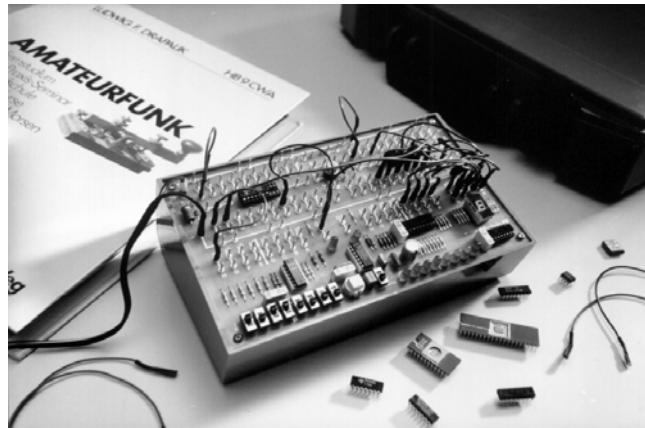


ILT Schule

Ludwig F. Drapalik, HB9CWA



Digitalpraxis

Grundlagen und Praxis mit dem Digiboard

Allen Freunden der Digitaltechnik gewidmet

5. Auflage 2008 (Vers. 5.1)

ILT Schule, CH-8620 Wetzikon

Ludwig F. Drapalik, HB9CWA

Digitalpraxis

Grundlagen und Praxis mit dem Digiboard

Allen Freunden der Digitaltechnik gewidmet

für das ILT-Amateurfunk-Studium
mit praktischen Experimenten
auf dem Digiboard

5. Auflage

2008

Deitron; Wetzikon

Zum Autor:

Ludwig F. Drapalik, El. Ing., arbeitet als Fachjournalist auf den Gebieten Unterhaltungselektronik, Audio- und Videotechnik, Digitalelektronik, PC- und Computertechnik. Er hat die ILT-Schule für Erwachsenenbildung gegründet und ist Autor der Studienlehrgänge *Amateurfunktechnik*, *Morselehrgang mit Morsix und individuellem Trainingslog*, *Mathematik*, *Digitalpraxis mit dem Digiset-Lehrmittel* sowie von Ausbildungsunterlagen für *Hochsee-Yachtfunk*, *Hochsee-Navigation*, *Astronavigation*, *Funkinstallation auf Hochsee-Yachten und Blauwassersegeln*. Der Autor ist aktiver Amateurfunker (HB9CWA) und war Hochsee-Segler und Weltumsegler.

Vielen Dank!

ILT-Techniklehrer Kurt Müller, HB9LEW hat durch wertvolle Mitarbeit, Ergänzungen und Lektorat das ganze Werk bereichert.

Herbert Frehner hat nach den Ideen von HB9CWA das *ILT-Digiboard* entwickelt und hat an der gesamten Studienreihe *Digitalpraxis* aktiv mitgearbeitet.

Diesen OMs möchte ich an dieser Stelle einen ganz besonderen Dank abstaten.

All den Schülern, Freunden und Hams, die durch Anregungen und Ratschläge geholfen haben, den ILT-Studienlehrgang noch wertvoller zu machen, möchte ich ebenfalls sehr danken.

5. völlig neu überarbeitete und stark erweiterte Auflage 2008
© 1982-1995, 1996, 1997, 1998, 1999-2012 by ILT-Schule,
CH-8620 Wetzikon
ISBN 3-8565-00010-5

Alle Rechte vorbehalten, auch die fotomechanische Wiedergabe und Speicherung in elektronische Medien.

Diese ILT-Seminarunterlagen dürfen nur an denjenigen Schulen, Kursen und Seminarien verwendet werden, die von ILT ausdrücklich dazu ermächtigt worden sind.

Digiset, Digiboard, Morsix und individuelles Trainingslog sind Eigenentwicklungen der ILT-Schule.

Konzept und Realisation in DTP:
delta press, CH-8048 Zürich

Printed in Switzerland
File: d:\ilt-kurs\lekt13\LE13C72.DOC

Vorwort

Digitaltechnik, jene geheimnisvolle ‘Wissenschaft’, bei der Nullen und Einsen ganze Kraftwerke steuern, Texte und Zeichnungen auf den Bildschirm bringen und auch in Amateurfunkgeräten immer stärker Einzug hält, ist eigentlich gar nicht so schwierig zu verstehen. Dazu ist es allerdings erforderlich, den richtigen Einstieg zu finden. Die vorliegende *Digitalpraxis 1* will ein solch effizienter Einstieg sein. Das Studium ist eine optimale Mischung zwischen leichtverständlicher Theorie und anschaulicher Praxis. Diese sinnvolle Kombination macht das Studium besonders interessant und lehrreich. Der Stoff ist auch für Anfänger gut verständlich, für den Profi ist er ein vergnüglicher (Wieder-)Einstieg.

Auch ohne Vorkenntnisse ist es möglich, den Stoff ernsthaft zu studieren. Schon bald lernt der Schüler, die Theorie in eine sinnvolle Praxis umzusetzen. Das *ILT-Digiboard*, ein speziell entwickelter Digitrainer, will dabei ein idealer Begleiter sein, um die Praxis gleich anzuwenden und die einzelnen Schaltungen gekonnt aufzubauen. Dieses sinnvolle Wechselspiel ist es, was den Erfolg dieses Lehrmittels ausmacht.

Wir werden mit Logikbausteinen sogar eine kleine Alarmanlage entwickeln und bauen, was zu tiefen und nachhaltigen Erfolgserlebnissen führt.

Die vorliegende 5. Auflage wurde nochmals grundlegend überarbeitet und ergänzt. Vielen Dank allen Schülern, Lehrern, Freunden und OMs, die durch Anregungen und Ratschlägen geholfen haben, die Digitalpraxis noch wertvoller zu machen.

Januar 2008

Ludwig F. Drapalik, HB9CWA

Für ILT-Schüler:

Zum Studium Amateurfunk und zum Bestehen der Bakom Prüfung ist lediglich das Studium der Kapitel 13.4 Logische Verknüpfungen, und 13.6 Übersicht der logischen Verknüpfungen erforderlich. Die Kapitel 13.5; 13.7 und der übrige Stoff dienen der Vertiefung.

13	DIGITALPRAXIS	7
13.1	Einleitung	7
13.1.1	ILT-Digiboard	8
13.1.2	Sinnvolle Praxis	8
13.2	Grundbegriffe	9
13.2.1	Analog	9
13.2.2	Digital	10
13.2.3	Vorteile der Digitaltechnik	10
13.2.4	Binäre und logische Zustände	11
13.2.5	Bit und Byte	12
13.3	Zahlensysteme	15
13.3.1	Dezimalsystem	15
13.3.2	Binärsystem	15
13.3.3	Bezeichnung der verschiedenen Zahlensysteme	16
13.3.4	Aufbau der beiden Zahlensysteme Dezimal und Binär	17
13.3.5	Übersicht Dezimal- und Binär	18
13.3.6	Darstellung grösserer Zahlen	18
13.3.7	Umwandlungen der Zahlensysteme	19
13.4	Logische Verknüpfungen	21
13.4.1	AND-Verknüpfung	21
13.4.2	Aufstellung einer Wahrheitstabelle	22
13.4.3	AND-Verknüpfung mit Schalter	22
13.4.4	OR-Verknüpfung	25
13.4.5	NOT-Verknüpfung	27
13.4.6	NAND-Glied	29
13.4.7	Das NAND als Inverter	32
13.4.8	NOR-Glied	32
13.4.9	Das NOR als Inverter	34
13.4.10	Realisation der Grundverknüpfungen	36
13.4.11	Übersicht der logischen Grundfunktionen	37
13.4.12	XOR-Glied	38
13.4.13	XNOR-Glied	39
13.4.14	Mehrfach-Wahrheitstabelle	40
13.5	Praktische Experimente mit dem ILT-Digiset	42
13.5.1	ILT-Digiboard	43
13.5.2	Übersichtlicher Aufbau	43
13.5.3	Bedienteil	44
13.5.4	Logiktester	44
13.5.5	Experimentierteil	44
13.5.6	Arbeitsfläche	45
13.5.7	Symbole auf dem Digiboard	45
13.5.8	Arbeitsmappe	46
13.5.9	Universal-IC SN7400	47
13.5.10	Eigenes Digiboard macht unabhängig	47

13.6	Übersicht der logischen Grundverknüpfungen	49
13.6.1	Andere Logiksymbole	50
13.7	Schaltungsanalyse	52
13.7.1	Wahrheitstabelle	52
13.7.2	Digitalschaltung mit 2 Eingängen	53
13.7.3	BAX-Hilfstabellen	55
13.7.4	Fertigstellung der Wahrheitstabelle	56
13.7.5	Funktionsgleichungen	58
13.7.6	Digitalschaltung mit 3 Eingängen	58
13.7.7	Digitalschaltung mit 4 Eingängen	61
13.7.8	BAX-Hilfstabellen der Digitalschaltung mit 4 Eingängen	64
13.7.9	Entwicklung der Funktionsgleichung	66
13.8	Schaltungsentwicklung	70
13.9	Eine Alarmanlage	70
13.9.1	Aufgabe	70
13.9.2	Blockschaltbild	70
13.9.3	Vorgaben	71
13.9.4	Logikpegel	72
13.9.5	Wahrheitstabelle	73
13.9.6	Schaltung der Alarmanlage	74
13.9.7	Praktischer Aufbau	76
13.10	Stichwortverzeichnis	78

13 Digitalpraxis

13.1 Einleitung

Begriffe wie Digital, BCD (**binär codiert dezimal**, ein Binär-Code), PROM (**programable read only memory**, ein programmierbarer Halbleiter-Festwertspeicher), RAM (**random access memory**, ein Halbleiter-Schreib- und Lese-Speicher), EPROM (**erasable programable read only memory**, ein programmier- und wieder löschbarer Festwertspeicher) und IC (**integrated circuit**, integrierte Schaltung, auch Chip genannt) sind heute aus der modernen Elektronik nicht mehr wegzudenken. Besonders ein Teilgebiet dieser modernen Elektronik hat in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen: Die *Digitaltechnik*, deren wohl populärste Ergebnisse die heutigen Taschenrechner und Personal-Computer (PC) sind. Die Digitaltechnik hat sich innert einer rasend kurzen Zeit viele Bereiche von Naturwissenschaft und Technik erobert. Parallel dazu lässt sich ein immer stärkeres Eindringen in benachbarte Gebiete wie etwa Industrie- und Unterhaltungselektronik, Funktechnik, Telefonie und Messtechnik erkennen.

Als Folge einer derart grossen Verbreitung werden Angehörige verschiedenster Berufsschichten und mit unterschiedlichsten Ausbildungsniveaus mit einer für sie nicht selten völlig *neuen Materie* konfrontiert. So ist wohl auch die Tatsache zu sehen, dass die Lizenzbehörden mehr und mehr bei den Lizenzprüfungen Kenntnisse in Digitaltechnik verlangen. ILT trägt diesem Umstand Rechnung in Form dieser *Digitalpraxis 1*, in der die Grundzüge der Digitaltechnik in Theorie und *Praxis* behandelt werden.

In der *Digitalpraxis 1* wird vom grossen Gebiet der Digitaltechnik dasjenige Wissen und viel Praxis vermittelt, welche zum sicheren Bestehen der Lizenzprüfung notwendig sind. Wir halten es nicht für sinnvoll, den ILT-Amateurfunk-Lehrgang durch zuviel Wissen aufzublähen, das an der Lizenzprüfung ohnehin nicht gebraucht wird. Weit besser ist es daher, die Digitaltechnik in drei Teilen zu vermitteln. So ist allen Studierenden am besten gedient. Diejenigen, die nur soviel Digitaltechnik lernen wollen, wie sie unbedingt zum Bestehen der Lizenzprüfung brauchen, sind mit dem seriösen Durcharbeiten dieser *Digitalpraxis 1* bestens bedient. Für die angehenden (oder schon gestandenen) Profis aber ist dieser Band sicher ein vergnüglicher (Wieder-) Einstieg. Und wer weiss, vielleicht animiert die *Digitalpraxis 1* auch den (Noch-) Anfänger dazu, sich intensiver mit der Digitaltechnik zu befassen? Der Theoretiker schätzt die praktischen Übungen, während der Praktiker gerne einmal zu Taschenrechner und Wahrheitstabelle greift.

13.1.1 ILT-Digiboard

Eine Schwierigkeit beim Aufbau der *Digitalpraxis 1* bestand darin, aus der gesamten Digitaltechnik nur das herauszusuchen, was dem Lizenzanwärter nützt, ohne ihn zusätzlich zu belasten. Besonders wichtig war für ILT die *Praxis*, denn Digitaltechnik lernt man nicht nur mit grauer Theorie allein. Vor allem der Anfänger muss einmal erleben, wie die einzelnen Digitalschaltungen arbeiten und zueinander in Beziehung stehen. Wir freuen uns deshalb, dass wir den ILT-Laborleiter *Herbert Frehner* gewinnen konnten, mit seiner grossen Erfahrung tatkräftig beim Aufbau der gesamten Studienreihe *Digitalpraxis* mitzuarbeiten. Er hat es verstanden, den Grundgedanken von *Ludwig F. Drapalik* und der ILT-Philosophie Gestalt zu verleihen. Für das praktische Beschäftigen mit der Digitaltechnik hat er das *ILT-Digiboard* entwickelt, das die Studierenden Schritt für Schritt in die Geheimnisse der Digitaltechnik einführt. Dieser eigentliche Digitaltrainer ist zudem noch so konstruiert, dass damit auch weitergehenden Experimente bis hin zum Mikroprozessor absolviert werden können. Das ILT-Digiboard haben wir zusammen mit entsprechenden Kabeln, ICs, einer Arbeitsmappe und einem Netzgerät in einen praktischen Koffer verpackt.

13.1.2 Sinnvolle Praxis

Das ILT-Digiboard ermöglicht es in geradezu idealer Weise, das erlernte theoretische Wissen sinnvoll mit gezielter Praxis anzureichern. Im Amateurfunk-Studium wird der *ILT-Digitrainer* an den Labor-Abenden vorgestellt und eingesetzt. Das Digiboard ist auch bei vielen weiteren Studien der ILT-Digitalpraxis ein unentbehrliches Instrument, um weiter in die Digitaltechnik einzusteigen. Weil besonders in der Digitaltechnik Theorie nur *mit sinnvollen Praxis-Versuchen* wirklich fundiert zu erlernen ist, erachten wir es als wichtig, mit dem Digitrainer möglichst oft gezielt zu arbeiten. Sinnvolle Praxis heisst für ILT auch das seriöse Durcharbeiten der Grundversuche. Denn was nützt es, zum Beispiel einen Dezimal-Zähler oder einen Volladdierer zusammenzustecken, ohne dabei zu wissen, wie sie funktionieren. ILT hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Digitaltechnik so zu vermitteln, dass sie auch verstanden wird. Nur so ist der Lerngewinn am grössten. Die effiziente Kombination von Theorie und Praxis bringt entscheidende Vorteile beim Verständnis der faszinierenden Digitaltechnik.

An der ILT-Schule werden für die verschiedenen Stufen der Digitaltechnik entsprechende Kurse angeboten. Der Kurs der *Digitalpraxis 1* dauert drei Schulabende, diejenigen der *Digitalpraxis 2* fünf Abende und *Digitalpraxis 3* sechs Schulabende. In diesen Studien wird die ganze Bandbreite der Digitaltechnik in einer sinnvollen Kombination von Theorie und Praxis vermittelt. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass bereits in der *Digitalpraxis 1* (im ILT-Studium Amateurfunktechnik integriert) *echte praktische Anwendungen* der Digitaltechnik gezeigt und auf dem Digiboard aufgebaut werden: Wir werden eine Alarmanlage konstruieren. So wird die oftmals komplexe und verwirrende Digitaltechnik besonders für den Anfänger wohlthuend transparent. Eine solche Kombination von Theorie und Praxis findet man in der übrigen Literatur kaum. Deshalb hat die ILT-Digitalpraxis auch einen besonderen Stellenwert.

13.2 Grundbegriffe

Die Begriffe «analog» und «digital» kommen aus der Rechentechnik und wurden dann für die gesamte Elektronik übernommen. Um die gleiche Sprache zu sprechen, werden am Anfang einige Grundbegriffe erklärt.

13.2.1 Analog

Das Wort «analog» bedeutet soviel wie entsprechend. So werden in der Analogtechnik physikalische Grössen (z.B. Temperatur, Druck) in ein entsprechendes, eben *analoges* elektrisches Signal umgeformt. So hat zum Beispiel ein analoges Signal einen kontinuierlichen Verlauf (**Bild 1**) und ist daher ein stetiges Abbild der entsprechenden Grösse. Jedes konventionelle Zeigerinstrument zeigt das Messergebnis als Zeigerausschlag und wird daher als analoges Messinstrument bezeichnet. Die einfache Waage im Lebensmittelladen zum Beispiel zeigt das Gewicht in analoger Form. Die Genauigkeit hängt neben der Qualität der Waage weitgehend davon ab, wie breit Zeigerspitze und Gewichtsskala sind und wie scharf der Blick des Verkäufers ist.

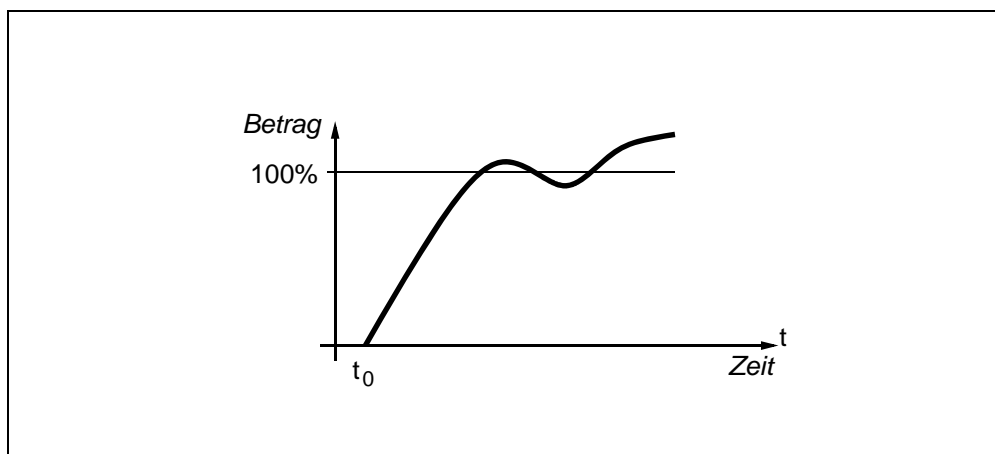


Bild 1: Ein analoges Signal kennt beliebig viele Zustände.

Die Genauigkeit der Darstellung analoger Grössen hängt davon ab, mit welcher Genauigkeit die Analoggrösse überhaupt gemessen werden kann. Man stösst hier schnell an physikalische Grenzen, so ist zum Beispiel der Ablesewinkel entscheidend. Wir verlassen uns täglich auf analoge Anzeigen, wie etwa die Geschwindigkeitsangabe im Fahrzeug. Ein einfacher Analogrechner ist zum Beispiel der altbewährte Rechenschieber. Als Analogiegrösse verwendet man die Länge. Diese ist den Zahlenwerten entsprechend einem logarithmischen Massstab zugeordnet. Die Analoganzeigen haben dann gegenüber digitalen Systemen Vorteile, wenn kontinuierlich sich ändernde Signale dargestellt werden sol-

len. Unser menschlicher Verstand kann eben einen *kontinuierlichen* Verlauf in analoger Art besser aufnehmen und verstehen als in digitaler Darstellung.

13.2.2 Digital

Obwohl das Wort digital heute im täglichen Sprachgebrauch steht, bedarf es doch einer Erläuterung. Digital kommt von *digitus* (lat.: der Finger, in der Bedeutung aber auch Zahl) und bedeutet einfach ziffernmässig. Unter einem digitalen Signal versteht man somit ein Signal konstanter Grösse, das nur zwei Zustände kennt. So ergibt sich beim Öffnen und Schliessen eines Schalters ein Signaltbild gemäss **Bild 2**.

