

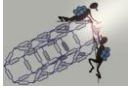


Einheit 4: Logische Schaltungen und Automaten

Inhalt

1.	Einleitung	2
2.	„Logisch Wahr“ und „Logisch Falsch"	3
3.	Integrierte Schaltungen (ICs).....	4
4.	Logische Verknüpfungen	7
4.1	Taster-Logik.....	8
4.2	Dioden-Logik.....	9
4.3	Inverter mit Transistor	10
4.4	Inverter in Gegentaktschaltung.....	10
4.5	CMOS-Gatter:.....	12
5.	Kippstufen	15
6.	Automaten	17
6.1	Der Binärzähler	17
6.1.1	Das Binärsystem:.....	17
6.1.2	Der Zähler 74HC393	18
6.1.3	Elektronischer Würfel.....	19
6.2	Das Schieberegister 74HC164.....	22

Diese Unterlagen stellen keinen Lehrbrief dar. Sie sind von wenigen Studierenden für die Studierenden des ersten Semesters speziell für das Einführungsprojekt Elektrotechnik 2009 verfasst worden.



1. Einleitung

Vor der Einführung elektronischer Rechner wurden in der Industrie mechanische Rechenmaschinen verwendet. Diese produzierten Anfangs viele Fehler, die Mechanik war aufwändig, wartungsintensiv, schwer und teuer. Die Methode binär, also im Zweiersystem zu zählen und zu rechnen wurde mehrmals in der Geschichte entdeckt, lange bevor es Halbleiter gab.

Mit der Einführung einfacher, kleiner und sparsamer Halbleiter erlebte die Digitaltechnik im Binärsystem neuen Aufwind und führte und führt noch zu der heute existierenden Informationsgesellschaft.

In dieser Einheit werden Sie verschiedene logische Verknüpfungen kennen lernen. Sie realisieren unter Verwendung von NAND- und NOR-Grundgattern (74HC00 und 74HC02) die logischen Funktionen AND, OR und NOT. Die Funktionsweise der Gatter wird dabei vom Transistor an erklärt. Fehlt uns für einen Automaten noch ein Speicher. Kennengelernt haben wir in Einheit_2 bereits die bistabile Kippstufe, die sich dafür eignet. Am Ende dieser Einheit werden Sie verstehen, dass es sich dabei eigentlich auch um zwei Gatter – jeweils aus einem Transistor bestehend – handelt.

Alle digitalen ICs sind aus diesen Grundgattern aufgebaut. Selbst die CPUs der aktuellen Superrechner mit mehreren Millionen Transistoren.

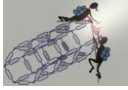
Bei den integrierten Schaltungen (ICs) wollen wir uns auf das Schieberegister und den Binärzähler beschränken.

Man kann ihre Funktion auf Gatterebene verstehen, jedoch sollen sie hier als Blackbox angesehen werden, um unserem eigentlichen Ziel – einem elektronischen Würfel – näher zu kommen.

Wer sich mit der Blackbox nicht zufrieden gibt, sei an dieser Stelle auf externe Literatur in gedruckter oder digitaler Form verwiesen.

Obwohl der elektronische Würfel vorerst nur auf dem Steckbrett existieren wird, so stellt er einen Ausblick dar, was noch alles kommt und kommen möge. Ihr Interesse, Aufgeschlossenheit und Engagement vorausgesetzt, wird das Mögliche nur durch den eigenen Verstand begrenzt...

... Am Anfang war die Idee ...



2. „Logisch Wahr“ und „Logisch Falsch“

Sicher haben Sie schon einmal von der Booleschen Algebra gehört. Sie besitzt nur die beiden Werte „logisch Wahr“ und „logisch Falsch“, welche häufig auch als „TRUE“ und „FALSE“ oder „1“ und „0“ kenntlich gemacht werden.

Die digitale Logik, mit der wir uns hier beschäftigen, kennt nur diese beiden Zustände. Ihnen wird in der CMOS-Definition jeweils ein Spannungsbereich zugeordnet:

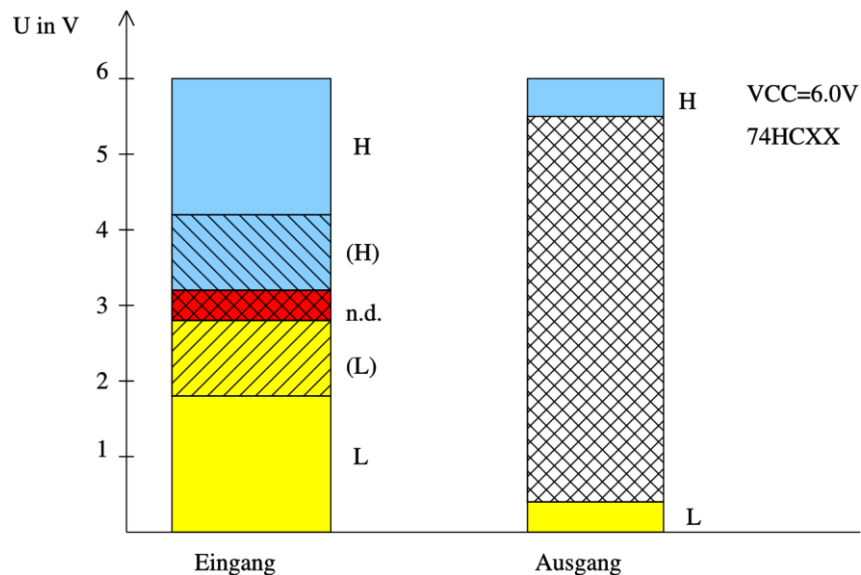
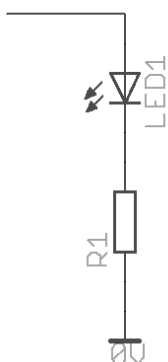


Abbildung 1: Logikpegel für 74HC

Hinweis: Der Übergang zwischen den Zuständen schwankt von IC zu IC. Ab welcher Spannung ein Zustand für alle ICs einer Familie eindeutig ist, können Sie dem jeweiligen Datenblatt entnehmen. In den schraffierten Bereichen ist die Zuordnung nicht garantiert. Die Betriebsspannung für 74HC-Logikfamilie beträgt typisch 5 V. Die hier im Experiment verwendeten 6 V liegen aber laut Datenblatt noch im zulässigen Bereich.

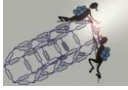


Meist wird dem niedrigen Signalpegel „Low“ (kurz „L“) ↔ „logisch Falsch“ bzw. „0“ und dem hohen Signalpegel „High“ (kurz „H“) ↔ „logisch Wahr“ bzw. „1“ zugeordnet (Abbildung 1). Der aktuelle Logikzustand kann auf einfache Weise mit einer LED, die über einen Vorwiderstand an Masse geschaltet ist, angezeigt werden (vgl. Abbildung 2).

