DIY – Individual Prototyping and Systems Engineering

Embedded Entwicklung

Peter Wägemann

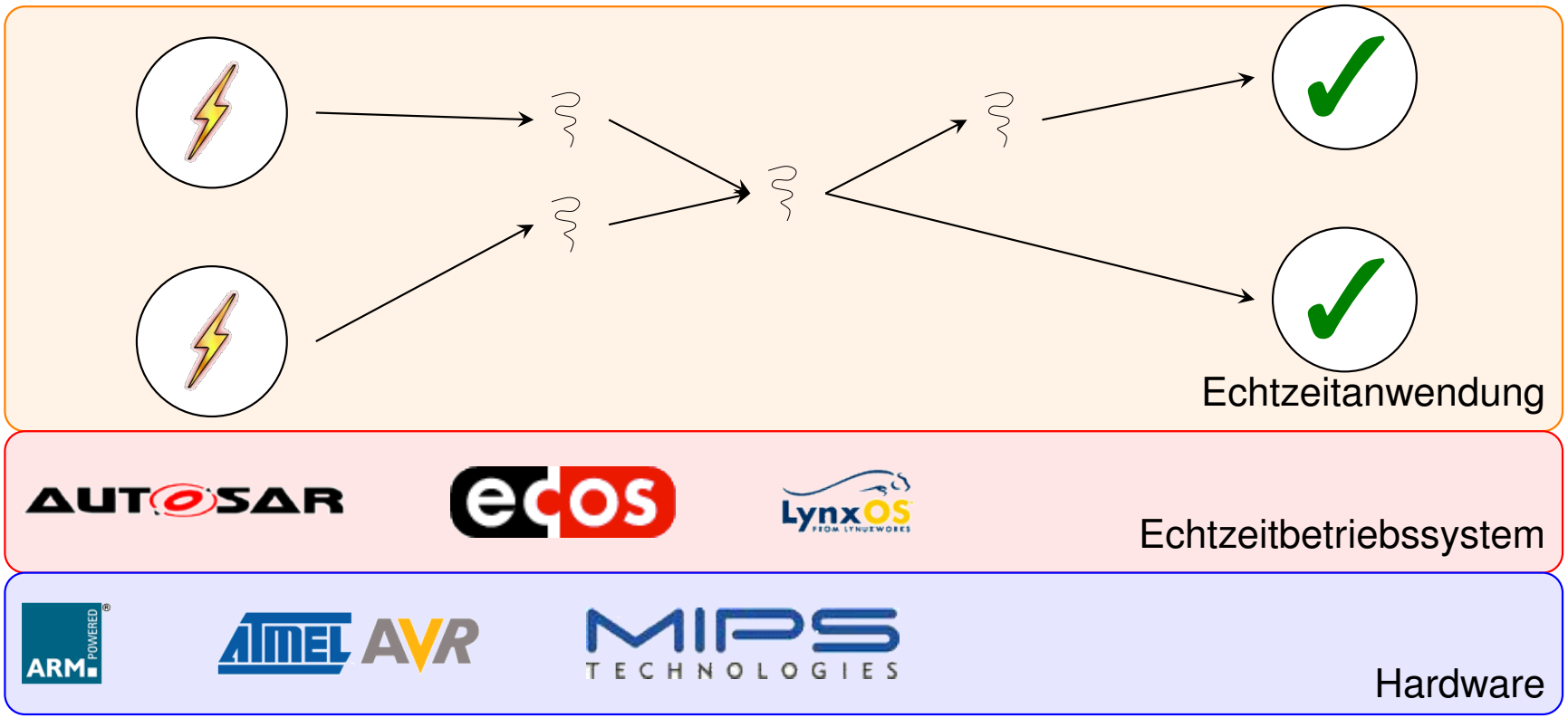
Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

`https://www4.cs.fau.de`

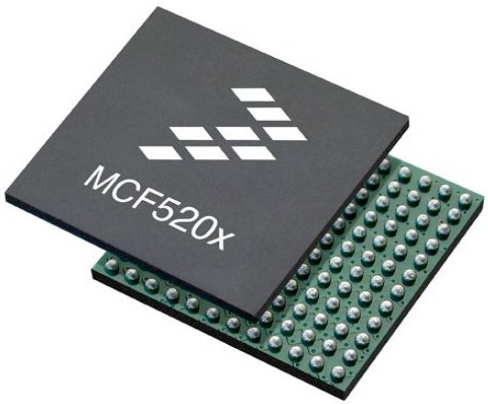
30. April 2018

Wiederholung: Echtzeit-{Anwendung, Rechensystem}

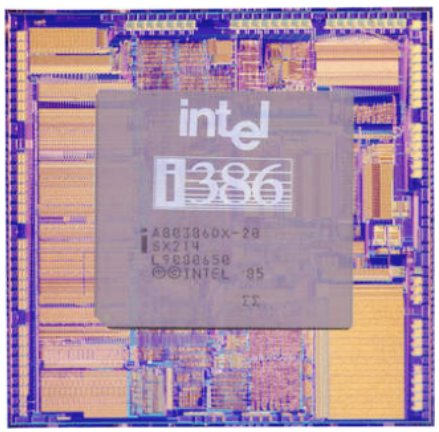


Prozessorvielfalt in der Echtzeitwelt

freescale™ semiconductor



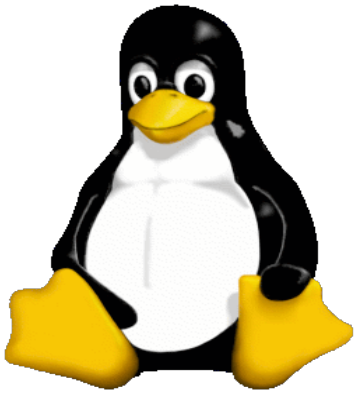
ARM. Cortex
Intelligent Processors by ARM®



Noch mehr Betriebssysteme

freeRTOS

µClinux



android

eCos

QNX

TinyOS

µC/OS-II™
The Real-Time Kernel

HIGH TEC

eCos

Embedded **C**onfigurable **O**perating **S**ystem

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)

