

Systemnahe Programmierung in C (SPiC)

1 Lernziele

Jürgen Kleinöder, Daniel Lohmann, Volkmar Sieh

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2019

http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V_SPiC



- **Vertiefen** des Wissens über Konzepte und Techniken der Informatik für die Softwareentwicklung
 - Ausgangspunkt: Grundlagen der Informatik (Gdl)
 - Schwerpunkt: Systemnahe Softwareentwicklung in C
- **Entwickeln** von Software in C für einen μ -Controller (μ C) und eine Betriebssystem-Plattform (Linux)
 - SPiCboard-Lehrentwicklungsplattform mit ATmega- μ C
 - **Praktische Erfahrungen** in hardware- und systemnaher Softwareentwicklung machen
- **Verstehen** der technologischen Sprach- und Hardwaregrundlagen für die Entwicklung systemnaher Software
 - Die Sprache C verstehen und einschätzen können
 - Umgang mit Nebenläufigkeit und Hardwarenähe
 - Umgang mit den Abstraktionen eines Betriebssystems (Dateien, Prozesse, ...)

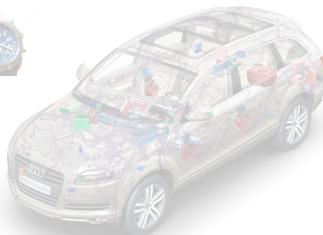


Motivation: Eingebettete Systeme



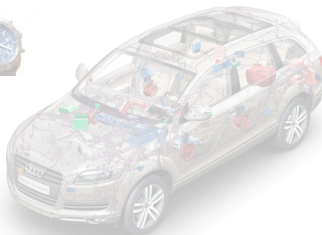
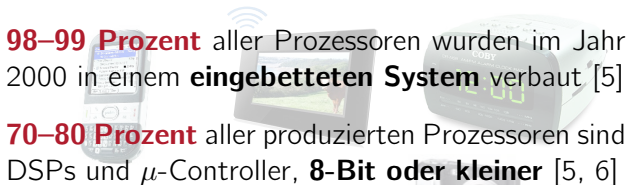
Motivation: Eingebettete Systeme

- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren wurden im Jahr 2000 in einem **eingebetteten System** verbaut [5]



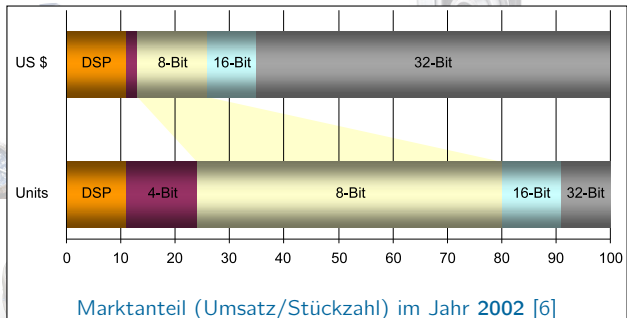
Motivation: Eingebettete Systeme

- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren wurden im Jahr 2000 in einem **eingebetteten System** verbaut [5]
- **Kostensensitiv:** **70–80 Prozent** aller produzierten Prozessoren sind DSPs und μ -Controller, **8-Bit oder kleiner** [5, 6]



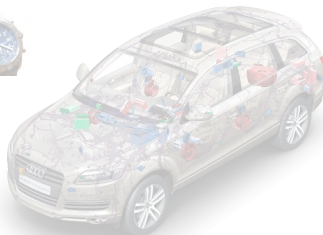
Motivation: Eingebettete Systeme

- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren wurden im Jahr 2000 in einem **eingebetteten System** verbaut [5]
- **Kostensensitiv:** **70–80 Prozent** aller produzierten Prozessoren sind DSPs und μ -Controller, **8-Bit oder kleiner** [5, 6]



Motivation: Eingebettete Systeme

- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren wurden im Jahr 2000 in einem **eingebetteten System** verbaut [5]
- **Kostensensitiv:** **70–80 Prozent** aller produzierten Prozessoren sind DSPs und μ -Controller, **8-Bit oder kleiner** [5, 6]
- **Relevant:** **25 Prozent** der Stellenanzeigen für EE-Ingenieure enthalten die Stichworte *embedded* oder *automotive* (<http://stepstone.com>, 4. April 2011)



