



Digitaltechnik - ganz einfach Teil 1

Digitaltechnik ist einfacher, als mancher denkt. Unsere neue Reihe führt Sie in die Grundlagen der Digitaltechnik ein bis hin zu komplexen Schaltungsaufbauten. Begleitet werden die Beiträge von Anbeginn durch praktische Experimente, die weitgehend ohne den Lötkolben auskommen. So wird sowohl der Einsteiger als auch der gestandene „Analog-Elektroniker“, der bisher Scheu vor der Digitaltechnik hatte, Schritt für Schritt gehen können und am Schluß selbst in der Lage sein, Problemlösungen der Praxis selbst zu entwerfen.

Vom Einsteiger zum Profi

Unsere Reihe soll, wie gesagt, allen etwas bieten, die an der Digitaltechnik interessiert sind. Wir werden über eine Reihe von „ELVjournalen“ hinweg nahezu das gesamte Gebiet der Digitaltechnik erforschen und uns im praktischen Experiment erarbeiten.

Gleich in diesem ersten Teil greifen wir, ohne uns allzu lange bei der Theorie aufzuhalten, in die Praxiskiste, denn nichts ist anschaulicher als das praktische Experiment. So erschließen sich uns auch ohne viel Mathematik bereits auf den nächsten Seiten die Grundfunktionen der Digitaltechnik, die wir im nächsten Teil dann sofort in „größeren“ Schaltungen anwen-

den werden, zu denen wir jedes Mal auch praktische Anwendungen aufzeigen werden.

Von da ab geht's quer durch die Digitaltechnik: wir lernen Flip-Flops, Torschaltungen, Schwingungserzeuger, Teiler, Zähler, Speicher und Decoder kennen, wir bauen praktische Schaltungen vom Pegelprüfer über Zähler bis zur Digitaluhr auf, streifen die Mikrorechentechnik und sind am Ende in der Lage, fast jedes digitale Schaltungsproblem zu lösen.

Experimente ohne Lötkolben

Für unsere Experimente wollen wir natürlich möglichst schnell die vielen kleinen Schaltungen aufbauen, ohne langwierig immer wieder neu löten zu müssen. Was

bietet sich da besser an als ein Steck-Experimentierboard (Abbildung 1), das es in geradezu idealer Weise ermöglicht, nur durch Stecken von vorkonfektionierten Verbindungsbrücken vielfältigste Schaltungslösungen zu erarbeiten.

Diese Experimentierboards gibt es in verschiedenen Größen und Ausführungen, wir wählen für unsere Experimente eine mittlere Größe aus, um einerseits genug Platz für unsere im Laufe der Serie immer größeren Projekte zu haben und darüber hinaus auch eine standfeste Ausführung mit der Möglichkeit des ordnungsgemäßen Anschlusses der Versorgungsspannung über Schraubklemmen zu haben.

Apropos Versorgungsspannung. Wir haben uns aufgrund der unkomplizierten Möglichkeit der Batteriestromversorgung entschlossen, diese Serie vorwiegend mit C-MOS-Schaltkreisen zu begleiten. Wie wir beim späteren Vergleich der Schaltungssysteme noch erfahren werden, sind C-MOS-Schaltkreissysteme relativ genügend in bezug auf die Versorgungsspannung, sie kann im weiten Bereich zwischen 3 V und 15 V liegen. Zudem glänzen C-MOS-Schaltkreise durch eine extrem geringe Stromaufnahme, so daß zumindest für unsere ersten Experimente auch eine 9V-Blockbatterie zur Spannungsversorgung ausreicht. Wer dennoch das Experimentierboard an einem Netzteil betreiben möchte, benötigt eine stabilisierte Spannung. Schließen Sie auf keinen Fall ein unstabiliertes Steckernetzteil direkt an die Digital Schaltkreise an! Die hohen Leerlaufspannungen dieser Netzteile (unsere kleinen Experimentierschaltungen stellen faktisch keine Last für ein solches Netzteil dar), könnten die ICs zerstören.

Will man ein unstabiliertes Netzteil an das Board anschließen, so sollte man auf dem Board einen Festspannungsregler nebst Peripherie installieren, um von dort aus die Schaltung versorgen zu können. Im Hinblick auf später möglichen Einsatz auch anderer Schaltungssysteme sollte man hier einen 5V-Festspannungsregler wählen.

