

Systemnahe Programmierung in C

1 Einleitung

J. Kleinöder, D. Lohmann, V. Sieh, P. Wägemann

Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg (FAU)

Sommersemester 2026

<http://sys.cs.fau.de/lehre/ss26>



- **Vertiefen** des Wissens über Konzepte und Techniken der Informatik für die Softwareentwicklung
 - Ausgangspunkt: Grundlagen der Informatik (GdI)
 - 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, ...)

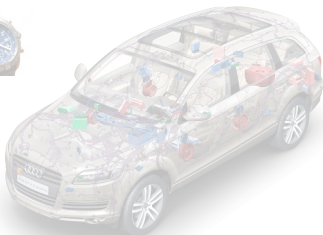
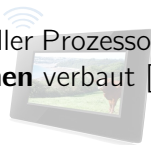


Motivation: Eingebettete Systeme



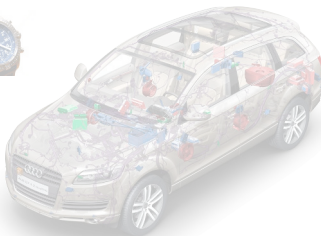
Motivation: Eingebettete Systeme

- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren werden in **eingebetteten Systemen** verbaut [4]



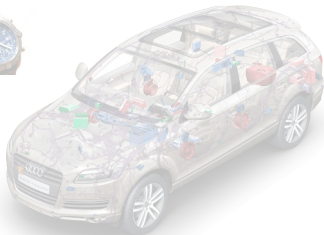
Motivation: Eingebettete Systeme

- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren werden in **eingebetteten Systemen** verbaut [4]
- **Kostensensitiv:** **70–80 Prozent** aller produzierten Prozessoren sind DSPs und μ -Controller, **8-Bit oder kleiner** [4, 5]

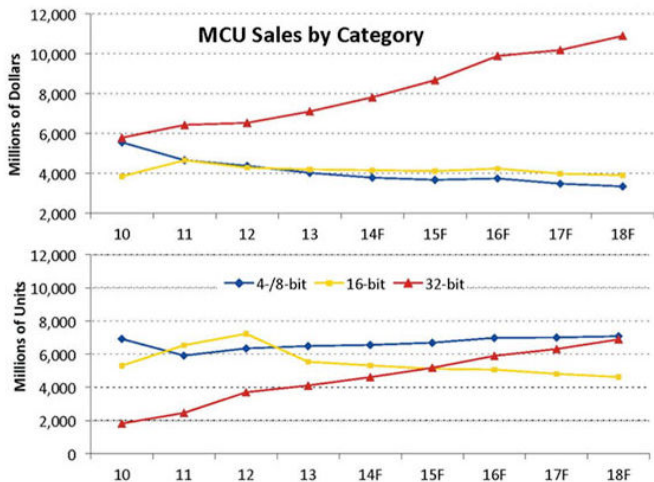


Motivation: Eingebettete Systeme

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



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	-	1,02
ATTINY2313	2 KiB	128 B	18	1/1	-	1	-	-	-	0,90
ATMEGA48	4 KiB	512 B	23	2/1	1	1	8*10	6	2,95	
ATMEGA16	16 KiB	1024 B	32	2/1	1	1	8*10	4	2,10	
ATMEGA32	32 KiB	2048 B	32	2/1	1	1	8*10	4	2,20	
ATMEGA64	64 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	6.84	
ATMEGA128	128 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	6.10	
ATMEGA256	256 KiB	8192 B	86	2/2	4	1	16*10	16	14.50	

ATmega-Varianten (Auswahl) und Handelspreise (Reichelt Elektronik, April 2026)



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	-	1,02
ATTINY2313	2 KiB	128 B	18	1/1	-	1	-	-	-	0,90
ATMEGA48	4 KiB	512 B	23	2/1	1	1	8*10	6	2,95	
ATMEGA16	16 KiB	1024 B	32	2/1	1	1	8*10	4	2,10	
ATMEGA32	32 KiB	2048 B	32	2/1	1	1	8*10	4	2,20	
ATMEGA64	64 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	6.84	
ATMEGA128	128 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	6.10	
ATMEGA256	256 KiB	8192 B	86	2/2	4	1	16*10	16	14.50	

ATmega-Varianten (Auswahl) und Handelspreise (Reichelt Elektronik, April 2026)

- 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



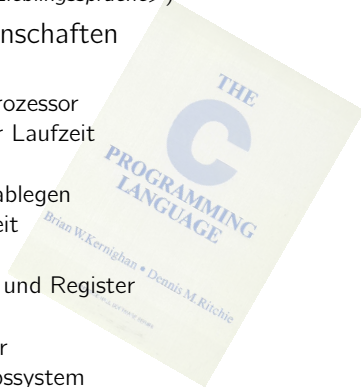
Motivation: Die Sprache C

- 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, 0]



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, 0]



~> **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
- **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 (EEI, ME, ...)



Motivation: SPiC

Jede(r) soll am Ende der Veranstaltung abschätzen können,

- was ein μ -Controller (nicht) kann,
- wie aufwändig es ist, ihn zu programmieren,
- was ein Betriebssystem (nicht) bietet,
- wie aufwändig es ist, es zu nutzen.

Jede(r) soll in der Lage sein, ggf. mit einem Informatiker zusammenzuarbeiten...



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



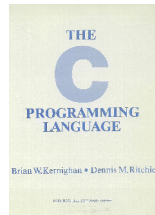
[1] Für den Einstieg empfohlen:

Joachim Goll und Manfred Dausmann. *C als erste Programmiersprache*. (Als E-Book aus dem Uninetz verfügbar). Springer Vieweg, 2014. ISBN: 978-3-8348-2271-0. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-8348-2271-0>



[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



- [1] 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>.
- [2] Brian W. Kernighan und Dennis MacAlistair Ritchie. *The C Programming Language*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1978.
- [3] Brian W. Kernighan und Dennis MacAlistair Ritchie. *The C Programming Language (2nd Edition)*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1988. ISBN: 978-8120305960.
- [4] David Tennenhouse. "Proactive Computing". In: *Communications of the ACM* (Mai 2000), S. 43–45.
- [5] Jim Turley. "The Two Percent Solution". In: *embedded.com* (2002). <http://www.embedded.com/story/0EG2002121750039>, visited 2011-04-08.

