

1-bit-Volladdierer

aus logischen Schaltungen

Mit vier Chips a vier NAND-Gattern wurde ein 1-Bit-Volladdierer zusammen gelötet und erfolgreich getestet.

Pl-Gruppe:

268

Tutor:

Cornelia Sing

Gruppe:

Diana Bednarczyk

Matthias Sturm

Heinrich Südmeyer

Ramin Torabi

Fabian Fleischer

René Könnecke

<u>EINLEITUNG:</u>	2
<u>LOGISCHE VERKNÜPFUNGEN:</u>	2
I) <u>AND-Schaltung:</u>	3
i) <u>AND-Gatter mit Schaltern:</u>	3
ii) <u>AND-Gatter mit Dioden:</u>	4
II) <u>OR-Gatter:</u>	4
i) <u>OR-Gatter mit Schaltern:</u>	4
ii) <u>OR-Gatter mit Dioden:</u>	4
III) <u>NOT-Gatter mit Transistor:</u>	5
IV) <u>NAND-Gatter mit Transistor:</u>	5
V) <u>NOR-Gatter mit Transistor:</u>	5
<u>KOMBINATION AUS NAND-GATTERN:</u>	6
<u>1-BIT-VOLLADIERER:</u>	7
<u>AUFBAU</u>	8
<u>Geräteliste</u>	9
<u>Versuchsaufbau</u>	9
<u>DURCHFÜHRUNG</u>	9
<u>AUSWERTUNG:</u>	12
<u>RESÜMEE:</u>	13

Einleitung:

Logische Schaltungen finden heutzutage überall Verwendung. Die Anwendungsgebiete strecken sich von einfachsten Schaltungen, wie Licht anschalten, über Haushaltsgeräte bis hin zu High-End-Geräten, z.B. Rastertunnelmikroskop. Sei der Aufbau einer Schaltung noch so einfach oder noch so kompliziert, es könnte sich eine logische Schaltung bzw. ein logisches Netzwerk dahinter verbergen. Sogar nichtelektronische „Schaltungen“ beinhalten logische Verknüpfungen, wie die Klospülung als mechanische „Schaltung“ zeigt.

Die elektronischen logischen Schaltungen verdanken ihren großen Erfolg der Entwicklung der Halbleitertechnologie. Durch diese Entwicklung konnten erstens immer kleinere Bausteine realisiert werden, die zweitens an Leistungen den Vorgänger übertrafen und drittens in der Herstellung preislich günstiger waren. Zusätzlich geringere Verluste von Energie und Vermeidung anderer negativer Eigenschaften, wie starke Temperaturabhängigkeit, ließen die Halbleitertechnologie und somit die logischen Schaltungen zum bekannten Erfolg verhelfen.

Aus der Halbleitertechnologie hervorgegangene Bauelemente sind zum Beispiel die Diode und der Transistor. Beide Bauelemente haben einen starken Anwendungsbedarf in elektrischen logischen Verknüpfungen, Schaltungen bzw. Netzwerken.

In der heutigen Zeit ist die Miniaturisierung bereits soweit fortgeschritten, dass in komplexen Schaltkreisen Dioden oder Transistoren kaum auseinandergehalten werden können.

Aufgrund dieser schnellen Entwicklung und dem damit verbundenen Erfolg der Halbleitertechnologie sahen wir uns gezwungen, ein weiteres Experiment auf diesem Gebiet zu unternehmen. Diesmal in Form von logischen Verknüpfungen in elektrischen Schaltkreisen.

Logische Verknüpfungen:

Es gibt einige logische Verknüpfungen.

Die gängigsten fünf logischen Schaltungen, aufbauend auf den einfachsten Verknüpfungen der Logik aus der Mathematik, sind die „AND-“, die „OR-“, die „NOT-“, die „NAND-“ und die „NOR-“ Gatter. „NAND“ bedeutet hier „NICHT-UND“ und „NOR“ bedeutet „NICHT-ODER“. Eine Schaltung wird als Gatter bezeichnet, wenn diese eine logische Verknüpfung

ausführt. Je nach Verwendung, Herstellungskosten, PreisLeistungsverhältnis, Größe, Umfang, Empfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen etc. gibt es unterschiedliche Serien von logischen Schaltungen. Jedoch finden heute einige Serien keine Verwendung mehr, da sie gegenüber anderen Serien von logischen Schaltungen keinen Vorteil besitzen.

