Einführung in Teilgebiete der Informatik II

von

W. Dirlewanger, E. Falkenberg, L. Hieber
P. Roos, H. Rzehak, C. Unger

mit 81 Abbildungen

1974
Walter de Gruyter · Berlin · New York

SAMMLUNG GÖSCHEN 8012

Anschriften der Autoren Band II
„Einführung in Teilgebiete der Informatik"

Dr.-Ing. Werner Dirlewanger
7 Stuttgart-Sillenbuch, Walter-Flex-Straße 60

Dipl.-Ing. Eckhard Falkenberg
7 Stuttgart-80, Pfaffenwaldring 54

Dr. Ludwig Hieber
7 Stuttgart-Möhringen, Mühlhaldenstraße 12

Prof. Dr. Paul Roos
7 Stuttgart-Botnang, Donizetti-Straße 2

Dr. Helmut Rzehak
7 Stuttgart-Hedelfingen, Ruiter Straße 3

Dr. Claus Unger
7 Stuttgart-Botnang, Umgelter Weg 11

ISBN 3 11 004042 5

Vorwort

Der vorliegende Band II soll eine Einführung in weitere Teilgebiete der Informatik vermitteln. Die Zielsetzung des Bandes I wird damit abgerundet.
Auch der Band II besteht aus weitgehend unabhängigen Beiträgen, die auch einzeln gelesen werden können. Sie sollen jeweils eine Einführung geben und die Problematik aufzeigen. Der Stoff ist so dargestellt, daß zu seinem Verständnis nur elementare Vorkenntnisse in Mathematik und Elektrotechnik erforderlich sind. Für weitergehende Vertiefungen sind am Ende jedes Kapitels Literaturangaben aufgeführt.
Bei der Auswahl der Beiträge stand der Gedanke im Vordergrund, einerseits die wichtigsten Teilgebiete aus dem Gesamtgebiet der Informatik anzusprechen, andererseits auf Themen zu verzichten, deren Problemstellungen nur nach umfangreichem Grundlagenstudium erfaßt werden können. Im übrigen überwiegen Beiträge, die den Computer selbst und weniger seine Einsatzmöglichkeiten zum Thema haben.

Im Herbst 1973 Die Autoren

Inhalt

1. Das Entwerfen von Netzwerken 11

1.1 Übersicht 11
1.2 Kombinatorische Netzwerke 12

1.2.1 Schaltfunktionen 12
1.2.2 Vereinfachung von Schaltfunktionen 17
1.2.3 Schaltnetze 17
1.2.4 Ein Beispiel 18
1.2.5 Der allgemeine Fall 19

1.3 Sequentielle Netzwerke (Schaltwerke) 19

1.3.1 Erweiterung des Modells 19
1.3.2 Die Zustandstabelle und ihre Codierung 23
1.3.3 Von der Zustandstabelle zum symbolischen Schaltplan . . 25
1.3.4 Schwierigkeiten bei der physikalischen Realisierung von Schaltwerken 26
1.3.5 Synchrone sequentielle Netzwerke 29
1.3.6 Vereinfachung von Zustandstabellen 31

2. Digitale Speicher 35

2.1 Physikalische Grundlagen 35

2.1.1 Übersicht über physikalische Speicherprinzipien 35
2.1.2 Ferromagnetismus 36
2.1.3 Lese- und Schreibvorgang in einem Ferritkern 40
2.1.4 Schreib- und Leseverfahren bei bewegtem ferromagnetischen Informationsträger 44
2.1.5 Integrierte Halbleiterspeicher 46

2.2 Adressierungsverfahren 50

2.2.1 Der Speicherzugriff 50
2.2.2 Organisation von Speichermatrizen und Adreßdecodierung 56

2.2.3 Die Adressierung des Hauptspeichers durch Adreßteil eines Befehles 62

Literatur 64

3. Systemarchitektur von Rechenanlagen 66

3.1 Einführung 66
3.2 Grundprinzipien der Systemarchitektur 69

3.2.1 Wortlänge und Befehlsvorrat 70
3.2.2 Synchroner, asynchroner Betrieb 71
3.2.3 Rechenwerk 72
3.2.4 Hauptspeicher 73
3.2.5 Das Kanalkonzept 75
3.2.6 Zugriffskonflikte 77
3.2.7 Programmunterbrechungen 77
3.2.8 Modularität, Zuverlässigkeit 78

