Universität Zürich[UZH]

Computer-

Gestütztes

Experimentieren I

(SPI301)

Herbstsemester 2020

Roland Bernet
Herbert Bitto
Behzad Sardari Ghojehbeiglou

Computergestütztes Experimentieren I (SPI301)

ECTS: 5

Übersicht
Bei diesem Kurs geht es darum, ein Verständnis für die Planung, den Aufbau und die Durchführung von Experimenten zu erlangen, die Computer einsetzen für das Steuern der Experimentierparameter, für das Erfassen von Messdaten und für die Datenanalyse

Durchführung
Zweistündige Vorlesung
Dreistündiges Praktikum
Mündliche Prüfung (30 Min)

Beschreibung
Im Herbstsemester (CGE I) beginnen wir zunächst damit, ein Verständnis für den Aufbau von Rechnern zu erarbeiten, indem wir einen einfachen Modellrechner mittels digitaler Schaltungen aufbauen. Danach werden einfache Experimente durchgeführt, anhand derer der typische Aufbau von Programmen, die Hardware und die Software Aspekte der Schnittstelle zwischen Experiment und Computer besprochen werden. Ferner befassen wir uns mit der Erfassung und Analyse zeitlich veränderlicher Analogsignale.

Dabei kommen Programmiersprachen wie LabVIEW und C++ (CGE II) zum Einsatz.

Anrechnung

im Hauptstudium
in den meisten MNF Fächern z.B. Physik, Chemie und verschiedene Varianten, Biologie, Mathematik, … ; Informatik in Varianten

in Nebenfächern
Computational Science, Simulationen in den Naturwissenschaften (in Varianten), Neuroinformatik (in Varianten); Informatik (in Varianten)

VORLESUNGSÜBERSICHT

- Verbindung Rechner - Prozess
- Einführung in die Technische Informatik
  - Zahlendarstellung
  - Kombinatorische Schaltkreise
  - Sequentielle Schaltkreise
  - Struktur eines Rechners
- Software Engineering
- Kommunikationssysteme
- Erfassung analoger Meßsignale
- Erfassung und Analyse zeitlich veränderlicher Signale

Computergestütztes Experimentieren I + II

Praktikum

Physik-Institut und Chem. Institut

- Digitale Elektronik (vom Gatter zum Computer)
- Echtzeit-Programmentwicklung in einer höheren Programmiersprache (Plattform: IBM PC, Betriebssystem: Windows/Linux, Sprache: NI-LabView)
    - Steuerung mit standardisiertem Labor-Instrumenten-Bus (GPIB-Bus) (Experiment: Spezifische Wärme)
    - Steuerung mit Multifunktionsschnittstellenkarte (Experimente: Digitale Ausgabe, Blendenversuch, Blendenregelung)
- Übungen zur digitalen Signalverarbeitung zeitlich veränderlicher Signale und zum Abtasttheorem

---

- Einführung in C/C++ (Borland C++ Builder im Embarcadero RAD Studio)
- Einfache Experimente mit Multifunktionsschnittstellenkarte
    - Digitale Ausgabe
    - Blendenversuch (C++ GUI, TChart Grafik)
- Komplexes Experiment mit Multithreading
    - Gesteuerter Chemischer Reaktor

Literaturverzeichnis

K. L. Ratzlaff	Introduction to Computer-assisted Experimentation John Wiley & Sons, 1987
Meyers Lexikonredaktion	Wie funktioniert das? Der Computer Meyers Lexikonverlag, 1990
K. Ebert, H. Ederer	Computeranwendungen in der Chemie Verlag Chemie
W. J. Hurst	Automation in the Laboratory VCH Publishers
D. W. Hoffmann	Grundlagen der Technischen Informatik Hanser 2013
E. Leonhardt	Grundlagen der Digitaltechnik Hanser Verlag
O. Haack	Einführung in die Digitaltechnik Teubner Verlag
L. Graf, H. Jacob, W. Meindl, W. Weber	Keine Angst vor dem Microcomputer VDI-Verlag
E. O. Brigham	FFT Verlag: R. Oldenburg
W. H. Press, S. A. Teukolsky W. T. Vetterling, B. P. Flannery	Numerical Recipes Cambridge University Press
R. N. Bracewell	The Fourier-Transform and its Applications McGraw-Hill
D. Achilles	Die Fourier-Transformation in der Signalverarbeitung Springer Verlag
P. R. Bevington	Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences, McGraw-Hill
R. Ludwig	Methoden der Fehler- und Ausgleichsrechnung Vieweg Verlag

Verbindung Rechner - Prozess

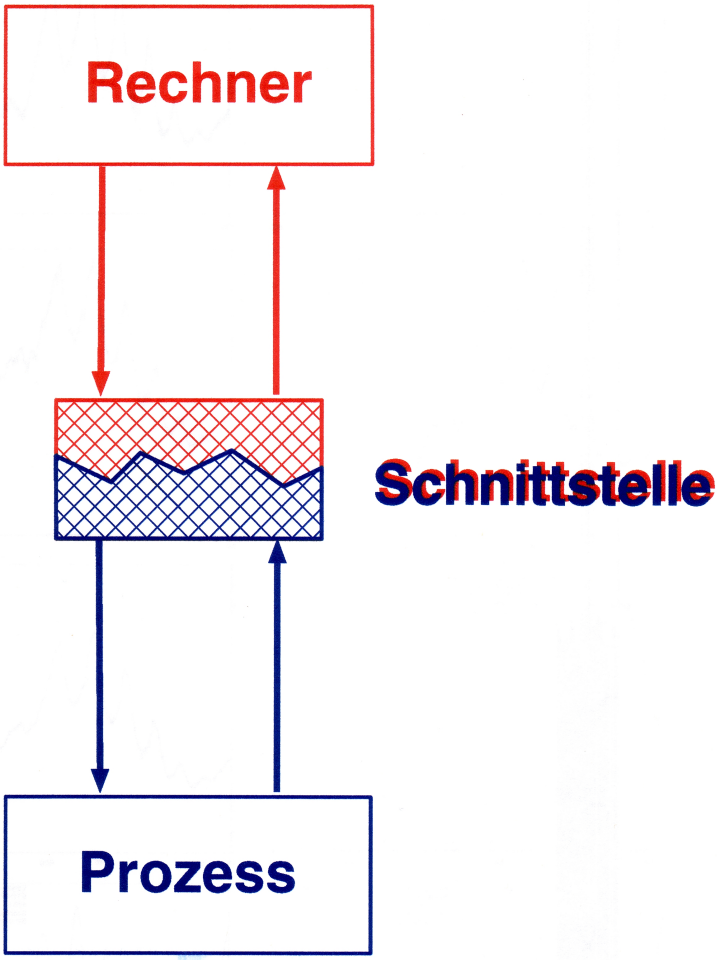
1. Definition Prozess
2. Arten der Prozesskopplung
   - 2.1 Indirekte Prozesskopplung (off-line)
   - 2.2 Direkte Prozesskopplung (on-line)
   - 2.3 Innige Prozesskopplung (in-line)
3. Anwendungsbeispiele

