

Digitaltechnik

Wintersemester 2017/2018

1. Vorlesung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

GO





1. Organisation
2. Lernziele und Lerninhalte der Digitaltechnik
3. Grundlagen der Digitaltechnik
4. Komplexität, Abstraktion und Schichtenmodell
5. Bits und Bytes
6. Zusammenfassung und Ausblick

Organisation

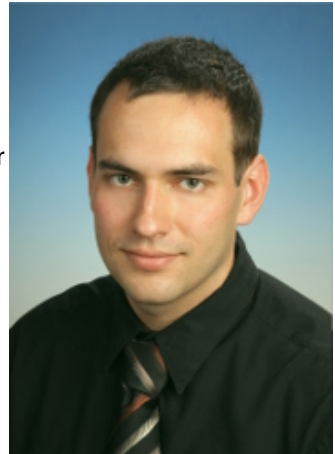


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

011110011001011110111110000000111100101100
0000101011101000110010100001010101101111
1000000010011110111111111001101000011000
0011100000011011011011000000101011111000
1010111010100001110111100101111101010111
1001111100111011001001010111001010101110
1000110111110110011001110001010010011011
00000100011110100000001100011101101110111
111010010010010010111110111011011000010111
1010010110010010111011010111000100100111
0000100101010001000111010000011100111011
0001101011001111100001110101000010110100
1000010011011010011100111101111110001111
0111101011011010010011000101110100111101
0001101110101111010111000111001001110000
0000111100101110011100100100010000011010

Dozent: Dr.-Ing. Andreas Engel

- ▶ Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Eingebettete Systeme und Ihre Anwendungen
- ▶ Arbeitsgebiete:
Anwendungsspezifische Hardwarebeschleuniger
- ▶ Kontakt: engel@esa.cs.tu-darmstadt.de
- ▶ Raum: S2|02 E106
- ▶ Tel.: +49 6151/16 22430
- ▶ Sprechstunde: Mi 14:00 - 16:00 Uhr



Assistent: MSc. Raad Bahmani



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Wissenschaftlicher Mitarbeiter
System Security Lab
- ▶ Arbeitsgebiete: Software Guard Extensions
- ▶ Kontakt: `raad.bahmani@crisp-da.de`
- ▶ Raum: S4|14 R4.1.05
- ▶ Tel.: +49 6151/16 25327



20 Tutoren



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Ozan Agtas
- ▶ Lukas Freiberger
- ▶ Timo Freitag
- ▶ Simon Haneke
- ▶ Timo Henz
- ▶ Tobias Huber
- ▶ Nils Jansen
- ▶ Thomas Kampa
- ▶ Aurel Kilian
- ▶ Stanislaw Kin
- ▶ Moritz Nottebaum
- ▶ Kevin Otto
- ▶ Roland Schurig
- ▶ Tobias Stensbeck
- ▶ Tobias Stöckert
- ▶ Michael Tilli
- ▶ Davide Toldo
- ▶ Tamer Tosun
- ▶ Johannes Wirth
- ▶ Christian Zei



- ▶ Wöchentlich
 - ▶ 09:50 - 11:30 Uhr (s.t.)
 - ▶ Raum S311/08 (und S311/0012, solange nötig)
- ▶ Beginn: KW 42 (18.10.2017)
- ▶ Weihnachtspause: KW 52 (25.12.2017) - KW 01 (05.01.2018)
- ▶ Ende: KW 06 (07.02.2018) ⇒ Klausurvorbereitung
- ▶ Vorlesungen werden aufgezeichnet (**unverbindlich**)
- ▶ Unbedingt unter <https://www.tucan.tu-darmstadt.de> anmelden
- ▶ **Material im Moodle:**
<https://moodle.informatik.tu-darmstadt.de/course/view.php?id=274>



KW42: 16.10. - 20.10. [V1]

↳ Vorlesung

KW43: 23.10. - 27.10. [V2, Ü1]

↳ Übung

KW44: 30.10. - 03.11. [V3, Ü2, T1]

↳ Testat

KW45: 06.11. - 10.11. [V4, Ü3, T2]

KW46: 13.11. - 17.11. [V5, Ü4, T3]

KW47: 20.11. - 24.11. [V6, Ü5, T4]



- ▶ 13 Übungsblätter ab KW 43
- ▶ Bearbeitung freiwillig, aber **dringend empfohlen**
- ▶ **Lösungsvorschläge** wird nach Bearbeitung bereit gestellt
- ▶ in **Kleingruppen** (max. 30 Personen)
- ▶ Anmeldung (**im Moodle**): **KW 42 bis KW 44**
- ▶ Kleingruppenanmeldung in TUCaN **nicht maßgeblich**

