

Prof. Jürgen Becker

becker@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)

Digitaltechnik

Bausteine der Digitaltechnik - Binäre Schalter und Gatter -

- Bereits zuvor wurde das **binäre Signal** als einfachstes **Digitalsignal** eingeführt
- bei der Einführung der Schaltalgebra waren die beiden **Wertintervalle** ,L‘ und ,H‘ mit ,0‘ und ,1‘ benannt
- für den **Bezug** von **Spannungsbereichen** zu **logischen Werten** definiert man folgende **bijektive Abbildungen**:

$$\{ 0, 1 \} \rightarrow \{ L, H \}$$

wobei **zwei Möglichkeiten** der **Zuordnung** existieren:

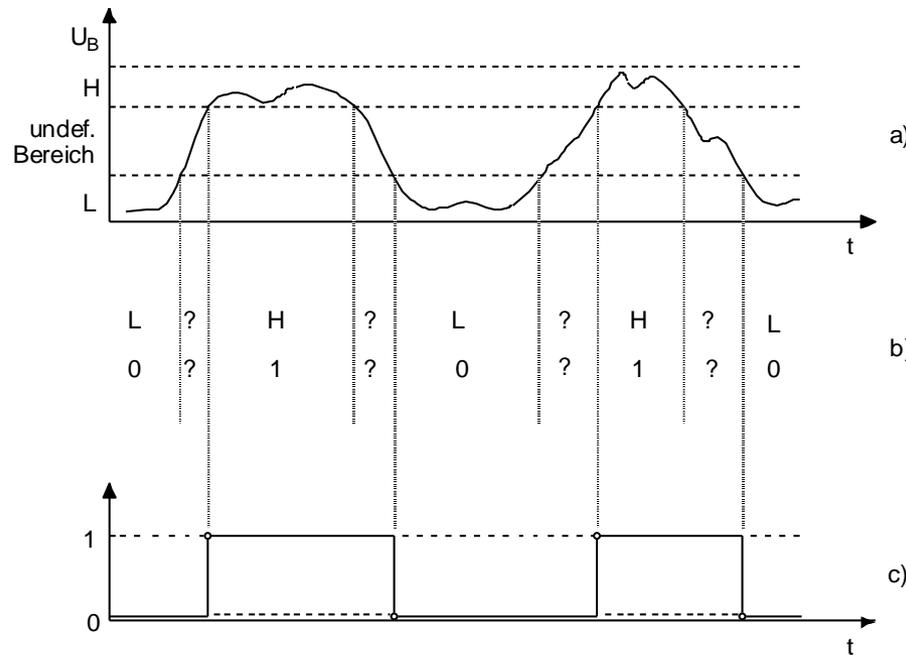
Intervall	Logischer Wert
L	0
H	1

Positive Logik

Intervall	Logischer Wert
L	1
H	0

Negative Logik

- Bei **zeitlicher Änderung** der **Spannung** entstehen **Zeitintervalle** in denen diese entweder im **Intervall H, L** oder ohne feste Zuweisung im **undefinierten Bereich** liegt
- daher ist eine **Erweiterung** des **Binärwertverlaufs** notwendig:



- eine **Unterscheidung** zwischen einem **logischen** und einem **physikalischen Signalwertverlauf** ist notwendig und wichtig

Zuvor: **Relais** als Möglichkeit zur Realisierung logischer Operationen vorgestellt

- Des weiteren gibt es **Bauelemente**, die auf **physikalischen Effekten** basieren, bei denen **keine zeitaufwendige** mechanische Bewegung benötigt wird



- Den **Transistor** kann man sich als einen **elektronischen Schalter** vorstellen, bei dem über die **Steuerleitung** die **Leitfähigkeit** zwischen den anderen Elektroden manipuliert werden kann
- **Einzustand:** **geringer Innenwiderstand** zwischen **Elektroden**
- **Auszustand:** **hoher Innenwiderstand**
- Im folgenden betrachten wir **vier Grundtypen** von **Transistoren**:

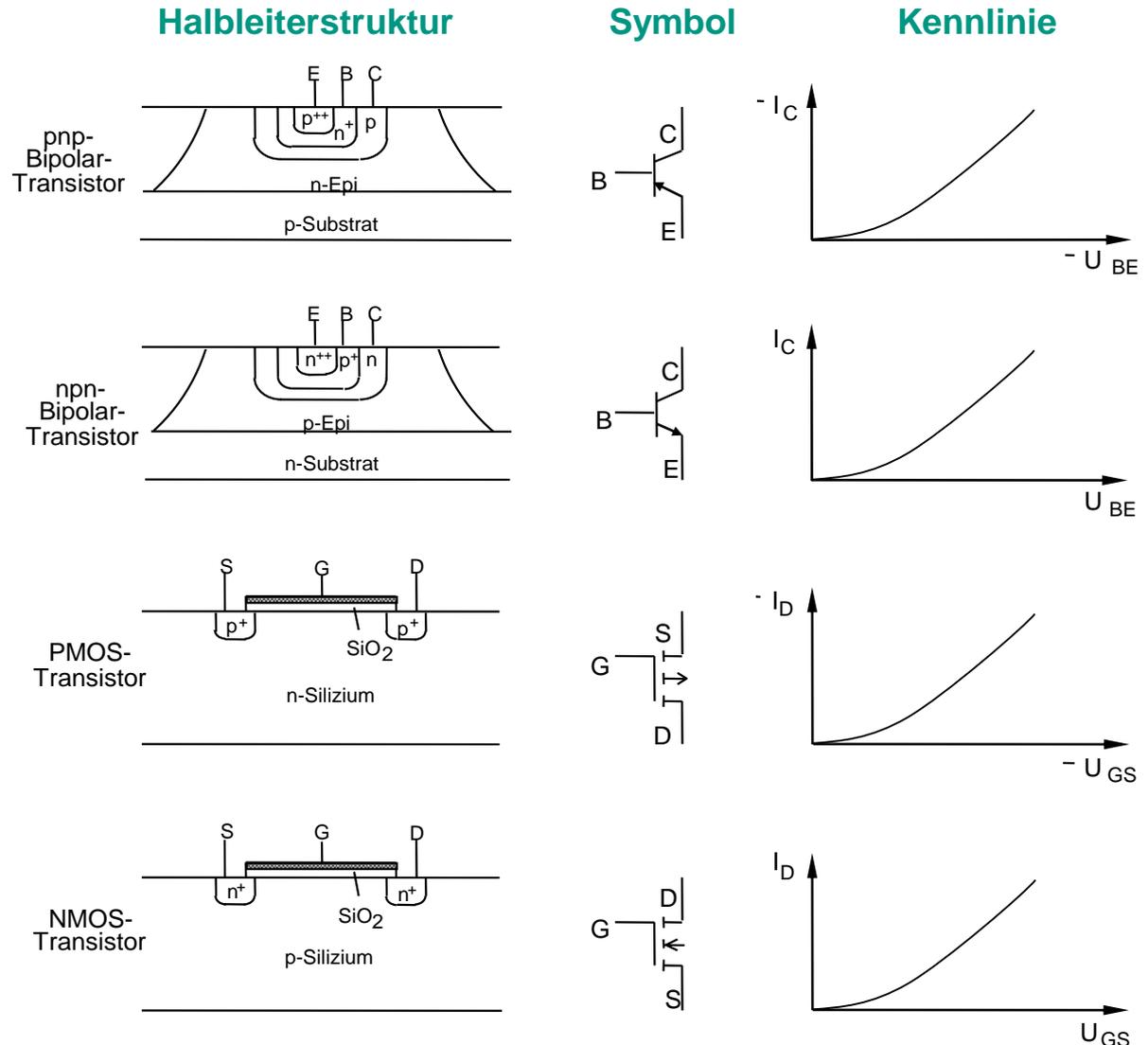
Binäre Schalter: Halbleitertechnologie

4 Grundtypen von Transistoren

Unterscheidung der Transistoren:

- **Abhängigkeit des Maximalstroms zwischen d. Elektroden in Abhängigkeit zur Spannung der Steuerleitung zu einer der Elektroden**
→ **Kennlinie**

- **Zu jedem Typ gibt es noch einen zweiten, bei dem sowohl die Spannung als auch der Strom umgekehrtes Vorzeichen haben**



Realisierbare digitaltechnische Operationen:

- **Logische Operationen** lassen mit **Transistoren** (analog zu Relais) über **Parallel- und Reihenschaltung** realisieren
- Das **Prinzip** basiert lediglich auf **elektrisch steuerbaren Schaltern**
→ im folgenden wird daher, soweit die Technologie keine Rolle spielt, einfach das Symbol eines Schalters auch für Transistoren verwendet

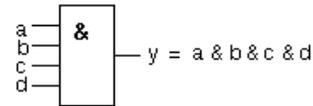
Hauptsatz der Schaltalgebra: zeigte die **Darstellbarkeit beliebiger Funktionen** mit beliebig vielen Variablen unter Einsatz **weniger ausgewählter Basisoperatoren**

- wenn sich jeder dieser **Basisoperatoren technisch umsetzen** lässt, steht der **Realisierung** von beliebigen **algebraischen Ausdrücke** nichts im Wege
- solche **Basisschaltungen** werden als **Schaltglieder** oder **Gatter** bezeichnet und wie in technischen Darstellungen üblich mit **Schaltsymbolen** dargestellt
- grundlegende Eigenschaften solcher Gatter und eine **schaltungsorientierte Realisierung** werden im folgenden diskutiert