Hier seien nur die grundlegendsten logischen Schaltungen, teilweise mit unterschiedlichen Bauelementen, gezeigt. Anbei möchten wir bemerken, dass hier nicht weiter auf die einzelnen Bauelementen eingegangen wird. Dioden und Transistoren wurden bereits in einem Experiment untersucht und beschrieben. Deshalb sei an dieser Stelle ein Vermerk zum Protokoll „Dioden und Transistorkennlinien“ gesetzt.

Zuvor jedoch noch die Wahrheitstabeln zu jeder Schaltung:

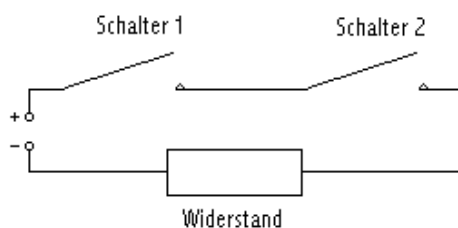
Tabelle 1: Wahrheitstabelle für die einzelnen logischen Verknüpfungen

A	B	$A \wedge B$	$A \vee B$	$\neg(A)$	$\neg(A \wedge B)$	$\neg(A \vee B)$
1	1	1	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	1	1	0
0	0	0	0	1	1	1

Als logisch Null bezeichnet man Spannungen unter 0,5V und logisch eins sind Spannungen über 2,4V.

I) AND-Schaltung:

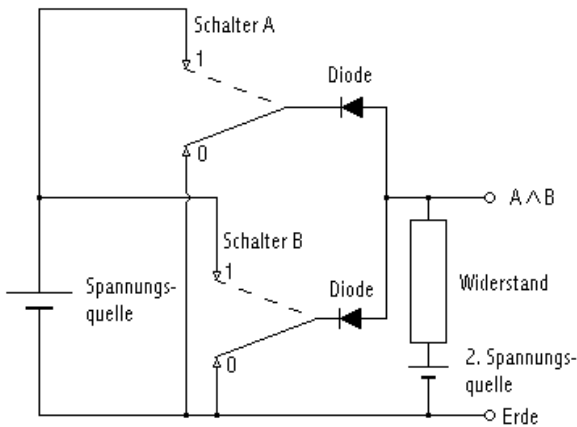
i) AND-Gatter mit Schaltern:



Nur, wenn beide Schalter geschlossen sind, fließt in diesem Gatter ein Strom. Diese Schaltung ist das einfachste AND-Gatter.

Anstatt Schalter lassen sich auch Relais verwenden.

ii) AND-Gatter mit Dioden:

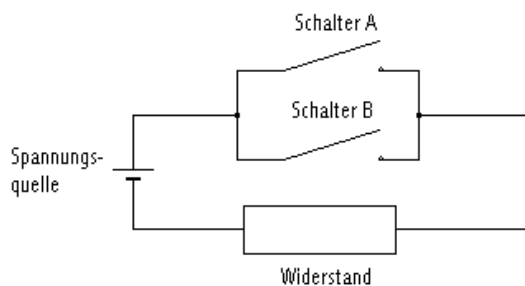


2,4V erreicht, also logisch eins.

Ist einer der beiden Schalter auf logisch Null geschaltet, so ist der Stromkreis an der zweiten Spannungsquelle über den Widerstand geschlossen. Damit ist die Spannung zwischen $A \wedge B$ und der Erde unter 0,5V, also logisch Null. Nur wenn beide Schalter geschlossen sind, kann der Strom der zweiten Spannungsquelle nicht abfließen und es wird ein Spannungswert über

