

<b>Wichtige Hinweise:</b> .....	<b>5</b>
<b>0. EINLEITUNG (BE, GRUNDGRÖßEN, MAßEINHEITEN)</b> .....	<b>6</b>
<b>1. PASSIVE BAUELEMENTE (ZUSATZLITERATUR)</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1 Widerstände</b> .....	<b>7</b>
1.1.1 lineare und nichtlineare Widerstände .....	8
1.1.2 Festwiderstände .....	9
1.1.3 einstellbare Widerstände .....	12
1.1.4 Überblick über andere (jetzt nichtlineare) Widerstandsarten .....	14
<b>1.2 Spulen</b> .....	<b>17</b>
1.2.1 Allgemeines .....	17
1.2.2 Einschaltvorgang (im Gleichstromkreis) .....	18
1.2.3 Ausschaltvorgang (im Gleichstromkreis) .....	19
<b>1.3 Kondensatoren</b> .....	<b>21</b>
1.3.1 Allgemeines .....	21
1.3.2 Kondensator bei Gleichspannungen .....	22
1.3.3 Kondensator bei Wechselspannungen .....	23
1.3.4 Vierpole anhand von RC bzw. CR-Gliedern .....	25
<b>1.4 Halbleiterdioden</b> .....	<b>26</b>
1.4.1 Allgemeines .....	26
1.4.2 Arbeitsweise von Dioden .....	26
1.4.3 Schaltverhalten von Dioden .....	28
1.4.4 Gleichrichterschaltungen .....	29
<b>2. AKTIVE BAUELEMENTE (BIPOLARE TRANSISTOREN),( ZUSATZLIT.)</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1 Allgemeines</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2 Ströme und Spannungen sowie Grundsaltungen</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3 Kennlinienfelder eines (npn)-Transistors (Emitterschaltung)</b> .....	<b>35</b>
<b>2.4 Der Transistor als Schalter und Verstärker</b> .....	<b>40</b>
2.4.1 Der Transistor als Schalter .....	40
2.4.2 Der Transistor als Verstärker (Zusatzinformation) .....	42
2.4.3 Kenndaten und Grenzwerte eines Transistors .....	43

<b>3. BOOLSCHES ALGEBRA, DIGITALE GRUNDFUNKTIONEN, (ZUSATZLIT.).....</b>	<b>44</b>
<b>3.1 Grundverknüpfungen und ihre symbolische Darstellung .....</b>	<b>44</b>
3.1.1 Die Konjunktion oder das logische UND .....	44
3.1.2 Die Disjunktion oder das logische ODER .....	45
3.1.3 Die Negation einer Aussage .....	45
<b>3.2 Gesetze der Booleschen Algebra und Schaltungsminimierung.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 abgeleitete Grundfunktionen der Digitaltechnik.....</b>	<b>55</b>
3.3.1 Die NAND - Funktion .....	55
3.3.2 Die NOR - Funktion .....	55
3.3.3 Die EXOR-Funktion (Antivalenz) .....	56
3.3.4 Die NOEXOR - Funktion (Äquivalenz) .....	57
<b>3.4 wichtige Normalformen .....</b>	<b>57</b>
<b>3.5 zusammenfassendes Beispiel zum Abschnitt 3 .....</b>	<b>59</b>
<b>3.6 Übungen zum Kapitel 3 .....</b>	<b>60</b>

# **Hardwaregrundlagen (Informatik)**

**Skript und Auszüge aus der Vorlesung  
"Hardwaregrundlagen"**

**Stand: WS 2017/2018**

**Bearbeitungsschluß: 31.08.2016**

## Literaturverzeichnis

- /1/ Klaus Beuth: Bauelemente Elektronik 2. Vogel Buchverlag, 2010, ISBN 3-8343-3170-0
- /2/ R. Wenzel: Vorlesung Digitaltechnik für Informatiker., HS-Emden-Leer, 2008/2009
- /3/ Google.de: Suchwörter Bipolartransistor, Brückengleichrichter
- /4/ [de.wikipedia.org](http://de.wikipedia.org)
- /5/ TTL - Datenblätter
- /6/ CMOS - Datenblätter

### ***Wichtige Hinweise:***

- Das vorliegende Skript ist umfangreicher als der behandelte Stoff in der Vorlesung. Kapitel (Abschnitte) oder Teile von Kapiteln (Abschnitten), die nicht in der Vorlesung behandelt werden, sind durch die Bemerkung "**Zusatzinformation**" gekennzeichnet. Diese dienen dazu, die Erkenntnisse abzurunden bzw. andere Sichtweisen zu betrachten.
- Einige Teile des Skriptes werden in der Vorlesung nur verkürzt oder überhaupt nicht behandelt. Diese Kapitel oder Abschnitte werden durch die Bemerkung "**Zusatzliteratur bzw. Zusatzlit.**" gekennzeichnet und dienen dann im Zusammenhang mit der Vorlesung und der angegebenen Literatur zur effektiven Nacharbeitung. Stellenweise dienen diese auch nur der allgemeinen Information.
- Kapitel oder Abschnitte ohne zusätzliche Bemerkungen werden so und ohne Einschränkungen in der Vorlesung behandelt.
- Dieses Skript ersetzt auf keinen Fall den Besuch der Vorlesung. Gleichzeitig ersetzt es nicht das Studium einschlägiger Literatur.
- Die Abbildungen sind nahezu vollständig aus /1/ übernommen, damit eine effektive Nachbearbeitung möglich ist. Als Kernliteratur wird dringend /1/ empfohlen.

## 0. Einleitung (BE, Grundgrößen, Maßeinheiten)

Grundgrößen	Maßeinheit	Bezeichnungen übliche Maßeinheiten	Bemerkungen
Spannung	Volt	U, u V, mV	
Strom	Ampere	I, i A, mA, $\mu$ A	
Leistung	Watt	P, p W, mW	
Frequenz	Hertz	f Hz, kHz, MHz	

BE - Bezeichnung	Maßeinheit	Bezeichnungen übliche Maßeinheiten	Bemerkungen
Widerstand	OHM	R, r $\Omega$ , k $\Omega$ , M $\Omega$	
Induktivität	Henry	L mH, $\mu$ H	
- Kondensator	Farad	C mF, $\mu$ F, pF	
Diode	ohne		
Transistor	ohne		

# **1. Passive Bauelemente (Zusatzliteratur)**

Passive Bauelemente sind in allen elektronischen Baugruppen vorhanden und erfüllen dort wichtige und unterschiedliche Funktionen. Ohne diese Art von Bauelementen und deren Einsatz wäre die Lösung schaltungstechnischer Aufgaben undenkbar.

Im Abschnitt 1 wird eine Auswahl dieser Bauelemente im Überblick vorgestellt. Dabei stehen Arbeitsweise, Kennwerte, Kennlinien und wichtige Anwendungen im Vordergrund.

