

Echtzeitsysteme - Übungen

Entwicklungsumgebung

Wintersemester 2025

Eva Dengler Peter Wägemann

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

Lehrstuhl Informatik 4 (Systemsoftware)

<https://sys.cs.fau.de>



informatik 4
systemsoftware



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Einführung in eCos

Entwicklungsumgebung

- Werkzeugkette und CMake

- Blackmagic

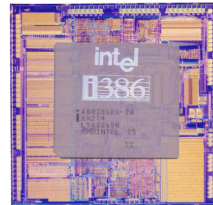
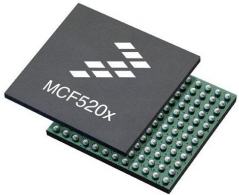
- Pulsweitenmodulation

- Tiefpassfilter

- Oszilloskop-Bedienung

Debuggen mit GDB

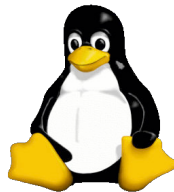
Prozessorvielfalt in der Echtzeitwelt



Noch mehr Betriebssysteme

free **RTOS**

μClinux



eCos is an embedded, highly configurable, open-source, royalty-free, real-time operating system.

- Ursprünglich von der Fa. Cygnus Solutions entwickelt (1997)
- Primäres Entwurfsziel:
 - „deeply embedded systems“
 - „high-volume application“
 - „consumer electronics, telecommunications, automotive, ...“
- Zusammenarbeit mit Redhat (1999)
- Seit 2002 quelloffen (GPL)

⇒ <http://ecos.sourceware.org>



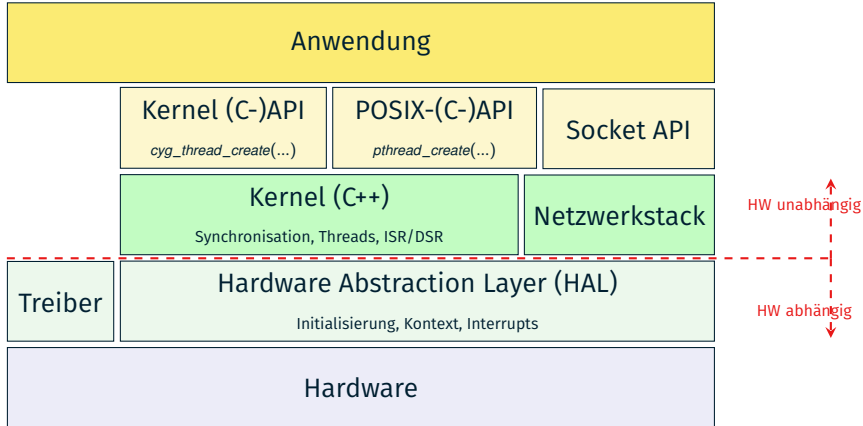
- Fujitsu SPARClite
- Matsushita MN10300
- Motorola PowerPC
- Advanced RISC Machines (ARM)
- Toshiba TX39
- Infineon TriCore
- Hitachi SH3
- NEC VR4300
- MB8683X

⇒ *ARM Cortex*

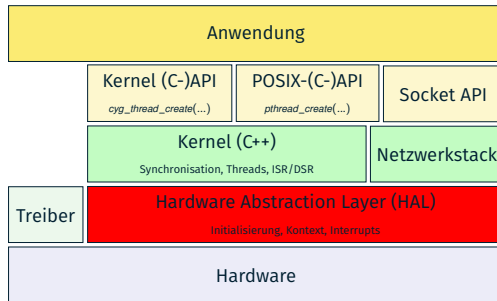
⇒ *Intel x86*

- ...

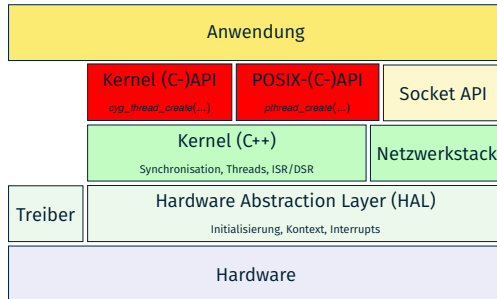




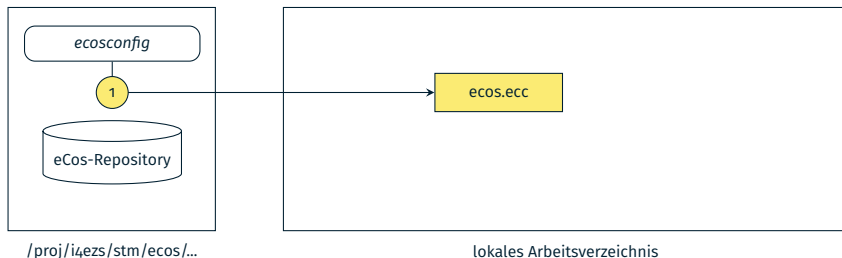
- Abstrahiert CPU- und plattformspezifische Eigenschaften
 - Kontextwechsel
 - Interruptverwaltung
 - CPU-Erkennung, Startup
 - Zeitgeber, I/O-Registerzugriffe



- Kernel API
 - vollständige C-Schnittstelle
 - Dokumentation <http://ecos.sourceware.org/docs-2.0/ref/ecos-ref.html>
- (Optionale) POSIX-Kompatibilitätsschicht
 - Scheduling-Konfiguration, *pthread_**
 - Timer, Semaphore, Message Queues, Signale, ...