Moodle: Übungsgruppen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

G01	Mo 08:00-09:40	S103/102
G02	Mo 15:20-17:00	S311/006
G03	Mo 09:50-11:30	S102/331
G04	Mo 09:50-11:30	S103/10
G05	Di 11:40-13:20	S215/404K
G06	Mo 16:15-17:55	S103/161
G07	Mo 08:00-09:40	S202/C205
G08	Di 11:40-13:20	S103/121
G09	Di 13:30-15:10	S202/C110
G10	Mi 13:30-15:10	S103/126
G11	Mi 13:30-15:10	S103/11
G12	Do 13:30-15:10	S103/313
G13	Do 08:00-09:40	S102/330
G14	Do 09:50-11:30	S103/100
G15	Mo 11:40-13:20	S103/313
G16	Do 13:30-15:10	S102/244
G17	Do 08:00-09:40	S103/126
G18	Fr 11:40-13:20	S202/C110
G19	Fr 13:30-15:10	S103/10
G20	Do 13:30-15:10	S115/138
G21	Mo 13:30-15:10	S102/144
G22	Mo 14:25-16:05	S108/111
G23	Mo 14:25-16:05	S217/103
G24	Fr 11:40-13:20	S102/34
G25	Do 11:40-13:20	S103/25

Hier können Sie Ihre Übungsgruppe auswählen und gruppenintern diskutieren. Nach der zweiten Übungswoche (KW44) ist ein Gruppenwechsel nur noch in begründeten Ausnahmefällen möglich. Wir behalten uns vor, einzelne Gruppen bei zu geringer Teilnahme zu schließen. Die Anmeldung zu den Kleingruppen in TUCaIN ist gegenstandslos und führt nicht zum Anspruch auf eine bestimmte Gruppenzugehörigkeit.

 Auswahl

 Wechsel

 Gruppeninterne Fragen und Hinweise



- ▶ Digitaltechnik wird **schriftlicher Fachprüfung ("Klausur")** abgeschlossen:
 - ▶ **27.02.2018 11:00 - 13:30 Uhr**
 - ▶ Räume werden rechtzeitig bekannt gegeben
 - ▶ **Anmeldung in TUCaN bis 31.01.18 notwendig**
- ▶ Weitere Fachprüfung ("Wiederholungsklausur") im **Herbst 2017**
- ▶ **kein Notenbonus** nach §25(2) APB
- ▶ Zulassung zur Fachprüfung durch **Studienleistung**:
 - ▶ Bis zu vier **Testate können bei Tutor** der Übungsgruppe abgelegt werden
 - ▶ Testate orientieren sich an Übungsaufgaben der Vorwoche
 - ▶ **Nach bestandenen Testat mind. eine Woche aussetzen**
 - ▶ Mindestens zwei bestandene Testate für Klausurzulassung notwendig
 - ▶ Tutoren bieten gegen **Semesterende keine zusätzlichen** Testate an

Moodle: Testate



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Zu jeder Übung werden Testate durch die Tutoren angeboten. Thema eines Testates ist der Stoff der Übung der Vorwoche. Jeder Student darf maximal vier Testate ablegen, wobei in der Woche nach einem bestandenen Testat nicht direkt das nächste Testat abgelegt werden darf. Ein Testat wird entweder als bestanden oder nicht bestanden bewertet. **Das Bestehen von mind. zwei Testaten ist Voraussetzung für die Teilnahme an der Klausur** und damit für den Erwerb einer Studien- oder Prüfungsleistung. Der Tutor Ihrer Übungsgruppe nimmt Ihre Testate ab. Selbst wenn Sie nicht regelmäßig am Übungsbetrieb teilnehmen wollen, ist daher das Anmelden bei einer Übungsgruppe für die Klausurteilnahme unerlässlich.

Im folgenden Terminplaner bietet Ihr Tutor Testatslots an. Die Termine werden nach dem Windhundprinzip vergeben. Über das gesamte Semester werden ausreichend Testatslots angeboten, um jedem Studierenden die theoretischen vier Versuche einzuräumen. Es liegt aber an Ihnen, diese Angebote wahrzunehmen. Es wird **keinen verstärkten Testatsbetrieb gegen Ende des Semesters** geben, auch wenn die Nachfrage das Angebot dann übersteigen sollte. Sie sollten daher kontinuierlich an der Klausurzulassung arbeiten.

Für die Klausurzulassung via TUCaN werden Sie aufgefordert, Ihre Matrikelnummer bei der Buchung eines Testatslots anzugeben. Achten Sie dabei auf eine **korrekte Angabe der Matrikelnummer**, um spätere Komplikationen und Missverständnisse zu vermeiden. Nach Abschluss eines Testats können Sie das Ergebnis sowie weitere fachliche Anmerkungen dem Kommentar des gebuchten Slots entnehmen.



Moodle: Angebotene Zeitfenster für Testate



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Verfügbare Zeitfenster

Die folgende Tabelle zeigt alle verfügbaren Zeitfenster für einen Termin. Treffen Sie Ihre Wahl, indem Sie auf den entsprechenden Button "Zeitfenster buchen" klicken. Wenn Sie später eine Änderung vornehmen müssen, können Sie diese Seite erneut besuchen. Sie können 4 Termine in diesem Planer buchen.