Die wesentlichen Kenngrößen einer elektronischen Schaltung sind die /der

- Spannung (Gleich- oder Wechselspannung), Maßeinheit ist Volt (V), die Bezeichnung für die Spannung ist „U bzw. „u“
- Strom (Gleich- oder Wechselstrom), Maßeinheit ist Ampere (A), die Bezeichnung für den Strom ist „I“ bzw. „i“
- und die sich daraus ableitende Leistung, Maßeinheit ist Watt (W), die Bezeichnung ist „P“ bzw. „p“.

Durch Anfügen verschiedener Indizes wird verdeutlicht, um welche Teilgrößen es sich jeweils handelt.

Die Darstellung der Zusammenhänge und Wechselwirkung dieser Größen wird Aufgabe dieses Kapitel sein.

## **1.1 Widerstände**

Widerstände setzen den fließenden Strömen in einer Schaltung einen gezielten Widerstand entgegen. Sie dienen u.a. zur /zum:

- Strombegrenzung
- Kurzschlußvermeidung an der Spannungsquelle
- Schutz von elektronischen Bauelementen
- Arbeitspunkteinstellungen
- Stabilisierung
- Realisierung von Kippschaltungen (z.B. Schmitt-Trigger, Monoflops und Oszillatoren)
- u.v.m.

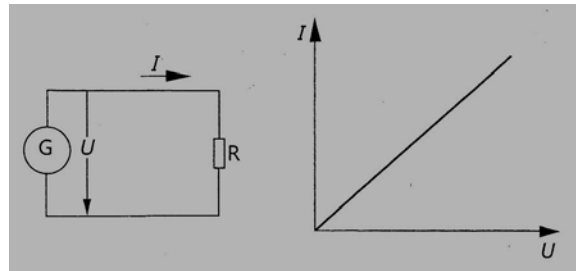
Man unterscheidet zwischen

- linearen und
- nichtlinearen Widerständen.

Widerstände werden durch das „R“ bzw. „r“ gekennzeichnet, Die Maßeinheit ist ( $\Omega$ ).

### 1.1.1 lineare und nichtlineare Widerstände

Zwischen Spannung und Strom besteht bei **linearen Widerständen** (siehe nachstehende Abbildung) direkte Proportionalität. Dies spiegelt sich auch durch das sogenannte „Ohmsche Gesetz“ wider (benannt nach dem Entdecker „Georg Simon Ohm“). Es beschreibt den Zusammenhang zwischen Strom und Spannung. Allgemein kann man folgende Kennlinie daraus ableiten:

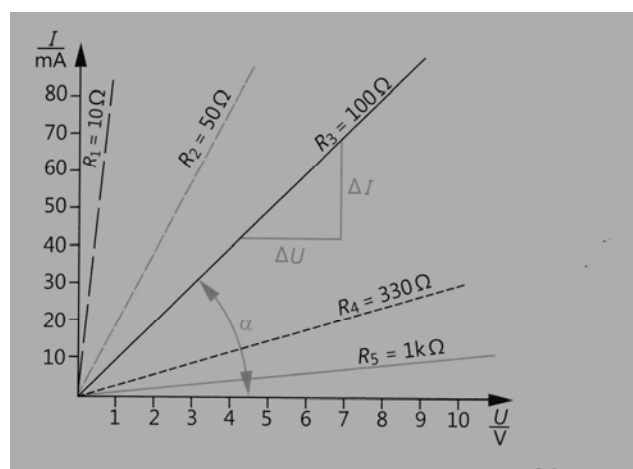


Es gilt, daß sich ein linearer Widerstand aus der Beziehung:

$$R = U / I \quad \text{Widerstand} = \text{Spannung} / \text{Strom}$$

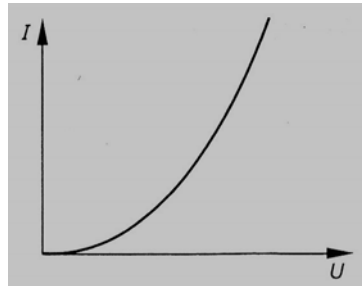
errechnen lässt.

Nachstehendes Diagramm zeigt den Kennlinienverlauf für ausgewählte lineare Widerstände.





**Nichtlineare** Widerstände haben keine direkte Proportionalität zwischen Spannung und Strom (siehe Abbildung). Das Ohmsche Gesetz gilt also nicht. Einige Typen dieser Widerstände (Heißleiter, Kaltleiter) werden an späterer Stelle besprochen.



Widerstände sind darüber hinaus durch weitere Kennwerte, wie Belastbarkeit, Toleranz und Temperaturabhängigkeit gekennzeichnet. Dies wird im Folgenden an Beispielen von Widerstandsarten erläutert.

### 1.1.2 Festwiderstände

Festwiderstände haben einen Widerstand, der sich nicht verändern lässt. Sie lassen sich durch das Ohmsche Gesetz beschreiben. Diese sind gekennzeichnet durch:

- den Widerstandswert selbst (Angabe in „OHM“,  $\Omega$ )
- den Leistungsbereich (in WATT)
- die Toleranz (in %).

Der Widerstandswert oder auch Nennwiderstand existiert in Normreihen, da nicht jeder Widerstandswert hergestellt werden kann. Für diesen Fall müssen einstellbare Widerstände oder auch Potentiometer verwendet werden.

Die am meist zum Einsatz kommenden Normreihen sind:

- E6
- E12
- E24

Mögliche Widerstandswerte und gleichfalls die Toleranz liegen dann fest.

**Welche Werte dieser Reihen existieren?**

1.6   0.7   3.1   2.7   5.1

$\begin{matrix} E \\ \pm 20\% \end{matrix}$ 6	1,0			1,5			2,2			3,3			4,7			6,8								
$\begin{matrix} E \\ \pm 10\% \end{matrix}$ 12	1,0	1,2		1,5	1,8		2,2	2,7		3,3	3,9		4,7	5,6		6,8	8,2							
$\begin{matrix} E \\ \pm 5\% \end{matrix}$ 24	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Natürlich sind auch alle 10-er Potenzen verfügbar.

Wie bereits angesprochen, können nicht alle Widerstandswerte mit den Normreihen realisiert werden. Entweder nimmt man dann einstellbare Widerstände oder kann dies evt. auch durch Reihen- und /oder Parallelschaltung von Widerständen erreichen.

