

Embedded Systems / Eingebettete Systeme

Studiengang Informatik
Campus Minden

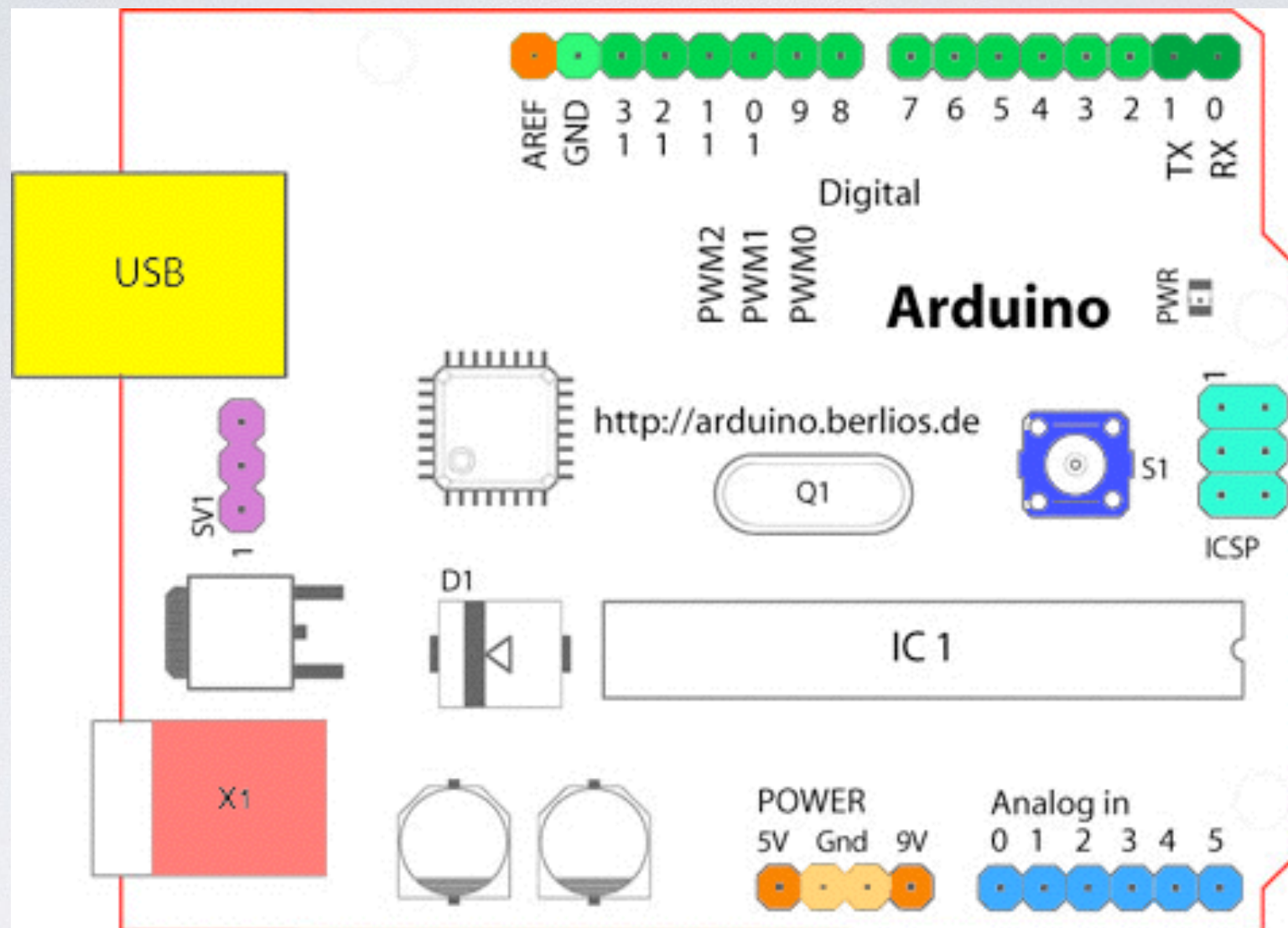
Matthias König



FH Bielefeld
University of
Applied Sciences

Hardware eingebetteter Systeme

Arduino Uno



[Quelle: <http://arduino.cc/en/Guide/Board?from=Tutorial.ArduinoBoard>]

- 8 Bit Mikrocontroller ATmega328P, 16 MHz
- 2 Kbytes SRAM, 32 Kbytes Flash (30 für eigene Anwendungen), 1 Kbyte EEPROM
- 20 I/O Pins

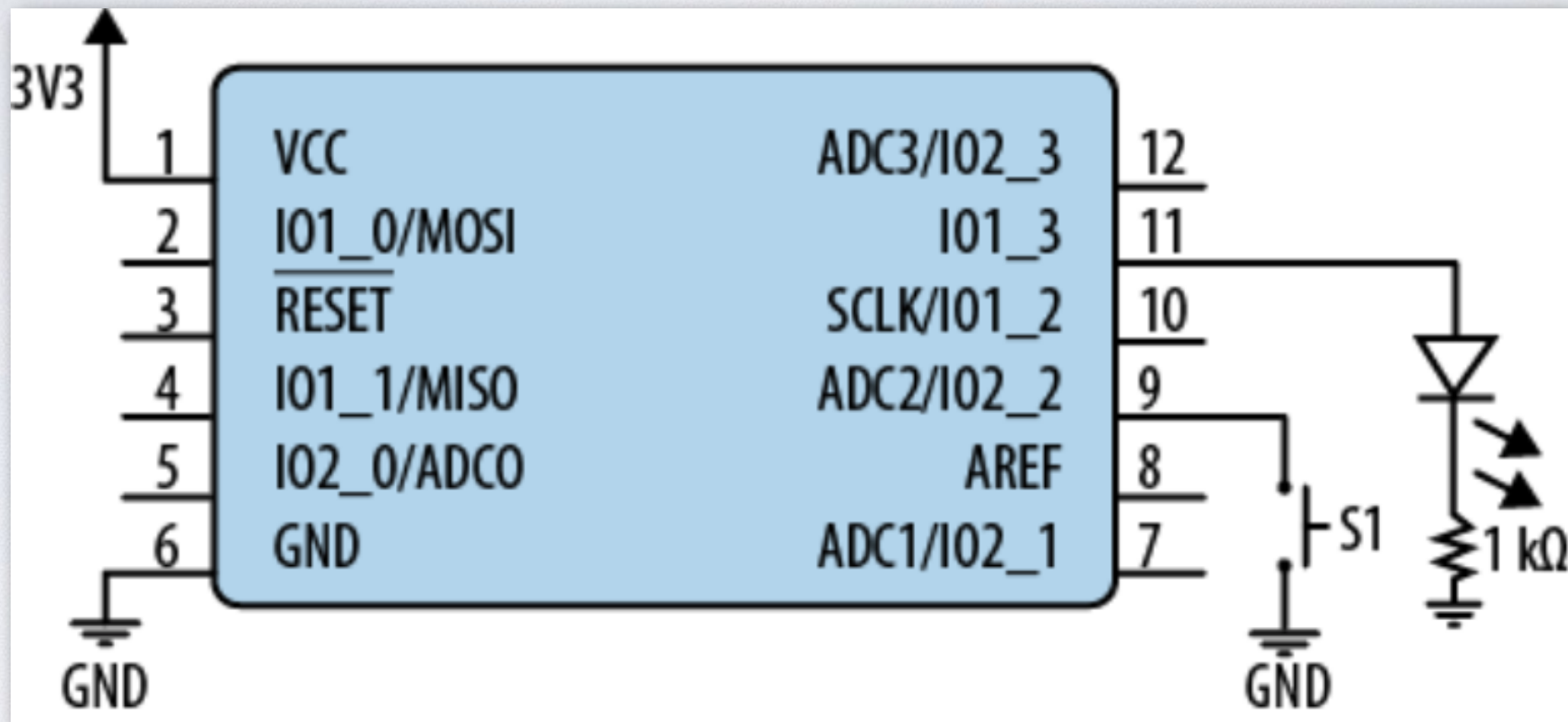
Quelle: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

[illegible]

Use of the ARDUINO name must be compliant with <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>

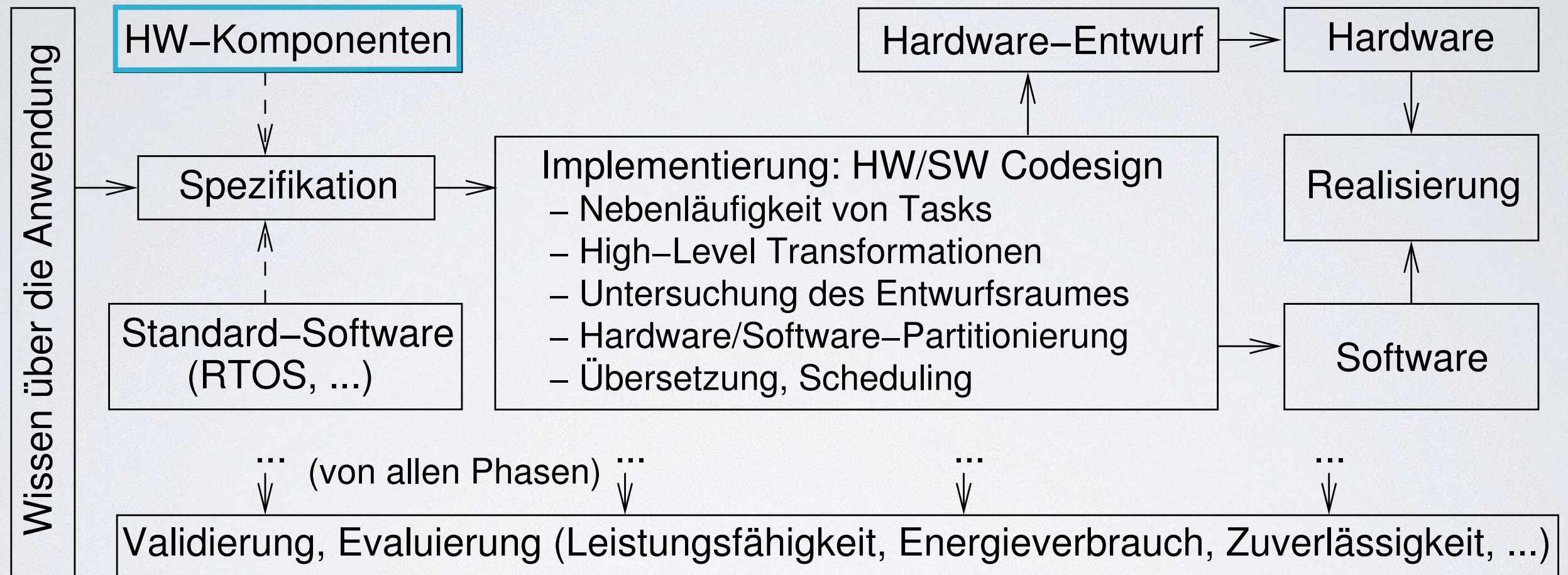
Capacitors	Qty	Part Number	Manufacturer	Package	Reference	Arduino Bill of Materials			
	2	500R14N220JV4T	Johanson	0603	C9, C11	22p	Quelle: http://ruggedcircuits.com/misc/arduino_Uno_Rev3-02-TH.xls		
	2	MC0603N220J500CT	Multicomp	0603	C9, C11	22p			
	2	VJ0603A220KXQPW1BC	Vishay	0603	C9, C11	22p			
	6	CC0603KRX7R9BB104	Yageo	0603	C1, C2, C4, C5, C6, C7	100nF capacitor ceramic	311-1344-1-ND		
	6	C0603C104K5RACTU	Kemet	0603	C1, C2, C4, C5, C6, C7	100nF capacitor ceramic			72J5992
	6	GRM188R71H104KA93D	Murata	0603	C1, C2, C4, C5, C6, C7	100nF capacitor ceramic	490-1519-1-ND	81-GRM39X104K50D	38K1670
	2	GRM188R60J105KA01D	Murata	0603	C3, C8	1uF capacitor ceramic 6.3V	490-1550-1-ND	81-GRM39R105K6.3	
	2	C1608X5R1A105MT	TDK	0603	C3, C8	1uF capacitor ceramic 10V		810-C1608X5R1A105M	
	2	EMVA250ADA470MF55G	UCC	SMD	PC1, PC2	47uF electrolytic capacitor SMT	565-2103-1-ND	661-EMVA250ADA470MF5	76K1185
	2	AVE476M50X16T-F	Cornell	SMD	PC1, PC2	47uF electrolytic capacitor SMT		598-AVE476M50X16T-F	
Connectors									
	1	PJ-102A	CUI	PTH	X1	2.1mm DC power jack	CP-102A-ND		
	1	USB-B1HSW6	On Shore	PTH	X2	USB type B connector right-angle - white	ED2982-ND		
	1	USB-B1HSB6	On Shore	PTH	X2	USB type B connector right-angle - black	ED2983-ND		
	1	67996-404HLF	FCI	PTH	JP2	Pin header 0.1" 2x2	609-3390-ND	649-67996-404HLF	
	2	67996-406HLF	FCI	PTH	ICSP, ICSP1	Pin header 0.1" 2x3	609-3218-ND	649-67996-406HLF	20M2191
	1	M20-7820646	Harwin	PTH	AD	Socket strip 0.1" 1x6		855-M20-7820646	
	1	5-534237-4	TE	PTH	AD	Socket strip 0.1" 1x6	A32907-ND		62M8851
	2	960108-6202-AR	3M	PTH	IOL, POWER	Socket strip 0.1" 1x8	3M9518-ND	517-9601086202AR	62R6734
	2	M20-7820842	Harwin	PTH	IOL, POWER	Socket strip 0.1" 1x8		855-M20-7820842	
	1	M20-7821046	Harwin	PTH	IOH	Socket strip 0.1" 1x10		855-M20-7821046	
	1	5-534237-8	TE	PTH	IOH	Socket strip 0.1" 1x10	A32910-ND	571-5-534237-8	52K3746
Crystals									
	1	ATS16B	CTS	HC49/US	Y1	16MHz 18pF	CTX1085-ND	774-ATS16B	
	1	ABL-16.000MHZ-B2	Abracon	HC49/US	Y1	16MHz 18pF		815-ABL-16-B2	13J1628
Diodes									
	2	CD1206-S01575	Bourns	1206	D2, D3	Switching diode		652-CD1206-S01575	09J8040
	1	S2M-13-F	Diodes Inc	SMB	D1	Switching diode	S2M-FDICT-ND	621-S2M-F	
	1	S2J	Fairchild	SMB	D1	Switching diode	S2J-TPMSCT-ND	512-S2J	05R5915
Ferrites									
	1	BLM21PG221SN1D	Murata	0805	L1	Ferrite 50mOhm@DC / 220ohm@100MHz	490-1054-1-ND	81-BLM21P221SG	
Fuses									
	1	MF-MSMF050-2	Bourns	1812	F1	Fuse 500mA 15V	MF-MSMF050-2CT-ND	652-MF-MSMF050-2	02J2718
IC's									
	1	ATMEGA16U2-MUR	Atmel	VQFN-32	U3	ATmega16U2 16kB FLASH	ATMEGA16U2-MURCT-ND	556-ATMEGA16U2-MUR	
	1	ATMEGA328P-PU	Atmel	DIP-28	ZU4	ATmega328P	ATMEGA328P-PU-ND	556-ATMEGA328P-PU	15R0268
	1	LMV358IDGKR	TI	MSOP-8	U5	Dual op-amp RRO	296-13455-1-ND	595-LMV358IDGKR	
	1	MCP6002-E/MS	Microchip	MSOP-8	U5	Dual op-amp RRO	MCP6002-E/MS-ND	579-MCP6002-E/MS	88H9854
	1	LP2985-33DBVR	TI	SOT-23-5	U2	150mA 3.3V LDO	296-18476-1-ND	595-LP2985-33DBVR	43J9346
	1	NCP1117ST50T3G	ON Semi	SOT-223	U1	1A 5V LDO	NCP1117ST50T3GOSCT-ND	863-NCP1117ST50T3G	71J6563
LED's									
	1	LC-P071-KN-1.0-20-P18	Qorvo	0805	ON	LED amber	475-1410-1-ND		