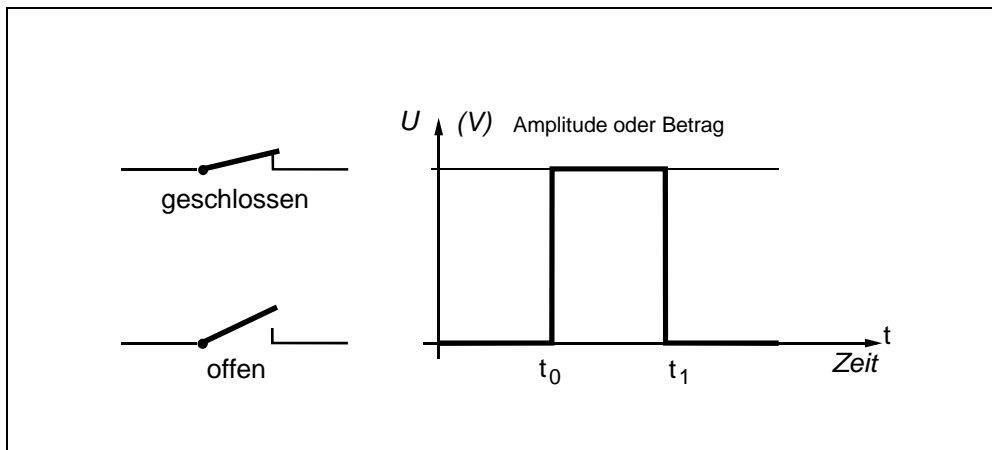


Bild 2: Ein digitales Signal kennt nur zwei Zustände.

13.2.3 Vorteile der Digitaltechnik

Einer der Vorteile des Digitalprinzips zeigt sich zum Beispiel bei digitalen Messgeräten. Im Gegensatz zu den analogen Messgeräten sind der Ablesegenauigkeit praktisch keine Grenzen gesetzt. Wenn man etwa eine Spannung von 0,995 Volt mit einem herkömmlichen Zeigermessinstrument messen möchte, könnte man diesen Wert in der hier erforderlichen Genauigkeit von 1/1000 V nicht ablesen.

Die genaue Zeigerdarstellung ist eben nur bedingt genau. Anders ist es bei digitalen Systemen. Hier braucht man nur die zu messende Grösse mit einem möglichst kleinen (Spannungs)-Teil zu vergleichen. Wählt man zum Beispiel einen kleinsten Teil von einem Tausendstel Volt, kann man den gemessenen Wert bereits auf *drei* Stellen nach dem Komma bestimmen. Man braucht nur noch abzuzählen, wieviele Einheiten (wieviel Tausendstel Volt) in der Spannungsgrösse enthalten sind, und schon hat man eine exakte Angabe der gemessenen Spannung. Reduziert man den kleinsten Teil auf ein Millionstel Volt, dann wird die gemessene Spannung auf *sechs* Stellen nach dem Komma angezeigt! Und zwar mit

konkreten Zahlen, die letzten Stellen müssen nicht wie bei analogen Anzeigen geschätzt werden. Das zeigt sich sehr schnell am Beispiel der Geschwindigkeitskontrolle auf der Strasse: Ist man nun 60 km/h oder 61 km/h schnell gefahren?

Ablesefehler werden bei den Digitalanzeigen praktisch ausgeschlossen. Die letzte Stelle ist in ihrer Genauigkeit allerdings abhängig von der Messgenauigkeit des Instrumentes. Da digitale Grössen aus abzählbaren Elementen bestehen, verwendet man zur Darstellung Zahlen oder Ziffern. Eine ziffernmässige Anzeige wird *digitale* Anzeige genannt, ein Messgerät oder ein Multimeter mit digitaler Anzeige wird oft auch kurz als Digital-Multimeter bezeichnet. Uhren mit springenden Ziffernanzeigen sind demzufolge Digitaluhren. Ebenso wird die moderne digitale Waage im Lebensmittelgeschäft das Gewicht in exakten Zahlen auf das Gramm genau angeben.

In der Elektronik kommen digitale Formen der Signal-Verarbeitung und -Anzeige immer häufiger vor. Zu gross sind deren Vorteile. In der elektronischen Datenverarbeitung (EDV), bei der professionellen Nachrichtenübertragung und in der Steuerungstechnik überwiegen digitale Systeme, aber auch in der Unterhaltungselektronik und beim Fernsehen sowie bei unseren Amateurfunkgeräten drängt sich die Digitaltechnik immer weiter vor. Die grosse Verbreitung digitaler Systeme ist allerdings erst durch den Einsatz moderner integrierter Schaltungen (IC) möglich und sinnvoll geworden.

13.2.4 Binäre und logische Zustände

Eine digitale Grösse besteht aus abzählbaren Elementen. Diese einzelnen Elemente haben in der Digitaltechnik immer nur *zwei* Zustände, sind also zweiwertig. Diese Zweiwertigkeit wird mit dem Begriff *binär*. (lat.: bin = zweimal) bezeichnet.

Das **Bild 3** zeigt einige Beispiele für binäre Zustände.

Erster Zustand	Zweiter Zustand	Beispiele
Schalter offen	Schalter geschlossen	Elektrotechnik
Lampe leuchtet nicht	Lampe leuchtet	Elektrotechnik
Zustand 'nicht wahr'	Zustand 'wahr'	Allgemein, Digitaltechnik
Zustand 'nicht zutreffend'	Zustand 'zutreffend'	Allgemein, Digitaltechnik
Impuls nicht vorhanden	Impuls vorhanden	Elektronik, Digitaltechnik
Transistor nicht leitend	Transistor leitend	Elektronik, Digitaltechnik
Spannung tief	Spannung hoch	Allgemein
Magnetischer Zustand 1	magnetischer Zustand 2	Digitale Aufzeichnung (Diskette, Harddisk, MiniDisc)
Logisch 0 (Null)	logisch 1 (Eins)	Digitaltechnik
Logisch L (low = tief)	logisch H (high = hoch)	Digitaltechnik

Bild 3: Binäre Zustände.

Ein Schalter ist geschlossen oder offen, ein Transistor ist leitend oder nicht leitend (gesperrt), eine Spannung ist vorhanden oder nicht vorhanden. Und der Zustand einer Logikschaltung ist 'wahr' oder 'nicht wahr'. Oder eine Spannung hat einen vereinbarten oberen Wert (z. B. 5 Volt) oder einen vereinbarten unteren Wert (z.B. 0 Volt).

Diesen beiden binären Zuständen müssen nun noch genau definierte Spannungsbereiche zugeordnet werden. Dann kann man den beiden binären Zuständen logische Werte zuordnen. In der Praxis wird für den *niederen* Spannungsbereich (0...0,8 Volt) das Zeichen «0» (*Null*) gewählt, für den *hohen* Spannungsbereich (2,0...5,0 Volt) das Zeichen «1» (*Eins*). Der Bereich dazwischen wird als verbotener Zustand bezeichnet. In diesem Bereich wird im Allgemeinen auch nicht gearbeitet. Der untere Spannungspegel wird auch mit L (von engl.: low = tief, niedrig) bezeichnet. Dann ist der höhere Spannungspegel H (von engl.: high = hoch).

13.2.5 Bit und Byte

Digitale Grössen werden in der Elektrotechnik meist in binärer Form, das heisst durch Zeichen mit zwei verschiedenen Werten dargestellt. Die Zeichen für diese beiden Werte sind 0 und 1. Ein Binärzeichen heisst Bit. Acht solche Bits bedeuten ein Byte, ein Begriff, wie er vor allem in der Computertechnik verwendet wird. Da ein Byte aus 8 Bits be-

steht, lassen sich so maximal 2^8 (= 256 verschiedene Zeichen) darstellen. 2^9 geben 512 Bits, 2^{10} 1024 Bits (= 1kBit, sprich ein Kilobit). Obwohl 1 kBit genaugenommen eigentlich nur 1000 Bits wären, wird auch bei 1024 Bit von einem Kilobit gesprochen. Und so sind 2048 Bits eben auch 2 Kilobit.

Binärzeichen haben immer zwei unterschiedliche Werte, zum Beispiel 0 oder 1. In der Digitaltechnik werden nun Zahlen und andere Zeichen (zum Beispiel Buchstaben) durch binäre Verschlüsselungen (Codes) dargestellt. Einer dieser Codes ist der Dualcode. Durch das Aneinanderreihen mehrerer Nullen und Einsen (zum Beispiel 0011 für die Zahl '3') kann man das duale Zahlensystem aufbauen. Ein anderer Code, der vor allem in der Digital- und Computertechnik zum Anzeigen von Buchstaben, Zahlen und Zeichen gebraucht wird, heisst *ASCII-Code* (**a**merican **s**tandard **c**ode for **i**nformation **i**nterchange, amerikanischer Standard-Code für Informations-Austausch). Mehr über Codes erfahren Sie in der *ILT-Digitalpraxis 2*.

Nun ist aber erst einmal eine Kaffeepause fällig! Überdenken Sie das bisher gelesene und machen Sie sich allfällige Notizen und Beispiele.

13.3 Zahlensysteme

13.3.1 Dezimalsystem

Neben dem uns gut vertrauten Dezimalsystem (*Bild 5*) gibt es noch weitere für uns wichtige Zahlensysteme: Das Dualsystem (*Bild 6*) und das Hexadezimalsystem. Anstelle vom Dualsystem wird heute meist vom Binärsystem gesprochen. *Bild 7* zeigt eine Übersicht des Dezimal- und des Binärsystems. Das Binärsystem wird in der Digitaltechnik angewendet, das Hexadezimalsystem in der Computertechnik. Das Dezimalsystem hat die Basis 10, das Binärsystem die Basis 2 und das Hexadezimalsystem die Basis 16. Das Hexadezimalsystem wird erst in der *Digitalpraxis 2* beschrieben.

13.3.2 Binärsystem

Das binäre Zahlensystem ist unserem Dezimalsystem sehr ähnlich, hat aber zwei Ziffern anstelle von 10 (beim Dezimalsystem). Im Binärsystem kann man selbstverständlich auch rechnen, also addieren, subtrahieren, multiplizieren und dividieren. Dies wird im Detail ebenfalls erst in der *ILT-Digitalpraxis 2* behandelt. Damit wir davon aber mindestens eine Ahnung bekommen, betrachten wir einmal eine Addition genauer. Vergleichen wir doch einmal in *Bild 4* die Bildung des Übertrages bei einer einfachen Addition im Dezimalsystem und im Binärsystem.

Bildung des Übertrags im Dezimal- und Binärsystem		
	Dezimalsystem	Binärsystem
	9	1
	+ 1	+1
(Übertrag)	$\frac{1}{10_{(D)}}$	$\frac{1}{10_{(B)}}$

Bild 4: Übertrag im Dezimal- und Binärsystem.

Gehen wir vom uns eher vertrauten Dezimalsystem aus. Im Dezimalsystem kommt beim Zählen nach der Neun eine weitere Stelle dazu, die hintere Stelle beginnt wieder mit Null. So entsteht bei der Addition einer Eins und einer Neun die Zahl Zehn (10). Beim Binär-System vollzieht sich dieser Übertrag bereits nach der zweiten Ziffer, es entsteht nach der Addition zweier Einsen eine Zahl «10». Diese Zahl wird Eins-Null gesprochen, damit man bereits aus der Sprechweise einen Unterschied zwischen dem Binär- und Dezimal-System heraushört.

Das binäre Zahlensystem braucht zur Darstellung von Zahlen mehr Stellen als das dezimale. Da es aber nur *zwei* Zustände gibt, eignet es sich für die Digitaltechnik ganz besonders gut. Digitale Systeme können zwar nur bis zwei zählen,

das aber rasend schnell. Deshalb ist ein digitales System (zum Beispiel ein Taschenrechner oder eben ein Computer) in Punkto Geschwindigkeit dem menschlichen Gehirn weit überlegen. Und es rechnet erst noch ohne Fehler!

Und in der digitalen Steuerungstechnik wird nicht nur das mechanische Relais ersetzt, sondern es ergeben sich ganz neue Möglichkeiten, Schaltfunktionen miteinander zu verknüpfen. Solche Verknüpfungen haben meist logische Abläufe und folgen verschiedenartigen Gesetzmässigkeiten.

Kaum jemand macht sich heute noch Gedanken darüber, was sich intern in einem Taschenrechner oder Computer abspielt, wenn wir zwei Zahlen miteinander multiplizieren, in einem Textverarbeitungsprogramm oder mit einer Tabellenkalkulation arbeiten. Taschenrechner und Computer sind schon fast zum Allgemeingut geworden, so wie früher vielleicht Zählrahmen und Rechenschieber.

13.3.3 Bezeichnung der verschiedenen Zahlensysteme

Damit man bei der Darstellung von Zahlen weiss, welches System gemeint ist, werden die Zahlen mit Indizes ergänzt: D (für Dezimal), B (für Binär) und H (für Hexadezimal). Eine Zahl in dezimaler Darstellung wird als $Z_{(D)}$ bezeichnet. $2458_{(D)}$ bezeichnet also zum Beispiel die Dezimalzahl 2458; $0110_{(B)}$ die Binärzahl 0110 (sprich Null-Eins-Eins-Null) bezeichnet die Zahl $6_{(D)}$. In der Literatur findet man für Dezimalzahlen auch die Bezeichnung $Z_{(10)}$ und für Binärzahlen $Z_{(2)}$.

13.3.4 Aufbau der beiden Zahlensysteme Dezimal und Binär

Beim Dezimalsystem (lat.: decum = 10) gilt:

Basis: 10
Ziffern: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Aufbau:

3 6 7 9			

13.3.5 Übersicht Dezimal- und Binär

Dezimalsystem: $Z_{(D)}$	Binärsystem: $Z_{(B)}$
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

Bild 7: Übersicht des Dezimal- und Binär-Zahlen-Systems. Der Wert Dezimal 5 entspricht dem Wert Binär 0101 (Sprich: Null-Eins-Null-Eins).

13.3.6 Darstellung grösserer Zahlen

Beim Zählen im Binärsystem beginnt man immer *ganz rechts* mit 0 (0000, **Bild 7**). Dann folgt eine dezimale 1 (binär: 0001). Zum Weiterzählen auf dezimal 2 schreibt man in eine neue Stelle weiter links die Binärziffer 1, und in der ersten Stelle *ganz rechts* beginnt man wieder mit Null ($2_{(D)} = 0010_{(B)}$). Bei dezimal 3 wechselt die erste binäre Stelle wieder auf 1 ($0011_{(B)}$). Will man nun weiter zählen (auf dezimal 4), so wird eine dritte Stelle nötig ($0100_{(B)}$). In der ersten und zweiten Stelle beginnt man wieder mit 0, also $0100_{(B)}$. Die nächste Zahl (dezimal 5) heisst binär $0101_{(B)}$, gefolgt von

dezimal $6 = 0110_{(B)}$ und dezimal $7 = 0111_{(B)}$. Es folgt die vierte und weitere Stellen. Zur Darstellung der ersten 16 Zahlen (0 bis 15) sind vier Stellen, das heisst vier Bit, nötig. Mit 5 Binärstellen lassen sich doppelt so viele Zahlen, nämlich $2^5 = 32$ darstellen. Als 'Sechzehner' (2^4) wird bei der Binärzahl einfach eine weitere Stelle dazu gestellt. So wird $16_{(D)}$ zu $10000_{(B)}$ und $17_{(D)}$ $10001_{(B)}$. Und bei Zahlen die grösser sind als Dezimal 31, kommt als weitere Stelle ein 'Zweiunddreissiger' (2^5) dazu. 2^6 bedeuten ein 'Vierundsechziger' und 2^7 ein 'Hundertachtundzwanziger' und so weiter. Auf diese Weise lassen sich im Binär-System alle beliebigen Zahlen darstellen.

13.3.7 Umwandlungen der Zahlensysteme

Die einzelnen Zahlensysteme lassen sich gegenseitig umwandeln. Obwohl wir in der *Digitalpraxis 1* eigentlich keine Umwandlungen besprechen, lässt sich mit der Darstellung in **Bild 6** eine Binärzahl besonders einfach in eine Dezimalzahl verwandeln.

Dezimalzahlen können auch in Dezimalwerte zerlegt werden (**Bild 5**). Dazu teilt man die Dezimalzahl von *rechts* nach *links*, also von 'hinten' in Zehnerpotenzen auf, also in 10^0 (Einer), 10^1 (Zehner), 10^2 (Hunderter), 10^3 (Tausender), 10^4 (Zehntausender) und so weiter. Dann addiert man ganz einfach die erhaltenen Zahlenwerte und erhält so wieder die ursprüngliche Dezimalzahl.

Binärzahlen werden umgewandelt, indem man an die '1'-Stellen, also die Stellen, die mit einer '1' bezeichnet sind, die entsprechende *Zweierpotenz* einsetzt. Man teilt so die Binärzahl von rechts nach links, also von 'hinten' in 2^0 (Einer), 2^1 (Zweier), 2^2 (Vierer), 2^3 (Achter), 2^4 (Sechzehner), 2^5 (Zweiunddreissiger) und so weiter auf und addiert ganz einfach die erhaltenen Binärwerte.

Machen Sie doch ein paar solche Übungen, damit wird Ihnen das Wesen der Binärzahlen schnell klar und die Umwandlungen machen keine Probleme mehr.

13.4 Logische Verknüpfungen

Eine digitale Steuerung besteht in der Regel aus drei Baustufen: einem Eingangsteil, einem befehls- oder signalverarbeitenden Teil und einem Ausgangsteil. Sind nun in einer Steuerung (**Bild 8**) zwei oder mehrere Eingangsvariablen (Signalgeber) vorhanden, so müssen die einzelnen Steuersignale zusammengeführt und zu einem Ausgangssignal verarbeitet werden. Eine solche Signalverarbeitung ist aber technisch nur dann sinnvoll gelöst, wenn zwischen den Eingangssignalen und dem Ausgangssignal feste Gesetzmässigkeiten und folgerichtige, das heisst logische Zusammenhänge bestehen. Derartige Zusammenhänge werden als logische Verknüpfungen bezeichnet.

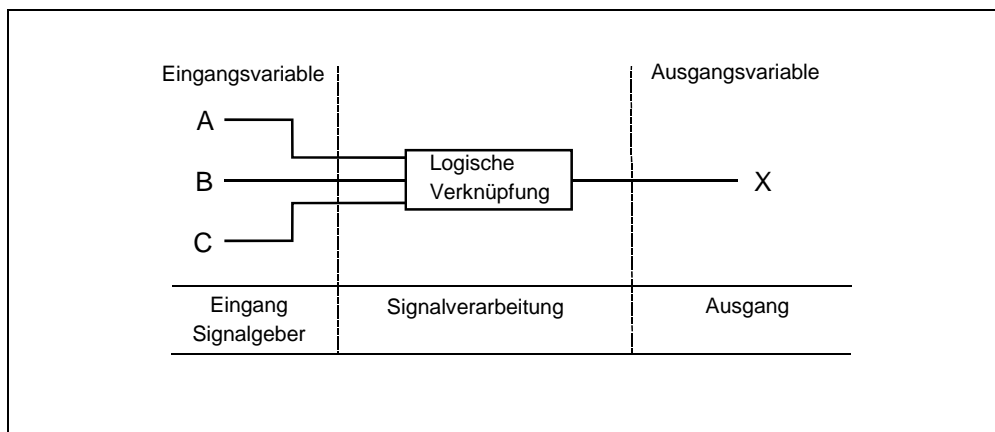


Bild 8: Blockschaltbild einer digitalen Steuerung.

Jede logische Verknüpfung, auch die umfangreichste lässt sich auf eine Kombination von einigen Grund-Verknüpfungen (auch Grundglieder genannt) zurückführen. Es sind dies UND (AND), ODER (OR) und NICHT (NOT) -Glieder, sowie NAND (NOT-AND, also NICHT-UND) und NOR- (NOT-OR, also NICHT-ODER) -Glieder. Da sich auch im deutschsprachigen Raum die englischen Ausdrücke durchgesetzt haben, werden wir künftig vorwiegend diese verwenden.

13.4.1 AND-Verknüpfung

Der Satz «Wenn morgen schönes Wetter ist *und* mein Freund Zeit hat, gehen wir zusammen segeln» enthält eine UND-Verknüpfung (englisch AND genannt). Die Aussage A (schönes Wetter) *und* die Aussage B (mein Freund hat Zeit) müssen zutreffen, also wahr sein, damit die Aussage X (zusammen segeln gehen) zutreffend oder wahr wird. Wir können auch eine «funkspezifische» Aussage formulieren: Wenn das Funkgerät eingeschaltet ist (Aussage A), *und* ich die Morsetaste drücke (Aussage B), soll das Gerät ein HF-Signal abgeben (Aussage X). Diese Zusammenhänge werden in einer Wahrheitstabelle (**Bild 9**) dargestellt. Das wahre, bzw. zutreffende Ergebnis ist nur beim Fall 3 so.

