Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
Lehrstuhl für Informatik 12
(Hardware-Software-Co-Design)
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Klausur
Grundlagen der Technischen Informatik

30. September 2016

Name	
Matrikelnummer	
Studienrichtung	

Aufgabe	1	2	3	4	5	Σ
Max. Punkte	15	15	20	15	15	80
Erreichte Punkte						
Note						

Organisatorische Hinweise

Bitte sorgfältig lesen und die Kenntnisnahme durch Unterschrift bestätigen

---

a) Bitte legen Sie Ihren Studentenausweis bereit.

b) Als Hilfsmittel sind nur Schreibmaterialien und ein beidseitig handbeschriebenes DIN A4-Blatt zugelassen.

c) Schmierpapier wird nicht abgegeben und auch nicht korrigiert.

d) Sie können bei der Aufsicht zusätzliche Bearbeitungsblätter anfordern.

e) Unleserliches wird nicht bewertet.

Erklärung

a) Im Falle einer während der Prüfung auftretenden Prüfungsunfähigkeit zeige ich dies sofort der Aufsicht an und befolge deren Anweisungen. Ich weiß, dass ich die volle Beweislast trage. Ich lasse mir das Formular des Prüfungsamts, das für diese Fälle vorgesehen ist, aushändigen und verfahre nach den dort niedergelegten Richtlinien.

b) Ich weiß, dass im Falle des Täuschungsversuchs oder der Benutzung unerlaubter Hilfsmittel („Unterschleif") der Prüfungsausschuss die Entscheidung treffen kann, die betroffene Prüfungsleistung als mit „nicht ausreichend" bewertet gelten zu lassen.

c) Ich habe die obigen Hinweise zur Kenntnis genommen.

Erlangen, den ....

Unterschrift

Aufgabe 1 (Zahlensysteme) (15 Punkte)

a) Wie lautet der Wertebereich einer mit n Bit darstellbaren vorzeichenlosen Binärzahl? (1 Punkt)

b) Wie lautet der Wertebereich einer n-stelligen Binärzahl im Zweierkomplement? (1 Punkt)

c) Im Folgenden werden Berechnung mit den zwei n-stelligen Binärzahlen a und b, welche beide im Zweierkomplement kodiert sind, durchgeführt. Bestimmen Sie die minimal und maximal möglichen Ergebnisse für die vier Berechnungsarten $+$, $-$, $\cdot$ und $/$. Der Sonderfall, dass durch Null geteilt wird, soll hier nicht berücksichtigt werden. Die Ergebnisse der Berechnungen werden in den Ergebnisvariablen c_+, c_-, $c_\cdot$ und $c_/$ gespeichert. Diese Variablen sollen ebenfalls als Zweierkomplementzahlen angenommen werden. Bestimmen Sie — ausgehend von den Betrachtungen zum Wertebereich der Ergebnisse — die minimal notwendigen Bitbreiten der vier Ergebnisvariablen, sodass keine Über- oder Unterläufe bei der Abspeicherung der Ergebnisse auftreten können. (6 Punkte)

Berechnung	$a+b$	$a-b$	$a \cdot b$	a/b
Maximal mögliches Ergebnis				
Minimal mögliches Ergebnis				
Bitbreite von c_+, c_-, $c_\cdot$ und $c_/$				

d) Beantworten Sie folgende Auswahlfragen. Jede richtige Antwort ergibt einen Punkt, jede falsche Antwort führt zu einem Punktabzug, nicht beantwortete Fragen werden nicht gewertet, weniger als null Punkte sind nicht möglich. (4 Punkte)

1. Die Kodierung einer vorzeichenlosen Zahl in Binärdarstellung benötigt i. A. weniger Bits als die Kodierung der gleichen Zahl in BCD-Darstellung. ☐ wahr ☐ falsch
2. Zur Negation einer Zahl in Einerkomplementdarstellung werden all Binärstellen der Zahl invertiert. ☐ wahr ☐ falsch
3. Die Genauigkeit einer Gleitkommadarstellung nach IEEE-754 kann erhöht werden, indem man die Bitbreite des Exponenten erhöht, ohne die Gesamtanzahl an Bits zu verändern. ☐ wahr ☐ falsch
4. Mit der Konstante "wahr" sowie XOR- und ODER-Gattern lässt sich jede beliebige Schaltfunktion realisieren. ☐ wahr ☐ falsch

e) In dieser Aufgabe werden 11 Bit lange Gleitkommazahlen betrachtet. Diese werden analog zum IEEE-Format gebildet. Das Format der Gleitkommazahl sieht dabei wie folgt aus: *Vorzeichen (1 Bit)*, *Exponent (4 Bit)*, *Mantisse (6 Bit)*