Einfaches Schaltbild



[Quelle: White, Making Embedded Systems]

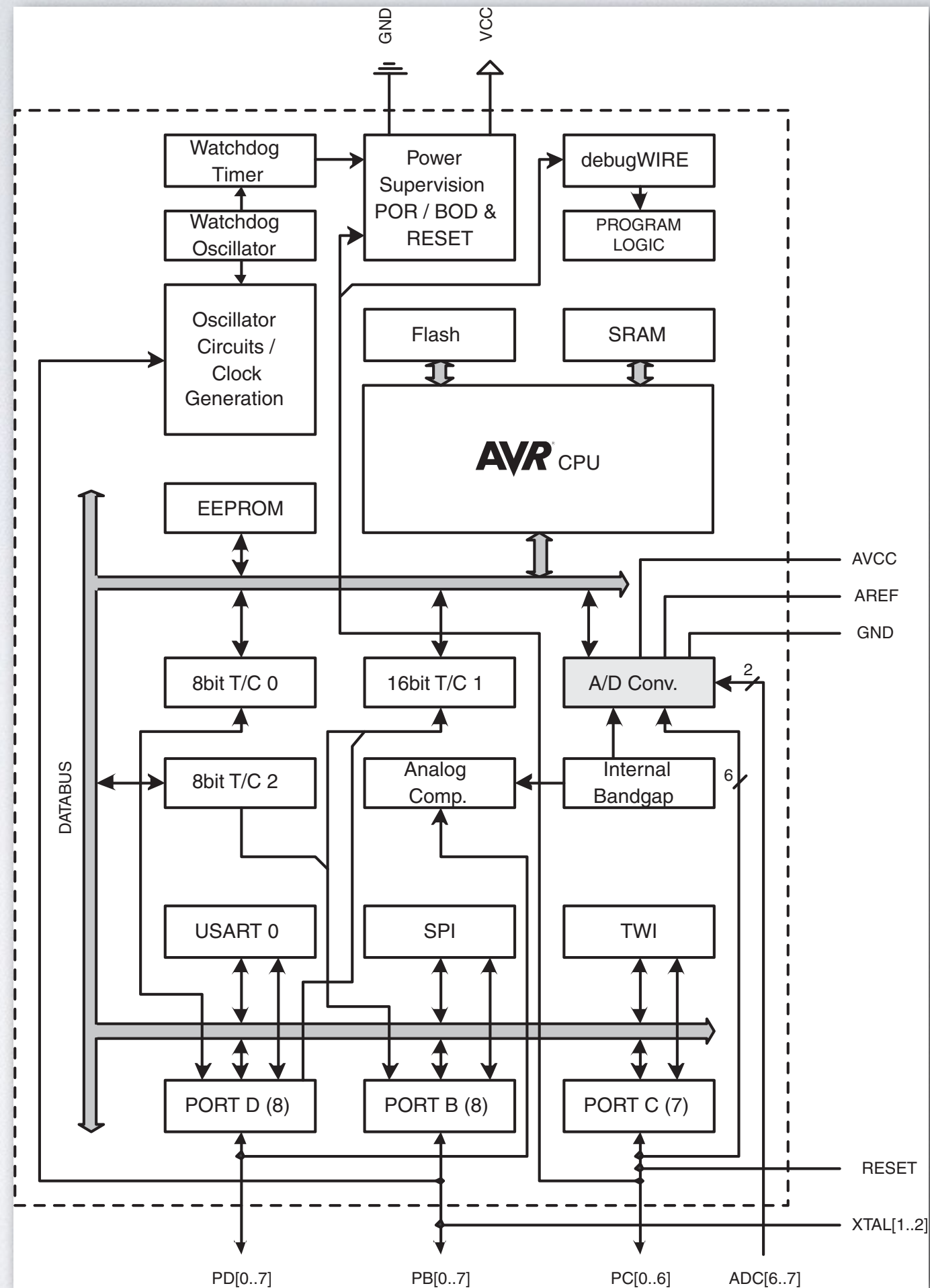
Hardware/Software Codesign



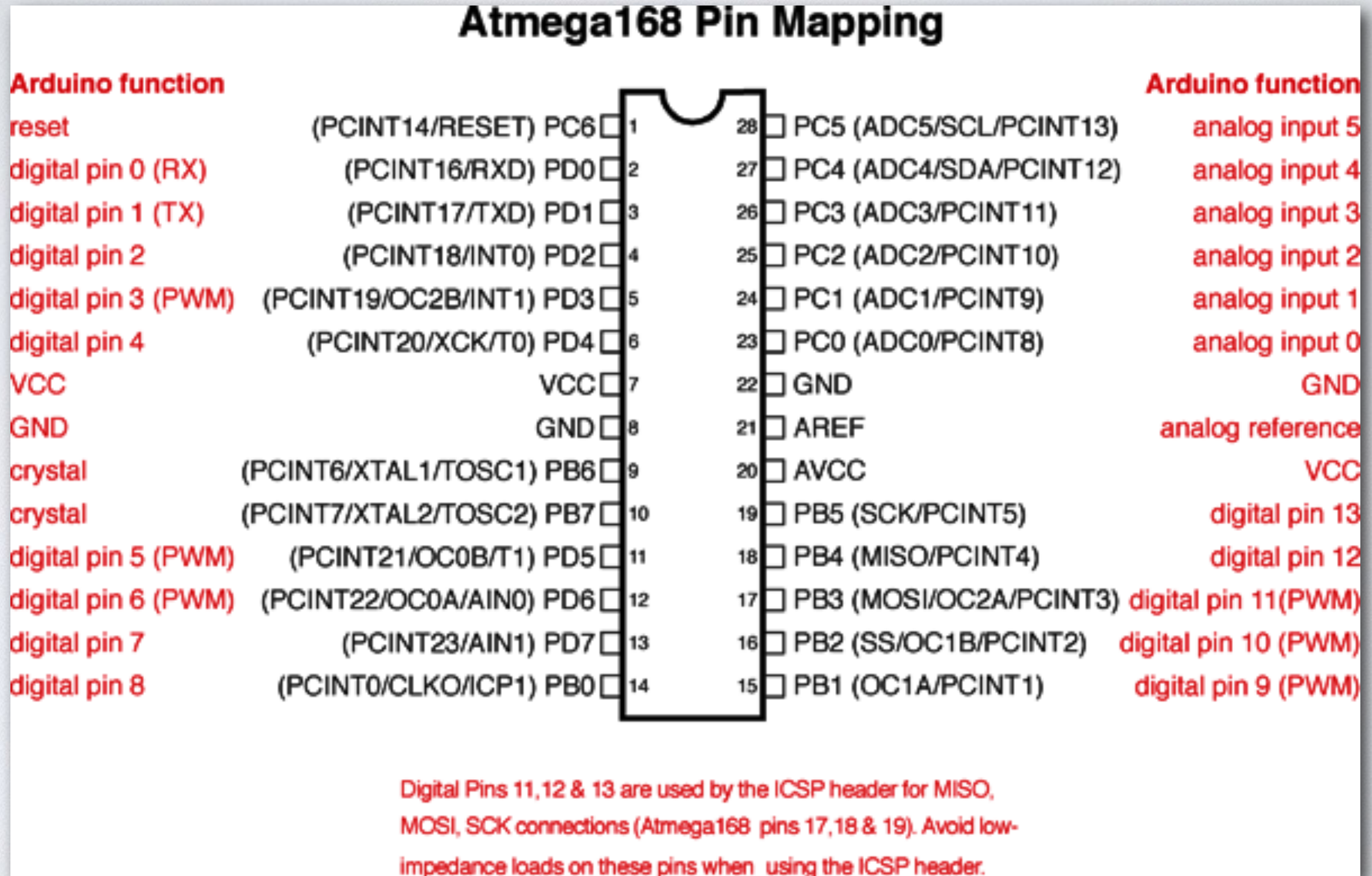
Entwurf Eingebetteter Systeme (nach Marwedel)

[Quelle: Marwedel, Eingebettete Systeme]

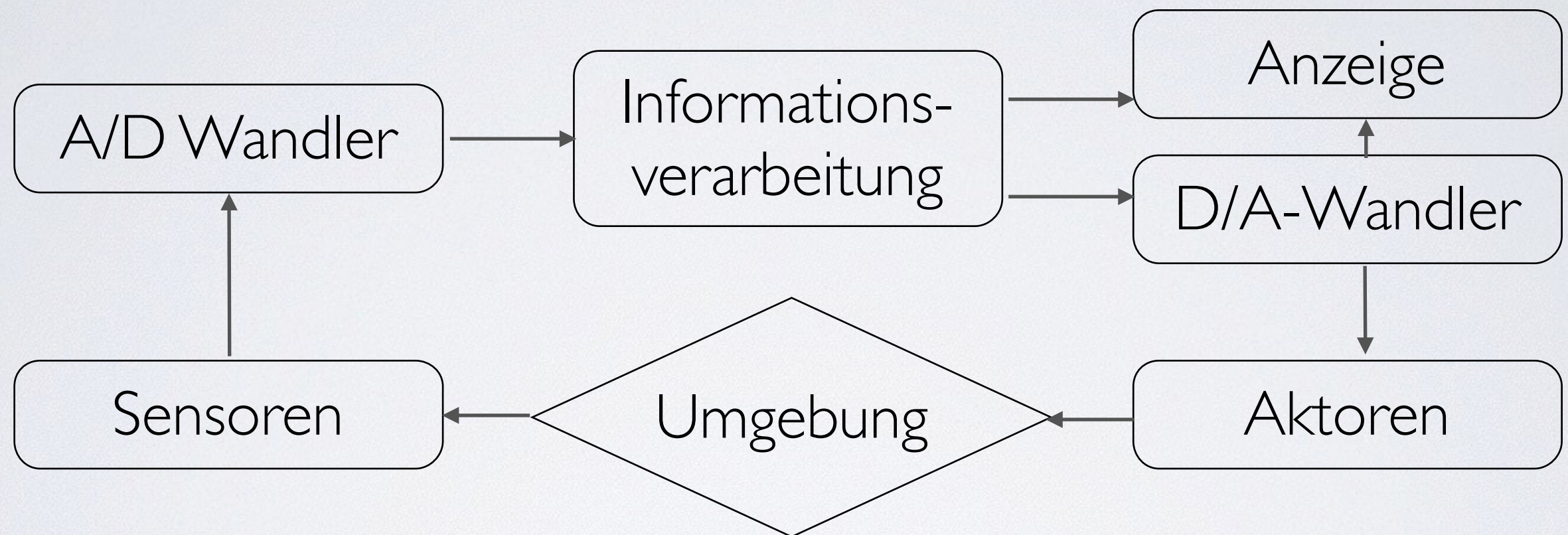
Blockdiagramm eines ATmegas



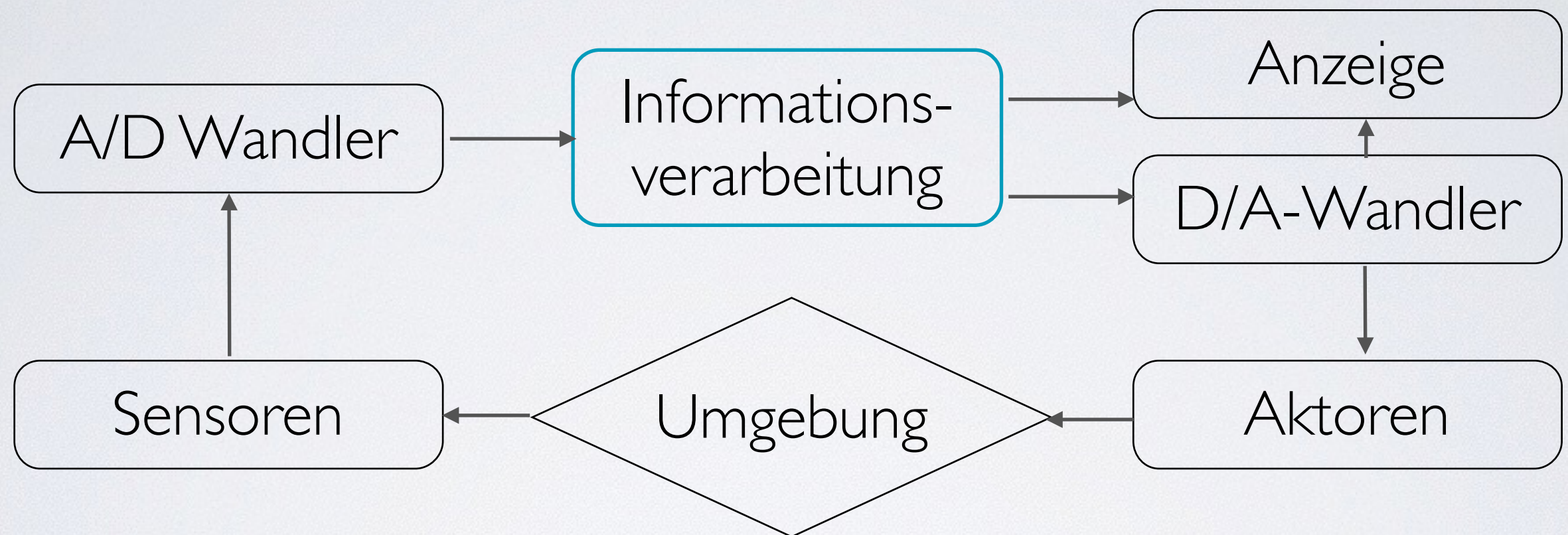
ATmega168/328-Arduino Pin Mapping



Hardware in a loop



Hardware in a loop



Verarbeitungseinheiten

- Application-Specific Integrated Circuits ASICs
 - speziell entworfene Schaltkreise, lohnt erst bei hoher Stückzahl
- Field Programmable Gate Arrays FPGAs
 - (re)konfigurierbare Logik, programmierbare Verbindungsstruktur (z.B. mit VHDL)
- Mikroprozessoren

