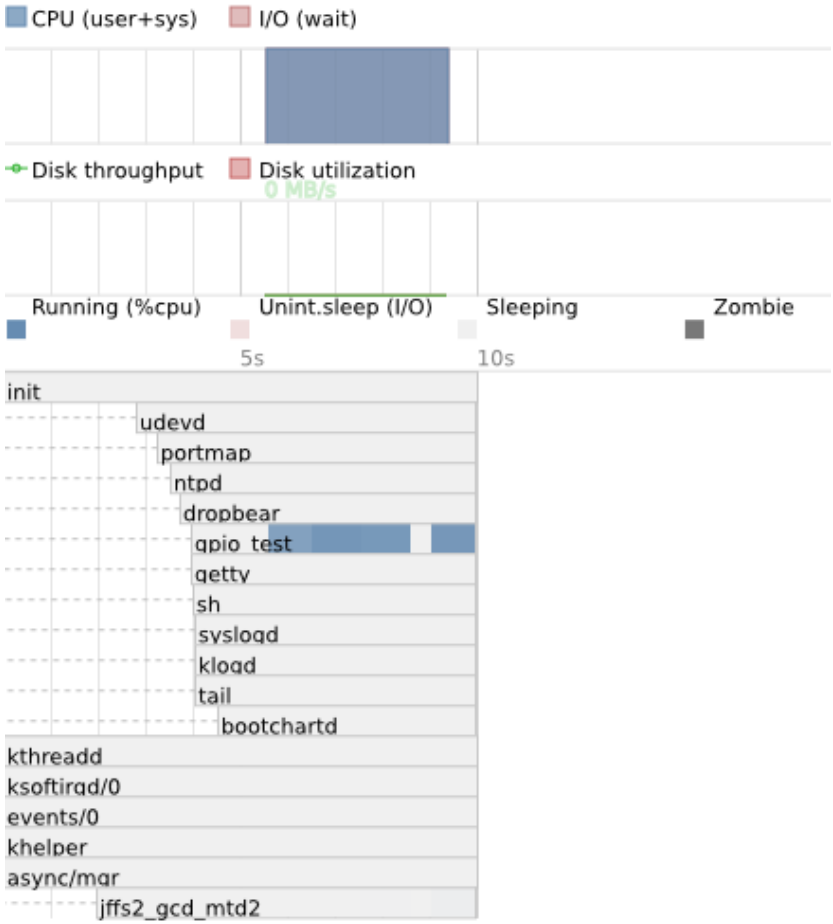
U-Boot verify=n

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Uboot	—
Uboot - Kernel	3,89s
Kernel - Applikation	4,5s
Gesamt	**8,39s**

Kernel ”abspecken”

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Uboot	—
Uboot - Kernel	3,77s
Kernel - Applikation	4,33s
Gesamt	**8,1s**