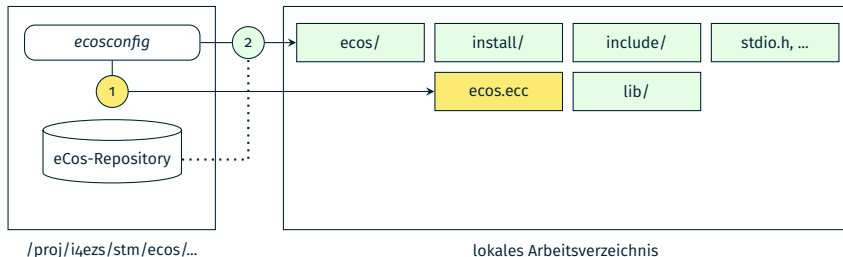


1. Erstellen einer Konfiguration (configtool/ecosconfig)



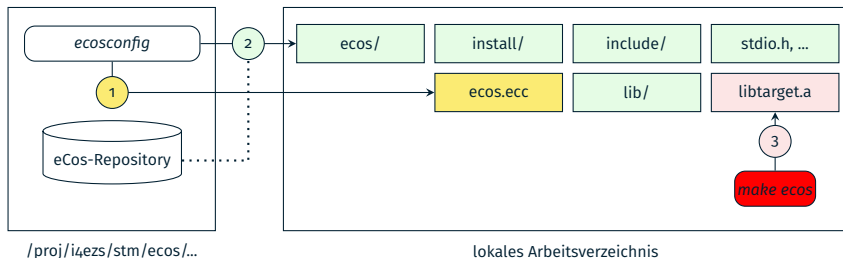
eCos-Entwicklungszyklus

1. Erstellen einer Konfiguration (configtool/ecosconfig)
2. Kopieren ausgewählter Komponenten (configtool/ecosconfig)



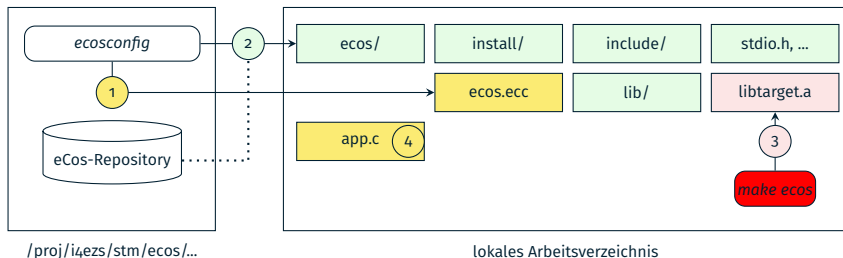
eCos-Entwicklungszyklus

1. Erstellen einer Konfiguration (configtool/ecosconfig)
2. Kopieren ausgewählter Komponenten (configtool/ecosconfig)
3. Erstellen einer Betriebssystembibliothek



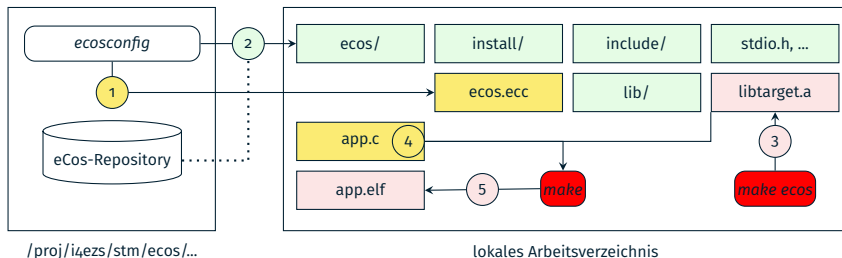
eCos-Entwicklungszyklus

1. Erstellen einer Konfiguration (configtool/ecosconfig)
2. Kopieren ausgewählter Komponenten (configtool/ecosconfig)
3. Erstellen einer Betriebssystembibliothek
4. Entwicklung der eigentlichen Anwendung



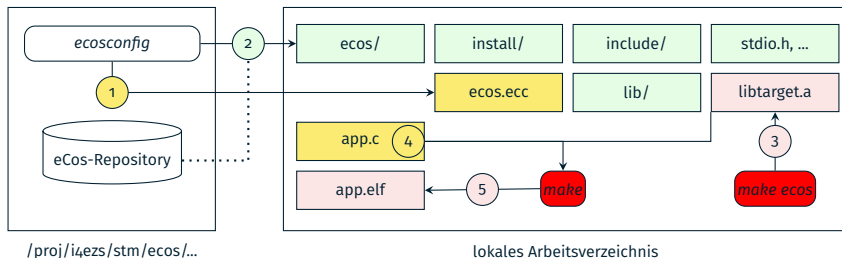
eCos-Entwicklungszyklus

1. Erstellen einer Konfiguration (configtool/ecosconfig)
2. Kopieren ausgewählter Komponenten (configtool/ecosconfig)
3. Erstellen einer Betriebssystembibliothek
4. Entwicklung der eigentlichen Anwendung
5. Kompilieren des Gesamtsystems



eCos-Entwicklungszyklus

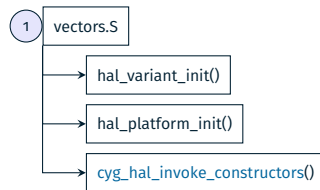
1. Erstellen einer Konfiguration (configtool/ecosconfig)
2. Kopieren ausgewählter Komponenten (configtool/ecosconfig)
3. Erstellen einer Betriebssystembibliothek
4. Entwicklung der eigentlichen Anwendung
5. Kompilieren des Gesamtsystems