Datum	Start	Ende	Ort	Kommentare	Tutor	Gruppen-Termin
Freitag, 20. Oktober 2017	12:30	12:45	C-Pool	T1	Andreas Engel	Nein

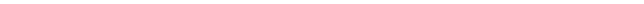
Zeitfenster buchen

Matrikelnummer angeben

Wählen Sie einen der folgenden Slots für Ihr nächstes Testat. Achten Sie darauf, in der Woche nach einem bestandenen Testat keinen weiteren Slot zu buchen. Bis max. 24h vor dem gebuchten bzw. geplanten Testatstermin können Sie Ihre Buchung ändern. Danach wird das Testat als nicht bestanden gewertet, wenn Sie den Termin ohne ärztliches Attest nicht wahrnehmen.

Datum und Zeit	Freitag, 20. Oktober 2017, 12:30 – 12:45
Tutor	Andreas Engel
Ort	C-Pool
Kommentare	T1
Buchungsanweisungen	Für die Klausurzulassung via TUCaN benötigen wir Ihre Matrikelnummer.

Ihre Nachricht *


1234567

Moodle: Zeitfenster gebucht



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Absage bis 24 h vor Termin möglich

Aktuelle Zeitfenster

Datum	Tutor	Ort	Kommentare	Bewertung
Freitag, 20. Oktober 2017 12:30 – 12:45	Andreas Engel	C-Pool	T1	Keine Bewertung

Buchung bearbeiten

Buchung abbrechen

Moodle: Testat bewertet



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Wahrgenommene Zeitfenster

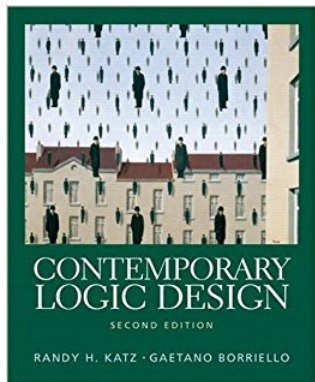
Datum	Tutor	Ort	Kommentare	Bewertung
Freitag, 20. Oktober 2017 12:30 – 12:45	Andreas Engel	C-Pool	T1 Ganz viel konstruktives Feedback	J Details ansehen

Lernziele und Lerninhalte der Digitaltechnik

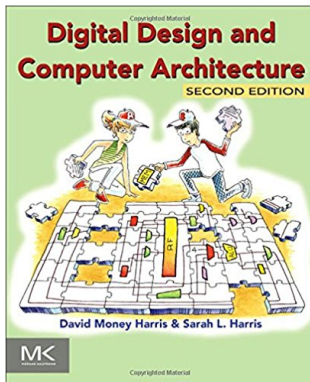


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

1001001010101101110111111000011100101111
0010100011111000110001001100001010010000
0011010110000101100010000111101110101100
0101011000111100001010010111001111101001
0100111000000101100001101000011000010101
0111001001100000100111100001110001000011
0000110110111010100100110111100101011011
11111101111101110100100111100111000001101
1011100110011100011111000001100100000001
1101000001111111000101010110001010100101
1011011000111101110000000000000001001010
0101000001110110011011111000100001101100
1000111010110111001001110110101110010011
1101001100101101011001110000111011011001
1010010000011011100011100000001010000011
01011100111111110110101001110010010001101



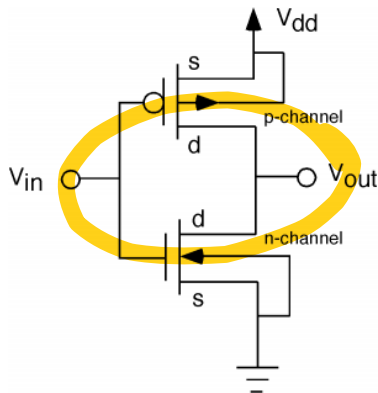
Randy H. Katz,
Contemporary Logic Design,
Addison-Wesley Longman, 1994



David Money Harris und Sarah L. Harris,
Digital Design and Computer Architecture,
Morgan Kaufmann, 2013

Lernziele und Lerninhalte: Digitaltechnik

- ▶ Digitale Abstraktion und ihre technische Umsetzung,
- ▶ Zahlensysteme,
- ▶ Logikgatter,
- ▶ MOSFET Transistoren und CMOS Gatter,
- ▶ Leistungsaufnahme