V	E	M
10	9 6	5 > 0

Wandeln Sie die in diesem Format dargestellte Gleitkommazahl 11000101100 in das Dezimalsystem um. (3 Punkte)

Aufgabe 2 (Minimierung) (15 Punkte)

a) Im folgenden sei die Schaltfunktion $f_1(a,b,c,d)$ gegeben.

$$f_1(a,b,c,d) = ((b\bar{c} + a\bar{b}) \cdot \bar{b}) \rightarrow cd$$

1. Folgende Funktionstabelle beschreibt die in f_1 verwendete Implikation $\rightarrow$. Ermitteln Sie vorerst die Minimalform des Terms $x \rightarrow y$. (0,5 Punkte)

x	y	$x \rightarrow y$
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

2. Bringen Sie f_1 mittels algebraischer Umformungen in eine DF und vereinfachen Sie die Funktion so weit wie möglich. (1,5 Punkte)

b) Es sei die Schaltfunktion $f_2(a,b,c,d)$ gegeben. Vervollständigen Sie das gegebene Schaltnetz unter Verwendung der CMOS-Technologie mit möglichst wenig Transistoren. Vereinfachen Sie dafür gegebenenfalls f_2 und stellen Sie jeweils die Formel für das PUN und das PDN auf. Beachten Sie, dass alle Eingänge nur ohne Negation verfügbar sind. (5 Punkte)

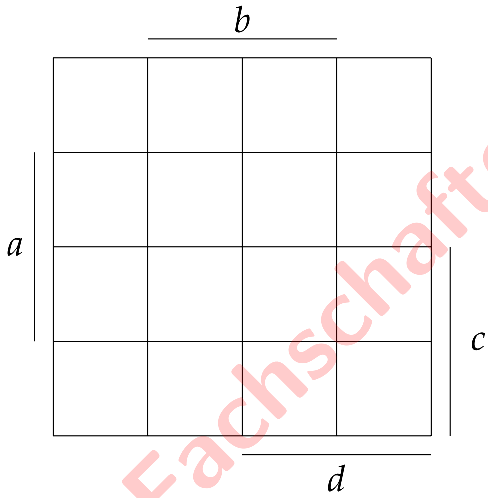
$$f_2(a,b,c,d) = (b + \bar{c} + d) \cdot \bar{a}\bar{b}$$

VDD

GND

c) Gegeben sei die folgende Funktionstabelle von $f_3(a,b,c,d)$. Übertragen Sie die Werte aus der Funktionstabelle in das gegebene Symmetriediagramm und bestimmen Sie alle konjunktiven Minimalformen für f_3. Achten Sie dabei auf die gegebene Variablenordnung. (3 Punkte)

j	d	c	b	a	$f_3(a,b,c,d)$
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	-
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	-
7	0	1	1	1	0
10	1	0	0	0	1
11	1	0	0	1	-
12	1	0	1	0	-
13	1	0	1	1	1
14	1	1	0	0	1
15	1	1	0	1	1
16	1	1	1	0	-
17	1	1	1	1	1



d) 1. Wie muss das Quine/McCluskey-Verfahren angepasst werden, um damit eine Nullstellenüberdeckung bestimmen zu können? (1 Punkt)

2. Die Schaltfunktion $f_4(a,b,c,d)$ sei in Form der folgenden Funktionstabelle gegeben. Erstellen Sie für f_4 eine Nullstellenüberdeckung unter Verwendung des Quine/McCluskey-Verfahrens. Markieren Sie alle Primimplikate eindeutig und geben Sie die resultierende Formel für f_4 an. (4 Punkte)

j	d	c	b	a	$f_4(a,b,c,d)$
0	0	0	0	0	-
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	-
10	1	0	0	0	0
11	1	0	0	1	0
12	1	0	1	0	1
13	1	0	1	1	1
14	1	1	0	0	1
15	1	1	0	1	1
16	1	1	1	0	0
17	1	1	1	1	1

Aufgabe 3 (Automaten) (20 Punkte)

a) Im Folgenden soll ein Automat entworfen werden, der Tierfuttersäcke der Größe 10kg, 15kg und 20kg in handelsübliche Packungen der Größe 3kg, 2kg und 1kg aufteilt.

