



Praktikum: Wireless Sensor Networks Tutorial

J. van Balen, A. Willecke und K. Garlichs

Übersicht

- Wer ist diese INGA eigentlich?
- AVR Mikrocontroller – wie wenig sind acht Bit?
- Entwicklungsumgebung
- Git
- C-Crashkurs
- Contiki
- Organisatorisches

Wer ist diese INGA eigentlich?

- Inexpensive Node for General Applications
- ein preiswerter Sensorknoten
- basiert auf AVR Raven
- ATmega1284 Mikrocontroller
- 2,4 GHz Radio Transceiver
- diverse Sensoren
- diverse Schnittstellen



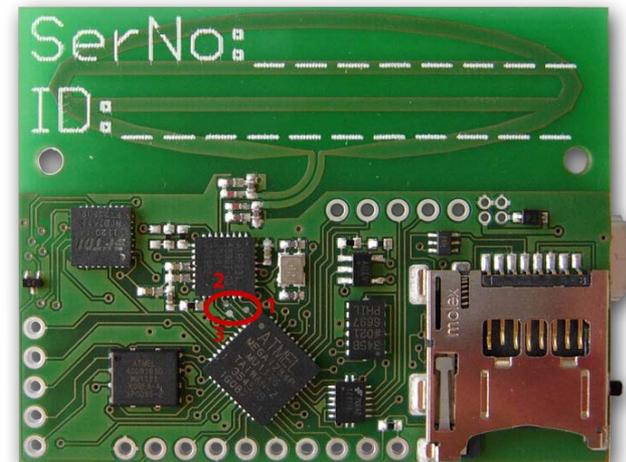
INGA - Features

- kompatibel mit Contiki OS
- programmiert in C
- über USB programmierbar
- SD-Karten Slot
- LEDs
- verschiedene Schnittstellen
 - I2C
 - SPI
 - AD-Wandler
 - UART



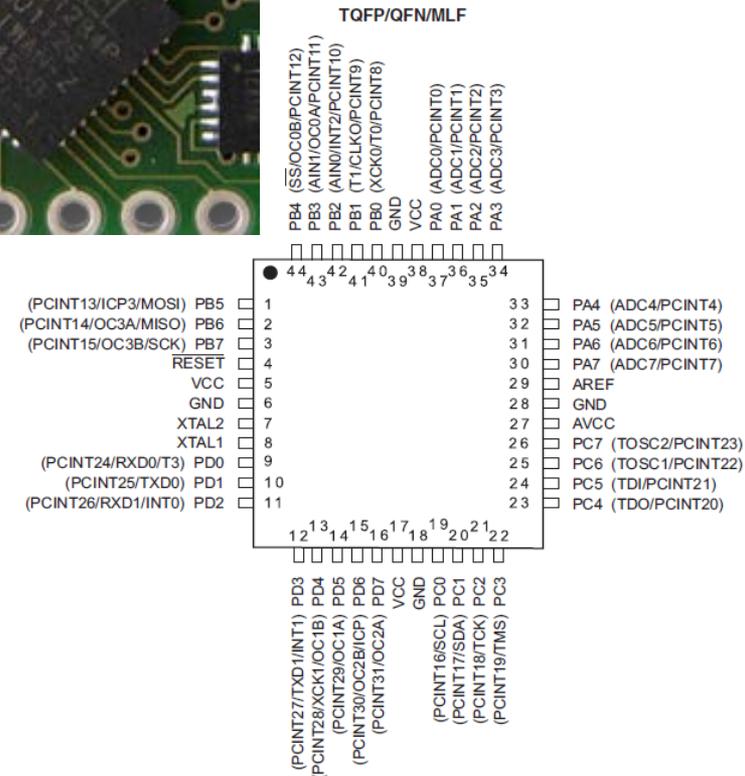
INGA - Sensoren

- Taster
- Temperatur (2x)
- Luftdruck
- optional
 - Accelerometer
 - Gyroskop



AVR Mikrocontroller

- 8 Bit Mikrocontroller
- 8 MHz Takt (max. 16 MHz)
- 128kB Flash
- 4kB EEPROM
- 16kB SRAM
- Hersteller: Atmel
- 5,90€ bei Reichelt
- einer der “größten” AVRs!



AVR Architektur

- Harvard-Architektur
 - Programm- und Datenspeicher sind getrennt
 - Programm im Flash, Daten im SRAM
- RISC-Befehlssatz
 - die meisten Befehle werden in einem Takt ausgeführt
 - Multiplikation dauert zwei Takte
 - **Keine Hardware-Divisions-Einheit!**
 - Divisionen müssen aufwendig in Schleifen gelöst werden
 - **Keine Floating-Point-Einheit!**
 - Floating-Point muss auch mit Schleifen gelöst werden

Wie wenig sind acht Bit?