Motivation: Eingebettete Systeme

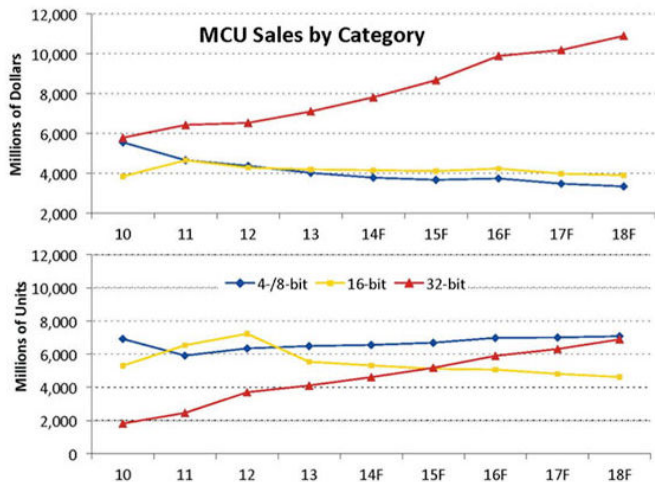
- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren wurden im Jahr 2000 in einem **eingebetteten System** verbaut [5]
- **Kostensensitiv:** **70–80 Prozent** aller produzierten Prozessoren sind DSPs und μ -Controller, **8-Bit oder kleiner** [5, 6]
- **Relevant:** **25 Prozent** der Stellenanzeigen für EE-Ingenieure enthalten die Stichworte *embedded* oder *automotive* (<http://stepstone.com>, 4. April 2011)

Bei den oberen Zahlen ist gesunde Skepsis geboten

- Die Veröffentlichungen [5, 6] sind **mehr als 10 Jahre** alt!
- Man kann dennoch davon ausgehen, dass die **relativen Größenordnungen** nach wie vor stimmen
 - 2016 liegt der Anteil an 8-Bitern (vermutlich) noch bei 40 Prozent
 - 4-Bitter dürften inzwischen jedoch weitgehend ausgestorben sein



Motivation: Eingebettete Systeme



Quelle: IC Insights 2014 *McClean Report*



Motivation: Die ATmega- μ C-Familie (8-Bit)

Type	Flash	SRAM	IO	Timer	8/16	UART	SPI	ADC	PWM	EUR
ATTINY13	1 KiB	64 B	6	1/-	-	-	-	1*4	-	0,86
ATTINY2313	2 KiB	128 B	18	1/1	-	1	-	-	-	0,99
ATMEGA48	4 KiB	512 B	23	2/1	1	1	8*10	6	1,40	
ATMEGA16	16 KiB	1024 B	32	2/1	1	1	8*10	4	2,05	
ATMEGA32	32 KiB	2048 B	32	2/1	1	1	8*10	4	3,65	
ATMEGA64	64 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	5,70	
ATMEGA128	128 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	7,35	
ATMEGA256	256 KiB	8192 B	86	2/2	4	1	16*10	16	8,99	

ATmega-Varianten (Auswahl) und Handelspreise (Reichelt Elektronik, April 2015)



Motivation: Die ATmega- μ C-Familie (8-Bit)

Type	Flash	SRAM	IO	Timer	8/16	UART	SPI	ADC	PWM	EUR
ATTINY13	1 KiB	64 B	6	1/-	-	-	-	1*4	-	0,86
ATTINY2313	2 KiB	128 B	18	1/1	-	1	-	-	-	0,99
ATMEGA48	4 KiB	512 B	23	2/1	1	1	8*10	6	1,40	
ATMEGA16	16 KiB	1024 B	32	2/1	1	1	8*10	4	2,05	
ATMEGA32	32 KiB	2048 B	32	2/1	1	1	8*10	4	3,65	
ATMEGA64	64 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	5,70	
ATMEGA128	128 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	7,35	
ATMEGA256	256 KiB	8192 B	86	2/2	4	1	16*10	16	8,99	