Hierfür verfügt der Automat über vier verschiedene Eingaben, die jedoch nicht gleichzeitig anliegen können: der Sack enthält noch 3kg oder mehr Futter (Eingabe *G3*); der Sack enthält noch 2kg Futter (Eingabe *G2*); der Sack enthält noch 1kg Futter (Eingabe *G1*); kein Sack bzw. Sack vollständig abgefüllt (Eingabe *Empty*).

Das Verhalten ist wie folgt spezifiziert: Solange kein Sack der angegebenen Größen eingegeben wurde, verbleibt der Automat im Startzustand (Ausgabe *Fill*). Danach wird der Sack zunächst in soviele 3kg-Packungen wie möglich abgefüllt (jeweils Ausgabe *P3*). Wenn danach der Sack noch nicht leer ist – das heißt, entweder 2kg oder 1kg sind übrig –, soll entsprechend entweder eine 2kg-Packung (Ausgabe *P2*) oder eine 1kg-Packung (Ausgabe *P1*) ausgegeben werden. Erst wenn das komplette Gewicht des Sacks aufgeteilt wurde, kehrt der Automat in den Startzustand zurück und kann wieder mit einem Sack befüllt werden (Ausgabe *Fill*).

Dabei ist zu beachten, dass nach Ausgabe einer 1kg- oder 2kg-Packung keine Ausgabe einer weiteren Packung (3kg, 2kg bzw. 1kg) möglich ist, weshalb bei der entsprechenden Eingabe in einen Fehlerzustand übergegangen wird (Ausgabe *Error*). Ebenso können vom Startzustand ausgehend nur 3kg-Packungen ausgegeben werden, ansonsten wird auch hier in den Fehlerzustand übergegangen (Ausgabe *Error*). Aus dem Fehlerzustand kann nicht wieder zurückgekehrt werden, da ein ordnungsgemäßer Betrieb nicht garantiert ist.

Die Ein- und Ausgaben sind dabei wie folgt durch binäre Variablen codiert:

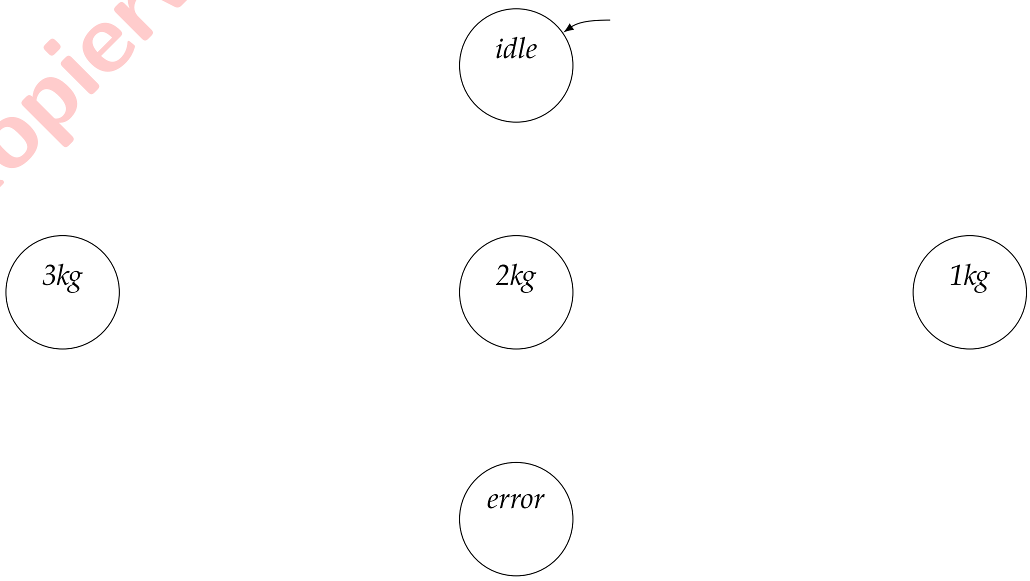
Eingabe	i_1	i_0
G3	0	0
G2	0	1
G1	1	0
Empty	1	1

Eingaben des Automaten

Ausgabe	o_2	o_1	o_0
P3	0	0	0
P2	0	0	1
P1	0	1	0
Fill	0	1	1
Error	1	0	0

Ausgaben des Automaten

1. Spezifizieren Sie den beschriebenen Automaten als Mealy-Automat unter Verwendung der fünf Zustände *idle*, *3kg* (3kg-Packung wurde ausgegeben), *2kg*, *1kg* und *error*. Geben Sie den resultierenden Automatengraphen an. (5 Punkte)



