

Digitaltechnik

Wintersemester 2025/2026

Vorlesung 14



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT












ENCRYPTO
CRYPTOGRAPHY AND
PRIVACY ENGINEERING

1 Informationen zur Klausur

2 Abschluss Digitaltechnik

3 Ausblick

4 Fragen

Anwendungs- software		Programme
Betriebs- systeme		Gerätetreiber
Architektur		Befehle Register
Mikro- architektur		Datenpfade Steuerung
Logik		Addierer Speicher
Digital- schaltungen		UND Gatter Inverter
Analog- schaltungen		Verstärker Filter
Bauteile		Transistoren Dioden
Physik		Elektronen










Abgabefrist für Hausaufgabe F zu
Vorlesungen 11 und 12 **diese** Woche
Freitag 23:59!
Wöchentliches Moodle-Quiz nicht vergessen!

1 Informationen zur Klausur

2 Abschluss Digitaltechnik

3 Ausblick

4 Fragen

Anwendungs- software		Programme
Betriebs- systeme		Gerätetreiber
Architektur		Befehle Register
Mikro- architektur		Datenpfade Steuerung
Logik		Addierer Speicher
Digital- schaltungen		UND Gatter Inverter
Analog- schaltungen		Verstärker Filter
Bauteile		Transistoren Dioden
Physik		Elektronen



- Prüfungsrelevanter Stoff:
 - VL 01 bis inklusive VL 13
 - ÜB 01 bis inklusive ÜB 13
- Klausuraufbau
 - Wissens-, Übungs- und Transferaufgaben
 - 90 Punkte erreichbar, 90 Minuten Bearbeitungszeit
 - ⇒ 1 Punkt entspricht etwa einer Minute der Bearbeitungszeit
 - Bestehensgrenze: 45 Punkte (50 %)



- Vorlesungsfolien, Übungsblätter, Hausaufgabenblätter
- Denken Sie auch an SystemVerilog!
- Referenzliteratur (hauptsächlich **Harris 2013/2016**)
- Foren im DT Moodle-Kurs
- Weitere Sprechstunden bis zur Klausur (siehe Ankündigung im Moodle)
- Moodle-Kurs „Digital Logic Design“
- WWW
- **Altklausur aus dem Wintersemester 2024/2025** (siehe Moodle)
- **Nächste Woche:**
 - *Vorlesung* 15: **Fragestunde**
 - Übung 14: Abschluss und Fragen auch in den Übungsgruppen

- Bis 20.02.2026: Studienleistungen in TUCaN eingetragen (Verzögerung wegen Prüfung im Studienbüro möglich)
- Bis 27.02.2026: Raumeinteilung wird in Moodle bekannt gegeben
- Durchführung am **03.03.26** ab 11:00-13:00
- Ergebnisse werden in TUCaN veröffentlicht
- Termin für Klausureinsicht wird in Moodle bekannt gegeben
- **Für Nachteilsausgleich, falls notwendig, bitte frühstmöglich [hier](#) melden und uns bis spätestens 17.02.2026 Bescheid geben**



- Die **Abmeldung** ist ohne Angabe von Gründen über TUCaN bis 7 Tage vor der jeweiligen Fachprüfung möglich
- Sollten Sie über ein **ärztliches Attest** verfügen und **einreichen**, bitte beachten:
 - Wenn das Attest über einen Zeitraum geht, in dem Sie von mehreren Prüfungen krankheitsbedingt zurücktreten wollen, tragen Sie alle betroffenen Prüfungen ein
 - Nehmen Sie trotz Attest an einer Prüfung teil, wird das Ergebnis gewertet
 - Rückwirkend ausgestellte Atteste werden nicht unbegründet angenommen



- Wird die Fachprüfung als nicht ausreichend bewertet oder gilt sie als nicht bestanden, kann sie zweimal wiederholt werden
- Termin: Sommersemester 2026
- Studienleistung muss jedoch bereits vorliegen



- Unbedingt mitbringen:
 - Lichtbildausweis (Personalausweis, Reisepass, Führerschein, International Student Identity Card oder dgti-Ergänzungsausweis)
 - Studenausweis
 - dokumentenechter Stift (Kugelschreiber oder Füller) in blau oder schwarz
- Hilfsblatt und Zusatzpapier liegt der Klausur bei
- Keine Hilfsmittel (Taschenrechner, etc.) erlaubt. Davon ausgenommen sind gedruckte Wörterbücher **ohne** Notizen.