- `0xFF`, `0b11111111`
- Datenregister sind nur 8 Bit breit
- $0 \leq \text{uint8_t} \leq 255$
- größere Variablen müssen in mehreren Takten berechnet werden
- Adressbus ist 16 Bit breit
 - um eine Speicheradresse anzusprechen werden je 8 Bit in das untere und das obere Adressregister geschrieben
- `printf()` ist sehr aufwendig
 - `printf()` mit floating point Unterstützung muss explizit gelinkt werden, sonst kann `printf()` nur Integer ausgeben
- `uint32_t data[10000]` ist eine doofe Idee (39kB)



Entwicklungsumgebung

Windows:

- VirtualBox mit Instant Contiki (Ubuntu)

Linux:

- Ubuntu und Pakete selbst installieren (empfohlen)
 - gcc-avr, avrdude, avr-libc, git
- VirtualBox mit Instant Contiki (Ubuntu)

Raum IZ G40:

- alle Pakete sind installiert
- nur Repository auschecken

git

- Verteilte Versionsverwaltung
- Contiki wird mit git entwickelt
- IBR entwickelt Contiki für INGA
 - Unterstützung der speziellen Hardware von INGA
- Anonymer Checkout
- `git clone https://github.com/ibr-cm/contiki-inga.git`
oder fork in den eigenen GitHub-Account
- <https://guides.github.com/activities/hello-world/>
- <http://byte.kde.org/~zrusin/git/git-cheat-sheet-medium.png>



Instant Contiki installieren

VirtualBox installieren (getestet mit 4.2.10)

- <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>

Instant Contiki (.ova) herunterladen

- Link auf der Website zum Praktikum

ova-Datei in VirtualBox importieren

- Doppelklick auf ova-Datei
- importieren

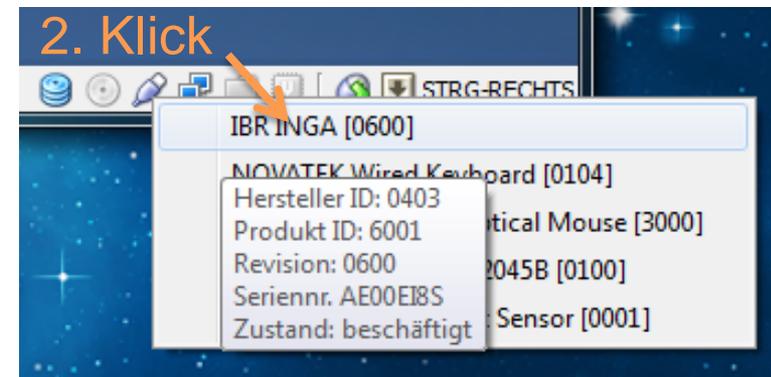
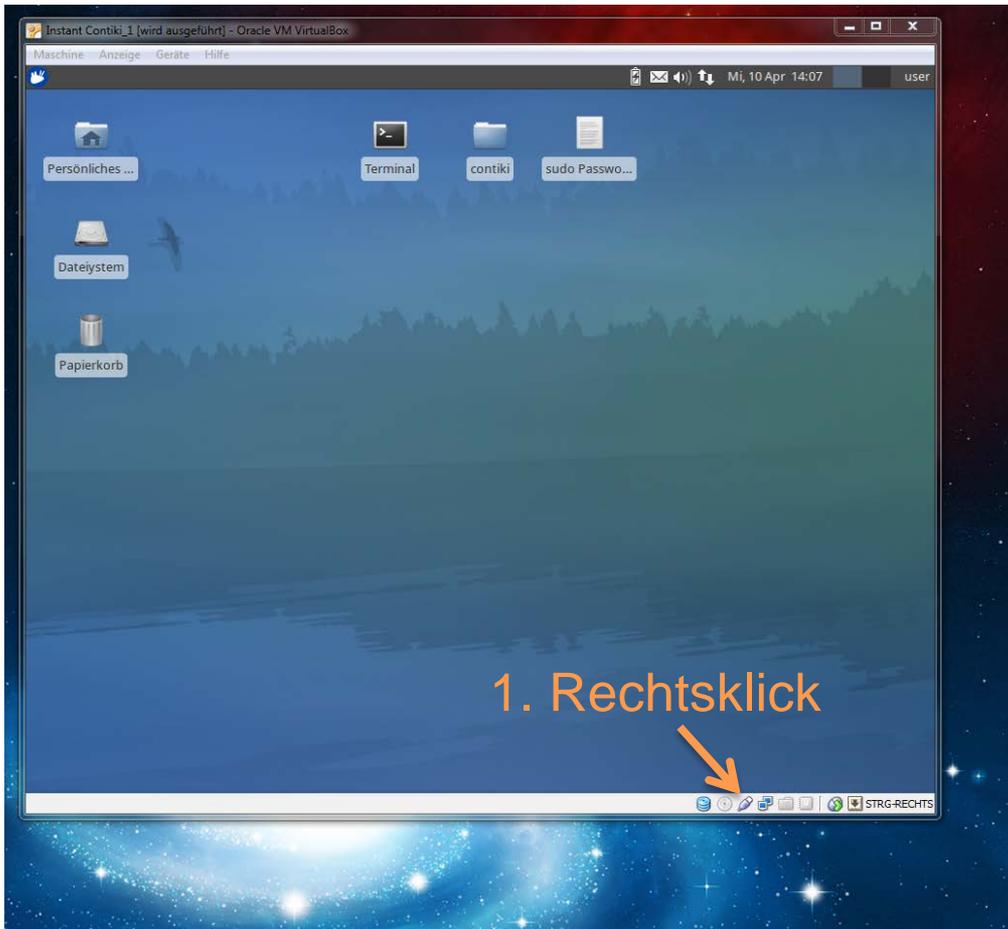
Instant Contiki benutzen