Mikroprozessoren: Schaltungskonzepte

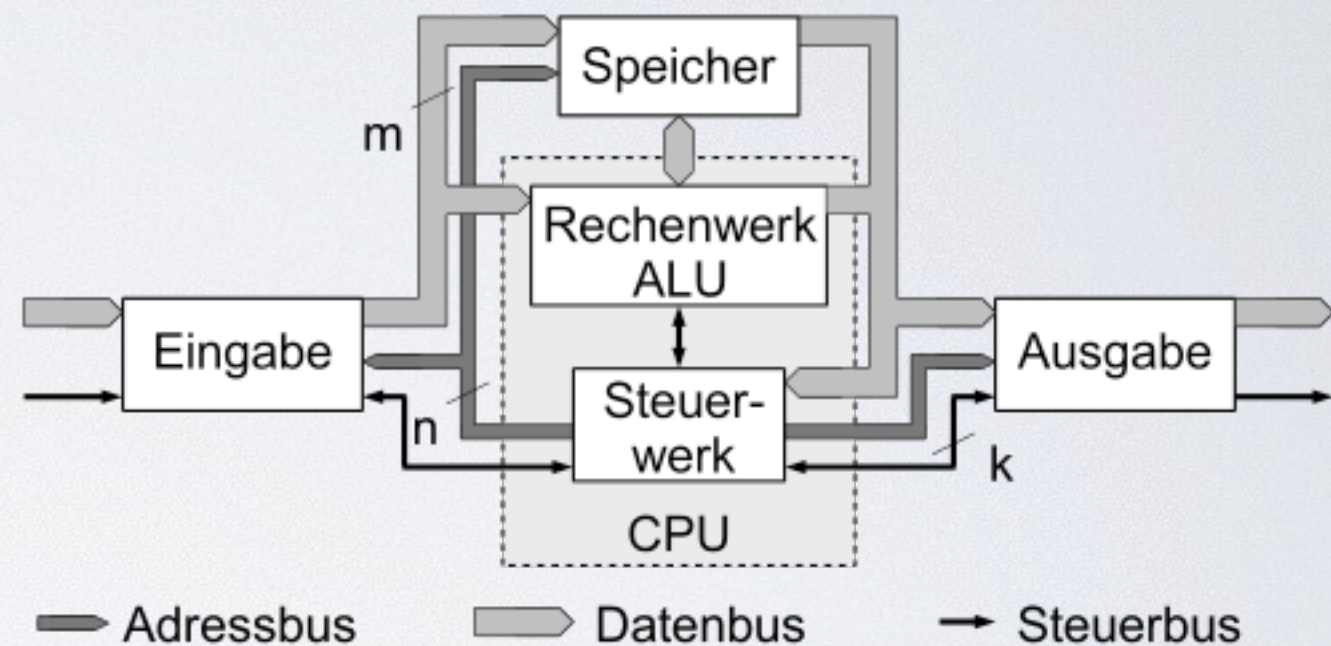
- Harvard-Architektur
 - Programm- und Datenspeicher sind getrennt.
 - Programmcode kann nicht überschrieben werden.
- von-Neumann-Architektur
 - gemeinsamer Speicher für Daten und Programmcode.

Mikroprozessoren

- Complex Instruction Set Computer CISC
 - mächtiger Befehlsumfang, wenig Register, unterschiedliche Befehlslängen
- Reduced Instruction Set Computer RISC
 - nur notwendige Befehle gleicher Befehlslängen, mehr Register
- Mikrocontroller
 - Mikroprozessor plus Speicher und I/O

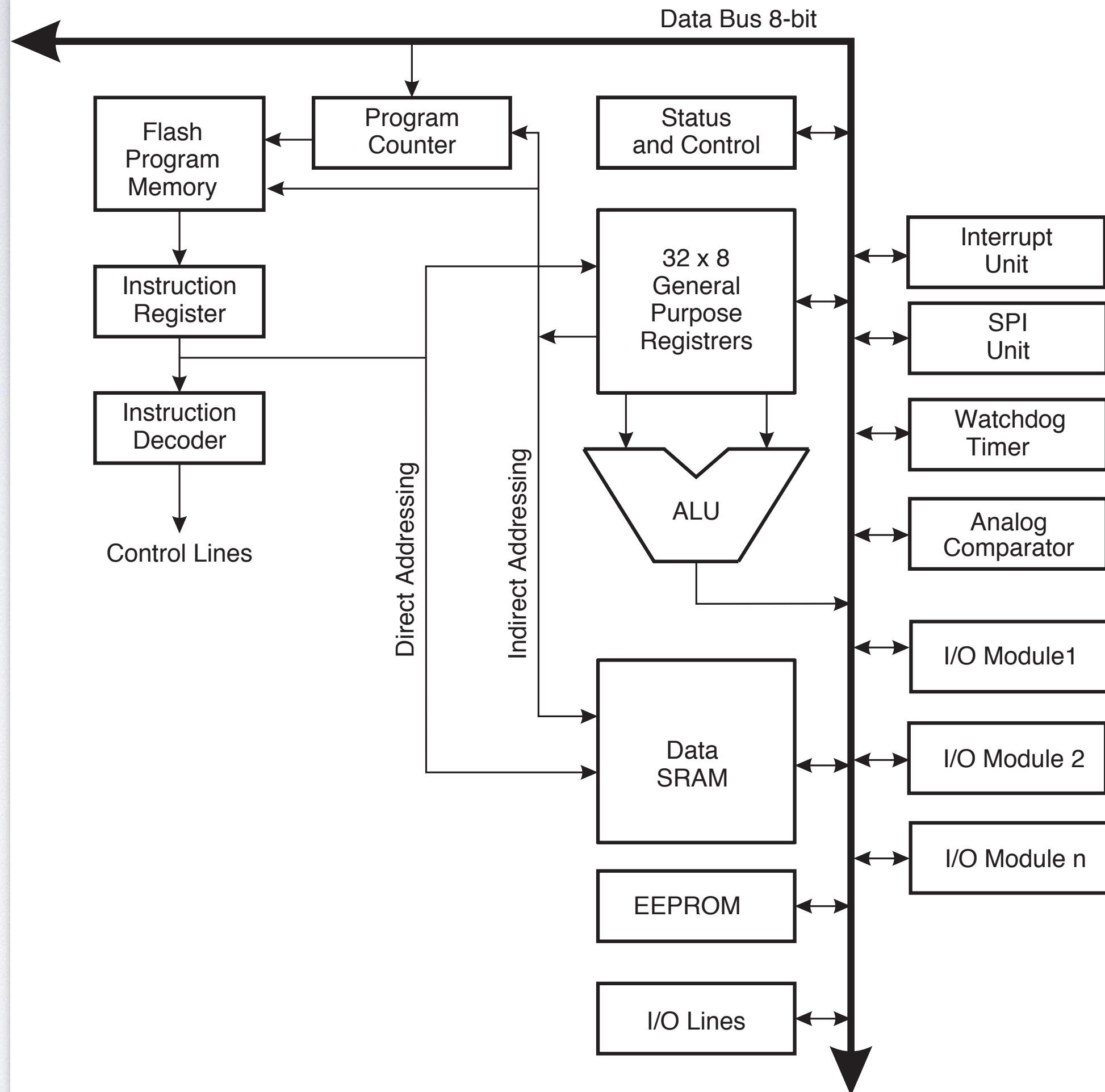
Mikroprozessor/-controller: Aufbau

- Steuerwerk (control unit)
- Rechenwert (arithmetic logic unit, alu)
- Speicher (memory)
- Ein- und Ausgabe (i/o)
- Bus

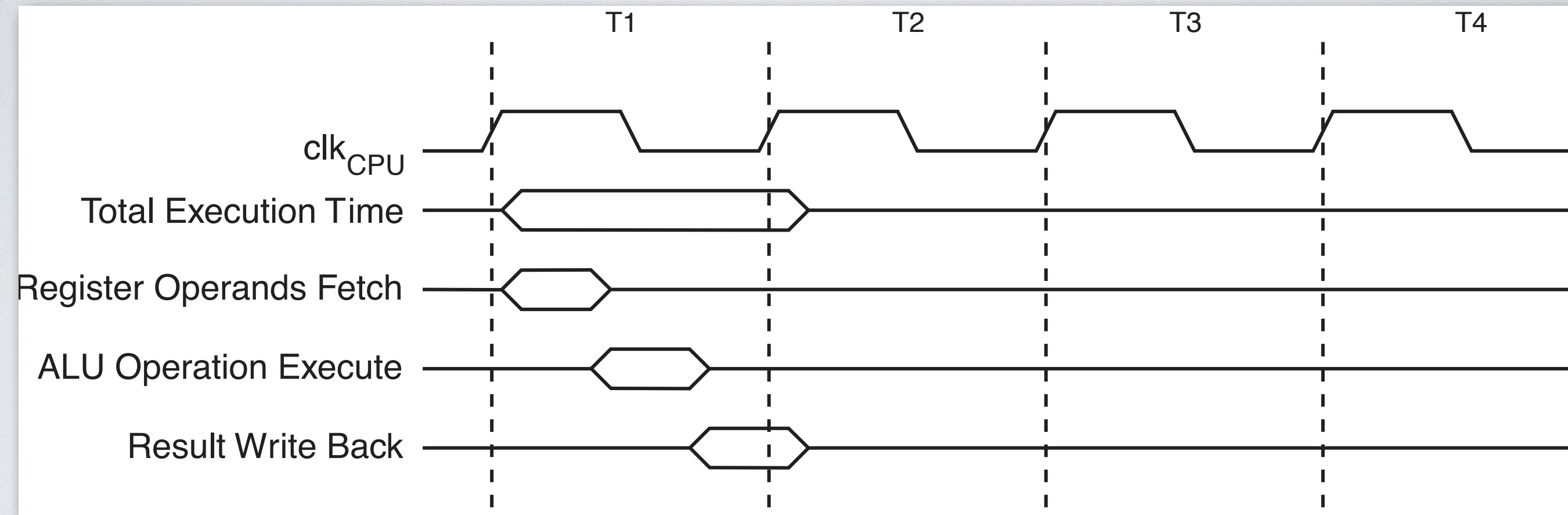


[Quelle: Wikipedia (Medvedev): http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:%22von_Neumann%22_Architektur_de.svg]