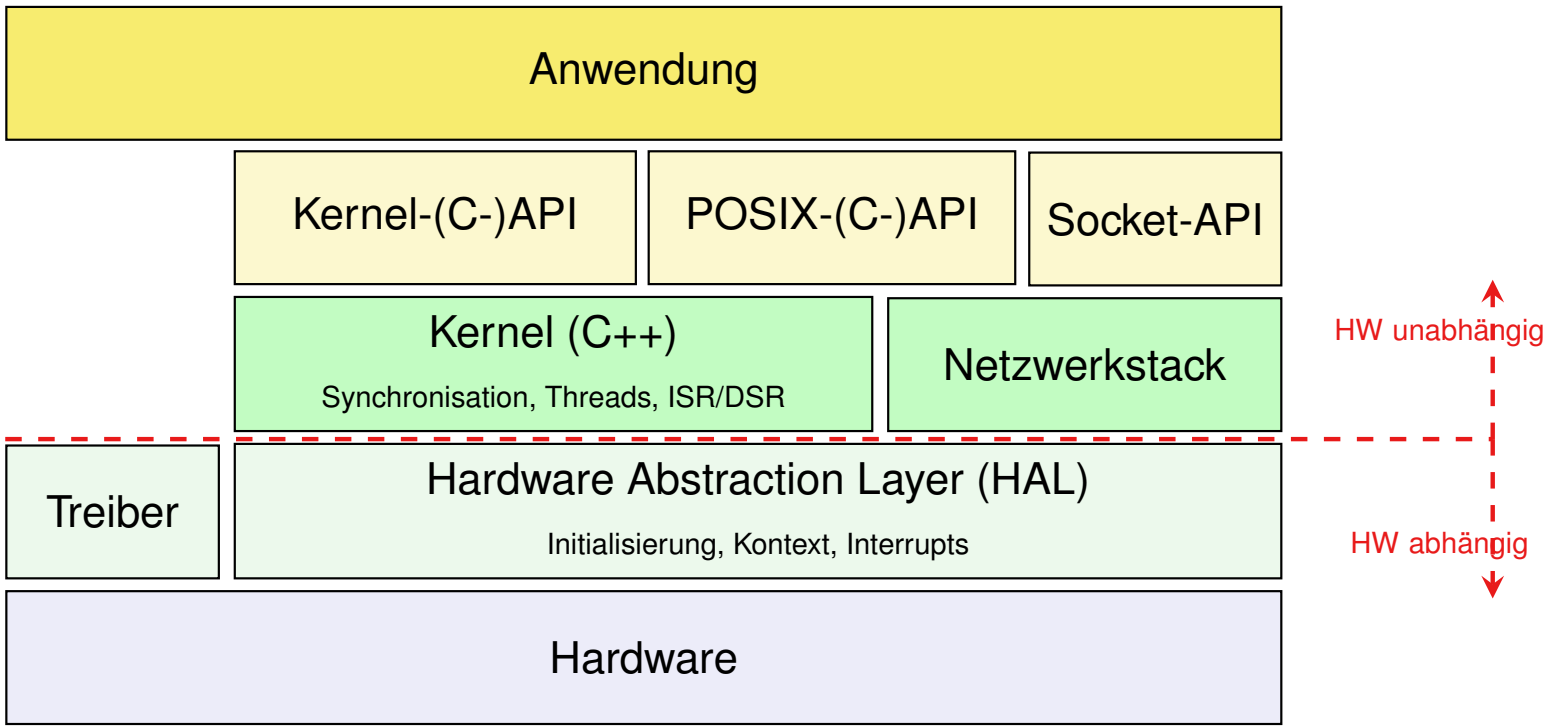
☞ `http://ecos.sourceware.org`

Unterstützte Plattformen

http://www.ecoscentric.com/ecos/examples.shtml

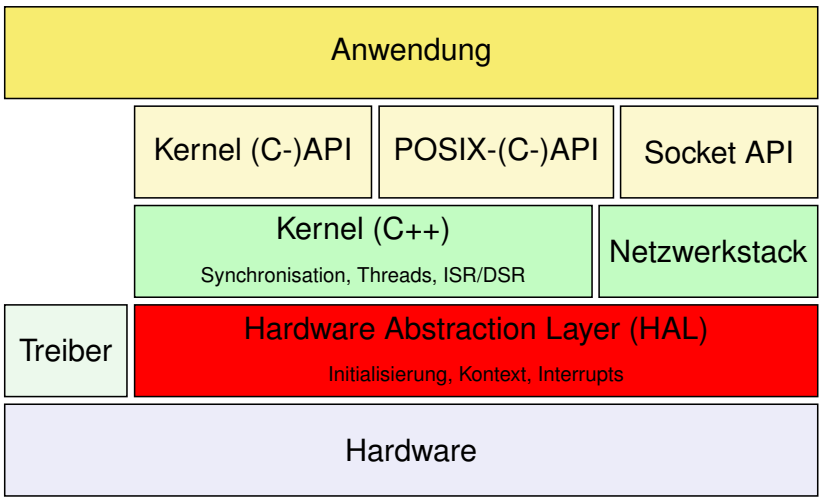
- Fujitsu SPARClite
- Matsushita MN10300
- Motorola PowerPC
- Advanced RISC Machines (ARM)
- Toshiba TX39
- Infineon TriCore
- Hitachi SH3
- NEC VR4300
- MB8683X
- Intel x86
- ☞ *ARM Cortex*
- ...

eCos-Systemarchitektur



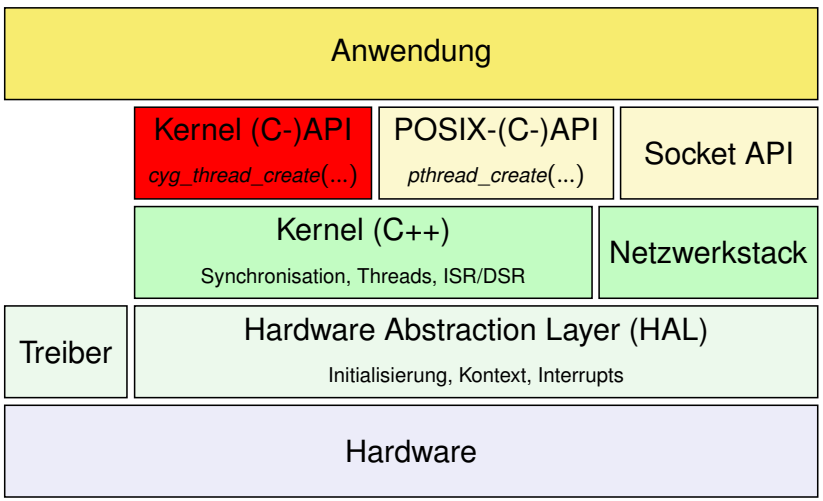
eCos-Systemarchitektur

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



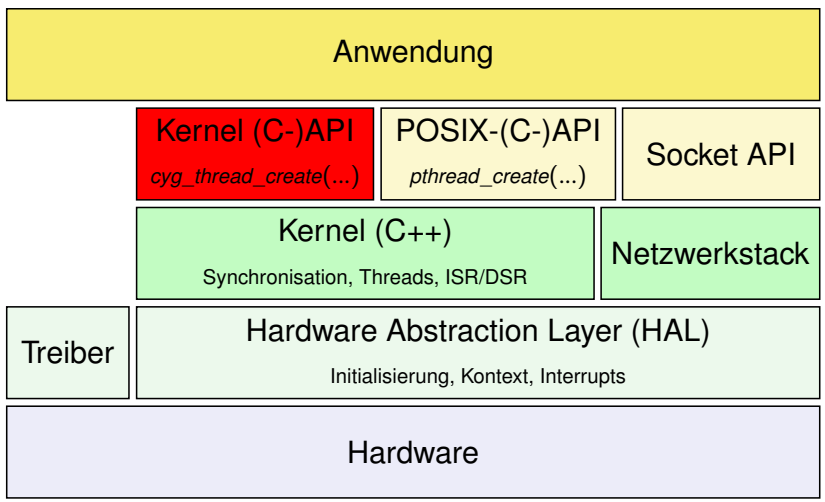
eCos-Systemarchitektur

- Implementiert in C++
- Feingranular konfigurierbar
  - Verschiedene Schedulingstrategien (Bitmap/Multilevel Queue)
  - Zeitscheibenbasiert, präemptiv, prioritätenbasiert
- Verschiedene Synchronisationsstrategien
  - Mutexe, Semaphore, Bedingungsvariablen
  - Messages Boxes