Die Schaltung für ein solches Stabilisierungsteil und seinen praktischen Aufbau auf dem Experimentierboard zeigt Abbildung 2. Sie sehen, lediglich wenige Steckbrücken sind notwendig, um das Netzteil zu verdrahten. Die beiden Elkos und Kondensatoren werden so bestückt, daß je einer ihrer Anschlußpole über die Querreihen der Buchsen mit dem Anschluß 1 bzw. 3 des Festspannungsreglers direkt verbunden sind. Bei den Elkos ist auf die richtige Polung zu achten. Nun müssen lediglich Pin 2 des Reglers, der zweite Anschlußpol der Kondensatoren und die beiden Minuspole der Elkos mit der zentralen Masse-schiene verbunden werden.

An Pin 1 des Reglers kommt nun die



Bild 1: Grundlage unserer praktischen Experimente zur Digitaltechnik - ein Experimentierboard mit den zugehörigen, konfektionierten Drahtbrücken - Löten also überflüssig.

positive Eingangsspannung, der Minuspol der Eingangsspannung an die Masseschiene, und schon kann an Pin 3 des Reglers die stabilisierte 5V-Spannung entnommen werden, die direkt an den Schaltkreis geführt wird.

Abbildung 2 zeigt ein Aufbaubeispiel. Hier ist auch sehr deutlich die Struktur des Experimentierboards zu erkennen.

Die 5 Stromverteiler sind farblich (plus -

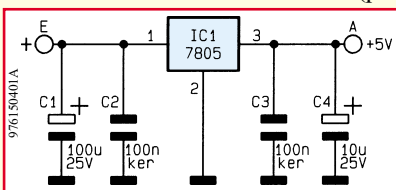
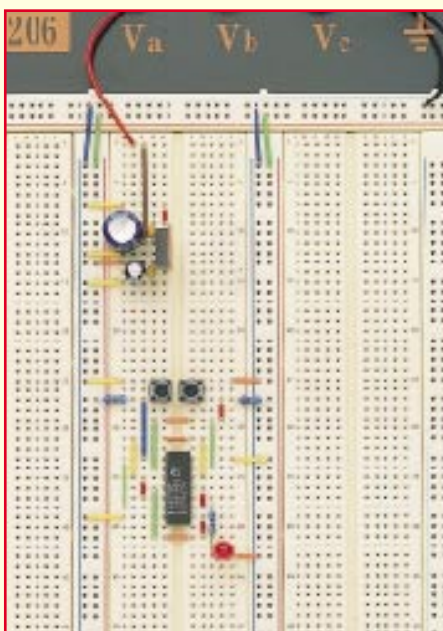


Bild 2: Schaltung für ein Mini-Festspannungsnetzteil für den Betrieb an einer unstabilisierten Spannungsquelle



Praktischer Aufbau des Mini-Festspannungsnetzteiles und einer Digital-schaltung auf dem Experimentierboard.

rot; minus - blau) markiert und verbinden jeweils 50 Kontakte in senkrechter Reihe als Stromschiene.

Dazwischen liegen die eigentlichen Steckfelder. Über die Sicke paßt jedes Bauelement mit einer Rasterweite ab 7,5 mm, vorzugsweise also Schaltkreise, wie in Abbildung 2 zu sehen. Die einzelnen Querreihen sind jeweils mit insgesamt fünf Kontakten verbunden, so daß genügend Platz für das Stecken der Schaltkreis-peripherie bleibt.

Vertikal sind 63 Kontaktreihen verfügbar, so daß auch umfangreiche Schaltungen auf dem Board Platz finden.

1 oder 0

Das ist die Digitaltechnik. Sie beruht tatsächlich auf einem Zahlensystem, das nur aus zwei Ziffern besteht, der 1 und der 0. Es ist das Binärsystem, das nur auf diesen Zahlen, Dualzahlen genannt, beruht. Der Begriff Digitaltechnik kommt übrigens aus dem englischen Wort für Zahl, „digit“, denn die Digitaltechnik tut tatsächlich nichts anderes als zählen, zählen.