Zusammenfassung:

logisch Wahr	=	High	=	1	=	Spannung
logisch Falsch	=	Low	=	0	=	keine Spannung

Abbildung 2: LED mit Vorwiderstand gegen Masse



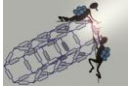
3. Integrierte Schaltungen (ICs)

Gerne auch als schwarze Käfer bezeichnet, so vereinen ICs heutzutage eine Vielzahl von Funktionen auf einem winzigen Chip und verbergen ihre eigentliche Funktionsweise und Komplexität vor dem Auge des Betrachters.

Jedoch wird ihre Funktion ausreichend in den Datenblättern dokumentiert, um mit ihnen arbeiten zu können. Es ist ein bisschen wie Autofahren. Um zu beschleunigen muss man nur wissen wie man einen Gang einlegt und wo sich das Gaspedal befindet. Wie die Signale übertragen werden und wie das Auto beschleunigt bleibt dem Autofahrer während der Fahrt verborgen.

ICs in Kurzfassung:

- In der Nähe von Pin 1 ist meist ein Punkt aufgedruckt oder eine Kerbe im Gehäuse (vgl. Abbildung 3). Fehlt eine solche Markierung, ist die entsprechende Seite des Gehäuses abgeschrägt.
- Auch wenn die Anschlüsse der Versorgungsspannung in Schaltbildern gerne weggelassen werden, benötigen alle ICs eine Versorgungsspannung. Der Pin für die positive Betriebsspannung wird mit V_{cc} oder V_{dd} bezeichnet. Der Pin für den Masseanschluss wird mit GND oder auch V_{ee} bezeichnet.
- Typische Betriebsspannungen liegen im Bereich von 2..6V, genaue Angaben sind in den Datenblättern zu finden.
- V_{cc} und V_{ee} sollten auf möglichst kurzem Weg über einen Kondensator miteinander verbunden werden, sodass die durch die Verbindungsleitungen entstehende Schleife und die darin eingeschlossene Fläche möglichst klein wird (siehe dünne Linie in Abbildung 3). Ein typischer Wert für den Puffer-Kondensator sind 100nF. Während der IC den Zustand wechselt benötigt er kurzzeitig einen großen Strom, der von diesem Kondensator geliefert werden kann.
- Eingänge von Logik-ICs werden häufig mit $X_1, X_2, \dots$ oder $A_1, A_2, \dots$ oder A, B, bezeichnet
- Ausgänge von Logik-ICs werden häufig mit Y oder auch Q bezeichnet. Ein vorgestellter Querstrich weist auf eine Negation hin: /Y. Ebenso ist ein Strich über dem Bezeichner üblich.
- CMOS-Eingänge sind hochohmig. Nicht verwendete Eingänge sind auf eine feste Spannung zu legen, um sie eindeutig einem Zustand zuzuordnen. Passiert dies nicht, ist das Verhalten des ICs nicht vorhersagbar.
- CMOS-Eingänge können sehr empfindlich sein (ESD, Elektrostatische Entladung). Es ist empfehlenswert sich vor Berührung (der IC-Pins) an einem geerdeten metallischen Gegenstand zu entladen.
- Je nach Familie (z. B. 74*) können die Ausgänge Ströme von 1..20 mA liefern oder aufnehmen. Sogenannte Treiber-ICs schaffen größere Ströme bis zu 200 mA.
- Der neue Zustand am Ausgang stellt sich immer mit einer Verzögerung gegenüber dem geänderten Eingangssignal ein. Häufig können diese Werte vernachlässigt werden.
- Genaue Informationen zu Kenn- und Maximalwerten sind stets im Datenblatt angegeben.



Aufgabe: Beschalten Sie auf dem Steckbrett einen 74HC00. Schalten Sie beide Eingänge eines NAND-Gatters zusammen. Ändern Sie die Eingangsspannung mit Hilfe eines Potentiometers von GND nach Vcc. Notieren Sie, bei welcher Spannung der Zustand am Ausgang von „1“ auf „0“ und von „0“ auf „1“ wechselt! Orientieren Sie sich an den Abbildungen 3 und 4.