VM starten

- Benutzer: user
- Passwort: contiki

Contiki befindet sich auf dem Desktop

INGA an Instant Contiki „anschließen“



Linux selbst einrichten

Pakete für AVR-Toolchain installieren

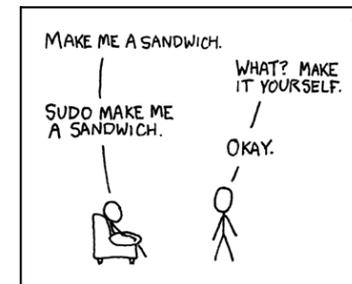
- `sudo apt-get install gcc-avr avrdude avr-libc git`

Contiki INGA Repository auschecken

- `git clone https://github.com/ibr-cm/contiki-inga.git`

Rechte setzen

- `sudo gedit /etc/udev/rules.d/99-inga-usb.rules`
- (udev rule liegt im Git-Repo)
- `sudo restart udev`



INGA Tool

- Flashen von INGA ohne manuellen Start des Bootloaders
 - manueller Bootloader: bei gedrücktem Taster einschalten (nach Programmieren aus- und wieder einschalten)

Abhängigkeiten installieren (Debian-Derivate)

- `sudo apt-get install libusb-1.0-0 libusb-dev libftdi1 libftdi-dev libpopt0 libpopt-dev libudev1 libudev-dev`

Kompilieren

- `cd tools/inga/inga_tool`
- `make`

INGA Tool

Reset (testweise) durchführen

- `./inga_tool -d /dev/inga/node-x -r`
- „x“ ist die Seriennummer des INGA-Knotens

INGA flashen

- In diesem Beispiel soll die Datei „project.c“ geflashed werden

Target speichern

- `make TARGET=inga savetarget`

Alle angeschlossenen INGAs flashen

- `make project.upload`

oder um bestimmte INGAs zu flashen

- `make project.upload MOTES=/dev/inga/node-ab42,...`

Debug-Ausgaben (printf) anzeigen

- `make login`

oder für bestimmten INGA

- `make login MOTES=/dev/inga/node-ab42`

makefile

- im Makefile steht wo Contiki liegt, wie das Projekt heißt und was Compiler und Linker sonst noch so beachten sollen

Inhalt eines Makefiles:

```
CONTIKI = Pfad_zum_Contiki_Verzeichnis  
all: Projekt_Dateiname_ohne_Extension
```

```
include $(CONTIKI)/Makefile.include
```

Beispiel

```
CONTIKI = ../..  
all: hello-world
```

```
include $(CONTIKI)/Makefile.include
```

makefile - Optionen

Rime verwenden

- `CONTIKI_WITH_RIME=1`

printf mit float-Unterstützung

- `LDFLAGS+=-Wl,-u,vfprintf -lprintf_flt`

weitere Möglichkeiten in den `examples/`

C-Crashkurs

- imperative Programmiersprache
- erfunden 1972 von Dennis Ritchie
- Header-Dateien (.h) deklarieren Funktionen
- C-Dateien (.c) implementieren Funktionen

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

```
uint8_t main(void)
{
    printf("Hallo Welt!\n");
    return 0;
}
```

C

as seen
by...



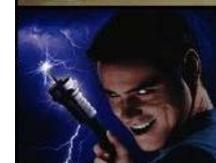
Java fans



C fans



PHP fans



Ruby fans



Haskell fans



Lisp fans

Header Beispiel – helper_functions.h

```
#pragma once
```

```
#define MY_CONSTANT 42 // this is an inline comment
```

```
/* this is a block comment
```

```
it spans multiple lines */
```

```
uint8_t is42(uint8_t check);
```

```
void add42(uint8_t *sum);
```

C Beispiel – helper_functions.c

```
#include "helper_functions.h"

uint8_t is42(uint8_t check)
{
    if (check == MY_CONSTANT)
    {
        return 1; // true, returns 1, the avr does not know "boolean"
                 // every boolean is 8 Bits (uint8_t)
    }
    else
    {
        return 0; // not true, return 0
    }
}

void add42(uint8_t *sum)
{
    *sum += 42;
}
```

Pointer

- Pointer sind Speicheradressen und zeigen somit auf ein Byte im Speicher

```
uint8_t a;           // normale Variable a
uint8_t *b = &a;    // b ist ein Pointer auf die Adresse von a

*b = 5; // a = 5

uint8_t c[5];       // Array mit 5 Werten, belegt 5 Byte im Speicher
a = c[0];           // Unbekannter Wert wird a zugewiesen, c[0] ist nicht initialisiert!
a = c[42];          // Zugriff findet ohne Fehler statt, Wert wird aus Speicher hinter c genommen

c[42] = 0;          // Der Speicher HINTER c wird verändert, NIEMALS MACHEN!!!

uint8_t *d = &c[2]; // d zeigt auf c[2]
d += 1;             // d zeigt auf c[3]
```