1. Definition des Begriffes **Prozess**

Unter einem **Prozess** versteht man einen Vorgang
zur Umformung oder zum Transport von
Stoff, Energie oder Information.

Unter einem **technischen Prozess** versteht man ein System,
dessen Zustandsgrössen überwiegend physikalische Grössen sind,
die gemessen, gesteuert und geregelt werden können.

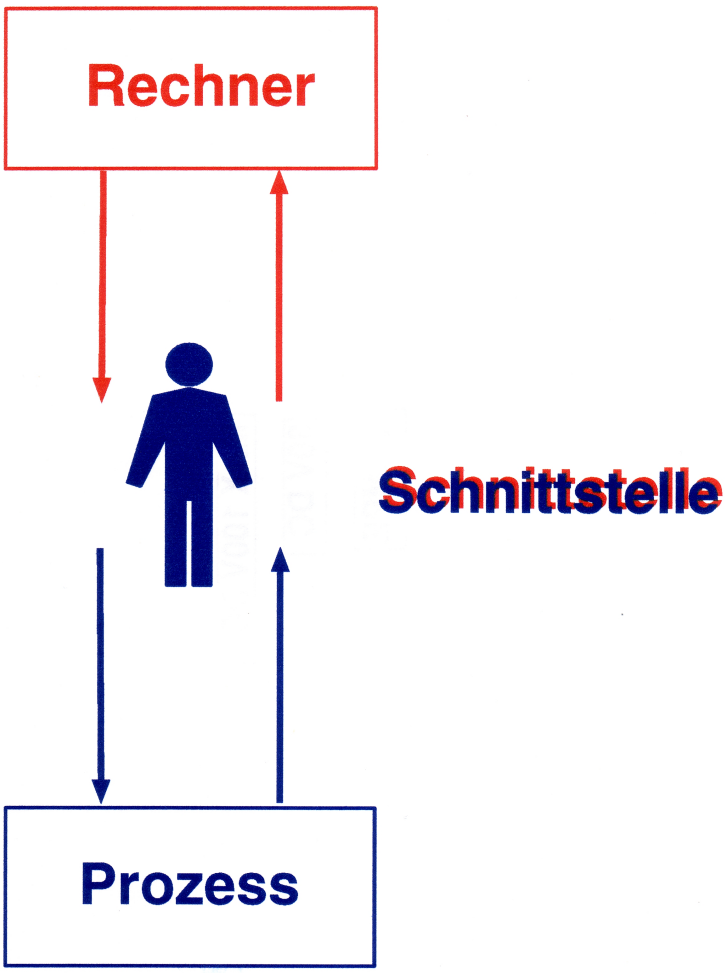
2. Kopplung Rechner - Prozess



Kopplung Rechner - Prozess

Die Moglichkeiten der Kopplung entwickelten sich in der Geschichte des Computers.

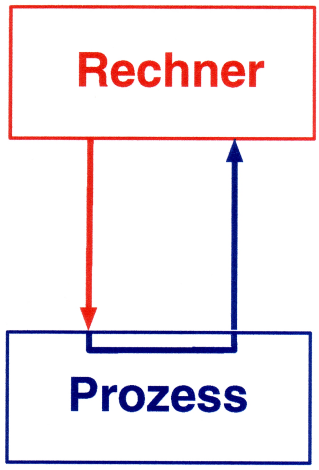
2.1 Indirekte Prozesskopplung (off-line)



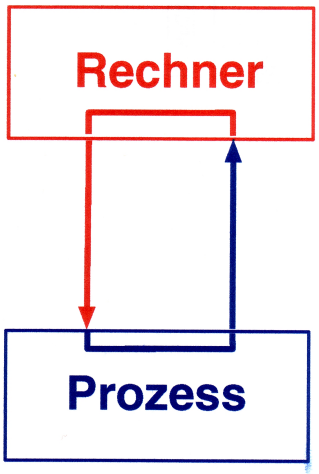
indirekte Kopplung

Zeitalter des Grosscomputers (Mainframe z.B. IBM360):
Stapelverarbeitung; Aufkommen der interaktiven Verarbeitung

2.2 Direkte Prozesskopplung (on-line)



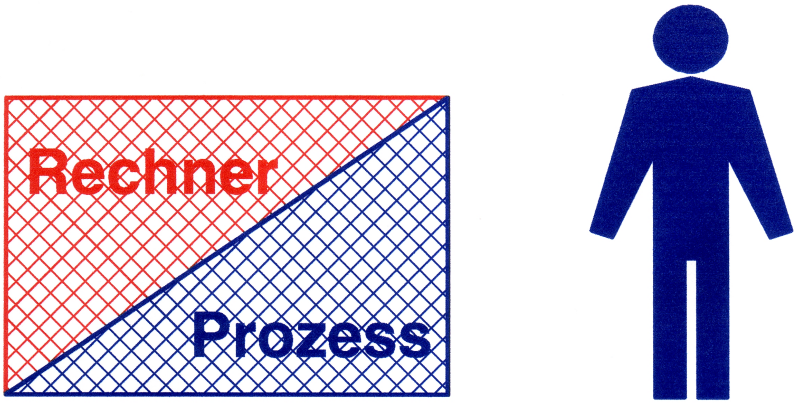
direkte
offene



direkte
geschlossene
Kopplung

Aufkommen der Minicomputer Ende der 1960er
Reduktion der Antwortzeit ermöglichte Echtzeit-Verarbeitung $\longrightarrow$
Laborcomputer (PDP11)