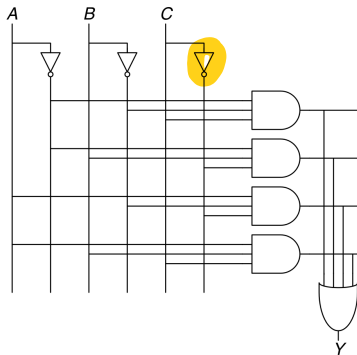


Lernziele und Lerninhalte: Kombinatorische Schaltungen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Boole'sche Gleichungen und Algebra,
- ▶ Abbildung auf Gatter,
- ▶ mehrstufige Schaltungen,
- ▶ Vierwertige Logik (0,1,X,Z),
- ▶ Minimierung von Ausdrücken,
- ▶ Kombinatorische Grundelemente,
- ▶ Zeitverhalten

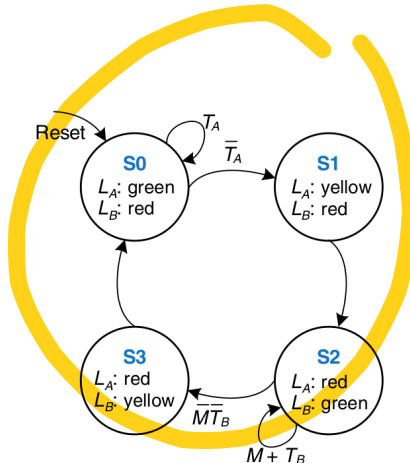


Lernziele und Lerninhalte: Sequentielle Schaltungen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Latches,
- ▶ Flip-Flops,
- ▶ Entwurf synchroner Schaltungen,
- ▶ Endliche Automaten,
- ▶ Zeitverhalten,
- ▶ Parallelität



Lernziele und Lerninhalte: Hardware-Beschreibungssprachen



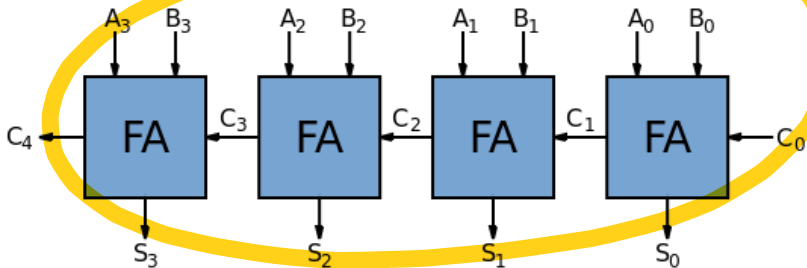
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Modellierung kombinatorischer und sequentieller Schaltungen,
- ▶ Strukturbeschreibungen,
- ▶ Modellierung endlicher Automaten,
- ▶ Datentypen,
- ▶ Parametrisierte Module,
- ▶ Testrahmen



Lernziele und Lerninhalte: Grundelemente digitaler Schaltungen

- ▶ **Arithmetische** Schaltungen,
- ▶ **Fest-/Gleitkomma**darstellung,
- ▶ Sequentielle Grundelemente,
- ▶ **Speicherfelder**,
- ▶ Logikfelder



Grundlagen der Digitaltechnik



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

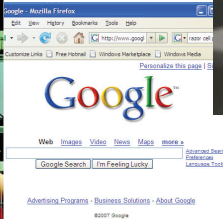
1011101010001110000010110110110101000010
1010110111001100101001010000100001110111
0100110101010001000101101111000111110101
0001011100110010110001001101110100111110
0100000110111010000001011010011001001010
0010000000100101001011010110101000001111
11010111111100011111110011001011101001101
000111110111011010001111010100011001000
0011110101100111011010001100110001011100
0111110111101100001101010010111111101111
1000101101101100011101001111011110011110
1000000001101000111000100101111000001110
0110000110111011100010001000011000111110
0110101001101101110110000010111000100100
1111000011111000001111100011111101111001
1001000100111101000100001000110000111010

- ▶ Geschichtlicher Hintergrund
- ▶ Beherrschen von Komplexität
- ▶ Die digitale Abstraktion
- ▶ Zahlensysteme
- ▶ Logikgatter
- ▶ Darstellung als elektrische Spannungen
- ▶ CMOS Transistoren
- ▶ Elektrische Leistungsaufnahme



Harris Kap. 1
Seite 3 - 48

- ▶ Mikroprozessoren haben die Welt verändert
 - ▶ Handys, Internet, Medizintechnik, Unterhaltung, ...
- ▶ Umsatz der Halbleiterindustrie: \$21 Mrd in 1985 → \$323 Mrd in 2015
- ▶ Als Informatiker/in werden Sie Computer von Grund auf verstehen!



Rückblick - was bisher geschah I



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Wichtige Meilensteine der geschichtlichen Entwicklung digitaler Rechensysteme. Die letzte Spalte gibt an, wann die Geräte vorwiegend eingesetzt wurden.