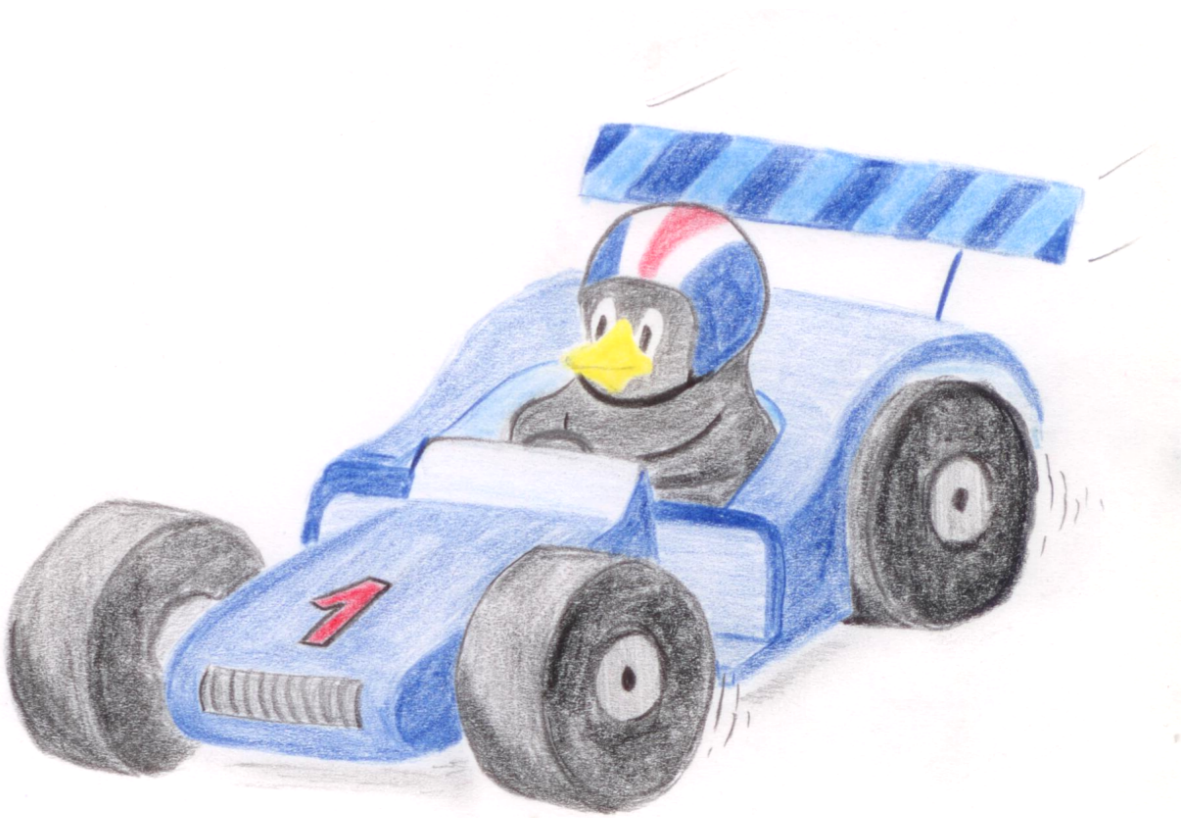
Analyse der Startskripte: Bootchartd



Optimieren der Startskripte

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Uboot	—
Uboot - Kernel	3,77s
Kernel - Applikation	3,61
Gesamt	**7,38s**

Booten über eine RAMdisk / InitRAMFS

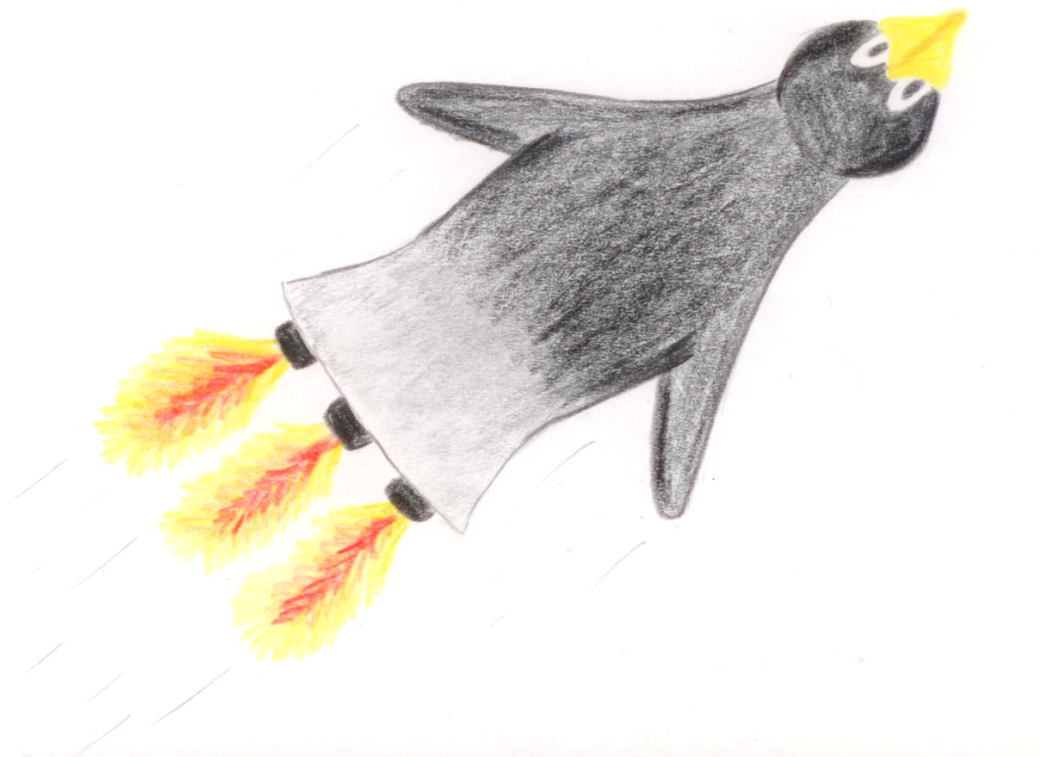


LZO komprimiertes InitRAMFS

Die Applikation wird direkt mit init= angestartet.