Microcontroller: Beispiel ATmega

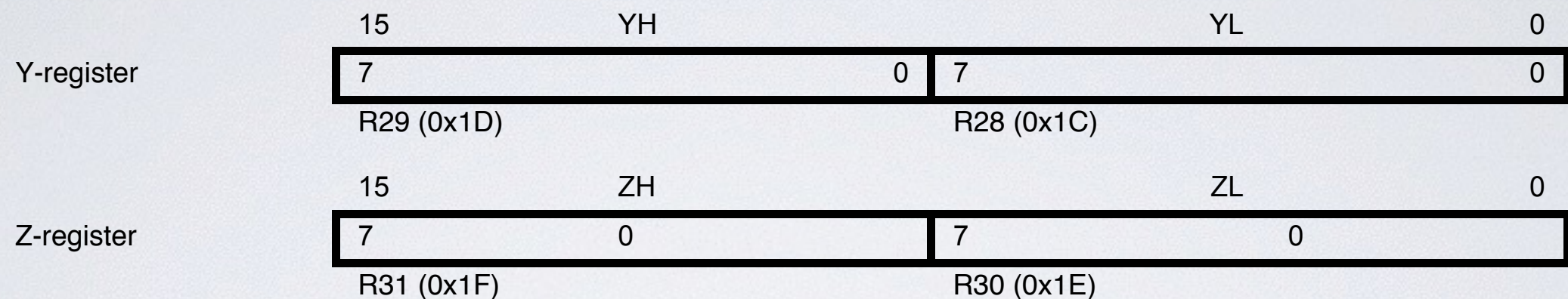


Befehlsabarbeitung: Beispiel ATmega

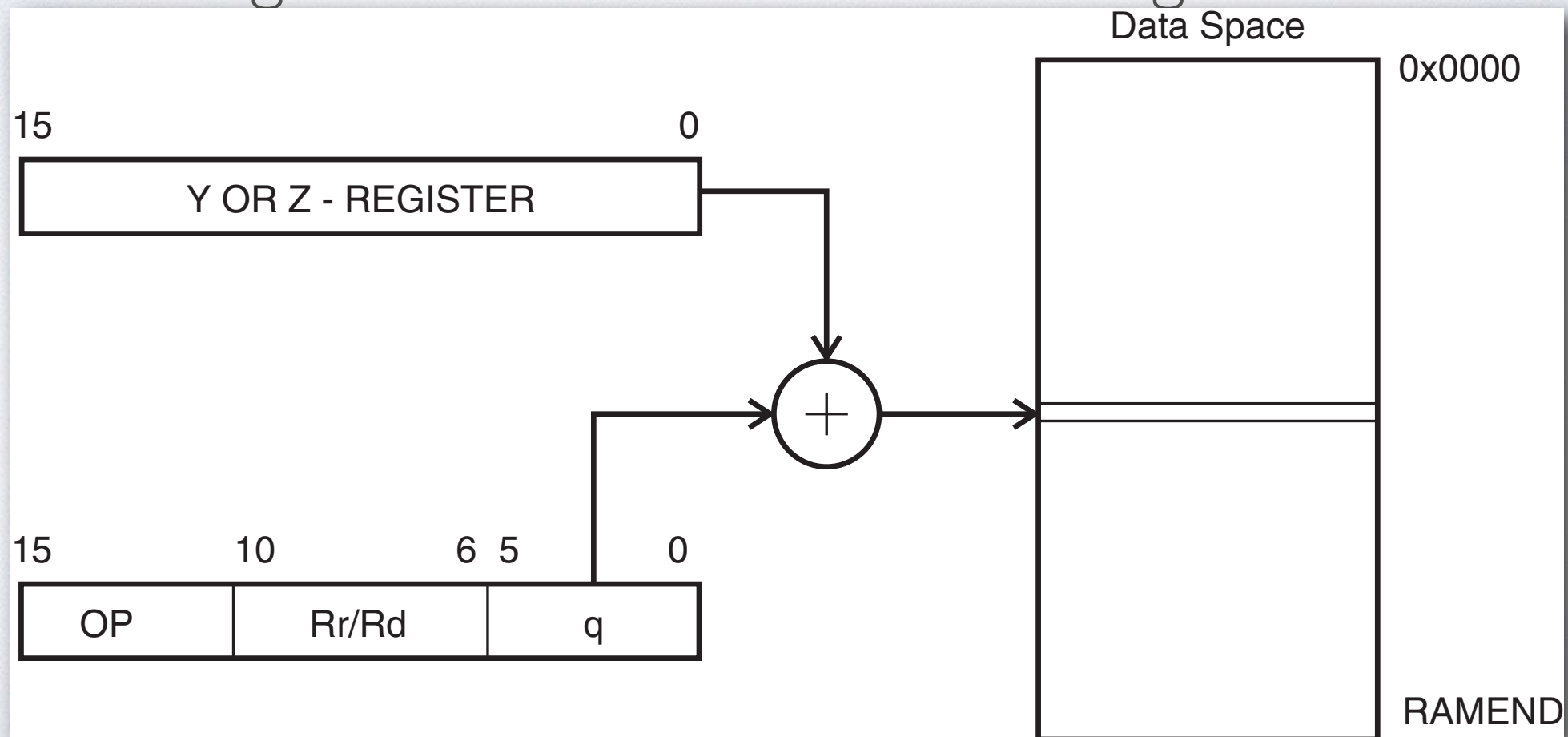


Register und Adressierung

Beispiel: ATmega zusammengesetzte Y, Z Register



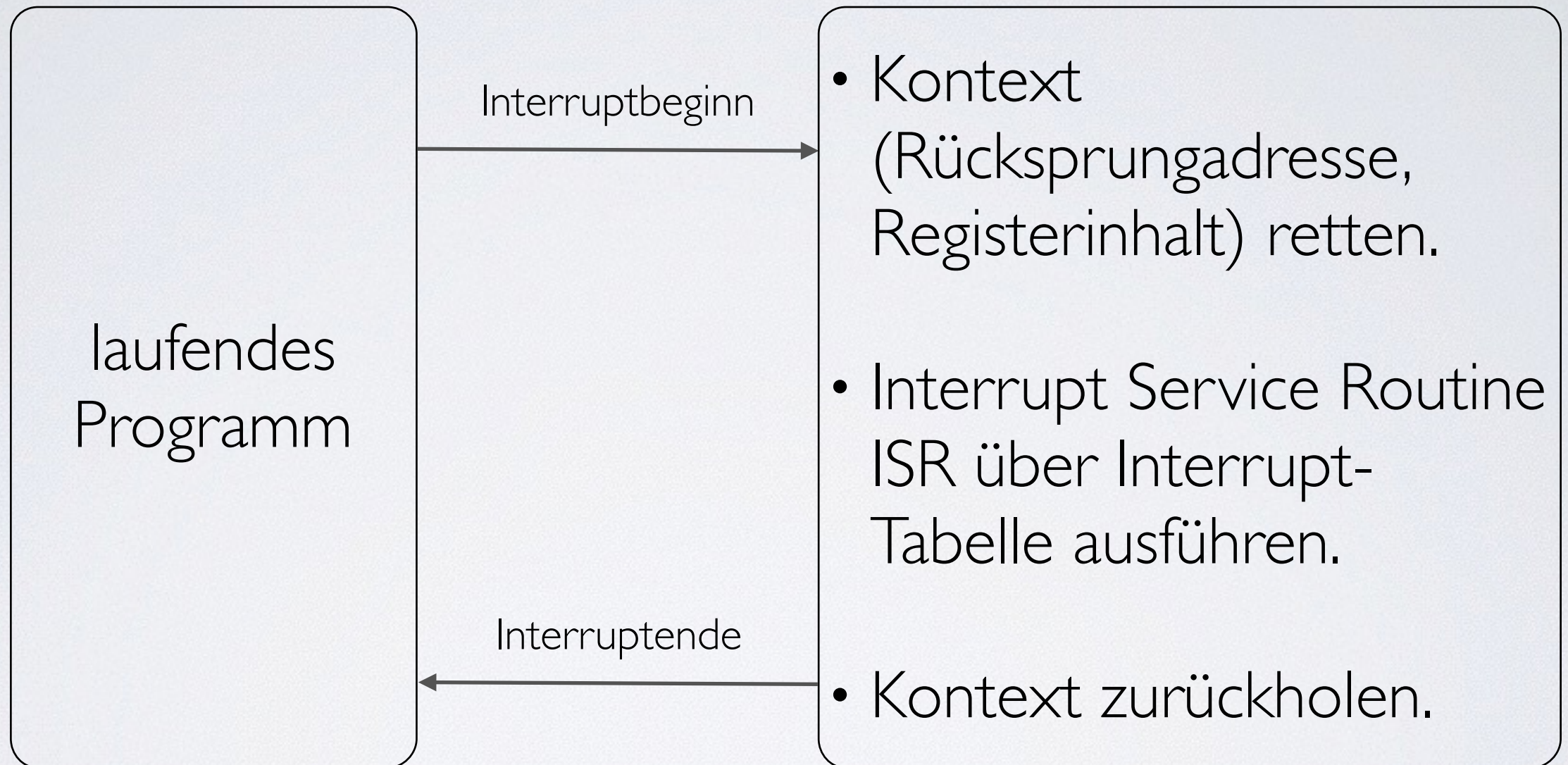
Beispiel: ATmega indirekte Datenadressierung mit Offset



Befehlswort (opcode)- Beispiel ATmega

- LDD: Load Indirect from Data Space to Register using Index Y
- Syntax und Operation (q ist Offset):
 - LDD Rd,Y+q, $0 \leq d \leq 31, 0 \leq q \leq 63$
 - $Rd \leftarrow (Y+q), \quad PC \leftarrow PC + 1$
- Opcode:
 - $10q0 \quad qq0d \quad dddd \quad 1qqq$
 - Beispiel: LDD r30,Y+1 ist 1000 0001 1110 1001 (0x81e9)

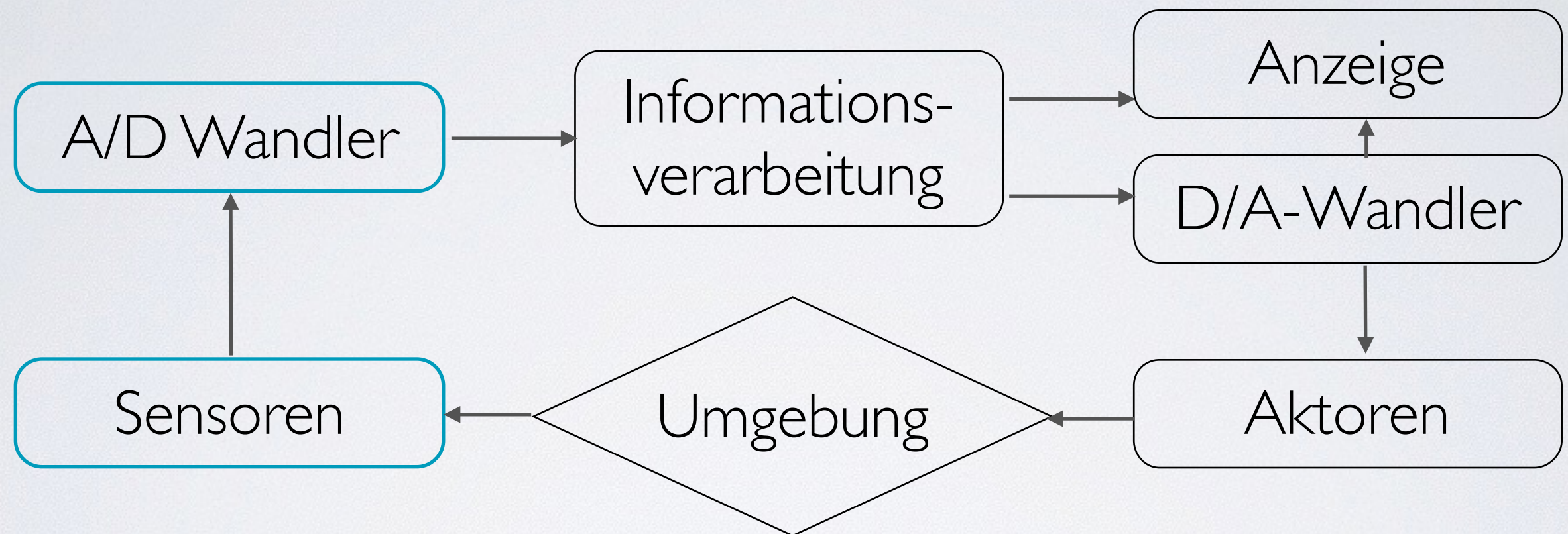
Mikroprozessoren: Interrupts



Mikrocontroller: Watchdog

- Watchdog / Wachhund
 - Verhindern eines Absturz / Aufhängen des Mikrocontrollers
 - Startet einen Timer, der bei Ablauf Reset ausführt.
 - Laufendes (nicht abgestürztes) Programm muss den Watchdog regelmäßig zurücksetzen.

Hardware in a loop



Eingabe/Sensoren

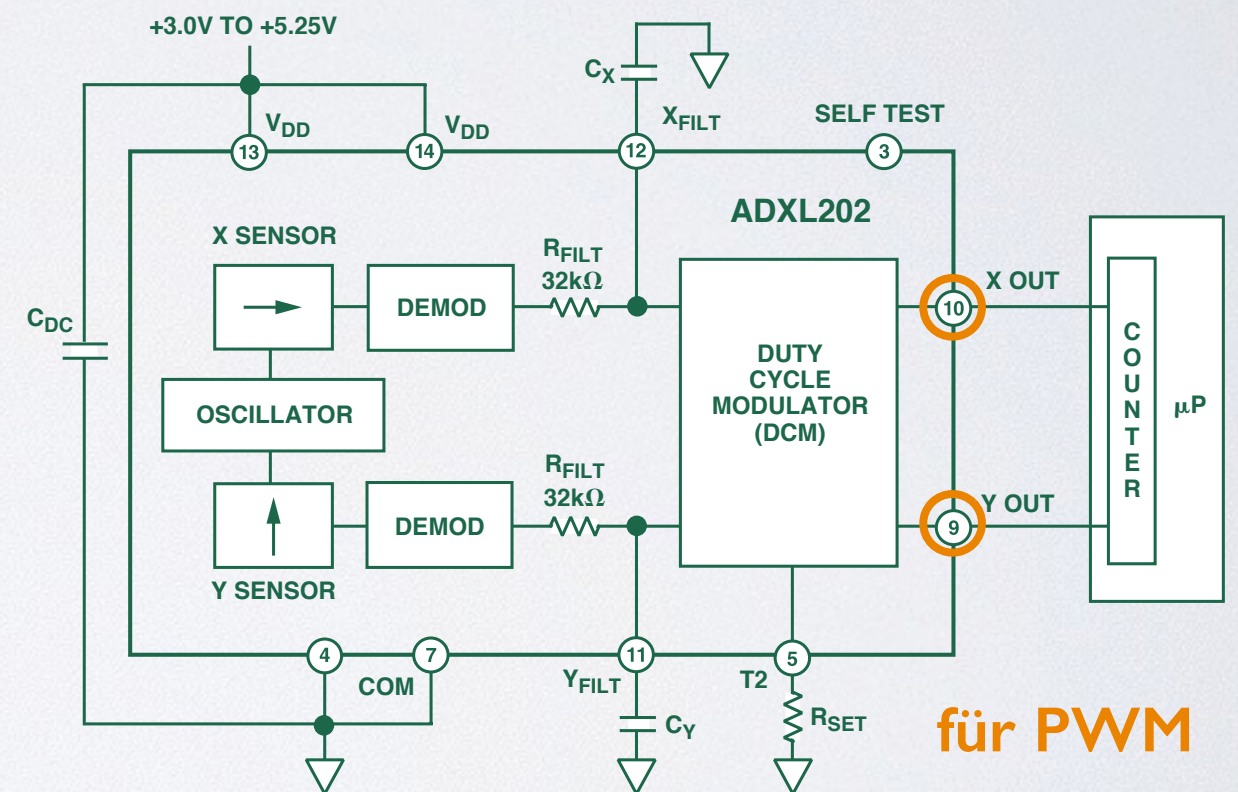
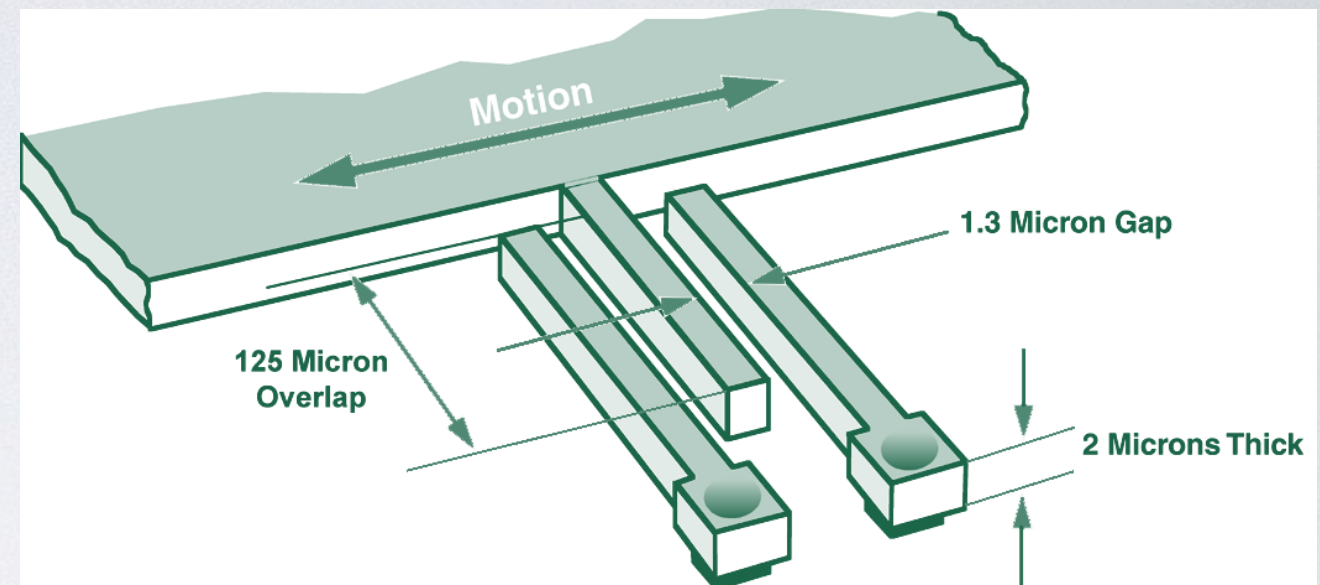
- Große Vielfalt an Sensoren für Informationen aus (physikalischen) Umgebung, z.B. für
 - Gewicht, Beschleunigung, Spannung, Temperatur
- unter Nutzung unterschiedlichster physikalischen Effekte, z.B.
 - Leitfähigkeit
 - Induktion
 - Photoeffekt

