64-210 Eingebettete Systeme

https://lernen.min.uni-hamburg.de

https://tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2024ss/vorlesung/es

Andreas Mäder

Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Fachbereich Informatik
Technische Aspekte Multimodaler Systeme

Sommersemester 2024

Info zur Organisation

Vorlesung

tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2024ss/vorlesung/es

- Di. 12:15-13:45 D 125/129
  Fr. 12:15-13:45 B 201

- Vorlesung folgt: „*Embedded System Design*“ von P. Marwedel
- Springer eBook
  `link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-33437-6` -de-
  `link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-60910-8` -en-
- Originalmaterial der TU Dortmund
  `daes.cs.tu-dortmund.de/embedded-system-text-book`

- diverse gute Lehrbücher — Empfehlungen s.u.
- Informationen und Downloads in dem Moodle — aktuell!
- eingestreute Hinweise auf aktuelle Themen und Vertiefung

Organisation und Material

- Folien, Videomaterial und die Foren im MIN-Moodle:
  `https://lernen.min.uni-hamburg.de`

- Vorlesung in Präsenz

  ergänzend Videos (aus den Online-Jahren 2020 und 2021)
- bei Unklarheiten: Fragen in entsprechenden Q&A Foren stellen

  $\Rightarrow$ die Antworten bilden dort eine Sammlung „zum Nachlesen“

Übungen

tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2024ss/vorlesung/es/uebungen

- vier Gruppen: Di. nach und Fr. vor Vorlesung
- Gr.01 Di. 14:15-15:45 F 325
  Gr.02 –"– F 522 + F 525
  Gr.03 Fr. 10:15-11:45 F 325
  Gr.04 –"– F 522 + F 525
- diese Woche (KW14) Aufgabe 00 Vorbereitung zu Hause
  dann, ab KW15 Aufgabe 01ff. reguläre Präsenztermine
- Durchführung

  Vorbereitung: simulativ am eigenen Rechner
  Proteus Simulation + Arduino IDE (Windows oder VM)

  Übungstermin: praktische Arbeit mit der Hardware

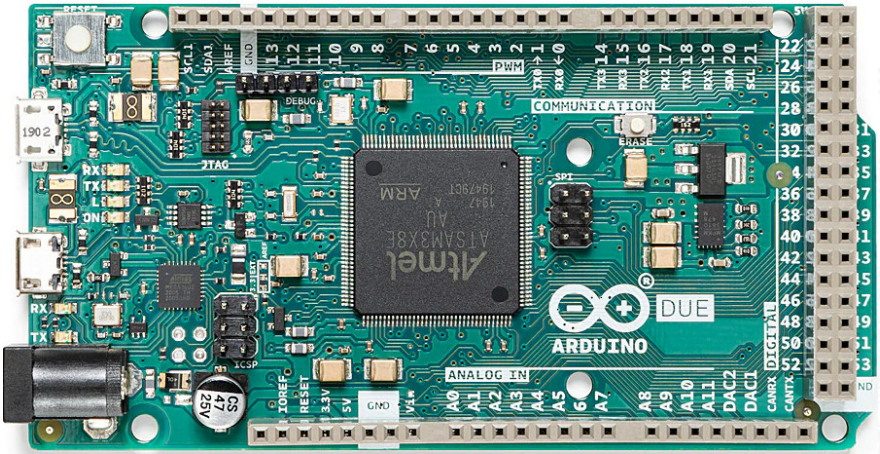
Grundidee

- praktische Ergänzung zur Vorlesung
- Programmieraufgaben mit Mikrocontrollern (und FPGAs)
  - Anschluss von Sensoren und Aktoren
  - Kontrollaufgaben (Steuerung durch endlichen Automaten)
  - Interruptbehandlung
  - einfache Schnittstellen (seriell, I^2C...)
  - Kommunikation
  - ...
- spätere Aufgaben bauen auf Vorherigen auf

  $\Rightarrow$ fertige Lösungen abspeichern und gut dokumentieren

  $\Rightarrow$ automatisierte Tests erstellen

- Arduino Due www.arduino.cc



Übungen: Hardwareplattformen (cont.)