Bezeichnung	Technik und Anwendung	Zeit
Abakus, Zahlenstäbchen	mechanische Hilfsmittel zum Rechnen	bis ca. 18. Jahrhundert
mechanische Rechenmaschinen	mechanische Apparate zum Rechnen	1623 - ca. 1960
elektronische Rechenanlagen	elektronische Rechenanlagen zum Lösen von numerischen Problemen	seit 1944
Datenverarbeitungsanlage	Rechner kann Texte und Bilder bearbeiten	seit ca. 1955
Informationsverarbeitungssystem	Rechner lernt, Bilder und Sprache zu erkennen (KI)	seit 1968



Wichtige Entwicklungsschritte

- ▶ ca. 600 v. Chr.: Als wahrscheinlich erstes Rechenhilfsmittel ist in China der **Abakus** entstanden.
- ▶ 1623: Der Tübinger Professor Wilhelm Schickard konstruiert die erste Rechenmaschine für sechsstellige Addition und Subtraktion mit automatischem Zehnerübertrag. Multiplikation und Division werden durch Anzeige der Teilprodukte erleichtert. In den Wirren des Dreißigjährigen Krieges geraten die Arbeiten Schickards schnell in Vergessenheit.
→ Erste Rechenmaschine für Addition und Subtraktion.

^ 2 5 7 6 3

Rückblick - was bisher geschah III



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

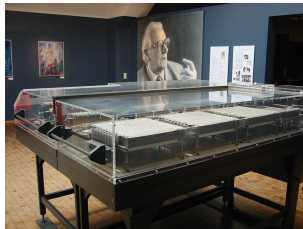
- ▶ 1642: Ohne Kenntnis von Schickards Entwicklung entwirft der französische Mathematiker **Blaise Pascal** eine Rechenmaschine für achtstellige Addition mit automatischem Zehnerübertrag. Die Subtraktion führt er auf die Addition mit dem **Komplementwert** des Subtrahenden zurück.
- ▶ 1673: Gottfried Wilhelm **von Leibniz** konstruiert für die vier Grundrechenarten eine Rechenmaschine mit Staffelwalzen (gestufte Zahnräder). Er entwickelt das duale Zahlensystem und befasst sich mit binärer Arithmetik.
→ Entwicklung **des Dualsystems**.



- ▶ 1833: Der englische Mathematiker *Charles Babbage* konstruiert einen analytischen Rechenautomaten und wird dadurch zum geistigen Urheber der digitalen Rechenautomaten mit Programmsteuerung. Wegen fertigungstechnischer Probleme realisiert er nur einen kleinen Teil der Maschine.
→ Idee eines Rechenautomaten mit Programmsteuerung.
- ▶ 1886: Der amerikanische Bergwerkingenieur Hermann *Hollerith* entwickelt eine elektromagnetische Sortier- und Zählmaschine zur Auswertung von Lochkarten. Bei der Volkszählung 1890 in den USA bewährt sich diese Maschine hervorragend.
→ Lochkarte als Datenträger.

Rückblick - was bisher geschah V

- ▶ 1941: Konrad Zuse baut einen elektromagnetischen Dualcode-Rechner (Z3) mit Daten und Programm auf einem 8-Kanal-Lochstreifen.
 - Erster funktionsfähiger programmgesteuerter Rechenautomat.
 - 0. Generation: Erster Rechner der das Dualsystem verwendet.



Nachbau eines Zuse-Rechners im Technischen Museum in Berlin

- ▶ Weitere Infos bspw. unter <http://www.zib.de>



- ▶ Digitaltechnik ist ein wichtiger Baustein zum Verständnis der Funktionsweise eines Computers
- ▶ Weitere Bausteine:
 - ▶ Rechnerorganisation
 - ▶ Compilerbau
 - ▶ Betriebssysteme
 - ▶ ...

Komplexität, Abstraktion und Schichtenmodell



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

0101100010101010001011011101011101101110
0101110000100011111100110000010000101011
1111000100011010000010101010100001110100
0001010001010010111111011000000001001000
0010011110101100000100000111001010000101
1001010001111011110110110001100100100100
0100101010100101011110010010100011101010
10010011110101101001001111001001111001111
1001100010100111000110100110001111001011
001100111100011010110100110101010100001
1001101100010010000000111110000111111001
0111111101111111110111000001000100011000
1101001001000101111001011011011101000110
0100111001010010010110100010011101101000
0111100111000011001100011000101010000010
1001110011010011011110110101111011100001



- ▶ Abstraktion
- ▶ Disziplin
- ▶ Wesentliche Techniken
 - ▶ Hierarchie (hierarchy)
 - ▶ Modularität (modularity)
 - ▶ Regularität (regularity)



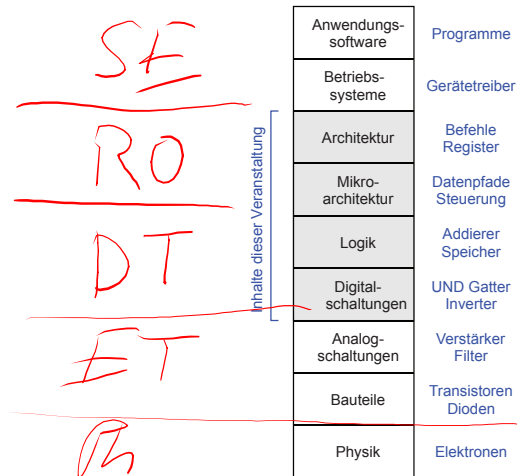
- ▶ Wichtiges und zentrales Konzept der Informatik
- ▶ Verstecken (für eine spezielle Aufgabe) “unnötiger” Details
- ▶ Verstehen der Abstraktionsebenen ist aber für alle Aufgaben hilfreich

Ein abstrakter Computer?