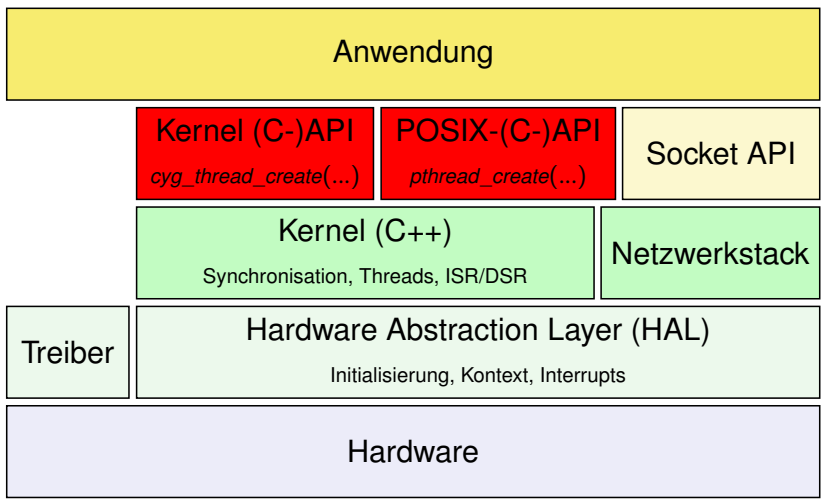
eCos-Systemarchitektur

- Interrupt Service Routine (ISR)
  - Unverzügliche Ausführung
  - Asynchron
  - Kann DSR anfordern
- Deferred Service Routine (DSR)
  - Verzögerte Ausführung (beim Verlassen des Kernels)
  - Synchron



eCos-Systemarchitektur

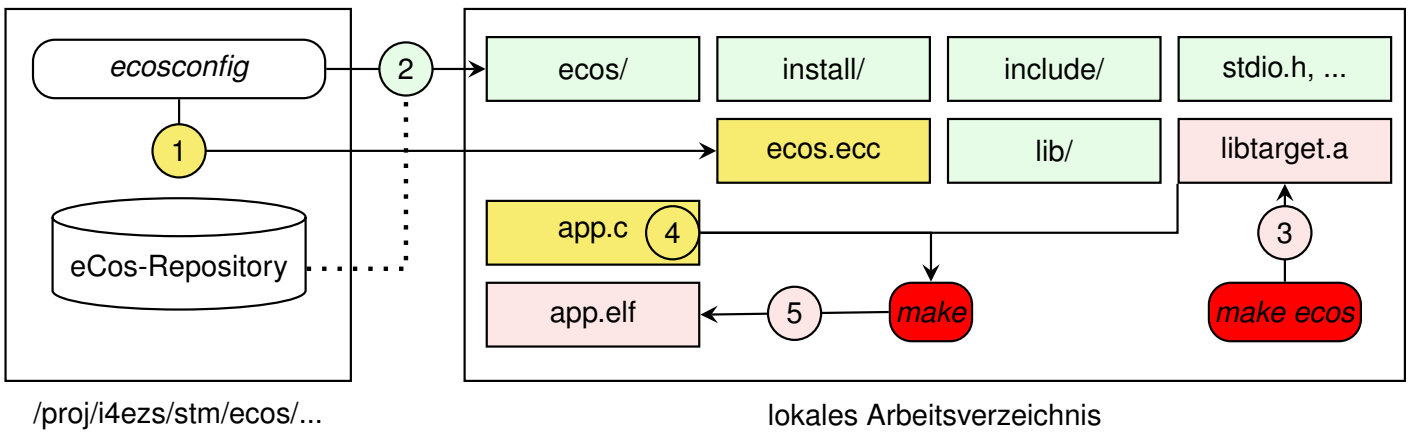
- Kernel API
  - vollständige C-Schnittstelle
  - siehe Dokumentation[1]
- (Optionale) POSIX-Kompatibilitätsschicht
  - Scheduling-Konfiguration, *pthread_*∗
  - Timer, Semaphore, Message Queues, Signale, ...



[1] http://ecos.sourceware.org/docs-2.0/ref/ecos-ref.html

eCos-Entwicklungszyklus

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

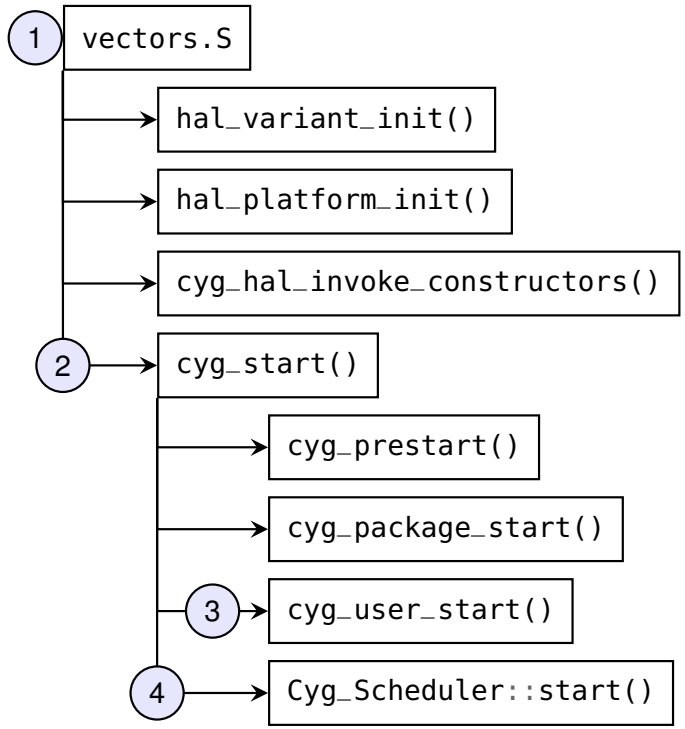


Wichtig!

Wir geben eine grundlegende Konfiguration vor!

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



Wichtig!