Fall	B	A	X	Ergebnis
0	0	0	0	nicht zutreffend, nicht wahr
1	0	1	0	nicht zutreffend, nicht wahr
2	1	0	0	nicht zutreffend, nicht wahr
3	1	1	1	zutreffend, wahr

Bild 9: Wahrheitstabelle einer AND-Verknüpfung.

13.4.2 Aufstellung einer Wahrheitstabelle

In der Digitaltechnik beginnt man immer mit 0 zu zählen, deshalb ist der erste Fall auch mit einer Null bezeichnet. Die Fallnummern geben den Dezimalwert der entsprechenden Binärzahl (Spalte A, B) an. Der Fall 0_(D) ist somit Binär 00, der Fall 1_(D) ist Binär 01, der Fall 2_(D) ist Binär 10, der Fall 3_(D) ist Binär 11. In **Bild 9** sieht man eine erweiterte Wahrheitstabelle (mit Ergebnisspalte).

Auf die vorangegangenen Beispiele bezogen bedeutet der Zustand «1» «wahr», «zutreffend», bzw. «eingeschaltet», «gedrückt». Der Zustand «0» bedeutet «nicht wahr», «nicht zutreffend», bzw. «ausgeschaltet», «ungedrückt». Bei 2 Eingängen sind 4 (= 2²) Fälle von 0 bis 3 (Kombinationen) möglich. Bei 3 Eingängen ergeben sich 8 (= 2³) Fälle von 0 bis 7, bei 4 Eingängen 16 (= 2⁴) Fälle von 0 bis 15.

Bei der Aufstellung der Wahrheitstabelle muss aufgepasst werden, dass man alle möglichen Fälle berücksichtigt und gleichzeitig keinen doppelt aufführt. Dabei geht man nach folgendem Schema vor: Der erste Eingang (Eingang A) wechselt von Fall zu Fall den Zustand. Dieser Eingang A ist gleich links neben der vertikalen Doppellinie aufgeführt. Der zweite Eingang (Eingang B) wechselt nach jeweils 2 Fällen den Zustand. Wäre noch ein dritter Eingang vorhanden (Eingang C), so würde dieser nach 4 Fällen den Zustand wechseln (→Wahrheitstabelle in **Bild 47**). Der oder die Ausgänge (meist mit X, Y, oder Z oder aber auch mit Q oder Q₁ und Q₂ bezeichnet) sind jeweils rechts neben der Doppellinie aufgeführt. Die Eingänge können auch mit E₁, E₂ oder E₃ bezeichnet werden. Dieses Schema hat sich in der Praxis bewährt. Alle Wahrheitstabellen in der ILT-Digitalpraxis sind nach diesem Schema aufgebaut.

Soll eine Wahrheitstabelle abgearbeitet werden, so ist immer mit dem ersten Fall zu beginnen (Zeile 0) und beim letzten Fall (letzte Zeile) zu enden. So ist sichergestellt, dass man keinen der Fälle vergessen hat.

13.4.3 AND-Verknüpfung mit Schalter

Betrachten wir dazu **Bild 10**. Die Spannungsquelle (Batterie) ist über die beiden Schalter A und B mit der Glühlampe verbunden.

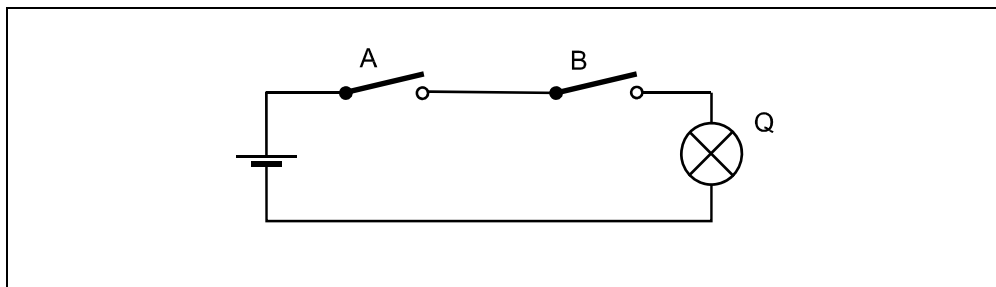


Bild 10: AND-Verknüpfung mit Schalter.

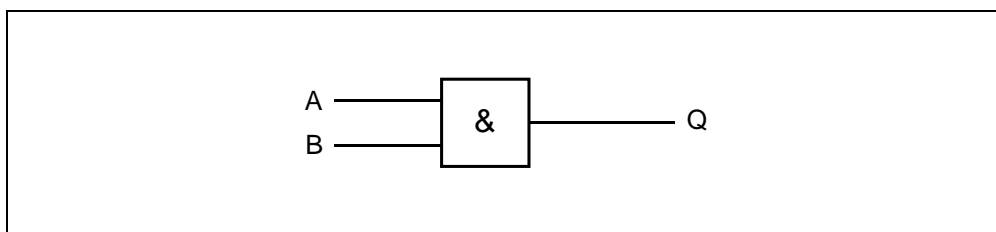


Bild 11: Schaltzeichen eines AND-Gliedes.

Wird keiner der Schalter geschlossen (in der Wahrheitstabelle Fall 0) oder nur einer der beiden Schalter geschlossen (in der Wahrheitstabelle die Fälle 1 und 2), so leuchtet die Glühlampe nicht. Erst wenn Schalter *A und B* geschlossen sind (Fall 3), leuchtet die Lampe. Diese Lampenschaltung kann ausser mit mechanischen Schaltern auch mit Transistoren oder Dioden realisiert werden. In der heutigen Praxis werden dazu durchwegs integrierte Schaltungen (IC) gebraucht. Und was ebenso wichtig ist: In der Regel interessiert sich der Anwender nicht dafür, was in einem solchen IC drin steckt. Er betrachtet den Baustein als eine Art «Black Box» (**Bild 11**), bei der nur der Zustand des Ausgangs (hier Q) in Abhängigkeit der Eingänge (hier A, B) wichtig ist. Das genaue Innenleben interessiert nicht mehr. Deshalb verzichten wir hier auch auf die Darstellung der entsprechenden Dioden- oder Transistor-Schaltungen. Dagegen wollen wir uns in diesem Fall noch eine erweiterte Wahrheitstabelle anschauen (**Bild 12**). In der rechten Spalte ganz aussen (rechts vom dicken Doppelstrich) haben wir noch den Zustand der Lampe in der Schaltung gemäss **Bild 10** angezeigt: Also ob die Lampe *leuchtet* oder *nicht leuchtet*. Auf diese Weise lässt sich der logische Zustand des Ausgangs Q sehr einfach überprüfen und nachvollziehen.

Fall	B	A	Q	Lampe
0	0	0	0	leuchtet nicht
1	0	1	0	leuchtet nicht

2	1	0	0	leuchtet nicht
3	1	1	1	leuchtet

Bild 12: Erweiterte Wahrheitstabelle einer AND-Verknüpfung (mit Lampen-Anzeige).

Eine logische Verknüpfung (elektronische Schaltung), bei der am Ausgang Q nur dann Zustand 1 herrscht, wenn am Eingang A *und* am Eingang B (oder an allen Eingängen) die Zustände 1 anliegen, wird als AND-Element, AND-Glied oder AND-Gatter bezeichnet.

Es gibt in der Literatur noch andere Verknüpfungszeichen. Diese werden aber in der *Digitalpraxis I* wegen einer sonst möglichen Verwirrung erst in Abschnitt 1.5.10 gezeigt. In den Grundkapiteln beschränken uns auf die heute genormten Zeichen (nach der IEC-Norm), wie sie auch an der Lizenzprüfung vorkommen.

Die AND-Verknüpfung kann auch mathematisch mit Hilfe der Schaltalgebra ausgedrückt werden:

$$Q = A \wedge B \tag{1}$$

Das \wedge -Zeichen bedeutet «und», es wird auch als «und» gesprochen. Beim Arbeiten mit der Schaltalgebra wird für die AND-Verknüpfung auch oft das \wedge -Zeichen weggelassen. Es heisst dann einfach noch:

$$Q = AB \tag{2}$$

Bei einer Gleichung, bei der zwischen den Eingangsbezeichnungen kein Funktionszeichen angegeben ist, handelt es sich immer um eine AND-Verknüpfung.

Wichtige Aussagen zum AND-Glied:

1. Am Ausgang eines AND-Gliedes herrscht nur dann der Zustand 1, wenn an Eingang A *und* Eingang B bzw. an *allen* Eingängen der Zustand 1 anliegt.

2. Wenn ein Eingang 0 ist, ist der Ausgang immer 0. Ist also ein Eingang 0, so hat ein Ändern des zweiten Eingangs keinen Einfluss auf den Ausgang, das Gatter ist gesperrt.

13.4.4 OR-Verknüpfung

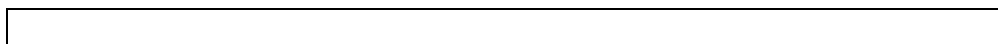
Der Satz «Wenn in einem Funk-Shack, in dem eine Alarmanlage installiert ist, die Türe geöffnet wird, *oder* das Fenster geöffnet wird, *oder* beides miteinander, so soll die Alarmanlage einen Alarm auslösen» enthält eine ODER-Verknüpfung. Die Aussage A (Türe geöffnet) *oder* die Aussage B (Fenster geöffnet) muss zutreffen, also wahr sein, damit die Aussage Q (Alarm auslösen) wahr wird. Dieser Zusammenhang wird in einer Wahrheitstabelle (**Bild 13**) dargestellt.

Fall	B	A	Q
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	1

Bild 13: Wahrheitstabelle einer OR-Verknüpfung.

Der Zustand «1» bedeutet hier Fenster oder Türe offen («wahr» bzw. «zutreffend»). Der Zustand «0» bedeutet Fenster oder Türe geschlossen («unwahr» bzw. «nicht zutreffend»).

Betrachten wir dazu auch **Bild 14**. Die Spannungsquelle ist über zwei parallel liegende Schalter A und B mit der Glühlampe verbunden. Wird nun einer der beiden Schalter A *oder* B (oder beide) geschlossen, leuchtet die Lampe auf.



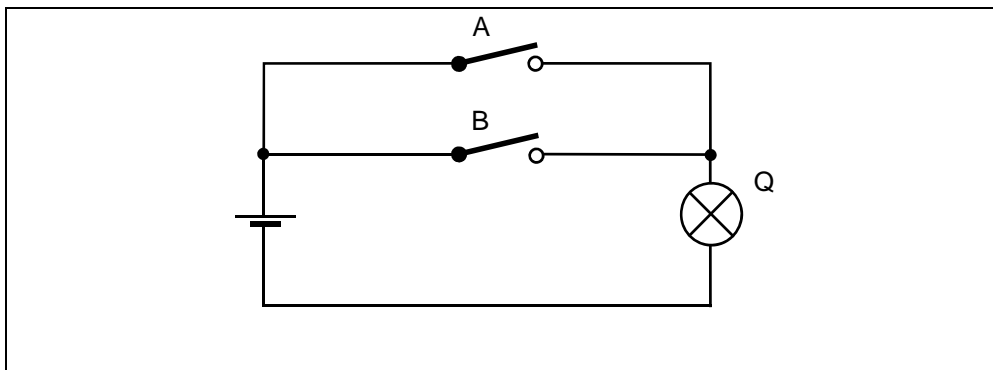


Bild 14: OR-Verknüpfung mit Schalter.

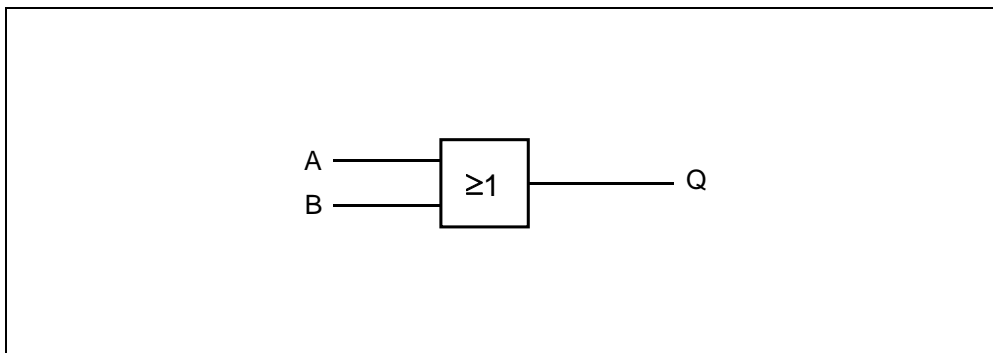


Bild 15: Schaltzeichen eines OR-Gliedes.

Wird keiner der Schalter geschlossen (in der Wahrheitstabelle in **Bild 13** der Fall 0), so leuchtet die Glühlampe nicht. Erst wenn Schalter A *oder* B *oder* beide geschlossen sind (in der Wahrheitstabelle die Fälle 1, 2 und 3), leuchtet die Lampe. **Bild 15** zeigt das Schaltsymbol einer ODER-Schaltung mit den beiden Eingängen A, B und dem Ausgang Q.

Eine logische Verknüpfung, bei der am Ausgang Q nur dann Zustand 1 herrscht, wenn am Eingang A *oder* am Eingang B *oder* an beiden Eingängen die Zustände 1 anliegen, wird als ODER-Element, ODER-Glied oder ODER-Gatter, engl. auch als OR-Glied bezeichnet.

Die ODER-Verknüpfung kann auch mathematisch mit Hilfe der Schaltalgebra ausgedrückt werden:

$$Q = A \vee B$$

(3)

Das \vee - Zeichen bedeutet «oder», es wird auch als «oder» gesprochen.

Wichtige Aussagen zum OR-Glied:

1. Am Ausgang eines OR-Gliedes herrscht nur dann der Zustand 1, wenn am Eingang A *oder* am Eingang B *oder* an allen Eingängen der Zustand 1 anliegt.
2. Wenn ein Eingang 1 ist, ist der Ausgang immer 1. Ist also ein Eingang 1, so hat ein Ändern des zweiten oder eines weiteren Eingangs keinen Einfluss auf den Ausgang.

Die Verknüpfungszeichen \wedge (= und) und \vee (= oder) stammen aus der Mengenlehre. Diese befasst sich ebenfalls mit logischen Verknüpfungen.

13.4.5 NOT-Verknüpfung

Der Satz «Wenn ich am Funken bin, gehe ich *nicht* ins Kino» enthält eine NOT-Verknüpfung, auch Negation genannt. Wenn die Aussage A (ich bin am Funken) wahr ist, ist die Aussage Q (ins Kino gehen) *nicht* wahr. Ist die Aussage A nicht wahr (ich bin nicht am Funken), kann ich ins Kino gehen (Aussage Q wahr). Die zugehörige Wahrheitstabelle (**Bild 16**) hat deshalb nur 2 Fälle.

Fall	A	Q
0	0	1
1	1	0

Bild 16: Wahrheitstabelle einer NOT-Verknüpfung.

Der Zustand «1» bedeutet auch hier «wahr» bzw. «zutreffend». Der Zustand «0» bedeutet «unwahr» bzw. «nicht zutreffend».

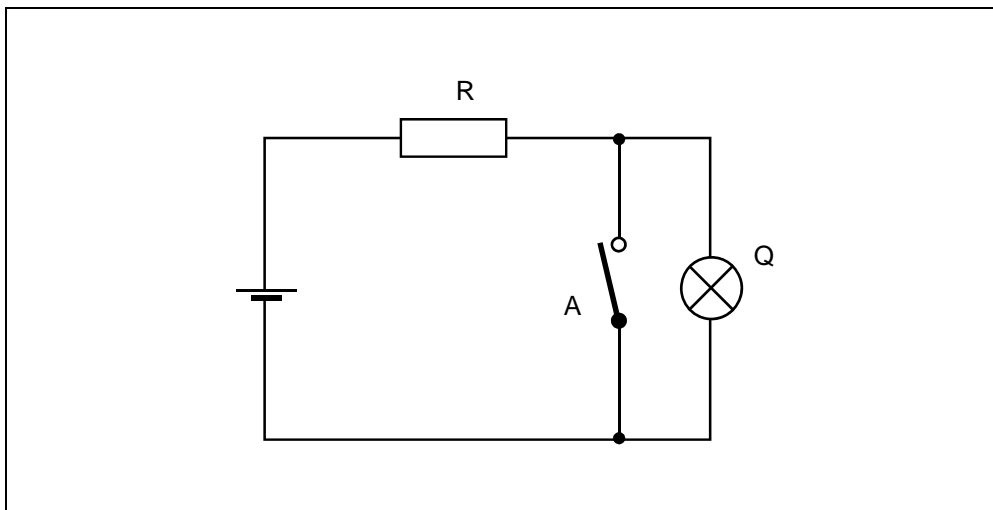


Bild 17: NOT-Verknüpfung mit Schalter.

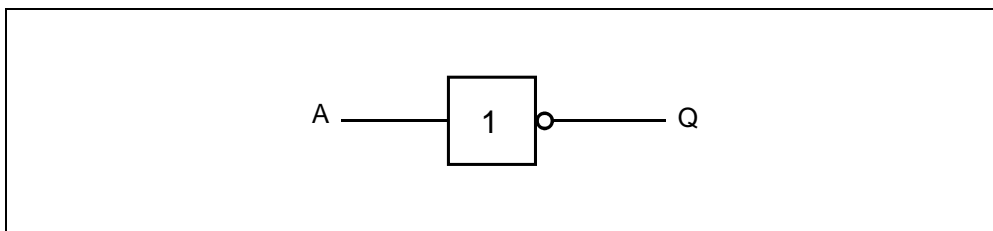


Bild 18: Schaltzeichen eines NOT-Gliedes.

Betrachten wir dazu auch **Bild 17**. Der Strom kann nur durch die Lampe Q fließen (Lampe brennt), wenn der Schalter A *nicht* geschlossen ist. Umgekehrt verlöscht die Lampe, wenn der Schalter A geschlossen ist. Es handelt sich dabei um ein inverses Verhalten, auch Negation oder Umkehrung genannt. Der Widerstand *R* hat nur schaltungstechnische Gründe. Wenn nämlich der Schalter geschlossen ist, würde ohne diesen Widerstand die Spannungsquelle kurzgeschlossen werden. Für die Logikpegel ist er ohne Bedeutung.

Bild 18 zeigt das Schaltzeichen eines NOT-Gliedes mit dem Eingang A und dem Ausgang Q. Der kleine Kreis am Ausgang zeigt die Inversion (Negation oder Umkehrung) des Ausganges an.

Eine logische Verknüpfung, bei der am Ausgang Q immer der umgekehrte (inverse) Zustand wie am Eingang herrscht, wird als NICHT-Element, NICHT-Glied oder NICHT-Gatter, engl. auch als NOT-Glied bezeichnet. NOT-Glieder werden heute vorwiegend Inverter genannt.

Die NOT-Verknüpfung kann auch mathematisch mit Hilfe der Schaltalgebra ausgedrückt werden:

$$Q = \overline{A}$$

(4)

Der übergesetzte Strich ist das Zeichen der Negation. Der Ausgang wird als «A-quer, aber auch als A-nicht» bezeichnet.

Eine NOT-Verknüpfung kann natürlich auch so dargestellt werden:

$$\overline{Q} = A$$

(4a)

Wichtige Aussagen zum NOT-Glied:

Am Ausgang eines NOT-Gliedes herrscht immer der *umgekehrte* (inverse) Zustand wie am Eingang. Wenn also der Eingang eine 1 hat, so entsteht am Ausgang eine 0. Wenn der Eingang eine 0 hat, so entsteht am Ausgang eine 1.

Die Verknüpfungen AND, OR und NOT stellen die Grundfunktionen der digitalen Logik dar. Mit genügend vielen Gliedern AND, OR und NOT lassen sich alle nur denkbaren logischen Verknüpfungen aufbauen. Bei den heutigen modernen integrierten Schaltungen arbeiten allerdings aus technologischen Gründen die AND- und OR-Verknüpfungen vielfach mit einem bereits eingebauten nachfolgenden Inverter und heissen dann NAND- und NOR-Gatter.

13.4.6 NAND-Glied

Schaltet man ein NOT-Glied mit einem AND-Glied zusammen, werden alle Ausgangszustände des AND-Gliedes negiert. Diese Zusammenschaltung wird in den modernen ICs bereits intern gemacht, aus der NOT- und einer AND-Verknüpfung wird dann ein NAND-Glied (aus dem englischen Ausdruck NOT-AND).

Auch hier betrachten wir wieder die Wahrheitstabelle (**Bild 19**). Wenn man diese Wahrheitstabelle mit derjenigen des AND-Gliedes (\rightarrow **Bild 12**) vergleicht, wird man feststellen, dass die Ausgänge alle *negiert* sind, also ein umgekehrtes Verhalten zum AND zeigen.