3.3 Mikroprogrammsteuerung 80
3.4 Speicherhierarchie 82
3.5 Erhöhung der Verarbeitungsgeschwindigkeit 84

3.5.1 Hardware-stack 85
3.5.2 Look ahead-Maßnahmen 86
3.5.3 Schnellpufferspeicher 86
3.5.4 Parallele Prozessoren 89
3.5.5 Mehrrechnersysteme 90

3.6 Kompatibilität 90

3.6.1 Emulation 92
3.6.2 Simulation 92
3.6.3 System-Familien 93

3.7 Entwicklungstendenzen 93

Literatur 94

4. Datenfernverarbeitung 95

4.1 Einleitung und Überblick 95

4.2 Datenfernverarbeitungs-Systeme 97

4.2.1 Sammel/Verteil-Systeme 98
4.2.2 Frage/Antwort-Systeme 100
4.2.3 Dialog-Systeme 101

4.3 Datenstationen 102

4.3.1 Nicht intelligente Datenstationen 103
4.3.2 Intelligente Datenstationen 107

4.4 Datenübertragungstechnik 108

4.4.1 Informationsdarstellung durch elektrische Signale 108
4.4.2 Betriebsarten von elektrischen Übertragungswegen 111
4.4.3 Übertragungsfehler 114

4.5 Datenübertragungsnetze 116

4.5.1 Private Standverbindungsnetze 117
4.5.2 Öffentliche Wählnetze 117
4.5.3 Verbindungsaufbau 118
4.5.4 Bemerkungen 119

4.6 Vorkehrungen an der zentralen Datenverarbeitungsanlage 121

4.6.1 Hardware 121
4.6.2 Software 123
4.6.3 Gesichtspunkte bei der Realisierung 124

4.7 Rechnerverbund-Systeme 126

4.8 Kostengesichtspunkte und einige Anwendungsbeispiele der Datenfernverarbeitung 127

4.8.1 Kostengesichtspunkte 127
4.8.2 Beispiele 128

Literatur 131

5. Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Datenverarbeitungsanlagen 132

5.1 Einleitung 132
5.2 Mix-Kennzahlen 134

5.2.1 Gibson Mix 135
5.2.2 KGST-Mix 136
5.2.3 Gamm-Mix 136
5.2.4 Beurteilung der Mix-Kennzahlen 137

5.3 Kernel-Verfahren 138
5.4 Benchmark-Tests 138
5.5 Simulationsmethoden 140
5.6 Beurteilung im praktischen Betrieb 141

5.6.1 Hardware-Monitor 143
5.6.2 Software-Monitor 145
5.6.3 Accounting-Verfahren 147

5.7 Zusammenfassung 147

Literatur 148

6. Datenbanksysteme 149

6.1 Einführung 149
6.2 Objektive Wirklichkeit und Daten 151
6.3 Beschreibungshierarchie 153
6.4 Grundbegriffe problemgegebener Datenstrukturen 155
6.5 Speicherungs- und Zugriffsformen 162
6.6 Datenbankoperationen 163
6.7 Datenbanksprachen 166
6.8 Datenschutz und Datensicherung 168
6.9 Existierende Datenbanksysteme 169

Literatur 169

7. Die Entstehung des Informationsbegriffs und seine Quantifizierung 172

7.1 Hartleys Informationsbegriff 172

7.1.1 Die nachrichtentechnische Motivation 172
7.1.2 Hartleys Maß für Information 174

7.2 Vervollständigung des Hartleyschen Ansatzes 179

7.2.1 Eine Funktionalgleichung für die kombinatorische Entscheidungsinformation 179
7.2.2 Die axiomatische Festlegung 180

7.3 Historische Einschätzung des Hartleyschen Informationsbegriffs 183

7.3.1 Geistesgeschichtliche Argumentation 183
7.3.2 Der ökonomische Begriff von Nachricht 183

Literatur 188

Stichwortverzeichnis 190

1. Das Entwerfen von Netzwerken

Von Claus Unger

1.1 Übersicht

Etliche Problemstellungen im Bereich der Informationsverarbeitung (etwa der Entwurf von Rechenwerken, Codeumsetzern, Zählern, Registern usw.) lassen sich auf die folgende abstrakte Problemstellung zurückführen:

Abb. 1–1. Allgemeines Netzwerk

Gesucht wird ein i. a. elektronisches *Netzwerk* mit m Eingängen $x_1, \ldots, x_i, \ldots, x_m$ und n Ausgängen $z_1, \ldots, z_j, \ldots, z_n$. Eingänge und Ausgänge können lediglich zwei Werte annehmen, die im folgenden mit 0 und 1 bezeichnet seien. In der Realisierung kann der Wert 0 etwa „es fließt kein Strom" oder „niedriges Potential", der Wert 1 etwa „es fließt ein Strom" oder „hohes Potential" bedeuten.

Sind zu einem beliebigen Zeitpunkt t die Werte der Ausgänge z_j nur abhängig von den Werten der Eingänge x_i zum selben Zeitpunkt t, so spricht man speziell von einem *kombinatorischen Netzwerk* oder *Schaltnetz*.

Die gewünschte Funktion des Netzwerks kann in diesem Fall beschrieben werden durch Angabe der Werte der Ausgänge z_j in Abhängigkeit von den aktuellen Werten der Eingänge x_i:

$$z_j = f_j (x_1, x_2, \ldots, x_m) ; \qquad j = 1 \ldots n \tag{1}$$

Sind die z_j dagegen zusätzlich abhängig von der „Vorgeschichte" der x_i, also von Werten, die die Eingänge zu gewissen früheren Zeiten τ_k besessen haben, so spricht man von einem *sequentiellen Netzwerk* oder *Schaltwerk*. Der Gleichung (1) entspricht in diesem Fall eine Gleichung der Form

$$z_j^t = f_j (x_1^{\tau_1}, x_1^{\tau_2}, \ldots, x_1^t, \ldots, x_i^{\tau_1}, x_i^{\tau_2}, \ldots, x_i^t, \ldots, x_m^t) \tag{2}$$

mit $\tau_k < t; j = 1 \ldots n$

Zur Beschreibung der Zusammenhänge (1) bzw. (2) bedient man sich der Methoden der *Schaltalgebra.*

Aufgabe dieses einführenden Kapitels kann es nicht sein, einen axiomatischen Aufbau sowie eine systematische und genaue Begründung der Entwurfsmethoden zu liefern. Der Leser soll vielmehr in die grundlegenden Gedanken eingeführt werden und einen Überblick über die Lösungsansätze erhalten. Ferner wird nicht auf Einzelheiten der technischen Realisierung von Netzwerken eingegangen; die Lösung wird mit Hilfe einiger weniger Typen logischer Bausteine angegeben, deren physikalische Realisierung i. a. keine grundsätzlichen Schwierigkeiten bereitet.

1.2 Kombinatorische Netzwerke

1.2.1 Schaltfunktionen

Die Werte der Eingänge und Ausgänge eines Netzwerks werden mit Hilfe von Eingangs- bzw. Ausgangs-*Schaltvariablen* beschrieben. Diese sind dadurch gekennzeichnet, daß sie nur zwei Werte, in unserer Schreibweise 0 und 1, annehmen können. Eine Funktion mehrerer – unabhängiger – Schaltvariablen, etwa f_j in (1) heißt eine *Schaltfunktion.* Sie kann ebenfalls zur Definition einer – abhängigen – Schaltvariablen, etwa z_j in (1) benutzt werden. Da der Wertebereich einer Schaltvariablen nur zwei Werte enthält, lassen sich mit Hilfe einer Schaltvariablen x nur vier Schaltfunktionen f (x) definieren, die in Tabelle 1–1 in Form von *Wertetafeln* angegeben sind.

Tab. 1–1. Schaltfunktionen einer Schaltvariablen

	x 0	x 1	Bezeichnung	Abkürzung
f (x)	0	0	Nullfunktion	0
	0	1	Identität	x
	1	0	Negation	$\bar{x}$
	1	1	Einsfunktion	1

Analog lassen sich für zwei Schaltvariablen x_1 und x_2 16 Schaltfunktionen $f(x_1, x_2)$ angeben, Tabelle 1–2 zeigt eine Auswahl der wichtigsten. Wiederum beinhaltet jede Zeile dieser Tabelle eine Wertetafel für die zu definierende Funktion $f(x_1, x_2)$.