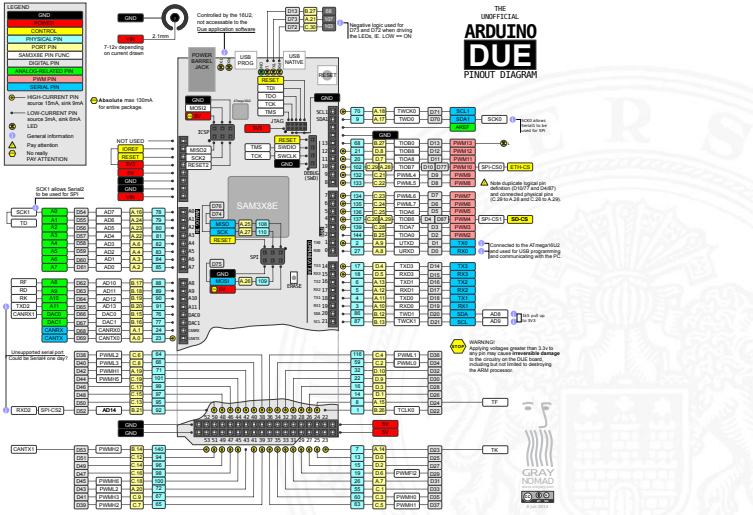
μController System

- Arduino Due `www.arduino.cc`
  - Microcontroller AT91SAM3X8E ARM Cortex-M3, 32bit
  - Clock Speed 84 MHz
  - Operating Voltage 3,3V
  - Digital I/O Pin 54 (12 $\times$ PWM output)
  - Analog Input Pins 12
  - Analog Outputs Pins 2 (DAC)
  - SRAM 96 KB (two banks: 64KB and 32KB)
  - Flash Memory 512 KB
- typische Prototypenplatine mit frei belegbaren Ein-/Ausgängen
- Anschluss externer Komponenten über Pfostenleisten
- sehr große Anzahl fertiger „*Shields*“
  - Sensoren
  - Aktoren, Motortreiber
  - Displays
  - Schnittstellen

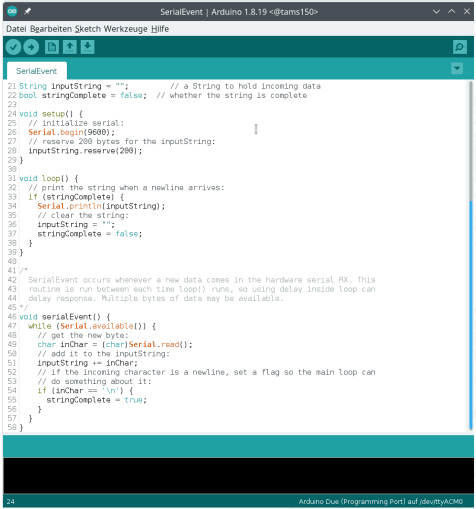
Übungen: Hardwareplattformen (cont.)