#### **Reihenschaltung von Widerständen:**

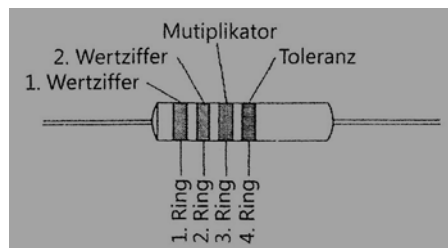
#### **Gesamtwiderstand:**

#### **Parallelschaltung von Widerständen:**

#### **Gesamtwiderstand:**

Widerstände werden zur Kennzeichnung mit einem Farbcode gekennzeichnet. Dieser ist standardisiert und ist nachstehend abgebildet:

Kenn- farbe	1. Ring = 1. Wertziffer	2. Ring = 2. Wertziffer	3. Ring = Multiplikator	4. Ring = Toleranz
Farblos	–	–	–	±20%
Silber	–	–	$\cdot 10^{-2} \Omega$	±10%
Gold	–	–	$\cdot 10^{-1} \Omega$	±5%
Schwarz	0	0	$\cdot 10^0 \Omega$	
Braun	1	1	$\cdot 10^1 \Omega$	±1%
Rot	2	2	$\cdot 10^2 \Omega$	±2%
Orange	3	3	$\cdot 10^3 \Omega$	
Gelb	4	4	$\cdot 10^4 \Omega$	±0,5%
Grün	5	5	$\cdot 10^5 \Omega$	
Blau	6	6	$\cdot 10^6 \Omega$	
Violett	7	7	$\cdot 10^7 \Omega$	
Grau	8	8	$\cdot 10^8 \Omega$	
Weiß	9	9	$\cdot 10^9 \Omega$	



**Beispiele:**

1. Ring	2. Ring	3. Ring	4. Ring	Gesamt/ Toleranz	welche Reihe?
gelb	violett	rot	gold	4,7 k $\Omega$ +/- 5%	E 24

### **Belastbarkeit von Widerständen**

Neben all diesen bisher behandelten Kennwerten, spielt die jeweils mögliche Belastbarkeit eines Widerstandes eine große Rolle. Auch hier gibt es Reihen, die vom Hersteller angegeben werden. Die Angabe erfolgt in Watt, spiegelt also die Leistung wider:

Folgende Werte sind möglich:

Belastbarkeit in (W)									
0,05	0,1	0,25	0,5	1	2	3	6	10	20

Diese Angaben beziehen sich immer auf eine bestimmte Umgebungstemperatur und dürfen nicht darüber liegen, da es sonst zur Zerstörung des Bauelementes und ggf. auch zu Bränden kommen kann.

### **Bauarten von Festwiderständen**

- Schichtwiderstände
- Dickschichtwiderstände (Mikromodultechnik)
- Dünnschichtwiderstände (Mikromodultechnik)
- Drahtwiderstände

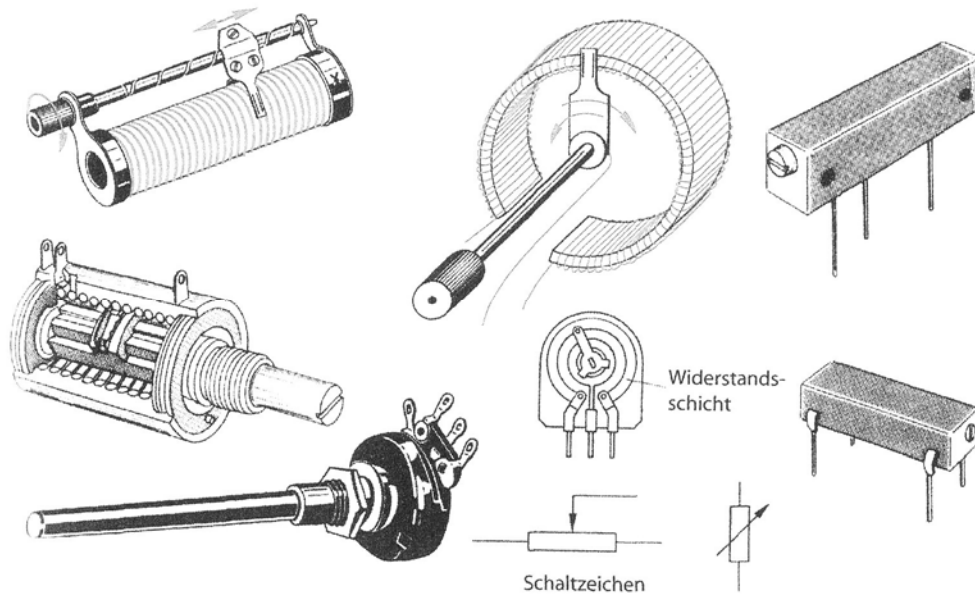
### **1.1.3 einstellbare Widerstände**

Bei einstellbaren Widerständen kann die Größe in einem bestimmten Rahmen zwischen dem Wert Null und dem Maximalwert des Widerstandes eingestellt werden. Dies geschieht über Widerstandsbahnen auf denen über einen Schleifkontakt der jeweilige Wert eingestellt und abgenommen werden kann. Es gibt verschiedene Bauformen derartiger Widerstände, wie nachstehendes Bild veranschaulicht. Gleichzeitig ist die Einstellbarkeit durch verschiedene Widerstandskurven möglich (richtet sich jeweils nach der gewünschten Anwendung).

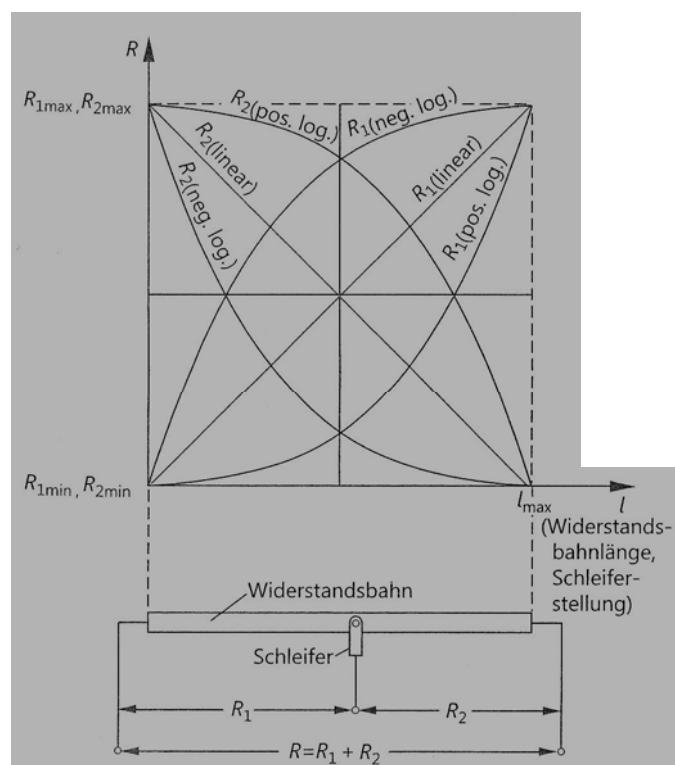
Möglichkeiten der Einstellbarkeit sind:

- linear (positiv oder negativ)
- logarithmisch (positiv oder negativ)
- exponentiell (positiv oder negativ)

## einstellbare Widerstände (Bauarten)



## Einstellarten:

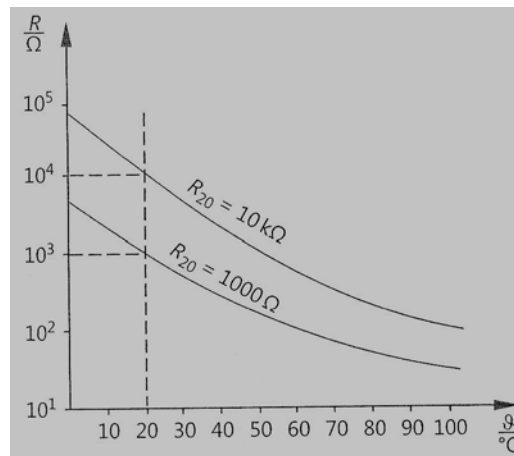


## 1.1.4 Überblick über andere (jetzt nichtlineare) Widerstandsarten

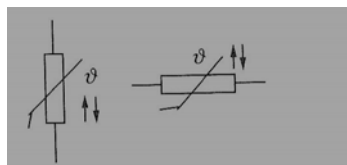
### a) Heißleiter (oder NTC- Widerstände)

Heißleiter leiten besonders gut, wenn die umgebende Temperatur hoch ist. Die Bezeichnung „NTC“ folgt aus „Negative Temperature Coefficient“.

Die nachstehende Abbildung zeigt einmal die Verläufe für zwei Heißleiterwiderstandswerte in Abhängigkeit der Temperatur. Eine prinzipielle Berechnung ist nicht oder nur schwer möglich. So entnimmt man die jeweiligen Werte aus den Kennlinien der Hersteller.



Das Schaltzeichen zeigt das folgende Bild:



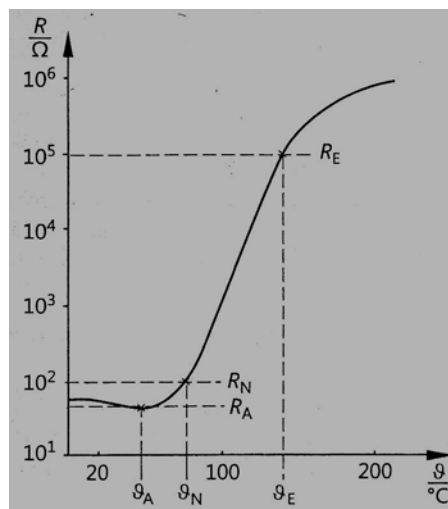
### Anwendungen:

- Temperaturfühler
- Stabilisierung von Temperaturen durch Gegenkopplung
- Stabilisierung von Temperaturen in elektronischen Schaltungen

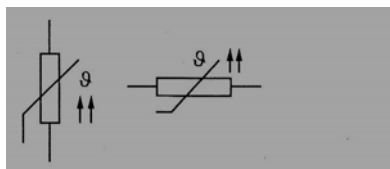
## **b) Kaltleiter (oder PTC- Widerstände)**

Kaltleiter leiten besonders gut, wenn die umgebende Temperatur niedrig ist. Die Bezeichnung „PTC“ folgt aus „Positiv Temperature Coefficient“.

Die nachstehende Abbildung zeigt einmal die Verläufe für einen Kaltleiterwiderstandswert in Abhängigkeit der Temperatur. Eine prinzipielle Berechnung ist nicht oder nur schwer möglich. So entnimmt man die jeweiligen Werte auch hier aus den Kennlinien der Hersteller.



Das Schaltzeichen zeigt das folgende Bild:



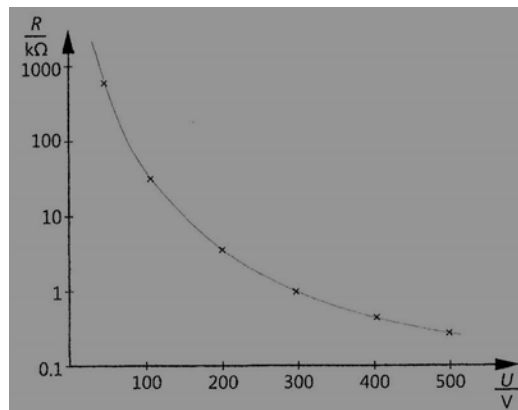
## **Anwendungen:**

- Temperaturfühler
- Überwachungsanlagen (z.B. Überhitzung, Füllstandsmessungen)

### **c) spannungsabhängige Widerstände (oder VDR- Widerstände)**

Spannungsabhängige Widerstände werden kleiner, wenn die anliegende Spannung größer wird. Die Bezeichnung „VDR“ folgt aus „Voltage Dependet Resistor“.

Die nachstehende Abbildung zeigt einmal den Verlauf für einen VDR-Widerstand in Abhängigkeit der anliegenden Spannung.



Das Schaltzeichen zeigt das folgende Bild (selber):

### **Anwendungen:**

- Spannungsbegrenzung
- Schutzfunktionen für elektronische Schaltungen
- Impulstechnik
- Fernsehtechnik



## 1.2 Spulen

### 1.2.1 Allgemeines

Spulen sind Bauelemente, die beim Stromfluß ein Magnetfeld aufbauen. Sie bestehen aus einem Draht (zwei Enden), der

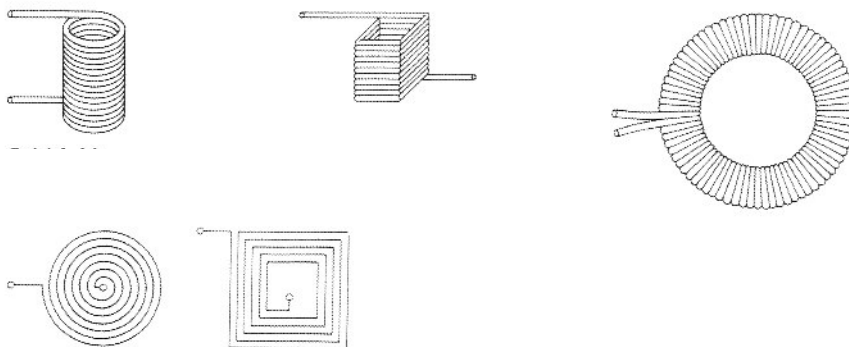
- um einen Eisenkern (verschiedener Formen) oder
- frei "schwebend"

gewickelt ist.