Datentypen

- (unsigned) char, short, int, long, long long
 - unübersichtlich, die Anzahl der Bits ist nicht erkennbar
- uint8_t, uint16_t, uint32_t
- int8_t, int16_t, int32_t
- float (32 Bit)
- double ist genauso groß wie float (32 Bit)
- für Benutzung mit printf im Makefile aktivieren (siehe Folie 19)

printf Debugging

- die Standardausgabe ist auf die serielle Schnittstelle (USB) umgeleitet
- „Debugging“ per printf() möglich

```
#include <stdio.h>
```

```
uint8_t main()
```

```
{
```

```
    printf("%d\n", 0x2); // gibt eine 2 auf der Konsole aus, Zeilenumbruch am Ende
```

```
    printf("%x", 42); // gibt die Zahl 42 hexadezimal aus
```

```
    printf("%s ist %d\n", "Der Wert", 42); // gibt "Der Wert ist 42" aus (mit  
Zeilenumbruch)
```

```
    uint8_t buffer[6] = {0}; // erzeuge 6 Zeichen Puffer, initialisiert mit 0
```

```
    sprintf(buffer, "%d", 5); // schreibe eine 5 als Zeichen in den Puffer
```

```
    printf("%s\n", buffer); // gibt den Inhalt von Buffer als String aus  
// Strings enden beim ersten Byte das 0 ist
```

```
}
```

Mikrocontroller Rechenricks

```
uint8_t a = 0b00001111;

// ein Bit in einem Byte setzen
a = a | (1<<7);           // a = 0b10001111
// ein Bit Löschen
a &= ~(1<<1);           // a = 0b10001101
// die unteren 3 Bit ausschneiden
a &= 0b00000111;       // a = 0b00000101
// die oberen 5 Bit setzen
a |= 0b11111000;       // a = 0b11111101 = 253
// durch 4 teilen = Bitshift um 2 nach unten
a = a >> 2;           // a = 0b00111111 = 63 (253 / 4.f = 63,25)

// mehr Tricks unter: http://www.mikrocontroller.net/articles/AVR-GCC-Tutorial
```

Contiki

Themen Teil 1

- LEDs
- Timer
- Button
- Sensoren auslesen
- Watchdog
- HowTo: Ein Projekt kompilieren

Contiki

Themen Teil 2

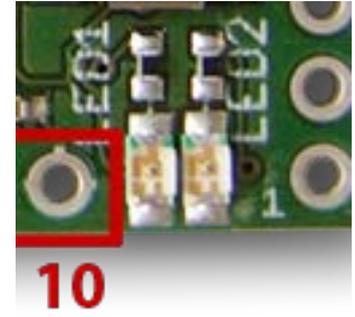
- Prozesse
- Events
- uIP
- Rime
- Cooja - Netzwerksimulator

LEDs

```
#include "leds.h"
// LED Konstanten (sind bereits in leds.h definiert)
#define LEDS_ALL           // beide LEDs
#define LEDS_GREEN        // grüne LED
#define LEDS_YELLOW       // orange LED

// LEDs initialisieren
leds_init();              // muss nur einmal aufgerufen werden

// LEDs ansteuern
leds_on(LEDS_ALL);       // alle LEDs einschalten
leds_off(LEDS_GREEN);    // grüne LED ausschalten
leds_invert(LEDS_YELLOW); // orange LED umschalten
// mehr Infos in examples/inga/demo/led_demo.c
```



Einfacher Timer

```
// Timer, der wartet bis eine Zeit abgelaufen ist
```

```
// Timer definieren
```

```
static struct timer myTimer;
```

```
// Timer starten (~1/10 Sekunde)
```

```
timer_set(&myTimer, CLOCK_SECOND / 10);
```

```
// Timer neustarten
```

```
timer_restart(&myTimer);    // Timer auf 1/10 Sekunde neu Laden
```

```
timer_reset(&myTimer);     // Timer neu starten vom letzten Ablaufzeitpunkt
```

```
// Prüfen ob Timer abgelaufen ist
```

```
timer_expired(&myTimer);
```



Event Timer

```
// Timer, der der nach Ablauf ein Event sendet
```

```
// Timer definieren
```

```
static struct etimer myTimer;
```

```
// Timer starten (~1/10 Sekunde)
```

```
etimer_set(&myTimer, CLOCK_SECOND / 10);
```

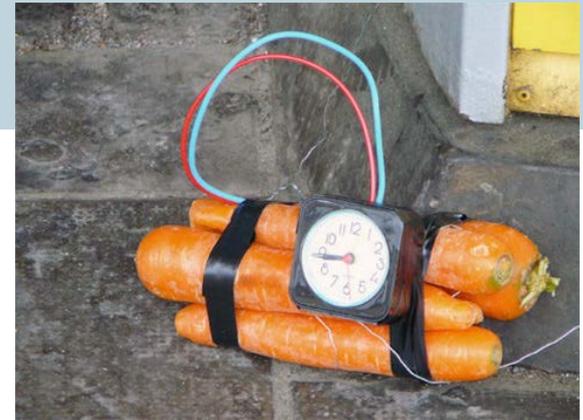
```
// Timer neustarten
```

```
etimer_restart(&myTimer); // Timer auf 1/10 Sekunde neu Laden
```

```
etimer_reset(&myTimer); // Timer neu starten vom letzten Ablaufzeitpunkt
```

```
// Prüfen ob Timer abgelaufen ist
```

```
etimer_expired(&myTimer);
```