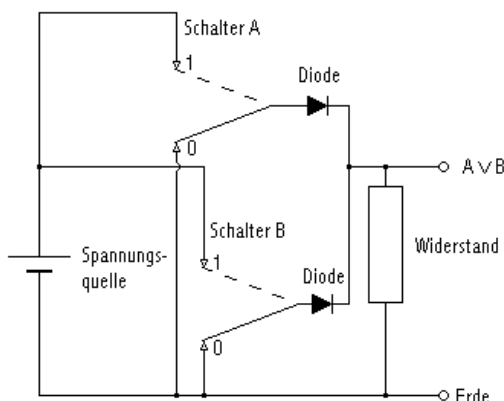
II) OR-Gatter:

i) OR-Gatter mit Schaltern:



Sobald einer der beiden Schalter geschlossen ist, fließt Strom. Nur wenn beide Schalter offen sind, fließt kein Strom.

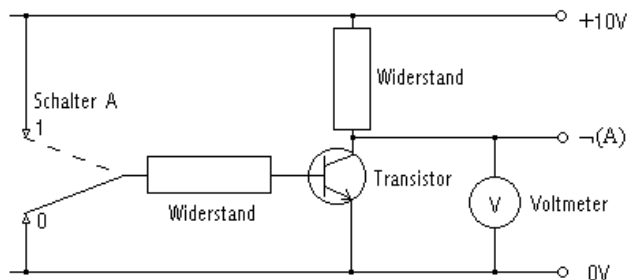
ii) OR-Gatter mit Dioden:



Ist einer der beiden Schalter geschlossen, so wird zwischen $A \vee B$ und der Erde eine Spannungsdifferenz von über 2,4V gemessen, also logisch eins. Sind jedoch beide Schalter offen, so wird $A \vee B$ geerdet. Natürlich muss der

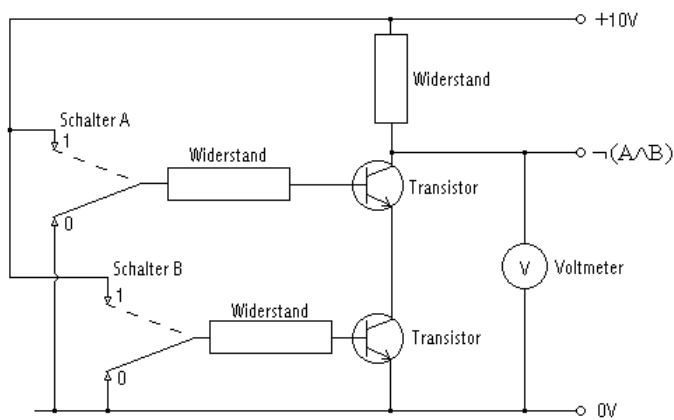
Widerstand eine Potentialdifferenz über 2,4V zulassen.

III) NOT-Gatter mit Transistor:



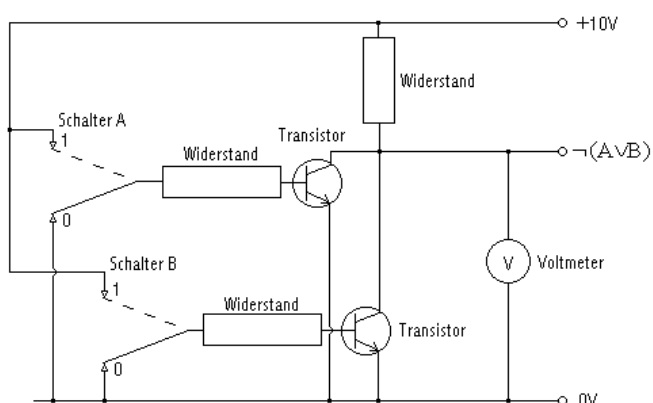
Steht der Schalter auf eins, so liegt zwischen der Basis und dem Emittor eine Spannung an, die den Transistor „öffnet“. Dadurch wird $\neg(A)$ geerdet. Steht der Schalter auf Null, so wird die Basis des Transistors geerdet und dieser gleichzeitig „geschlossen“. Dadurch erhält man am Voltmeter eine Spannungsdifferenz über 2,4V.