Das Schaltzeichen und eine Auswahl möglicher Wicklungen und Eisenkerne zeigen die folgenden Bilder:

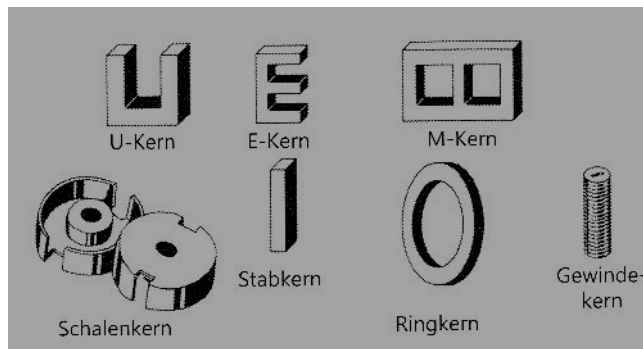
#### Schaltzeichen:

#### Wickelformen:



#### Kernformen:

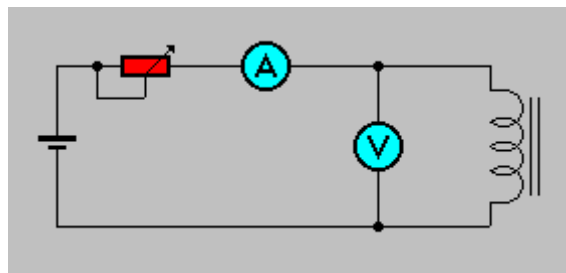




Beim sich zeitlich ändernden Stromfluß erzeugt die Spule ein in sich zeitlich änderndes Magnetfeld, daß zu einer **Selbstinduktion** führt.

"Ändert man den Strom durch die Spule, dann tritt die sog. Selbstinduktion auf. Da sich gleichzeitig das Magnetfeld ändert, wird auch eine Spannung induziert. Für eine ideale Spule ohne Ohmschen Widerstand gilt also: Die Spannung ist Null, solange der Strom konstant ist, und sie ist um so größer, je schneller sich der Strom ändert. Die charakteristische Größe der Spule ist die Induktivität  $L$  in Henry (H):

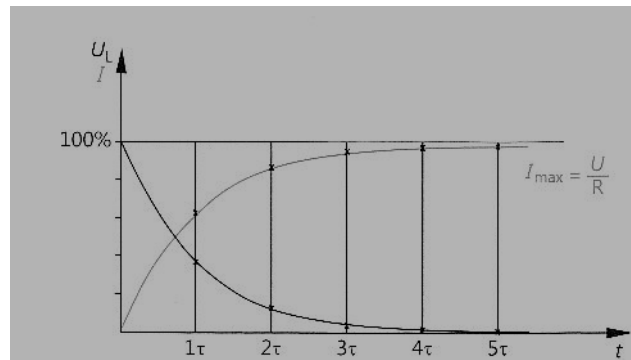
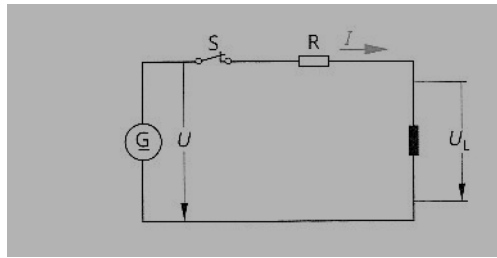
$$L = \frac{U \cdot \Delta t}{\Delta I}$$



Messung der Induktionsspannung bei Stromänderungen

### 1.2.2 Einschaltvorgang (im Gleichstromkreis)

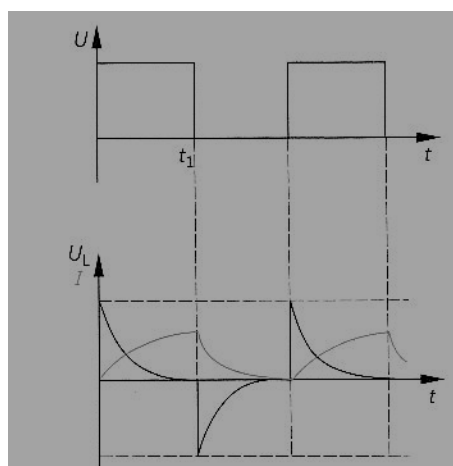
Nachstehende Abbildungen verdeutlichen den Vorgang im Hinblick des Strom- und Spannungsverlaufs.



Wenn der Schalter geschlossen wird, steigt der Strom durch die Spule an und es wird ein Magnetfeld aufgebaut. Die bereits o.a. Selbstinduktionsspannung wird aufgebaut und wirkt dem Strom entgegen. Deshalb auch dieser zeitliche Verlauf des Anstieges. Nach einer Zeit, die sich aus dem Quotienten aus Induktivität und dem Widerstand ergibt, stellt die Spule fast keinen Widerstand mehr dar und es fließt ein maximaler Strom, die Spannung über der Spule ist fast NULL.

### 1.2.3 Ausschaltvorgang (im Gleichstromkreis)

Beim Ausschaltvorgang wird das Magnetfeld plötzlich abgebaut und es kommt zu hohen Selbstinduktionsspannungen, die **negatives** Potential haben. Es kann zur Funkenbildung kommen, die elektronische Bauelemente und Schaltungen zerstören können. Die folgende Abbildung verdeutlicht diese Erscheinung:

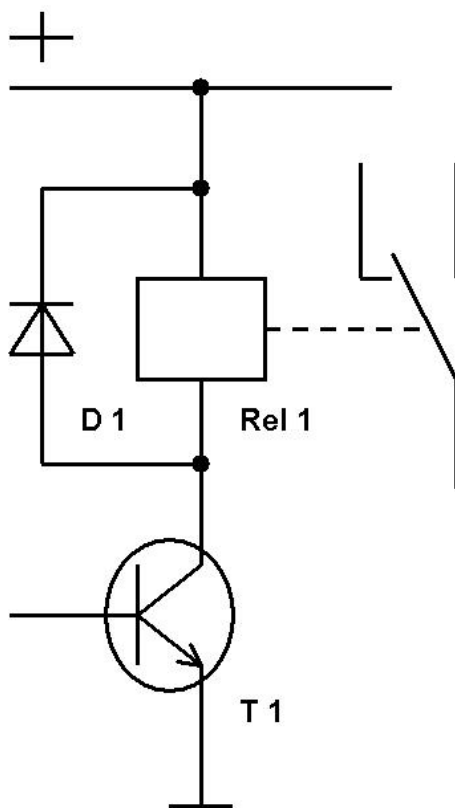


Ändert man also das Potential an einer Spule, so ändert sich auch deren Magnetfeld und damit die Induktionsspannung.