Der Vorteil des Dualsystems ist die Eindeutigkeit der Zuordnung nur zweier Pegelzustände, entweder die logische 1, auch High-Pegel oder kurz H genannt oder die logische 0, Low-Pegel oder L genannt. Stark vereinfacht gesagt: bei Low liegt keine Spannung an, bei High liegt eine Spannung an. Was wir unter „keine Spannung“ und unter „eine Spannung“ verstehen, werden wir gleich diskutieren.

Die Tabellen der Wahrheit

Das Verarbeiten von Signalen durch digitale Schaltungen kann aufgrund der Basis der dualen Zahlen sehr einfach mathematisch berechnet werden.

Keine Angst, wir beginnen unseren Exkurs nicht mit Formeln, doch die folgenden sechs Grundschaltungen, die die Grundlage der gesamten Digitaltechnik bilden, wollen wir dennoch mit den Mitteln der Mathematik erarbeiten, und das geht schneller, als Sie denken werden, denn das Ganze heißt Logik, und die ist einfach nachzuvollziehen.

Alle logischen Zusammenhänge beschreiben lediglich das Zusammenspiel zwischen Eingang und Ausgang einer Digitalschaltung, ob dies nun ein Gatter oder ein komplexer Zähler mit Rückführungen, Speichern etc. ist.

Wollen wir diese Zusammenhänge anhand der sogenannten Wahrheitstabelle einmal betrachten. Wahrheitstabelle deshalb, weil wir vom binären Zahlensystem ausgehen, bei der ein Wert entweder wahr (1) oder unwahr (0) ist. Diese Begriffe sind historisch gewachsen und stammen aus dem angelsächsischen Sprachraum, nach den englischen Begriffen „true“ (wahr) oder „false“ (unwahr, falsch), die in der Rechentechnik eine große Rolle spielen. Man findet sie heute noch in den Programmiersprachen wieder.

Die Wahrheitstabellen der sechs wichtigsten Grundschaltungen mit den zugehörigen Schaltungssymbolen sind in Tabelle 1 zu sehen.

Wir wollen sie einzeln betrachten und sofort auf unserem Experimentierboard nachvollziehen. Sie werden sehen, es gilt die Regel: einmal praktisch geübt und dann wie Fahrradfahren und Schwimmen für immer behalten.

Der Negator

Der einfachste Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang ist die einfache Umkehrung des Eingangssignals, aus L wird H und umgekehrt. Dies ist die Schaltungsfunktion des Negators, der in Digital-schaltungen eine der wichtigsten Funktionen darstellt. Die zugehörige Wahrheitstabelle in der Tabelle 1 ist schnell überblickt. Liegt am Eingang L-Pegel, so erscheint am Ausgang H-Pegel. Legt man dagegen an

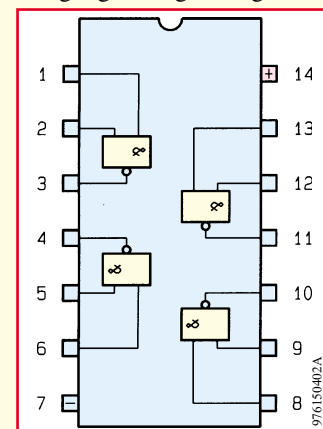
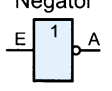
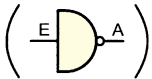
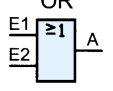
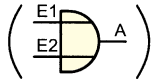
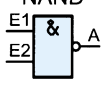
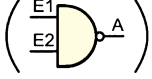
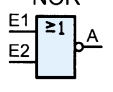
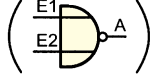
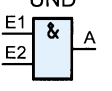
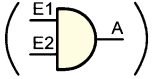
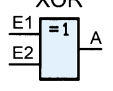
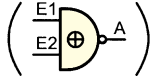


Bild 3: Die Anschlußbelegung unseres Schaltkreises für die ersten Experimente, das 4fach-NAND 4011.

Tabelle 1: Die wichtigsten Grundschaltungen der Digitaltechnik mit ihren Wahrheitstabellen (in Klammern das frühere Schaltzeichen).