Callback Timer

```
// Nach Ablauf des Timers wird  
// eine Callback-Funktion aufgerufen
```

```
// Timer definieren
```

```
static struct ctimer myTimer;
```

```
// Pointer auf die Funktion die als Callback aufgerufen werden soll
```

```
static void (*light_off) = leds_off;
```

```
// Parameter für den Funktionsaufruf
```

```
static unsigned char led = LEDS_YELLOW;
```

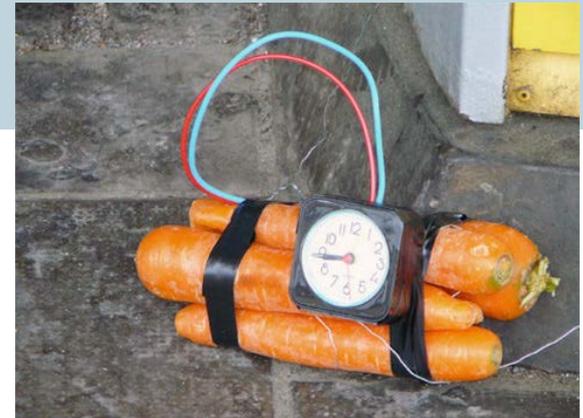
```
// LED initialisieren und einschalten
```

```
leds_init();
```

```
leds_on(LEDS_YELLOW);
```

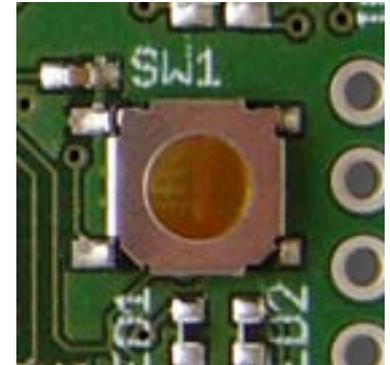
```
// Timer starten
```

```
ctimer_set(&myTimer, CLOCK_SECOND*2, light_off, &led);
```



Button

```
#include "dev/button-sensor.h";  
  
// Button aktivieren  
SENSORS_ACTIVATE(button_sensor);  
  
// Auf Button warten  
// Prozess gibt Kontrolle ab und wartet darauf, dass der Button ein Event  
sendet  
PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(ev == sensors_events && data == &button_sensor);  
  
// Button Events werden bei drücken und Loslassen generiert!  
  
// ev und data sind Parameter des Prozesses  
// mehr Infos in examples/inga_demo/button_demo.c
```



Luftdruck- & Temperatursensor

```
#include "pressure-sensor.h"
```

```
// Sensor aktivieren
```

```
SENSORS_ACTIVATE(pressure_sensor);
```

```
// Werte auslesen
```

```
uint16_t pressure = pressure_sensor.value(PRESS); // Druck
```

```
int16_t temperature = pressure_sensor.value(TEMP); // Temperatur
```

```
// mehr Infos in examples/inga_demo/sensor_demo.c
```



Accelerometer (Beschleunigungssensor)

```
#include "acc-sensor.h"

// Sensor aktivieren
SENSORS_ACTIVATE(acc_sensor);

// Werte auslesen
int16_t x = acc_sensor.value(X_ACC); // x-Achse
int16_t y = acc_sensor.value(Y_ACC); // y-Achse
int16_t z = acc_sensor.value(Z_ACC); // z-Achse

// mehr Infos in examples/inga_demo/sensor_demo.c
```



Gyroskop (Winkelgeschwindigkeit)

```
#include "gyro-sensor.h"

// Sensor aktivieren
SENSORS_ACTIVATE(gyro_sensor);

// Werte auslesen (AS = Angular Speed)
int16_t x = gyro_sensor.value(X_AS); // x-Achse
int16_t y = gyro_sensor.value(Y_AS); // y-Achse
int16_t z = gyro_sensor.value(Z_AS); // z-Achse

// mehr Infos in examples/inga_demo/sensor_demo.c
```



Watchdog

- Verhindert das „aufhängen“ eines Programms
- Der Watchdog zieht den Reset des AVR, wenn der Watchdog-Timer abläuft
- Der Timer muss während der ordnungsgemäßen Programmausführung regelmäßig zurückgesetzt werden
- Contiki kümmert sich um das Zurücksetzen des Timers
- Wenn man weiß was man tut: `wdt_disable()`;

Hello World vom INGA

```
// definiere einen neuen Prozess mit den Namen "Hello World process"
PROCESS(hello_world_process, "Hello World process");

AUTOSTART_PROCESSES(&hello_world_process);      // starte den Prozess bei Systemstart

PROCESS_THREAD(hello_world_process, ev, data)    // Implementation des Prozesses
{
    PROCESS_BEGIN();                             // Start-Makro

    printf("Hello World!\n"); // Schreibe "Hello World!" auf die serielle Schnittstelle
    while(1) {                                    // Endlosschleife
        PROCESS_PAUSE();    // Gebe die Kontrolle ab (verhindert ablaufen des Watchdogs)
    }

    PROCESS_END();                             // End-Makro
}
```

Hello World kompilieren und flashen

Ins Verzeichnis des Hello World Beispiels wechseln

- `cd examples/hello-world/`

Ziel als inga setzen und speichern

- `make TARGET=inga savetarget`

Kompilieren

- Knoten in Bootloader setzen (wahlweise automatisch mit inga-tool)
- `make hello-world.upload`

Login auf den Knoten (Konsolenausgabe ansehen), vorher neu starten!