μController System

- I/O-Schema



- Arduino-IDE / C-Code



Übungen: Hardwareplattformen

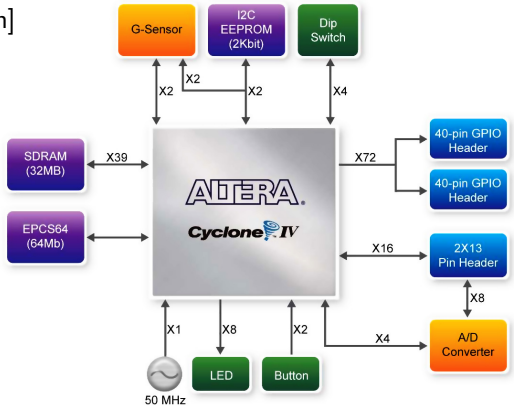
FPGA-Prototypensystem

- Altera DE0-Nano

`www.terasic.com.tw`

`www.intel.de/content/www/de/de/products/programmable.html`

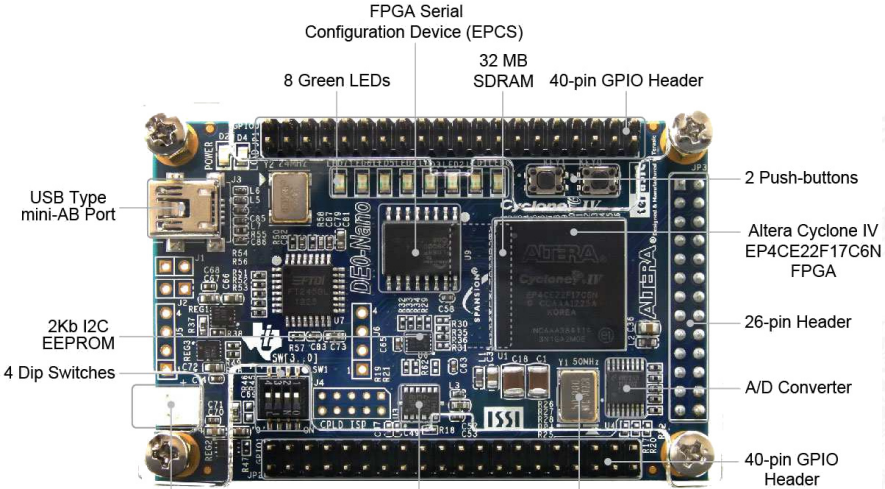
- programmierbare Hardware: FPGA
  - Cyclone IV EP4CE22F17C6N [2009, 60 nm]
  - 153 I/O Pins, gesamt 256 Pins
  - 22 320 LEs $\approx$ 270 000 Gatter
  - 594 Kbit (interner) Speicher
  - 66 HW-Multiplizierer: 18×18 bit
  - 4 PLLs
- On-Board Speicher
  - 32MB SDRAM
  - 2Kbit I^2C EEPROM
- Konfiguration
  - über USB Schnittstelle
  - EPCS64: Flash, serielle Konfig.



- Ein-/Ausgabe
  - 8 LEDs
  - 2 Taster
  - 4 DIP Schalter
- Beschleunigungssensor: ADXL 345, 3-Achsen, 13-bit Auflösung
- A/D Wandler: ADC128S022, 8-Kanal, 12-bit Auflösung
- Erweiterungsstecker
  - 2×40-Pin: 72 I/O Pins + Spannungsversorgung; 5V, 3,3V, Gnd
  - 26-Pin: 16 I/O Pins + 8 analoge Eingänge

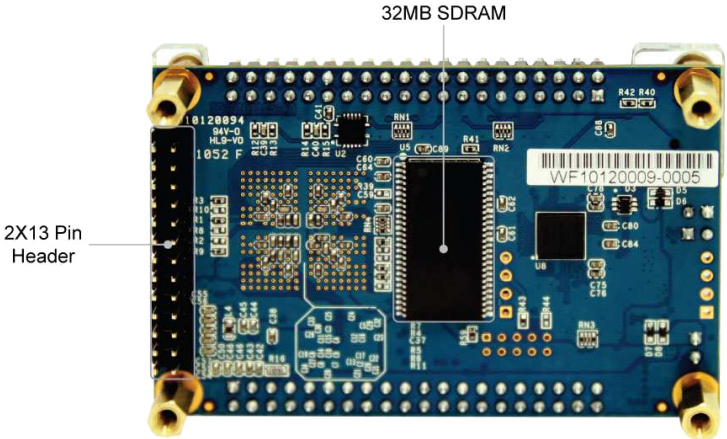
Übungen: Hardwareplattformen (cont.)