Tab. 1–2. Einige Schaltfunktionen zweier Schaltvariablen

	x_1x_2 00	01	10	11	Bezeichnung	Abkürzung
$f(x_1, x_2)$	0	0	0	1	Konjunktion (AND)	$x_1 \wedge x_2$
	0	1	1	1	Disjunktion (OR)	$x_1 \vee x_2$
	1	0	0	0	Peirce-Funktion (NOR)	$x_1 \overline{\vee} x_2$
	1	1	1	0	Shefferstrich (NAND)	$x_1 \overline{\wedge} x_2$
	1	0	0	1	Äquivalenz	$x_1 \equiv x_2$

Für die Verknüpfung mehrerer Schaltfunktionen gelten die folgenden Rechenregeln, die sich leicht etwa dadurch beweisen lassen, daß die Gleichheit für alle infrage kommenden Wertekombinationen der beteiligten Schaltfunktionen nachgewiesen wird.

$$f \wedge f = f \quad ; \quad f \, \mathrm{X} \, f = f \tag{3}$$

$$f \, \mathrm{X} \, g = g \wedge f \quad ; \quad f \vee g = g \vee f \tag{4}$$

$$(f \wedge g) \wedge h = f \wedge (g \wedge h) \quad ; \quad (f \vee g) \vee h = f \vee (g \vee h) \tag{5}$$
(Assoziativgesetze)

$$f \wedge (g \vee h) = (f \wedge g) \vee (f \wedge h) \quad ; \quad f \vee (g \wedge h) = (f \vee g) \wedge (f \vee h) \tag{6}$$
(Distributivgesetze)

$$f \wedge (f \vee g) = f \quad ; \quad f \vee (f \wedge g) = f \tag{7}$$
(Absorptionsgesetze)

$$(\overline{f \wedge g}) = \overline{f} \vee \overline{g} \quad ; \quad (\overline{f \vee g}) = \overline{f} \wedge \overline{g} \tag{8}$$
(De Morgansche Gesetze)

ferner gilt

$$(\overline{\overline{f}}) = f \tag{9}$$

$$f \wedge \overline{f} = 0 \quad ; \quad f \vee \overline{f} = 1 \tag{10}$$

$$0 \wedge f = 0 \quad ; \quad 0 \vee f = f \tag{11}$$

$$1 \wedge f = f \quad ; \quad 1 \vee f = 1 \tag{12}$$

Mit Hilfe der Assoziativgesetze (5) erhalten insbesondere die verkürzten Schreibweisen

$f \wedge g \wedge h$ und allgemein $f_1 \wedge f_2 \wedge f_3 \wedge \ldots \wedge f_n$

sowie

$f \vee g \vee h$ und allgemein $f_1 \vee f_2 \vee f_3 \vee \ldots \vee f_n$

einen Sinn.

Allgemein lassen sich über n Schaltvariablen $2^{(2^n)}$ Schaltfunktionen definieren, etwa durch Angabe der zugehörigen Wertetafeln (siehe Tab. 1–3).

Tab. 1–3. Definition einer Schaltfunktion über drei Schaltvariablen mit Hilfe einer Wertetafel

x_1	x_2	x_3	entsprechender Minterm	$f(x_1, x_2, x_3)$
0	0	0	$\overline{x}_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge \overline{x}_3$	0
0	0	1	$\overline{x}_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge x_3$	1
0	1	0	$\overline{x}_1 \wedge x_2 \wedge \overline{x}_3$	0
0	1	1	$\overline{x}_1 \wedge x_2 \wedge x_3$	1
1	0	0	$x_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge \overline{x}_3$	0
1	0	1	$x_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge x_3$	1
1	1	0	$x_1 \wedge x_2 \wedge \overline{x}_3$	0
1	1	1	$x_1 \wedge x_2 \wedge x_3$	1

Wichtig für den Umgang mit Schaltfunktionen und ihre Reaklisierung ist die Tatsache, daß sich jede Schaltfunktion über n Schaltvariablen darstellen läßt mit Hilfe von Schaltfunktionen über einer bzw. zwei Schaltvariablen. Es gilt das

Normalform-Theorem von Boole:

Eine Schaltfunktion von n Variablen läßt sich mit Hilfe von Negation, Disjunktion und Konjunktion darstellen in der *disjunktiven Normalform*

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = & (\overline{x}_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge \ldots \wedge \overline{x}_n \wedge f(0, 0, \ldots 0)) \\ & \vee (x_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge \ldots \wedge \overline{x}_n \wedge f(1, 0, \ldots 0)) \\ & \ldots\ldots \\ & \ldots\ldots \\ & \vee (x_1 \wedge x_2 \wedge \ldots \wedge x_n \wedge f(1, 1, \ldots 1)) \end{aligned} \tag{13}$$

Bezeichnet man eine konjunktive Verknüpfung aller Schaltvariablen als *Minterm*, so läßt sich also eine jede Schaltfunktion darstellen als Disjunktion derjenigen Minterme, deren zugeordnete Funktionswerte in der Wertetafel den Wert 1 besitzen.

Die Schaltfunktion aus Tabelle 1–3 erhält damit die Form

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, x_3) = & (\overline{x}_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge x_3) \vee (\overline{x}_1 \wedge x_2 \wedge x_3) \vee (x_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge x_3) \\ & \vee (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3) \end{aligned} \tag{14}$$

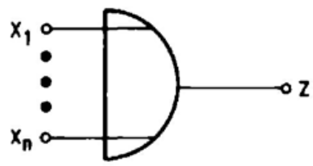
Vereinbart man die – willkürliche – Vorrangregel '$\wedge$ vor $\vee$', so erhält (14) die Form

$$\begin{aligned} z = f(x_1, x_2, x_3) = & \overline{x}_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge x_3 \vee \overline{x}_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \vee x_1 \wedge \overline{x}_2 \wedge x_3 \\ & \vee x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \end{aligned} \tag{15}$$

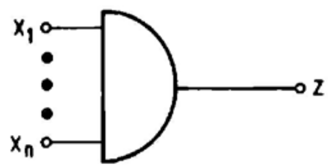
Neben dem Boole'schen Theorem liefern weitere Theoreme Möglichkeiten, komplizierte Schaltfunktionen durch einfachere darzustellen. Für die Realisierung von Netzwerken mit Hilfe von Transistor-Schaltungen ist z. B. die Tatsache wichtig, daß sich jede Schaltfunktion allein durch NAND- oder NOR-Funktionen darstellen läßt. Tabelle 1–4 enthält Negation, Disjunktion und Konjunktion in NAND- bzw. NOR-Schreibweise.

Ordnet man den – auf den Fall von n Variablen verallgemeinerten – Disjunktionen bzw. Konjunktionen die folgenden Sinnbilder zu und beschreibt man die Negation einer Schaltfunktion durch einen Punkt auf dem betreffenden Eingang bzw. Ausgang, so läßt sich (15) darstellen durch den folgenden *symbolischen Schaltplan*