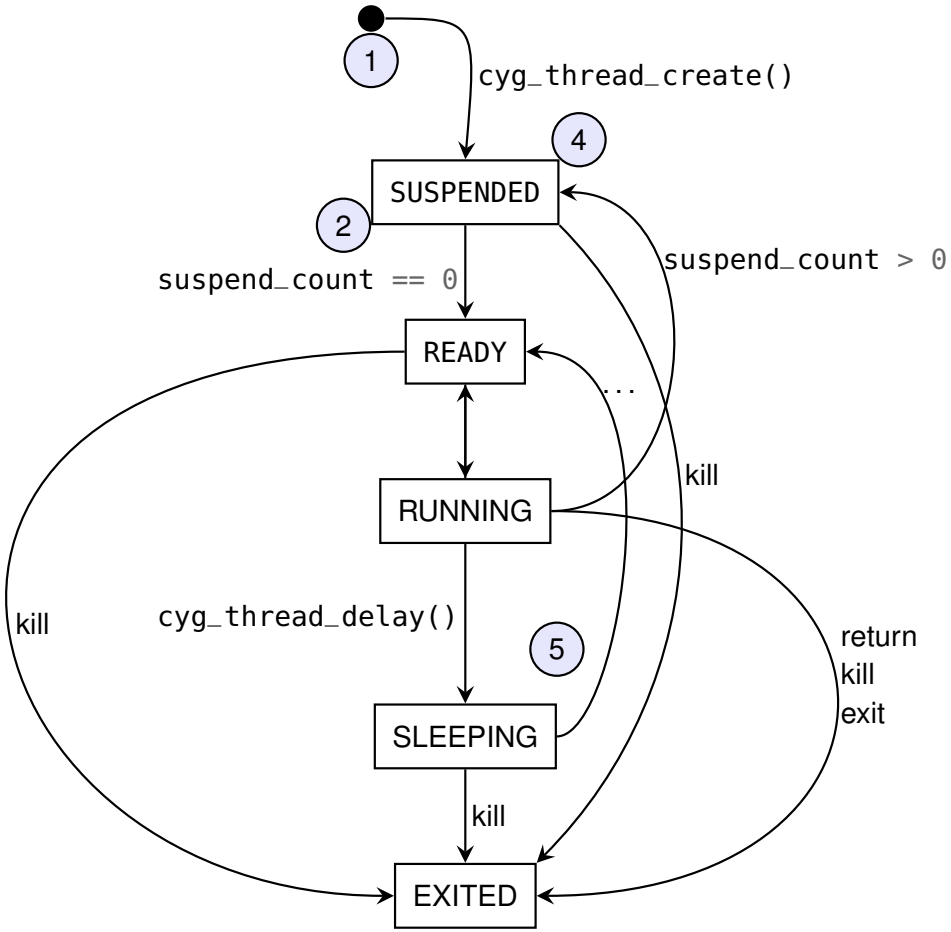
`cyg_user_start()` muss zurückkehren!

Gliederung

eCos-Threads

Threadzustände und Übergänge

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



eCos-Threads


```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

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

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads

Threads erzeugen

```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

- Scheduling-Informationen
- z. B. MLQ-Scheduler
  - Threadpriorität
  - Datentyp `cyg_uint8`

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads


```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

- Thread Einsprungpunkt
- Funktionszeiger
- Signatur:
  `void (*)(cyg_addrword_t)`

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads


```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

- Thread Parameter
- Beliebige Übergabeparameter
  - z. B. Zeiger auf threadlokale Daten

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads


```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

- Beliebiger Threadname
- Tipp: (gdb) info threads

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads


```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

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

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads


```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

- Stackgröße in Bytes

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads


```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

- Eindeutiger Identifikator
  - zur “Steuerung” z. B.:

`cyg_thread_resume(handle)`

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads


```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

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

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Threads

Threads erzeugen

```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_thread_create
(
cyg_addrword_t sched_info,
cyg_thread_entry_t* entry,
cyg_addrword_t entry_data,
char* name,
void* stack_base,
cyg_ucount32 stack_size,
cyg_handle_t* handle,
cyg_thread* thread
);
```

Ausführliche Dokumentation

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

eCos-Beispielanwendung

Hello World!

```
#include <cyg/hal/hal_arch.h>
#include <cyg/kernel/kapi.h>
#define MY_PRIORITY     11
#define STACKSIZE       (CYGNUM_HAL_STACK_SIZE_MINIMUM+4096)
static cyg_uint8     my_stack[STACKSIZE];
static cyg_handle_t  my_handle;
static cyg_thread    my_thread;

static void my_entry(cyg_addrword_t data) {
  int message = (int) data;
  ezs_printf("Beginning execution: thread data is %d\n", message);
  for (;;) {
    ezs_printf("Hello World!\n"); // \n flushes output
  }
}

void cyg_user_start(void) {
  cyg_thread_create(MY_PRIORITY, &my_entry, 0, "thread 1",
  my_stack, STACKSIZE, &my_handle, &my_thread);
  cyg_thread_resume(my_handle);
}
```

Umgang mit Zeit in eCos

- Aktuelle Aufgabe: Ausführung soll um feste Zeit *verzögert* werden
  $\rightsquigarrow$ `cyg_thread_delay()` (bei uns `ezs_delay_us()`)
- Erwartet Parameter der Einheit *Clock-Ticks – Wieso?*
- Zeitmessung nur per Timer möglich $\rightsquigarrow$ Timer-Zyklus kleinste Einheit

`cyg_clock_get_resolution(cyg_real_time_clock())` liefert Auflösung der Echtzeituhr:

```
typedef struct {
  cyg_uint32 dividend;
  cyg_uint32 divisor;
} cyg_resolution_t;
```

- $\frac{\texttt{dividend}}{\texttt{divisor}} \rightsquigarrow$ Zeit in ns, die ein Tick dauert (beispielsweise 1.000.000 ns)
- *Warum Aufteilung in Dividend & Divisor?*
- Umrechnung: z.B. `ms_to_cyg_ticks(uint32_t ms)`
- Vorsicht: Ganzzahl-Division, Wertebereichen, Fließkomma-Genauigkeit

Gliederung

Einschub: Schlüsselwort volatile

- Bei einem Interrupt wird `timer_event = 1` gesetzt
- Aktive Warteschleife wartet, bis `timer_event != 0`
- Flag (scheinbar) in Schleife nicht verändert $\rightsquigarrow$ Compiler-Optimierung
  - `timer_event` wird einmalig vor der Warteschleife in Register geladen

    ☞ Endlosschleife
- `volatile` erzwingt das **Laden bei jedem Lesezugriff**

```
static uint8_t timer_event = 0;
ISR (INT0_vect) { timer_event = 1; }

void main(void) {
  while(1) {
    while(timer_event == 0) { /* warte auf Timer-Event */ }
    /* bearbeite Timer-Event */
volatile static uint8_t timer_event = 0;
ISR (INT0_vect) { timer_event = 1; }

void main(void) {
  while(1) {
    while(timer_event == 0) { /* warte auf Timer-Event */ }
    /* bearbeite Timer-Event */
```

Einschub: Lost-Update-Problematik

- Tastendruckzähler: Zählt mittels Variable `zaehler`
  - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm **H**