2. Vervollständigen Sie die nachfolgend gegebene Automatentafel unter Verwendung von taktflankengesteuerten D-, JK- bzw. T-Flipflops. (6 Punkte)

Zustandsname	Aktueller Zustand			Eingabe		Nachfolgezustand			Ansteuerfunktion				Ausgabe		
	q_2	q_1	q_0	i_1	i_0	q_2'	q_1'	q_0'	D_2	J_1	K_1	T_0	o_2	o_1	o_0
idle	0	0	0	0	0										
idle	0	0	0	0	1										
idle	0	0	0	1	0										
idle	0	0	0	1	1										
3kg	0	0	1	0	0										
3kg	0	0	1	0	1										
3kg	0	0	1	1	0										
3kg	0	0	1	1	1										
2kg	0	1	0	0	0										
2kg	0	1	0	0	1										
2kg	0	1	0	1	0										
2kg	0	1	0	1	1										
1kg	0	1	1	0	0										
1kg	0	1	1	0	1										
1kg	0	1	1	1	0										
1kg	0	1	1	1	1										
error	1	0	0	0	0										
error	1	0	0	0	1										
error	1	0	0	1	0										
error	1	0	0	1	1										

3. Nehmen Sie im Folgenden an, dass die Ansteuerfunktion K_1 des JK-Flipflops im unten gegebenen Symmetriediagramm spezifiziert sei. Entwickeln Sie eine disjunktive Minimalform (DMF) der Ansteuerfunktion K_1 und geben Sie den resultierenden schaltalgebraischen Ausdruck an.
Hinweis: Die hier angegebene Ansteuerfunktion K_1 entspricht nicht der Lösung von Teilaufgabe 2. (3 Punkte)

					q_2	q_2	q_2	q_2	
		i_0	i_0			i_0	i_0		
	0	1	0	1	-	-	-	-	
i_1	1	0	0	1	-	-	-	-	
i_1	-	0	0	-	-	-	-	-	q_1
	0	1	0	-	-	-	-	-	q_1
			q_0	q_0	q_0	q_0			

4. Zeichnen Sie das Schaltwerk des in Teilaufgabe 2 erstellten Mealy-Automaten. Verwenden Sie dazu die in Teilaufgabe 3 bestimmte DMF der Ansteuerfunktion K_1 und gehen Sie davon aus, dass Sie die benötigten Ansteuerfunktionen D_2, J_1 und T_0 als Eingangssignale zur Verfügung haben. Auf die Realisierung der Ausgabe des Automaten kann verzichtet werden. (3 Punkte)

b) Zeichnen Sie die vollständige Schaltung eines Active-LOW RS-Latches. (2 Punkte)

c) Worin unterscheiden sich die drei Automatentypen Moore, Medwedew und Mealy? (1 Punkt)

Aufgabe 4 (Codierung und Rechnerarithmetik) (15 Punkte)

a) Gegeben ist ein Code mit folgenden Codewörtern:

A	B	C	D	E
0010	0101	0011	1100	1001

1. Sind 2-Fehler erkennbar? Begründen Sie ihre Antwort. (1 Punkt)

2. Erweitern Sie alle Codewörter um m Bits, so dass 1-Fehler korrigierbar sind. Verwenden Sie dazu so wenig zusätzliche Bits wie möglich, d. h. m soll so klein wie möglich sein. (3 Punkte)

b) Ein Kartendeck besteht aus 32 Karten mit jeweils 8 Karten derselben Farbe. Die Farben sind Herz, Kreuz, Pik und Karo. 20 der 32 Karten sind Trumpf.

1. Was ist der Informationsgehalt folgender Aussage A:
   "Alle Karten von zwei Farben sind schon komplett ausgespielt"? (1 Punkt)

2. Was ist der Informationsgehalt folgender Aussage B:
   "Alle Trumpf-Karten sind schon komplett ausgespielt"? (1 Punkt)

3. Welcher Informationsgehalt der beiden Aussagen A und B ist größer? (1 Punkt)

4. Eine Quelle mit dem Alphabet

   {"Die nächste Karte ist Herz",
   "Die nächste Karte ist Kreuz",
   "Die nächste Karte ist weder Herz noch Kreuz"}

   gibt Informationen über die nächste gezogene Karte aus einem vollen Deck. Berechnen Sie die Entropie der Quelle. (3 Punkte)