<p>Negator</p> <p>$A = \bar{E}$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>E</th> <th>A</th> <th>LED</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> </tbody> </table> <p>()</p>	E	A	LED	L	H	An	H	L	Aus	<p>OR</p> <p>$A = E1 \vee E2$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> <th>LED</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> </tbody> </table> <p>()</p>	E1	E2	A	LED	L	L	L	Aus	H	L	H	An	L	H	H	An	H	H	H	An											
E	A	LED																																							
L	H	An																																							
H	L	Aus																																							
E1	E2	A	LED																																						
L	L	L	Aus																																						
H	L	H	An																																						
L	H	H	An																																						
H	H	H	An																																						
<p>NAND</p> <p>$A = \overline{E1 \wedge E2}$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> <th>LED</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> </tbody> </table> <p>()</p>	E1	E2	A	LED	L	L	H	An	H	L	H	An	L	H	H	An	H	H	L	Aus	<p>NOR</p> <p>$A = \overline{E1 \vee E2}$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> <th>LED</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> </tbody> </table> <p>()</p>	E1	E2	A	LED	L	L	H	An	H	L	L	Aus	L	H	L	Aus	H	H	L	Aus
E1	E2	A	LED																																						
L	L	H	An																																						
H	L	H	An																																						
L	H	H	An																																						
H	H	L	Aus																																						
E1	E2	A	LED																																						
L	L	H	An																																						
H	L	L	Aus																																						
L	H	L	Aus																																						
H	H	L	Aus																																						
<p>UND</p> <p>$A = E1 \wedge E2$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> <th>LED</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> </tbody> </table> <p>()</p>	E1	E2	A	LED	L	L	L	Aus	H	L	L	Aus	L	H	L	Aus	H	H	H	An	<p>XOR</p> <p>$A = (E1 \wedge \bar{E2}) \vee (\bar{E1} \wedge E2)$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> <th>LED</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>An</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>Aus</td> </tr> </tbody> </table> <p>()</p>	E1	E2	A	LED	L	L	L	Aus	H	L	H	An	L	H	H	An	H	H	L	Aus
E1	E2	A	LED																																						
L	L	L	Aus																																						
H	L	L	Aus																																						
L	H	L	Aus																																						
H	H	H	An																																						
E1	E2	A	LED																																						
L	L	L	Aus																																						
H	L	H	An																																						
L	H	H	An																																						
H	H	L	Aus																																						

den Eingang H-Pegel, so erscheint am Ausgang L-Pegel. Das war's eigentlich schon zum Negator.

Wenden wir uns dem praktischen Experiment zu.

Wir verwenden für unsere ersten Experimente einen C-MOS-Schaltkreis vom Typ 4011, der vier Grundgatter (Abbildung 3) enthält, aus denen wir alle sechs Grundfunktionen unserer Wahrheitsabelle ableiten können.

Die Eingänge des ersten Gatters (Pin 1 und Pin2) werden für die Negatoranwendung einfach kurzgeschlossen und nach dem Schaltbild (Abbildung 4) zum einen über den 2,2kΩ-Widerstand mit dem Pluspol der Schaltung verbunden, (hier erzeugen wir den High-Pegel) und zum anderen mit dem Taster, der bei Tastendruck den Eingang mit Masse (also Low-Pegel) verbindet.

An den Pin 3 des 4011 schließen wir unsere erste Anzeige, bestehend aus einer

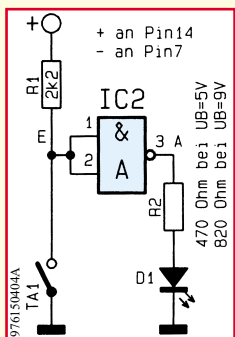


Bild 4: Die Schaltung für unser erstes Experiment, der Negator.

roten LED nebst passendem Vorwiderstand (bei 5 V 470 Ω; bei 9 V 820 Ω) gegen Masse an. Mit diesen Vorwiderständen werden zum einen die Belastungsgrenzen des C-MOS-Gatters nicht überschritten und zum anderen erfolgt eine ausreichend helle Anzeige für unsere Experimente.

Ordnen Sie den Taster und die LED mit

Vorwiderstand so auf dem Board an, daß eine übersichtliche Verdrahtung und gleichzeitig der gute Überblick über Taster und Anzeige gewährleistet sind.