FPGA-Prototypensystem



Übungen: Hardwareplattformen (cont.)

FPGA-Prototypensystem

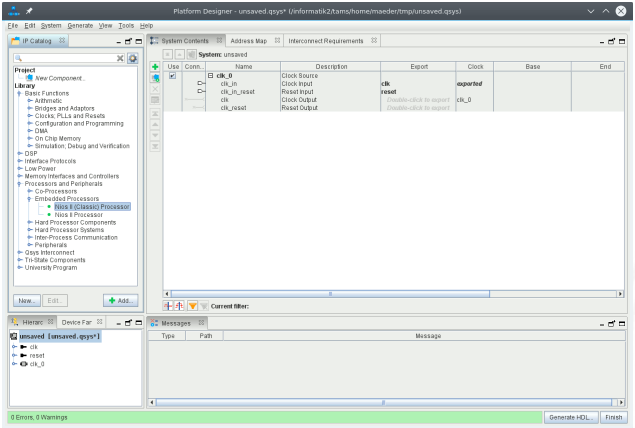


Implementationsmöglichkeiten

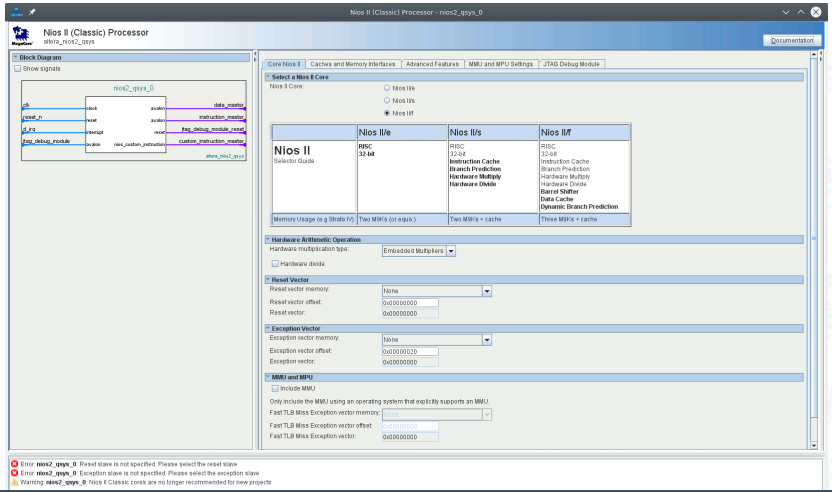
1. Softwareentwurf
   - IP-Komponenten (*Intellectual Property*)
     Speicher, Busse, I/O-Schnittstellen...
   - 32-bit Prozessor (NIOS II)
   - Softwareentwicklung: C Programmierung
     Eclipse + Cross-Compiler
2. Hardwareentwurf: Hardwarebeschreibungssprachen hier: VHDL
3. gemischt: Hardware + Software + IP-Komponenten