2.3 Innige Prozesskopplung (in-line)



innige Kopplung

Weitere Miniaturisierung $\longrightarrow$ Microprocessoren
Erfindung des Personal Computers (Apple I 1976)
Intelligente Laborgeräte
Direkte Kopplung an zentralen Rechner

Aktuell: **I**nternet **o**f **T**hings IoT

3. Anwendung der direkten Kopplung bei Experimenten

- Schnelle Datenerfassung (Geschwindigkeit und Fülle)
- Langandauernde Datenerfassung
- Wiederholung zur S/N - Verbesserung
- Steuerung des Experimentes
- Kostenreduktion

Technische Informatik

1. Grundlagen und Zahlendarstellung
   - 1.1 Grundlagen
   - 1.2 Zahlendarstellung und Umwandlung dezimal $\Longleftrightarrow$ dual
   - 1.3 Addition
   - 1.4 Subtraktion, negative Zahlen
2. Kombinatorische Schaltkreise
   - 2.1 Basisoperatoren
   - 2.2 Logische Schaltkreise
   - 2.3 Grundgesetze der Schaltalgebra
   - 2.4 Entwicklung einer Schaltung
   - 2.5 Abgeleitete logische Schaltkreise

Erfindung der ersten programmierbaren Rechenmaschine

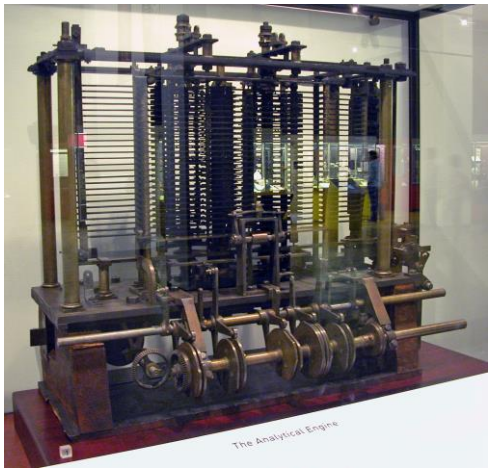
Charles Babbage:

- Difference Engine :

  Bau 1832; nie funktionstüchtig;
  Berechnung von Logarithmentafeln

- Analytical Engine :

  Planung ab 1833; nie gebaut
  Gleitkommadarstellung, Dezimalzahlen
  Programmierbar (Turingmächtig)



Erstes Programm: Berechnung der Bernoulli-Zahlen durch Ada Lovelace
(Erfindung des algorithmischen Progammierens)

Frühe Computer des 20.-ten Jahrhunderts

Computermodell	Land	Inbetriebnahme	Gleitkomma-arithmetik	Binär	Elektronisch	Programmierbar	Turingmächtig
Zuse Z3	Deutschland	Mai 1941	Ja	Ja	Nein	Ja, mittels Lochstreifen	Ja, ohne Praxisnutzen
Atanasoff-Berry-Computer	USA	Sommer 1941	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Colossus	UK	1943	Nein	Ja	Ja	Teilweise, durch Neuverkabelung	Nein
Mark I	USA	1944	Nein	Nein	Nein	Ja, mittels Lochstreifen	Ja
Zuse Z4	Deutschland	März 1945	Ja	Ja	Nein	Ja, mittels Lochstreifen	Ja, ohne Praxisnutzen
		um 1950	Ja	Ja	Nein	Ja, mittels Lochstreifen	Ja
ENIAC	USA	1946	Nein	Nein	Ja	Teilweise, durch Neuverkabelung	Ja
		1948	Nein	Nein	Ja	Ja, mittels Widerstandsmatrix	Ja

Quelle Wikipedia Zuse Z3

Neuerungen der ersten modernen Rechner von Zuse und Atanasoff

1. Duale Zahlendarstellung
2. Bistabile Schaltelemente z.B. zur Speicherung
3. Verwendung der Aussagenlogik (Aristoteles) oder der isomorphen Schaltalgebra (siehe C. Shannon, Masterarbeit 1937)
4. Gleitkommadarstellung der Zahlen

Voraussetzungen der Aussagenlogik und der zweiwertigen Schaltalgebra

1. Prinzip der Zweiwertigkeit jeder Aussage
   "wahr" oder "falsch"; Strom "fliesst" oder "fliesst nicht"
2. Prinzip des ausgeschlossenen Dritten
   Es gibt nur wahre oder falsche Aussagen; nichts anderes wie z.B. Jain
3. Prinzip vom ausgeschlossenen Widerspruch
   Eine Aussage kann nicht wahr und falsch sein.

Zahlensysteme

Additionssysteme

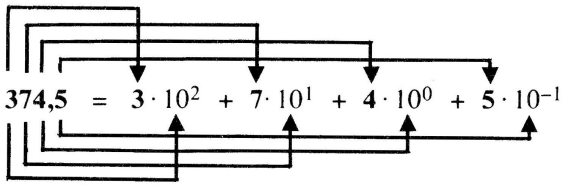
Kulturvolk	Zahlendarstellung und Bedeutung
Römer	M C M L XXX I (2·1000-100) + 50 + 30 + 1 = 1 981
Ägypter	5·10 000 + 2·1000 + 3·100 + 9·10 + 6 = 52 396
Sumerer	2·3600 + 600 + 60 + 2·10 + 4 = 7 884
China (Sangi-Zahlzeichen)	1 10 4 80 9 = 11 489

Stellenwertsysteme

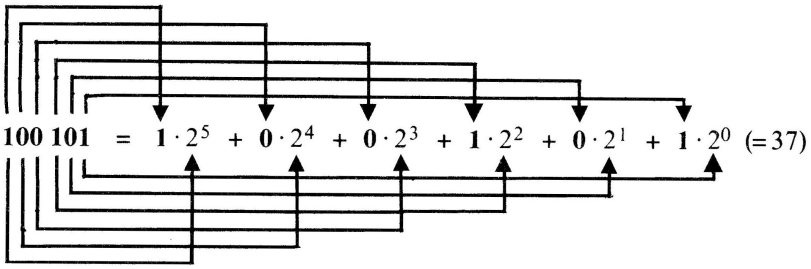
Potenzreihendarstellung in der Basis β:

$$Z = \Sigma_{i=0}^{N-1} \alpha_i \beta^i \qquad 0 \leq \alpha_i \leq \beta - 1$$

a) Dezimalsystem



b) Dualsystem



Zahlendarstellung in verschiedenen Zahlensystemen

Zahlenwert	Dual	Oktal	Dezimal	Hexadezimal
Null	0	0	0	0
Eins	1	1	1	1
Zwei	10	2	2	2
Drei	11	3	3	3
Vier	100	4	4	4
Fünf	101	5	5	5
Sechs	110	6	6	6
Sieben	111	7	7	7
Acht	1000	10	8	8
Neun	1001	11	9	9
Zehn	1010	12	10	A
Elf	1011	13	11	B
Zwölf	1100	14	12	C
Dreizehn	1101	15	13	D
Vierzehn	1110	16	14	E
Fünfzehn	1111	17	15	F
Sechszehn	10000	20	16	10