$$z = x_1 \vee x_2 \vee \cdots\cdots \vee x_n \quad \hat{=}$$



$$z = x_1 \wedge x_2 \wedge \cdots\cdots \wedge x_n \quad \hat{=}$$



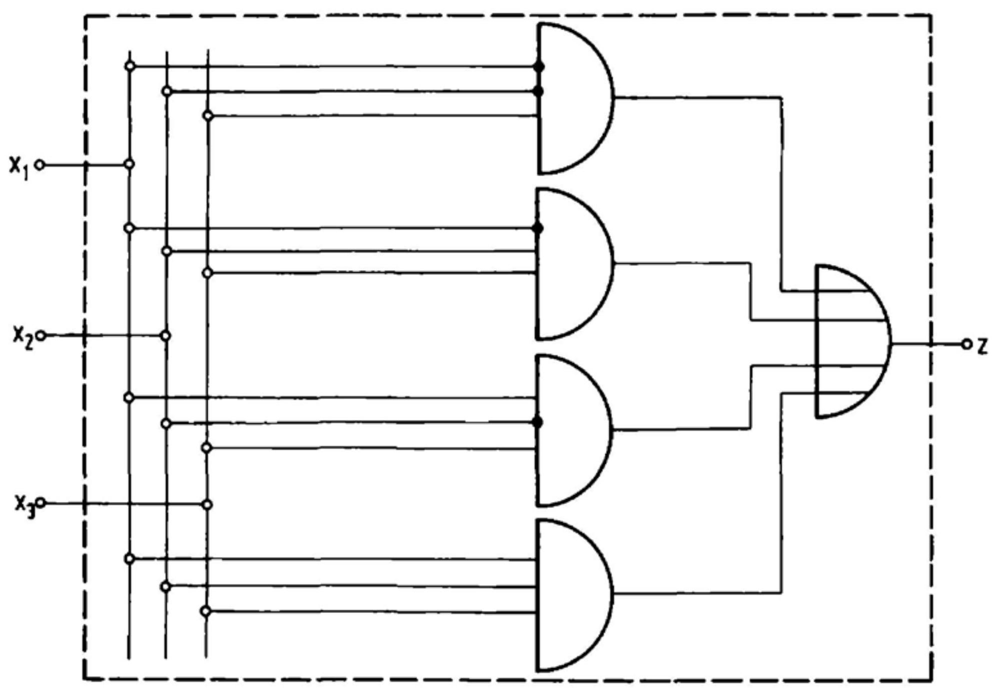


Abb. 1–2. Symbolischer Schaltplan zu (15).

Den in einem derartigen Schaltplan enthaltenen logischen Grundbausteinen entsprechen bei der Realisierung sogenannte *Gatter*.

Tab. 1–4. NOT, AND und OR in NAND- bzw. NOR-Schreibweise

$f(x_1, x_2)$	NAND-Schreibweise	NOR-Schreibweise
$\bar{x}_1$	$x_1 \bar{\wedge} x_1$	$x_1 \bar{\vee} x_2$
$x_1 \vee x_2$	$(x_1 \bar{\wedge} x_1) \bar{\wedge} (x_2 \bar{\wedge} x_2)$	$(x_1 \bar{\vee} x_2) \bar{\vee} (x_1 \bar{\vee} x_2)$
$x_1 \wedge x_2$	$(x_1 \bar{\wedge} x_2) \bar{\wedge} (x_1 \bar{\wedge} x_2)$	$(x_1 \bar{\vee} x_1) \bar{\vee} (x_2 \bar{\vee} x_2)$

1.2.2 Vereinfachung von Schaltfunktionen

Das Boole'sche Theorem gestattet es, Schaltfunktionen in übersichtlicher und eindeutiger Form darzustellen. Es ist jedoch nicht gewährleistet, daß die so erhaltene Schaltfunktion die optimale Lösung des Problems darstellt. Dabei soll als optimal bezüglich eines vorgegebenen Problems die Schaltfunktion bezeichnet werden, die die wenigsten Verknüpfungen enthält. Weitergehende Ansätze könnten etwa die unterschiedlichen Kosten for NOT-, AND-, bzw. OR-Gatter berücksichtigen.

Methoden zur Vereinfachung vorgegebener Schaltfunktionen beruhen im wesentlichen auf dem systematischen Anwenden der Rechenregeln (3)–(12). Wendet man auf die Schaltfunktion (15) die Regel $g \wedge (h \vee \bar{h}) = g$ an, so kann f wie folgt vereinfacht werden:

$$
\begin{aligned}
f &= \bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge x_3 \vee \bar{x}_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \vee x_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge x_3 \vee x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \\
&= \bar{x}_2 \wedge x_3 \wedge (\bar{x}_1 \vee x_1) \vee x_2 \wedge x_3 \wedge (x_1 \vee \bar{x}_1) \\
&= \bar{x}_2 \wedge x_3 \vee x_2 \wedge x_3 \\
&= x_3 \wedge (\bar{x}_2 \vee x_2) \\
&= x_3
\end{aligned}
$$

1.2.3 Schaltnetze

Ein Schaltnetz mit m Eingängen und n Ausgängen (siehe Abb. 1–1) wird beschrieben durch ein *Bündel* von n Schaltfunktionen.

$$
\begin{aligned}
z_1 &= f_1\,(x_1, x_2, \ldots, x_m)\\
&\cdots\cdots\\
&\cdots\cdots \qquad\qquad (17)\\
&\cdots\cdots\\
z_n &= f_n\,(x_1, x_2, \ldots, x_m)
\end{aligned}
$$