Man muss diese Wahrheitstabelle nicht auswendig kennen, es genügt, wenn man weiss, dass sie umgekehrte (inverse) Ausgänge hat, wie die AND-Wahrheitstabelle. Oder man merkt sich die NAND-Wahrheitstabelle und weiss dann, dass diejenige eines AND umgekehrt ist.

Fall	B	A	Q
0	0	0	1
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

Bild 19: Wahrheitstabelle einer NAND-Verknüpfung

Der Zustand «1» bedeutet «wahr» bzw. «zutreffend». Der Zustand «0» bedeutet «unwahr» bzw. «nicht zutreffend». Das Schaltzeichen des NAND ist ähnlich demjenigen des AND. Aber der kleine Kreis am Ausgang zeigt wiederum die Negation an (**Bild 21**). Es handelt sich dabei um ein inverses Verhalten, auch Negation oder Umkehrung genannt. Der Widerstand *R* in **Bild 20** hat nur schaltungstechnische Gründe. Wenn nämlich der Schalter geschlossen ist, würde ohne diesen Widerstand die Spannungsquelle kurzgeschlossen werden. Für die Logikpegel ist er ohne Bedeutung.

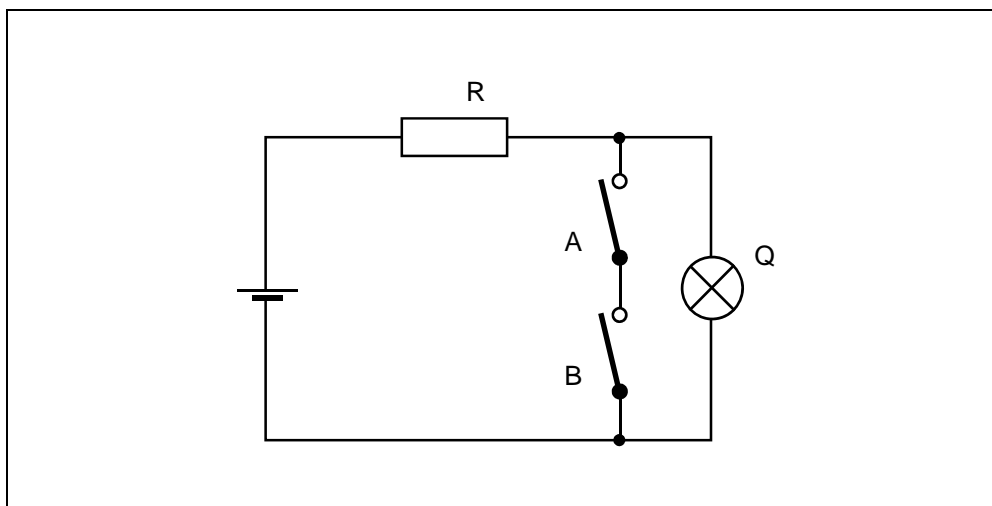


Bild 20: NAND-Verknüpfung mit Schalter.

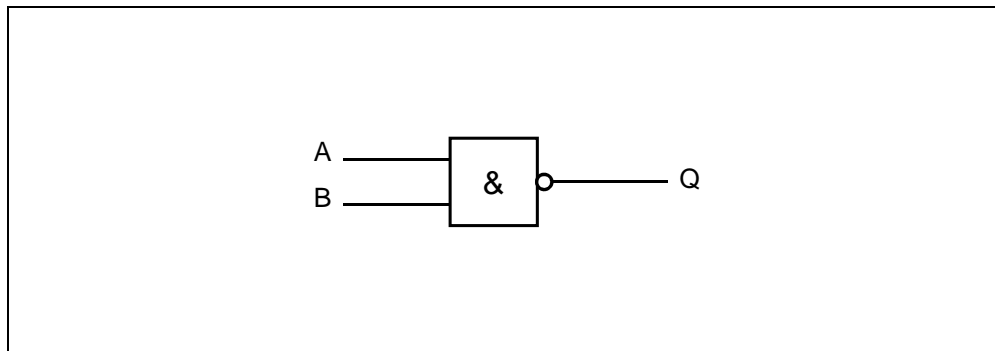


Bild 21: Schaltzeichen eines NAND-Gliedes.

Eine logische Verknüpfung, bei der am Ausgang Q nur dann Zustand 0 herrscht, wenn am Eingang A *und* am Eingang B (oder an allen Eingängen) der Zustand 1 anliegt, wird als NAND-Element, NAND-Glied oder NAND-Gatter bezeichnet.

Die NAND-Verknüpfung kann auch mathematisch mit Hilfe der Schaltalgebra ausgedrückt werden:

$$Q = \overline{A \wedge B} \quad (5)$$

Das \wedge -Zeichen bedeutet «und», der übergesetzte Strich deutet eine Negation an. Es wird wie folgt gesprochen: «Q gleich (A und B)-quer oder als Nicht-(A und B)». Beim Arbeiten mit der Schaltalgebra wird für die NAND-Verknüpfung auch oft das \wedge -Zeichen weggelassen. Es heisst dann einfach nur noch

$$Q = \overline{AB} \quad (6)$$

Wichtige Aussagen zum NAND-Glied:

1. Am Ausgang eines NAND-Gliedes herrscht nur dann der Zustand 0, wenn an Eingang A *und* Eingang B oder an *allen* Eingängen der Zustand 1 anliegt.
2. Wenn ein Eingang 0 ist, ist der Ausgang immer 1. Ist also ein Eingang 0, so hat ein Ändern des zweiten Eingangs keinen Einfluss auf den Ausgang.

13.4.7 Das NAND als Inverter

Das NAND-Glied ist eine universelle Verknüpfung, die sich überall einsetzen lässt. Werden zum Beispiel beide Eingänge miteinander verbunden (links in **Bild 22**), so entsteht aus dem NAND ein Inverter oder NOT-Glied (Fälle 0 und 3 in der Wahrheitstabelle **Bild 19**). Mit dem Digiboard lassen sich viele Experimente mit dem NAND durchführen.

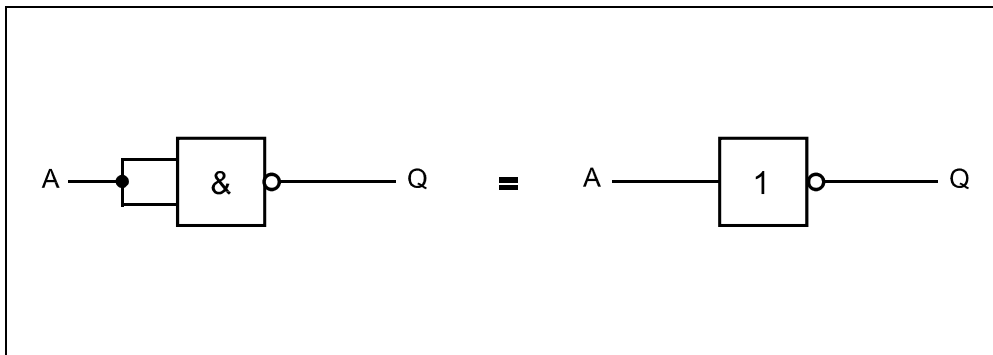


Bild 22: Beschaltung eines NAND als Inverter.

13.4.8 NOR-Glied

Schaltet man ein NOT-Glied mit einem OR-Glied zusammen, werden alle Ausgangszustände des OR-Gliedes negiert. Auch diese Zusammenschaltung wird in den modernen ICs bereits intern gemacht, aus der OR-Verknüpfung wird dann ein NOR-Glied (aus dem englischen Ausdruck NOT-OR).

Auch hier betrachten wir wieder die Wahrheitstabelle (**Bild 23**). Wenn man diese Wahrheitstabelle mit derjenigen des OR-Gliedes (\rightarrow **Bild 13**) vergleicht, wird man feststellen, dass die Ausgänge alle *negiert* sind, also ein umgekehrtes Verhalten zeigen, wie beim ODER. Man muss diese Wahrheitstabelle nicht auswendig kennen, es genügt, wenn man weiss, dass die Q-Spalte (also die Ausgangsspalte) umgekehrte (inverse) Zustände hat, wie die OR-Wahrheitstabelle.

Fall	B	A	Q
0	0	0	1

1	0	1	0
2	1	0	0
3	1	1	0

Bild 23: Wahrheitstabelle einer NOR-Verknüpfung.

Der Zustand «1» bedeutet «wahr» bzw. «zutreffend». Der Zustand «0» bedeutet «unwahr» bzw. «nicht zutreffend».

Das Schaltzeichen des NOR ist ähnlich demjenigen des OR. Aber der kleine Kreis am Ausgang zeigt wiederum die Negation (Umkehrung) an. Es handelt sich dabei um ein inverses Verhalten, auch Negation oder Umkehrung genannt. Der Widerstand *R* in *Bild 24* hat nur schaltungstechnische Gründe. Wenn nämlich der Schalter geschlossen ist, würde ohne diesen Widerstand die Spannungsquelle kurzgeschlossen werden. Für die Logikpegel ist er ohne Bedeutung.

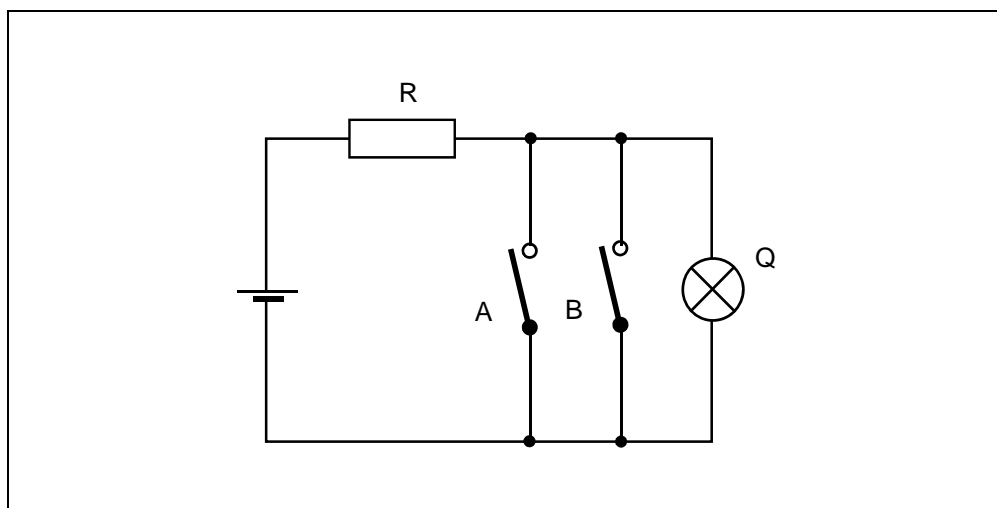


Bild 24: NOR-Verknüpfung mit Schalter.

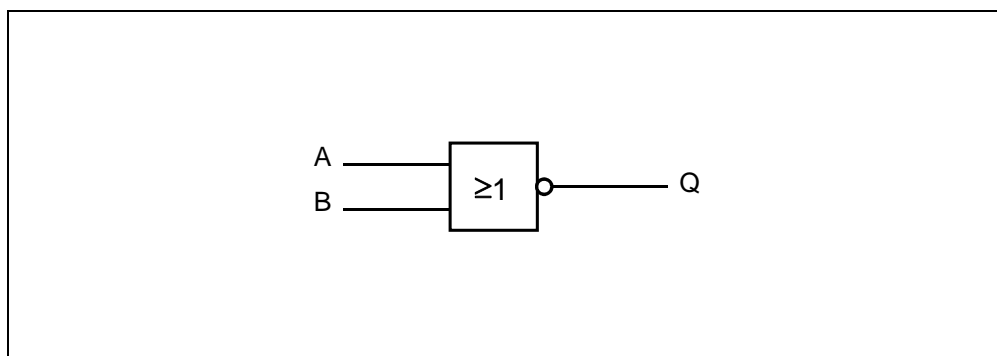


Bild 25: Schaltzeichen eines NOR-Gliedes.

Eine elektronische Schaltung, bei der am Ausgang Q nur dann Zustand 1 herrscht, wenn an allen Eingängen die Zustände 0 anliegen, wird als NOR-Element, NOR-Glied oder NOR-Gatter bezeichnet.

Die NOR-Verknüpfung kann auch mathematisch mit Hilfe der Schaltalgebra ausgedrückt werden:

$$Q = \overline{A \vee B} \quad (7)$$

Das \vee -Zeichen bedeutet «oder», der übergesetzte Strich deutet eine Negation an. Es wird wie folgt gesprochen: «Q gleich (A oder B)-quer oder Q gleich Nicht- (A oder B)».

Wichtige Aussagen zum NOR-Glied:

1. Am Ausgang eines NOR-Gliedes herrscht nur dann der Zustand 0, wenn am Eingang A *oder* am Eingang B *oder* an allen Eingängen der Zustand 1 anliegt.
2. Wenn ein Eingang 1 ist, ist der Ausgang immer 0. Ist also ein Eingang 1, so hat ein Ändern des zweiten Eingangs keinen Einfluss auf den Ausgang.

13.4.9 Das NOR als Inverter

Das NOR-Glied ist eine universelle Verknüpfung, die sich überall einsetzen lässt. Werden zum Beispiel beide Eingänge miteinander verbunden (links in **Bild 26**), so entsteht aus dem NOR ein Inverter oder NOT-Glied (Fälle 0 und 3 in der Wahrheitstabelle **Bild 23**). Mit dem Digiboard lassen sich viele Experimente mit dem NOR durchführen.

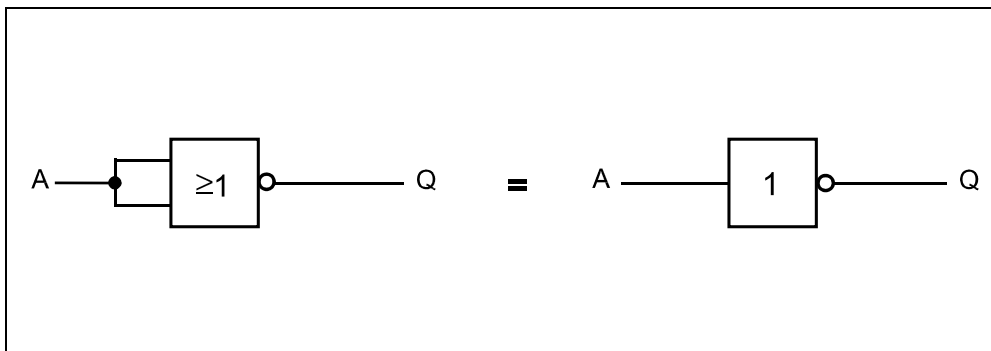


Bild 26: Beschaltung eines NOR als Inverter.

13.4.10 Realisation der Grundverknüpfungen

Mit NAND- und NOR-Bausteinen lassen sich alle besprochenen Grundverknüpfungen realisieren. Im praktischen Teil der *Digitalpraxis 1* (→Kapitel 1.5 Praktische Experimente mit dem ILT-Digiset) werden wir die Grundversuche mit NAND-Gatter durchführen. Dem Leser und Schüler wird empfohlen, zu Hause mit seinem *eigenen* Digiboard alle Grundfunktionen mit NAND und NOR-Bausteinen noch zusätzlich aufzubauen. Aus der Übersicht (**Bild 39**) sind die einzelnen Schaltungen ersichtlich.

Nun frisch drauf los! Es gibt eine zusätzliche Sicherheit im Umgang mit der Digitaltechnik, wenn man Schaltungen und Verknüpfungen auf dem eigenen Digiboard aufbauen und somit auch *verstehen* kann. Es macht nichts, wenn Sie jetzt vorerst einmal eine Kaffee-Pause einlegen und den Stoff nochmals in Ruhe Revue passieren lassen.

13.4.11 Übersicht der logischen Grundfunktionen

Die nachfolgende Tabelle (*Bild 27*) zeigt alle 5 Grundfunktionen im Überblick. Die Signal-Zeit-Diagramme (rechts in *Bild 27*) können mit einem Kathodenstrahloszilloskop (KO) dargestellt werden. Die logischen Pegel entsprechen der Wahrheitstabelle.

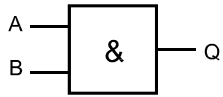
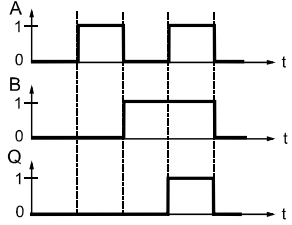
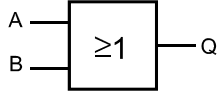
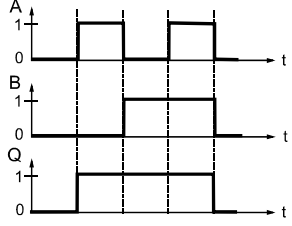
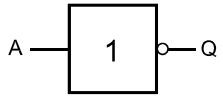
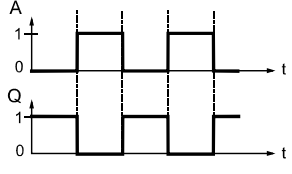
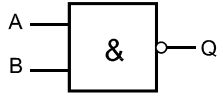
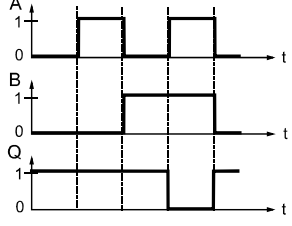
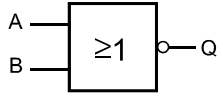
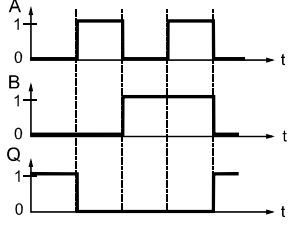
Name	Schaltzeichen	Wahrheitstabelle	Funktionsgleichung	Signal - Zeit - Plan															
AND		<table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>A</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	B	A	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$Q = A \wedge B$	
B	A	Q																	
0	0	0																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
OR		<table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>A</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	B	A	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$Q = A \vee B$	
B	A	Q																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
NOT		<table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	Q	0	1	1	0	$Q = \bar{A}$										
A	Q																		
0	1																		
1	0																		
NAND		<table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>A</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	B	A	Q	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$Q = \overline{A \wedge B}$	
B	A	Q																	
0	0	1																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
NOR		<table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>A</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	B	A	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$Q = \overline{A \vee B}$	
B	A	Q																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	

Bild 27: Die logischen Grundfunktionen im Überblick.

13.4.12 XOR-Glied

In der Digitaltechnik werden noch weitere Glieder gebraucht, so das EXKLUSIV-ODER (auch als XOR bezeichnet) und das EXKLUSIV-NICHT-ODER (auch als XNOR bezeichnet).

Beim XOR ist der Ausgang immer dann 1, wenn beide Eingänge *verschieden* sind, also entweder 0 oder 1 haben, somit die mittleren Fälle 1 und 2 in der Wahrheitstabelle. **Bild 28** zeigt das Schaltzeichen und **Bild 29** die Wahrheitstabelle eines XOR.

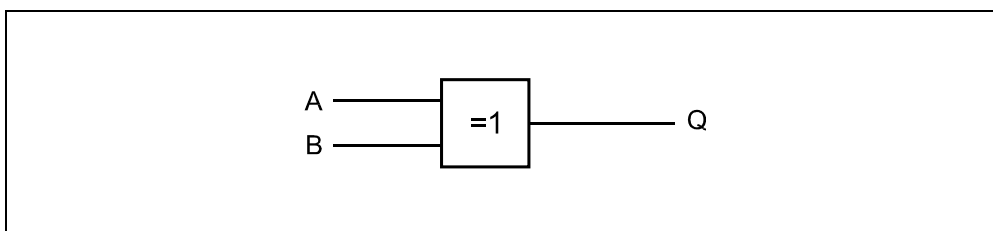


Bild 28: Schaltzeichen eines XOR-Gliedes.

Fall	B	A	Q
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

Bild 29: Wahrheitstabelle einer XOR-Verknüpfung.

- Wichtige Aussagen zum XOR-Glied:**
1. Am Ausgang eines XOR-Gliedes herrscht nur dann der Zustand 1, wenn die beiden Eingang A und Eingang B *unterschiedlich* sind.
 2. Wenn beide Eingänge gleich sind, ist der Ausgang immer 0.

13.4.13 XNOR-Glied

Beim XNOR ist der Ausgang immer dann 1, wenn beide Eingänge *gleich* sind, also entweder 0 oder 1 haben, somit die äusseren Fälle 0 und 3 in der Wahrheitstabelle. **Bild 30** zeigt das Schaltzeichen und **Bild 31** die Wahrheitstabelle eines XNOR.