Schichtenmodell eines Computers!



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT





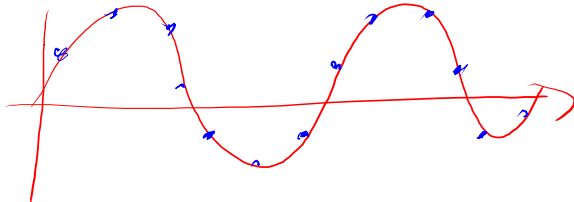
Wesentliche Eigenschaften eines Schichtenmodells sind:

- ▶ **Untere Schicht erbringt Dienstleistungen** für die nächst höhere Schicht
- ▶ **Obere Schicht** nutzt nur die Dienste der nächst niedrigeren Schicht
- ▶ **Eindeutige Schnittstellen** zwischen den Schichten
- ▶ Vorteile einer sauberen Schichtenstruktur:
 - ▶ **Austauschbarkeit** einzelner Schichten, ohne benachbarte Schichten oder das gesamte System ändern zu müssen
 - ▶ Ein **Benutzer braucht nur die von ihm zu bearbeitende Schicht** zu kennen. Die darunterliegenden Schichten bilden eine fest definierte Funktionalität
 - ▶ Für **manche Aufgaben ist** dennoch eine genauere Kenntnis der unteren Schichten notwendig (bspw. Programmierung von Gerätetreibern)
- ▶ Nachteil ist eine ggf. geringere Leistungsfähigkeit des Systems



- ▶ Disziplin ist die **wissentliche Beschränkung** der Realisierungsmöglichkeiten
 - ▶ Erlaubt **produktivere Arbeit** auf höheren Entwurfsebenen
- ▶ Beispiel: Digitale Entwurfsdisziplin
 - ▶ Arbeite **mit diskreten** statt mit **stetigen** Spannungspegeln
 - ▶ Digitalschaltungen sind einfacher zu entwerfen als analoge
Folge: Erlaubt den **Entwurf komplexerer Schaltungen**
 - ▶ Digitale Systeme ersetzen zunehmend analoge
Digitalkamera, digitales Fernsehen, moderne Handys, CD, DVD, ...

- ▶ Die meisten **physikalischen Größen haben stetige Werte**
 - ▶ Elektrische Spannung
 - ▶ Frequenz einer Schwingung
 - ▶ Position einer Masse
- ▶ Berücksichtigen unendlich viele Werte der Größe
- ▶ Digitale Abstraktion: Berücksichtigt nur endlich viele Werte
 - ▶ Untermenge aus einem stetigen Wertebereich



Wesentliche Techniken (die drei Y's)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ **Hierarchie** (Hierarchy)
 - ▶ Aufteilen eines Systems in Module und Untermodule
- ▶ **Modularität** (Modularity)
 - ▶ Wohldefinierte Schnittstellen und Funktionen
- ▶ **Regularität** (Regularity)
 - ▶ Bevorzuge einheitliche Lösungen für einfachere Wiederverwendbarkeit

Beispiel: Steinschlossgewehr

- ▶ Frühes Beispiel für Anwendungen der drei Y's
- ▶ **Komplexer** Gebrauchsgegenstand
- ▶ Entwicklung begann im **16. Jahrhundert**
 - ▶ Aber noch sehr unzuverlässig
- ▶ Höhere Stückzahlen ab dem **17. Jahrhundert**
 - ▶ Aber alles Einzelanfertigungen von Büchsenmachern
- ▶ Bis zum **19. Jahrhundert** zunehmende Vereinheitlichung