IV) NAND-Gatter mit Transistor:



An $\neg(A \wedge B)$ liegt nur dann kaum Spannung an, gemessen zur Erde, wenn einer der beiden Transistoren sperrt. Dies geschieht alsbald, wenn an einem der beiden Transistoren ein Basisstrom anliegt. Einer der beiden Transistoren erhält einen Basisstrom sobald einer der beiden Schalter auf eins steht.

V) NOR-Gatter mit Transistor:



Zwischen $\neg(A \vee B)$ und der Erde liegt nur eine Potentialdifferenz über 2,4V an, wenn beide Transistoren sperren, das heißt wenn an beiden Transistoren kein Basisstrom anliegt. Das wiederum

heißt, das beide Schalter auf Null stehen müssen.

In jedem anderen Fall kann der Strom über einen der beiden Transistoren abfließen und man erhält am Voltmeter keine Spannung über 2,4V.

Kombination aus NAND-Gattern:

Vor nicht allzu langer Zeit, in der hochintegrierte Schaltungen, kurz ICs, noch nicht so ausgereift waren wie heute, in der Zeit in der ICs mit einfachen logischen Verknüpfungen, wie zum Beispiel NAND-Gattern, nur bestückt oder preislich günstiger erschwinglich waren als alle höher entwickelten ICs, in der Zeit versuchte man alle Gatter aus nur einem Gatter herzustellen. Der klare wirtschaftliche Vorteil liegt auf der Hand. Der Hersteller brauchte nur einen Typ von Gatter einzukaufen. Gleichzeitig wurden seine Lagerkosten gesenkt.

Von unserem Assistenten haben wir erfahren, dass diese wirtschaftliche Strategie in gewissen Bereichen heute noch ihre Anwendung findet.

Dieses eine Gatter, welches alle anderen Gatter durch Kombination dessen produzieren kann, ist einmal ein NAND-Gatter und zum anderen ein NOR-Gatter. Das in der Abbildung 1 verwendete Schaltsymbol ist das Symbol für ein NAND-Gatter.

Abb.1: Realisierung von Grundverknüpfungen durch NAND-Gattern

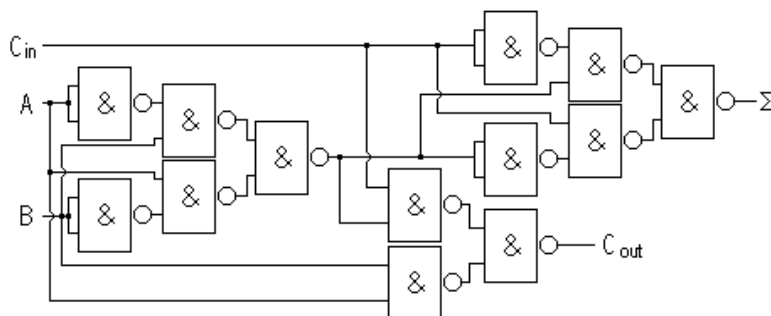
Funktion	Realisierung mit NAND-Gattern	Schaltalgebra
UND		$Y = \overline{\overline{A \wedge B}} = A \wedge B$
ODER		<p>Nach dem 2. Theorem De Morgans folgt:</p> $A \vee B = \overline{\overline{A} \wedge \overline{B}}$
NICHT		$\overline{A \wedge A} = \overline{A} = Y$
EXCLUSIV-ODER		$y = \overline{(\overline{A} \wedge B) \wedge (A \wedge \overline{B})}$ $y = (\overline{A} \wedge B) \vee (A \wedge \overline{B})$

Abbildung aus dem Buch „Digitale Elektronik“

1-bit-Volladdierer:

Durch Kombination von NAND-Gattern wollten wir einen 1-bit-Volladdierer herstellen. Die zugehörige Schaltung ist in Abbildung 2 zu erkennen.

Abb.2: Schaltplan eines 1-Bit-Volladdierer



Die logische Wanderung der einzelnen Werte halten wir uns vor, diese ist anhand der Abbildung leicht nachzuvollziehen.

Mit diesem 1-bit-Volladdierer kann man 0 und 0, 1 und 0, 0 und 1 und 1 und 1 addieren.