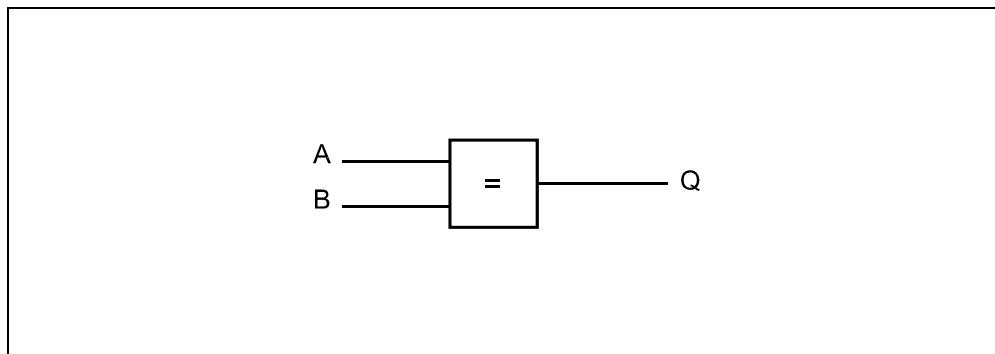


Bild 30: Schaltzeichen eines XNOR-Gliedes.

Fall	B	A	Q
0	0	0	1
1	0	1	0
2	1	0	0
3	1	1	1

Bild 31: Wahrheitstabelle einer XNOR-Verknüpfung.

Wichtige Aussagen zum XNOR-Glied:

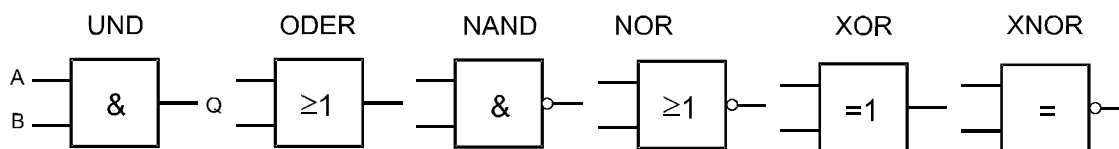
1. Am Ausgang eines XNOR-Gliedes herrscht nur dann der Zustand 1, wenn beide Eingänge A und B *gleich* sind.
2. Wenn beide Eingänge unterschiedlich sind, ist der Ausgang immer 0.

Die Funktionen dieser beiden Verknüpfungen XOR und XNOR werden an der Lizenzprüfung nicht verlangt.

13.4.14 Mehrfach-Wahrheitstabelle

In *Bild 32* haben wir nochmals alle Grundglieder in einer Art Mehrfach-Wahrheitstabelle zusammengestellt. Sie gibt eine gute Übersicht über alle Funktionen.

Grundgatter und ihre Funktionen



Eingang B, A			Ausgang Q					
Fall	B	A	AND	OR	NAND	NOR	EXOR	EXNOR
0	0	0	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	0	1	0
2	1	0	0	1	1	0	1	0
3	1	1	1	1	0	0	0	1

Bild 32 Zusammengesetzte Tabelle aller logischen Grundglieder.

13.5 Praktische Experimente mit dem ILT-Digiset

Die ILT-Schule hat es sich zum Ziel gesetzt, die praktischen Versuche gleich mit richtigen integrierten Schaltungen (ICs) aufzubauen. Wir halten es nicht für sinnvoll, mühsam Dioden- und/oder Transistor-Gatter aufzubauen, denn in der heutigen Digital- und Steuerungstechnik werden praktisch durchwegs nur noch ICs verwendet. Deshalb hat die ILT-Schule das Digiset entwickelt. In einem stabilen Koffer ist alles enthalten, was zum Experimentieren notwendig ist. Hauptbestandteil ist das Experimentiergerät ILT-Digiboard (*Bild 34*).

Daneben sind im Digiset eine Reihe von Kabeln in drei verschiedenen Farben und zwei Längen, ein IC-Ausziehwerkzeug, ein kleiner Schraubenzieher, sowie ein genügend grosses Netzgerät enthalten. Dieses Netzgerät mit den Ausgangsspannungen 3 V und 5 V wurde speziell so gross dimensioniert ($I = 1 \text{ A}$), damit auch aufwendige Schaltungen sicher versorgt werden können. Selbstverständlich ist auch eine Auswahl von 6 ICs zum Experimentieren mit enthalten. Es sind dies: 2 Stück SN7400 (4-fach NAND), 1 Stück SN7402 (4-fach NOR), 1 Stück SN7408 (4-fach AND), 1 Stück SN7414 (6-fach Inverter) und 1 Stück SN7432 (4-fach OR), sowie je 2 Stück NPN- und PNP-Transistoren. Vom vielgebrauchten SN7400 sind deshalb insgesamt 2 Stück (davon 1 Stück Reserve) enthalten, damit die Experimente bei einer allfälligen Zerstörung des ICs durch Fehlmanipulationen nicht gleich abgebrochen werden müssen. *Bild 33* zeigt solche ICs. Die beiden Buchstaben am Anfang der Bezeichnung (SN) ist ein Schlüssel, der auf den Hersteller (hier Texas Instruments) hinweist. Die Nummer (7400) sagt aus, um was für eine Type es sich handelt, also 4-fach NAND, ein 4-fach OR etc. In der Regel sind die ICs der verschiedenen Hersteller kompatibel, zumindest bei den einfachen Typen. Alles Kleinmaterial ist in vier durchsichtigen Kunststoff-Schachteln untergebracht. Sowohl in den einzelnen Kunststoff-Schachteln als auch im Koffer ist zudem noch genügend Platz für eigenes Material vorhanden. Ziel des Digisets ist es, alles Material der Digitalpraxis in einem einzigen Koffer verstauen zu können. So hat man im Bedarfsfall immer alles gleich wieder zur Hand und muss nicht lange herum suchen.

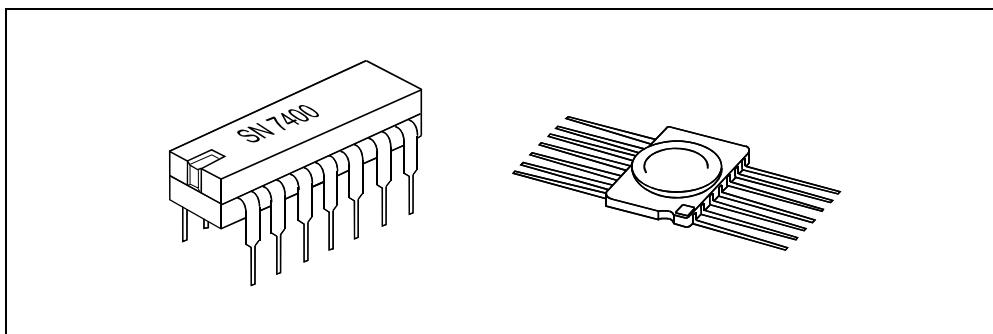


Bild 33: Die logischen Verknüpfungen sind meist als integrierte Schaltungen (IC) ausgeführt. Links im Bild ein SN7400 im Dual-in-line-Gehäuse (→1.5.6), rechts ein IC im SMD-Gehäuse (surface mounted device).

13.5.1 ILT-Digiboard

Das ILT-Digiboard (**Bild 34**) ist ein universelles Experimentiergerät für Anfänger und Profis. Es dient dem gezielten Erlernen der Digitalpraxis. Es ist in einer industriemässigen Ausführung mit *vergoldeten* Lötstiften und einem Epoxy-Print mit Siebdruck ausgeführt. Es lassen sich damit nicht nur alle Versuche der *Digitalpraxis 1*, und der *Digitalpraxis 2* durchführen, sondern viele weitere Digitalschaltungen aufbauen. Dazu sind Zusatzplatinen erhältlich.

13.5.2 Übersichtlicher Aufbau

Das Digiboard kann sowohl vom Anfänger, wie auch vom Profi gebraucht werden. Es ist sehr übersichtlich aufgebaut und braucht deshalb *keine* Bedienungsanleitung. Die wenigen notwendigen Bedien-Manipulationen sind schnell gelernt. Der Schüler wird mit dem Digiboard seine ersten praktischen Gehversuche in der Digitalpraxis absolvieren, während der Profi darauf einmal schnell eine spezielle Zählschaltung aufbauen und durchchecken kann. Gerade diese universelle Verwendbarkeit macht das ILT-Digiboard so wertvoll. Es kann auch nach dem Studium beliebig weiter gebraucht werden. Das ILT-Digiboard besteht aus einem Bedienteil und einem Experimentierteil (**Bild 35**).

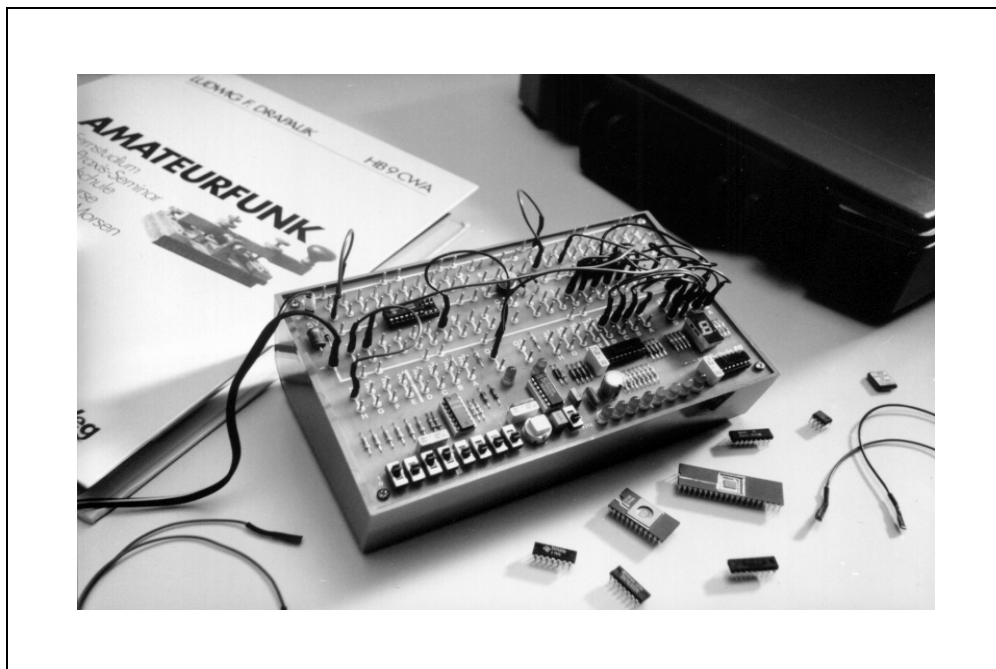


Bild 34: Der ILT-Digitaltrainer: Das Digiboard.

13.5.3 Bedienteil

Im Bedienteil befinden sich 8 Anzeigen (LED) zur optischen Kontrolle der Logikpegel und eine Dezimal-Anzeige. Mit der Dezimalanzeige lässt sich eine binäre Eingabe als Dezimalzahl anzeigen (→**Bild 7**). Ferner gibt es 8 Schalter zur Eingabe von Logikpegeln, einen 2 Hz/2 kHz-Taktgeber mit optischer Anzeige (LED) und einen Einzelimpulsgeber mit Impulstaste und optischer Anzeige (LED). Mit dem Einzelimpulsgeber kann auf Tastendruck ein Ein-Sekunden-Impuls ausgelöst werden. Dies entspricht einem Logikpegel '010'.

13.5.4 Logiktester

Zur einfacheren Fehlersuche in den logischen Schaltungen ist im ILT-Digiboard ein praktischer *Logiktester* mit akustischer Anzeige eingebaut. Der Anschluss befindet sich im Experimentierteil und ist mit einem Kopfhörersymbol gekennzeichnet. Er befindet sich unterhalb des Kollektoranschlusses des Transistors.

13.5.5 Experimentierteil

Der Experimentierteil umfasst zwei 20-polige Dual-Inline-IC-Sockel. In diese können 14-polige bis 20-polige ICs gesteckt werden. 4 Dreifach-Kontaktreihen dienen der Vervielfältigung der Anschlüsse an einem Pin. Die Speisungsschienen für den roten positiven Anschluss ($+V_{cc} = 5\text{ V}$) und den schwarzen negativen Anschluss (auch als GND [Ground] oder Masse bezeichnet) haben 4 Kontaktstifte pro IC-Sockel. Ein NPN-Transistor mit den dazugehörigen Arbeitswiderständen dient dem Aufbau einer kleinen Leistungsstufe. **Bild 35** zeigt die übersichtliche Anordnung der einzelnen Schaltungsteile auf dem Digiboard.

13.5.6 Arbeitsfläche

Der saubere Aufbau des ILT-Digiborad (Bild 35) macht das Arbeiten in der digitalen Welt zum Erlebnis.

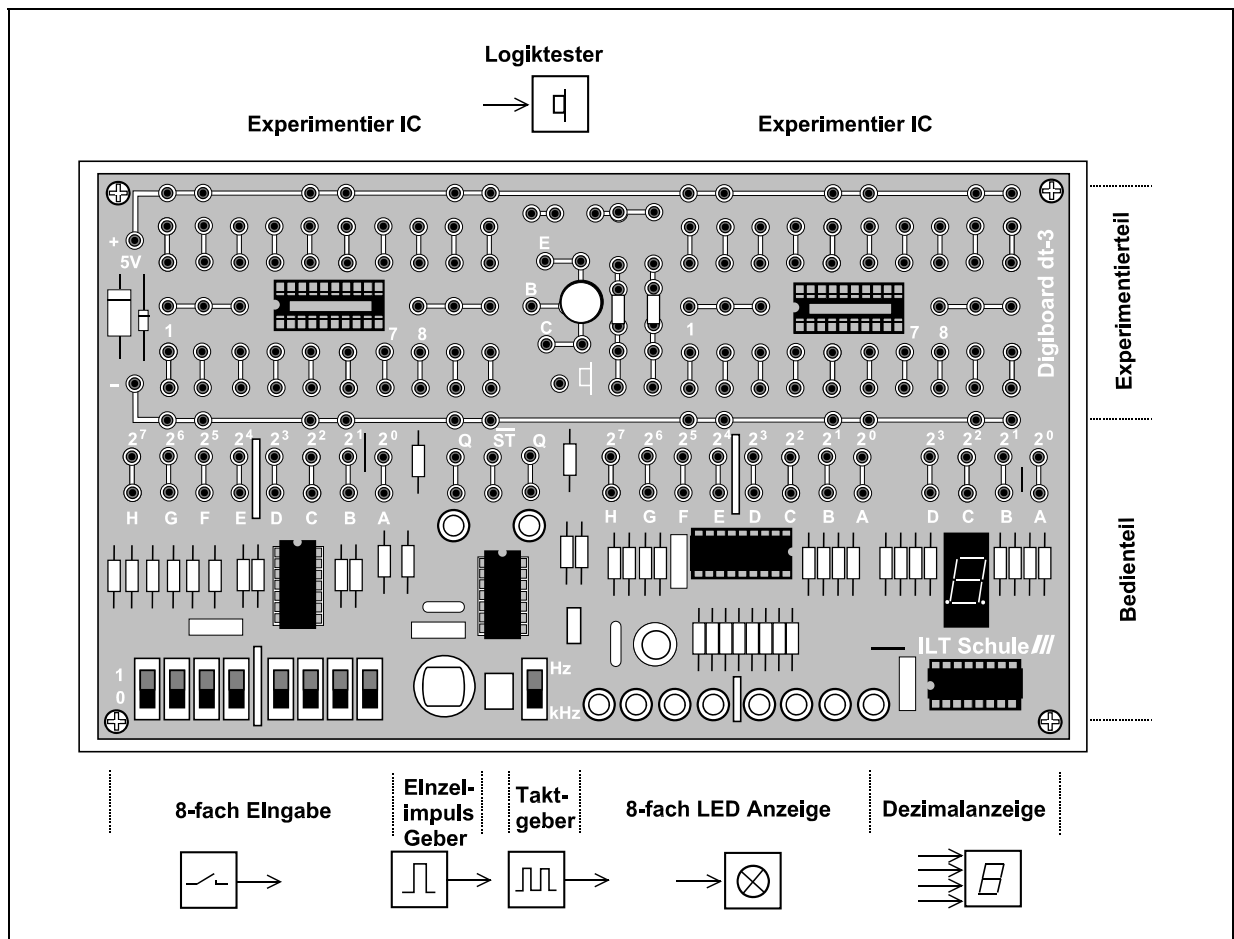
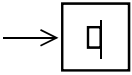
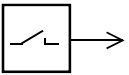
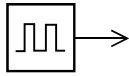
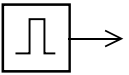
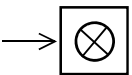
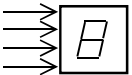


Bild 35: Sauber gestaltete Arbeitsfläche des ILT-Digiboard.

13.5.7 Symbole auf dem Digiboard

Damit eindeutig klar ist, welche der Bedienelemente gemeint sind, haben wir auf dem Experimentierteil die Verbindungen von den Experimentier-ICs zu den Anschluss-Stiften mit Siebdruck markiert.

Die einzelnen Experimental-Verbindungen werden als Steckverbindungen hergestellt. Das führt schneller zum Ziel, als wenn jedes Mal gelötet werden müsste, auch sind vergoldete Stecker und Lötstifte langlebiger, als immer wieder hergestellte Lötverbindungen..

Symbole für die Bedienung auf dem Digiboard	
	Logiktester
	1 / 0 Geber
	Taktgeber 2 Hz / 2 kHz
	Einzelimpulsgeber 0 - 1 - 0
	Anzeige mit LED
	Dezimalanzeige: Eingabe binär, Anzeige als Dezimalzahl

13.5.8 Arbeitsmappe

Im Zubehör sind verschiedene Experimentier-ICs, Verbindungskabel in drei verschiedenen Farben und das Netzgerät enthalten. Die roten Kabel werden für die Plus-Leitungen verwendet, die schwarzen für die Minus-Leitungen. Die grünen Kabel werden für die Signalleitungen (Ein- und Ausgänge) verwendet. In einer *Arbeitsmappe* sind die einzelnen Versuchsanordnungen genau beschrieben, so dass sie jederzeit, auch ohne direkte Anleitung durch die ILT-Lehrer wieder aufgebaut werden können.

⇒ **Wichtig:** Bevor am Digiboard während der Versuche Kabel umgesteckt werden, ist immer zuerst die Speisespannung abzuklemmen!

Für alle Versuche ist es aber sehr wichtig, dass die Theorie gut verstanden worden ist. Nur dann wird ein optimaler Lerneffekt erzielt. Wenn Unklarheiten auftauchen, kann selbstverständlich nach Bedarf auch während dem Experimentieren immer wieder auf die Theorie zurückgegriffen werden. Diese Wechselwirkung von Theorie und Praxis ist sehr wertvoll und besonders beim Selbststudium zu Hause unentbehrlich.

13.5.9 Universal-IC SN7400

Für die ersten Grundversuche verwenden wir den IC SN7400. Er ist ein beliebter Universal-Baustein. Er hat in einem 14-poligen Dual-In-Line-Gehäuse gleich 4 NAND-Gatter mit je zwei Eingängen eingebaut (**Bild 36**).

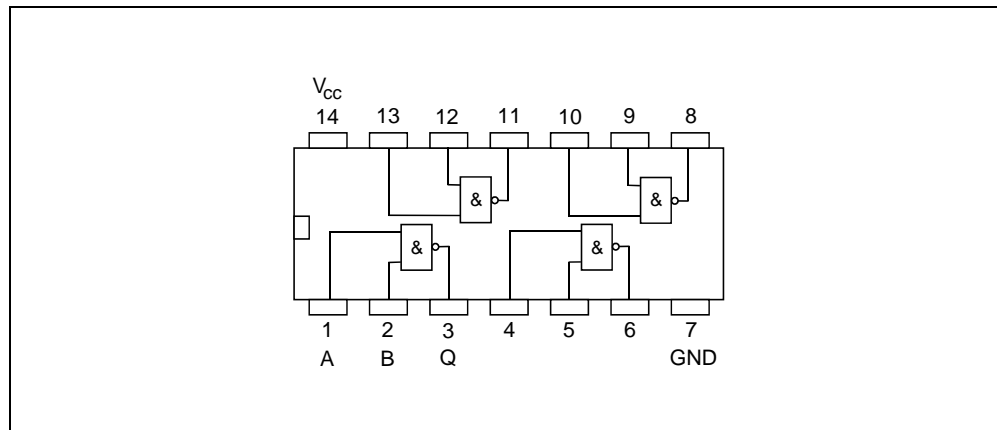


Bild 36: Der IC SN7400 hat vier NAND-Glieder mit je zwei Eingängen eingebaut.