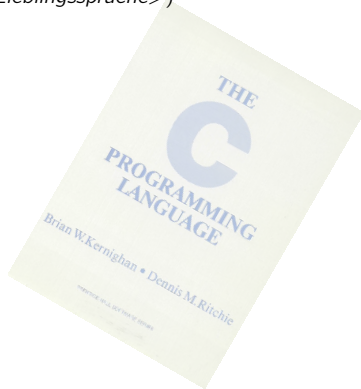
ATmega-Varianten (Auswahl) und Handelspreise (Reichelt Elektronik, April 2015)

- Sichtbar wird: **Ressourcenknappheit**
 - **Flash** (Speicher für Programmcode und konstante Daten) ist **knapp**
 - **RAM** (Speicher für Laufzeit-Variablen) ist **extrem knapp**
 - Wenige Bytes „Verschwendung“ \rightsquigarrow signifikant höhere Stückzahlkosten



Motivation: Die Sprache C

- Systemnahe Softwareentwicklung erfolgt überwiegend in **C**
 - **Warum C?** (und nicht Java/Cobol/Scala/<Lieblingssprache>)



Motivation: Die Sprache C

- Systemnahe Softwareentwicklung erfolgt überwiegend in **C**
 - **Warum C?** (und nicht Java/Cobol/Scala/<Lieblingssprache>)
- C steht für eine Reihe hier wichtiger Eigenschaften
 - Laufzeiteffizienz (CPU)
 - Übersetzter C-Code läuft direkt auf dem Prozessor
 - Keine Prüfungen auf Programmierfehler zur Laufzeit



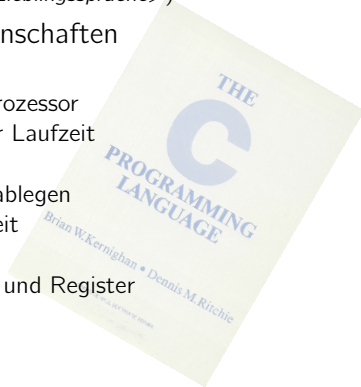
Motivation: Die Sprache C

- Systemnahe Softwareentwicklung erfolgt überwiegend in **C**
 - **Warum C?** (und nicht Java/Cobol/Scala/<Lieblingssprache>)
- C steht für eine Reihe hier wichtiger Eigenschaften
 - Laufzeiteffizienz (CPU)
 - Übersetzter C-Code läuft direkt auf dem Prozessor
 - Keine Prüfungen auf Programmierfehler zur Laufzeit
 - Platzeffizienz (Speicher)
 - Code und Daten lassen sich sehr kompakt ablegen
 - Keine Prüfung der Datenzugriffe zur Laufzeit



Motivation: Die Sprache C

- Systemnahe Softwareentwicklung erfolgt überwiegend in **C**
 - **Warum C?** (und nicht Java/Cobol/Scala/<Lieblingssprache>)
- C steht für eine Reihe hier wichtiger Eigenschaften
 - Laufzeiteffizienz (CPU)
 - Übersetzter C-Code läuft direkt auf dem Prozessor
 - Keine Prüfungen auf Programmierfehler zur Laufzeit
 - Platzeffizienz (Speicher)
 - Code und Daten lassen sich sehr kompakt ablegen
 - Keine Prüfung der Datenzugriffe zur Laufzeit
 - Direktheit (Maschinennähe)
 - C erlaubt den direkten Zugriff auf Speicher und Register



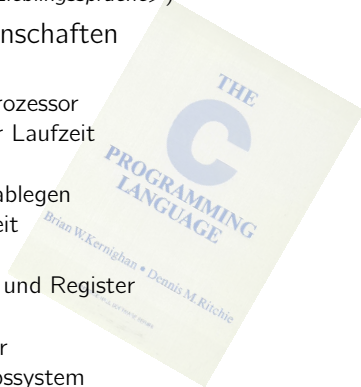
Motivation: Die Sprache C

- Systemnahe Softwareentwicklung erfolgt überwiegend in **C**
 - **Warum C?** (und nicht Java/Cobol/Scala/<Lieblingssprache>)
- C steht für eine Reihe hier wichtiger Eigenschaften
 - Laufzeiteffizienz (CPU)
 - Übersetzter C-Code läuft direkt auf dem Prozessor
 - Keine Prüfungen auf Programmierfehler zur Laufzeit
 - Platzeffizienz (Speicher)
 - Code und Daten lassen sich sehr kompakt ablegen
 - Keine Prüfung der Datenzugriffe zur Laufzeit
 - Direktheit (Maschinennähe)
 - C erlaubt den direkten Zugriff auf Speicher und Register
 - Portabilität
 - Es gibt für **jede** Plattform einen C-Compiler
 - C wurde „erfunden“ (1973), um das Betriebssystem UNIX portabel zu implementieren [2, 4]



