

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. J. Becker

becker@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

# Digitaltechnik

## Bausteine der Digitaltechnik - Binäre Schalter und Gatter -

# Zuordnungsschemata

- 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

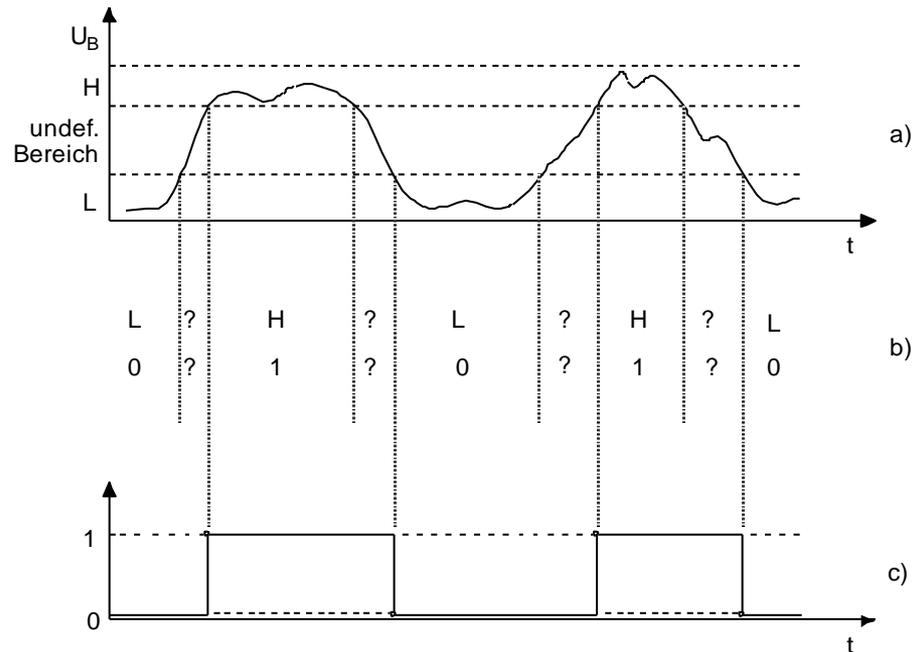
**Positive Logik**

Intervall	Logischer Wert
L	1
H	0

**Negative Logik**

# Zuordnungsschemata

- 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

### Halbleiterstruktur

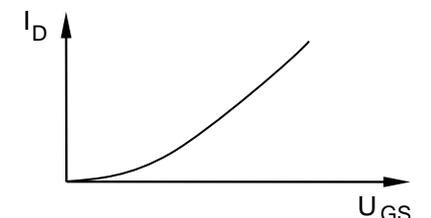
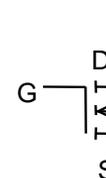
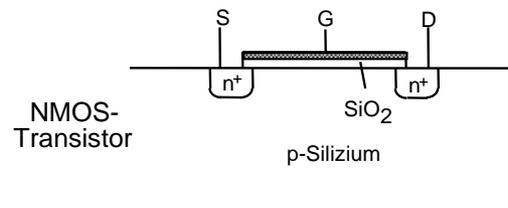
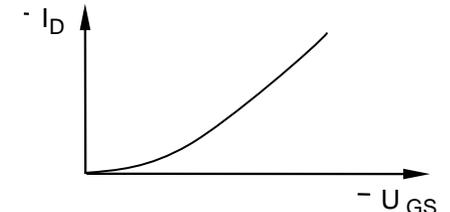
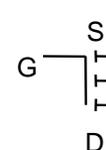
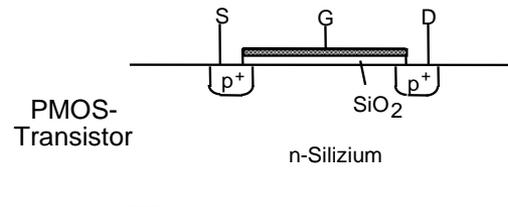
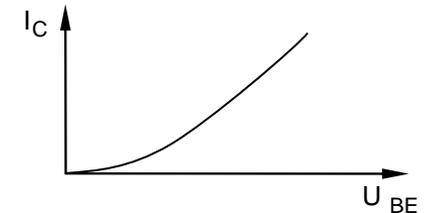
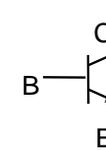
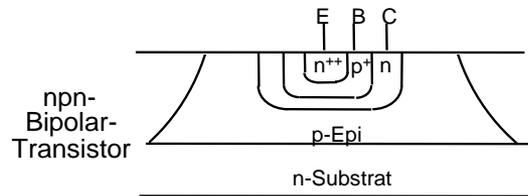
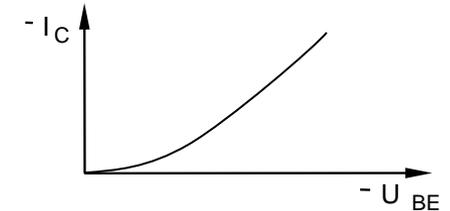
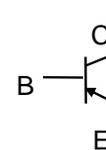
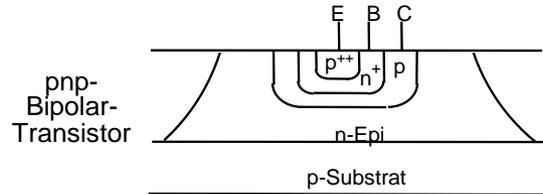
### Symbol