In A und B kommen die Werte, die addiert werden sollen. In C_{in} kommt der Übertrag der letzten Rechnung, falls man mehrere Additionen hintereinander ausführen möchte.

Am Summenzeichen erhalten wir die Summe der zwei Zahlen und am C_{out} den Übertrag.

Jeder Eingang bzw. Ausgang hat immer einen Bezugspunkt zur Erde.

Ein Beispiel für eine Addition von mehreren Bits zeigt die Bedeutung von C_{in} und C_{out} .

Der Übertrag der ersten Rechnung wird addiert mit der zweiten Rechnung und so weiter.

Formal bedeutet das, dass der Übertrag eine Stelle nach links wandert und bei der zweiten Addition wie ein dritter Summand gehandhabt wird, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Addition von zwei Zahlen

dezimal	binär	Bemerkung
11	1011	1.Zahl
+ 14	1110	2.Zahl

	0101	1.Teilsumme
	1010	1.Übertrag

	10001	2.Teilsumme
	0100	2.Übertrag

<u>25</u>	<u>11001</u>	Endsumme

Eine leicht verbesserte Schaltung könnte wie folgt aussehen.

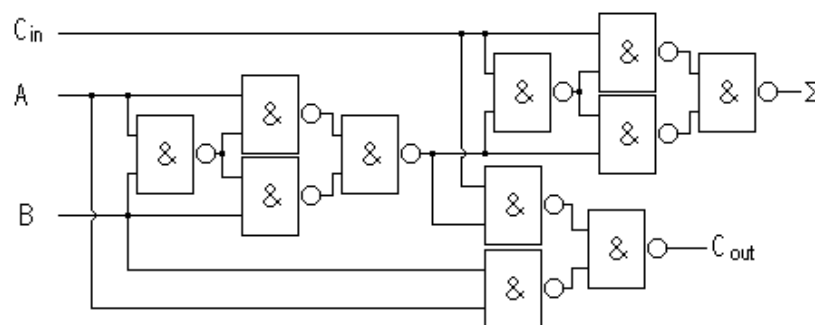


Abbildung 3: leicht verbesserter Schaltplan eines 1-Bit-Volladdierer

Aufbau

Geräteliste

Gerät	genaue Bezeichnung	Pl-Nummer
Steckbord für Chips	Proto-Board no. 203A	Raum
Spannungsquelle	Spannungsversorgungsgerät	015b
Spannungsquelle	Spannungsversorgungsgerät	013c
Multimeter	Multimeter	034b
3 Umschalter		E-Raum
4 Chips	Typ SN741ALS00	Raum
Prüfspitzen,		E-Raum
Krokodilklemmen		E-Raum

Versuchsaufbau

Unser Versuchsaufbau sieht grob gesehen sehr einfach aus. Vier Chips mit je vier NAND-Gattern wurden auf Trägern auf einer Platine befestigt. Kompliziert sehen erst die Verbindungen der jeweiligen Gatter aus. Die Verbindungen wurden aus Abbildung 2 übernommen. Der Ausgang von einem NAND-Gatter auf einem Chip ist nämlich auf derselben Seite wie die zwei Eingänge. Zusätzlich sind noch die vier Gatter auf einem Chip fest zueinander montiert, daher sehen die Verbindungen nicht mehr so leicht nachvollziehbar aus.

Durchführung

Nach einer langen Vorsprache konnten wir um 15.30 Uhr mit dem Prinzipaufbau unserer Schaltung beginnen. Das heißt wir versuchten eine Schaltung zu konstruieren die dem Bedarf an Bauelementen im Pl entsprach. Ein Teil der Gruppe versuchte den 1-bit-Volladdierer, anstatt wie im Buch beschrieben mit NAND-Gattern, nur aus Transistoren zu bauen. Dieser Teil trug aber keinen nennenswerten Beitrag zur weiteren Durchführung bei, es war zu schwierig.