Potenzreihendarstellung in der Basis β:

$$Z = \Sigma_{i=0}^{N-1} \alpha_i \beta^i \qquad 0 \leq \alpha_i \leq \beta - 1$$

Umrechnung von Zahlen eines Zahlensystems in ein anderes

Beispiel Umrechnung von Dezimalsystem nach Dualsystem der Zahl 11:

Wir verwenden die Potenzreihendarstellung der Zahlen

$$Z = \sum_{i=0}^{N-1} a_i \beta^i \qquad 0 \leq a_i \leq \beta - 1$$

Dann gilt für die Zahl 11

$$11_{10} = \sum_{i=0}^{3} a_i 2^i = a_3 2^3 + a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0$$

Aus praktischen Gründen schreiben wir den Ausdruck im Hornerschema

$$11_{10} = ((a_3 2 + a_2)2 + a_1)2 + a_0$$

Nach der j-ten ganzzahligen Division (mod) durch die Basis 2 erhalten wir die j-1-te Ziffer

j	Z_j	Rest	Z_j	mod(Z_j,2)
0	11		$((a_3 2 + a_2)2 + a_1)2 + a_0$	
1	5	1	$(a_3 2 + a_2)2 + a_1$	a_0
2	2	1	$a_3 2 + a_2$	a_1
3	1	0	a_3	a_2
4	0	1		a_3

$11_{10} = 1011_2$

Umwandlung von Dual in Oktal und Hexadezimal

$11_{10} = |\quad 1|011|_2 = 13_8$

$11_{10} = |1011|_2 = B_{16}$

Subtraktion und negative Dualzahlen

Subtraktion mittels Addition des Zweierkomplements:

$A - B = A + (K - B) - K$

Vereinbarung:

N_{max}-stellige Dualzahlen

grösste darstellbare Zahl: $Z_{max} = 2^{N_{max}} - 1$

grösste positive Zahl: $P_{max} = 2^{N_{max}-1} - 1$

Zweierkomplement $K - B$: $P_{max} + 1 \leq K - B \leq Z_{max}$,

$K = Z_{max} + 1 = 2^{N_{max}}$

Zweierkomplement aus Einserkomplement $\overline{B}$

$B \longrightarrow \overline{B} : 0 \leftrightarrow 1$

$B + \overline{B} = K - 1$

$K - B = \overline{B} + 1$

Beispiel: Darstellung mit 8 Dualziffern

(= 8 Bit = 1 Byte)

$K = 2^8 = 100000000_2$, nicht darstellbar

$B = 3$

$$
\begin{array}{r}
K \\
-B \\
\hline
K-B
\end{array}
\qquad
\begin{array}{rcccccccccc}
 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
- & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1_1 & 1 \\
\hline
 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1
\end{array}
$$

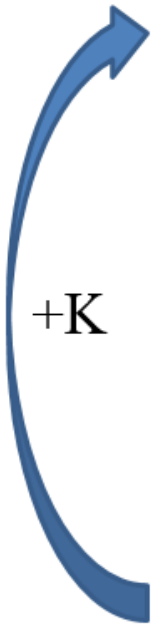
$K - B$ aus Einserkomplement

$$
\begin{array}{r}
\overline{B} \\
+1 \\
\hline
K-B
\end{array}
\qquad
\begin{array}{rcccccccccc}
 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
+ & & & & & & & & 1 \\
\hline
 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1
\end{array}
$$

$A - B; A = 7$

$$
\begin{array}{r}
A \\
+ \quad K-B \\
\hline
A+K-B
\end{array}
\qquad
\begin{array}{rcccccccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\
+ & 1_1 & 1_1 & 1_1 & 1_1 & 1_1 & 1_1 & 0_1 & 1 \\
\hline
 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0
\end{array}
$$

Zweierkomplement
(N_{max} = 8)



P/M	
M = Z - K	-1
	-128
P	127
	0
M	-1
	-2
	-3

2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	0
	1		...					
	1	0	0	0	0	0	0	1
	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	1	1	1	1	1	1
	0	1	1	1	1	1	1	0
	0		...					
	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0

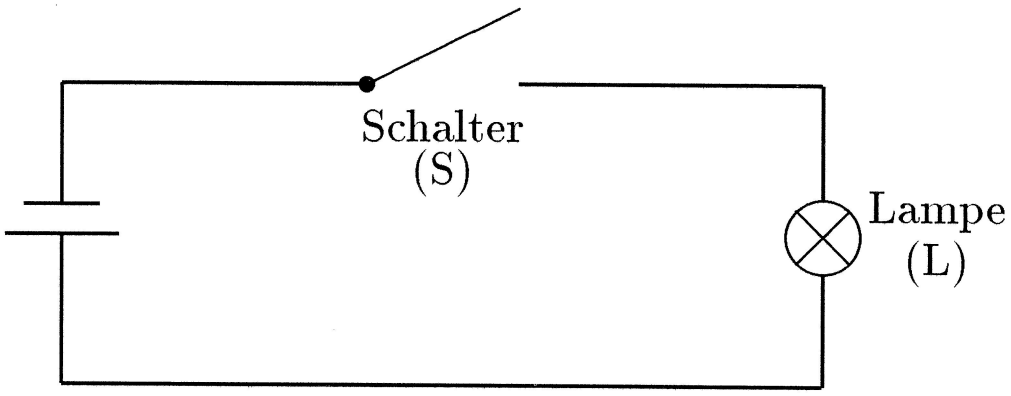
256	K	$K = 2^{Nmax}$
255		$Z_{max} = 2^{N_{max}} - 1$
128		
127		$P_{max} = 2^{N_{max}-1} - 1$
	↑	
	Z	
0		