### Kennlinie

## 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



# Binäre Schalter und Schaltglieder

## 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

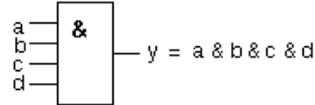
Hauptsatz der Schaltalgebra: zeigte die **Darstellbarkeit beliebiger Funktionen** mit beliebig vielen Variablen unter Einsatz **weniger ausgewählter Basisoperatoren**

- > 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

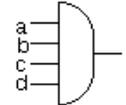
# Schaltglieder und Schaltsymbole

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

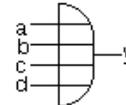
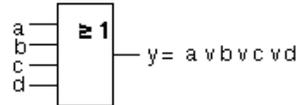
UND - Glied :



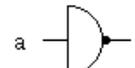
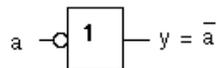
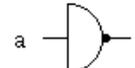
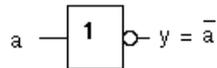
(Zum Vergleich alte Norm)



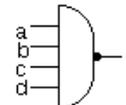
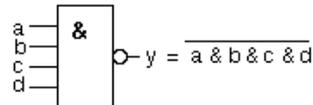
ODER - Glied :



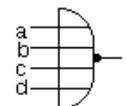
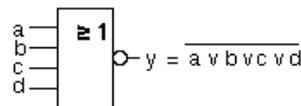
Negationsglied :



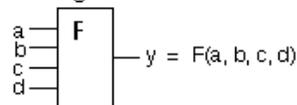
NAND - Glied :



NOR - Glied :

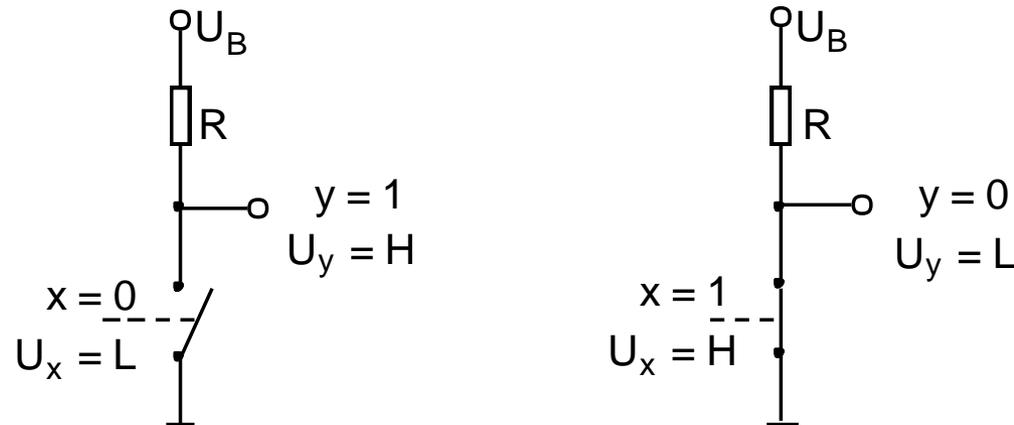


beliebige Funktion :