Für jede Übung wird eine Konfiguration vorgegeben (Schritte 1–3)

1. vectors.S

- Hardwareinitialisierung
- Globale Konstruktoren

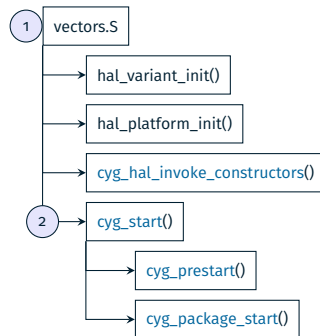


1. vectors.S

- Hardwareinitialisierung
- Globale Konstruktoren

2. `cyg_start()`:

- Hardwareunabhängige Vorbereitungen



1. vectors.S

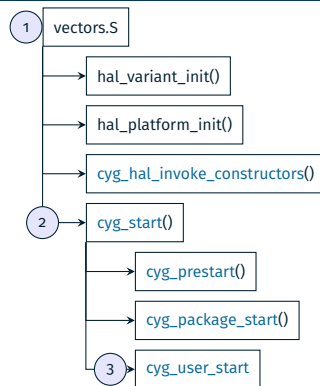
- Hardwareinitialisierung
- Globale Konstruktoren

2. `cyg_start()`:

- Hardwareunabhängige Vorbereitungen

3. `cyg_user_start`:

- Einsprungpunkt für Anwendungscode!
- Erzeugen von Threads



eCos-Systemstart

1. vectors.S

- Hardwareinitialisierung
- Globale Konstruktoren

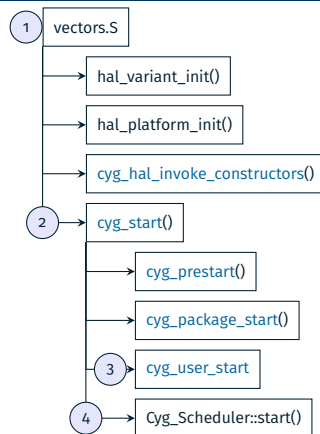
2. `cyg_start()`:

- Hardwareunabhängige Vorbereitungen

3. `cyg_user_start`:

- Einsprungpunkt für Anwendungscode!
- Erzeugen von Threads

4. Starten des Schedulers



1. vectors.S

- Hardwareinitialisierung
- Globale Konstruktoren

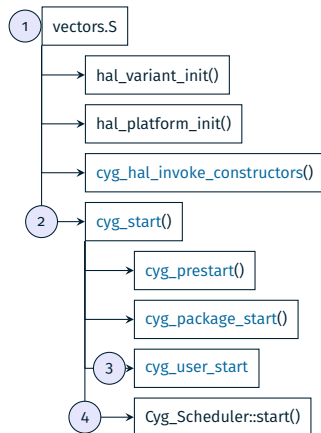
2. `cyg_start()`:

- Hardwareunabhängige Vorbereitungen

3. `cyg_user_start`:

- Einsprungpunkt für Anwendungscode!
- Erzeugen von Threads

4. Starten des Schedulers

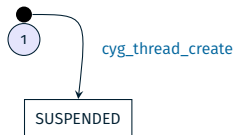


Wichtig!

In allen Übungsaufgaben muss man `cyg_user_start()` implementieren und dort alle Threads anlegen. *Die Funktion muss zurückkehren!*