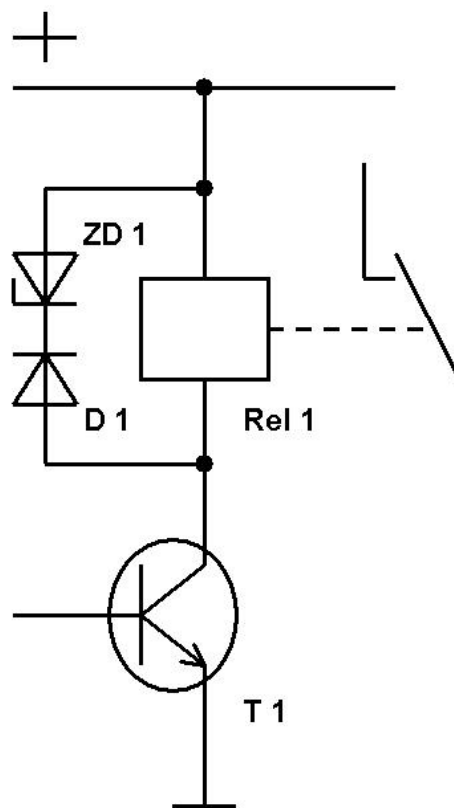
Gerade beim Ausschalten von z. B. Relaispulen muß oft die Ansteuer-Elektronik geschützt werden. Mit einer sogenannten **Diode, einem elektronischen Ventil**, läßt man die positive Versorgungsspannung unbehellig, kann aber so die negative Spannungsspitze kurzschließen, so daß kein Funkenschlag erfolgt und elektronische Bauteile geschützt sind (siehe untere Abbildung).

#### Anwendungen von Spulen (kleine Auswahl):

- Transformatoren
- Lautsprecher
- Schwingkreise (Oszillatoren)
- Zeitglied
- Relais



Variante A: Diode antiparallel



Variante B: Diode und Zenerdiode

## 1.3 Kondensatoren

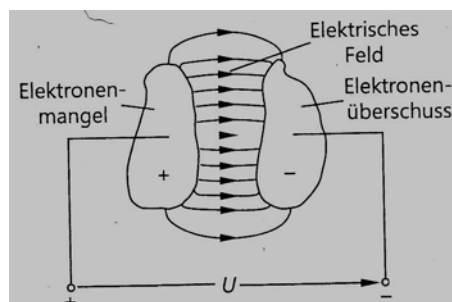
### 1.3.1 Allgemeines

#### Erläuterung zur Kapazität

In der realen Welt existieren Körper, die geladen sind. Sie können entweder positiv oder negativ geladen sein. Man unterscheidet:

- Elektronen (negative Ladungsträger) und
- Protonen (positive Ladungsträger)

Zwischen elektrisch geladenen Körpern entsteht ein elektrisches Feld (siehe auch kommende Abbildung).



"Die Größe der Ladung **Q**, die beide Körper aufnehmen können, hängt von der Ausdehnung, Form und Stärke des elektrischen Feldes ab" /1/. Dabei spielen auch Abstand, Größe und das dazwischen liegende isolierende Material eine Rolle.

Diese Größe bezeichnet man als **Kapazität (Zeichen C)**.

Eine elektrische Ladung (**Q**) ist dabei proportional der Kapazität (**C**) und der angelegten Spannung (**U**). Daraus ergibt sich die Beziehung:

- $Q = C \cdot U$                       oder daraus auch für die Kapazität (**C**)
- $C = Q / U$

Die Ladung hat die Einheit **As (Amperesekunde)** ,

die Kapazität damit **As/V= Farad**. Dies ist die typische Bezeichnung für den Wert einer Kapazität. Übliche Maßeinheiten sind:

- $\mu F$               mikro
- nF                nano
- pF                piko

### Kondensatoren als Bauelement

Kondensatoren sind Bauelemente, die eine bestimmte Zeit lang eine Spannung speichern können. Diese Zeit wird durch ihre Kapazität bestimmt, die sich (wie beschrieben) aus verschiedenen Faktoren zusammensetzt.

Man unterscheidet prinzipiell zwischen:

- ungepolten Kondensatoren und
- gepolten Kondensatoren

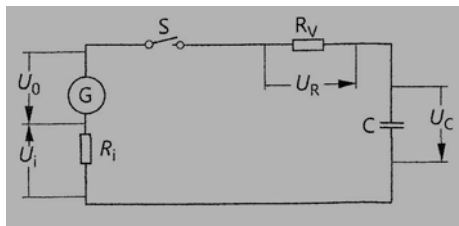
Kondensatoren verhalten sich in

- Gleichstromkreisen und
- Wechselstromkreisen

unterschiedlich.

#### 1.3.2 Kondensator bei Gleichspannungen

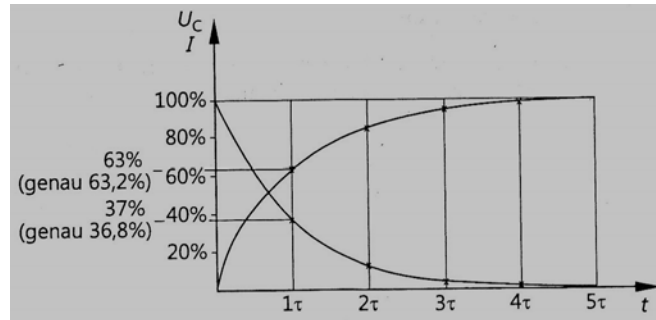
Betrachtet werden soll der Zustand der Spannung  $U_C$  und des Stromes  $I$  anhand der abgebildeten Schaltung und des zeitlichen Verlaufs während ein Kondensator aufgeladen wird.



Sofern der Schalter geöffnet ist, fließt kein Strom, so daß die Ausgangsspannung  $U_C$  nicht existiert.

Schließt man den Schalter wird der Kondensator über den Widerstand  $R_v$  aufgeladen.

In der nachfolgenden Abbildung wird verdeutlicht, wie sich Spannungen und Ströme während des Aufladevorganges eines Kondensators verhalten.



Am Anfang des Diagramms wird der Schalter geschlossen. Der Strom  $I$  hat maximalen Wert, da ein Kondensator im Schaltmoment einen Kurzschluß darstellt. Die Spannung ist immer noch NULL.

Danach wird der Kondensator aufgeladen.

Sofern der Kondensator aufgeladen ist, stellt er einen fast unendlich großen Widerstand dar. Dies bedeutet, daß kein Strom mehr fließen kann, oder anders...  $U_C$  hat ihr Maximum erreicht.