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Uboot	—
Uboot - Kernel	3,79s
Kernel - Applikation	0,372s
Gesamt	**4,162s**

Modifizierter AT91 Bootstrap



Modifizierter AT91 Bootstrap

AT91 Bootstrap startet direkt Linux an. D.h. es wird ohne U-Boot gebootet.

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Kernel	676ms
Kernel - Applikation	584ms
Gesamt	**1,260s**

lpj=

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Kernel	676ms
Kernel - Applikation	384ms
Gesamt	**1,060s**

linu tronix

< 1s !!

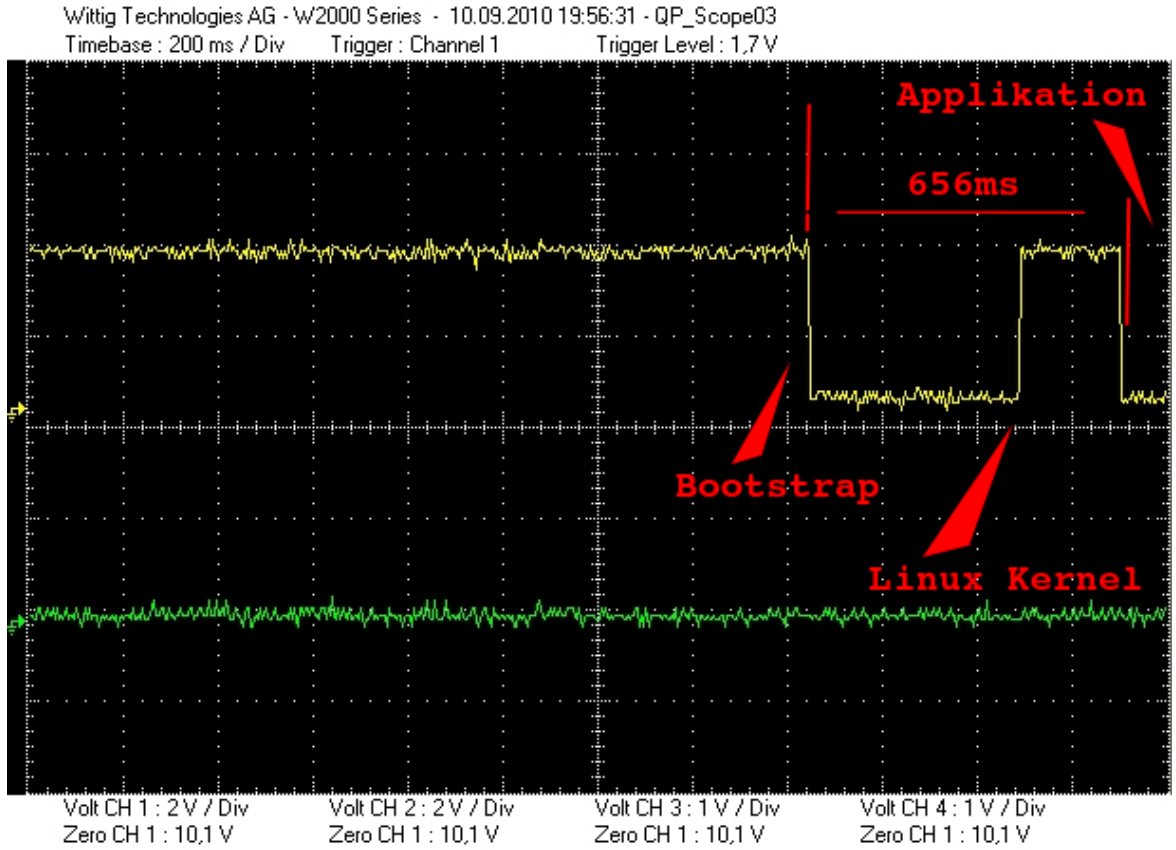
Keine Ausgaben auf serielle Schnittstelle (quiet)

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Kernel	524ms
Kernel - Applikation	212ms
Gesamt	**736ms**

LZO komprimiertes Kernelimage

Messpunkt	Zeit
Bootstrap - Kernel	444ms
Kernel - Applikation	212ms
Gesamt	**656ms**

Bootverhalten nach den Optimierungen



linu tronix

Fazit

- Die Hardware ist wesentlicher Bestandteil eines Fastbootkonzeptes
- Linux bietet die optimale Plattform für jeden, der ein modernes Betriebssystem verwenden möchte, aber in weniger als 1s booten muß
- Bereits mit einfachen Optimierungen können mehrere Sekunden gespart werden