- `make login`

Wenn inga-tool läuft

- `make hello-world.upload login`

Contiki - Prozesse

- Kernel ist Event basiert
- Prozesse werden aufgerufen, wenn ein Event für sie auftritt
 - z.B. wenn einer etimer abläuft
- Scheduling ist NICHT preemptiv
 - Prozesse laufen bis sie freiwillig die Kontrolle wieder abgeben
 - oder der Watchdog zuschlägt

Prozesse

- Variablen werden nicht gespeichert, wenn der Scope eines Prozesses verlassen wird
 - Lösung: lokale, statische Variablen (`static`)
- Verwendung von `switch` vermeiden
 - Prozesse werden durch `switch` unterbrochen und weitergeführt
 - besser: `if/(else if)/else`

// Prozess starten

```
process_start (struct process *p, const char *arg)
```

// Prozess beenden

```
process_exit (struct process *p)
```

Events - Senden

```
// Globale Eventnummer holen
```

```
process_event_t myEvent;
```

```
myEvent = process_alloc_event();
```

```
// asynchrones Event an Prozess senden (wird beim nächsten Aufruf des  
Prozesses bearbeitet)
```

```
process_post(&myProcess, myEvent, NULL);
```

```
// an Stelle von NULL beliebiger Pointer möglich
```

```
// synchrones Event senden (wird sofort bearbeitet)
```

```
process_post_synch(&myProcess, myEvent, NULL);
```

Events - Empfangen

// Auf ein Event warten

```
PROCESS_WAIT_EVENT();
```

```
PROCESS_YIELD();
```

// Auf ein Ereignis unter einer Beding warten (z.B. auf Timer)

```
PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(condition c);
```

// Prozess kurz unterbrechen (um so schnell wie möglich weiter zu rechnen)

```
PROCESS_PAUSE();
```

Zwei Prozesse - Beispiel

```
static process_event_t event_data_ready;
PROCESS(temp_process, "Temperature process");
PROCESS(print_process, "Print process");
AUTOSTART_PROCESSES(&temp_process, &print_process);
PROCESS_THREAD(temp_process, ev, data) {
    event_data_ready = process_alloc_event();
    while(1) {
        process_post(&print_process, event_data_ready, &valid_measure);
    }
}
PROCESS_THREAD(print_process, ev, data) {
    while(1) {
        PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(ev == event_data_ready);
        ...
    }
}
```

Kommunikation - Stacks

Zwei Stacks in Contiki verfügbar

- IPv6 (TCP/IP)
- Rime (leichtgewichtig)

Nutzungsmöglichkeiten der Stacks

- keinen
- einen
- beide

IPv6

Makefile

- IPv6 standardmäßig aktiviert

UDP

- `udp_new()` und `udp_bind()`
- `tcpip_event` bei ankommenden Daten, etc.
- zum Senden: `uip_udp_packet_send()`

TCP

- `tcp_connect()` und `tcp_listen()`
- `tcpip_event` bei neuer Verbindung, ankommenden Daten, etc.
- die zusendenden Daten werden aus dem Parameter `appstate` genommen

Rime - ein leichtgewichtiger Kommunikations-Stack

Verschiedene Abstraktionsstufen der Kommunikation
(aufsteigend in ihrer Komplexität):

- Anonymous best-effort single-hop broadcast (abc)
- Identified best-effort single-hop broadcast (ibc)
- Stubborn identified best-effort single-hop broadcast (sibc)
- Best-effort single-hop unicast (uc)
- Stubborn best-effort single-hop unicast (suc)
- Reliable single-hop unicast (ruc)
- Unique anonymous best-effort single-hop broadcast (uabc)
- Unique identified best-effort single-hop broadcast (uibc)