Der Aufladevorgang erfolgt exponentiell entsprechend oben abgebildetem Zeitverlauf

Die Zeit der Aufladung läßt sich errechnen aus:

$$\tau = R \cdot C$$

$$= (V/A) \cdot (As/V) = s;$$

### 1.3.3 Kondensator bei Wechselspannungen

Ein Kondensator im Wechselstromkreis wird ständig geladen oder entladen. War ein Kondensator im Gleichstromkreis ein nahezu unendlicher Widerstand, richtet sich sein kapazitiver Widerstand immer nach der Frequenz der anliegenden Spannung. Die Beziehung hierfür lautet:

$$R_c (X_c) = 1 / (2 \cdot 3.14 \cdot f \cdot C)$$

- $R_c$  Widerstand des Kondensators
- 3.14  $\pi$
- $f$  Frequenz
- $C$  Kapazität

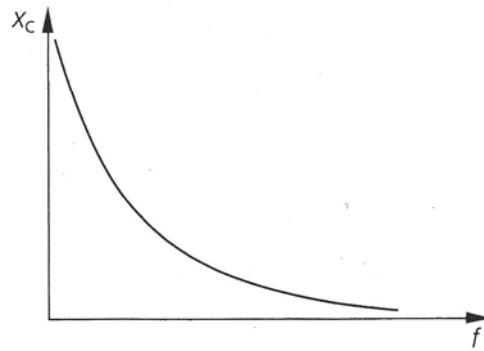
Nachfolgende Abbildung veranschaulicht diesen Sachverhalt:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$X_C$  kapazitiver Blindwiderstand des Kondensators  
 $C$  Kapazität  
 $f$  Frequenz  
 $\omega$  Kreisfrequenz



Also lässt sich auch noch mal ableiten: Sofern die Frequenz der Spannung gegen den Wert NULL geht, ist der Widerstand des Kondensators nahezu unendlich, anderenfalls geht er gegen NULL.

Wie ergibt sich nun der Gesamtwiderstand wenn man Kondensatoren zusammen schaltet?

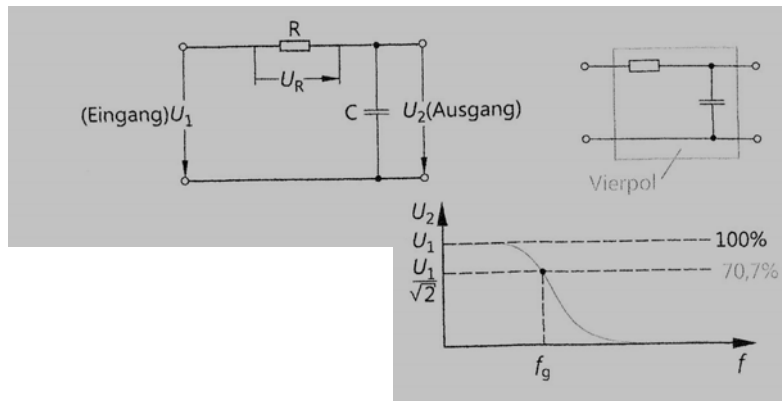
### **Reihenschaltung von Kondensatoren:**

### **Parallelschaltung von Kondensatoren**



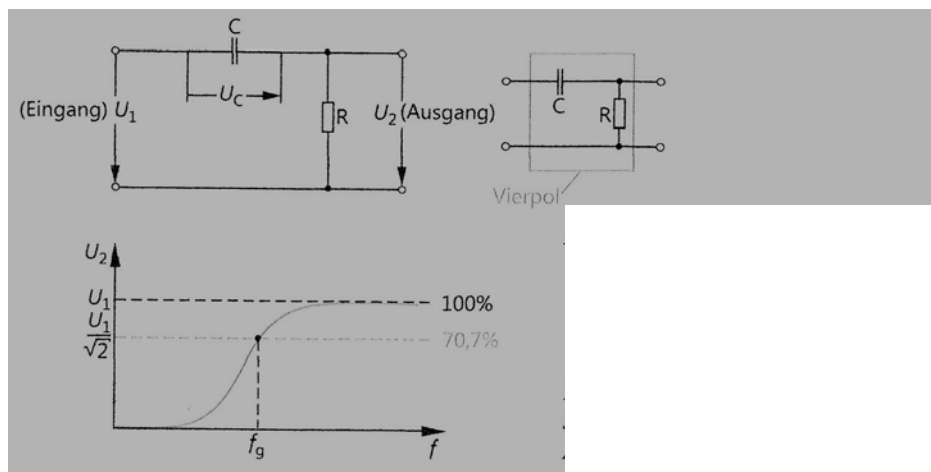
### 1.3.4 Vierpole anhand von RC bzw. CR-Gliedern

#### RC Glied als Vierpol



Tiefpaß

#### CR-Glied als Vierpol



Hochpaß

Was bedeutet nun die Aussage zur sogenannten Grenzfrequenz?

## 1.4 Halbleiterdioden

### 1.4.1 Allgemeines

Halbleiterbauelemente haben die Eigenschaft, daß sie besser leiten als Nichtleiter (PVC), aber schlechter als Leiter (Metalle).

Halbleiter werden vor allen Dingen zur Herstellung elektronischer Bauelemente verwendet. Wichtige Halbleiter sind dabei die Werkstoffe:

- Silizium und
- Germanium,

wobei das Silizium die größte Bedeutung hat. Näheres zum Aufbau von Halbleitern entnehmen Sie bitte der Literatur.

Man unterscheidet das sogenannte

- n-Silizium bzw.
- p-Silizium.

Je nach Anwendung kommen entweder der eine oder andere Werkstoff zum Einsatz.

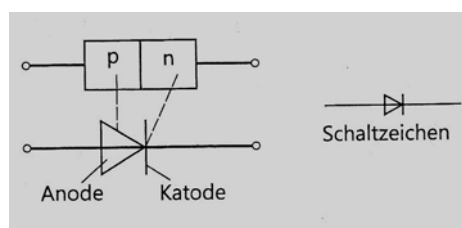
Ein Halbleiterkristall besteht aus einer "p-Zone" und einer "n-Zone". In der "n-Zone" befinden sich negative Ladungsträger (Elektronen), in der positiven Zone positive Ladungsträger (Löcher). Die Grenzstelle zwischen "p und n Zone" bezeichnet man als

pn-Übergang,

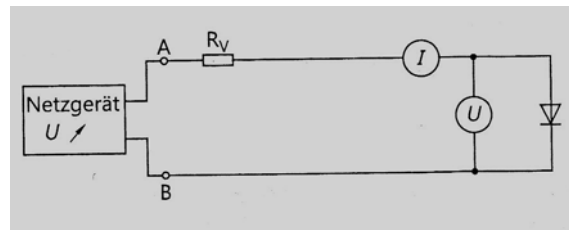
der für die Leitfähigkeit eine große Rolle spielt.

### 1.4.2 Arbeitsweise von Dioden

Dioden lassen den Strom in einer Richtung durch und sperren diesen in der anderen. Dies ist bedingt durch den eben besprochenen pn-Übergang. Nachstehende Abbildung stellt einen Überblick dar.