Zum Experimentieren werden die ICs sorgfältig in die dafür vorgesehene Dual-In-Line-Fassung gesteckt. Es ist darauf zu achten, dass die Einkerbung am Plasticgehäuse des ICs nach *links* zeigt. Da die Fassungen 20-polig sind, (damit grössere und komplexere ICs auch eingesteckt werden können), ist der 14-polige SN7400 so einzustecken, dass die überzähligen Anschlüsse am Sockel ganz rechts aussen frei bleiben. Bei den Anschlüssen der ICs muss ferner darauf geachtet werden, dass die Zählweise im *Gegenurzeigersinn*, beginnend beim äussersten linken Anschluss der unteren Reihe festgelegt wurde. Die Betrachtungsweise ist immer von *oben* gesehen. Ausser den Logikpegeln benötigen die ICs zusätzlich eine Betriebsspannung von 5 Volt. Das Plus der Betriebsspannung ($+V_{cc}$, +5 V) liegt beim SN7400 am Anschluss 14, das Minus der Betriebsspannung (GND, Masse) an Anschluss 7.

13.5.10 Eigenes Digiboard macht unabhängig

Das Wertvolle an der ILT-Digitalpraxis ist die *ständige Wechselwirkung* der Theorie mit der Praxis. Das lässt sich natürlich am intensivsten dann erleben, wenn man sein eigenes Digiboard hat. So kann man immer dann, wenn Fragen bei der Theorie auftauchen, den Versuch mal schnell aufbauen und die praktischen Erkenntnisse sogleich in die Theorie einbauen. Das wird vor allem bei den weiteren Versuchen in der *Digitalpraxis 2* und *3* zur Voraussetzung.

Digitaltechnik lernt man durch ergänzende Praxis-Versuche. Schön ist, dass man solche Versuche ohne grossen Messgerätepark zuhause durchführen kann. Das einzige was man dazu braucht, ist das ILT-Digiset: Ein komplettes Digital-Experimentier-Case, das man auch nach der Lizenzprüfung noch sehr gut gebrauchen kann.

Es ist wichtig, dass die Grundverknüpfungen eingehend studiert und immer wieder durch entsprechende praktische Versuche vertieft werden. Vielleicht machen Sie noch eigene Versuche, probieren Sie doch einmal, alle diese Grundgatter auch mit dem NOR-Baustein (SN7402) zu realisieren. In der Übersicht (**Bild 37**) sind die verschiedenen Schaltungen ersichtlich. Erst wenn die einzelnen Grundfunktionen quasi «in Fleisch und Blut» übergegangen sind, können auch zusammengesetzte Funktionen begriffen werden. Mit NAND- (oder auch NOR-) Gliedern kann man beliebige Funktionen zusammensetzen.

Die Grundverknüpfungen sollen solange eingehend studiert werden, bis man sich eine gewisse (geistige) Übersicht verschafft hat und die einzelnen Grundverknüpfungen sowohl in ihrem Grundaufbau als auch deren Wahrheitstabelle *auswendig* herleiten kann. Dabei genügt es, wenn man zum Beispiel die AND-, OR- und NOT-Verknüpfungen kennt, daraus lassen sich problemlos die NAND- und NOR- Verknüpfungen herleiten. So hat man es bei den nachfolgenden Schaltungsanalysen weit einfacher.

13.6 Übersicht der logischen Grundverknüpfungen

Bild 39 zeigt eine Übersicht, wie die logischen Grund-Verknüpfungen mit NAND- oder NOR-Gatter realisiert werden können. Auch alle diese Versuche lassen sich mit dem Digiboard aufbauen.

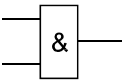
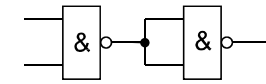
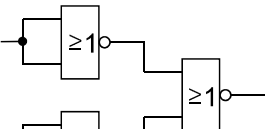
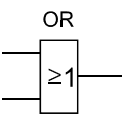
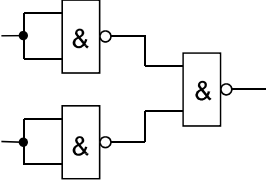
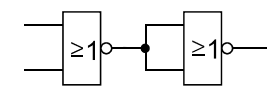
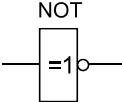
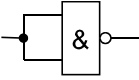
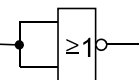
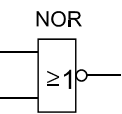
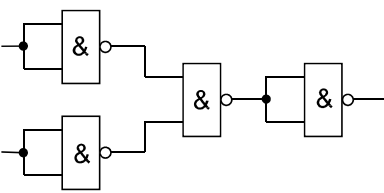
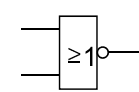
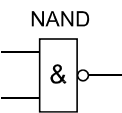
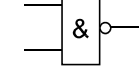
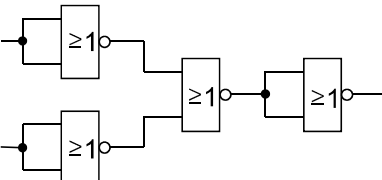
Verknüpfung	Realisierung aus NAND-Gliedern	Realisierung aus NOR-Gliedern
<p>AND</p> 		
<p>OR</p> 		
<p>NOT</p> 		
<p>NOR</p> 		
<p>NAND</p> 		


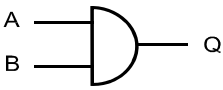
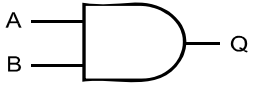
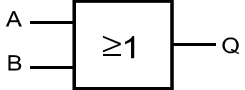
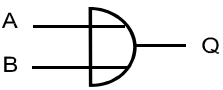
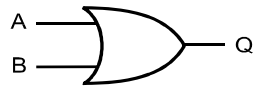
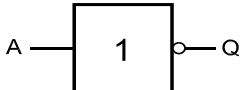
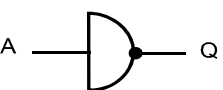
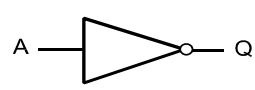

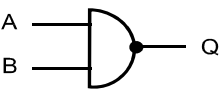
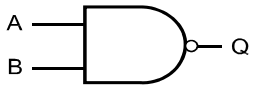
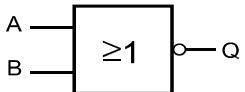
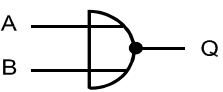
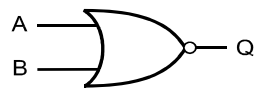
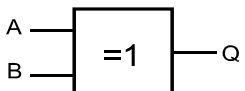
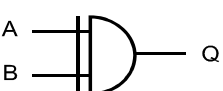

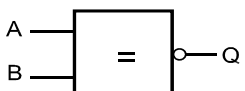
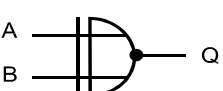

Bild 37: Übersicht der Grundfunktionen, realisiert mit NAND- und NOR-Gliedern.

Die Umwandlung von NAND in NOR und umgekehrt beruhen auf dem De Morganschen Gesetz. *De Morgan* war ein englischer Mathematiker. Diese und andere schaltalgebraische Regeln werden wir erst in der *Digitalpraxis 2* näher

kennenlernen. Die Funktionen lassen sich aber auch mit den erweiterten Wahrheitstabellen (*Bild 12*) analysieren und begreifen. Machen Sie einmal die Probe aufs Exempel, Sie werden überrascht sein. Solche Arbeiten dienen der Festigung der Kenntnisse, an der Lizenzprüfung wird das allerdings nicht gefragt.

13.6.1 Andere Logiksymbole

Damit Experimente mit dem Digiboard auch von anderen Quellen gemacht werden können hier alle gebräuchlichen Logiksymbole und deren Bedeutung.

Funktion	IEC-Norm 117-15A	DIN-Norm 40700/14 (veraltet)	US-Norm
AND			
OR			
NOT			
NAND			
NOR			
EXOR			
EXNOR			

13.7 Schaltungsanalyse

Verknüpfungsglieder, auch logische Glieder genannt, werden selten einzeln eingesetzt. Meist besteht eine Digitalschaltung aus recht vielen logischen Gliedern, die zusammen die gewünschte Verknüpfung ergeben. Es ist für den Praktiker wichtig, Zusammenschaltungen von logischen Gliedern analysieren zu können. Man muss also feststellen können, welche logischen Zustände an den Ausgängen der einzelnen Glieder herrschen. Diese Feststellungen bezeichnet man als Schaltungsanalyse.

Um eine gewünschte Wirkung zu erzielen, werden umgekehrt entsprechende logische Glieder gesucht. Das bezeichnet man als Schaltungsentwicklung (→ Kapitel 1.7).

Schaltungsanalyse und Schaltungsentwicklung sind eng verknüpft mit der Schaltalgebra. Es ist dies die Lehre darüber, wie man komplexe digitale Schaltungen behandelt (auf dem Papier oder mit dem Computer). Will man mit Digital-schaltungen bestimmte Steuerungsaufgaben oder Rechengänge ausführen, so muss man Anordnungen und Schaltungen finden, die das «können». Schaltungen für einfache Aufgaben lassen sich auch durch «Probieren» finden. Für umfangreiche Netzwerke wird allerdings das Probieren schnell mühsam und unübersichtlich.

Der engl. Mathematiker *Boole* (1815 bis 1864) entwickelte eine besondere Algebra, eben die Schaltalgebra, (auch *Boole'sche Algebra* genannt) die mit dem zweiwertigen Binär- oder Dualsystem (nur Werte von 0 und 1 sind möglich) Gesetzmässigkeiten erfassen kann. Mit der Schaltalgebra lässt sich für eine bestimmte Aufgabe die einfachste mögliche digitale Schaltungsart finden. Für die Lizenzprüfung sind nur Kenntnisse über einfache digitale Schaltungen gefordert. Deshalb kommen wir im ersten Teil noch ohne Schaltalgebra aus, diese wird erst in der *Digitalpraxis 2* behandelt. Für Interessierte tauchen aber in den folgenden Kapiteln bereits ein paar Schaltalgebra-Formeln auf.

13.7.1 Wahrheitstabelle

Auch wenn eine logische Schaltung lediglich aus zwei oder drei logischen Gliedern besteht, ist es vor allem für den Anfänger wichtig, die dazugehörige Wahrheitstabelle durch systematisches, schrittweises Vorgehen zu ermitteln. Zuerst sollen immer alle möglichen Kombinationen der Eingangsvariablen erfasst werden. Die Zahl dieser Kombinationen und damit die Anzahl der *Fälle* (oder Zeilen) in der Wahrheitstabelle hängt ausschliesslich von der Zahl der Eingangsvariablen ab. Es gilt:

1 Eingangsvariable $\rightarrow 2^1 = 2$ verschiedene Kombinationen
2 Eingangsvariablen $\rightarrow 2^2 = 4$ verschiedene Kombinationen
3 Eingangsvariablen $\rightarrow 2^3 = 8$ verschiedene Kombinationen
4 Eingangsvariablen $\rightarrow 2^4 = 16$ verschiedene Kombinationen

Bei n Eingangsvariablen ergeben sich also 2^n Zeilen für die vollständige Wahrheitstabelle. Bei der Aufstellung einer Wahrheitstabelle soll immer nach den Angaben in Kapitel **1.4.2** vorgegangen werden.

13.7.2 Digitalschaltung mit 2 Eingängen

Betrachten wir uns einmal die folgende einfache Digitalschaltung (**Bild 38**). Die Schaltung hat nur 2 Eingänge (A und B), es kommen also nur 4 Fälle in Frage.

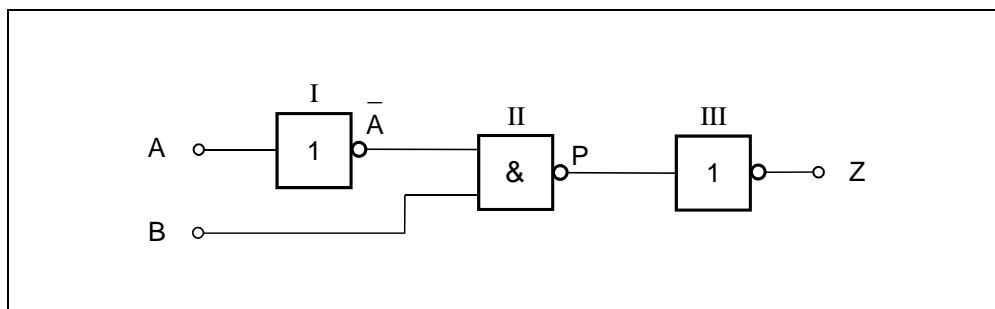


Bild 38: Einfache Digitalschaltung mit 3 Gatter.

Die Glieder I und III sind NOT-Glieder (Inverter), das Glied II ist ein NAND. Das Glied II ist ein NAND. **Bild 41** zeigt die gleiche Schaltung wie in **Bild 40**, aber nur mit NAND-Glieder (SN7400) aufgebaut. Die Glieder I und III sind hier NAND, die aber als Inverter geschaltet sind (siehe auch **Bild 22**). Beide Schaltungen sind in der Funktion absolut identisch.

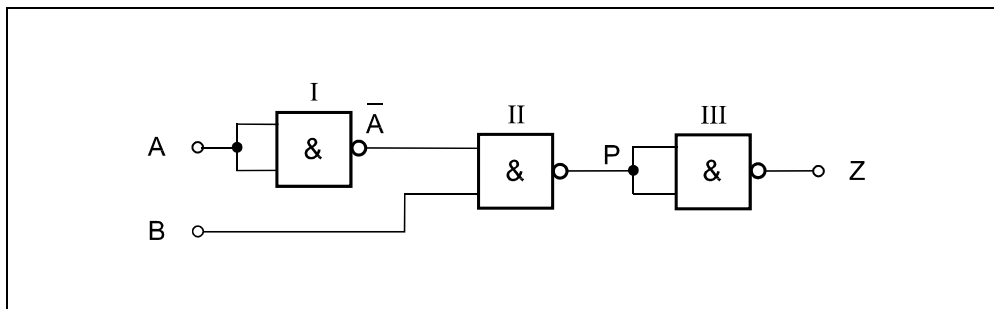


Bild 41: Einfache Digitalschaltung mit 3 Gatter, wie in **Bild 37**, aber aufgebaut mit NAND-Glieder (SN7400).

Diese Schaltung wird am besten zur Kontrolle selbständig auf dem Digiboard aufgebaut, es werden dazu lediglich ¾ eines SN 7400 benötigt.

Wird der Eingangszustand mit A bezeichnet, so wird der Ausgang nach dem Inverter (Baustein I) als \bar{A} bezeichnet. \bar{A} hat also immer den umgekehrten Zustand wie A. Betrachten wir uns einmal die vollständige Wahrheitstabelle in **Bild 40**.

Fall	B	A	\bar{A}	$P = \overline{\bar{A} \wedge B}$	$Z = \bar{P}$
0	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0
Fall 2 →	1	0	1	0	1
3	1	1	0	1	0

← LED leuchtet

Bild 40: Wahrheitstabelle einer Digitalschaltung mit zwei Eingängen.

Bevor wir nun diese Wahrheitstabelle genauer unter die Lupe nehmen, ist es sehr empfehlenswert, sich zuerst noch eine oder zwei Hilfstabellen anzufertigen.

13.7.3 BAX-Hilfstabellen

Um bei der Entwicklung der Wahrheitstabelle eine zusätzliche Sicherheit zu bekommen, wurden von der ILT-Schule sogenannte BAX-Hilfstabellen entwickelt. Diese Hilfstabellen sind spezielle Wahrheitstabellen für AND/NAND- Verknüpfungen (*Bild 41*) und OR/NOR-Verknüpfungen (*Bild 42*). Sie sind für die Studierenden eine grosse Hilfe, bei allen Grundverknüpfungen mit Sicherheit die richtigen Logikpegel (0 oder 1) einzutragen. Dazu muss man nur die beiden Grundverknüpfungen AND und OR kennen, die NAND und NOR-Verknüpfungen ergeben sich dann wie von selbst. Der Ausdruck BAX ergibt sich aus dem Lesen der Zeile mit den Ein- und Ausgängen der BAX-Tabelle. Dabei bedeuten B und A die Eingänge, und X den Ausgang des AND- und OR-Gliedes. \bar{X} ist der Ausgang des NAND- und NOR-Gliedes. Betrachten wir einmal eine solche BAX-Tabelle für AND und NAND (*Bild 41*).

AND			NAND
B	A	X	\bar{X}
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Bild 41: BAX-Tabelle einer AND und NAND-Verknüpfung.

Bei der Entwicklung dieser BAX-Tabelle schreibt man zuerst die AND-Verknüpfung mit den Eingängen B und A und dem Ausgang X auf. Zur Erhaltung einer NAND-Verknüpfung muss dann nur noch der Ausgang X negiert werden.

Der Ausgang \bar{X} bedeutet den Ausgang eines NAND mit den gleichen Eingängen B und A.

Nach den gleichen Grundsätzen können wir nun leicht auch eine BAX-Tabelle für OR/NOR erstellen.

OR			NOR
B	A	X	\overline{X}
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Bild 42: BAX-Tabelle einer OR und NOR-Verknüpfung.

Der grosse Vorteil dieser BAX-Tabellen ist die zusätzliche Sicherheit, die man bei der Aufstellung einer Wahrheitstabelle erhält. Ohne grosse Vorkenntnisse können dadurch die Wahrheitstabellen stets richtig erstellt werden.

13.7.4 Fertigstellung der Wahrheitstabelle

Bei der weiteren Entwicklung der Wahrheitstabelle gemäss **Bild 40** geht man zuerst einmal vom wechselnden Signalpegel des Eingangs A aus. Man beginnt mit einem 0-Pegel und trägt diese Werte in die entsprechende Spalte (A) ein. Beim Eingang B sind immer zwei Zeilen (Fälle) gleich (0 und 1 sowie 2 und 3). Deshalb heissen die Eintragungen in der B-Spalte (von oben angefangen) 0, 0 und 1, 1. Sodann lassen sich die A-Werte negieren und in die \overline{A} -Spalte eintragen. Der eine Eingang des NAND-Gliedes (Glieder II) hat die Bezeichnung \overline{A} und der andere Eingang die Bezeichnung B. Die NAND-Verknüpfung erfolgt also zwischen den Zuständen von \overline{A} und B.

Die zuständigen Spalten sind unten mit einem dicken Balken gekennzeichnet. Der Ausgang des NAND heisst P. Für P gilt somit die Beziehung:

$$P = \overline{\overline{A} \wedge B} \tag{8}$$

In vielen Schaltbildern wird oft nur die rechte Seite einer Funktionsgleichung eingetragen. In **Bild 40** würde man dann anstelle von P den Ausdruck $\overline{\overline{A} \wedge B}$ schreiben.

Aus der Wahrheitstabelle in **Bild 40** sieht man, dass P nur dann 0 ist, wenn sowohl $\bar{A} = 1$ und $B = 1$ sind. Dies trifft nur für den *Fall 2* zu, in allen anderen Fällen ist $P = 1$. Dieses Ausgangs-Signal gelangt nun zum Eingang eines weiteren Bausteins, eines NOT-Gliedes (Glieder III).

Der Eingang des Gliedes III (Inverter) heisst P, der Ausgang Z. Da das NOT-Glied die Zustände von P negiert, ist $Z = \bar{P}$. Eine 0 in der P-Spalte wird so zu einer 1 in der Z-Spalte.

Die *doppelte* Überstreichung in Formel (9) bedeutet, dass sich die Negation aufhebt. Aus dem NAND wird somit ein AND ($\bar{\bar{A}} \wedge B$). Über die gesamte Digital-Schaltung, also zwischen den Eingängen A und B und dem Ausgang Z gilt auch folgende Beziehung:

$$Z = \bar{P} = \bar{\bar{A}} \wedge B = \bar{A} \wedge B \quad (9)$$

Gemäss der Wahrheitstabelle kann man sagen, dass Z nur dann den Zustand 1 hat, wenn gleichzeitig der Eingang A eine Null (0) und der Eingang B eine 1 hat. Das ist aber nur beim Fall 2 so. Die 1 in der Z-Spalte deutet an, dass hier die LED leuchten muss, sofern alles richtig aufgebaut worden ist.