Übungen: Hardwareplattformen (cont.)
FPGA-Prototypensystem

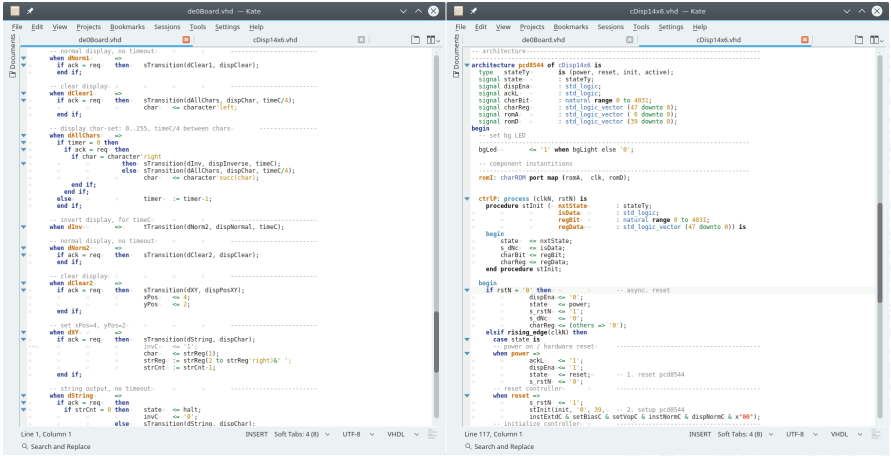
- IP-Komponenten



- NIOS Prozessor



- VHDL-Code


de0Board.vhd — Kate
cDisp14x6.vhd — Kate
File Edit View Projects Bookmarks Sessions Tools Settings Help
Documents
Line 1, Column 1
Line 117, Column 1
INSERT Soft Tabs: 4 (8) UTF-8 VHDL
Search and Replace

Feedback erwünscht

- Zwischenfragen: bitte Feedback bei Unklarheiten etc.!
- über die Moodle Foren / E-Mail an mich
- Fehler und Ungenauigkeiten in den Folien und Materialien bitte melden
- Vorschläge und Hinweise auf Tools, Lehrmaterialien etc. sind immer willkommen!

Problem: unterschiedliches Vorwissen!

- Voraussetzungen: Grundlagen aus Rechnerstrukturen
  aber auch: Assemblerprogrammierung, Betriebssysteme, Netzwerke...
- generell: Interesse an Hardware

Dr. Andreas Mäder

E-Mail andreas.maeder@uni-hamburg.de

Tel. +49 40 42883 2502

Büro Informatikum, Haus F 317

Übungen

Bernd Schütz

E-Mail bernd.schuetz@uni-hamburg.de

Tel. +49 40 42883 2503

Büro Informatikum, Haus F 322

Literatur: empfohlene Lehrbücher

[Mar21] P. Marwedel:

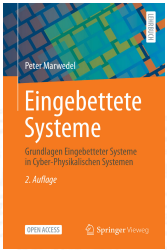
Eingebettete Systeme – Grundlagen eingebetteter Systeme in Cyber-Physikalischen Systemen.

2. Auflage, Springer-Verlag, 2021. ISBN 978–3–658–33437–6

Primärliteratur: Komplette Behandlung des Themas. Buch und Foliensatz sind Vorlage dieser Vorlesung.

Originalmaterial der Vorlesung von Peter Marwedel: `daes.cs.tu-dortmund.de/embedded-system-text-book/downloads`

eBook: `link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-33437-6`



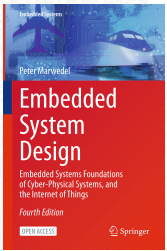
[Mar21e] P. Marwedel:

Embedded System Design – Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things.

4th edition, Springer-Verlag, 2021. ISBN 978–3–030–60910–8

Primärliteratur: die englische Originalversion.

eBook: `link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-60910-8`



Literatur: empfohlene Lehrbücher (cont.)

[TH07] J. Teich, C. Haubelt:

Digitale Hardware/Software-Systeme – Synthese und Optimierung.

2. Auflage, Springer-Verlag, 2007. ISBN 978–3–540–46822–6

Schwerpunkte: Realisierung eingebetteter Systeme, also Synthese, Scheduling, Bindung von Ressourcen etc.

eBook: `link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-46824-0`

[HT10] C. Haubelt, J. Teich:

Digitale Hardware/Software-Systeme – Spezifikation und Verifikation.

Springer-Verlag, 2010. ISBN 978–3–642–05356–6

Schwerpunkte: Methoden zur Spezifikation eingebetteter Systeme und der (formalen) Verifikation, Simulation etc.

eBook: `link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-05356-6`

[VG02] F. Vahid, T. Givargis:

Embedded System Design – A Unified Hardware/Software Introduction.