Die weitere Durchführung beruhte nun auf die Leistung der zweiten Gruppe. Sie versuchte mathematisch das Problem der Konzipierung einer einfachen Schaltung zu lösen. Über Wahrheitstabellen versuchten wir je eine logische Verknüpfung für die Summe und den Übertrag zu erstellen, die dann auch hätte elektrisch umgesetzt werden können. Anhand eines Karnaugh-Diagramm bemerkten wir, dass die komplizierte logische Verknüpfung, die wir

bereits herausfanden, sich nicht vereinfachen lässt. Für den Übertrag gab es zwar eine Vereinfachung, jedoch wurde diese nicht weiter betrachtet. Für einen vollständigen Addierer brauchten wir nicht nur den Übertrag, sondern auch eine Summe und die zu realisieren war bereits sehr kompliziert. Auch bemerkten wir, dass die Anzahl der Transistoren für unsere Schaltung ziemlich knapp bemessen war. Ein Zitat von einem Mitglied unserer Gruppe:

„Aufgrund mangelnder Ressourcen trennten wir uns schweren Herzens von unserem ursprünglichen Plan, die Dinger (Transistoren) zu benutzen.“

Um 17.30 Uhr fingen wir nun endlich mit dem Bau unserer Schaltung an. Nach einer kleinen Desorientierung bezüglich der Chips, die wir brauchten, verbanden wir von 17.35 bis 18.14 Uhr die ersten fünf NAND-Gatter unserer zwei Chips auf einem Steckbord. Die Verbindung entsprach einem Exklusiv-Or-Gatter, wie sie in Abbildung 1 zu erkennen ist. Glücklicherweise wurden wir darauf hingewiesen, schon jetzt einmal diesen bereits aufgebauten Teil der ganzen Schaltung zu überprüfen. Bei dieser Überprüfung stellten wir fest, dass unser Ex-Or-Gatter gar nicht funktioniert. Nun wir schrumpften immer weiter die Schaltung bis hin zum einzelnen NAND-Gatter und stellten am Ende, um 19.00 Uhr, fest, dass noch nicht einmal unser NAND-Gatter funktioniert. Wir erhielten irgendwie Daten von einem NOR-Gatter, teilweise reproduzierbar.

Daraufhin beschlossen wir die NAND-Gatter allesamt zu überprüfen. Geprüft wurde parallel. Der eine Teil der Gruppe überprüfte die Chips auf einem separaten Steckbord, das nicht fest auf einem Kasten montiert war. Dadurch war die Verbindung zwischen den einzelnen Steckpunkten gewährleistet und einen Wackelkontakt konnte so gut wie ausgeschlossen werden.

Der zweite Teil überprüfte die Chips mit Prüfspitzen, was zwar alle äußeren möglichen Fehler, wie zum Beispiel ein Wackelkontakt im Steckbord, ausschloss, jedoch nicht ohne größere Schwierigkeiten verbunden war. Da die Chips so klein sind, muss man sehr genau aufpassen, dass sich die Prüfspitzen bei bestimmten Positionen nicht berühren und so einen Kurzschluss verursachen, der möglicherweise den Chip zerstören könnte. Aufgrund der Ungewissheit der Steckborde, beschlossen wir um 19.15 Uhr die Schaltung zu löten. Für das Ermöglichen eines Wechsels der Chips, wurden Sockel auf einer Platine gelötet und nach dem folgenden Schema verbunden.

Abb.4: technisch umgesetzter Schaltplan eines 1-Bit-Volladdierers mit vier Chips a vier NAND-Gattern