13.7.5 Funktionsgleichungen

Eine Gleichung wie in (8) oder (9) lässt sich für jede Digitalschaltung angeben. Solche Gleichungen beschreiben die Wirkungsweise der Schaltung, besser gesagt ihre Verknüpfungseigenschaft. Die Verknüpfungseigenschaft lässt sich, wie gesehen, auch mit Hilfe der Wahrheitstabelle darstellen. Die einzelnen Fälle (zum Beispiel 0 bis 3) einer Wahrheitstabelle führen zur Funktionsgleichung. Damit kann der Profi eine bestimmte Schaltung schaltalgebraisch beschreiben. Aus der Gleichung wird dann eine bestimmte Schaltung oder Schaltungsvariante entwickelt. Solche Entwicklungen werden aber erst in der *Digitalpraxis 2* näher behandelt.

Doch halt, bevor Sie jetzt entnervt die *Digitalpraxis 1* auf die Seite legen, nehmen Sie sich eine Tasse Kaffee (oder ein Glas Milch oder vielleicht gar einen Tee) und überdenken die Dinge nochmals langsam und sorgfältig. Gehen Sie die BAX-Tabellen und die Wahrheitstabelle sorgfältig durch und vollziehen Sie alle Schritte einzeln nach. Diese Schritt für Schritt-Methode ist der *einzig sichere Weg* zum Ziel. Wenn man sich Schritt für Schritt durch die Wahrheitstabelle und durch die Schaltung durcharbeitet, kann eigentlich nichts schief gehen. Die meisten Fehler, die Anfänger machen, sind versehentlich einen oder mehrere Schritte auszulassen, zu überspringen oder zweimal auszuführen. Man muss also zusehen, dass man diese gedanklichen Bocksprünge unterlassen kann. Dazu eignet sich das *ILT-Digiboard* ausserordentlich gut. Es ist eine grosse Hilfe, besonders bei der Analyse von Schaltungen.

Wir können nicht genug betonen: Digitaltechnik lernt man kaum nur mit Theorie allein. Erst die sinnvolle Ergänzung mit gezielten Praxisversuchen festigt das Wissen soweit, dass die Digitaltechnik auch verstanden wird. Aus diesem Grunde heisst dieser Lehrgang ja auch *Digitalpraxis*.

13.7.6 Digitalschaltung mit 3 Eingängen

Betrachten wir uns einmal die folgende etwas komplexere Digitalschaltung (**Bild 43**). Die Schaltung hat jetzt 3 Eingänge (A, B und C), es kommen also 8 Fälle in Frage.

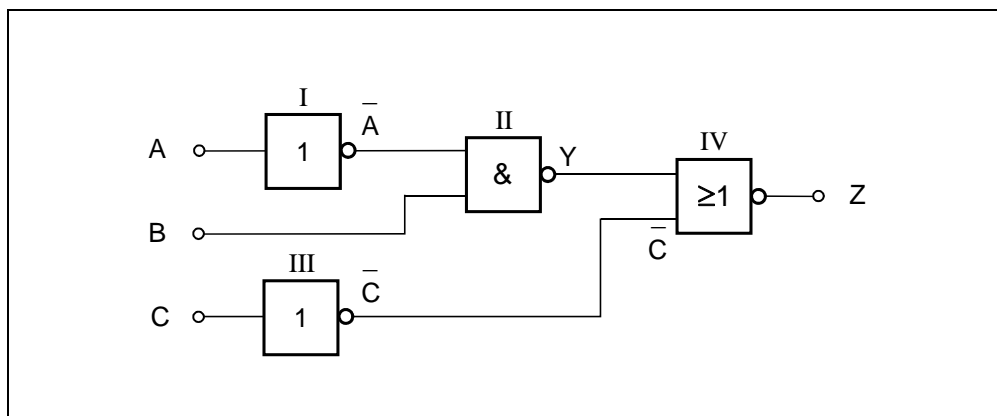


Bild 43: Digitalschaltung mit 3 Eingängen und 4 Gatter.

Das Glied I ist ein NOT-Glied (Inverter), das Glied II ein NAND, das Glied III wieder ein NOT-Glied und das Glied IV ein NOR-Glied.

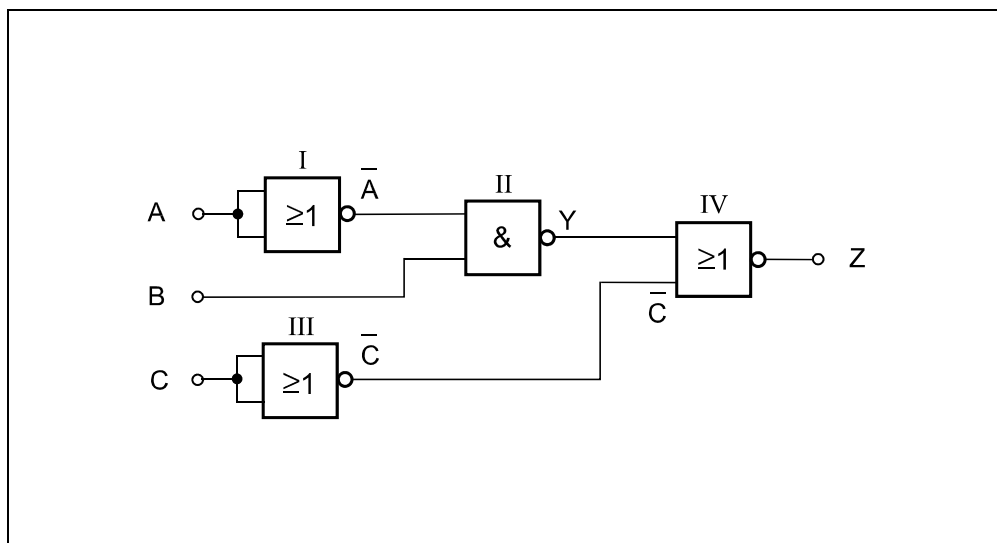


Bild 44: Digitalschaltung wie mit 3 Eingängen und 4 Gatter, wie in Bild 42. Die Inverter (Glieder I und III) sind aber ebenfalls mit NOR (SN7402) aufgebaut.

Die Inverter (Glieder I und III) sind hier mit NOR ausgeführt. Diese Schaltung (**Bild 44**) soll ebenfalls zur Kontrolle selbständig auf dem Digiboard aufgebaut werden, es werden dazu zwei integrierte Schaltungen benötigt, nämlich ein NAND-Baustein SN7400 und ein NOR-Baustein SN7402. Vom SN7400 werden nur $\frac{1}{4}$ und vom 7402 $\frac{3}{4}$ benötigt.

Wir bezeichnen einen Eingang als A, nach dem Inverter (Glied I) wird dann A zu \bar{A} . Der andere Eingang des NAND wird mit B bezeichnet. Die NAND-Verknüpfung wird also zwischen \bar{A} und B hergestellt. Der Eingang C wird durch einen Inverter (Glied III) zu \bar{C} . Dieses Signal gelangt mit dem Ausgangssignal des NAND (Y) zum NOR-Glied (Glied IV). Die NOR-Verknüpfung wird also zwischen Y und \bar{C} hergestellt. Der Ausgang des NOR-Gliedes wird mit Z bezeichnet. Die etwas umfangreichere Wahrheitstabelle ist in **Bild 45** dargestellt. Betrachten wir einmal diese Wahrheitstabelle.

Fall	C	B	A	\bar{A}	$Y = \bar{A} \wedge B$	\bar{C}	$Z = Y \vee \bar{C}$
0	0	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0
2	0	1	0	1	0	1	0
3	0	1	1	0	1	1	0
4	1	0	0	1	1	0	0
5	1	0	1	0	1	0	0
Fall 6 →	1	1	0	1	0	0	1
7	1	1	1	0	1	0	0

← LED leuchtet

Bild 45: Wahrheitstabelle einer Digitalschaltung mit drei Eingängen.

Bei der Entwicklung der Wahrheitstabelle geht man wieder zuerst vom wechselnden Signalpegel des Einganges A aus und trägt diese Werte in die A-Spalte ein. Sodann lassen sich diese Werte negieren und in die \bar{A} -Spalte eintragen. Dann werden die Eingänge B und C eingetragen, in der gleichen Art wie bei früheren Wahrheitstabellen. Der eine Eingang des NAND-Gliedes (Glied II) hat die Bezeichnung \bar{A} und der andere Eingang die Bezeichnung B. Die NAND-Verknüpfung erfolgt also zwischen den Zuständen von \bar{A} und B. Diese Spalten sind unten mit einem zweiten, kurzen Strich gekennzeichnet. Der Ausgang des NAND heisst Y. Für Y gilt die Beziehung:

$$Y = \overline{\overline{A} \wedge B} \quad (10)$$

Dabei sieht man, dass Y nur dann 0 ist, wenn sowohl $\overline{A} = 1$ und $B = 1$ sind. Dies trifft nur für die Fälle 2 und 6 zu, in allen anderen Fällen ist $Y = 1$. Dieses Ausgangs-Signal gelangt nun zum Eingang eines weiteren Gliedes, eines NOR-Gliedes (Glieder IV).

Der Eingang des Gliedes III (Inverter) heisst C, der Ausgang demnach \overline{C} . Dieses \overline{C} bildet zusammen mit dem Y des zweiten Gatters die beiden Eingänge eines NOR-Gliedes (Glieder IV), in der Wahrheitstabelle unten mit einem dicken Strich bezeichnet. Den Zustand Z sieht man aus der folgenden Beziehung (11):

$$Z = \overline{Y \vee \overline{C}} \quad (11)$$

Wenn wir das Y noch durch die Verknüpfung $\overline{\overline{A} \wedge B}$ ersetzen, entsteht die Gleichung (12):

$$Z = \overline{\overline{\overline{A} \wedge B} \vee \overline{C}} \quad (12)$$

Somit kann man sagen, das Z nur dann den Zustand 1 hat, wenn gleichzeitig Eingang A '0', Eingang B Zustand '1' und Eingang C ebenfalls eine '1' haben. Das ist aber nur beim Fall 6 so. Die '1' in der Z-Spalte deutet an, dass hier die LED brennen muss, sofern alles richtig aufgebaut worden ist.

13.7.7 Digitalschaltung mit 4 Eingängen

Betrachten wir uns einmal die folgende noch komplexere Digitalschaltung (*Bild 46*). Die Schaltung hat jetzt sogar 4 Eingänge (A, B, C und D), es kommen also 16 Fälle in Frage.

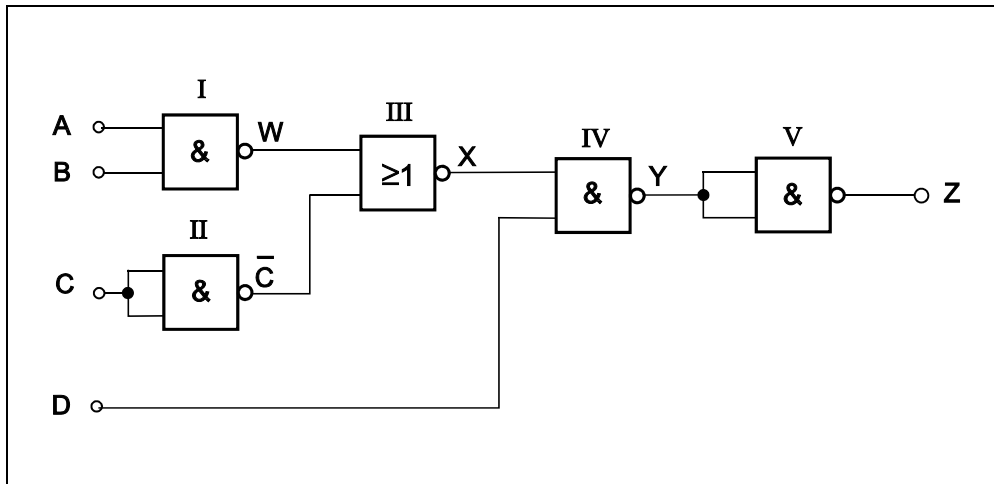


Bild 46: Digitalschaltung mit 4 Eingängen und 5 Gatter.

Das Glied I ist ein NAND-Glied, das Glied II ein zu einem Inverter geschaltetes NAND-Glied. Das Glied III ein NOR-Glied, gefolgt von einem weiteren NAND-Glied (IV). Das Glied V ist wieder ein NAND, das zu einem Inverter geschaltet ist.

Auch diese Schaltung soll zur Kontrolle unbedingt selbständig auf dem Digiboard aufgebaut werden, es werden dazu zwei integrierte Schaltungen benötigt, nämlich ein SN 7400 und ein SN 7402. Vom SN 7400 werden alle vier Gatter und vom 7402 nur ¼. benötigt.

Die beiden Eingänge A und B gelangen zu einem NAND (I), der Ausgang dieses NAND wird als W bezeichnet. Der Eingang C gelangt zu einem Inverter (II) und erscheint am Ausgang als \bar{C} . \bar{C} und W gelangen zu einem NOR-Glied (III), dessen Ausgang mit X bezeichnet ist. X und der vierte Eingang D gelangen zu dem weiteren NAND (IV). Dessen Ausgang gelangt zum letzten Inverter (V). Der Ausgang der ganzen Schaltung wird mit Z bezeichnet.

Fall	D	C	B	A	\overline{C}	$W = \overline{A \wedge B}$	$X = \overline{W \vee C}$	$Y = \overline{X \wedge D}$	$Z = \overline{Y}$
0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	0
3	0	0	1	1	1	0	0	1	0
4	0	1	0	0	0	1	0	1	0
5	0	1	0	1	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0	1	0	1	0
7	0	1	1	1	0	0	1	1	0
8	1	0	0	0	1	1	0	1	0
9	1	0	0	1	1	1	0	1	0
10	1	0	1	0	1	1	0	1	0
11	1	0	1	1	1	0	0	1	0
12	1	1	0	0	0	1	0	1	0
13	1	1	0	1	0	1	0	1	0
14	1	1	1	0	0	1	0	1	0
Fall 15 →	1	1	1	1	0	0	1	0	1

← LED leuchtet

Bild 47: Wahrheitstabelle einer Digitalschaltung mit vier Eingängen.

Wenn auf dem Digiboard alles richtig aufgebaut wurde, brennt die LED gemäss der Wahrheitstabelle nur bei einem einzigen Fall, nämlich dem Fall 15.

Bei der Entwicklung der Wahrheitstabelle in **Bild 47** geht man wieder zuerst vom wechselnden Signalpegel des Einganges A aus und trägt diese Werte in die A-Spalte ein. Dann werden die Eingänge B, C und D eingetragen, in der gleichen Art wie bei früheren Wahrheitstabellen. Beim Eingang D sind die ersten 8 Fälle (0 bis 7) eine 0, die zweiten

8 Fälle (8 bis 15) eine 1. Sodann kann die Spalte \overline{C} erstellt werden, sie ist ja einfach die Negation vom Eingang C. Nun kommen die BAX-Hilfstabellen für AND/NAND und OR/NOR wieder zum Zug.

13.7.8 BAX-Hilfstabellen der Digitalschaltung mit 4 Eingängen

Mit Hilfe dieser Tabellen können nun die erste NAND-Verknüpfung (Glieder I) $W = \overline{A \wedge B}$ (**Bild 48**), die NOR-Verknüpfung (Glieder III) $X = \overline{W \vee C}$ (**Bild 47**) und die zweite NAND-Verknüpfung (Glieder IV) $Y = \overline{X \wedge D}$ (**Bild 50**) in die entsprechenden Spalten der endgültigen Wahrheitstabelle (**Bild 47**) eingetragen werden. Da der Ausgang Z ja die Negation von Y ist ($Z = \overline{Y}$), lässt sich die Z-Spalte ebenfalls leicht eintragen: Z entspricht hier einfach dem inversen Wert des jeweiligen Y-Wertes (in der Wahrheitstabelle Spalte ganz rechts aussen). Durch eine solche schrittweise Entwicklung der Wahrheitstabelle wird sichergestellt, dass die notwendige Übersicht erhalten bleibt.

AND			NAND
B	A	$A \wedge B$	$W = \overline{A \wedge B}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Bild 48: BAX-Tabelle der NAND-Verknüpfung $W = \overline{A \wedge B}$.

→ Merke: W ist nur dann ‘0’, wenn beide Eingänge B und A ‘1’ sind.

OR			NOR
\bar{C}	W	$W \vee \bar{C}$	$X = \overline{W \vee \bar{C}}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Bild 49: BAX-Tabelle der NOR Verknüpfung $X = \overline{W \vee \bar{C}}$.

→ Merke: X ist nur dann '1', wenn beide Eingänge \bar{C} und W '0' sind.

AND			NAND
X	D	$X \wedge D$	$Y = \overline{X \wedge D}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Bild 50: BAX-Tabelle der NAND-Verknüpfung $Y = \overline{X \wedge D}$.

→ Merke: Y ist nur dann '0', wenn beide Eingänge X und D '1' sind.

Der grosse Vorteil dieser BAX-Tabellen ist die zusätzliche Sicherheit, die man bei der Aufstellung einer Wahrheitstabelle erhält. Ohne grosse Vorkenntnisse können dadurch die Wahrheitstabellen stets richtig erstellt werden. Aber auch hier heisst es: Üben, üben, üben...

13.7.9 Entwicklung der Funktionsgleichung

Für die interessierten Schüler wollen wir nun die Entwicklung von Funktionsgleichungen zeigen. Man beginnt vom Anfang der Digital-Schaltung her, also von links nach rechts, beim Glied I (NAND).

$$\boxed{W = \overline{A \wedge B}} \quad (13)$$

Glied III ist ein NOR. Die Eingänge dieses NOR sind der Ausgang des Gliedes I (W) und der Ausgang des Gliedes II (\overline{C}). Das gibt die Funktionsgleichung (14):

$$\boxed{X = \overline{W \vee \overline{C}}} \quad (14)$$

Wenn man W durch $\overline{A \wedge B}$ ersetzt, erhält man die Gleichung (15):

$$\boxed{X = \overline{\overline{A \wedge B} \vee \overline{C}}} \quad (15)$$

Beim Glied IV ist Y der Ausgang einer NAND-Verknüpfung:

$$Y = \overline{X \wedge D}$$

(16)

Auf das Glied IV folgt ein Inverter (Glieder V). Da Z die Negation von Y ist, heisst die nächste Beziehung (17):

$$Z = \overline{Y} = \overline{\overline{X \wedge D}}$$

(17)

Eine doppelte Negation (Doppelstrich über dem rechten Teil der Gleichung 17) hebt sich auf, also wird Z:

$$Z = X \wedge D$$

(18)

Als nächstes ersetzen wir das X in der Gleichung (18) mit dem rechten Teil der Gleichung (14):

$$Z = \overline{W \vee \overline{C}} \wedge D$$

(19)

Nun können wir in Formel (19) das W durch den rechten Teil der Gleichung 13 ersetzen und erhalten so die endgültige Funktionsgleichung (20) der ganzen Schaltung:

$$Z = \overline{A \wedge B} \vee \overline{C} \wedge D \quad (20)$$

Gemäss der Wahrheitstabelle kann man sagen, das Z nur dann den Zustand 1 hat, wenn gleichzeitig die Eingänge A, B C und D eine 1 haben. Das ist aber nur beim Fall 15 so. Die 1 in der Z-Spalte deutet an, dass hier die LED leuchten muss, sofern alles richtig aufgebaut worden ist.

Nun haben Sie wieder einmal einen Kaffee (oder einen Pfefferminztee) verdient, um sich die ganze Geschichte noch einmal in Ruhe durchzudenken. Selbstverständlich werden solch komplizierte Funktionsgleichungen an der Amateurfunk-Lizenzprüfung nicht verlangt. Das schrittweise Studium damit verleiht den Schülern aber eine immer grössere Festigkeit in der Materie der Digitaltechnik. Und dieses Ziel wollen wir schliesslich erreichen.

13.8 Schaltungsentwicklung

Anwendungen für Digitalschaltungen gibt es unzählige. Mit ICs werden aber oft nur kompliziertere Schaltungen erstellt. Die ILT-Schule hat nun aber auch für eine einfache Anwendung eine praktische Digitalschaltung entwickelt, die sich gut aufbauen und vor allem auch *verstehen* lässt: Eine richtige *Alarmanlage*. Obwohl dieses Beispiel relativ einfach ist, zeigt es doch recht anschaulich, wie Digitalschaltungen entwickelt werden. Halt, bevor Sie jetzt entnervt die *Digitalpraxis 1* zur Seite legen: Solche Aufgaben werden an der Lizenzprüfung nicht gefordert. Sie dienen aber dazu, das Gelernte zu festigen. Eine ganz wesentliche Rolle bei diesem Prozess spielt das ILT-Digiboard. Wenn Sie jetzt ihr *eigenes* Digiboard hervornehmen, können Sie die Theorie gleich in die Praxis umsetzen.