Da sich über m Schaltvariablen ‚nur' $2^{(2^m)}$ unterschiedliche Schaltfunktionen definieren lassen, lassen sich insgesamt ‚nur' $(2^{(2^m)})^n$ strukturell unterschiedliche Schaltnetze mit m Eingängen und n Ausgängen definieren. (Für m = 3, n = 2 ergeben sich bereits 65 536 mögliche Schaltnetze.) Analog zu den in Abschnitt 1.2.2 erwähnten Verfahren existieren Verfahren zum Vereinfachen von Bündeln von Schaltfunktionen. Neben den früher bereits genannten Gesichtspunkten wird man vor allem darauf achten, in den verschiedenen Schaltfunktionen gemeinsame Funktionsteile zu erkennen und nur je einmal zu verwirklichen (siehe auch (20) und Abbildung 1–10).

1.2.4 Ein Beispiel

Als Beispiel für ein einfaches Schaltnetz wird im folgenden ein *Halbaddierer* entworfen, der zwei Binärstellen x_1 und x_2 addiert und das Ergebnis an den Ausgängen z_1, z_2 bereitstellt. Die Schaltfunktionen für z_1 und z_2 ergeben sich aus der folgenden Wertetafel:

Tab. 1–5. Wertetafel

x_1	x_2	entsprechender Minterm	z_1	z_2
0	0	$\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2$	0	0
0	1	$\bar{x}_1 \wedge x_2$	0	1
1	0	$x_1 \wedge \bar{x}_2$	0	1
1	1	$x_1 \wedge x_2$	1	0

Man erhält somit die Schaltfunktionen

$$z_1 = x_1 \wedge x_2$$

$$z_2 = \bar{x}_1 \wedge x_2 \vee x_1 \wedge \bar{x}_2$$

und damit den symbolischen Schaltplan

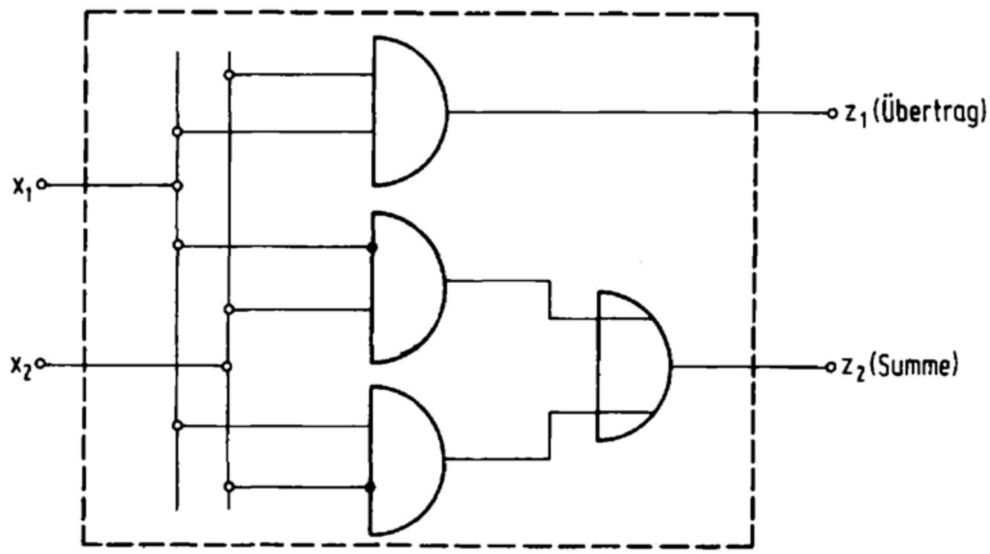


Abb. 1–3. Halbaddierer

1.2.5 Der allgemeine Fall

Einem in disjunktiver Normalform vorgegebenen Bündel von Schaltfunktionen entspricht allgemein ein zweistufiges Schaltnetz (Abb. 1–4).

Die erste Stufe besteht aus AND-Gattern, auf die die Eingänge des Netzes geführt werden; die Ausgänge dieser AND-Gatter stellen die in den Schaltfunktionen geforderten Minterme bereit, die ihrerseits in der aus OR-Gattern bestehenden zweiten Stufe konjunktiv verknüpft werden. Die Ausgänge dieser OR-Gatter sind die Ausgänge des Schaltnetzes.