Vorzeichenerweiterung von $N_{max} = 3$ nach $N_{max} = 4$

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

2^2	2^1	2^0
1	1	1
1	1	0
1	0	1
1	0	0
0	1	1
0	1	0
0	0	1
0	0	0

Die Identität



Aussagenlogik:

Der Schalter ist geschlossen = Die Lampe ist hell

$$S = L$$

Funktionstabelle:

Schalter	Lampe
offen	dunkel
geschlossen	hell

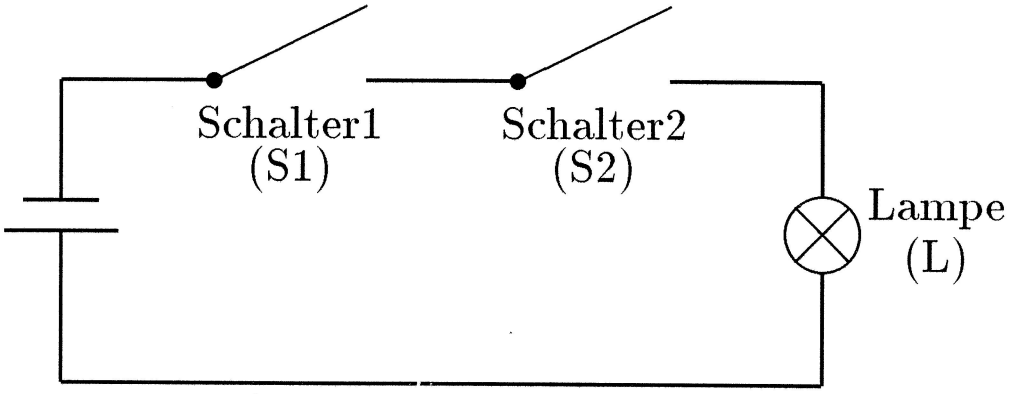
Vereinbarungen:

offen = 0	geschlossen = 1
dunkel = 0	hell = 1
falsch = 0	wahr = 1

Wahrheitstabelle:

Schalter	Lampe
0	0
1	1

Die Konjunktion



Aussagenlogik:

Schalter1 ist geschlossen UND Schalter2 ist geschlossen =
Die Lampe ist hell
$S1 \wedge S2 = L$

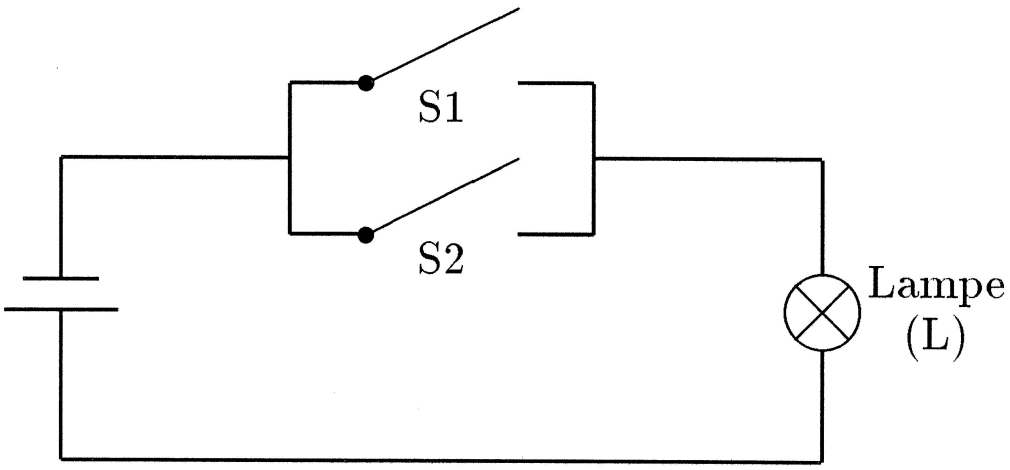
Funktionstabelle:

Schalter1	Schalter2	Lampe
offen	offen	dunkel
offen	geschlossen	dunkel
geschlossen	offen	dunkel
geschlossen	geschlossen	hell

Wahrheitstabelle:

S1	S2	L
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Die Disjunktion



Aussagenlogik:

Schalter1 ist geschlossen ODER Schalter2 ist geschlossen =
Die Lampe ist hell
$S1 \vee S2 = L$

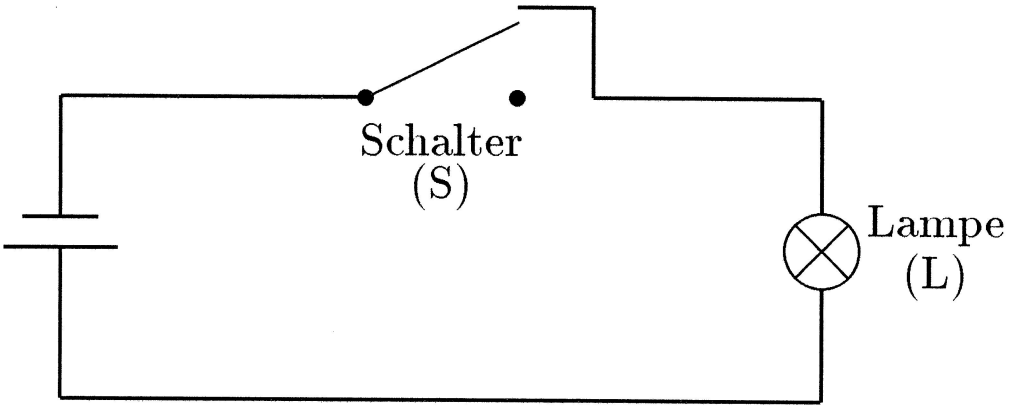
Funktionstabelle:

Schalter1	Schalter2	Lampe
offen	offen	dunkel
offen	geschlossen	hell
geschlossen	offen	hell
geschlossen	geschlossen	hell

Wahrheitstabelle:

S1	S2	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Die Negation



Aussagenlogik:

NICHT Schalter ist geschlossen = Die Lampe ist hell

$$\overline{S} = L$$

Funktionstabelle:

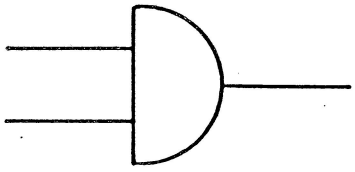
Schalter	Lampe
offen	hell
geschlossen	dunkel

Wahrheitstabelle:

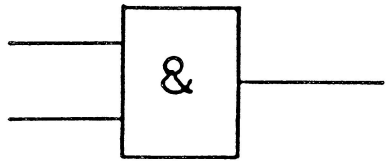
S	L
0	1
1	0

Konjunktion

alt

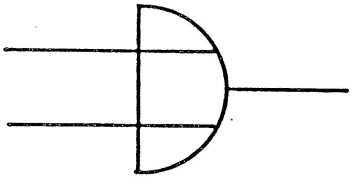


neu

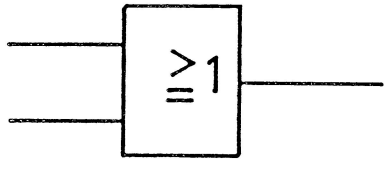


Disjunktion

alt

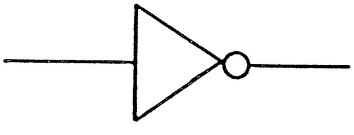


neu

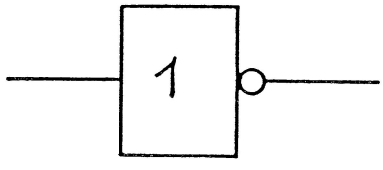


Negation

alt

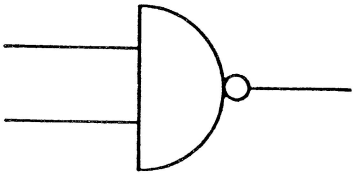


neu

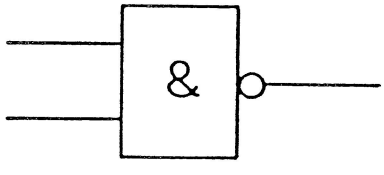


NAND

alt

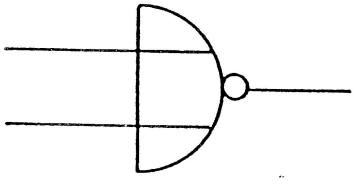


neu

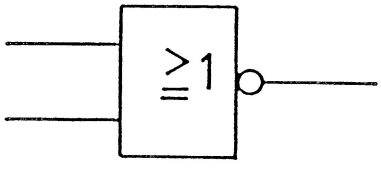


NOR

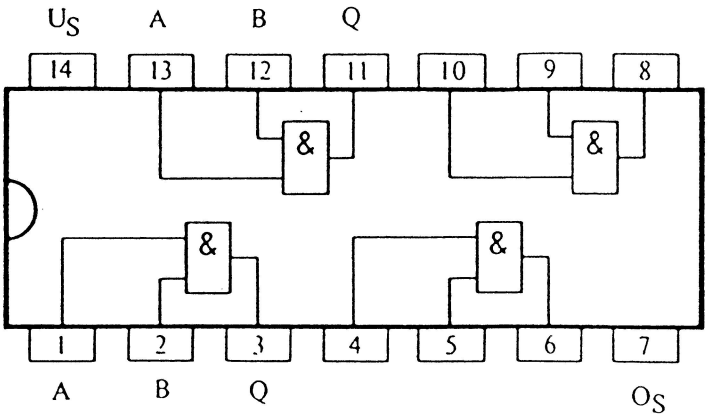
alt



neu

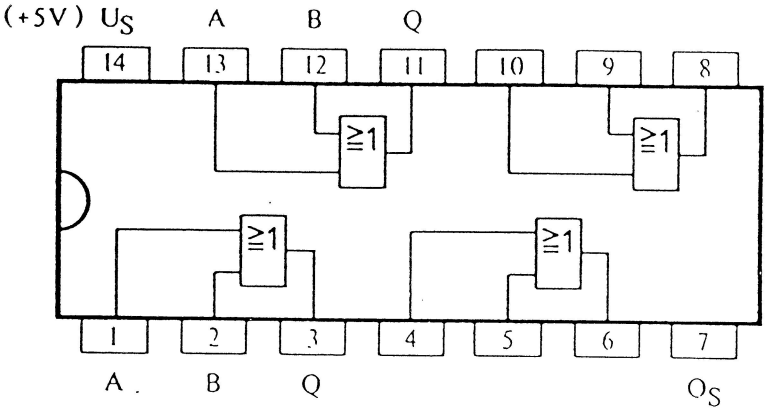


SCHALTSYMBOLE FÜR GATTER

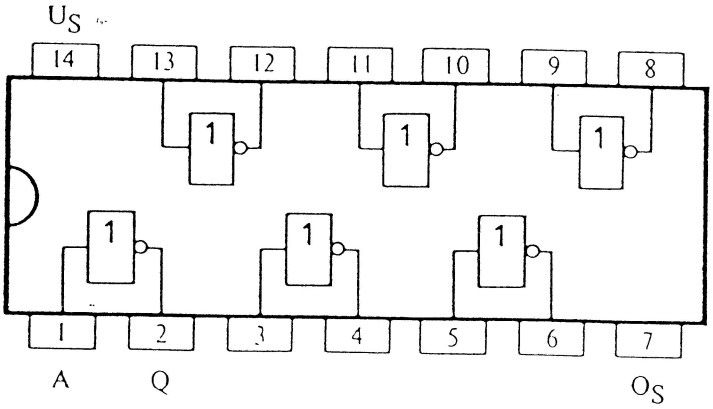


$U_S = +5\,V$
$O_S = 0\,V$

(4 UND mit je zwei Eingängen) (7408)



(4 ODER mit zwei Eingängen) (7432).