- 1 Bitte warten Sie vor dem Prüfungsraum
- 2 Der Einlass erfolgt erst auf unsere Aufforderung
- 3 Die Klausuren befinden sich bereits an den Sitzplätzen, niemand blättert oder schreibt
- 4 Die allgemeinen Hinweise des Deckblatts werden verlesen
- 5 Das Deckblatt wird ausgefüllt
- 6 Auf Kommando beginnt die Bearbeitungszeit
- 7 Nach Ende der Bearbeitungszeit werden *sofort* alle Stifte weggelegt
- 8 Die Klausuren werden eingesammelt
- 9 Erst dann verlassen Sie den Raum

- Schalten Sie alle elektronischen Geräte (Smartphones, Smartwatches, etc.) aus.
- Packen Sie alles außer Schreibwerkzeug weg und verschließen Sie Ihre Taschen. Es sind **keine** Hilfsmittel (Taschenrechner, etc.) erlaubt. Davon ausgenommen sind gedruckte Wörterbücher **ohne** Notizen. Wird während der Klausur ein unerlaubtes Hilfsmittel gefunden, wird dies als Täuschungsversuch gewertet, gemäß §38 APB sanktioniert und wir behalten uns weitere Schritte bis hin zur Exmatrikulation vor.
- Legen Sie Ihren Studenausweis und einen Lichtbildausweis (Personalausweis, Reisepass, Führerschein, International Student Identity Card oder dgti-Ergänzungsausweis) zur Kontrolle bereit.
- Nur mit dokumentenechten Stiften (Kugelschreiber oder Füller) in blau oder schwarz erstellte Lösungen werden gewertet.
- Tragen Sie Ihre persönlichen Informationen auf dem Deckblatt ein und unterschreiben Sie dieses.
- Die Heftung der Klausur darf nicht gelöst werden. Ausnahme ist das angehängte Hilfsblatt.
- Essen und Trinken ist erlaubt, nehmen Sie jedoch Rücksicht auf Ihre Kommiliton:innen.

- Bewertet wird insbesondere der Lösungsweg, nicht nur das Ergebnis. Geben Sie daher alle nötigen Zwischenschritte an.
- Sollten Sie mehr als eine Lösung zu einer Aufgabe abgeben, wird diese mit Null Punkten bewertet.
- Falls Sie Fragen zur Aufgabenstellung haben, melden Sie sich. Das Aufsichtspersonal wird dann an Ihren Platz kommen. Inhaltliche Fragen werden nicht beantwortet.
- Eigenes Papier ist **nicht** gestattet. Für den Fall, dass Sie zusätzliches Papier benötigen, befinden sich am Ende der Klausur drei leere Seiten für Notizen und Lösungen. Beschriften Sie diese Seiten eindeutig mit den Aufgabennummern, für welche die Lösungen gewertet werden sollen.
- Falls Sie auf Toilette müssen, kommen Sie mit Ihrer Klausur nach vorne und hinterlegen Sie sie beim Aufsichtspersonal. Es kann zu jedem Zeitpunkt nur eine Person den Raum verlassen.
- Die späteste Möglichkeit zur vorzeitigen Abgabe oder zum Toilettengang ist 15 min vor Ende der Bearbeitungszeit.
- Klausuren dürfen keinesfalls mitgenommen werden, auch wenn sie nicht bewertet werden sollen.