Bildsensor / Kamera

- Gitterförmig Anordnung von Lichtsensoren:
 - Complementary metal-oxide-semiconductor CMOS:
 - Photodetektor und Schaltkreis für jeden Pixel
 - geringer Stromverbrauch, geringe Baugröße, hohe Bildrate
 - Charge-coupled device CCD:
 - Schrittweise Weitergabe der gesammelten Ladung (Potentialtopf-Prinzip) über Nachbarpixel zum Auslesen an Seite des Gitters
 - hohe Bildqualität, lichtempfindlicher, robuster Bauweise
- CMOS günstiger als CCD

Beschleunigungssensor

- Beispiel: Kapazitiver MEMS-Beschleunigungssensor
- *Micro-Electro-Mechanical-System (MEMS):*
Zusammenspiel von Elektronik und Mechanik
- Bewegung einer Masse bewirkt Kapazitätsänderung
- Umwandlung der Änderung in Schaltung in bspw. PWM



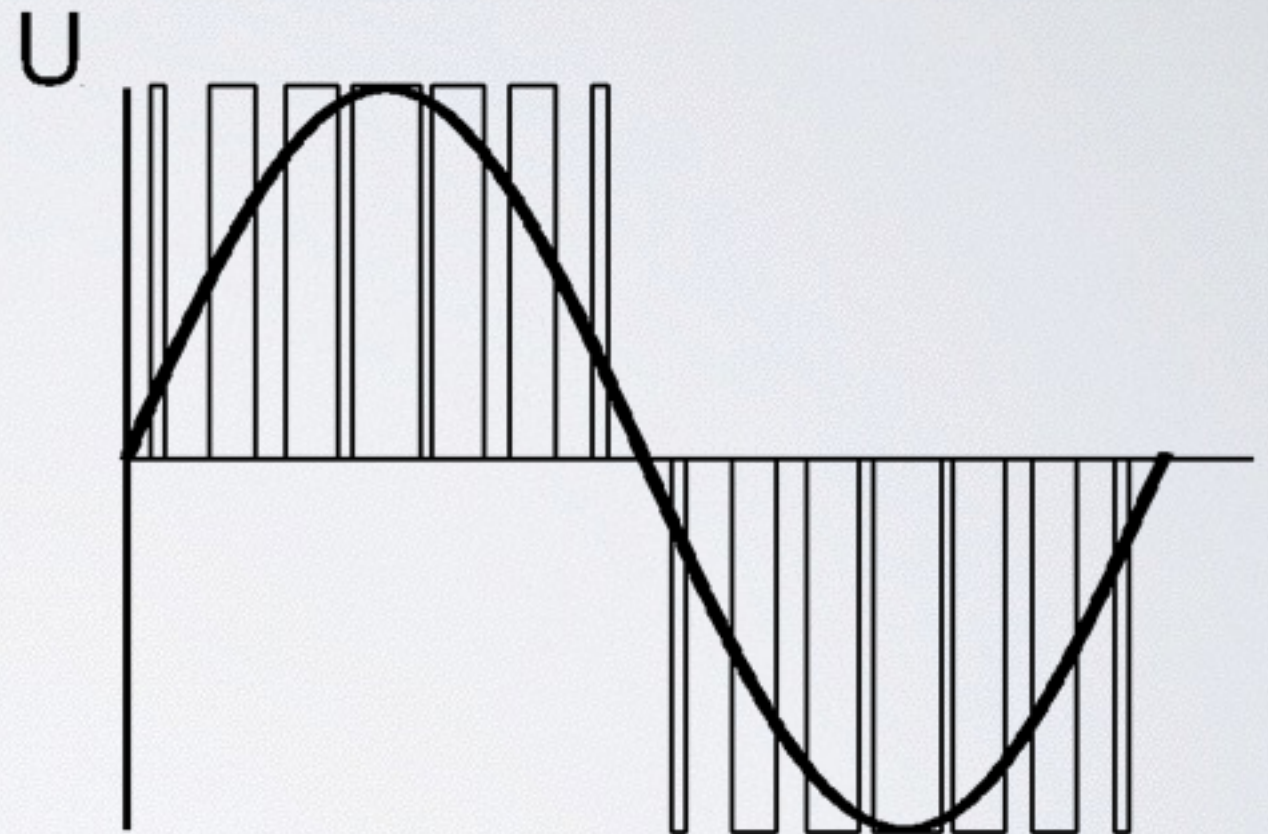
$$A(g) = (T1/T2 - 0.5)/12.5\%$$

$$0g = 50\% \text{ DUTY CYCLE}$$

$$T2 = R_{SET}/125M\Omega$$

Pulsweitenmodulation (PWM)

- Umwandlung einer technischen Größe in eine Signalfolge von Pulsen unterschiedlicher Breite.
- Frequenz des modulierten Signals dabei konstant
- *Duty Cycle*: Anteil von Anzuständen an Gesamtintervall
- Vergleich: Ofen auf Temperatur heizen mit An-/Ausschalten



[Quelle: Wikipedia (Autor: WolfgangS):
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pulsweitenmodulation.png>]

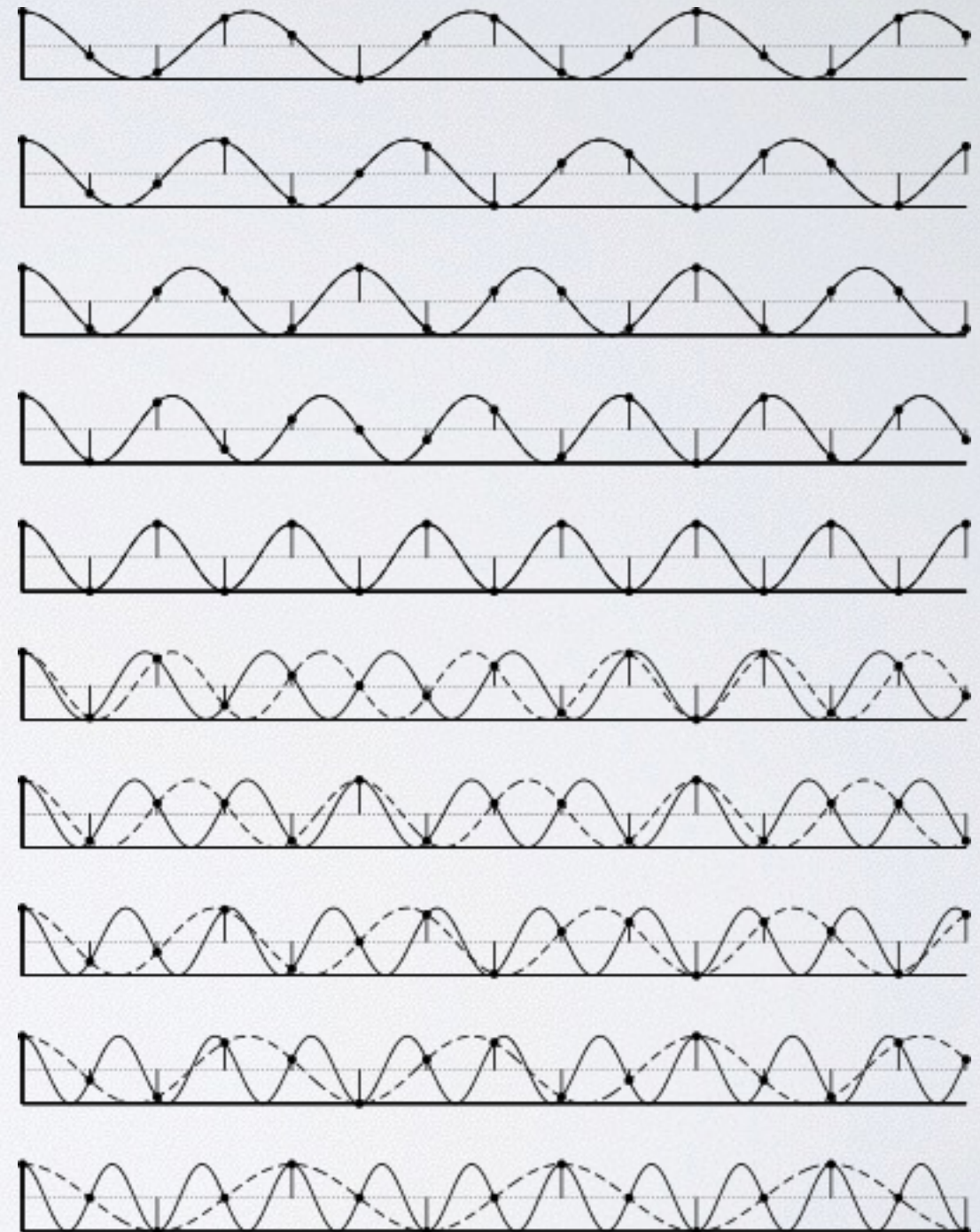
Abtasttheorem

Nach Shannon-Nyquist:

- Abtastfrequenz f_{abtast} für Rekonstruktion des abgetasteten Signals f :

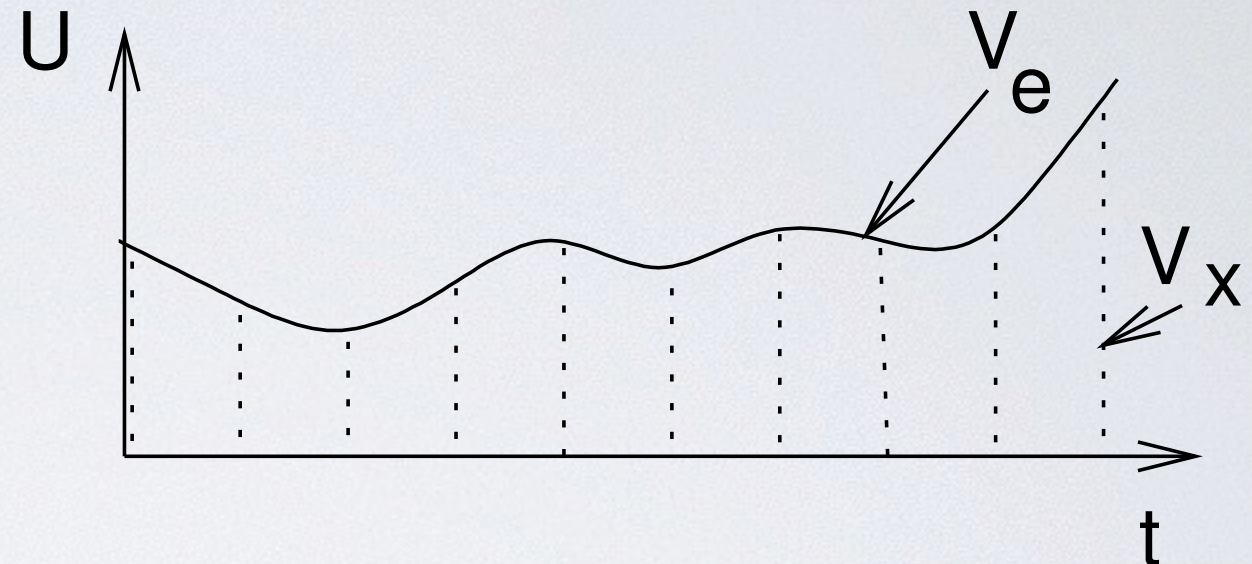
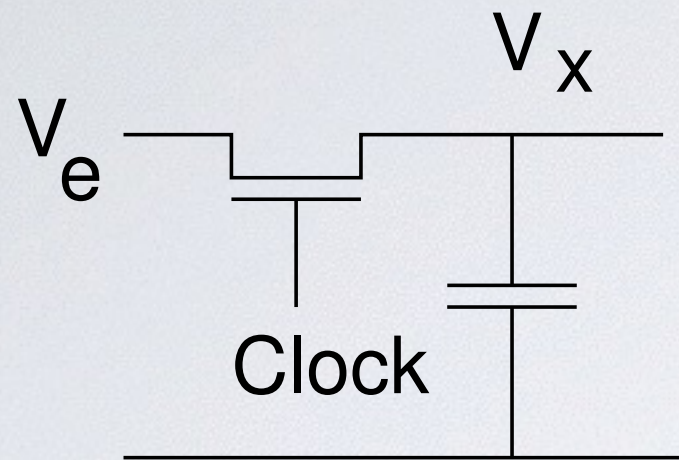
$$f_{\text{abtast}} > 2 (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}), \text{ mit}$$