```
; volatile uint8_t zaehler;
; C-Anweisung: zaehler--;
lds r24, zaehler
dec r24
sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung **I**

```
; C-Anweisung: zaehler++
lds r25, zaehler
inc r25
sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3 H	5	5	-
4 H	5	4	-
2 I	5	4	5
3 I	5	4	6
4 I	6	4	6
5 H	4	4	-

Wie behandle ich einen Interrupt?

Interrupt-Service-Routinen-Ausführung

- Unverzüglich, *asynchron*
  $\leadsto$ auch innerhalb von Kernelfunktionen!
- Innerhalb ISR *keine Systemaufrufe* erlaubt!
  $\Rightarrow$ Anmelden einer Deferrable Service Routine (DSR)

Deferrable-Service-Routinen-Ausführung

- *Synchron* zum Scheduler
- Falls Scheduler nicht verriegelt: *Unverzüglich* nach ISR
- sonst: Beim *Verlassen* des Kerns

Synonym: *Prolog-Epilog-Schema* bzw. *top/bottom half*

Wie behandle ich einen Interrupt?

Anmeldung von ISR und DSR[2]

```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_interrupt_create
(
  cyg_vector_t vector,
  cyg_priority_t priority,
  cyg_addrword_t data,
  cyg_ISR_t* isr,
  cyg_DSR_t* dsr,
  cyg_handle_t* handle,
  cyg_interrupt* intr
);
```

- Interruptvektornummer

⇝ Hardwarehandbuch

[2] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-interrupts.html

Wie behandle ich einen Interrupt?

Anmeldung von ISR und DSR[2]

```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_interrupt_create
(
  cyg_vector_t vector,
  cyg_priority_t priority,
  cyg_addrword_t data,
  cyg_ISR_t* isr,
  cyg_DSR_t* dsr,
  cyg_handle_t* handle,
  cyg_interrupt* intr
);
```

- Interruptpriorität
- für unterbrechbare Unterbrechungen (hardwareabhängig)

[2] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-interrupts.html

Wie behandle ich einen Interrupt?

Anmeldung von ISR und DSR[2]

```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_interrupt_create
(
  cyg_vector_t vector,
  cyg_priority_t priority,
  cyg_addrword_t data,
  cyg_ISR_t* isr,
  cyg_DSR_t* dsr,
  cyg_handle_t* handle,
  cyg_interrupt* intr
);
```

- Beliebiger Übergabeparameter für ISR/DSR

Für eCos:

`build/ecos/install/include/cyg/hal/var_intr.h`

[2] `http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-interrupts.html`

Wie behandle ich einen Interrupt?

Anmeldung von ISR und DSR[2]

```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_interrupt_create
(
  cyg_vector_t vector,
  cyg_priority_t priority,
  cyg_addrword_t data,
  cyg_ISR_t* isr,
  cyg_DSR_t* dsr,
  cyg_handle_t* handle,
  cyg_interrupt* intr
);
```

- Funktionszeiger auf *ISR-Implementierung*

Signatur:

```
cyg_uint32 (*)(cyg_vector_t, cyg_addrword_t)
```

[2] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-interrupts.html

Wie behandle ich einen Interrupt?

Anmeldung von ISR und DSR[2]

```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_interrupt_create
(
  cyg_vector_t vector,
  cyg_priority_t priority,
  cyg_addrword_t data,
  cyg_ISR_t* isr,
  cyg_DSR_t* dsr,
  cyg_handle_t* handle,
  cyg_interrupt* intr
);
```

- Funktionszeiger auf *DSR-Implementierung*

Signatur:

```
cyg_uint32 (*)(cyg_vector_t, cyg_ucount32 count, cyg_addrword_t)
```

[2] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-interrupts.html

Wie behandle ich einen Interrupt?

Anmeldung von ISR und DSR[2]

```
#include <cyg/kernel/kapi.h>
void cyg_interrupt_create
(
  cyg_vector_t vector,
  cyg_priority_t priority,
  cyg_addrword_t data,
  cyg_ISR_t* isr,
  cyg_DSR_t* dsr,
  cyg_handle_t* handle,
  cyg_interrupt* intr
);
```

- Handle und Speicher für *Interruptobjekt*

[2] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-interrupts.html

ISR-Implementierungsskelett

Beispiel einer minimalen ISR

```
cyg_uint32 isr(cyg_vector_t vector, cyg_addrword_t data) {
  cyg_bool_t dsr_required = 0;
  ...
  cyg_interrupt_acknowledge(vector);
  if (dsr_required) {
    return CYG_ISR_CALL_DSR;
  } else {
    return CYG_ISR_HANDLED;
  }
}
```

1. Beliebiger ISR-Code
2. Bestätigung der Interruptbehandlung

   Wozu ist das gut?
3. Anforderung einer DSR

   oder
4. Rückkehr ohne DSR

ISR-Implementierungsskelett

Beispiel einer minimalen ISR

```
cyg_uint32 isr(cyg_vector_t vector, cyg_addrword_t data) {
  cyg_bool_t dsr_required = 0;
  ...
  cyg_interrupt_acknowledge(vector);
  if (dsr_required) {
    return CYG_ISR_CALL_DSR;
  } else {
    return CYG_ISR_HANDLED;
  }
}
```

1. Beliebiger ISR-Code
2. Bestätigung der Interruptbehandlung

   Wozu ist das gut?
3. Anforderung einer DSR

   oder
4. Rückkehr ohne DSR

ISR-Implementierungsskelett

Beispiel einer minimalen ISR

```
cyg_uint32 isr(cyg_vector_t vector, cyg_addrword_t data) {
  cyg_bool_t dsr_required = 0;
  ...
  cyg_interrupt_acknowledge(vector);
  if (dsr_required) {
    return CYG_ISR_CALL_DSR;
  } else {
    return CYG_ISR_HANDLED;
  }
}
```

1. Beliebiger ISR-Code
2. Bestätigung der Interruptbehandlung

   Wozu ist das gut?
3. Anforderung einer DSR

   oder
4. Rückkehr ohne DSR

ISR-Implementierungsskelett

Beispiel einer minimalen ISR

```
cyg_uint32 isr(cyg_vector_t vector, cyg_addrword_t data) {
  cyg_bool_t dsr_required = 0;
  ...
  cyg_interrupt_acknowledge(vector);
  if (dsr_required) {
    return CYG_ISR_CALL_DSR;
  } else {
    return CYG_ISR_HANDLED;
  }
}
```

1. Beliebiger ISR-Code
2. Bestätigung der Interruptbehandlung

   Wozu ist das gut?
3. Anforderung einer DSR

   oder
4. Rückkehr ohne DSR

DSR-Implementierungskelett

Beispiel einer minimalen DSR

```
void dsr(
  cyg_vector_t vector,
  cyg_ucount32 count,
  cyg_addrword_t data)
{
  ...
}
```

1. Anzahl der ISRs, die diese DSR anforderten

   $\rightsquigarrow$ normalerweise 1

2. Ausführung *synchron* zum Scheduler

   Was bedeutet das?

DSR-Implementierungskelett

Beispiel einer minimalen DSR