1.3 Sequentielle Netzwerke (Schaltwerke)

1.3.1 Erweiterung des Modells

Die bisher betrachteten Schaltnetze zeichnen sich dadurch aus, daß die Werte der Ausgangsvariablen z_j zu einem Zeitpunkt lediglich von den Werten der Eingangsvariablen x_i zu demselben Zeitpunkt t

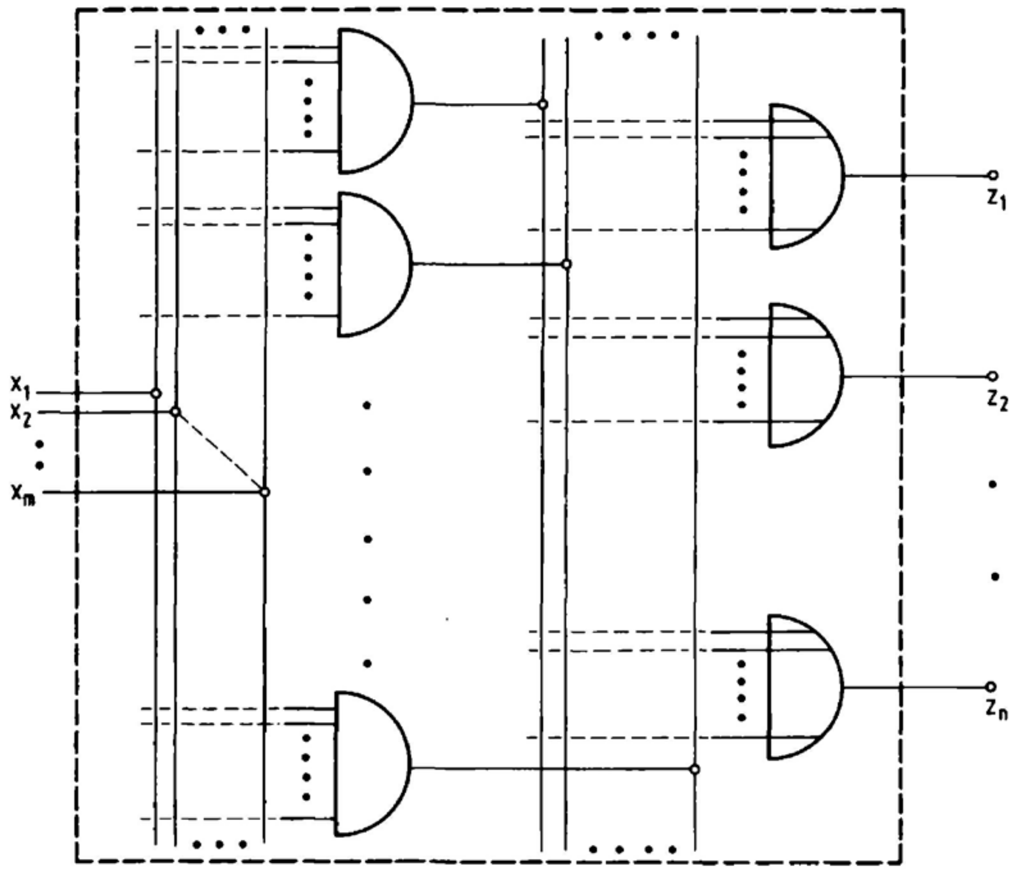


Abb. 1–4. Allgemeines kombinatorisches Netzwerk

abhängen. Einer bestimmten Wertekombination der Eingangsvariablen ist also zu jedem Zeitpunkt in eindeutiger Weise eine Wertekombination der Ausgangsvariablen zugeordnet. Diese Tatsache spiegelt sich auch in der Struktur des allgemeinen Schaltnetzes (Abb. 1–4) wider.

Die folgende Aufgabe ist mit Hilfe eines derartigen Schaltnetzes nicht mehr lösbar:

> ‚Man entwerfe ein Netzwerk mit einem Eingang und einem Ausgang, das jeden zweiten Impuls am Eingang auf den Ausgang überträgt'.

Abbildung 1–5 zeigt die gewünschte Wirkungsweise des Netzwerkes, das als modulo 2-Zähler interpretiert werden kann.