f_{min} minmale und f_{max} maximale Frequenz von f



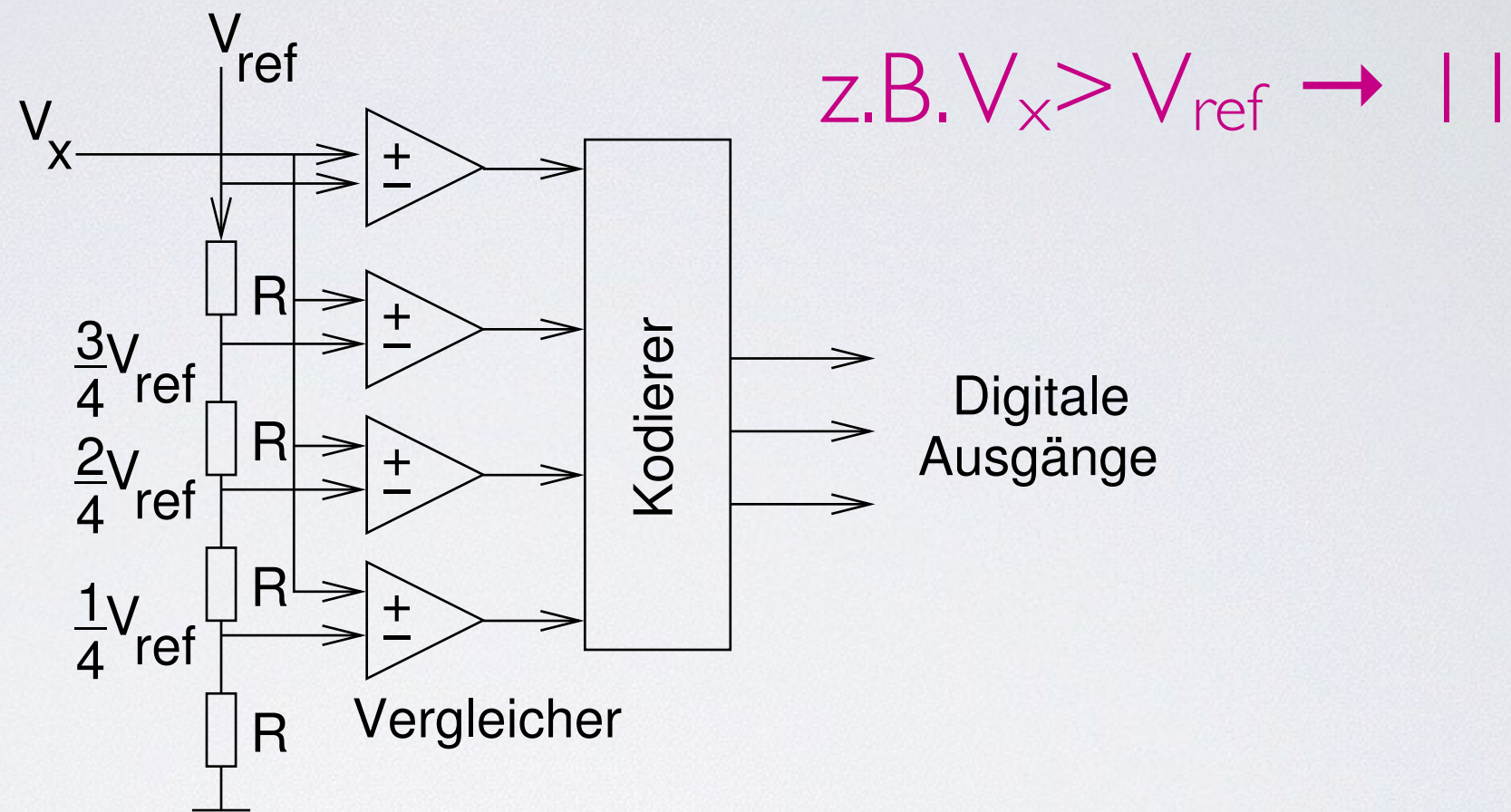
[Quelle: Wikipedia (Peterpall): http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Nyquist_Aliasing.svg]

A/D-Wandlung I



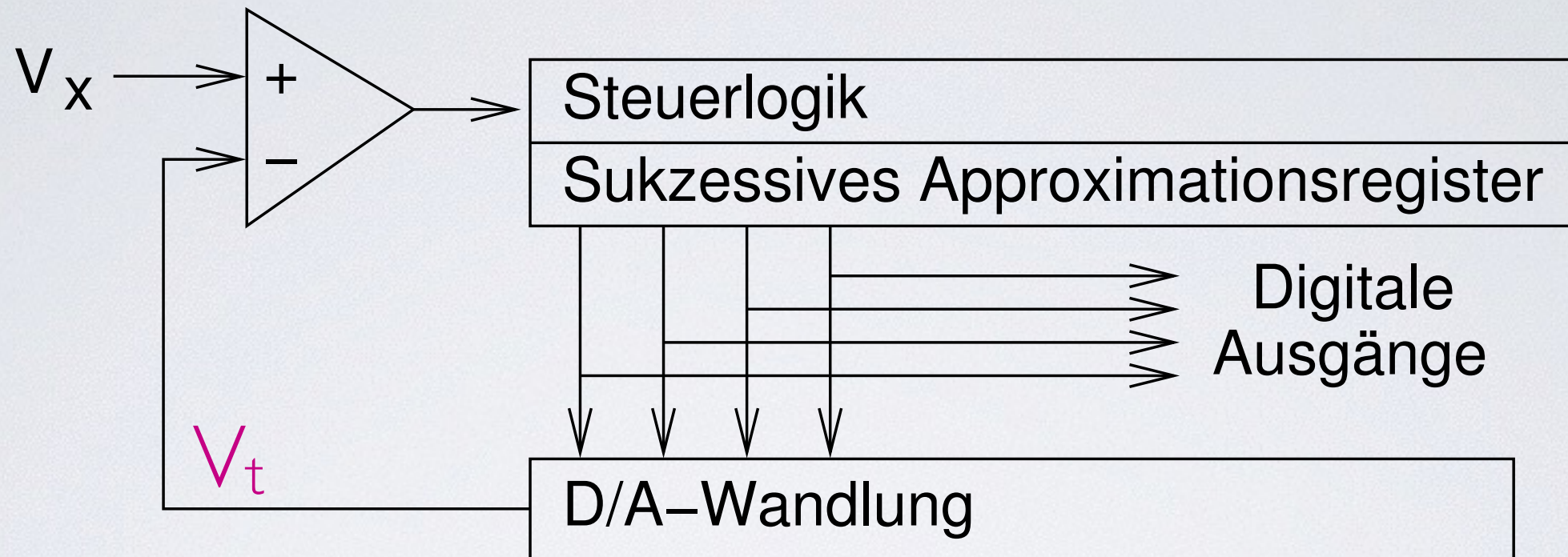
- Sample-and-Hold-Schaltungen:
 - getakteter Transistor und Kondensator
 - Laden des Kondensators mit Eingangsspannung V_e ergibt diskrete Folge von Werten V_x

A/D-Wandlung 2



- Quantisierung mittels Flash A/D-Wandlers:
 - Vergleicher testet, ob Spannung an + größer als an -.
Ausgabe entsprechend 0 oder 1. Kodierer bildet Ergebnis.

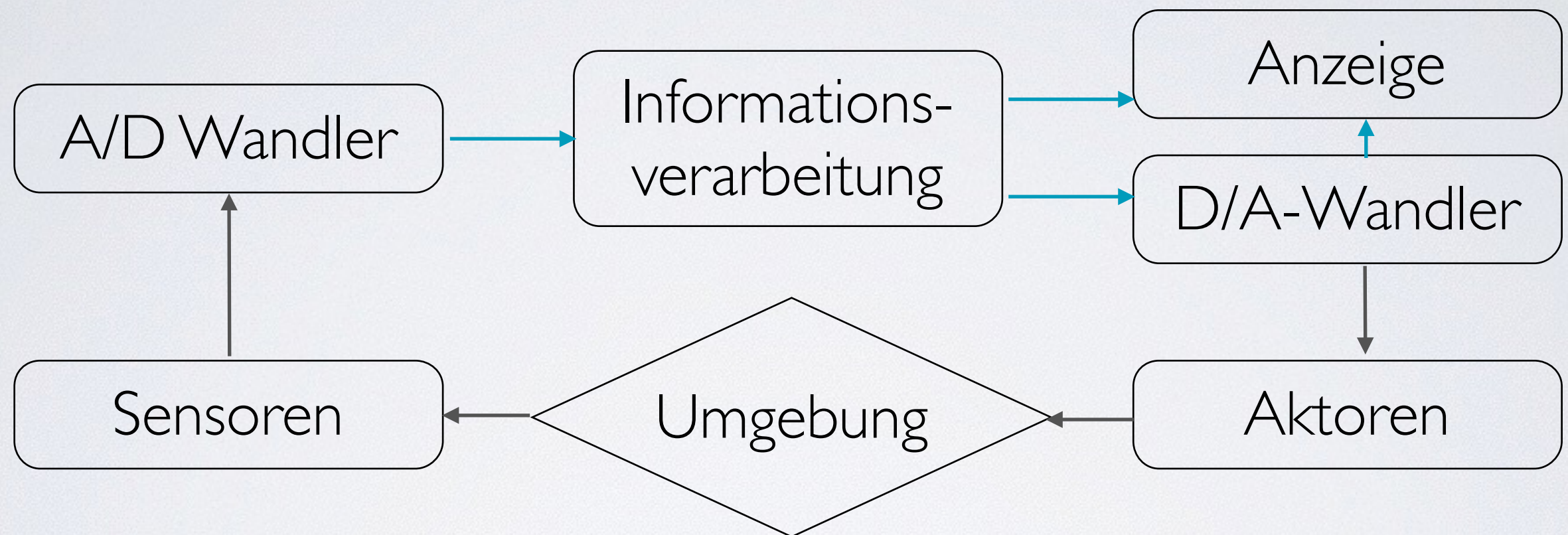
A/D-Wandlung 3



z.B. $V_x > V_1 \rightarrow 1xxx, V_x < V_2 = 0,75V_1 \rightarrow 10xx...$

- Sukzessive Approximation:
 - Strategie der binären Suche ($O(\log_2(n))$).
 - Start mit 0,5 max. Eingangsspannung.

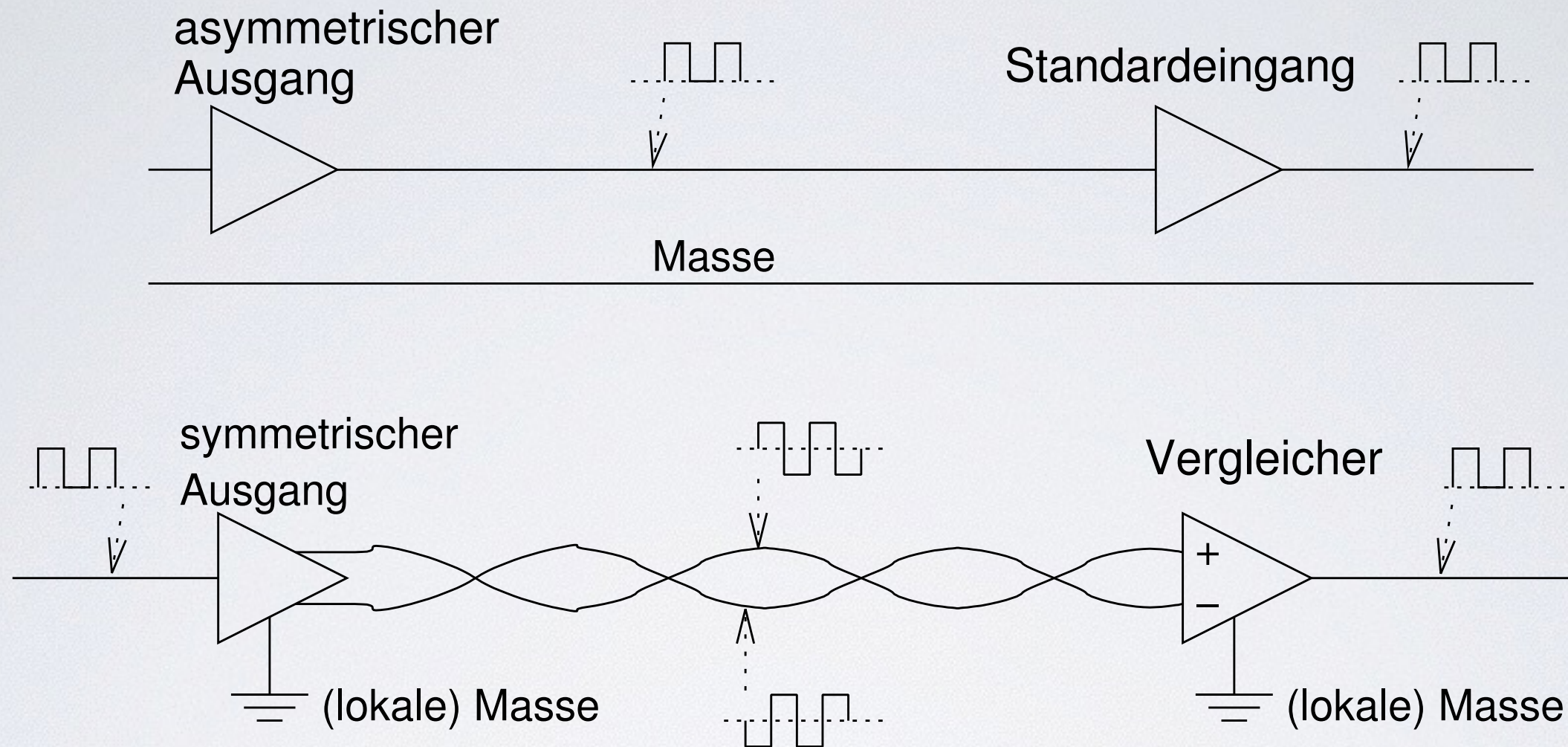
Hardware in a loop



Kommunikation/Bus

- Anforderungen an Kommunikationskanäle entsprechen denen an das eingebettete System:
 - Robustheit (z.B. ausgesetzten Temperaturen)
 - Echtzeit
 - Fehlertoleranz (z.B. wenn eine Nachricht nicht ankommt)
 - Effizienz (Verbauung, Kosten)
 - Bandbreite

Elektrische Robustheit: asymmetrisch vs. symmetrisch Datenübertragung



- Bei zwei Leitungen (symmetrische Datenübertragung) gleichen sich Störungen auf beiden Leitungen aus. Masse stört nicht.