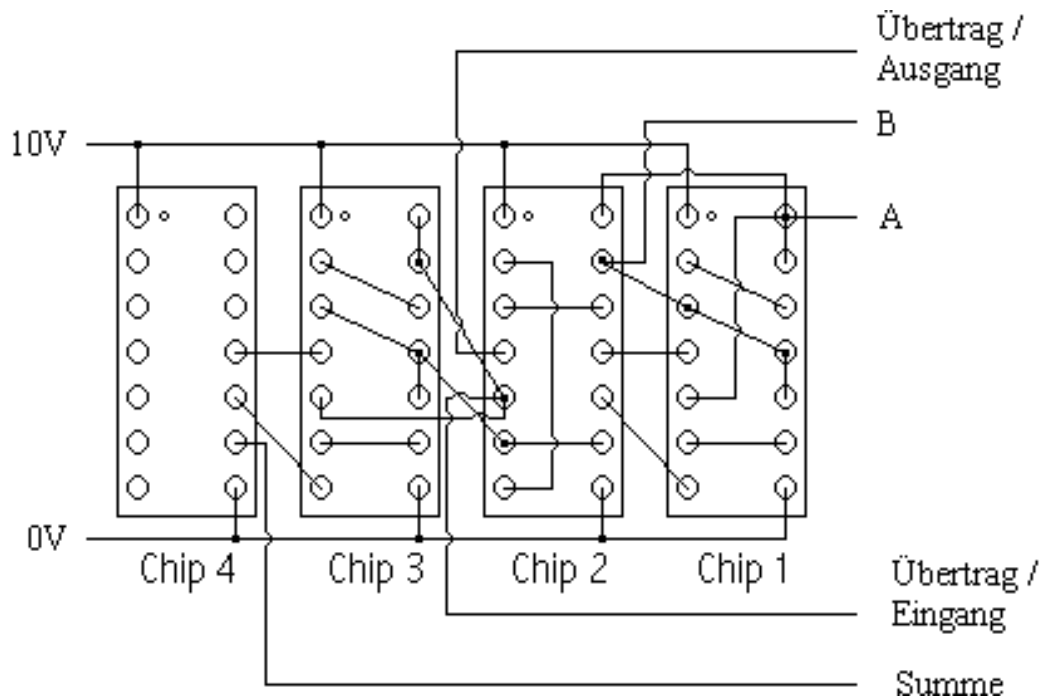


Abb.5: Beschaltungsplan von einem Chip(741)

1	○	○	8	1 - Versorgungsspannung +	8 - NAND-Gatter 3, Eingang 1
2	○	○	9	2 - NAND-Gatter 1, Eingang 1	9 - NAND-Gatter 3, Eingang 2
3	○	○	10	3 - NAND-Gatter 1, Eingang 2	10 - NAND-Gatter 3, Ausgang
4	○	○	11	4 - NAND-Gatter 1, Ausgang	11 - NAND-Gatter 4, Eingang 1
5	○	○	12	5 - NAND-Gatter 2, Eingang 1	12 - NAND-Gatter 4, Eingang 2
6	○	○	13	6 - NAND-Gatter 2, Eingang 2	13 - NAND-Gatter 4, Ausgang
7	○	○	14	7 - NAND-Gatter 2, Ausgang	14 - Versorgungsspannung -

19.55 Uhr fanden wir heraus, dass unser Problem alter Natur war. Wieder einmal bekamen wir Ärger mit einem Potentialniveau. Lag an den Eingängen logisch 1 an, war alles Ok. Was aber passiert, wenn wir logisch Null anlegen, besser gesagt nichts anlegen? Uns erschien diese Frage widerspruchsfrei. Die Antwort der Frage lag somit in der Theorie. Das dem nicht so ist, fanden wir erst um diese relativ späte Uhrzeit heraus. Logisch Null bedeutet nicht „NICHTS“ anlegen, sondern logisch Null bedeutet „ERDEN“. Nun war auch das Potentialniveau nicht mehr unbestimmt und unsere Theorie traf wieder mit unseren Messergebnissen überein. Aus unseren einfachen Schalter wurden nun Umschalter, die auf der einen Seite geerdet waren.

20.05 Uhr konnte endlich der erste Test positiv bestätigt werden, dass das erste NAND-Gatter funktioniert. 20.21 Uhr der erste Chip wurde durchgetestet, drei Gatter funktionierten und eines nicht, nun wirklich nicht. Aufgrund des bemerkten Zeitaufwands der Testung der Chips wurde ein sogenannter Tester extra für unsere Chips gelötet, Beginn 22.30. Er sollte jedoch nicht mehr rechtzeitig fertig werden, so dass andere Gruppen ihn nur noch als Tester für Chips

verwenden können. 21.18 Uhr: zweiter Chip getestet, funktioniert vollständig. Zwischen 21.15 und 22.00 Uhr war Essenpause. 22.24 Uhr: dritter Chip getestet, funktioniert vollständig.