1. Thread wird im Zustand *suspended* erzeugt.

- `suspend_count = 1`

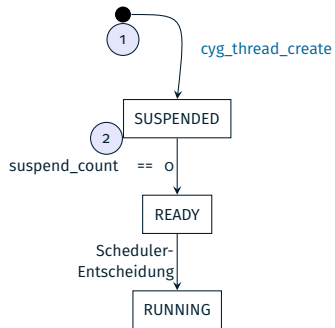


1. Thread wird im Zustand *suspended* erzeugt.

- `suspend_count = 1`

2. `cyg_thread_resume` aktiviert

- `suspend_count--`



1. Thread wird im Zustand *suspended* erzeugt.

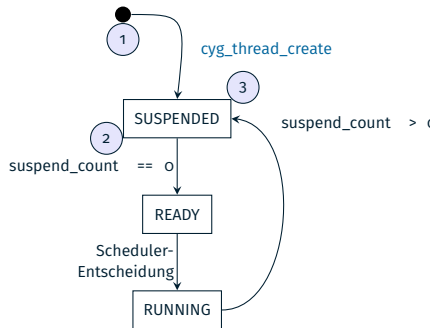
- `suspend_count = 1`

2. `cyg_thread_resume` aktiviert

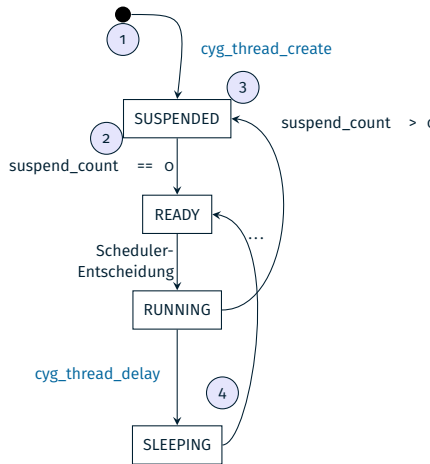
- `suspend_count--`

3. `cyg_thread_suspend` suspendiert

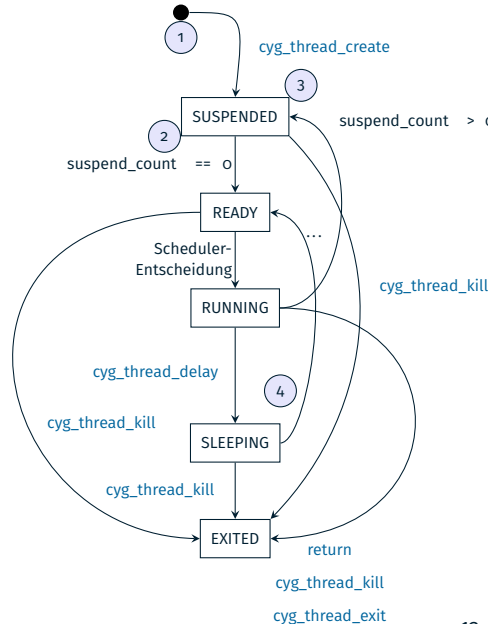
- `suspend_count++`



1. Thread wird im Zustand *suspended* erzeugt.
 - `suspend_count = 1`
2. `cyg_thread_resume` aktiviert
 - `suspend_count--`
3. `cyg_thread_suspend` suspendiert
 - `suspend_count++`
4. delay, mutex, semaphore wait



1. Thread wird im Zustand *suspended* erzeugt.
 - `suspend_count = 1`
2. `cyg_thread_resume` aktiviert
 - `suspend_count--`
3. `cyg_thread_suspend` suspendiert
 - `suspend_count++`
4. delay, mutex, semaphore wait
5. Threadterminierung



Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

- Einbinden der nötigen Headerdatei
- Anlegen eines neuen eCos-Threads

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info ,
5     cyg_thread_entry_t* entry ,
6     cyg_addrword_t entry_data ,
7     char* name ,
8     void* stack_base ,
9     cyg_ucount32 stack_size ,
10    cyg_handle_t* handle ,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

- faktisch: Threadpriorität
- O
 - höchste Priorität
 - für Systemprozesse freilassen
- CYG_THREAD_MIN_PRIORITY
 - Idle-Thread

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

- Threadeinsprungpunkt
- Funktionszeiger
- Signatur: `void (*)(cyg_addrword_t)`

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

- Threadparameter
- Beliebiger Übergabeparameter
 - z. B. Zeiger auf threadlokale Daten

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

- Beliebiger Threadname
- Tipp: (gdb) info threads

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

- Basisadresse des Threadstacks
(→ &stack[0])
- `cyg_uint8`-Array
- Global definieren
→ Datensegment!
- *Warum ist die notwendig?*

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

- Stackgröße in Bytes

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

■ Eindeutiger Identifikator

zur “Steuerung” z. B.:

- `cyg_thread_resume(handle)`
- `cyg_thread_set_priority(handle)`
- `cyg_thread_kill(handle)`
- ...

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

- Speicher für interne Fadeninformationen
 - Fadenzustand u. a. suspend_count
- Vermeidung dynamischer Speicherallokation im Kernel

Threaderzeugung in eCos

```
1 #include <cyg/kernel/kapi.h>
2 void cyg_thread_create
3 (
4     cyg_addrword_t sched_info,
5     cyg_thread_entry_t* entry,
6     cyg_addrword_t entry_data,
7     char* name,
8     void* stack_base,
9     cyg_ucount32 stack_size,
10    cyg_handle_t* handle,
11    cyg_thread* thread
12 );
```

Ausführliche Dokumentation

<http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-thread-create.html>

eCos-Beispielanwendung

```
1  #include <cyg/hal/hal_arch.h>
2  #include <cyg/kernel/kapi.h>
3  #include <stdio.h>
4  #define MY_PRIORITY          11
5  #define STACKSIZE            (CYGNUM_HAL_STACK_SIZE_MINIMUM+4096)
6  static cyg_uint8             my_stack[STACKSIZE];
7  static cyg_handle_t          my_handle;
8  static cyg_thread             my_thread;
9
10 static void my_entry(cyg_addrword_t data) {
11     int message = (int) data;
12     ezs_printf("Beginning execution: thread data is %d\n", message);
13     for (;;) {
14         ezs_printf("Hello World!\n"); // \n flushes output
15         ezs_delay_us(1000000); // Delay for 1000000 * 1us = 1 second
16     }
17 }
18 void cyg_user_start(void) {
19     ezs_printf("Entering cyg_user_start() function\n");
20     cyg_thread_create(MY_PRIORITY, &my_entry, 0, "thread 1",
21                       my_stack, STACKSIZE, &my_handle, &my_thread);
22     cyg_thread_resume(my_handle); }
```