Das Wichtigste beim Bestücken des Boards: Achten Sie auf die lagerichtige Bestückung des Schaltkreises und die polrichtige Bestückung der LED. Die ausgesparte Markierung des Schaltkreises sollte stets oben liegen, um einen immer gleichen Überblick über die Schaltkreisanschlüsse zu erhalten. Der Anschluß der Schaltungsmasse (Minuspol der Blockbatterie oder Minusleitung vom Stabilisator) erfolgt nach dem Verdrahten aller anderen Anschlüsse und der abschließenden Kontrolle an dem linken unteren Pin 7 (vergl. Abbildung 3). Der Pluspol der Batterie bzw. Plus des Stabilisators wird mit dem Pin 14 rechts oben verbunden.

Hat man alles exakt verdrahtet, so leuchtet die LED nach Betätigen des Tasters auf und verlischt beim Loslassen. Wie gesagt, im Ruhezustand liegt der Eingang der Schaltung über dem 2,2kΩ-Widerstand an High, der Ausgang liegt folglich an Low, es fließt kein Strom über die LED, sie bleibt dunkel. Bei Betätigen des Tasters wird jedoch der Eingang der Schaltung auf Low gelegt und am Ausgang erscheint High-Pegel, es fließt ein Strom und die LED leuchtet auf (wir sehen jetzt eine der Funktionen des 2,2kΩ-Widerstands ein, wäre er nicht, würde es einen Kurzschluß geben).

Neben der Funktion als Strombegrenzer erzeugt der 2,2kΩ-Widerstand einen definierten Pegel am Schaltkreiseingang. Sonst könnte man auch einen Umschalter zwischen Plus und Minus für den Taster einsetzen. „Hängt“ einer der hochohmigen Schaltkreiseingänge nämlich frei in der Luft, so „fängt“ er alles ein, was er bekom-

men kann, elektrostatische Aufladungen, kapazitive Spannungen usw. Ihm fehlt die eindeutige Definition eines Pegels, denn es gibt in der Digitaltechnik außer für ganz spezielle Einsätze keinen Zwischenwert zwischen 0 und 1, wie wir wissen.

Deshalb gleich hier eine Grundregel, die man nie mehr vergessen sollte: Niemals einen Digitaleingang offen lassen. Er ist je nach Schaltungsfunktion der restlichen Schaltung immer an High oder Low zu legen, um definierte Verhältnisse herzustellen und Fehlfunktionen zu vermeiden.

Wir können bei unserem eingesetzten C-MOS-Schaltkreis dieses Verhalten gut nachvollziehen, indem wir die Verbindung zwischen dem 2,2kΩ-Widerstand und den Pins 1 und 2 einmal auftrennen. Dann hängen diese solange in0 der Luft, bis sie durch Betätigen des Tasters auf L-Pegel definiert werden. Läßt man den Taster los, wird der angezeigte Ausgangspegel zum Glücksspiel, meist bleibt jedoch die High-Anzeige am Ausgang bestehen. Also niemals einen Eingang offen lassen!

Natürlich gibt es für die Realisierung der Negator- oder auch Inverterfunktion spezielle Schaltkreise, die dann bis zu sechs dieser Baustufen enthalten.

Vergessen Sie nicht, nach jedem Experiment die Betriebsspannung vom Board zu trennen bzw. abzuschalten.

Das NAND

Nun geht es schon ein wenig an die Verknüpfung von Schaltfunktionen, die sogenannte Kombinatorik. Trennen wir die verbundenen Eingänge unseres ersten 4011-Gatters einfach auf und legen an jeden die bereits bekannte Kombination aus 2,2kΩ-Widerstand und Taster (Abbildung 5), so erhalten wir eine Kombination aus zwei möglichen Eingangspotentialen an jedem der zwei Eingänge, also vier mögliche Pegelkombinationen. Betätigen Sie also nacheinander die zwei Taster wie in der Tabell 1 angeben, also zunächst beide drücken, dann nur TA 1, dann nur TA 2 und schließlich beide Taster offen. Die Tabelle und bei exakter Verdrahtung sicher auch das Experiment zeigen, daß die LED bei drei der vier Schaltkombinationen leuchtet und bei der letzten nicht.

Das heißt, kombinatorisch gesehen, der Ausgang ist nur auf Low zu bringen, wenn

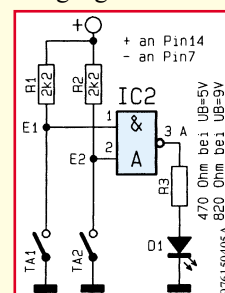


Bild 5: Der Stromlaufplan für die NAND-Grundschaltung.