Sechsfacher Inverter (7404)

Gesetze der Boole'schen Algebra

Gesetz der doppelten Negation

$$\overline{\overline{a}} = a$$

Konjunktion	Disjunktion
Kommutativgesetz	
$a \wedge b = b \wedge a$	$a \vee b = b \vee a$
Assoziativgesetz	
$(a \wedge b) \wedge c = a \wedge (b \wedge c)$	$(a \vee b) \vee c = a \vee (b \vee c)$
Distributivgesetz	
$a \wedge (b \vee c) = (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$	$a \vee (b \wedge c) = (a \vee b) \wedge (a \vee c)$
Idempotenz	
$a \wedge a = a$	$a \vee a = a$
Gestz vom Widerspruch	Gestz vom ausgeschl. Dritten
$a \wedge \overline{a} = 0$	$a \vee \overline{a} = 1$
Nullelemente, neutrale Elemente	
$a \wedge 0 = 0$	$a \vee 1 = 1$
$a \wedge 1 = a$	$a \vee 0 = a$

Dualität der Gesetze

$$\wedge, 0 \Longleftrightarrow \vee, 1$$

Verifikation des Distributivgesetzes

Wahrheitstabelle für $a \vee (b \wedge c) = (a \vee b) \wedge (a \vee c)$:

c	b	a	$b \wedge c$	$a \vee (b \wedge c)$	$a \vee b$	$a \vee c$	$(a \vee b) \wedge (a \vee c)$
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	1	1
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Absorptionsgesetze

$$
\begin{aligned}
a \vee (a \wedge b) &= ? \\
&= (a \wedge 1) \vee (a \wedge b) \\
&= a \wedge (1 \vee b) \\
&= a \wedge 1 \\
&= a
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
a \wedge (a \vee b) &= ? \\
&= a
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
a \vee (\overline{a} \wedge b) &= ? \\
&= (a \vee \overline{a}) \wedge (a \vee b) \\
&= 1 \wedge (a \vee b) \\
&= a \vee b
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
a \wedge (\overline{a} \vee b) &= ? \\
&= a \wedge b
\end{aligned}
$$

Theorem von DeMorgan

Wahrheitstabelle für $\overline{a \wedge b}$:

a	$\overline{a}$	b	$\overline{b}$	$a \wedge b$	$\overline{a \wedge b}$	$\overline{a} \vee \overline{b}$
0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	0	1	0	0

$$\overline{a \wedge b} = \overline{a} \vee \overline{b} \qquad \text{DeMorgan'sches Gesetz}$$

Nach dem Dualittsprinzip folgt sofort:

$$\overline{a \vee b} = \overline{a} \wedge \overline{b}$$

Allgemein gilt:

$$\overline{a \wedge b \wedge c \wedge \cdots} = \overline{a} \vee \overline{b} \vee \overline{c} \vee \overline{\cdots}$$

$$\overline{a \vee b \vee c \vee \cdots} = \overline{a} \wedge \overline{b} \wedge \overline{c} \wedge \overline{\cdots}$$

Kanonische Normalformen

Gegeben seien
n-stellige boolesche Funktion $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ und Literale $\hat{x}_i \in \{\overline{x}_i, x_i\}$

Definitionen

Elementarkonjunkt oder **Minterm**

$$\hat{x}_1 \wedge \ldots \wedge \hat{x}_n$$

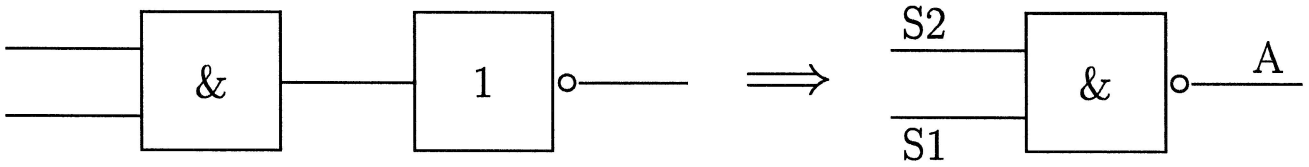
Elementardisjunkt oder **Maxterm**

$$\hat{x}_1 \vee \ldots \vee \hat{x}_n$$

1. Disjunktive Normalform (DNF)
   Disjunktive Verknüpfung der Minterme mit dem Funktionswert 1
2. Konjunktive Normalform (KNF)
   Konjunktive Verknüpfung der Maxterme mit dem Funktionswert 0

3. Reed-Muller-Normalform oder Ringsummennormalform
   Komplexer siehe Ringsummennormalform in Wikipedia

Die Nand-Verknüpfung



Wahrheitstabelle:

S1	S2	A
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

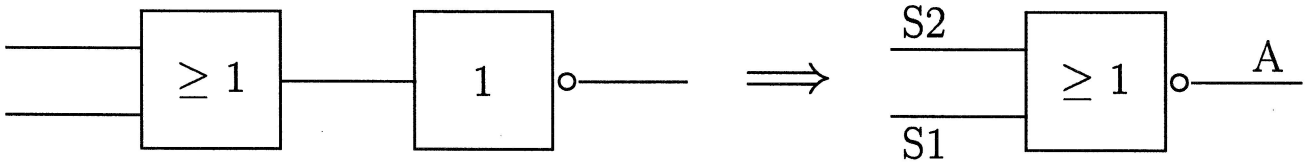
Schreibweisen:

$$A = \overline{S1 \wedge S2}$$
$$A = S1 \barwedge S2$$
$$A = S1 \mid S2$$

Die Verknüpfung ist:

$$S1 \barwedge S2 = S2 \barwedge S1 \qquad \text{kommutativ}$$
$$S1 \barwedge S2 \barwedge S3 \neq (S1 \barwedge S2) \barwedge S3 \qquad \text{nicht assoziativ !}$$

Die Nor-Verknüpfung



Wahrheitstabelle:

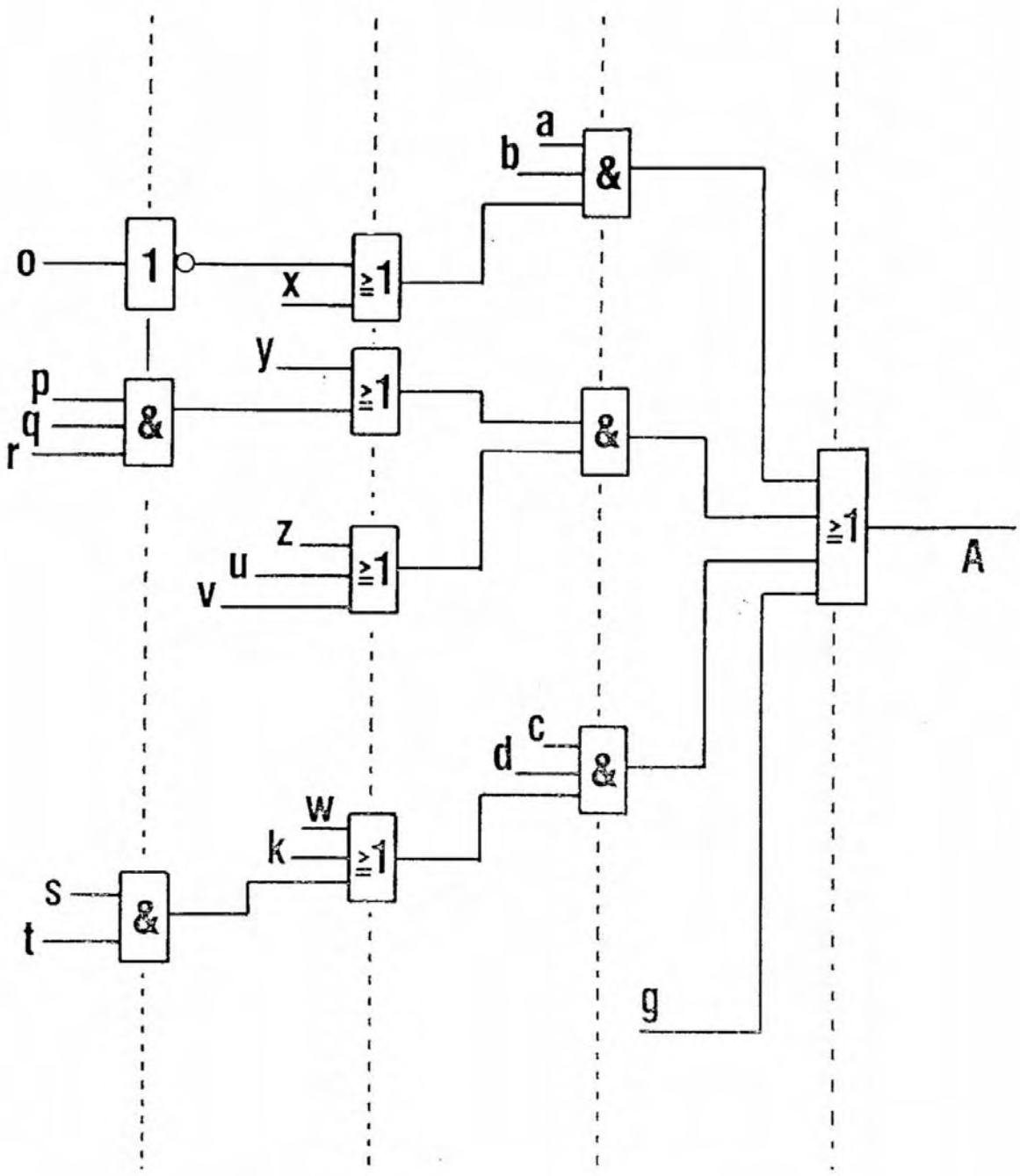
S1	S2	A
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Schreibweisen:

$$A = \overline{S1 \vee S2}$$
$$A = S1 \,\overline{\vee}\, S2$$
$$A = S1 \downarrow S2$$

Die Verknüpfung ist:

$$S1 \,\overline{\vee}\, S2 = S2 \,\overline{\vee}\, S1 \qquad \text{kommutativ}$$
$$S1 \,\overline{\vee}\, S2 \,\overline{\vee}\, S3 \neq (S1 \,\overline{\vee}\, S2) \,\overline{\vee}\, S3 \qquad \text{nicht assoziativ !}$$



UMWANDLUNG VON SCHALTUNGEN IN NAND-DARSTELLUNG (Teil I)

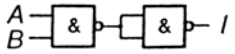
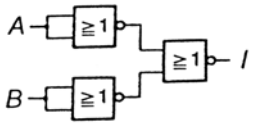
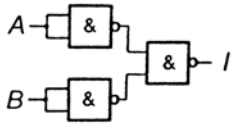
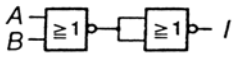
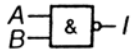
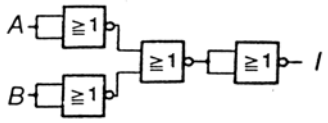
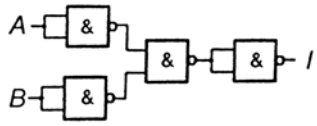
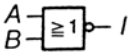
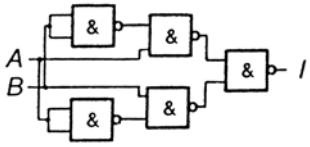
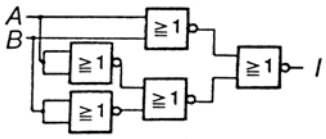
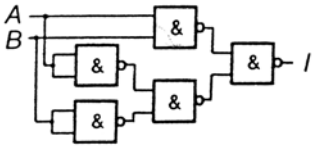
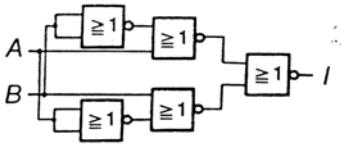
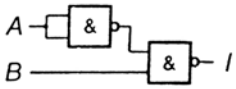
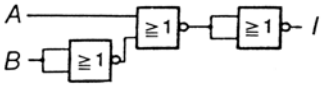
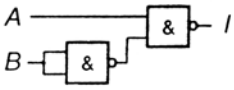
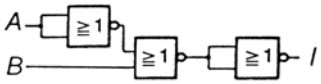
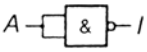
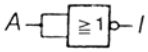
Funktion	mit NAND	mit NOR	Boolescher Ausdruck
UND			$I = A \wedge B$
ODER			$I = A \vee B$
NAND			$I = \overline{A \wedge B}$
NOR			$I = \overline{A \vee B}$
Antivalenz (exl. ODER)			$I = \overline{AB} \vee \overline{AB}$
Äquivalenz			$I = AB \vee \overline{AB}$
Implikation			$I = A \vee \overline{B}$
Implikation			$I = \overline{A} \vee B$
NOT			$I = \overline{A}$

Bild 8.40 Zusammenfassung der logischen Funktionen und ihrer Realisierung mit NAND- oder NOR-Gattern