# Inverter (Negationsglied)

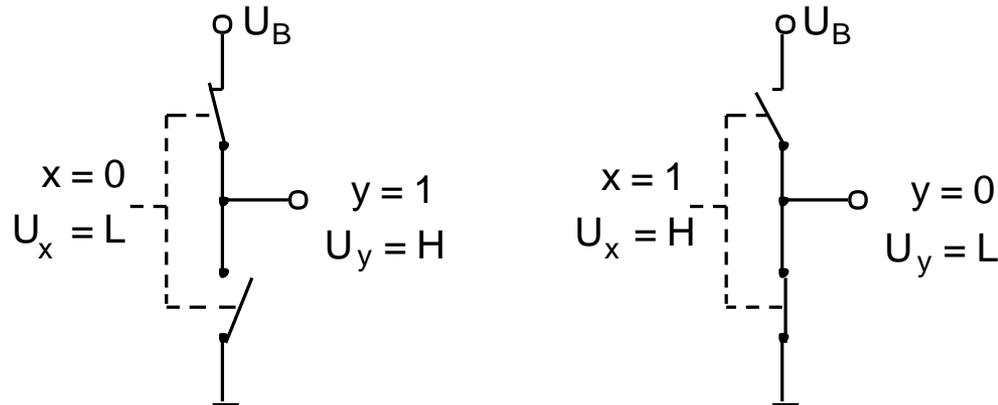
Realisierung nach dem Einschalterprinzip:



- 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)

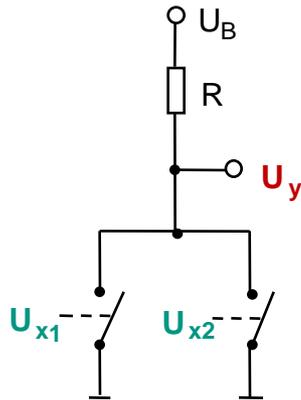
Realisierung nach dem Zweischalterprinzip:



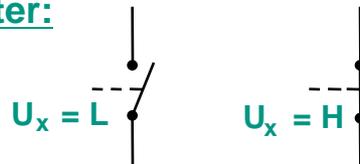
- **Zwei Schalter** sind so geschaltet, dass **nie beide gleichzeitig geschlossen** sind
- **Dadurch:** in **keinem Schaltungszustand** fließt **konstant** ein **Strom**
- Auf diesem **Realisierungsprinzip** basieren Schaltungen in **CMOS-Technologien** (Complementary MOS)
- > die Transistoren im oberen 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

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

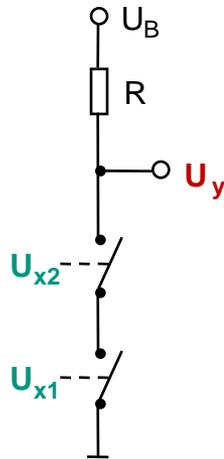
→ **NOR**

→ **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

$x_2$	$x_1$	$y$
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**

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

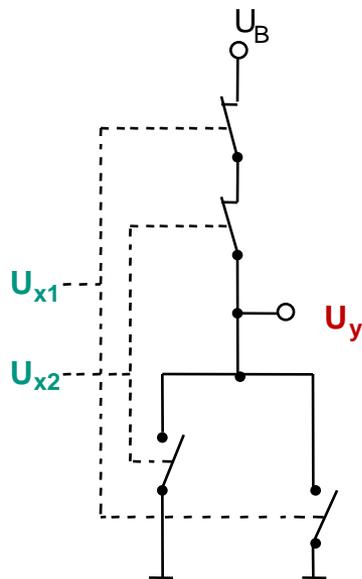
-> daraus folgt ihre hohe technische Bedeutung

- **UND** bzw. **ODER** lassen sich nicht so einfach realisieren und

sind meist eine Kombination aus **NAND/NOR** und einem Inverter

# Zweischalterprinzip: *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

negative  
Logik

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

→ **NOR**

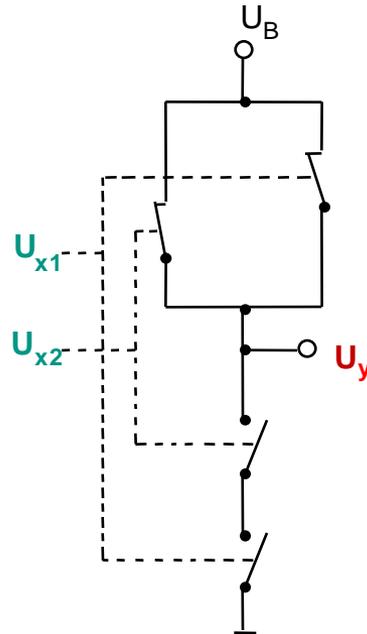
$x_2$	$x_1$	$y$
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

→ **NAND**

- 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**