Zu diesem Zeitpunkt beendeten wir das Löten unserer kompletten Schaltung. Zusätzlich fanden wir heraus, dass es nicht ausgeschlossen war, dass Kabelenden, insbesondere Krokodilklemmen, durch Aufliegen auf dem metallischen Gehäuse nicht zum Kurzschluss geführt haben könnten. Jedoch schließen wir Wackelkontakte innerhalb des Steckbords immer noch nicht aus. 22.32 Uhr: vierter Chip getestet, funktioniert auch vollständig. Insgesamt funktioniert also nur ein NAND-Gatter nicht. Daher lassen sich alle Chips verwenden.

22.45 Uhr: Testung der vollständigen Schaltung. Es sind zwar keine Kurzschlüsse zu verzeichnen, jedoch stimmt die Addition nicht mit der Theorie überein. Die richtige Kombination liefert falsche Werte. 23.19 Uhr erster Fehler, ein Klecks Lötzinn verbindet zwei nicht zu verbindende Kabel. Nichtsdestotrotz wurde noch einmal die Schaltung überprüft, die Vorlagen der Schaltung, die Schaltskizze an sich und die gelötete Version. Beim letzteren ist uns aufgefallen, dass eine Lötstelle nicht verbunden war. Nachdem dieser Fehler behoben wurde, probierten wir den Test noch einmal und siehe da, es funktioniert. 23.54 unser 1-bit-Volladdierer funktioniert, das Experiment wurde vor Mitternacht abgeschlossen.

Im Anhang ist ein weiteres Experiment beschrieben, welches direkt mit den logischen Schaltungen in Verbindung steht. Es handelt sich um eine Blinkschaltung.

Auswertung:

Werden zwei Ein-Bit-Zahlen mit einander addiert, so gibt unser 1-Bit-Volladdierer die Summe der zwei Zahlen im Binärcode und den zugehörigen Übertrag aus. Ein-Bit-Zahlen sind die Null und die Eins. Alle vier möglichen Summen mit dem jeweiligen Übertrag konnten gezeigt werden, sobald man nach der Theorie die richtigen Argumente an die Eingänge legte, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Wahrheitstafel für unseren 1-Bit-Volladdierer

A	B	C_{in}	Σ	C_{out}
1	1	0	0	1
1	0	0	1	0
0	1	0	1	0
0	0	0	0	0

1	1	1	1	1
1	0	1	0	1
0	1	1	0	1
0	0	1	1	0

Resümee:

Unser Experiment, der Bau eines 1-Bit-Volladdierer, haben wir erfolgreich beendet.

Durch dieses Experiment erhielten wir Einsicht in einfache logische Schaltung, aufbauend auf der Logik der Mathematik. Damit erhielten wir auch Einsicht in die Grundlagen von logischen Netzwerken, wobei die weitergehende Form der Computer ist.

Um nur einfache logische Verknüpfungen elektrisch umzusetzen, ist dieses Experiment ideal geeignet. Hierbei lernt man unterschiedliche Gatter kennen und sie zu verknüpfen. Außerdem lassen sich durch Kombination dieser Gatter unterschiedliche Schaltungen herstellen, die das Spektrum der Variationen widerspiegeln.

Wem dies zu wenig ist, der geht tiefer in die Materie, in die Grundlagen von logischen Netzwerken ein. Dabei sei erwähnt, dass die Transistor-Transistor-Logik sich dafür gut anbietet.

Verweis: Die erfolgreiche Schaltung wird im Pl verwahrt und kann weiterverarbeitet werden.

Literaturverweis:

Konrad Schmidt-Wolbrandt, Von den Grundlagen der Digitalelektronik, TU-Berlin 1988

Werner Konrad Schmidt, Digitale Elektronik, Verlag R.-D. Ehrhardt 1978

Noel M. Morris, Einführung in die Digitaltechnik, Viewieg 1977, 1.Auflage

Texas Instruments, Das TTL Kochbuch, Texas Instruments 1980