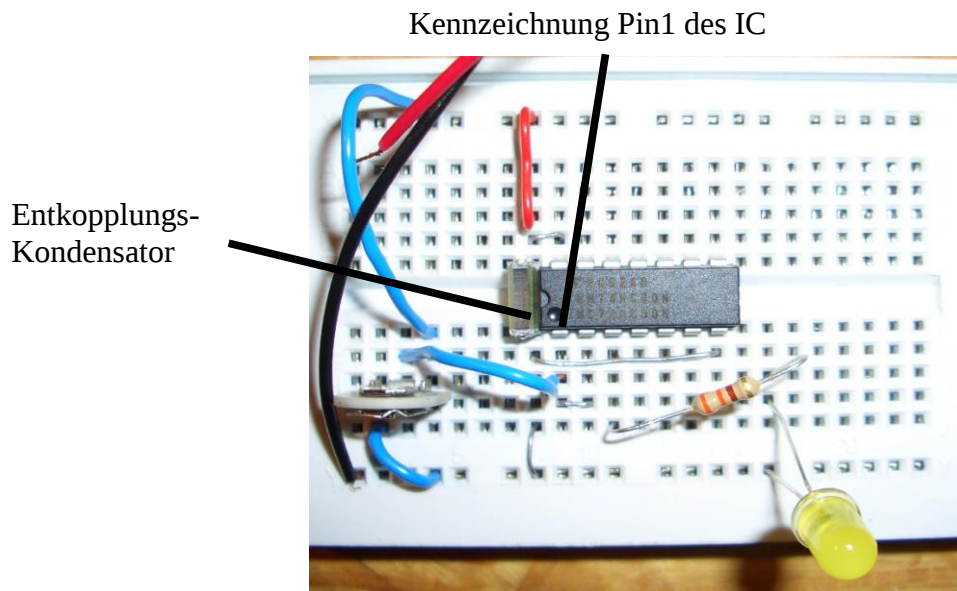


Abbildung 3: Nand Gatter auf Steckbrett

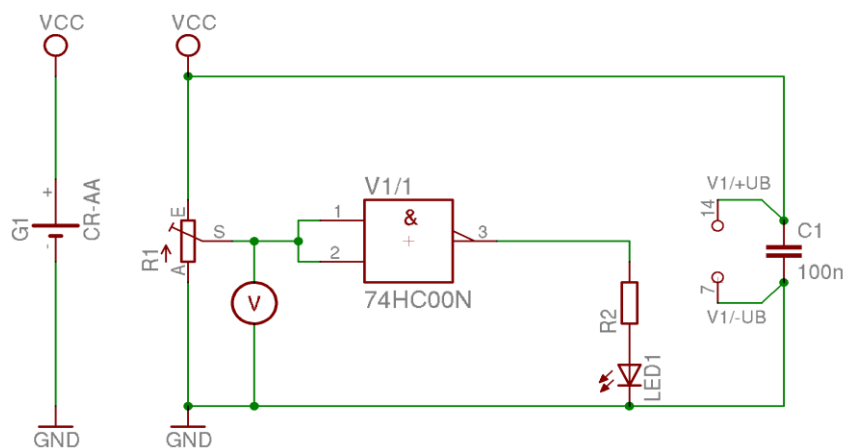


Abbildung 4: Messung der Schaltschwelle

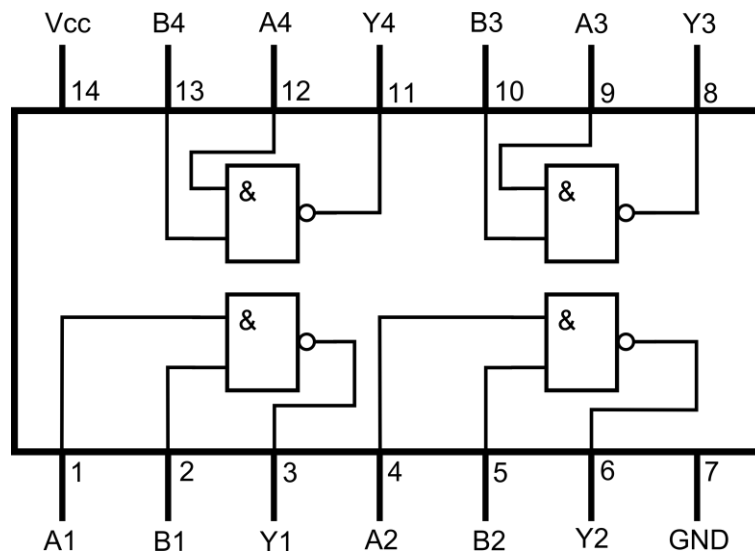
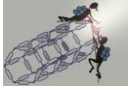


Abbildung 5: Pinbelegung des 4x NAND-74HC00

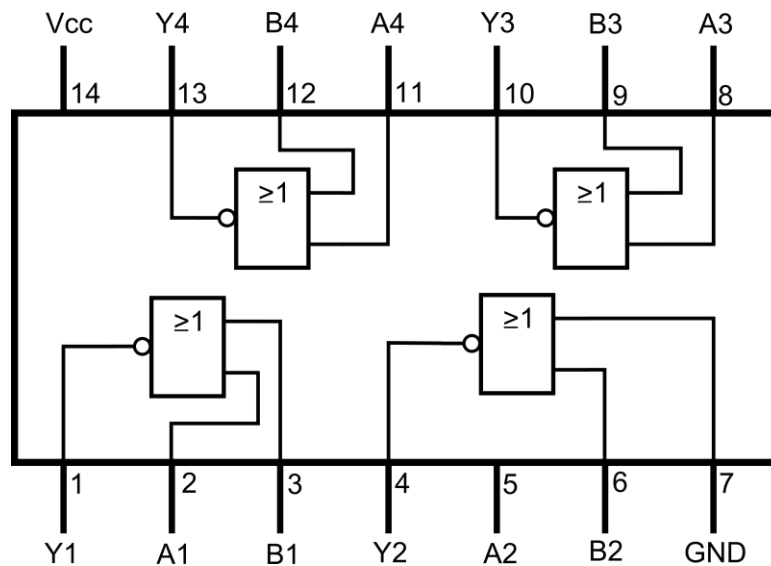
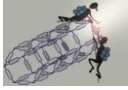


Abbildung 6: Pinbelegung des 4x NOR-74HC02



4. Logische Verknüpfungen

Logische Verknüpfungen werden meist mit ihren abgekürzten Englischen Bezeichnungen angegeben. Ein „N“ als Präfix (von NOT) gibt an, dass der Ausgang invertiert ist.

„AND“:	„Wahr“, wenn alle Eingänge	„Wahr“ sind, sonst „Falsch“
„NAND“:	„Wahr“, wenn mindestens ein Eingang	„Falsch“ ist, sonst „Falsch“
„OR“:	„Wahr“, wenn mindesten ein Eingang	„Wahr“ ist, sonst „Falsch“
„NOR“:	„Wahr“, wenn alle Eingänge	„Falsch“ sind, sonst „Falsch“
„XOR“:	„Wahr“, wenn ungerade Anzahl d. Eing	„Wahr“ ist, sonst „Falsch“
„XNOR“:	„Wahr“, wenn gerade Anzahl d. Eing.	„Wahr“ ist, sonst „Falsch“

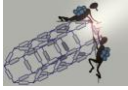
Es ergeben sich folgende Zustandstabellen (Tabelle 1 und Tabelle 2) für logische Verknüpfungen mit 2 Eingängen:

Eingang X ₁	Eingang X ₂	Ausgang Y („AND“)	Ausgang Y („NAND“)
1	1	1	0
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	0	1

Tabelle 1: Wahrheitstabelle "AND" und "NAND"

Eingang X ₁	Eingang X ₂	Ausgang Y („OR“)	Ausgang Y („NOR“)
1	1	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
0	0	0	1

Tabelle 2: Wahrheitstabelle „OR“ und "NOR"



Aufgabe: Füllen Sie die Tabelle für das „XOR“ und „XNOR“-Gatter mit 2 Eingängen aus.

Eingang X_1	Eingang X_2	Ausgang Y („XOR“)	Ausgang Y („XNOR“)

Tabelle 3: Wahrheitstabelle "XOR" und „XNOR“

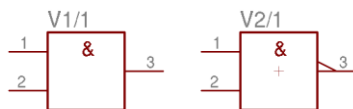


Abbildung 7: "AND" und "NAND" Gatter DIN-Symbol

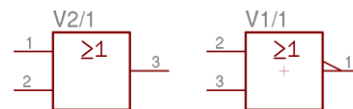


Abbildung 8: "OR" und "NOR" Gatter DIN-Symbol

4.1 Taster-Logik

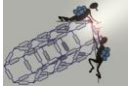
Logikfunktionen können durch Schalter realisiert werden – neben aktiven Bauelementen auch mit mechanischen Tastern.

Aufgabe: Wie müssen Sie zwei Schalter verschalten, so dass eine „AND“-Verknüpfung entsteht? Die Ausgabe soll durch eine LED erfolgen.

Frage: Wie müssen Sie die Taster anschließen, so dass eine „OR“-Verknüpfung entsteht?

Frage: Kann man ohne zusätzliche Bauelemente eine „NAND“-Verknüpfung erstellen?“

Zeichnen Sie den Schaltplan für eine der beiden Schaltungen. Geben Sie die verwendeten Bauteile an.



4.2 Dioden-Logik

Anstatt von mechanischen Schaltern können elektronische Schalter verwendet werden, die mit Spannungen und Strömen gesteuert werden. Den Transistor und die Diode haben Sie bereits kennen gelernt.