Eingang 1 **und** Eingang 2 auf High liegen, allerdings verhält er sich dann **negiert** zu den Eingangszuständen. Daraus ergibt sich die englische Kombination aus **NOT** für die negierende Funktion und **AND** für die zwingende Kombination beider Eingangspegel auf Low für einen Pegelwechsel am Ausgang - das **NAND**. Es ist eines der meistverwandten Gatter in der Digitaltechnik, z. B. findet man es häufig als Torschalter. Ein High-Signal an Eingang 1 wird erst an den Ausgang weitergereicht, wenn auch der zweite Ausgang auf High liegt, das Ausgangssignal erscheint invers dazu.

Der 4011 enthält vier dieser NAND-Gatter, die ihre Universalität bereits in unseren Experimenten beweisen.

Eins und eins gleich eins - das AND

Genau umgekehrt zum besprochenen NAND verhält sich das nächste kombinatorische Element.

Hierzu gibt es Bausteine (z. B. 4081), die 4 AND-Gatter mit jeweils 2 Eingängen enthalten. Wir können jedoch der Einfachheit halber auch „unsere“ 4011 verwenden, indem wir dem negierten (invertierten) Ausgang einem weiteren Negator (Inverter) nachschalten. Eine zweimalige Invertierung ergibt somit wieder den ursprünglichen logischen Pegel und aus dem ursprünglichen NAND mit 2 Eingängen wird ein AND mit 2 Eingängen.

Wir trennen auf unserem Experimentierboard den Vorwiderstand der Leuchtdiode vom Pin 3 und legen ihn an den Ausgang des zweiten Gatters, den Pin 4 (Abbildung 6). Zusätzlich verbinden wir die Pins 5 und 6 mit einer kurzen Brücke

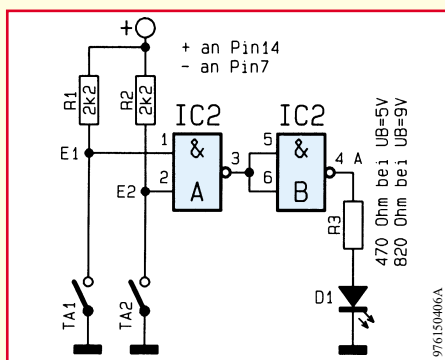


Bild 6: Verhält sich umgekehrt zum NAND - das AND-Gatter.

und legen von hier die Verbindung zum Ausgang des ersten Gatters Pin 3.

Nach dem Zuschalten der Betriebsspannung können wir nun in gleicher Weise die vier möglichen Kombinationen der beiden Taster und die darauf folgende Reaktion des Ausgangs nachvollziehen wie beim NAND. Wir erkennen, die Kombination verhält sich genau umgekehrt wie das NAND. Nur, wenn an den Eingängen 1

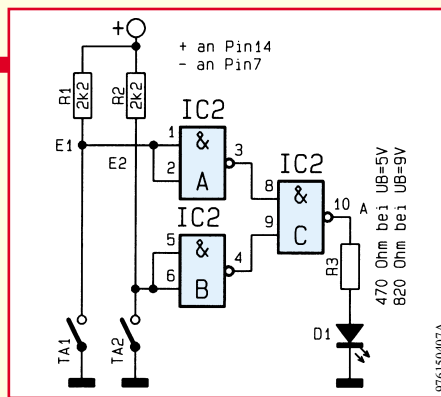


Bild 7: Benötigt schon drei Gatter - die Realisierung der ODER-Funktion.

und 2 High liegt, leuchtet die LED, wir haben das **AND** erarbeitet.

Der eine oder der andere - die ODER-Funktion

Für die Oder-Funktion stehen ebenfalls ICs zur Verfügung, die mehrere reine Oder-Gatter enthalten (z. B. 4071 mit 4 Oder-Gatter mit jeweils 2 Eingängen). Da wir uns vorgenommen haben, alle Grundfunktionen mit dem 4011 nachzuvollziehen, bauen wir die kleine Schaltung gemäß Abbildung 7 auf. Hier wird die Oder-Funktion mit dem Grundgatter-Baustein 4011 realisiert.

Wir erkennen auf den ersten Blick zwei bereits bekannte Stufen - den Negator und das NAND.