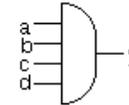
Schaltglieder und Schaltsymbole

Darstellung der Schaltzeichen nach der neuen Norm (DIN 40900):

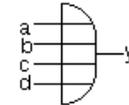
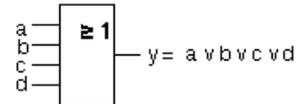
UND - Glied :



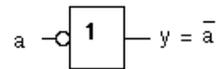
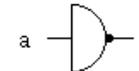
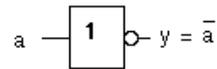
(Zum Vergleich alte Norm)



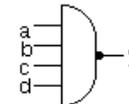
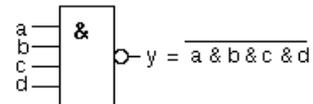
ODER - Glied :



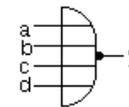
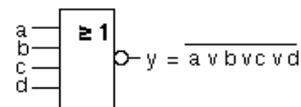
Negationsglied :



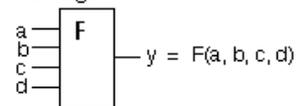
NAND - Glied :



NOR - Glied :

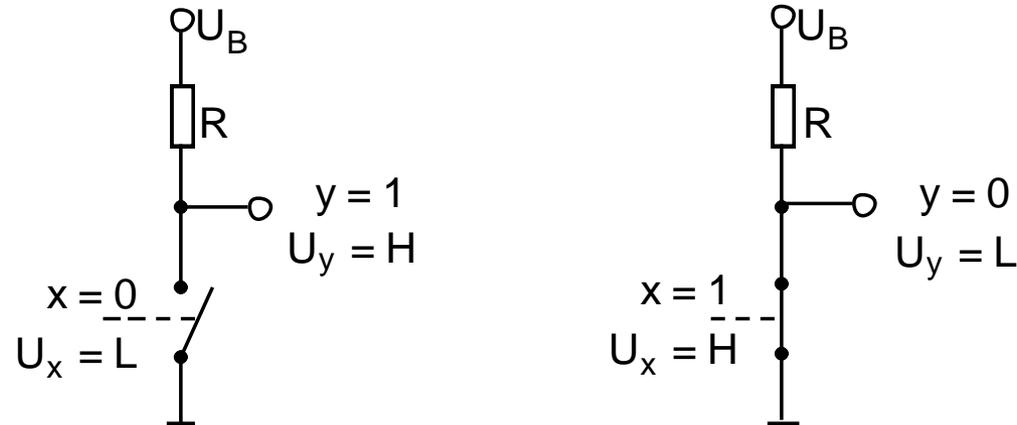


beliebige Funktion :



Inverter (Negationsglied)

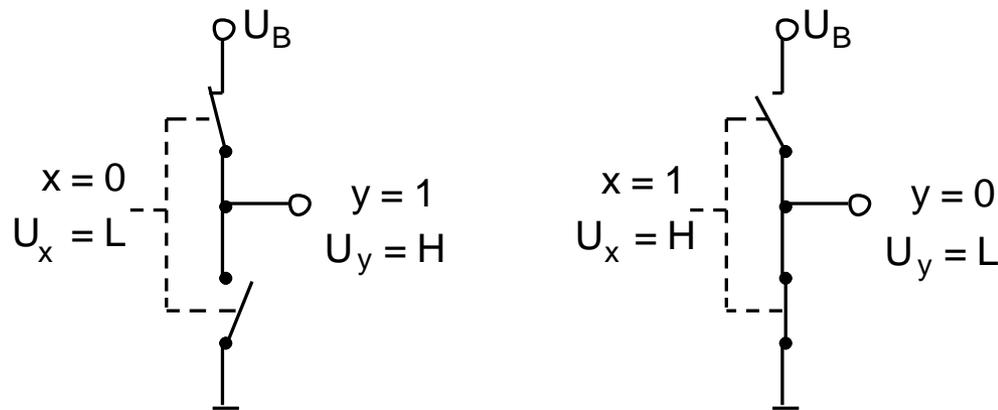
Realisierung nach dem Einschalterprinzip:



- Das **Realisierungsprinzip** entspricht bei MOS-Technologien den sogenannten **NMOS-Schaltungen** (Negative Metal-Oxyd Semiconductor)
- **Nachteil:** im Schaltungszustand $U_x = H$ fließt **konstant** ein **Strom**
- Dieser Strom sowie die Pegel L und H können über den Widerstand R reguliert werden

Inverter (Negationsglied)

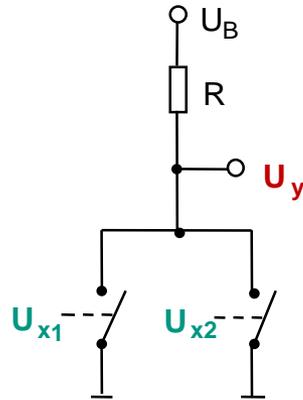
Realisierung nach dem Zweischalterprinzip:



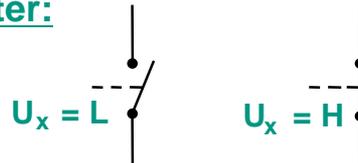
- **Zwei Schalter** sind so geschaltet, dass **nie beide gleichzeitig geschlossen** sind
- **Dadurch:** in **keinem Schaltzustand** fließt **konstant ein Strom**
- Auf diesem **Realisierungsprinzip** basieren Schaltungen in **CMOS-Technologien** (Complementary MOS)
 - die Transistoren im oberen Schaltungsteil (**PMOS-Technologie**) realisieren jeweils immer die **duale Schaltung** zu den Transistoren im unteren Zweig (**NMOS-Technologie**)

Einschalterprinzip: *NOR/NAND*

Parallelschaltung zweier Schalter:



Positive Schalter:



U_{x2}	U_{x1}	U_y
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

positive
Logik

negative
Logik

x_2	x_1	y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

→ **NOR**

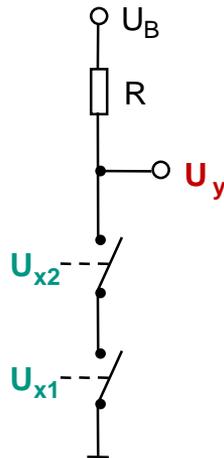
x_2	x_1	y
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

→ **NAND**

- Der **gleiche Schaltungstyp** realisiert entweder **NAND** oder **NOR** abhängig von der **Logikzuordnung**

Einschalterprinzip: *NOR/NAND*

■ Reihenschaltung zweier Schalter:



U_{x2}	U_{x1}	U_y
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

positive
Logik

↙

negative
Logik

↘

x_2	x_1	y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

x_2	x_1	y
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

→ **NAND**

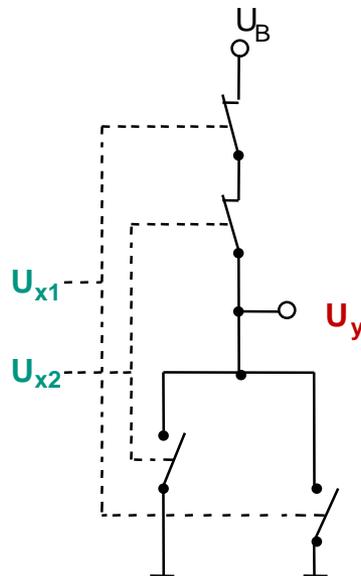
→ **NOR**

■ **NAND** und **NOR** einfach zu realisieren: bilden jeweils alleine ein **Basissystem**

- daraus folgt ihre hohe technische Bedeutung
- **UND** bzw. **ODER** lassen sich nicht so einfach realisieren und
 - sind meist eine Kombination aus **NAND/NOR** und einem Inverter

Einschalterprinzip: *NOR/NAND*

Reihen- und Parallelschaltung jeweils zweier Schalter:



U_{x2}	U_{x1}	U_y
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

positive
Logik

x_2	x_1	y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

→ **NOR**

negative
Logik

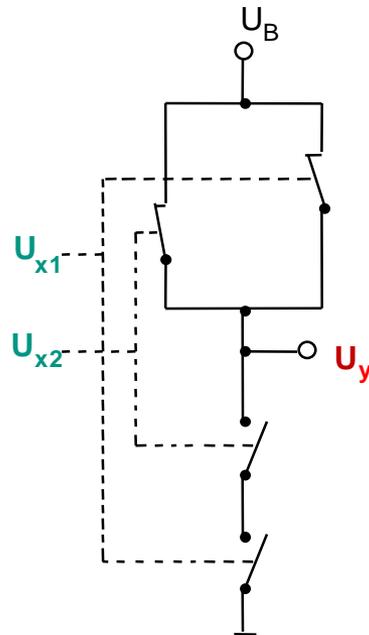
x_2	x_1	y
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

→ **NAND**

- Die **Serienschaltung** im **oberen Zweig** ist die **duale Schaltung** zur **Parallelschaltung** mit inversen Schaltern im **unteren Zweig**

Zweischalterprinzip: *NOR/NAND*

Reihen- und Parallelschaltung jeweils zweier Schalter:



U_{x2}	U_{x1}	U_y
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

positive Logik

x_2	x_1	y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

→ **NAND**

negative Logik

x_2	x_1	y
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

→ **NOR**

- Die **Parallelschaltung** im **oberen Zweig** ist die **duale Schaltung** zur **Serienschaltung** mit inversen Schaltern im **unteren Zweig**