```
void dsr(
  cyg_vector_t vector,
  cyg_ucount32 count,
  cyg_addrword_t data)
{
  ...
}
```

1. Anzahl der ISRs, die diese DSR anforderten

   $\rightsquigarrow$ normalerweise 1

2. Ausführung *synchron* zum Scheduler

   Was bedeutet das?

Gliederung

Alarme und periodische Aktivierung

eCos-*Alarme* basieren auf eCos-*Zählern* (Counter[3])

- Anlegen eines Zähler für bestimmtes Ereignis

```
void cyg_counter_create(cyg_handle_t* handle,
                        cyg_counter* counter)
```

- Inkrementieren:

```
void cyg_counter_tick(cyg_handle_t counter)
```

  - Zeitgeberunterbrechung (→ DSR)

    → eCos-interne Uhr als Zähler
  - externes Ereignis (Taster, etc.)

    → Zähler wird „von Hand“ inkrementiert (→ DSR, → Faden)

- eCos verwaltet Zählerstand intern
- Zugriff auf Zählerstand:

```
cyg_tick_count_t cyg_counter_current_value(cyg_handle_t ctr);
void cyg_counter_set_value(cyg_handle_t ctr, cyg_tick_count_t val);
```

[3] http://ecos.sourceware.org/docs-la/ref/kernel-counters.html

Alarme und periodische Aktivierung

eCos-*Uhren* (Clocks[4]) sind spezialisierte *Zähler*

- Basierend auf *Zeitgeberunterbrechung*
- Festgelegte Zeitauflösung beim Erstellen
- Einzige vorgegebene Uhr: die eCos Uhr

```
cyg_handle_t cyg_real_time_clock(void);
```

  - Abfragen:

```
cyg_tick_count_t cyg_current_time(void)
```

  - Handle auf Uhr-internen Zähler holen

```
void cyg_clock_to_counter(cyg_handle_t clock,
                          cyg_handle_t* counter);
```

  - Inkrementieren:

```
void cyg_counter_tick(cyg_handle_t counter);
```

- Uhr anlegen: `cyg_clock_create()`:

→ Anwendung ist fürs Inkrementieren zuständig

[4] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-clocks.html

Alarme und periodische Aktivierung – 1

eCos-*Alarm*[5] führt Aktion bei Erreichen eines Zählerstandes aus

1 Anlegen:

```
void cyg_alarm_create(cyg_handle_t counter,
                      cyg_alarm_t* alarmfn,
                      cyg_addrword_t data,
                      cyg_handle_t* handle,
                      cyg_alarm* alarm);
```

- `counter` zugeordneter Zähler
- `alarmfn` Alarmbehandlung (Funktionspointer)
- `data` Parameter für Alarmbehandlung
- `handle` Alarm Handle (vgl. Threaderzeugung)
- `alarm` Speicher für Alarmobjekt (vgl. Threaderzeugung)

☞ alarmfn wird im DSR-Kontext ausgeführt

→ `cyg_thread_resume()`

[5] `http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-alarms.html`

Alarme und periodische Aktivierung – 2

eCos-*Alarm*[6] führt Aktion bei Erreichen eines Zählerstandes aus

2 Alarminitialisierung:

```
void cyg_alarm_initialize(cyg_handle_t alarm,
                          cyg_tick_count_t trigger,
                          cyg_tick_count_t interval);
```

- `alarm` Alarmhandle
- `trigger` *Absolute* Zählerticks der *ersten* Aktivierung
  - Nutze `cyg_current_time() + x` ⇝ *Phase*
  - Vorsicht: `cyg_current_time()` kann bei jedem Aufruf anderen Wert liefern
  - trigger muss in der Zukunft liegen. Warum?
- `interval` Zählerintervall für folgende *periodische* Aktivierungen

3 Alarm freischalten

```
void cyg_alarm_enable(cyg_handle_t alarm)
```

[6] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-alarms.html

Gliederung

eCos-Event-Flags[7]

Signalisieren von Ereignissen

- Signale unterstützen *Produzent-Konsument Muster*
- Thread/DSR *signalisiert* Ereignis (z. B. Tastendruck)
  . . . konsumierender Thread *wartet*
- Umsetzung: 32-bit Integer $\rightsquigarrow$ 32 *Einzelsignale* pro Flag
  - Ein Flag erlaubt somit $2^{32} - 1$ Signalkombinationen
  - Threads können auf ein Signalmuster blockierend warten oder pollen

Achtung:

Flags zählen keine Ereignisse! (vgl. HW-Interrupts)

[7] `http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-flags.html`

eCos-Event-Flags

- Produzenten/Konsumenten teilen sich eine Flag-Objekt
- Dieses wird von der *Anwendung* bereitgestellt (vgl. Alarmobjekt)
- Flag-Objekt muss initialisiert werden:

```
cyg_flag_init(cyg_flag_t* flag)
```

- Signal(e) im Flag setzen:

```
cyg_flag_setbits(cyg_flag_t* flag, cyg_flag_value_t value)
```

- Bzw. zurücksetzen:

```
cyg_flag_maskbits(cyg_flag_t* flag, cyg_flag_value_t value)
```

- Auf Signal warten/pollen:

```
cyg_flag_value_t cyg_flag_wait/poll(cyg_flag_t* flag,
                                    cyg_flag_value_t pattern,
                                    cyg_flag_mode_t mode);
```

eCos-Event-Flags

- `cyg_flag_value_t pattern` setzt gewünschte Signalkombination
- `cyg_flag_mode_t` legt Weckmuster fest
  - `CYG_FLAG_WAITMODE_AND:` Alle konfigurierten Signale müssen aktiv sein; Sie bleiben nach dem Aufwachen gesetzt.
  - `CYG_FLAG_WAITMODE_OR:` Mindestens eines der konfigurierten Signale muss aktiv sein; Alle Signale bleiben nach dem Aufwachen gesetzt.
  - `CYG_FLAG_WAITMODE_OR | CYG_FLAG_WAITMODE_CLR:` Mindestens eines der konfigurierten Signale muss aktiv sein; Alle gesetzten Signale werden nach dem Aufwachen gelöscht.

eCos-Event-Flags

Beispiel

```
static cyg_flag_t flag0;

void my_dsr(cyg_vector_t v,
            cyg_ucount32 c,
            cyg_addrword_t d){
  cyg_flag_setbits(&flag0, 0x02);
}

void user_thread(cyg_addr_t data){
  while(true) {
    cyg_flag_wait(&flag0, 0x22,
                  CYG_FLAG_WAITMODE_OR | CYG_FLAG_WAITMODE_CLR);
    printf("Event!\n");
  }
}

void cyg_user_start(void){
  ...
  cyg_flag_init(&flag0);
  ...
}
```

eCos-Mailboxes[8]

- Zwischen Threads können *Nachrichten* versendet werden
- Konsument erzeugt einen Briefkasten (mailbox) fester Größe
- Produzenten legt Nachrichten dort ab
  - Inhalt: Zeiger auf beliebige Datenstruktur
  - Konsument kann auf *Nachrichtenempfang* blockieren
  - Produzent blockiert, falls Briefkasten *voll*
  - Aber auch *nicht-blockierende* Aufrufvarianten

[8] `http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-mail-boxes.html`

Versenden von Nachrichten - eCos Mail Boxes[9]

- Mailbox anlegen:

```
cyg_mbox_create(cyg_handle_t* handle, cyg_mbox* mbox);
```

- Nachricht verschicken:

```
cyg_bool_t cyg_mbox_put(cyg_handle_t mbox, void* item);
```

- Nachricht empfangen:

```
void* cyg_mbox_get(cyg_handle_t mbox);
```

- Empfang *und* Versand können blockieren.
- `*try*`-Versionen: Würde ich blockieren?
- `*timed*`-Versionen: Blockieren, aber nur für bestimmte Zeit.

→ Selbststudium!

[9] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-mail-boxes.html

Versenden von Nachrichten – Beispiel

- Initialisierung:

```
static cyg_handle_t mailbox_handle;
static cyg_mbox     mailbox;
void cyg_user_start(void) {
  cyg_mbox_create(&mailbox_handle, &mailbox);
  ...
}
```

- Produzent (Sender):

```
void producer_entry(cyg_addrword_t data) {
  ...
  cyg_mbox_put(mailbox_handle, &my_message);
  ...
}
```

- Konsument (Empfänger):

```
void consumer_entry(cyg_addrword_t data) {
  ...
  void *message = cyg_mbox_get(mailbox_handle);
  ...
}
```

Gliederung

Gegenseitiger Ausschluss – eCos-NPCS[10]

Nicht-preemptiver kritischer Abschnitt durch Sperren des Schedulers

Kerneldatenstrukturen durch Sperren des Schedulers geschützt

$\rightsquigarrow$ **Big Kernel Lock** (BKL)

- Sperre: `void cyg_scheduler_lock(void);`
  - Sofortiges Anhalten des Schedulings
  - Verzögerung der DSR-Ausführungen
  - ISRs werden weiterhin zugestellt!
- Freigabe: `void cyg_scheduler_unlock(void);`
  - Sofortige Abarbeitung angelaufener DSRs
- Alle Systemaufrufe werden per NPCS synchronisiert
- Anwendungen sollten Mutexe, Semaphore, etc. nutzen
  - Ausnahme: Synchronisation zwischen DSR und Thread

Was sind die Vor- bzw. Nachteile des BKL Konzepts?

[10] `http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-schedcontrol.html`

Gegenseitiger Ausschluss – eCos-Mutex[11]

- Initialisierung

```
void cyg_mutex_init(cyg_mutex_t* mutex);
```

- Protokoll auswählen:

```
void cyg_mutex_set_protocol(cyg_mutex_t* mutex,
                            enum cyg_mutex_protocol protocol);
```

  - `CYG_MUTEX_NONE` keine Prioritätsvererbung
  - `CYG_MUTEX_INHERIT` erbe Priorität des aktuellen Inhabers
  - `CYG_MUTEX_CEILING` erbe Prioritätsobergrenze

- nur bei `CYG_MUTEX_CEILING`: Prioritätsobergrenze setzen

```
void cyg_mutex_set_ceiling(cyg_mutex_t* mutex,
                           cyg_priority_t priority);
```

- *Prioritätsobergrenze +1 höherprior als Thread*

[11] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-mutexes.html

Gegenseitiger Ausschluss – eCos-Mutex

- Mutex belegen

```
cyg_bool_t cyg_mutex_lock(cyg_mutex_t* mutex);
```

Rückgabewert

- `true` falls Belegen erfolgreich
- `false` sonst

- Mutex freigeben:

```
void cyg_mutex_unlock(cyg_mutex_t* mutex);
```

Gegenseitiger Ausschluss – eCos-Mutex

Beispiel

```
static cyg_mutex_t s_mutex;

void cyg_user_start(void) {
  // Mutex initialisieren
  cyg_mutex_init(&s_mutex);

  // Protokoll auswaehlen
  cyg_mutex_set_protocol(&s_mutex, CYG_MUTEX_CEILING);

  // Prioritaetsobergrenze festlegen
  cyg_mutex_set_ceiling(&s_mutex, 3);

  // Tasks, Alarme etc.
}

void task_entry(cyg_addrword_t data) {
  cyg_mutex_lock(&s_mutex); // auf Freigabe warten
  // kritischer Abschnitt
  cyg_mutex_unlock(&s_mutex); // Mutex freigeben
}
```

Gliederung

Dokumentation zum EZS-Board

EZS-Wiki

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

- Umstellung auf neues Entwicklungsboard

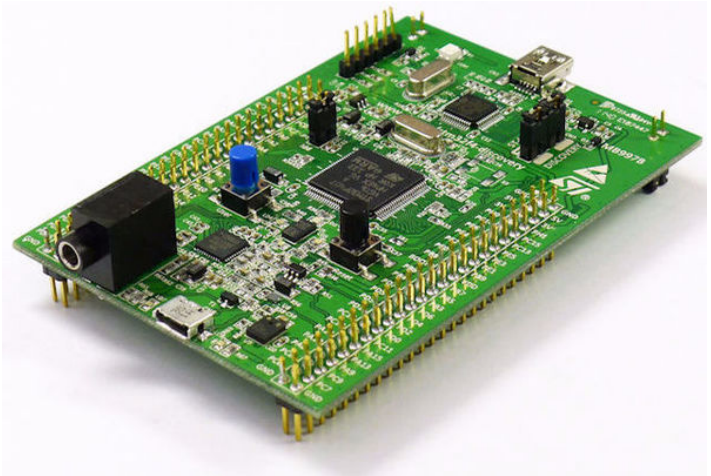
  ⇝ Mögliche Probleme

- ☞ Dokumentation im Wiki
- Erweiterung durch *alle Teilnehmer*
  - gitlab account notwendig
- Besonders wertvolle Beiträge

  ☞ Gutscheine für I4-Kaffeekarte
  - VM für weitere Plattformen (Windows, OSX...)

Entwicklungsplattform STM32F411

- ARM Cortex-M4 Prozessor
  - Flash-Speicher: 512 KB
  - RAM: 128 KB
- reichhaltige Peripherie
  - Serielle Kommunikation
  - Timer
  - GPIOs
  - ADCs
  - 3-Achsen Gyroskop
  - Beschleunigungssensor
  - Audio Sensor
  - *integrierte Debugging-Schnittstelle*
  - ...



eCos-Vorgabeandwendung

1. Vorgabe herunterladen, entpacken, Verzeichnis betreten
2. **Nötige Umgebungsvariablen setzen:** `source ecosenv.sh`
3. Eigene Quelldateien (nur) in `CMakeLists.txt` eintragen
4. `build` Verzeichnis betreten → out-of-source build[12]
5. Makefiles erzeugen: `cmake ..` (*cmake PUNKT PUNKT*)
6. Alles kompilieren: `make`
7. Flashen, ausführen, debuggen: `make flash`

   ⇝ Flasher & Debugger: `make gdb` (später ausführlicher)

[12] `www.cmake.org/Wiki/CMake_FAQ#Out-of-source_build_trees`

Flashen & Debuggen: Blackmagic Firmware

- Mini-USB-Kabel anschließen
- Nach Verbinden des USB-Kabels zwei serielle Ports
  - `/dev/ttyACM0`: Debugger
  - `/dev/ttyACM1`: serielle Kommunikation (Ausgabe z.B. mit `cutecom`)
- Ausleihbare Boards sind mit Blackmagic Firmware[13] bereits ausgestattet

[13] `https://github.com/blacksphere/blackmagic`

Flashen mittels Kommandozeile

- Bashprompt: , gdb-Prompt: >