Rime - ein leichtgewichtiger Kommunikations-Stack

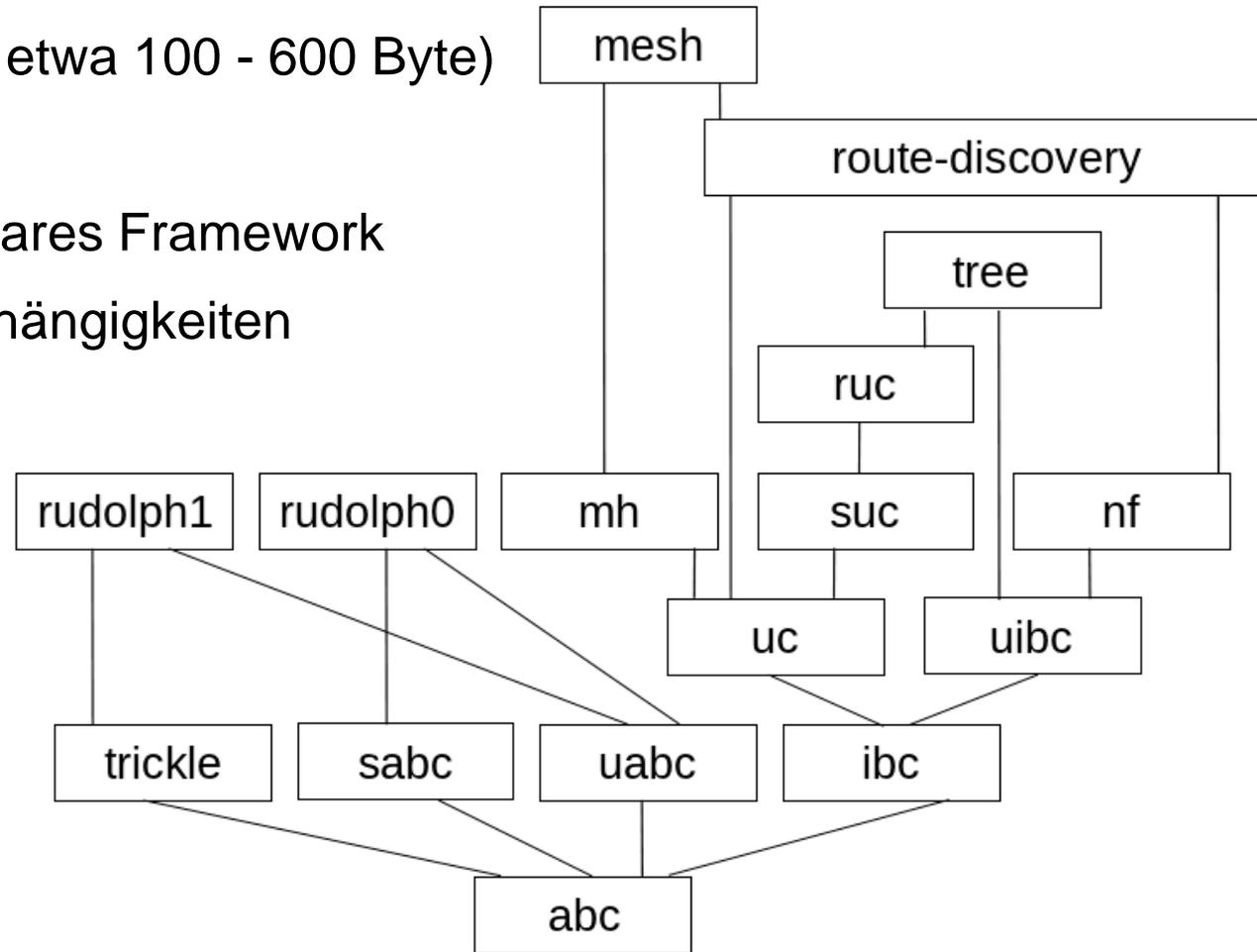
Weitere Abstraktionsstufen der Kommunikation:

- Best-effort multi-hop unicast (mh)
- Best-effort multi-hop flooding (nf)
- Reliable multi-hop flooding (trickle)
- Hop-by-hop reliable mesh routing (mesh)
- Best-effort route discovery (route-discovery)
- Single-hop reliable bulk transfer (rudolph0)
- Multi-hop reliable bulk transfer (rudolph1)
- Hop-by-hop reliable data collection tree routing (tree)

Rime – Layer - Vorteile

geringere Komplexität durch Layer

- einfache Module (je etwa 100 - 600 Byte)
- übersichtlicher
- kein komplett modulares Framework
 - daher gibt es Abhängigkeiten



Rime - Channels

- jede Kommunikation wird anhand eines Kanals (16 Bit ID) identifiziert
- Knoten müssen sich pro Kanal auf ein Modul einigen
 - z.B. uc <-> uc auf Kanal 5
- Kanäle < 128 sind vom System reserviert
- nicht verwechseln mit Sendefrequenzen im 2,4 GHz Band!

Rime - Programmiermodell

Callbacks

- Module kommunizieren via Callbacks

Öffnen einer Verbindung mittels eines Moduls

- Argumente: Modul struct, channel, callbacks
- sobald etwas passiert wird ein Callback aufgerufen

Beispiele

- gute Beispiele in `examples/rime`
- `#include „net/rime.h“` nicht vergessen!

Rime – Broadcast Beispiel

```
// Anonymous best-effort single-hop broadcast
// Called when a message is received
void recv(struct abc_conn *c) {
    printf("Message received\n");
}

struct abc_callbacks cb = {recv};           // Callback
struct abc_conn c;                         // Connection

void setup_sending_a_message_to_all_neighbors(void) {
    abc_open(&c, 128, &cb);                 // Channel 128
}

void send_message_to_neighbors(char *msg, int len) {
    rimebuf_copyfrom(msg, len);            // Setup rimebuf
    abc_send(&c);                          // Send message
}
```

Rime - Multi-Hop Beispiel

```
// Reliable multi-hop flooding
// Called when a message is received
void recv(struct trickle_conn *c) {
    printf("Message received\n");
}

struct trickle_callbacks cb = {recv};           // Callback
struct trickle_conn c;                         // Connection

void setup_sending_a_message_to_network(void) {
    trickle_open(&c, 128, &cb);                 // Channel 128
}

void send_message_to_neighbors(char *msg, int len) {
    rimebuf_copyfrom(msg, len);                 // Setup rimebuf
    trickle_send(&c);                           // Send message
}
```