13.9 Eine Alarmanlage

Die Alarmanlage, welche wir konstruieren wollen, liesse sich natürlich auch mit mechanischen Kontakten oder Relais erstellen. Da wir aber nun einmal in der Digitaltechnik drin sind, ergibt sich so eine hervorragende Gelegenheit, die Aufgabe mit Logikbausteinen zu lösen. Interessant und ganz wesentlich bei dieser Entwicklung ist die Tatsache, dass man zuerst die Aufgabe genau definiert. Dann werden die Vorgaben und Bedingungen erfasst, die Logikpegel notiert und eine Wahrheitstabelle erstellt. Und erst dann wird die eigentliche Schaltung entworfen. Nur wenn man diese Reihenfolge genau einhält, lassen sich auch komplexe Schaltungen entwickeln.

13.9.1 Aufgabe

Wir möchten unseren Funkshack gegen offene Türen und offene Fenster überwachen. Die Grundbedingung soll sein, dass ein Alarm ausgelöst werden soll, wenn entweder die Türe offen ist, oder das Fenster offen ist, oder diese beiden Zustände gleichzeitig gegeben sind. Als besonderen Komfort möchten wir noch erreichen, dass ein Alarm erst dann (und *nur* dann) ausgelöst werden kann, wenn wir den Raum verlassen und das Licht gelöscht haben.

13.9.2 Blockschaltbild

Auf Grund dieser Vorgabentabelle können wir nun ein Blockschaltbild erstellen (*Bild 51*). Es entspricht im Prinzip demjenigen in *Bild 8*. Drei Eingänge, nämlich das Fenster (*A*), die Türe (*B*) und der Licht-Status (*C*) sollen den Ausgang *Y* (Alarmauslösung) steuern.

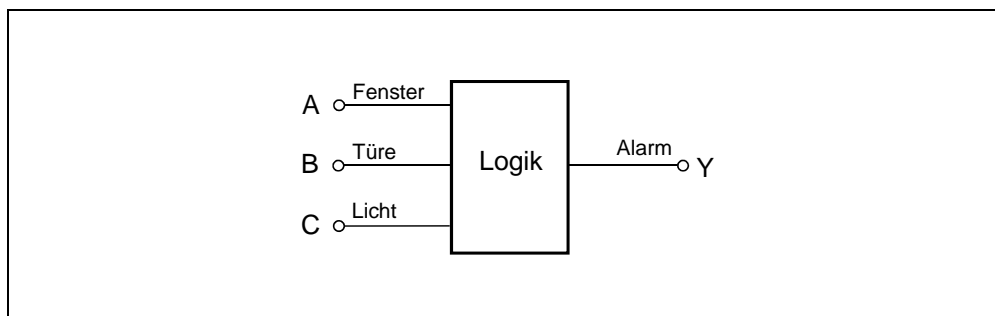


Bild 51: Blockschaltbild der Alarmanlage.

13.9.3 Vorgaben

Die Bedingungen lassen sich in einer Vorgabentabelle (*Bild 52*) zusammenfassen. Daraus ersehen wir, dass die drei möglichen Eingangszustände (Fenster und Türe offen oder geschlossen, und Licht [Raumbeleuchtung] ein oder aus) einen Ausgangszustand (Alarmauslösung) beeinflussen. Nach den Gesetzen der Logik ergeben sich für die drei Eingänge acht mögliche Fälle (\rightarrow Kapitel 1.4.2). Ein Alarm soll immer dann ausgelöst werden, wenn entweder die Türe oder das Fenster oder beide offen stehen, aber natürlich *nur* dann, wenn wir das Licht ausgeschaltet haben. Wie wir sehen, gibt es drei mögliche Fälle (Fall 1, 2 und 3), die einen Alarm auslösen können. Diese Fälle sind grau schraffiert.

Fall	Bedeutung	Alarmauslösung
0	Fenster und Türe geschlossen, Licht ausgeschaltet	nein
1	Fenster offen, Türe zu, Licht ausgeschaltet	ja
2	Fenster zu, Türe offen, Licht ausgeschaltet	ja
3	Fenster offen, Türe offen, Licht ausgeschaltet	ja
4	Fenster und Türe geschlossen, Licht eingeschaltet	nein
5	Fenster offen, Türe zu, Licht eingeschaltet	nein
6	Fenster zu, Türe offen, Licht eingeschaltet	nein
7	Fenster offen, Türe offen, Licht eingeschaltet	nein

Bild 52: Vorgabentabelle der Alarmanlage. Die schraffierten Flächen bedeuten, dass in diesen Fällen die Alarmanlage einen Alarm auslösen soll (Fälle 1 bis 3).

13.9.4 Logikpegel

Als weitere Arbeiten müssen wir nun die verschiedenen Logikpegel definieren. Das bedeutet, dass man genau festlegen muss, welchem Logikpegel (0 oder 1) ein bestimmter Zustand der Türe und des Fensters (zum Beispiel offen oder geschlossen) entspricht. Der Status der Raumbeleuchtung (Licht aus- oder eingeschaltet) soll ebenfalls einen genau definierten Logikpegel erhalten.

Der Zustand des Fensters wird auf den Eingang A der Logikschaltung gegeben, derjenige der Türe auf den Eingang B. Wir definieren folgende Zustände: ‘geschlossene Türen oder Fenster’ logisch 0, ‘offene Türen oder Fenster’ logisch 1. Am Eingang C liegt der Status der Raumbeleuchtung, der besagt, ob das Licht aus- oder eingeschaltet ist. Logisch 0 bedeutet ‘Licht ausgeschaltet’, logisch 1 ‘Licht eingeschaltet’. Diese Angaben sind wiederum in einer Tabelle (**Bild 53**) zusammengefasst. Beim Ausgang Y bedeutet logisch 1 ‘Alarm wird ausgelöst’ und logisch 0 ‘Alarm wird nicht ausgelöst’.

Ein/Ausgang	Bedeutung	Logikpegel
Eingang A	Fenster OFFEN	1
	Fenster ZU	0
Eingang B	Türe OFFEN	1
	Türe ZU	0
Eingang C	Licht AUS	0
	Licht EIN	1
Ausgang Y	Alarm wird AUSGELÖST	1
	Alarm wird NICHT AUSGELÖST	0

Bild 53: Logikpegel der Alarmanlage.

13.9.5 Wahrheitstabelle

Als nächste Arbeit fassen wir die beiden Tabellen zusammen und erstellen so die eigentliche Wahrheitstabelle (**Bild 54**). Gemäss Kapitel 1.4.2 sehen wir links vom Doppelstrich drei Spalten für die Eingänge A, B und C vor. In einer vierten Spalte tragen wir die acht Fälle 0 bis 7 ein. Rechts vom Doppelstrich erscheint der Ausgang Y. Zum besseren Verständnis haben wir bei einzelnen Zeilen noch Kommentare zu den Eingängen und zum Ausgang aufgeführt. Wie wir in Kapitel 1.4.2 gesehen haben, erhält die Spalte A zeilenweise wechselnde Signalpegel. Man beginnt immer bei der ersten Zeile (Fall 0) mit dem Logikpegel 0. Bei der Spalte B haben immer zwei aufeinander folgende Zeilen den gleichen Signalpegel, also 0 und 1; 2 und 3; 4 und 5; sowie 6 und 7. Bei der Spalte C sind es vier aufeinander folgende Zeilen, die den gleichen Pegel haben, also die Fälle 0 bis 3 und 4 bis 7. Auf diese Weise erreichen wir eine sichere Abdeckung aller möglichen Fälle. Die schraffierten Flächen in der C-Spalte bedeuten, dass dann ein Alarm ausgelöst wird (Fälle 1 bis 3). Beim Fall 0 wäre vom Status-Schalter C ein Alarm wohl möglich. Er soll aber nicht ausgelöst werden, weil sowohl Fenster als auch Türe zu sind. Bei den Fällen 4 bis 7 wird kein Alarm ausgelöst, weil der Status-Schalter (C) die Alarmauslösung blockiert. Mit dem Status-Schalter C kann also die Alarmauslösung aktiviert werden, die Alarmanlage ist 'scharf' (Fälle 1 bis 3). Andererseits kann die Alarmauslösung auch verhindert werden, die Alarmanlage ist dann im 'Stand-by-Betrieb' Fall 0 und Fälle 4 bis 7).

Kommentare zu den Eingängen	Fall	C	B	A	Y	Kommentare zum Ausgang
Fenster und Türe zu, Licht aus →	0	0	0	0	0	← Alarm wäre vom Status-Schalter C wohl möglich, wird aber nicht ausgelöst, weil Fenster und Türe zu sind.
Fenster offen, Türe zu, Licht aus →	1	0	0	1	1	← Alarm wird ausgelöst
Fenster zu, Türe offen, Licht aus →	2	0	1	0	1	← Alarm wird ausgelöst
Fenster und Türe offen, Licht aus →	3	0	1	1	1	← Alarm wird ausgelöst
Fenster und Türe zu, Licht ein →	4	1	0	0	0	← Alarm wird <u>nicht</u> ausgelöst
Fenster offen, Türe zu, Licht ein →	5	1	0	1	0	← Alarm wird <u>nicht</u> ausgelöst
Fenster zu, Türe offen, Licht ein →	6	1	1	0	0	← Alarm wird <u>nicht</u> ausgelöst
Fenster und Türe offen, Licht ein →	7	1	1	1	0	← Alarm wird <u>nicht</u> ausgelöst

Bild 54: Wahrheitstabelle der Alarmanlage. Der Doppelstrich bei den Fällen 0 bis 3 bedeutet, dass hier das Licht ausgeschaltet ist, in den Fällen 4 bis 7 ist es eingeschaltet. Eine Auslösung des Alarms ist nur in den Fällen 0 bis 3 möglich, aber nur in den Fällen 1 bis 3 sinnvoll.

13.9.6 Schaltung der Alarmanlage

Mit dieser Wahrheitstabelle ist nun der Digital-Techniker mit Hilfe der Schaltalgebra in der Lage, die eigentliche Schaltung der Alarmanlage (oder mehrere Schaltungsvarianten) mit integrierten Schaltungen (ICs) zu entwickeln. Eine solche Entwicklung wird aber erst in der *Digitalpraxis 2* ausführlich behandelt. Damit wir unsere Alarmanlage aber trotzdem bauen können, bringen wir in **Bild 55** eine der möglichen Schaltungslösungen.

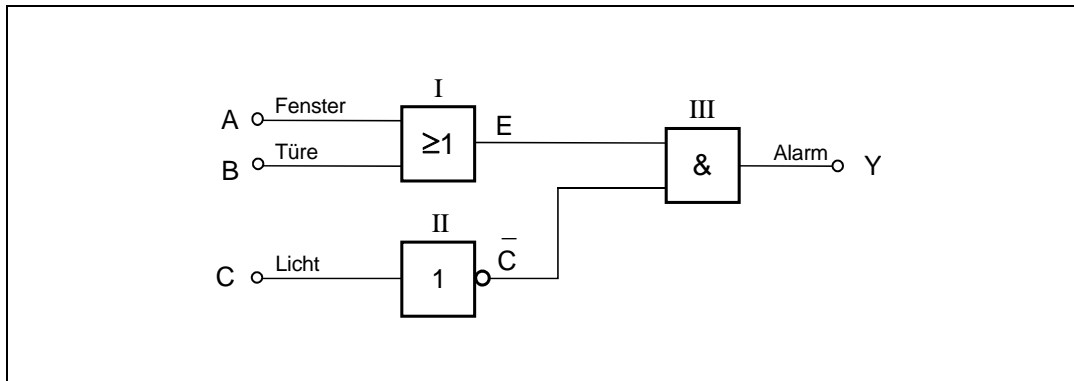


Bild 55: Schaltbild der digitalen ILT-Alarmanlage.

Wie wir sehen, gelangen die Zustände von Türe und Fenster zu einem OR-Gatter (I). Für die Verknüpfung des Einschaltens der Alarmanlage dient ein AND-Baustein (III). Weil die Alarmanlage automatisch erst dann eingeschaltet werden soll, wenn das Licht ausgeschaltet wird (der Status ist dann logisch 0), gelangt dieses Signal über ein NOT-Baustein (II) zum AND-Gatter.

Zum besseren Verständnis der Schaltung haben wir die Wahrheitstabelle noch um die Spalten E und \bar{C} erweitert (**Bild 56**). Diese beiden Spalten sind ja die beiden Eingänge des AND-Bausteins (III). Sie sind unten mit einem dicken Strich markiert. Zum kompletten Verständnis ist es wichtig, die einzelnen Logik- und Pegelschritte gemäss Schaltung und Wahrheitstabelle genau nachzuvollziehen. Nur so festigen wir unser Verständnis der Digitaltechnik soweit, dass wir selbständig einfache Schaltungsanalysen vornehmen können. Die weiteren Schaltungsvarianten können mit dem Digiboard selbständig aufgebaut werden, sie sind in der Arbeitsmappe enthalten.

Kommentare zu den Eingängen	Fall	C	B	A	E	\bar{C}	$Y = E \wedge \bar{C}$	Kommentare zum Ausgang
Fenster und Türe zu, Licht aus →	0	0	0	0	0	1	0	
Fenster offen, Türe zu, Licht aus →	1	0	0	1	1	1	1	← Alarm wird ausgelöst LED leuchtet
Fenster zu, Türe offen, Licht aus →	2	0	1	0	1	1	1	← Alarm wird ausgelöst LED leuchtet
Fenster und Türe offen, Licht aus →	3	0	1	1	1	1	1	← Alarm wird ausgelöst LED leuchtet
Fenster und Türe zu, Licht ein →	4	1	0	0	0	0	0	
Fenster offen, Türe zu, Licht ein →	5	1	0	1	1	0	0	
Fenster zu, Türe offen, Licht ein →	6	1	1	0	1	0	0	
Fenster und Türe offen, Licht ein →	7	1	1	1	1	0	0	

Bild 56: Erweiterte Wahrheitstabelle der Alarmanlage.

Für alle Studierenden, die bereits mit Funktionsgleichungen arbeiten können, folgt hier der Vollständigkeit halber in (21) noch die Funktionsgleichung unserer Alarmanlage:

$$Y = E \wedge \bar{C} = (A \vee B) \wedge \bar{C} \tag{21}$$

Aus der Wahrheitstabelle sieht man, dass Y nur dann '1' ist (Alarm wird ausgelöst), wenn A (Fenster offen) oder B (Türe offen) oder beide zusammen eine '1' haben und gleichzeitig C '0' (Null) hat (Licht aus).

13.9.7 Praktischer Aufbau

Als nächstes wird nun die Schaltung gemäss Bild 57 auf dem ILT-Digiboard aufgebaut. In der Versuchsbeschreibung werden drei mögliche Schaltungsvarianten aufgezeigt. Nämlich die Originalschaltung gemäss Bild 57, sowie je eine Ausführung in NAND-Technik und NOR-Technik. Alle drei Varianten sind funktionsmässig identisch. Sie lassen sich

alle mit dem Digiboard aufbauen und, was enorm wichtig ist, auch *verstehen*. Dieses Verständnis wird durch das gezielte Arbeiten mit dem Digiboard entscheidend gefördert.

Die Tür- und Fensterkontakte (Eingänge A und B) sowie der Status-Schalter der Raumbeleuchtung (Eingang C) sind als mechanische Umschalter ausgeführt. Sie führen die Logikpegel 0 oder 1 zu den jeweiligen Eingängen.

In der ILT-Schule haben wir zum besseren Verständnis ein Modell des Hauses gebaut, in welchem die Tür- und Fensterkontakte sowie die Alarmanzeige eingebaut sind. Als «Alarm» dient hier eine Lampe. Es kann aber auch eine Blinkelektronik, ähnlich dem LED-Blinker aus dem ILT-Selbstbau-Labor Verwendung finden. Mit einem zusätzlichen Relais kann natürlich auch ein Summer oder eine Klingel aktiviert werden.

Zusammen mit der Wahrheitstabelle und dem Schaltbild kann das praktische Modell sehr zum endgültigen Verständnis der Digitalpraxis beitragen. Durch wechselseitiges Überprüfen der einzelnen Schaltstufen mit dem eingebauten Logiktester des Digiboard kann die gesamte Schaltung schön langsam und intensiv Schritt für Schritt begriffen werden.

Das grosse Plus der Digitalpraxis 1 ist aber zweifellos die stete Verfügbarkeit eines einfachen Systems zu allen Fragen der Digitaltechnik. Dies trifft besonders zu in Verbindung mit dem Digiset, lassen sich doch damit neue Digitalschaltungen blitzschnell aufbauen und studieren. Dies verleiht Ihnen auch auf dem Gebiet der Digitaltechnik die notwendige Fitness.

Also: Let's go digital ! Digitalpraxis und Digiset wollen Ihnen dabei ein steter Begleiter sein.

13.10 Stichwortverzeichnis

Bei den Zahlen im Stichwortverzeichnis bedeutet die erste Zahl die Lektion, die zweite Zahl gibt die Seitenzahl an, wo sich der gewünschte Begriff findet. Zum Beispiel der Begriff BAX-Hilfstabellen 13- 56: Er ist in der Lektion 13 auf Seite 56 zu finden. Diese doppelte Angabe braucht es für das Stichwortverzeichnis des gesamten ILT-Lehrgangs ‚Amateurfunktechnik‘. In diesem Lehrgang ist die vorliegende Digitalpraxis 1 die Lektion 13..

<p>A</p> <p>Alarmanlage 13- 69 Analog 13- 9 AND-Glied 13- 24 AND-Verknüpfung 13- 21 AND-Verknüpfung mit Schalter 13- 23 Arbeitsmappe 13- 45 ASCII-Code 13- 13</p> <p>B</p> <p>BAX-Hilfstabellen 13- 54 BAX-Tabellen 13- 54 Bedienteil 13- 43 Binär 13- 11 Binäre Zustände 13- 12 Binärsystem 13- 15 Binärzeichen 13- 13 Bit 13- 12 Bool'sche Algebra 13- 51 Boole 13- 51 Byte 13- 12</p> <p>D</p> <p>Datenverarbeitung 13- 11 De Morgansches Gesetz 13- 48 Digiboard 13- 8 Digiset 13- 41 Digital 13- 9 Digitale Anzeige 13- 11 Digitale Steuerung 13- 21 Digital-Experimentier-Case 13- 47 Digitaltechnik 13- 7 Digitaltrainer 13- 8 Digitus 13- 10 Dualcode 13- 13 Dualsystem 13- 15</p> <p>E</p> <p>EDV 13- 11 Entwicklung der Funktionsgleichung 13- 65 EXKLUSIV-NICHT-ODER 13- 37</p>	<p>EXKLUSIV-ODER 13- 37 Experimentierteil 13- 43</p> <p>F</p> <p>Funktionsgleichung 13- 57 Funktionsgleichungen, Entwicklung von 13- 65</p> <p>G</p> <p>Grundglieder 13- 21</p> <p>H</p> <p>Hexadezimalsystem 13- 15</p> <p>I</p> <p>IC 13- 11 ILT-Amateurfunk-Lehrgang 13- 7 ILT-Digiboard 13- 41 ILT-Digiset 13- 41 Integrierte Schaltung 13- 11 Inverter 13- 28</p> <p>L</p> <p>Logiktester 13- 43 Logische Verknüpfungen 13- 21</p> <p>M</p> <p>Mehrfach-Wahrheitstabelle 13- 39</p> <p>N</p> <p>NAND-Gatter 13- 31 NAND-Glied 13- 29, 31 Negation 13- 27 NICHT-Glied 13- 28 NOR-Glied 13- 32, 33 NOT-Glied 13- 28 NOT-Verknüpfung 13- 27</p>
--	--

O

ODER-Glied 13- 26
OR-Glied 13- 26
OR-Verknüpfung 13- 25

P

Praktische Experimente 13- 35, 41

S

Schaltalgebra 13- 51
Schaltungsanalyse 13- 51
Schaltungsentwicklung 13- 51, 69

U

Übersicht Dezimal- und Binärsystem 13- 18
Umwandlungen der Zahlensysteme 13- 19

UND-Verknüpfung 13- 21

V

Verbotener Zustand 13- 12
Verknüpfungseigenschaft 13- 57

W

Wahrheitstabelle 13- 21, 25, 27, 51

X

XNOR 13- 37
XOR 13- 37

Z

Zahlensysteme 13- 15
Zweiwertig 13- 11