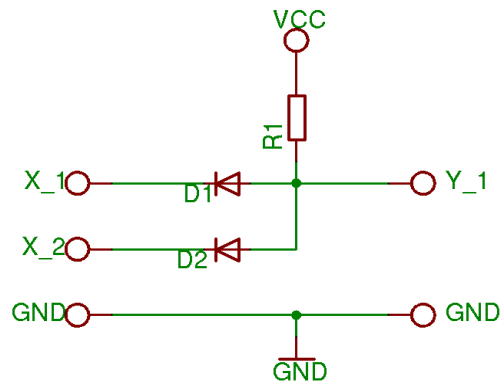
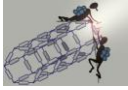


Abbildung 9: "AND"-Verknüpfung mit Dioden

Frage: Was ist ein Nachteil von Diodenlogik, wenn man viele Gatter dieser Art hintereinander schaltet?



4.3 Inverter mit Transistor

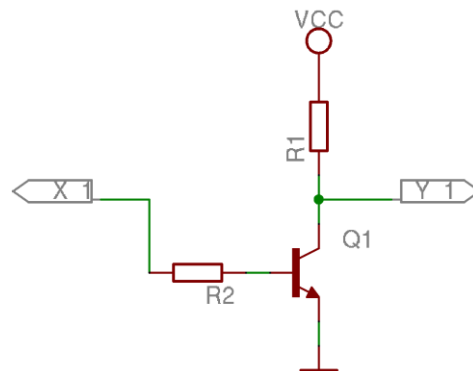


Abbildung 10: Inverter mit einem Transistor

Wie wir bereits kennen gelernt haben, kann man mit einem Transistor ein Signal schalten. Mit ihm lässt sich ein Inverter so bauen: Legt man V_{CC} Potential an den Eingang X_1 , so leitet der Transistor und seine Kollektorspannung beträgt fast 0V. Legt man 0V an X_1 , so sperrt der Transistor und es fließt kein Strom durch ihn. Die Spannung am Ausgang entspricht dem V_{CC} -Potential.

Aufgabe: Bauen Sie mit 2 Transistoren ein NOR-Gatter auf.

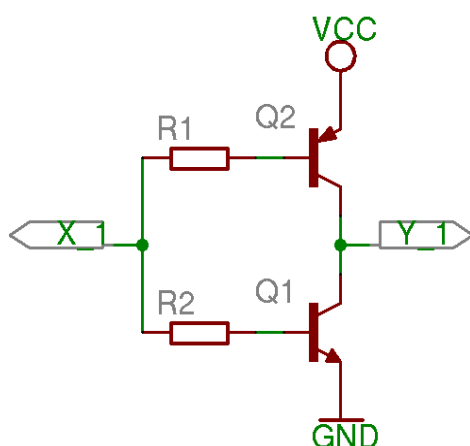
Aufgabe: Bauen Sie mit 2 Transistoren ein NAND-Gatter auf.

Hinweis: Auch Transistoren kann man parallel oder in Reihe schalten.

Hinweis: Dimensionieren sie die Widerstände selbst.

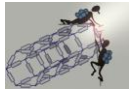
Aufgabe: Was sind Nachteile dieser Schaltung (maximale Last, Stromaufnahme)?

4.4 Inverter in Gegentaktschaltung



Der NPN-Transistor besitzt ein komplementäres Gegenstück – den PNP-Transistor. Seine Funktion ist identisch zum NPN-Transistor. Jedoch besitzen alle Spannungen und Ströme ein umgekehrtes Vorzeichen. Unterscheiden kann man die Schaltzeichen am Pfeil, der den Emitter kennzeichnet. Er zeigt beim PNP-Transistor in Richtung der Basis (Q2 in Abbildung 11) Für unsere Betrachtungen reicht es, dass bei einer negativen Basis-Emitter-Spannung, die Kollektor-Emitter-Spannung fast -0V erreicht.

Abbildung 11: Inverter mit Transistoren



In Abbildung 10 fließt der Kollektorstrom über den Arbeitswiderstand R1. Wenn die Schaltung in Abbildung 10 einen Low-Pegel ausgibt, fließt dauerhaft ein Strom über R1, der zur Erwärmung beider Bauteile führt und den Stromverbrauch erhöht. Wird ein High-Pegel ausgegeben, kann aber nur ein kleiner Strom entnommen werden, da sonst der Spannungsabfall über R1 zu groß würde.

Für eine IC möchte man a) einen geringen Stromverbrauch und b) möglichst gleich großes Stromliefervermögen in beiden Schaltzuständen. Um beide Forderungen zu erfüllen, sollte R1 bei Low-Pegel am Ausgang im besten Fall unendlich groß sein (Q1 stellt einen Kurzschluss dar) und bei High-Pegel möglichst einen Kurzschluss darstellen (Q2 stellt eine offene Verbindung dar).

Der Wechsel von einem sehr kleinen auf einen sehr großen Widerstand und umgekehrt ist am besten durch einen Schalter bzw. Transistor zu realisieren. (Abbildung 11)

Zum einen muss der Transistor Q2 sich genau entgegen zu Q1 verhalten, zum anderen steht keine Versorgungsspannung größer als V_{CC} zur Verfügung. Deshalb wird Q2 als PNP-Transistor ausgeführt.

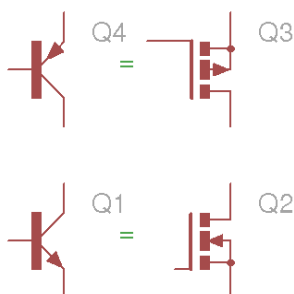
X_1	BE,Q1	CE,Q1	BE,Q2	CE,Q2	Y_1
V_{CC}					
GND					
$V_{CC}/2$					

Tabelle 4: Spannungen im Gegentakt-Inverter

Aufgabe: Füllen Sie Tabelle 5 aus.

Aufgabe: Was sind Nachteile dieser Schaltung ($V_{CC}/2$ liegt am Eingang)?

Aufgabe: Was würde passieren, wenn man R1 und R2 überbrückt? Wäre die Schaltung dann noch funktionsfähig?

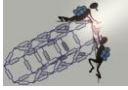


CMOS ist eine Abkürzung für Complementary MOSFET. Complementary steht dabei für den Gegentakt-Aufbau. Ein MOSFET ist eine Transistorart die wir bisher noch nicht kennengelernt haben

Es gibt wie bei den bipolaren Vertretern 2 Varianten. Dabei ähnelt der P-Kanal Typ in seiner Reaktion auf die Eingangsspannung dem PNP-Transistor und der N-Kanal-Typ dem NPN-Transistor.

Abbildung 12:

Eine Besonderheit der MOS-Transistoren ist, dass am Eingang (Gate) kein Strom fließt. Stattdessen ist der gesteuerte Strom von der Gatespannung abhängig. Die Widerstände R1 und R2 in Abbildung 11 können deshalb bei MOSFET-Transistoren entfallen. Die Schaltung vereinfacht sich, wie in Abbildung 13 ersichtlich.