Einführung in eCos

Entwicklungsumgebung

- Werkzeugkette und CMake

- Blackmagic

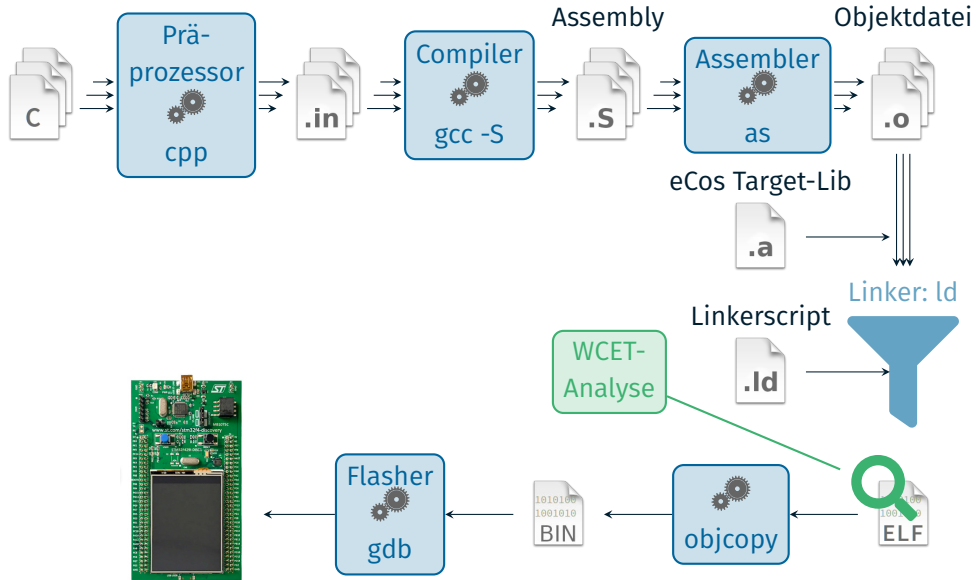
- Pulsweitenmodulation

- Tiefpassfilter

- Oszilloskop-Bedienung

Debuggen mit GDB

EZS-Toolchain



Zu jeder Übungsaufgabe wird eine eCos-Konfiguration bereitgestellt.

1. Vorgabe herunterladen, entpacken, Verzeichnis betreten
2. **Nötige Umgebungsvariablen setzen:** `source ecosenv.sh`
3. Eigene Quelldateien in `CMakeLists.txt` eintragen
4. `build` Verzeichnis betreten → out-of-source build¹
5. Makefiles erzeugen: `cmake ..` (*cmake PUNKT PUNKT*)
6. Alles kompilieren: `make`
7. Flashen, ausführen: `make flash` ~> Debugging: `make gdb` (später ausführlicher)

¹<https://gitlab.kitware.com/cmake/community/wikis/FAQ#out-of-source-build-trees>

Wiki zum EZS-Board

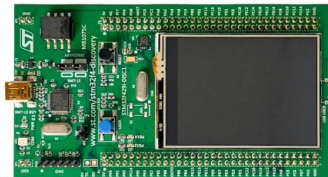
<https://gitlab.cs.fau.de/ezs/ezs-board/wikis/home>

- Dokumentation im Wiki
 - ⇒ Hardware (EZS-Board)
 - ⇒ Entwicklungsumgebung
- Erweiterung durch *alle Teilnehmer an EZS* möglich
 - GitLab-Account notwendig

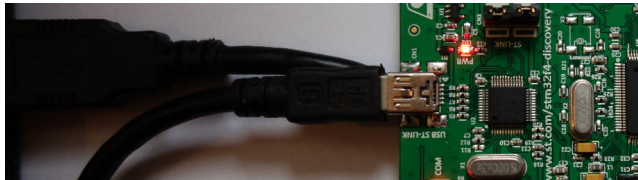
Entwicklungsplattform STM32F429

- ARM Cortex-M4 Prozessor
 - Flash-Speicher: 2 MB
 - RAM: 256 KB
- Umfangreiche Peripherie
 - Touch-LCD
 - Serielle Kommunikation
 - Timer
 - GPIOs
 - ADCs
 - 3-Achsen Gyroskop
 - Beschleunigungssensor
 - Audio Sensor
 - integrierte Debugging-Schnittstelle*

...



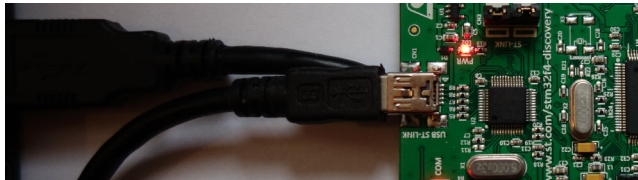
Flashen & Debuggen: Blackmagic Firmware



- Ausleihbare Boards sind mit Blackmagic Firmware² ausgestattet
- Mini-USB-Kabel anschließen
- Nach Verbinden des USB-Kabels zwei serielle Ports, z. B.:
 - `/dev/ttyACM0`: Debugger
 - `/dev/ttyACM1`: serielle Kommunikation (Ausgabe z.B. mit cutecom)

²<https://github.com/blacksphere/blackmagic>

Flashen & Debuggen: Blackmagic Firmware



- Ausleihbare Boards sind mit Blackmagic Firmware² ausgestattet
 - Mini-USB-Kabel anschließen
 - Nach Verbinden des USB-Kabels zwei serielle Ports, z. B.:
 - `/dev/ttyACM0`: Debugger
 - `/dev/ttyACM1`: serielle Kommunikation (Ausgabe z.B. mit cutecom)
 - Exakte Ports zufällig $\leadsto$ `/dev/serial/by-id/*Black_Magic*`
- ⇒ Für EZS: `/tmp/$USER-ezs-serial`