Hierarchie: Zerlegung in Module



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Schloss

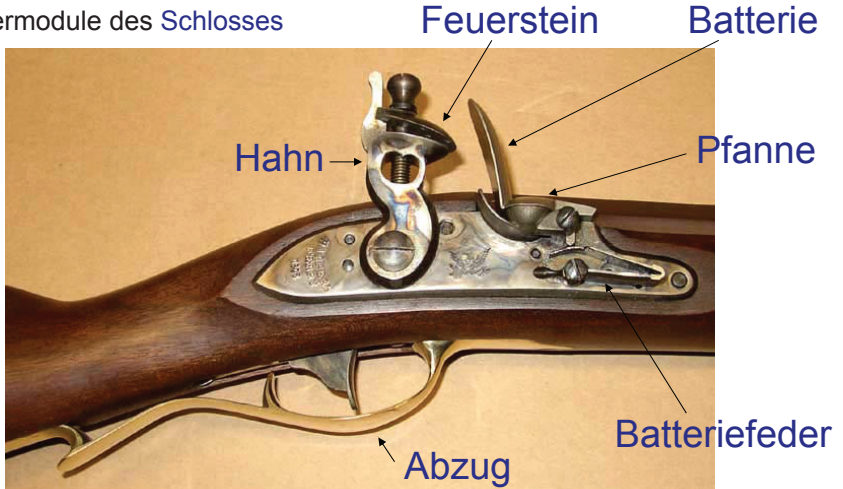
Lauf



Schaft

Hierarchie: Zerlegung in Untermodule

- Untermodule des Schlosses



Modularität: Schaft und Lauf



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Funktion des Schafts
 - ▶ Schloss und Lauf stabil zusammenfügen
- ▶ Funktion des Laufes
 - ▶ Projektil während Beschleunigung zu führen und mit Drall zu versehen
- ▶ Im Idealfall sind Funktionen unabhängig und beeinflussen sich nicht
- ▶ Schnittstelle zwischen Schaft und Lauf
 - ▶ Gemeinsame Haltevorrichtung



Regularität: Austauschbare Teile



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ **Gleiche Schlösser** in unterschiedlichen Schäften
 - ▶ Passender Ausschnitt in Schaft
- ▶ Unterschiedliche Läufe in gleichen Schäften
 - ▶ Passende Länge und Haltemechanismus
- ▶ **Voraussetzung für industrielle Massenproduktion**

Bits und Bytes



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

0000011111111001000011101110111000001111
0110110011011110100010001111001001111000
1000111011111011001110111011010010100010
1100110001100001011110111000010100101000
0101101101000011111001000000010100001100
0100000111111011000011110000100001001000
1010011000011001010000001100011000000000
100111101000010001010111111001000110
1101110000010000111100101100000110000010
0000101001011011010010001111101110101110
0000001111001011101001101011010110000111
1110111110000111010100111110000010011111
0000100001000000011111010010010000100100
1001001010000110001101110101000110101101
0111011001110101101001001011010111000111
0111010100111111011100110101101001001101



- ▶ Beschränkung auf nur zwei unterschiedliche Werte
- ▶ Können unterschiedlich heißen
 - ▶ 1, WAHR, TRUE, HIGH, ...
 - ▶ 0, FALSCH, FALSE, LOW, ...
- ▶ Können unterschiedlich repräsentiert werden
 - ▶ Elektronisch (Spannungspegel)
 - ▶ Mechanisch (Zahnradstellungen)
 - ▶ Hydraulisch (Flüssigkeitsstände)
 - ▶ aber auch Quantenzustände, ...

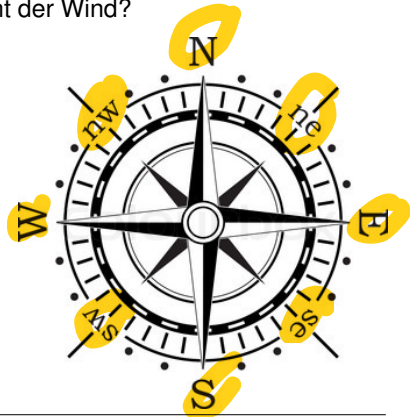
- ▶ Bit (Binary digit): Maßeinheit für Information (Unterscheidung zwischen zwei Zuständen)
- ⇒ Antwort auf Entscheidungsfragen (bspw. "Ist die Erde eine Scheibe?") kann mit einem Bit codiert werden.
- ⇒ Bit ist kleinstmögliche Informationseinheit
- ▶ Warum ist eine solche Kodierung notwendig bzw. sinnvoll?
 - ▶ Technische Realisierung über Schwellwerte ist einfacher, bspw.
 - ▶ elektrische Ladungen (0 = ungeladen, 1 geladen),
 - ▶ elektrische Spannungen (0 = 0 Volt, 1 = 5 Volt)
 - ▶ Magnetisierung (0 = unmagnetisiert, 1 = magnetisiert)

- ▶ Mehr als zwei Zustände / Antwortmöglichkeiten müssen mit mehr Bits repräsentiert werden
- ▶ Beispiel: Aus welcher Himmelsrichtung weht der Wind?

- ▶ 0 0 = Süd
- ▶ 0 1 = West
- ▶ 1 0 = Nord
- ▶ 1 1 = Ost

⇒ 2 bit für vier Zustände

- ▶ Wieviele Bits notwendig für {S, SW, W, ..., O, SO}?