Motivation: Die Sprache C

- Systemnahe Softwareentwicklung erfolgt überwiegend in **C**
 - **Warum C?** (und nicht Java/Cobol/Scala/<Lieblingssprache>)
- C steht für eine Reihe hier wichtiger Eigenschaften
 - Laufzeiteffizienz (CPU)
 - Übersetzter C-Code läuft direkt auf dem Prozessor
 - Keine Prüfungen auf Programmierfehler zur Laufzeit
 - Platzeffizienz (Speicher)
 - Code und Daten lassen sich sehr kompakt ablegen
 - Keine Prüfung der Datenzugriffe zur Laufzeit
 - Direktheit (Maschinennähe)
 - C erlaubt den direkten Zugriff auf Speicher und Register
 - Portabilität
 - Es gibt für **jede** Plattform einen C-Compiler
 - C wurde „erfunden“ (1973), um das Betriebssystem UNIX portabel zu implementieren [2, 4]



~> **C** ist die **lingua franca** der systemnahen Softwareentwicklung!



- **Lehrziel:** Systemnahe Softwareentwicklung in C
 - Das ist ein sehr umfangreiches Feld: Hardware-Programmierung, Betriebssysteme, Middleware, Datenbanken, Verteilte Systeme, Übersetzerbau, ...
 - Dazu kommt dann noch das Erlernen der Sprache C selber
- **Herausforderung:** Umfang der Veranstaltung (nur 2,5 ECTS)
 - Für Vorlesung und Übung eigentlich zu wenig
 - Veranstaltung soll trotzdem einen **hohen praktischen Anteil** haben
- **Ansatz:** Konzentration auf die Domäne μ -Controller
 - Konzepte und Techniken an kleinen Beispielen lehr- und erfahrbar
 - **Hohe Relevanz** für die Zielgruppe (EEI)



- **Lehrziel:** Systemnahe Softwareentwicklung in C
 - Das ist ein sehr umfangreiches Feld: **Hardware-Programmierung**, **Betriebssysteme**, Middleware, Datenbanken, Verteilte Systeme, Übersetzerbau, ...
 - Dazu kommt dann noch das Erlernen der Sprache C selber
- **Ansatz**
 - Konzentration auf zwei Domänen
 - μ -Controller-Programmierung
 - Softwareentwicklung für die Linux-Systemschnittstelle
 - Gegensatz μ C-Umgebung \leftrightarrow Betriebssystemplattform erfahren
 - Konzepte und Techniken an kleinen Beispielen lehr- und erfahrbar
 - **Hohe Relevanz** für die Zielgruppe (ME)



- Das Handout der Vorlesungsfolien wird online zur Verfügung gestellt
 - Kapitel einzeln oder als gesamtes Skriptum verfügbar
 - Online-Version wird vor der Vorlesung aktualisiert
 - Handout enthält (in geringem Umfang) zusätzliche Informationen
- **Das Handout kann eine eigene Mitschrift nicht ersetzen!**



[1] Für den Einstieg empfohlen:

Manfred Dausmann, Ulrich Bröckl, Dominic Schoop u. a. *C als erste Programmiersprache: Vom Einsteiger zum Fortgeschrittenen*. (Als E-Book aus dem Uninetz verfügbar; PDF-Version unter `/proj/i4spic/pub/material/`). Vieweg+Teubner, 2010. ISBN: 978-3834812216. URL: <https://www.springerlink.com/content/978-3-8348-1221-6/#section=813748&page=1>



[3] Der „Klassiker“ (eher als Referenz geeignet):

Brian W. Kernighan und Dennis MacAlistair Ritchie. *The C Programming Language (2nd Edition)*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1988. ISBN: 978-8120305960