Node ID

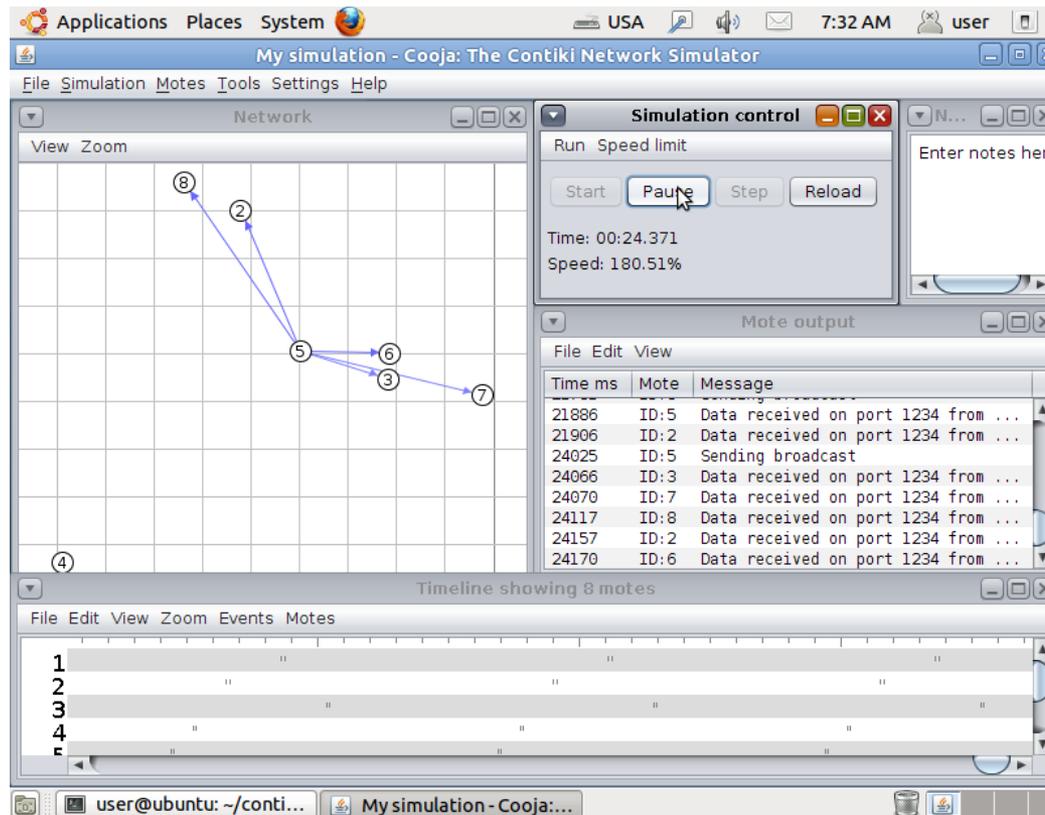
- die Node ID ist notwendig für die Kommunikation
- meist ist diese bereits richtig im EEPROM gesetzt
- Contiki meldet beim Boot die Node ID
- Node ID ist auf den INGAs vermerkt (hexadezimale Zahl!)

Node ID neu setzen oder Channel ändern

- `cd examples/inga/nodesetup/`
- `make NODE_ID=<id> [RADIO_CHANNEL=<value>] setup`
 - siehe `examples/inga/nodesetup/README.md`

Cooja

- Simulation von mehreren Knoten und räumlicher Verteilung
- Erweiterbarer Java-basierter Simulator



Und nun?

- Code lesen
- Beispiele anschauen
 - `examples/inga/demo`
 - `examples/inga/net`
 - `examples/inga/sensors`
 - `examples/hello_world`
 - `examples/rime`
- Selber experimentieren!

Wichtige Links

Praktikumsseite

- <http://www.ibr.cs.tu-bs.de/courses/ss15/wsn/index.html>

GitHub Projekt

- <https://github.com/ibr-cm/contiki-inga>

Offizielle Contiki Homepage

- <http://www.contiki-os.org>

AVR-GCC-Tutorial von mikrocontroller.net

- <http://www.mikrocontroller.net/articles/AVR-GCC-Tutorial>

Fragen & Probleme

Hiwi

- Johannes van Balen (j.van-balen@tu-bs.de)
- Alexander Willecke (willecke@ibr.cs.tu-bs.de)
- Keno Garlichs (garlichs@ibr.cs.tu-bs.de)

Sprechstunde

- nach Vereinbarung, MikLab (IZ 147)

Mailingliste

- wsn@ibr.cs.tu-bs.de
- Anmeldung unter: <http://www.ibr.cs.tu-bs.de/mailman/listinfo/wsn>

Wiki zum Praktikum

- <https://trac.ibr.cs.tu-bs.de/course-cm-wsn> (IBR-Account)

Acknowledgements

Präsentation basiert auf

- Folien von Thiemo Voigt vom Swedish Institute of Computer Science
- Contiki Einführung von Adam Dunkels aus dem Jahr 2007
(<http://www.sics.se/adam/contiki-workshop-2007/workshop07programming.ppt>)
- Karsten Hinz, HiWi im WS 2011/12
- Robert Hartung, HiWi im WS 2012/13
- Yannic Schröder, HiWi im SS 2013



Viel Spaß beim Basteln!