4.5 CMOS-Gatter:

Ein CMOS-Inverter-Gatter hat dieselbe Funktionsweise und Aufbau wie der Inverter mit Transistoren in Abbildung 11. Da MOSFETs keinen Eingangsstrom besitzen, können die Widerstände R1,R2 weggelassen werden.

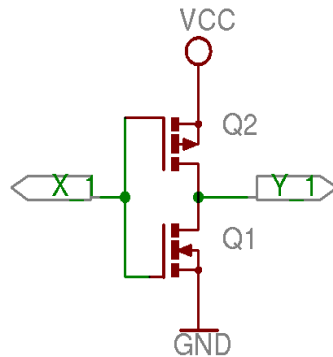


Abbildung 13: Inverter in CMOS

Aufgabe: Wie kann man ein NOR-Gatter beschalten, so dass es sich wie ein Inverter verhält? (Hinweis: Vergleiche Abbildung 14 mit Abbildung 13)

Aufgabe: Analysieren Sie die Schaltung in Abbildung 14 indem Sie die Tabelle 5 vervollständigen.

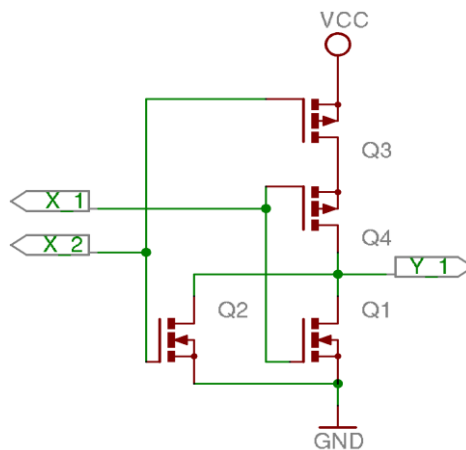


Abbildung 14: NOR in CMOS-Technik

X_1	X_2	Q1	Q2	Q3	Q4	Y_1
GND	GND					
GND	VCC	sperrt	leitet	sperrt	leitet	GND
VCC	GND					
VCC	VCC					

Tabelle 5: NOR Zustände

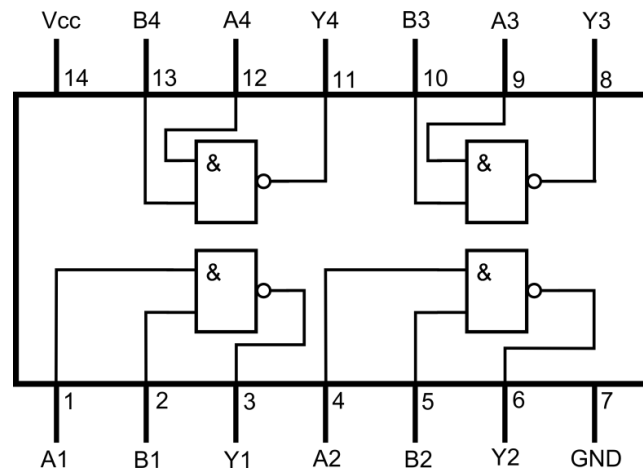
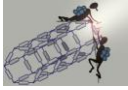


Abbildung 15: Pinbelegung 74HC00

Aufgabe: Zur Verfügung steht ein IC vom Typ 74HC00 mit vier NAND-Gattern, welche jeweils zwei Eingänge haben (siehe Abbildung 15). Es werden zwei „AND“ Gatter mit 2 Eingängen benötigt. Kann diese Funktion mit einem 74HC00 realisiert werden? Wenn ja, wie müssen die Gatter verschaltet werden.

Aufgabe: Bauen sie die beiden folgenden Schaltungen auf dem Steckbrett auf. Füllen sie die Wahrheitstabellen 5 und 7 aus. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den gedrückten Tastern und der leuchtenden LED (AND, NAND, OR, ...) Gibt es Abweichungen zu dem verwendeten Gattertyp? Nennen Sie Gründe dafür.

Hinweis: Denken Sie an die Stromversorgung des Logik-ICs!

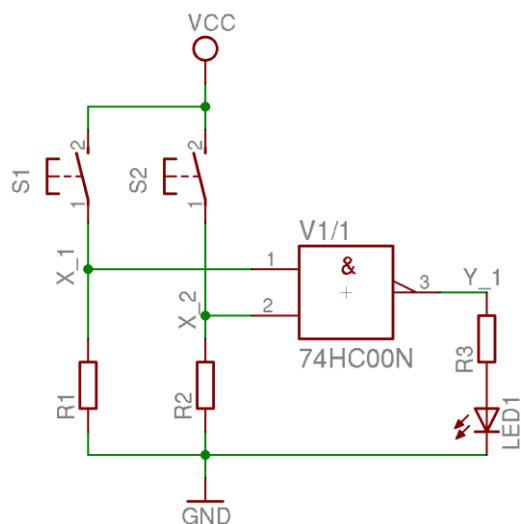


Abbildung 16

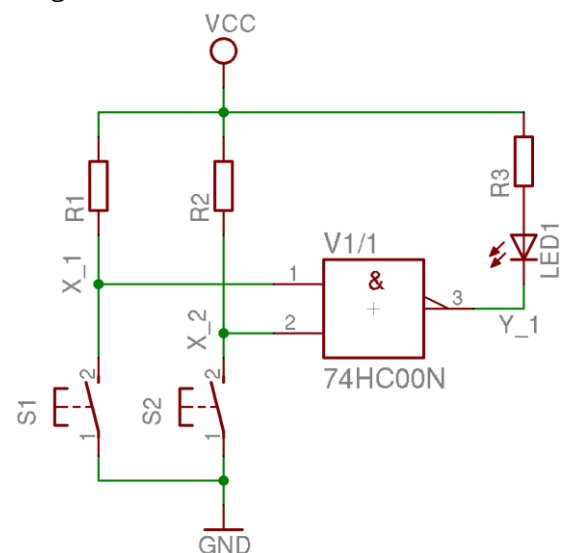
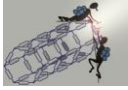


Abbildung 17

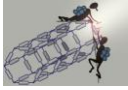


Taster S1	Taster S2	X_1	X_2	Y_1	LED

Tabelle 6: Wahrheitstabelle zu Abbildung 6

Taster S1	Taster S2	X_1	X_2	Y_1	LED

Tabelle 7: Wahrheitstabelle zu Abbildung 7



5. Kippstufen

Bistabile Kippstufe / R(eset)S(et)-Flipflop

Aufgabe: Bauen Sie die Schaltung in Abbildung 18 auf.

Aufgabe: Erstellen Sie eine Wahrheitstabelle zu Abbildung 18 (Tabelle 8).

Hinweis: Der sich ergebende Zustand hängt auch vom vorherigen Zustand (Q_1 , Q_2) ab.

Häufig werden die Eingänge des RS-Flipflops mit „R“ und „S“ bezeichnet. Die Ausgänge mit „Q“ und „/Q“. „Q“ ist „1“, wenn vorher „S“ „1“ war.