Zweiterpotenzen: das Einmaleins der Informatik



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

$$2^0 =$$

$$2^1 =$$

$$2^2 =$$

$$2^3 =$$

$$2^4 =$$

$$2^5 =$$

$$2^6 =$$

$$2^7 =$$

$$2^8 =$$

$$2^9 =$$

$$2^{10} =$$

$$2^{11} =$$

$$2^{12} =$$

$$2^{13} =$$

$$2^{14} =$$

$$2^{15} =$$

$$2^{16} =$$

$$2^{20} =$$

$$2^{30} =$$

$$2^{40} =$$

Zweiterpotenzen: das Einmaleins der Informatik



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

$$2^0 = 1$$

$$2^1 = 2$$

$$2^2 = 4$$

$$2^3 = 8$$

$$2^4 = 16$$

$$2^5 = 32$$

$$2^6 = 64$$

$$2^7 = 128$$

$$2^8 = 256$$

$$2^9 = 512$$

$$2^{10} = 1024 \text{ Kibi } (\approx \text{Tausend})$$

$$2^{11} = 2048$$

$$2^{12} = 4096$$

$$2^{13} = 8192$$

$$2^{14} = 16384$$

$$2^{15} = 32768$$

$$2^{16} = 65536$$

$$2^{20} = 1048576 \text{ Mebi } (\approx \text{Million})$$

$$2^{30} = 1073741824 \text{ Gibi } (\approx \text{Milliarde})$$

$$2^{40} = 1099511627776 \text{ Tebi } (\approx \text{Billion})$$

Größenfaktoren in der Informatik nach IEC



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

$$\begin{aligned} 1 \text{ Ki} &= \text{Kibi} = 2^{10} = 1024 \\ 1 \text{ Mi} &= \text{Mebi} = 2^{20} = 1024 \times 1024 \\ 1 \text{ Gi} &= \text{Gibi} = 2^{30} = 1024 \times 1024 \times 1024 \\ 1 \text{ Ti} &= \text{Tebi} = 2^{40} = 1024 \times 1024 \times 1024 \times 1024 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ k} &= \text{Kilo} = 10^3 = 1000 \\ 1 \text{ M} &= \text{Mega} = 10^6 = 1000 \times 1000 \\ 1 \text{ G} &= \text{Giga} = 10^9 = 1000 \times 1000 \times 1000 \\ 1 \text{ T} &= \text{Tera} = 10^{12} = 1000 \times 1000 \times 1000 \times 1000 \end{aligned}$$

- ▶ **Achtung:** Basis oft nicht eindeutig
- ▶ Bspw. bei Festplatten: Ein GB wird als 1 000 000 000 B \approx 0.93 GiB verkauft.



1011 1100 0010 1010 0000 0111 0110 1111

- ▶ Größe eines (Halb-)Worts **hängt vom Kontext ab** (meist Registerbreite)

Nomenklatur für Teile von Bitfolgen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

1011	1100	0010	1010	0000	0111	0110	1111
<hr/>							
Nibble	Nibble	Nibble	Nibble	Nibble	Nibble	Nibble	Nibble

- Größe eines (Halb-)Worts **hängt vom Kontext ab** (meist Registerbreite)

Nomenklatur für Teile von Bitfolgen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

1011 1100 0010 1010 0000 0111 0110 1111

Nibble

Nibble

Nibble

Nibble

Nibble

Nibble

Nibble

Nibble

Byte

Byte

Byte

Byte

- Größe eines (Halb-)Worts **hängt vom Kontext ab** (meist Registerbreite)

Nomenklatur für Teile von Bitfolgen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

1011 1100 0010 1010 0000 0111 0110 1111

Nibble Nibble Nibble Nibble Nibble Nibble Nibble Nibble

Byte

Byte

Byte

Byte

Halbwort

Halbwort

Wort

- Größe eines (Halb-)Worts **hängt vom Kontext ab** (meist Registerbreite)

Zusammenfassung und Ausblick



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

1010001111011111101001001111111101011011
1101110111011111100101110001011101110000
1001011000011110100010000100100010010101
0001111100000101000101100000101101001000
0101110000010011101000111011111011001011
010100011010111010011100101011011111111
1001001000001101011001010000111010100100
11001010111001011001101001101110000000
0110010101110011010110111111110001001000
1101101111011110010000101011110000101101
0001011000110000101100111011010010110010
0010000100010101100001010110001100001000
0000111100011100110100001101001100010111
0000111110111011100101000110000000000001
1101101001110011000100100010000111100011
1101101010100011000001100110101000100101



- ▶ Die Grundlagen der Digitaltechnik
 - ▶ Hintergrund
 - ▶ Vorgehensweise
 - ▶ Beherrschen von Komplexität
 - ▶ Die digitale Abstraktion

- ▶ Nächste Vorlesung behandelt
 - ▶ Zahlensysteme

16 bit

$$2^{16} = \underline{2^6} \cdot \underline{2^{10}}$$

$$64 \cdot 2^4$$

$$2^{32} \Rightarrow 2^2 \cdot \underline{2^{30}}$$