1 Informationen zur Klausur

2 Abschluss Digitaltechnik

3 Ausblick

4 Fragen

Anwendungs- software		Programme
Betriebs- systeme		Gerätetreiber
Architektur		Befehle Register
Mikro- architektur		Datenpfade Steuerung
Logik		Addierer Speicher
Digital- schaltungen		UND Gatter Inverter
Analog- schaltungen		Verstärker Filter
Bauteile		Transistoren Dioden
Physik		Elektronen

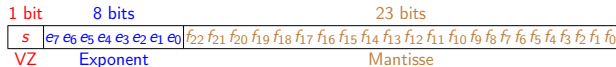
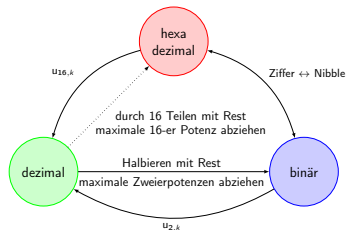


- Schichtenmodell
- Digitale Abstraktion und ihre Umsetzung

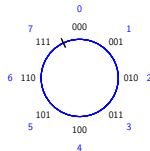




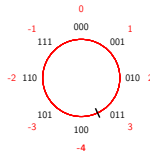
- Zahlensysteme
- Zweierkomplement, Vorzeichen und Betrag
- Rechnen in beliebigen Zahlensystemen
- Festkomma- und Gleitkommazahlen



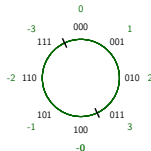
Vorzeichenlos: $u_{2,k}$
 $\{0, \dots, 2^k - 1\}$



Zweierkomplement: s_k
 $\{-2^{k-1}, \dots, 2^{k-1} - 1\}$

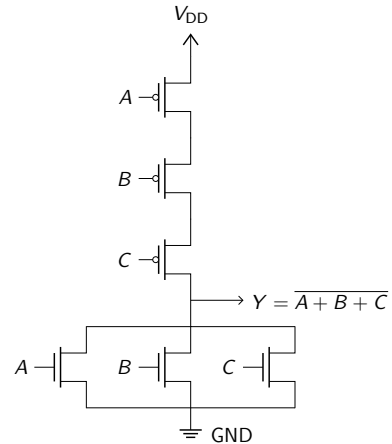
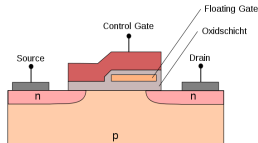
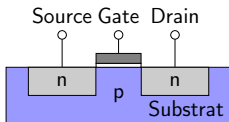


Vorzeichen/Betrag: $vb_{2,k}$
 $\{-2^{k-1} + 1, \dots, 2^{k-1} - 1\}$

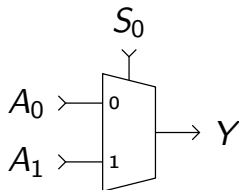


- Transistoren
- CMOS-Schaltungen
- Speicher
- Leistungsaufnahme

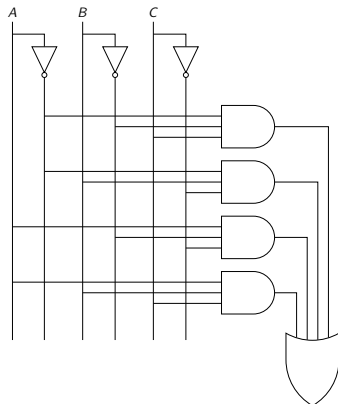
nMOS



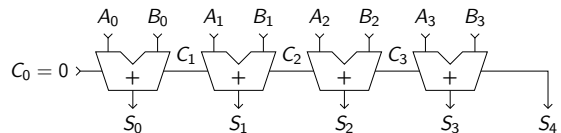
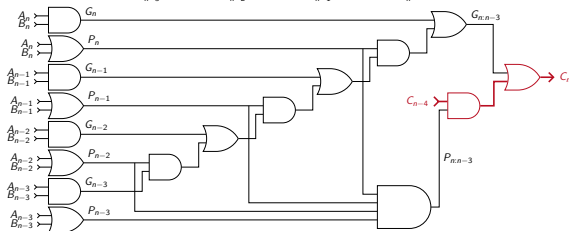
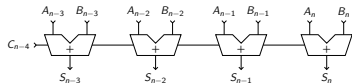
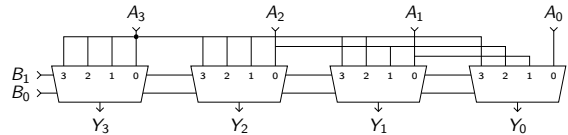
- Boole'sche Gleichungen und Algebra
- Logikgatter
- KV-Diagramme, Algorithmische Logikminimierung, Bubble-Pushing
- Vierwertige Logik (0, 1, X, Z)
- Zeitverhalten und Glitches
- Kombinatorische Grundelemente