Die Bezeichnung mit „Q“ und „/Q“ ist irreführend, da der 2. Ausgang nicht immer das invertierte Signal des 1. Ausgangs darstellt (s. Wahrheitstabelle). Häufig wird dieser Zustand, wenn beide Eingänge „Wahr“ sind, auch als „verbotener Zustand“ bezeichnet und aus der Betrachtung ausgeklammert. Solange nicht beide Eingänge ihren Zustand gleichzeitig ändern, ist der folgende Zustand wohldefiniert.

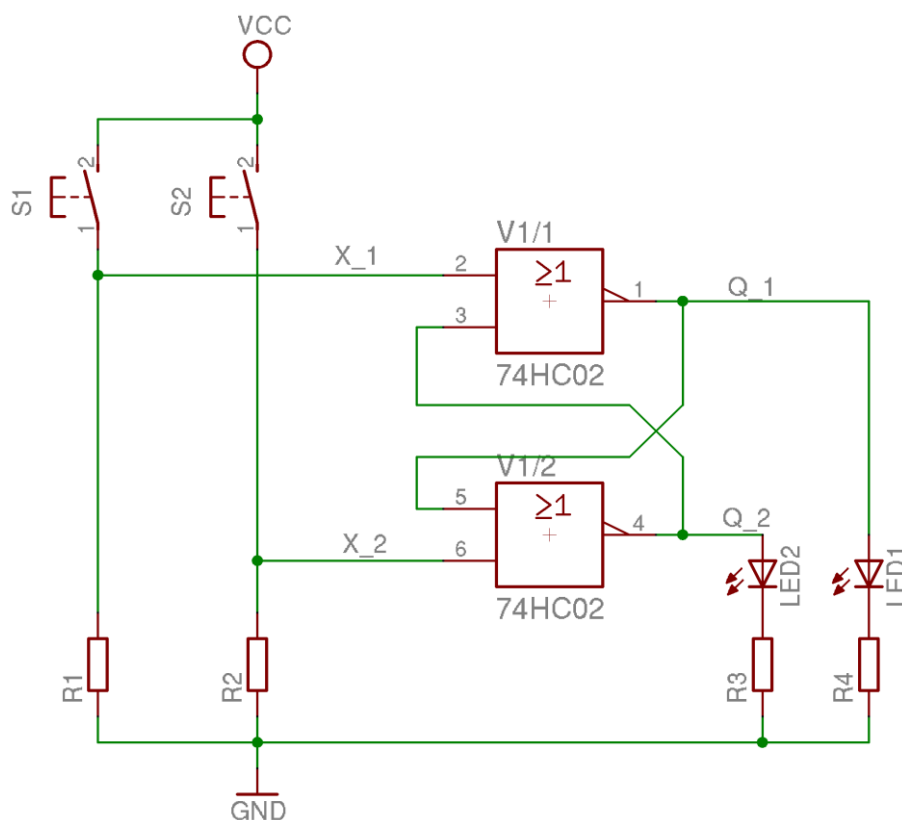
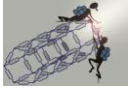


Abbildung 18: RS-Flipflop mit NOR-Gattern



X_1	X_2	Q_1'	Q_2'	Q_1	Q_2

Tabelle 8: Wahrheitstabelle für ein RS-Flipflop

Wie aus Tabelle 8 ersichtlich, ist der Ausgangszustand nicht länger nur eine Funktion der Eingänge. Auch der letzte Zustand der Schaltung spielt eine Rolle, welcher neue Zustand eingenommen wird. Die Schaltung hat ein Gedächtnis – richtigerweise als Speicher bezeichnet. Jeder Speicher der binären Logik kann immer nur einen Zustand bzw. ein Bit speichern. Schaltungen, welche Speichereinheiten enthalten werden auch als Automaten bezeichnet.

Automatenlogik kann durch Aussagen in folgender Form dargestellt werden:

„Befindet sich der Automat im Zustand XY und die Bedingungen ABC wird erfüllt, so wechselt die Schaltung in den Folgezustand XY.“

Die Ausgangszustände können dabei sowohl vom aktuellen Zustand des Automaten, als auch von der aktuellen Eingangsbelegung abhängen.

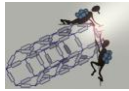
Die Themen Automaten und Logik werden ausführlich in der Vorlesung „Systemtheorie“ behandelt.

Wenn man das RS-Flipflop mit der bistabilen Kippstufe aus Einheit 2 vergleicht, so wird deutlich, dass beide Schaltungen sehr ähnlich aufgebaut sind und sich nur in ihren Bauteilen unterscheiden.

Wer gerne den Vergleich ziehen möchte, ersetze die NOR-Gatter durch eine einfache Schaltung mit NPN-Transistoren und Widerständen, welche die gleiche Funktion realisiert. Danach ersetzt man die freien Eingangstransistoren durch jeweils einen Schalter und zeichne die Schaltung so, dass diese im Schaltplan spiegelsymmetrisch ist.

Zusatzaufgabe: Bauen Sie in Anlehnung an die Monostabile Kippstufe aus Einheit 2 eine Monostabile Kippstufe mit 2 NOR-Gattern auf.

Zusatzaufgabe: Bauen Sie in Anlehnung an die astabile Kippstufe aus Einheit 2 eine entsprechende Kippstufe mit 2 NOR- Gattern auf.



6. Automaten

Wir möchten uns im Folgenden auf den Binärzähler und das Schieberegister konzentrieren. Wer die genaue Funktionsweise verstehen möchte, sei auf die aktuelle Informatik-Vorlesung verwiesen.

6.1 Der Binärzähler

Der Binärzähler verwendet das Zweiersystem zum Zählen der Werte, das im Folgenden kurz dargestellt ist. Ohne Zweiersystem klappt der Bau des Würfels mit Hilfe des Schieberegisters – dafür ist der Schaltungsaufwand höher.

6.1.1 Das Binärsystem:

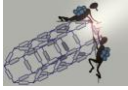
Im Binärsystem gibt es statt der Ziffern {0;1;2;3;4;5;6;7;8;9} nur die Werte {0;1}. Soll eine größere Menge dargestellt werden, benötigt man im Zehnersystem eine weitere Ziffer -> 10 ... 99.

Gleiches gilt für das Zweiersystem (10...11). Da das Binärsystem nur zwei unterschiedliche Werte pro Stelle annehmen kann, benötigt man für eine äquivalente Zahl wesentlich mehr Stellen. Dafür können diese einfacher mit der Schaltungslogik gespeichert und verarbeitet werden.

Tabelle der Zahlen 0...7 (3 Bit)

binär	dezimal
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

Die Mathematik hinter den Umrechnungen in andere Zahlensysteme zeigen, wie erwähnt, die Lehrveranstaltungen Informatik und Mikrorechentechnik.