Testen wir nach dem Verdrahten nach Abbildung 7 die wiederum vier möglichen Eingangskombinationen und die Reaktion der LED darauf, erhalten wir die **ODER**-Wahrheitstabelle in Tabelle 1.

Wieso ODER oder englisch **OR**? Wir erhalten bei dieser Schaltung nur ein High am Ausgang, wenn entweder Eingang 1 **oder** Eingang 2 **oder** aber beide ebenfalls High führen.

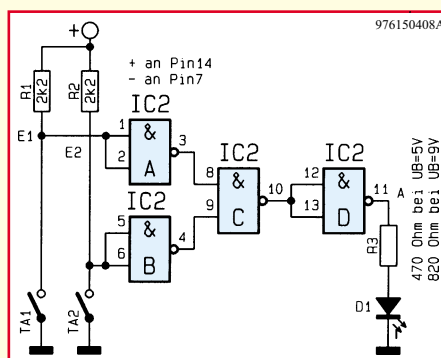
Auch diese Kombination werden wir später in vielen Schaltungen finden.

Oder doch nicht? - das NOR

Schalten wir dem eben besprochenen ODER noch einen Negator nach, so erhalten wir logischerweise die umgekehrten Verhältnisse gegenüber dem ODER.

Dazu schalten wir lediglich ein weiteres Gatter, als Negator geschaltet, nach Abbil-

Bild 8: Zum ODER noch ein Negator dazu - das NOR.



dung 8 zwischen den ODER-Ausgang und die LED. Wir erhalten nach Durchtesten der vier möglichen Eingabevarianten tatsächlich genau die umgekehrte Tabelle wie beim ODER. Deshalb heißt diese Kombination dann auch folgerichtig Nicht-ODER oder zu gut englisch **NOR**.

Exklusive Antivalenz

Klingt kompliziert und sieht auch schon komplexer aus. In Abbildung 9 ist ein aus NAND-Gatter zusammengesetztes **XOR**-Gatter dargestellt. Die mathematische Funktion dazu heißt Antivalenz. 4 dieser XOR-Gatter finden wir im IC des Typs 4030 bzw. 4070.

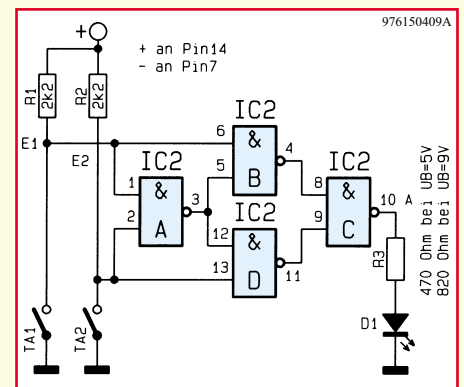


Bild 9: Schon komplexer - das XOR-Gatter.

Jedoch auch der Aufbau aus NANDs ist möglich, wie unser Schaltbild zeigt. Da die XOR-Funktion (exklusive Antivalenz) besonders interessante Signalkombinationen ermöglicht, ist die entsprechende Schaltung weit verbreitet.

Die logische Funktion eines XOR-Gatters sieht wie folgt aus: Liegen beide Eingänge auf dem selben Potential (beide Eingänge Low oder beide Eingänge High) erhalten wir am Ausgang einen Low-Pegel. Führen die beiden Eingänge unterschiedliches Potential finden wir am Ausgang einen High-Pegel.

Nehmen Sie sich doch einmal ein Blatt Papier zur Hand und versuchen Sie, die schon recht komplexe Funktion dieses XOR Stück für Stück in einzelnen Wahrheits-Tabellen nachzuvollziehen. Sie werden sehen, es ist gar nicht einfach, man muß schließlich mehrere parallele Schaltvorgänge kalkulieren. Zur Berechnung solcher Kombinationen dienen auch die in Tabelle 1 angegebenen mathematischen Formeln, mit denen sich noch weit komplexere Schaltungen definieren lassen.

Legen Sie Ihr Experimentierboard nicht zu weit weg, denn im nächsten Teil unserer Serie befassen wir uns nach dem Einblick in die verschiedenen digitalen Schaltkreise bereits mit dem, was die Digitaltechnik hauptsächlich ausmacht, mit dem Zählen.