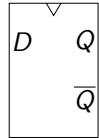
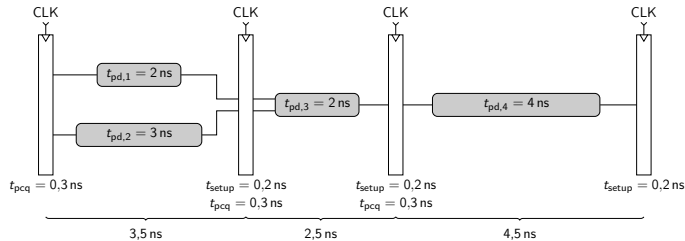


$S_0:$ $A_3 A_2$		A_3				
		00	01	11	10	
$A_1 A_0$	00	0 1	4	12	8 1	A_0
	01	1	5 1	13	9 1	
	11	3 1	7 1	15 1	11	
	10	2 1	6 1	14 1	10 1	
		A_2				

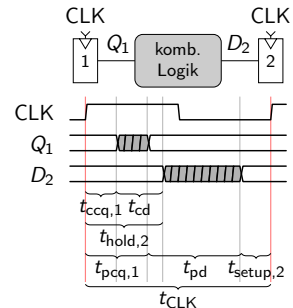


- Shifter
- Addierer
- Subtrahierer
- ...

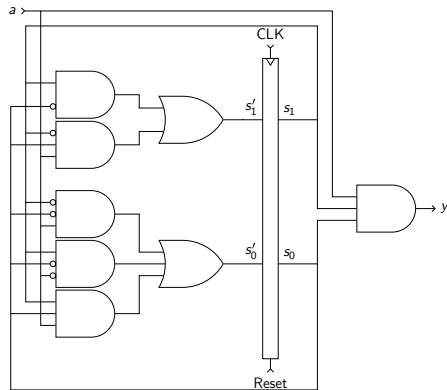
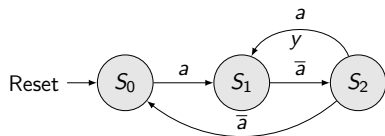




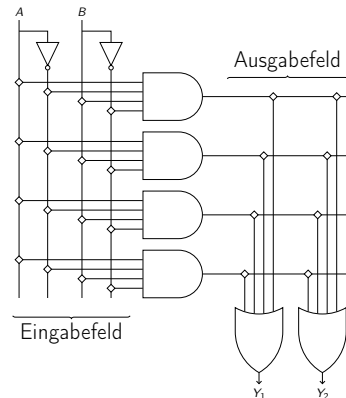
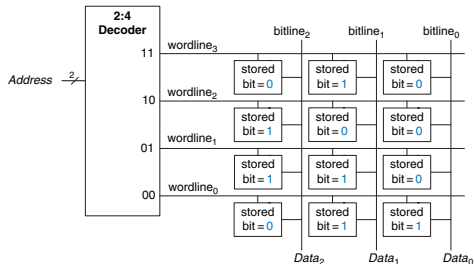
- Latches
- Flip-Flops
- Synchron sequentielle Logik
- Zeitverhalten, Taktrate, Hold-Bedingung
- Parallelität



- Moore-Automaten
- Mealy-Automaten
- Umsetzung durch sequentielle Schaltungen
- Zerlegen von Automaten



- RAM, ROM, Flash, ...
- Logikumsetzung mit Speicher- und Logikfeldern
- FPGAs





- Verhaltens- und Strukturbeschreibungen
- Beschreibung kombinatorischer und sequentieller Schaltungen
- Datentypen
- Umsetzung endlicher Automaten
- Parametrisierung
- Simulation und Synthese
- Testbenches

```
1  genvar i;
2  generate
3      for (i = 0; i < N; i++) begin
4          full_adder fa(
5              .A(      A[i]),
6              .B(      B[i]),
7              .C_in(    C[i]),
8              .S(      S[i]),
9              .C_out(    C[i + 1]));
10     end
11 endgenerate
```

```
1  initial begin
2      $dumpfile("register_tb.vcd"); $dumpvars;
3      $timeformat(-9, 1, " ns", 7);
4      // aktuell CLK == 0
5      RST = 1;
6      #2;
7      RST = 0;
8      for (logic [4:0] i = 0; i < 16; i++) begin
9          D = i[3:0];
10         #2;
11         if (Q == D) begin
12             $display("Success for D=%b", D);
```










```
1  always_ff @(posedge CLK) begin
2      if (RST) begin
3          A <= 0;
4          B <= 0;
5      end else begin
6          A <= next_A;
7          B <= next_B;
8      end
9  end
```