²<https://github.com/blacksphere/blackmagic>

Flashen mittels Kommandozeile

■ Bashprompt: %, gdb-Prompt: >

```
% cd <ezs-aufgabe1>
% source ecosenv.sh
% cd build
% cmake ..
% make
% arm-none-eabi-gdb -nh app.elf          # Starten des Debuggers
> target extended-remote /dev/ttyACM0 # gdb ueber ttyACM0
> monitor swd                          # Verwendung Serial Wire Debugging (SWD)
> attach 1                             # Erstes Interface verwenden
> load                                  # Laden des Systems in Flash (Flashen)
> continue                             # Starten der Ausfuehrung
```

■ gdb -nh: Verhindert Ausführung der Befehle aus ~/.gdbinit

■ gdb-Befehle in Datei flash.gdb zusammenfassen und starten mittels: arm-none-eabi-gdb -batch -x flash.gdb -nh app.elf

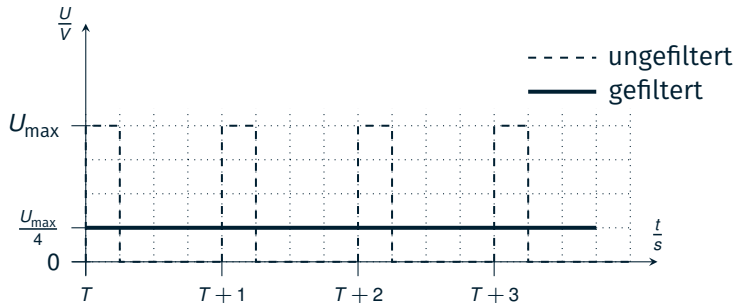
Flashen mittels Kommandozeile

■ Bashprompt: %, gdb-Prompt: >

```
% cd <ezs-aufgabe1>
% source ecosenv.sh
% cd build
% cmake ..
% make
% arm-none-eabi-gdb -nh app.elf          # Starten des Debuggers
> target extended-remote /dev/ttyACM0    # gdb ueber ttyACM0
> monitor swd                            # Verwendung Serial Wire Debugging (SWD)
> attach 1                               # Erstes Interface verwenden
> load                                   # Laden des Systems in Flash (Flashen)
> continue                               # Starten der Ausfuehrung
```

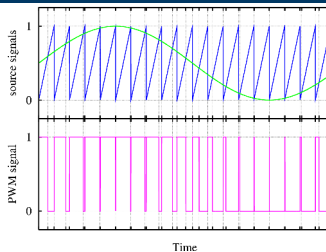
- `gdb -nh`: Verhindert Ausführung der Befehle aus `~/.gdbinit`
- gdb-Befehle in Datei `flash.gdb` zusammenfassen und starten mittels:
`arm-none-eabi-gdb -batch -x flash.gdb -nh app.elf`
- bereits implementiert in Target `make flash`

Digital-Analog Umwandlung & Pulsweitenmodulation I



- Einschaltdauer proportional zum Mittelwert des Ausgangssignals
- Variation der Pulsweite oder Einschaltdauer (engl. duty cycle)
- Pulsweitenmodulation (engl. pulse-width modulation, PWM)
- „Pseudo“ Digital-Analog-Wandler (engl. digital-analog converter, DAC)

Digital-Analog Umwandlung & Pulsweitenmodulation II



Verfahren zur Signalerzeugung

- Hardware: Vergleich periodischer Zähler und Wert der Einschaltdauer
- Weit verbreitet: Motorsteuerung, Class-D-Verstärker, Schaltnetzteile, Nachrichtenübertragung,...
- Mittels Tiefpass $\leadsto$ Digital-Analog-Wandlung
- libEZX: `void ezs_dac_write(uint8_t)` (zusätzlich *echter* DAC auf Board)
 $\leadsto$ Wertebereich 0-255



Abbildung 1: Schaltbild RC-Glied

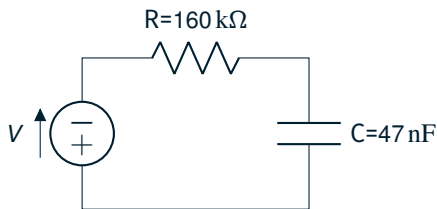


Abbildung 2: Schaltung RC-Filter auf Filterbaustein

- Filterung hochfrequenter Schwingungen
- Zeitkonstante $\tau = R \cdot C = 7,52\text{ms}$
- *Grenzfrequenz* (Dämpfung um 3dB $\approx 71\%$): $f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau} = 21\text{Hz}$