6.1.2 Der Zähler 74HC393

Die Pinbelegung des Schaltkreises ist aus Abbildung 19 ersichtlich.
Das vollständige Datenblatt befindet sich im Anhang.

- Der IC 74HC393 enthält zwei getrennte 4-Bit Zähler, welche durch die vorangestellte „1“ bzw. „2“ kenntlich gemacht sind.
- Jeder Zähler kann nur inkrementieren, d. h. seinen Wert um eins erhöhen.
- Jeder der 4 Stellen ist ein Ausgang „QA“, „QB“, „QC“, „QD“ zugeordnet.
- Ein High-Pegel am Eingang „Clear“ setzt den IC zurück (Reset). Solange dieser Pegel anliegt, befindet sich der Zähler im Zustand „0000“.
- Eingang „Clock A“ ist Flankengesteuert und invertiert. d. h. der Zähler zählt genau dann weiter, wenn der Pegel von „1“ auf „0“ bzw. von Versorgungsspannungs- auf Massepotential wechselt.

PIN CONNECTIONS (top view)

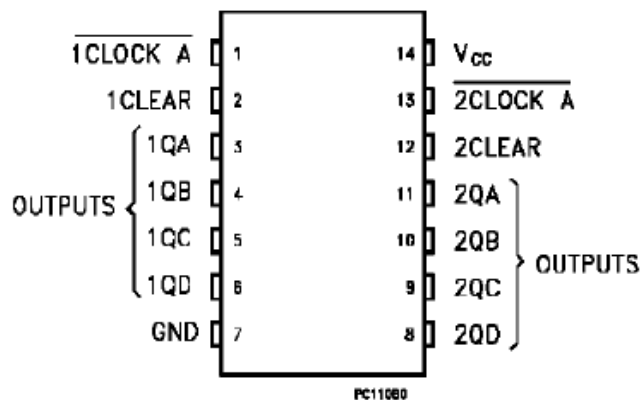
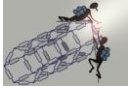


Abbildung 19: 74HC393 Pinbelegung



Aufgabe: Bauen Sie den Zähler nach dem Schaltplan in Abbildung 20 auf.

Hinweis: Vergessen sie nicht die Versorgungsspannung des ICs!

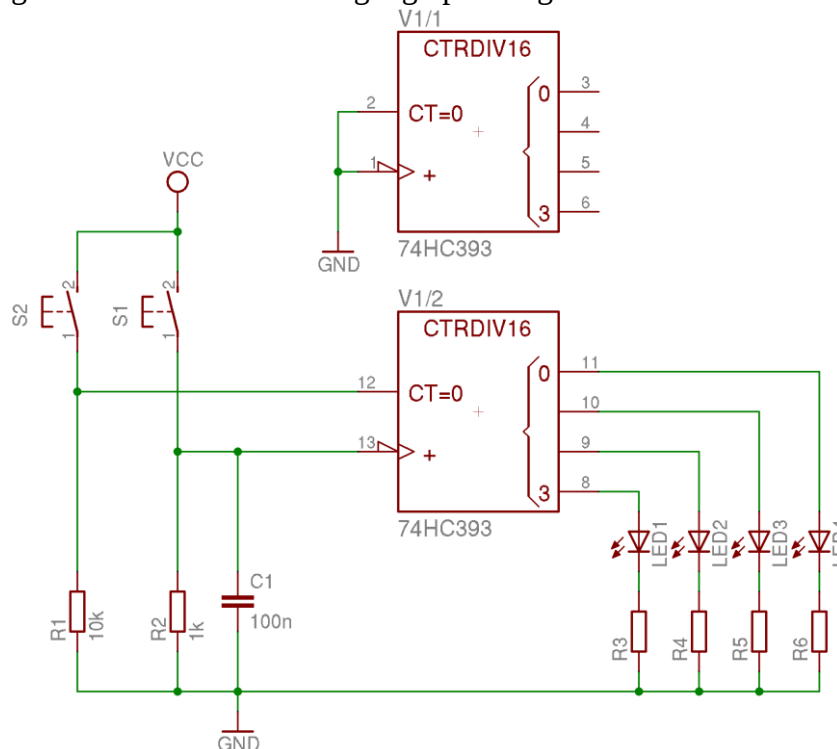


Abbildung 20: Binärzähler

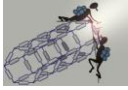
6.1.3 Elektronischer Würfel

Hinweis: Wir betrachten hier einen gewöhnlichen Würfel mit 6 Flächen, wie er bei den meisten Würfelspielen zu finden ist. Wer einen Würfel für D&D und andere Table-Top-Spiele benötigt, sei auf seinen eigenen elektronischen Spieltrieb verwiesen.

Der Zähler in Abbildung 20 zählt von 0 bis 15 und läuft dann über. Überlauf bedeutet, dass er wieder bei 0 anfängt zu zählen. Ein Würfel hat jedoch als höchste Zahl die 6. Sobald der Zähler auf die 7 springt muss also der Reset aktiviert werden, so dass der Zähler sofort auf 0 springt. Die Zeit in dem der Zähler auf 7 steht ist so kurz, dass dieser Zustand vom Betrachter nicht erfasst werden kann.

Aufgabe: Erledigen Sie die folgende Teilschritte

- Stellen Sie dezimal 7 im 4-Bit-Binärformat dar.
- Muss das höchstwertige Bit beachtet werden, um auswerten zu können, dass die Zahl 7 erreicht wurde?
- Entwerfen Sie eine Schaltung aus NOR- oder NAND-Gattern, welche genau dann einen High-Pegel ausgibt, wenn an den Eingängen eine 7 im Binärformat anliegt.
- Verbinden Sie die Eingänge der Logik mit den Ausgängen des Zählers und schließen Sie am Ausgang der Logik eine LED an. Kontrolle: Leuchtet die LED, wenn der Zähler bei „7“ steht?
- Entfernen Sie Taster S2 und Widerstand R1. Verbinden Sie den Ausgang Ihrer Logik mit dem „2Clear“ Eingang.



Wenn Sie die Teilschritte erfüllt haben, sollte Ihr Würfel nur noch von 0 bis 6 zählen.

Jetzt müssen wir noch dafür sorgen, dass der Zähler sofort nach dem Reset um eins weiterzählt.

Zustandsverlauf: Der Reseteingang wechselt von 0 auf 1, da numerisch der Wert 7 erreicht wurde. Der Zähler führt daher einen Reset durch und zeigt numerisch 0 an. Dadurch wechselt der Reset-Eingang von 1 (bei numerisch 7) auf 0. Dazwischen vergehen einige Nanosekunden, die das Signal braucht um durch alle Gatter zu laufen (der Ausgang ändert sich immer etwas später als sich das Eingangssignal geändert hat.)

Um den Zähler zu inkrementieren, muss ein Signal am Takteingang erzeugt werden. Es ist also der selbe Vorgang von Nöten, wie bei der Beschaltung des Reseteingangs. Jedoch darf die 1->0 Flanke erst später erfolgen, damit der IC den Impuls auch zuverlässig zählt.