John Wiley & Sons, 2002. ISBN 978–0–471–38678–0

Alle Themen im Überblick, etwas älter.

Mehrere Exemplare in der Informatik-Bibliothek vorhanden.

Literatur: weitere Lehrbücher

[Brä22] T. Bräunl:

Embedded Robotics – From Mobile Robots to Autonomous Vehicles with Raspberry Pi and Arduino.

4th edition, Springer-Verlag, 2022. ISBN 978–981–16–0804–9

Eigentlich ein „Robotik"-Buch, zeigt aber sehr schön den Zusammenhang mit „Eingebetteten Systemen", passend zu den Übungen

eBook: `link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-0804-9`

[Lew13] D. Lewis:

Fundamentals of embedded software – with the ARM Cortex-M3.

2nd edition, Pearson Education, 2013. ISBN 978–0–13–291654–7

Schwerpunkt: Software, viel praktische Programmierung in C und Assembler.

Literatur: weitere Lehrbücher (cont.)

[SC17] J. Sanchez, M.P. Canton:

Embedded Systems Circuits and Programming.

2nd edition, CRC Press, 2017. ISBN 978–1–138–07406–4

Schwerpunkt auf PIC μController, enthält außerdem viele (elektro-) technische Grundlagen.

[Wol16] M. Wolf:

Computers as Components – Principles of Embedded Computing System Design.

4th edition, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2016. ISBN 978–0–12–805387–4

[Zöb20] D. Zöbel:

Echtzeitsysteme – Grundlagen der Planung.

2. Auflage, Springer-Verlag, 2020. ISBN 978–3–662–60421–2

eBook: `link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-60421-2`

Literatur: Vertiefung

[BO15] R.E. Bryant, D.R. O'Hallaron:

Computer systems – A programmers perspective.

3rd global ed., Pearson Education Ltd., 2015. ISBN 978–1–292–10176–7

Rechnerarchitektur mit Schwerpunkt Software und Systeme,
leider nicht ganz billig. Viele C-Programme und Systemprogrammierung. Beispiele anhand Intel x86 Architektur.

[TA14] A.S. Tanenbaum, T. Austin:

Rechnerarchitektur – Von der digitalen Logik zum Parallelrechner.

6. Auflage, Pearson Deutschland GmbH, 2014. ISBN 978–3–8689–4238–5

Guter Überblick zum Thema Rechnerarchitektur, klares didaktisches Konzept. Java VM, Intel x86, SPARC. Mit jeder Auflage komplett überarbeitet und aktualisiert.

[HP17] J.L. Hennessy, D.A. Patterson:

Computer Architecture – A Quantitative Approach.

6th edition, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2017. ISBN 978–0–12–811905–1

Die Bibel zum Thema Rechnerarchitektur

Literatur: Vertiefung (cont.)

[PH22] D.A. Patterson, J.L. Hennessy:

Rechnerorganisation und Rechnerentwurf – Die Hardware/Software-Schnittstelle – MIPS Edition.

6. Auflage, De Gruyter Oldenbourg, 2022. ISBN 978–3–11–075598–5

Schönes Lehrbuch von den Entwicklern der RISC/MIPS Prozessoren.

[PH20] D.A. Patterson, J.L. Hennessy:

Computer Organization and Design – The Hardware Software Interface – RISC-V Edition.

2nd edition, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2020. ISBN 978–0–12–820331–6

. . . auch mit RISC-V Befehlssatz (oder als „ARM Edition“).

[MJW20] M. Margolis, B. Jepson, N. R. Weldin:
Arduino Cookbook – Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects.
3rd edition, O´Reilly, 2020. ISBN 978–1–4919–0352–0
Die Arduino Referenz

[McR13] M. McRoberts:
Beginning Arduino.
Apress, 2013. ISBN 978–1–4302–5016–6
Praxisnahe Beispiele und Projekte
eBook: `link.springer.com/book/10.1007/978-1-4302-5017-3`