1 Informationen zur Klausur

2 Abschluss Digitaltechnik

3 Ausblick

4 Fragen

Anwendungs- software		Programme
Betriebs- systeme		Gerätetreiber
Architektur		Befehle Register
Mikro- architektur		Datenpfade Steuerung
Logik		Addierer Speicher
Digital- schaltungen		UND Gatter Inverter
Analog- schaltungen		Verstärker Filter
Bauteile		Transistoren Dioden
Physik		Elektronen












- Rechnerorganisation
 - ⇒ Prozessorarchitekturen, Befehlssätze, Assemblerprogramme, Mikroarchitekturen, Speicherhierarchie, virtuelle Speicher, Leistungsbewertung
- Architekturen und Entwurf von Rechnersystemen
 - ⇒ Technologische Trends der Mikroelektronik, Hardware-Entwurfstechniken (mit Bluespec-Verilog), Architekturen für parallele Ausführung, Heterogene Systems-on-Chip, On-Chip und Off-Chip Kommunikationsstrukturen
- Einführung in den Compilerbau & Fortgeschrittener Compilerbau
 - ⇒ Hochsprachen-Programme (z.B. C, C++, Rust) nach Assembler übersetzen, ISA-spezifische Optimierungen (z.B. Registerallokation, Schleifenoptimierung)
- Embedded-Systems Hands-On
 - ⇒ Praxis-naher Einsatz von Mikroprozessoren / FPGAs in kleinen Projekten
- Kryptographische Protokolle, <https://encrypto.de/CRYPROT>
 - ⇒ Sichere Auswertung von Schaltkreisen zum Rechnen unter Verschlüsselung

1 Informationen zur Klausur

2 Abschluss Digitaltechnik

3 Ausblick

4 Fragen

Anwendungs- software		Programme
Betriebs- systeme		Gerätetreiber
Architektur		Befehle Register
Mikro- architektur		Datenpfade Steuerung
Logik		Addierer Speicher
Digital- schaltungen		UND Gatter Inverter
Analog- schaltungen		Verstärker Filter
Bauteile		Transistoren Dioden
Physik		Elektronen

Haben Sie konkrete Fragen zur Lehrveranstaltung Digitaltechnik,
die wir jetzt in großer Runde besprechen sollten?

Nächste Woche gibt es statt Vorlesung noch eine Fragestunde (+
Promoblock und Besprechung der Evaluation)!

(Alles andere gerne in Übungen, Moodle und Sprechstunde)

- Nora Khayata, Jan Filipp, Andreas Brüggemann
- David Haas
- Tobias Henig
- Unsere Tutor:innen und PidL Studierende
- Abdulhadi Shoufan (Khalifa University, VAE), Sebastian Engel (FB18)
- Sie alle, für rege Teilnahme an der Vorlesung und spannende Fragen!



1 Informationen zur Klausur

2 Abschluss Digitaltechnik

3 Ausblick










4 Fragen

nächste Vorlesung beinhaltet

- Besprechung der Evaluationsergebnisse
- Promoblock zu unseren Angeboten
- Ihre Fragen!

Hausaufgabe F zu Vorlesungen 11 und 12 muss bis diese Woche Freitag 23:59 abgegeben werden.

Wöchentliches Moodle-Quiz nicht vergessen!

Anwendungssoftware 	Programme
Betriebssysteme 	Gerätetreiber
Architektur 	Befehle Register
Mikroarchitektur 	Datenpfade Steuerung
Logik 	Addierer Speicher
Digital-schaltungen 	UND Gatter Inverter
Analog-schaltungen 	Verstärker Filter
Bauteile 	Transistoren Dioden
Physik 	Elektronen