Echtzeit / Kollisionen

- Carrier-sense multiple access

Bei gleichzeitigem Senden auf Kanal gibt es Kollisionen

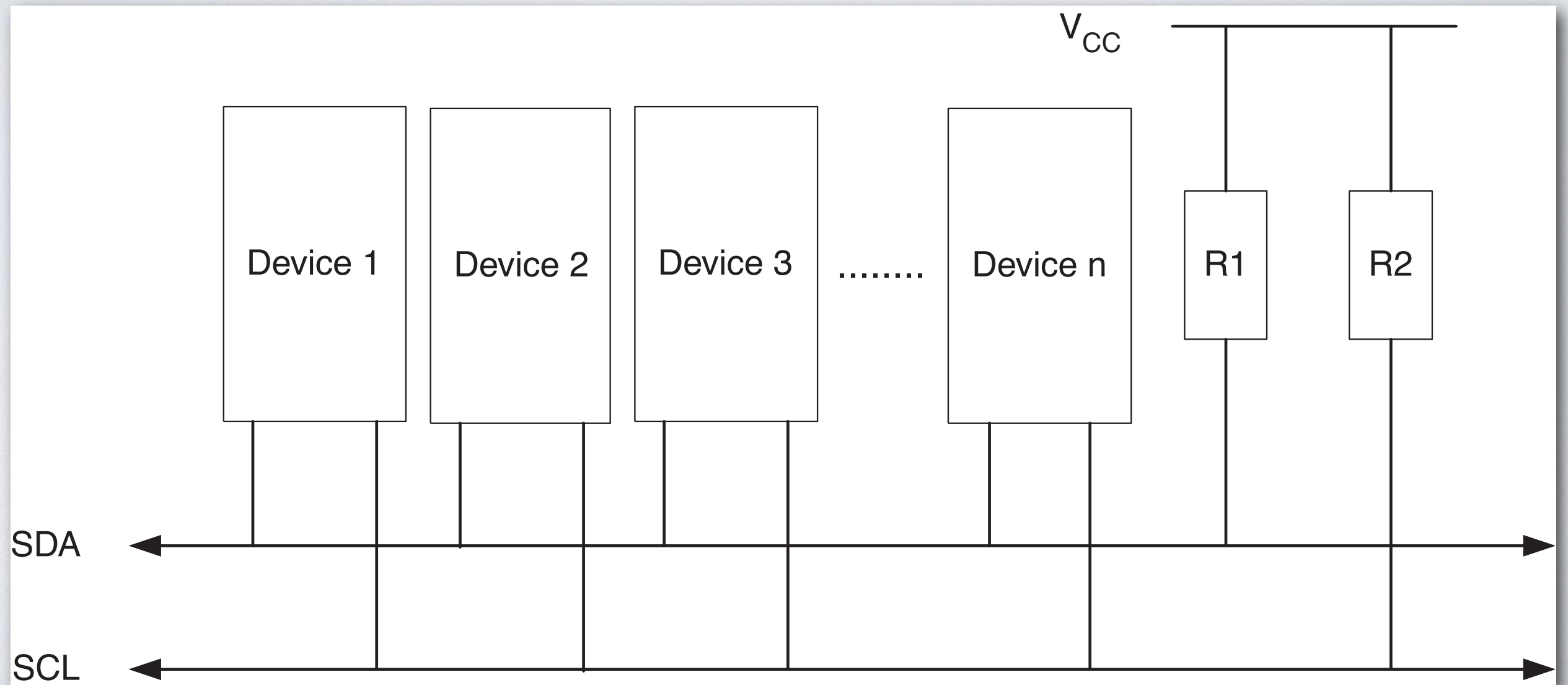
- collision detect (CSMA/CD)
 - Bei Kollision: neuer Versuch nach zufälliger Wartezeit
- collision resolution (CSMA/CR)
 - In Arbitrierung werden Teilnehmern Prioritäten zugewiesen. Bei Kollision hat höhere Priorität Vorrang.

Beispiel: CAN-Bus

- Controller Area Network CAN
- symmetrische Signalübertragung mit twisted-pair Kabel
- Arbitrierung mit CSMA/CR
- Durchsatz von 10 kBit/s bis 1 MBit/s
- geringe Latenz (ca. 300 μ s) für hochpriorisierte Signale

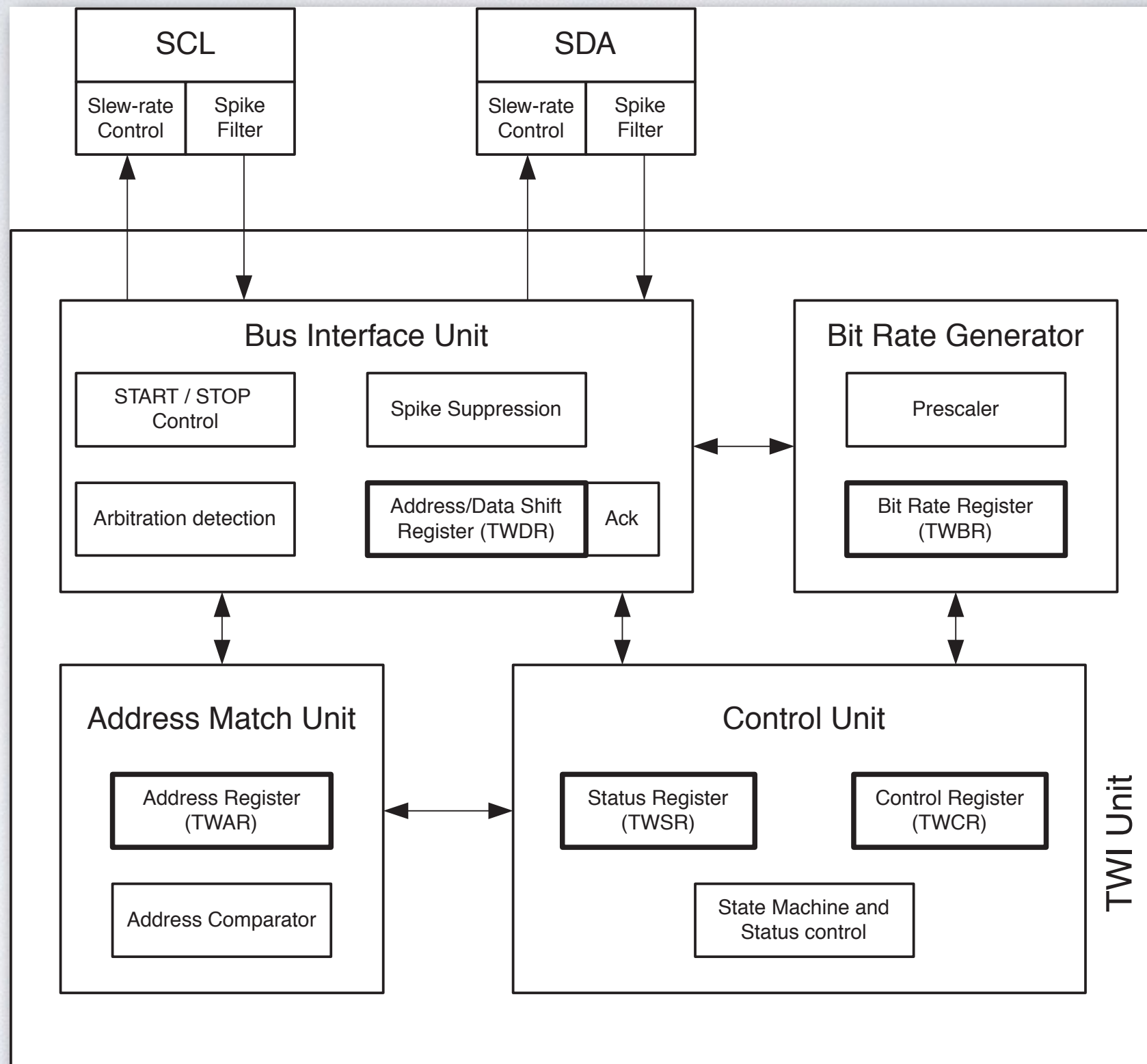
Beispiel: Inter-Integrated Circuit I²C

- Clock (SCL) und Data (SCA) Leitungen
- Arbitrierung

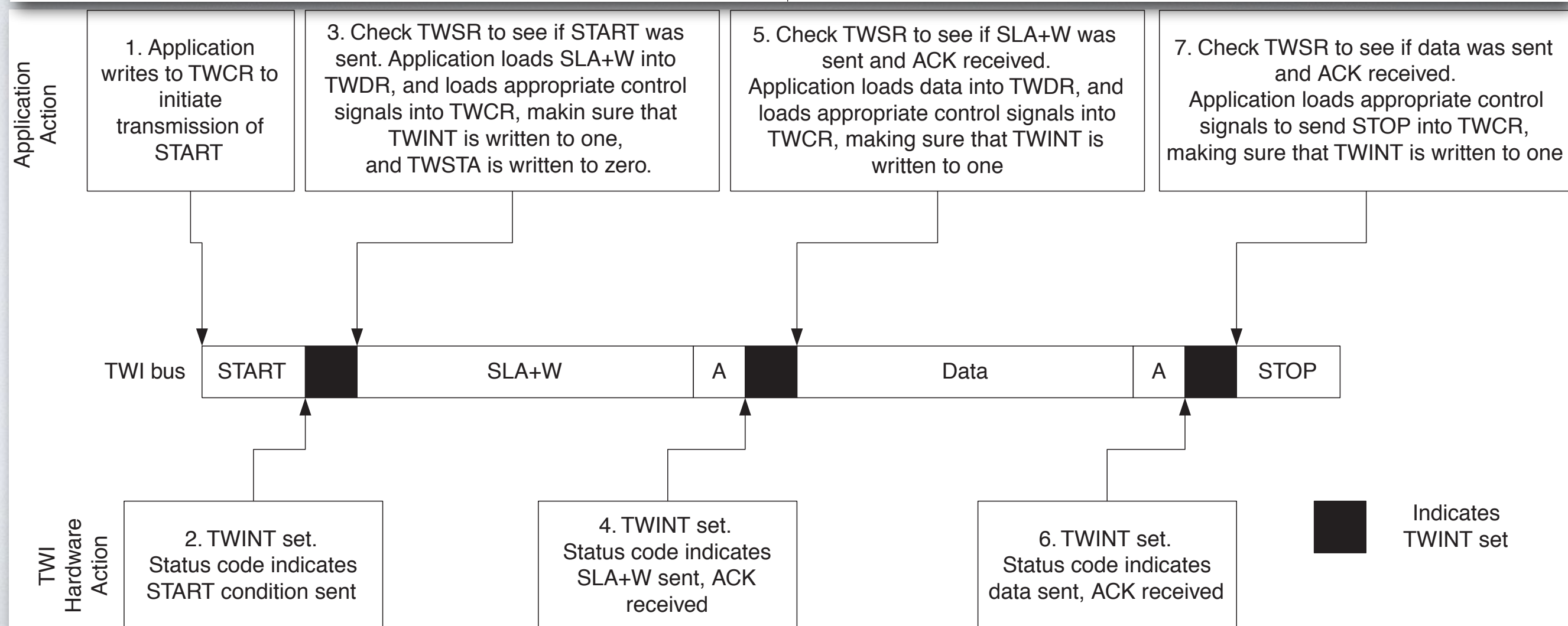
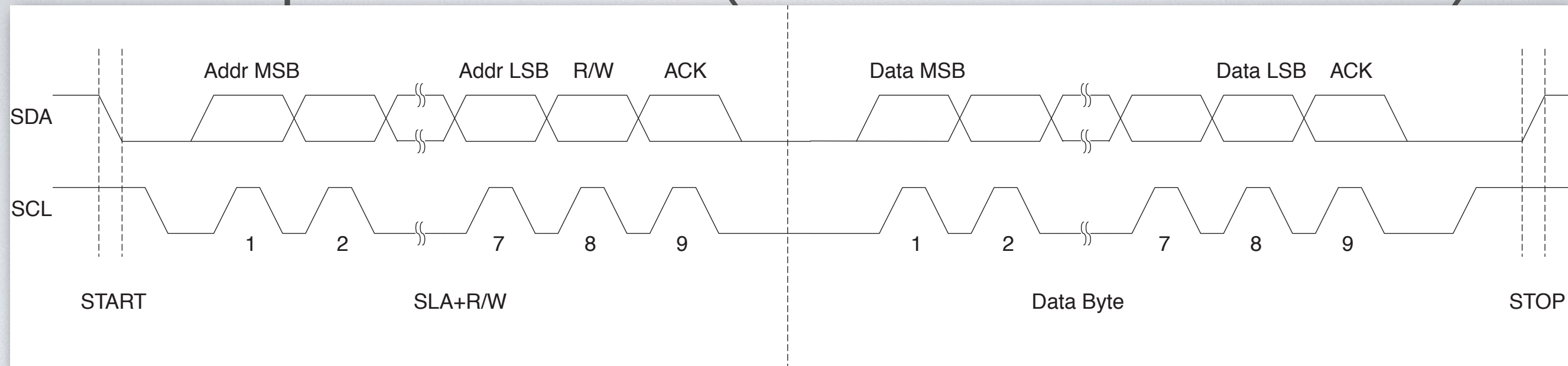