Tiefpassfilter anschließen

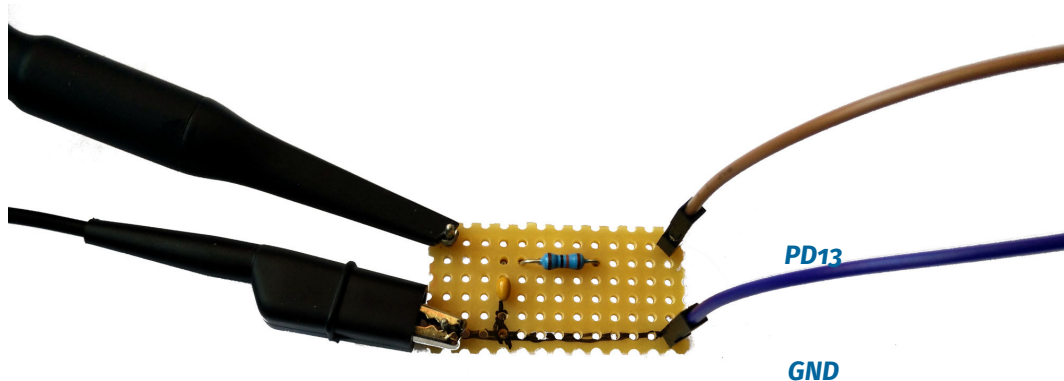
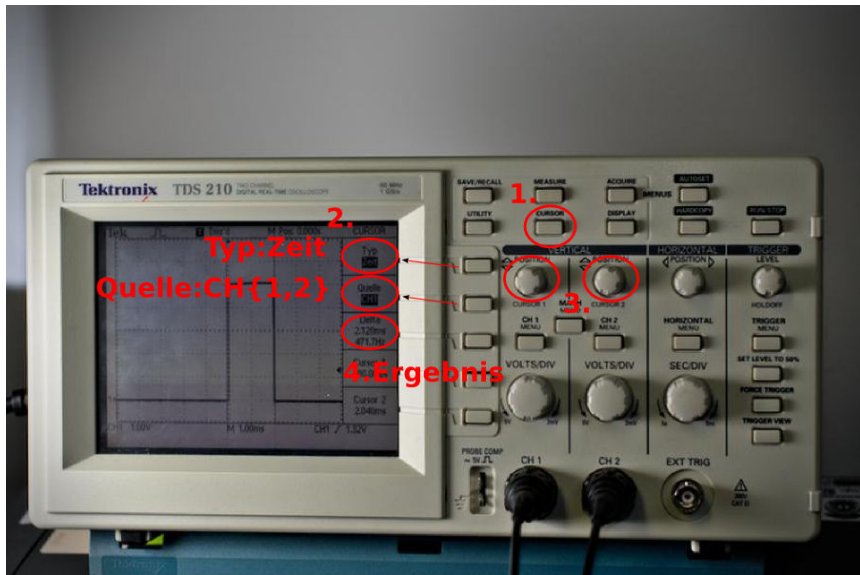


Abbildung 3: Filterbaustein anschließen, *schwarzer Strich markiert Masse*

Cursor



Einführung in eCos

Entwicklungsumgebung

Werkzeugkette und CMake

Blackmagic

Pulsweitenmodulation

Tiefpassfilter

Oszilloskop-Bedienung

Debuggen mit GDB

gdb-Dashboard

Aufrufen

- Interaktive gdb-Session:
% make gdb
- gdb-Dashboard:
% make debug
- Manueller Aufruf:
% arm-none-eabi-gdb \
-x ezs_dashboard.gdb app.elf
- Parameter -nh verwenden falls .gdbinit vorhanden

Fenster

1. Source Code
2. Assembly
3. Stack
4. Threads
5. Lokale Variablen

```
File Edit View Search Terminal Help
and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "--host=x86_64-pc-linux-gnu --target=arm-none-eabi".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
<http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.
For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/build/app.elf...done.
Target voltage: unknown
Available Targets:
No. Att Driver
1 STM32F4xx
-- Source
36 res_ps = (PRESCALER+1) * 1000000L / RCCCLK;
37 res_us = res_ps / 1000000L;
38 }
39
40 cyg_uint64 ezs_counter_get(void) {
41     return timer_get_counter(TIM5);
42 }
43
44 cyg_uint64 ezs_counter_resolution_us(void){
45     return res_us;
46 }
-- Assembly
0x08000450 ezs_counter_get+0 push {r3, lr}
0x08000452 ezs_counter_get+2 ldr r0, [pc, #8] ; (0x800045c <ezs_counter_get()+12>)
0x08000454 ezs_counter_get+4 bl 0x8000f00 <timer_get_counter>
0x08000458 ezs_counter_get+8 movs r1, #0
0x0800045a ezs_counter_get+10 pop {r3, pc}
-- Stack
[0] from 0x08000452 in ezs_counter_get+2 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS/drivers/stm32f4/ezs_counter.cpp:41
(no arguments)
[1] from 0x080004e6 in ezs_delay_us+10 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS/src/ezs_delay.c:15
wrg microseconds = 1000
[2]
-- Threads
[1] id 0 from 0x08000452 in ezs_counter_get+2 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS/drivers/stm32f4/ezs_counter.cpp:41
-- Locals
ezs_counter_get () at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS/drivers/stm32f4/ezs_counter.cpp:41
41     return timer_get_counter(TIM5);
Loading section .rom_vectors, size 0x8 lma 0x80000000
Loading section .ARM.exidx, size 0x8 lma 0x80000008
Loading section .text, size 0xd924 lma 0x80000010
Loading section .rodata, size 0x12a8 lma 0x80004938
Loading section .data, size 0x4a0 lma 0x800049b8
Start address 0x80000010, load size 61564
Transfer rate: 16 KB/sec, 918 bytes/write.
>>> □
```

gdb Kommandos – I

Befehle haben Langformen (break) und Kurzformen (b)