```
cd <ezs-aufgabe1>
source ecosenv.sh
cd build
cmake ..
make ##Erstellen der Software
make flash ##Aufspielen der Software
oder
make debug ##Aufspielen und Debuggen mittels gdb
```

Gliederung

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 Varibalen

```
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 / RCCCLOCK;
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/libEZ
S/drivers/stm32f4/ezs_counter.cpp:41
(no arguments)
[1] from 0x080004e6 in ezs_delay_us+110 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS
/src/ezs_delay.c:15
arg microseconds = 1000
[+]
── 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 0x800d938
Loading section .data, size 0x4a0 lma 0x800ebe8
Start address 0x8000010, load size 61564
Transfer rate: 16 KB/sec, 918 bytes/write.
>>>
```

gdb Kommandos – I

Befehle haben Langformen (`break`) und Kurzformen (b)

Wichtige Befehle

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

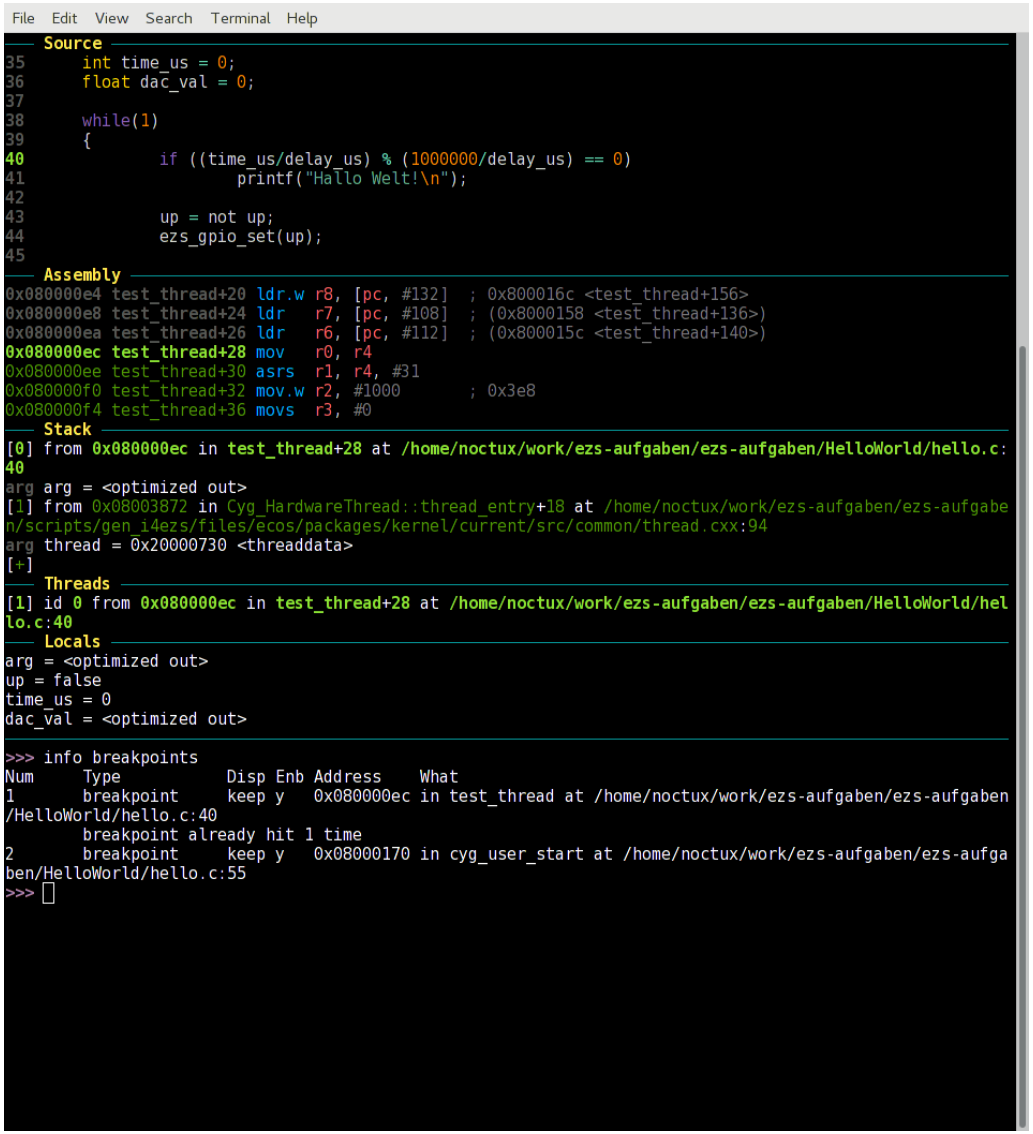
```
File  Edit  View  Search  Terminal  Help
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
<http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.
For 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 ──
36      res_ps = (PRESCALER+1) * 1000000L / RCCCLOCK;
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/libEZ
S/drivers/stm32f4/ezs_counter.cpp:41
(no arguments)
[1] from 0x080004e6 in ezs_delay_us+110 at /home/noctux/work/ezs-aufgaben/ezs-aufgaben/HelloWorld/libEZS
/src/ezs_delay.c:15
arg microseconds = 1000
[+]
── 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 0x800d938
Loading section .data, size 0x4a0 lma 0x800ebe8
Start address 0x8000010, load size 61564
Transfer rate: 16 KB/sec, 918 bytes/write.
>>> break hello.c:40
Breakpoint 1 at 0x80000ec: 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>`



Weiterführende Informationen

- gdb-Dashboard benötigt einen gdb mit python-Bindings
- `gdb` „abschießen“:
  `killall arm-none-eabi-gdb -s SIGKILL`
- EZS-Board in initialen Zustand setzen:
  USB-Kabel abstecken & wieder anstecken
- Serielle Terminals
  - cutecom (graphisch)
  - minicom (Terminal)
- `minicom -D /dev/ttyACM1` (Strg-A Z für Hilfe/weitere Befehle wie Exit)
- In Dashboard auch `make` & `make flash` verfügbar,
  anschließend Programm mit `c(ontinue)` weiter ausführen