[Quelle: Atmel, 8-bit AVR Microcontroller]

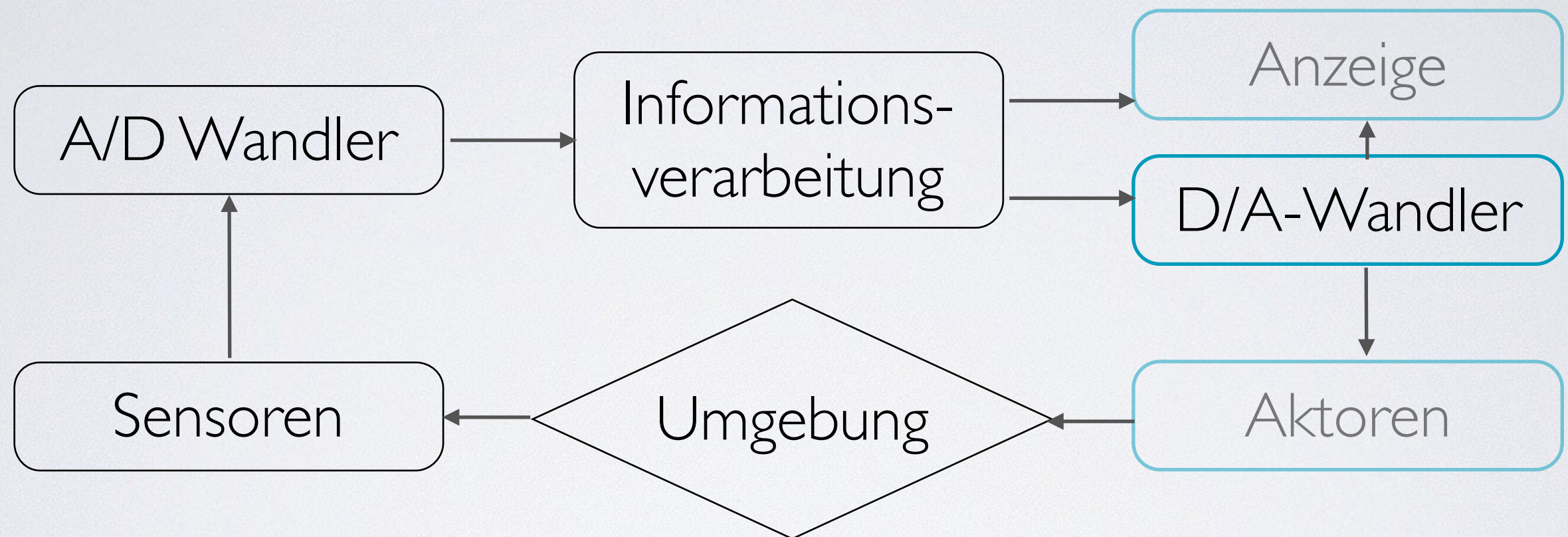
Beispiel: I²C / (2-wire interface)



Beispiel: I²C / (2-wire interface)

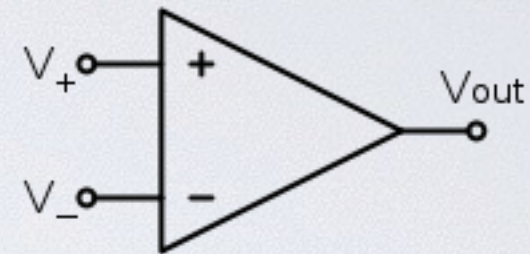


Hardware in a loop



Operationsverstärker

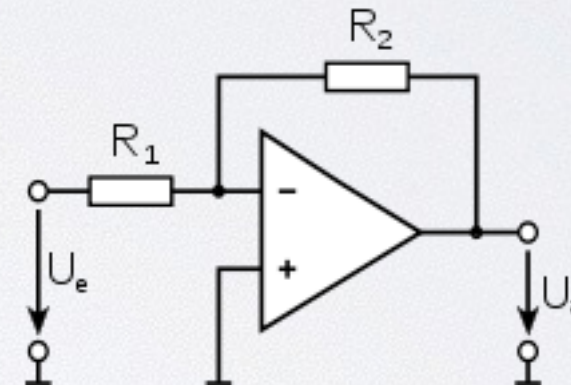
- Operationsverstärker:



- Spannungsverstärkung mit Geradeausverstärkung der Eingangsspannungsdifferenz

- $U_{\text{ausgang}} = (U_+ - U_-) G_{\text{gv}}$

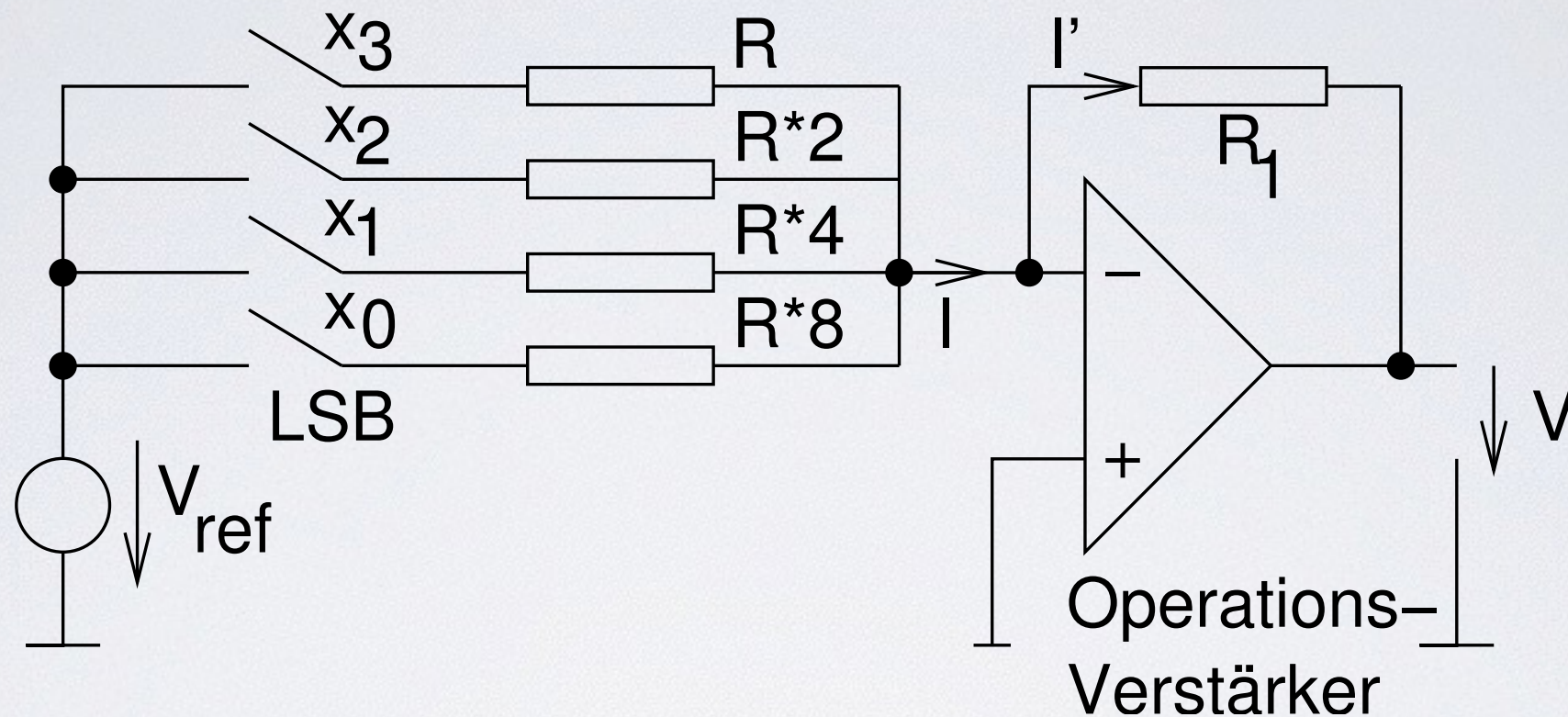
- Invertierender Verstärker:



- virtuelle Masse am invertierenden Eingang (-)

- $U_a = -U_{R2} = -I R_2 = -(U_e/R_1)R_2 = -(R_2/R_1)U_e$

Ausgabe: D/A Wandler

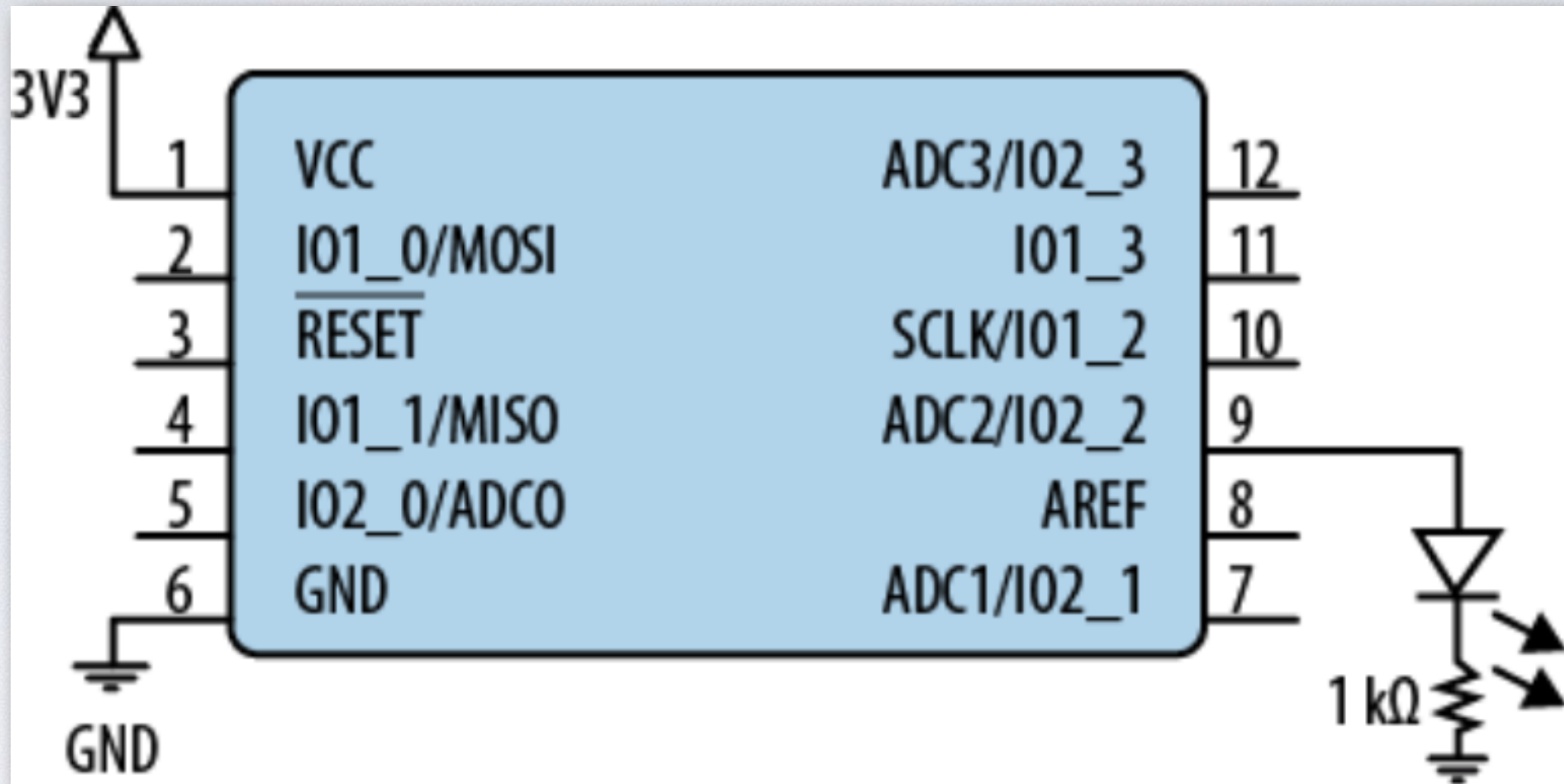


Hier:

$$-V = V_{ref} R_f / R \sum_{i=0}^3 x_i 2^{i-3} = V_{ref} R_f / (8R) \text{ nat}(x)$$

mit $\text{nat}(x)$ als Zahl des Bitvektors x .

Beispiel: Einschalten der LED



[Quelle: White, Making Embedded Systems]

```
P2DIR |= (1 << 2); // set to output
```

```
P2OUT |= (1 << 2); // turn on
```


Zusammenfassung

- Beispiele von Hardware eingebetteter Systeme
 - Sensoren
 - A/D Wandler
 - Mikrocontroller
 - D/A Wandler
 - Aktoren
 - Kommunikation/Bus

Literatur / Quellen

- **Atmel**, 8-bit AVR Instruction Set, 2010
- **Atmel**, 8-bit AVR Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash, 2009
- Peter **Marwedel**, Eingebettete Systeme, Springer-Verlag, 2008
- Harvey **Weinberg**, Dual Axis, Low g, Fully Integrated Accelerometers, Analog Dialogue 33-1, 1999, URL: <http://www.analog.com/library/analogDialogue/cd/vol33n1.pdf>
- Elicia **White**, Making Embedded Systems, O'Reilly 2011
- Wikipedia, Operationsverstärker, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Operationsverstärker>
- Wikipedia, Von-Neumann-Architektur, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Von-Neumann-Architektur>
- Wikipedia, Nyquist-Shannon-Abtasttheorem, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Abtasttheorem>
- Wikipedia, Pulsweitenmodulation, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Pulsweitenmodulation>
- **Stand aller Internetquellen: 27.04.2015**