Wichtige Befehle

- Breakpoint setzen:
»> b(reak) cyg_user_start
- Einzelschritt (Funktionen betreten):
»> s(tep)
- Einzelschritt (Funktionen nicht betreten):
»> n(ext)
- Programm fortsetzen:
»> c(ontinue)
- Bis zum Ende der Funktion ausführen:
»> fin(ish)
- Funktion anzeigen:
»> l(ist) <functionsname>
- gdb schließen:
»> q(uit) (oder Strg+D)
- Neu Flashen:
»> l(oad)

```
File Edit View Search Terminal Help
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
<http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.
For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/build/app.elf...done.
Target voltage: unknown
Available Targets:
No. Att Driver
1 STM32F4xx
Source
26 res_ps = (PRESCALER+1) * 1000000L / RCCCLK;
27 res_us = res_ps / 1000000L;
28 }
29
40 cyg_uint64 ezs_counter_get(void) {
41     return timer_get_counter(TIM5);
42 }
43
44 cyg_uint64 ezs_counter_resolution_us(void){
45     return res_us;
46 }
Assembly
0x08000450 ezs_counter_get+0 push {r3, lr}
0x08000452 ezs_counter_get+2 ldr r0, [pc, #8] ; (0x0800045c <ezs_counter_get()+12>)
0x08000454 ezs_counter_get+4 bl 0x08000700 <timer_get_counter>
0x08000458 ezs_counter_get+8 movs r1, #0
0x0800045a ezs_counter_get+10 pop {r3, pc}
Stack
[0] from 0x08000452 in ezs_counter_get+2 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS/drivers/stm32f4/ezs_counter.cpp:41
(no arguments)
[1] from 0x080004a6 in ezs_delay_us+110 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS/src/ezs_delay.c:15
arg microseconds = 1000
[1]
Threads
[1] id 0 from 0x08000452 in ezs_counter_get+2 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS/drivers/stm32f4/ezs_counter.cpp:41
Locals
ezs_counter_get () at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS/drivers/stm32f4/ezs_counter.cpp:41
41 return timer_get_counter(TIM5);
Loading section .rom_vectors, size 0x8 lma 0x8000000
Loading section .ARM.exidx, size 0x8 lma 0x8000008
Loading section .text, size 0xd924 lma 0x8000010
Loading section .rodata, size 0x12a8 lma 0x8000938
Loading section .data, size 0x4a0 lma 0x8000be8
Start address 0x8000010, load size 61564
Transfer rate: 16 KB/sec, 918 bytes/write.
>>> break hello.c:40
Breakpoint 1 at 0x080000ec: file /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/hello.c, line 40.
>>> []
```

gdb Kommandos – II

Wichtige Befehle (Fortsetzung)

- Backtrace (Aufruf-Stack) anzeigen:
»> b(ack)t(race)
- Dashboard neu zeichnen:
»> dashboard
- Breakpoints anzeigen:
»> info breakpoints
- Breakpoint löschen:
»> delete <nummer>
- Variable anzeigen:
»> p(rint) <variablenname>

```
File Edit View Search Terminal Help
Source
35 int time_us = 0;
36 float daC_val = 0;
37
38 while(1)
39 {
40     if ((time_us/delay_us) % (1000000/delay_us) == 0)
41         printf("Hallo Welt!\n");
42
43     up = not up;
44     ezs_gpio_set(up);
45 }
-- Assembly
0x080000e4 test_thread+20 ldr.w r8, [pc, #132] ; 0x800016c <test_thread+156>
0x080000e8 test_thread+24 ldr r7, [pc, #108] ; (0x8000158 <test_thread+136>)
0x080000ea test_thread+26 ldr r6, [pc, #112] ; (0x800015c <test_thread+140>)
0x080000ec test_thread+28 mov r0, r4
0x080000ee test_thread+30 asrs r1, r4, #31
0x080000f0 test_thread+32 mov.w r2, #1000 ; 0x3e8
0x080000f4 test_thread+36 movs r3, #0
-- Stack
[0] from 0x080000ec in test_thread+28 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/hello.c:
40
arg = <optimized out>
[1] from 0x08003872 in cyg_HardwareThread::thread_entry+18 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgabe
n/scripts/gn14exs/files/ecos/packages/kernel/current/src/common/thread.cxx:94
arg thread = 0x20000730 <threaddata>
[-]
-- Threads
[1] id 0 from 0x080000ec in test_thread+28 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/hel
lo.c:40
-- Locals
arg = <optimized out>
up = false
time_us = 0
daC_val = <optimized out>
>>> info breakpoints
Num Type Disp Enb Address What
1 breakpoint keep y 0x080000ec in test_thread at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben
/HelloWorld/hello.c:40
breakpoint already hit 1 time
2 breakpoint keep y 0x08000170 in cyg_user_start at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufga
ben/HelloWorld/hello.c:55
>>>
```

- gdb-Dashboard benötigt einen gdb mit python-Bindings
- gdb „abschießen“:³
`% killall gdb-multiarch -s SIGKILL`
- EZS-Board in initialen Zustand setzen:
USB-Kabel abstecken & wieder anstecken
- GDB-Spickzettel:
<http://darkdust.net/files/GDB%20Cheat%20Sheet.pdf>

GDB-Einführung aus BS

<https://sys.cs.fau.de/extern/lehre/ws23/bs/uebung/seminar/gdb.pdf>

³`gdb-multiarch` ist der Name des gdb-Binaries im CIP, kann bei euch zu Hause abweichen

Übersicht hilfreicher make-Targets

flash Baut Anwendung und schreibt sie auf das Board.

gdb Startet eine interaktive GDB-Sitzung.

debug Startet eine GDB-Sitzung mit dem EZS-Dashboard.

doc Erstellt Dokumentation für die von uns bereitgestellten Funktionen.

sanity-test Testet grundlegende Funktionalität der Aufgabe.

submit Erzeugt eine Abgabe (*rechtzeitig* aufrufen).

diff Zeigt Unterschiede zwischen dem aktuellen Stand und der letzten Abgabe.

Besprechung der Übungsaufgabe

„Hallo Welt!“

Danke fürs Zuhören!

Fragen?