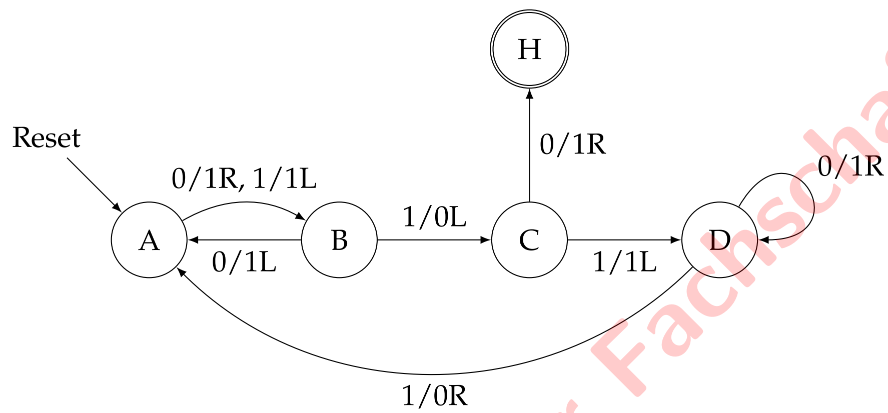
c) Betrachtet wird zunächst ein Multiplizierer $MUL\_n \times 1$, der eine n-Bit Zahl mit einer 1-Bit Zahl multipliziert.

1. Entwerfen Sie das Schaltznetz eines $MUL\_2 \times 1$ unter ausschließlicher Verwendung von NOR-Gattern mit zwei Eingängen. (2 Punkte)

2. Entwerfen Sie einen Multiplizierer, der zwei vorzeichenlose 2-Bit Zahlen $y_1\,y_0$ und $x_1\,x_0$ multipliziert unter Verwendung von zwei $MUL\_2 \times 1$-Multiplizierern. Außerdem stehen noch Halbaddierer (HA), Volladdierer (VA) und Multiplexer mit zwei Eingängen zur Verfügung. (3 Punkte)

Aufgabe 5 (VHDL) (15 Punkte)

Eine Turingmaschine besteht aus einem Band und einem Schreib-/Lesekopf, der in jedem Rechenschritt das Zeichen an der aktuellen Bandposition liest, davon abhängig ein neues Zeichen auf das Band schreibt und schließlich eine Stelle nach links oder rechts bewegt werden kann. Turingmaschinen, deren Zeichenmenge $\{0, 1\}$ ist und die nach einer endlichen Anzahl von Schritten anhalten sowie die Anzahl der auf das Band geschriebenen Einsen maximieren, heißen fleißige Biber. Fleißige Biber lassen sich nach der Anzahl der in einem äquivalenten endlichen Automaten notwendigen Zustände klassifizieren. Für fünf Zustände (Haltezustand H inklusive) ist der abgebildete Automat der aktuelle Kandidat, der fleißige Biber zu sein:



An die Kanten sind die Eingabe (0 oder 1) und die zugehörigen Ausgaben annotiert: 0 oder 1 als der Wert, der auf das Band geschrieben wird und L(inks) oder R(echts) als Richtung, in die das Band bewegt wird.

Realisieren Sie diesen Automaten als synchrone Schaltung `beaver` in VHDL. Sie soll mit einer Frequenz von 100 MHz betrieben werden und sich *asynchron* zurücksetzen lassen.

a) Wieviele Bits sind zur Speicherung des aktuellen Zustands mindestens nötig? (1 Punkt)

b) Vervollständigen Sie die folgende `entity`-Deklaration der Schaltung. (2 Punkte)

```
entity beaver is



end beaver;
```

c) Vervollständigen Sie das folgende Code-Skelett mit einer Implementierung des obigen Automaten. Beachten Sie die Konstantendeklarationen für `L` und `R`. (7 Punkte)

```
architecture behavioral of beaver is
constant L : std_logic := '1';
constant R : std_logic := '0';
```

begin

```
end behavioral;
```

d) Der Inhalt des Bandes soll nun fehlertolerant versendet werden. Implementieren Sie dafür eine Funktion in VHDL, die das Paritätsbit eines beliebig langen Bitvektors zurückgibt, sodass ungerade Parität entsteht. (3 Punkte)

e) Seien `d1` und `d2` vom Typ `std_logic`. Welche Werte haben `d1` und `d2` nach der Simulation des folgenden `process`, wenn `d1` zu Beginn 1 ist? (2 Punkte)

```
process
  variable temp : std_logic := '0';
begin
  d1 <= temp and d2;
  temp := '1';
  d2 <= temp xor d1;
end process;
```