Möglichkeit a)

Das Signal am Takteingang ergibt sich aus Resetsignal ODER Eingang (vom Taster). Das „OR“-Gatter kann man aus 2 „NOR“-Gattern bauen. Durch die Laufzeit der NOR-Gatter ist sichergestellt, dass die 1->0 Flanke des Taktsignals erst später als das Resetsignal anliegt.

Möglichkeit b)

Man baut die ODER-Funktion in Diodenlogik auf. Am Takteingang baut man eine Ausschaltverzögerung auf, damit der Zustand an der Taktleitung erst später wechselt. An den Reseteingang kommt eine Einschaltverzögerung, damit man genügend Zeit hat den Kondensator der Ausschaltverzögerung zu laden. Allerdings darf die Einschaltverzögerung nicht auch gleichzeitig eine Ausschaltverzögerung sein. Eine Diode kann hier Abhilfe schaffen.

Möglichkeit c)

Der Zähler wird bei 6 zurückgesetzt und die Ziffer 0 als Ziffer 6 interpretiert.

Darauf aufbauend, kann man nun die sieben Punkte eines Würfels mit LEDs realisieren. Die Ansteuerung gestaltet sich relativ einfach:

LED für die 1 heißt A,
LEDs für die 2 heißen B,
die anderen beiden LEDs, die man außer B für die 4 braucht, heißen C,
die beiden, nun noch für die 6 benötigten LEDs, heißen D

Es ergeben sich die folgenden Verknüpfungen (realisierbar mit Gattern, Diodenlogik oder Widerstandslogik):

Variante 1:

Zuordnung Zählerstand -> Würfelergebnis: 0->6, 1->1, 2->2, 3->3, 4->4, 5->5

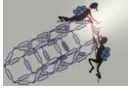
Reset = $Q_1 Q_2 = \text{NOT}(\text{NAND}(Q_1, Q_2))$

$A = Q_0$

$D = \text{NOT}(Q_0 + Q_1 + Q_2) = \text{NOR}(Q_0, Q_1, Q_2) = \text{NOR}(Q_0, \text{NOT}(\text{NOR}(Q_1, Q_2)))$

$C = Q_2 + D$

$B = Q_1 + Q_2 + D = Q_1 + C$



Variante 2:

Zuordnung Zählerstand -> Würfelergebnis: 0->3, 1->2, 2->5, 3->4, 4->1, 5->6

Reset = $Q1Q2 = \text{NOT}(\text{NAND}(Q1, Q2))$

A = $/Q0 = \text{NOT}(Q0)$ [LED gegen Vcc]

D = $Q0Q2 = \text{NOT}(\text{NAND}(Q0, Q2))$

C = $Q1+D$

B = $/Q2+D$

Möglichkeit d)

Es muss doch mehr als diese drei Möglichkeiten geben?!

Egal welchen Weg Sie gehen, mit den vorherigen Aufgaben sollte es Ihnen möglich sein, den Würfel aufzubauen, auch ohne einen Schaltplan zu haben. Sollten Sie etwas nicht verstanden haben, fragen Sie ruhig bei Ihren Kommilitonen oder Betreuern nach. Aller Anfang ist schwer. Hier fängt der Ingenieur an – etwas bisher Unbekanntes aus bekannten Teilstücken zu konstruieren...

Wenn der Würfel funktionieren sollte, so schließen Sie an den Takteingang eine astabile Kippstufe an. Wenn Sie die Elektrolytkondensatoren durch 100-nF-Kondensatoren ersetzen, ist die Frequenz so hoch, dass man definitiv nicht mehr abschätzen kann, wo der Würfel stehen bleiben wird.

Aufgabe für Hartnäckige:

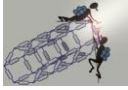
Unser Würfel zeigt die Zahlen leider nicht wie ein Würfel an. Warum nicht so einen Würfel bauen?

Ein paar Hinweise:

- Es ist egal in welcher Reihenfolge der Würfel zählt, solange jede Zahl bei jedem Durchlauf genau 1x aufleuchtet
- Der Binärzähler muss dann auch nicht bei 1 anfangen zu zählen
- Im Internet nachzuschauen, ist keine Herausforderung. Es sei denn, man stellt sich der Aufgabe, es auf jeden Fall anders zu machen
- Es gibt sehr viele Foren und Seiten, die sich mit Elektronik jenseits der Theorie beschäftigen. Wer über Beispiele sucht, stößt recht schnell auf sie

Für Leute die noch Ideen zum Thema „Würfel“ suchen :D

- Es gibt „Würfel“ mit mehr als 6 Zuständen
- Was ist ein Würfel ohne Gehäuse?
- Wie wäre es mit einem Erschütterungssensor, der das Taktsignal generiert?
- Man kann die gewürfelte Zahl auch als Ziffer ausgeben (BCD-Code als Stichwort)
- Ein Mikrokontroller braucht nur 7 LEDs und Widerstände, erfordert dafür aber etwas Einarbeitungszeit und einfache Programmierkenntnisse.
- Verbindet man „Würfel“ die von 0 bis 9, 0 bis 5 und 1 bis 12 zählen miteinander erhält man eine Uhr
- ...



6.2 Das Schieberegister 74HC164

Das Schieberegister wird ähnlich dem Würfel entwickelt. Hierbei spielt das Binärsystem jedoch keine Rolle, die Zahlen 1...6 werden jeweils mit einer LED am Ausgang des Schieberegisters dargestellt.

Die Pinbelegung aus dem Datenblatt ist in Abbildung 21 dargestellt.

Die Eingänge des Schieberegisters müssen analog zu der des Würfels mit Binärzähler mit entsprechender Schaltungslogik angesprochen werden.

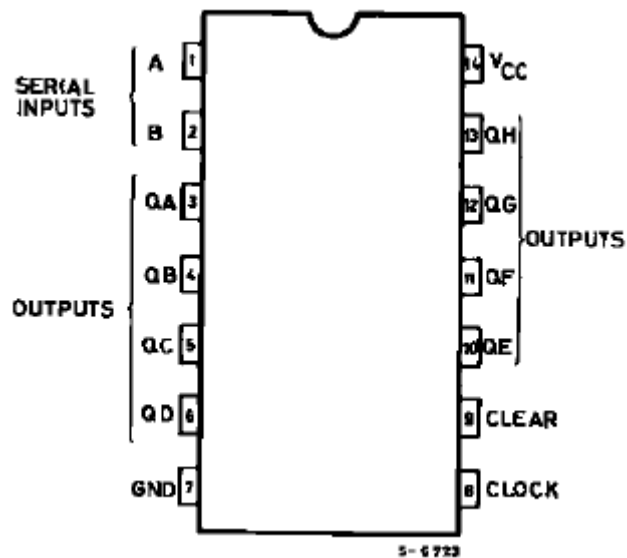


Abbildung 21