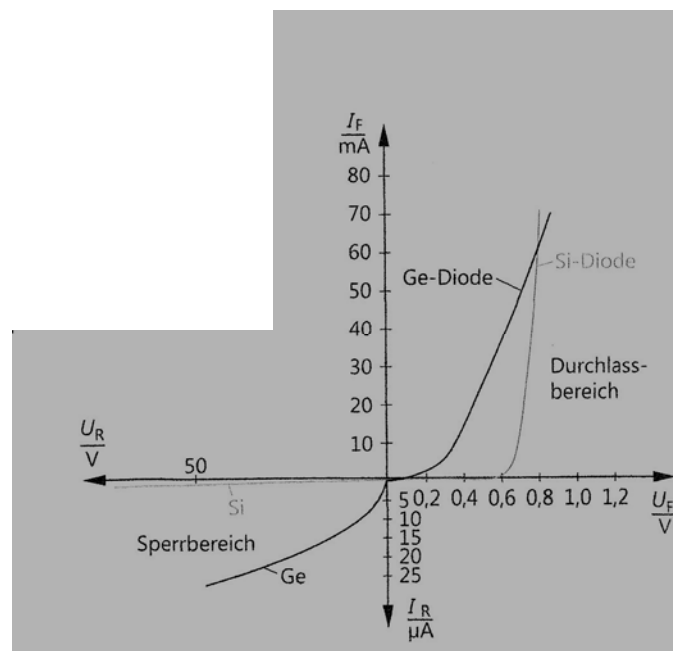


Das Schaltverhalten von Dioden kann man aus ihrer Kennlinie ableiten. Eine Schaltung zur Aufnahme einer solchen Kennlinie zeigt folgende Abbildung:



Der Widerstand  $R_v$  dient dabei der Strombegrenzung, um das Bauelement nicht zu zerstören.

Nach Aufnahme der Kennlinie ergibt sich folgender Verlauf:



Bei Siliziumdioden fängt ein Strom bei ca. 0,7 V an zu fließen, sofern die positive Spannung an der Anode der Diode liegt. Die Diode hat also nur noch einen kleinen Widerstand.

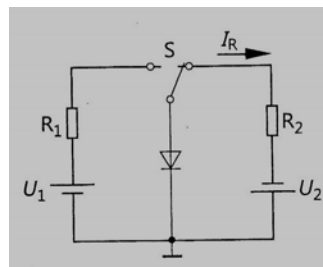
Werden jedoch die Spannungen vertauscht, d.h. der Plus-Pol der Spannung liegt an der Katode, der negative an der Anode, sperrt die Diode.

### 1.4.3 Schaltverhalten von Dioden

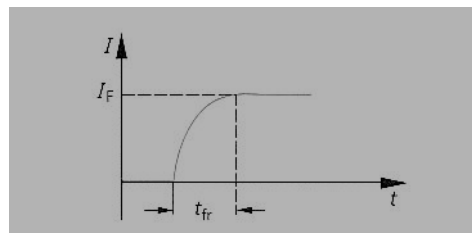
Nachstehendes Bild zeigt die zwei möglichen Zustände einer Diode, den

- Sperrzustand und den
- Durchlaßzustand.

Der Übergang von einem Zustand benötigt dabei eine gewisse Zeit.

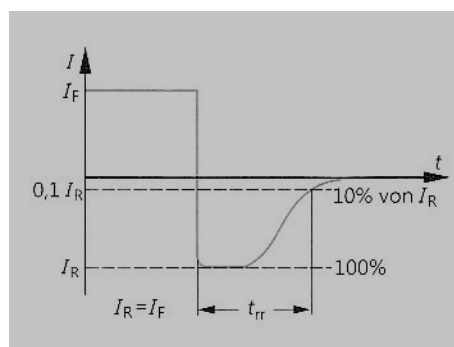


#### Einschaltzustand (Schalter nach links):



Die Diode braucht eine gewisse Zeit, um vom Sperrzustand in den Durchlaßzustand zu schalten. Dies hängt mit dem Ladungsträgerwechsel im pn-Übergang zusammen.

#### Ausschaltzustand (Schalter nach rechts):



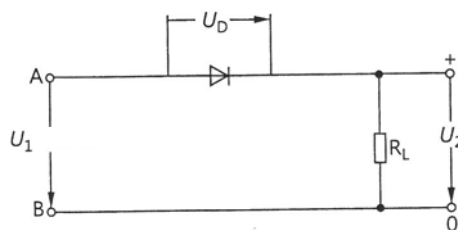
Es fließt im Schaltmoment zunächst ein Strom in entgegengesetzter Richtung bis die Sperrschicht wieder aufgebaut ist und kein Strom mehr fließen kann.

### 1.4.4 Gleichrichterschaltungen

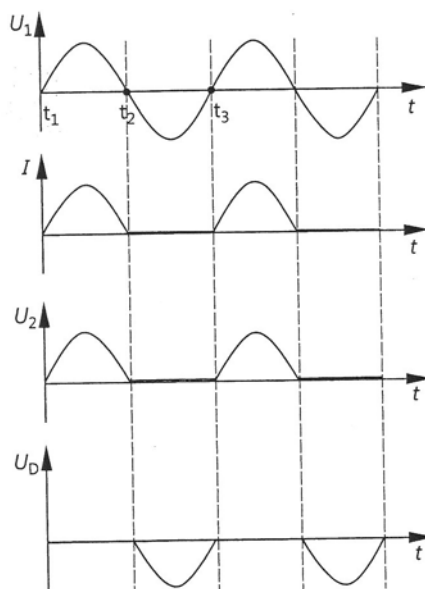
Da die Diode nur in einer Richtung den Strom durchläßt, ist sie ein ideales Bauelement, um als Gleichrichter zu fungieren. So läßt die Diode bei Wechselspannungen nur die positive Halbwelle durch, während die negative Halbwelle gesperrt wird. Man unterscheidet mehrere Formen der Gleichrichtung.

#### Einweggleichrichter

Zunächst wird die Schaltung für einen Einweggleichrichter gezeigt.



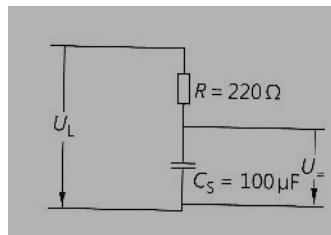
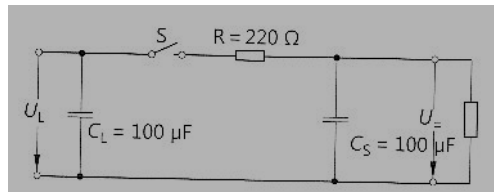
Nachstehende Abbildung zeigt den Spannungsverlauf.



Es werden nur die positiven Halbwellen durchgelassen. Bei negativen Halbwellen sperrt die Diode und es fließt kein Strom. Eine Ausgangsspannung existiert ebenfalls nicht.

Eine fast vollständige Glättung der Spannung erfolgt durch eine sogenannte Siebkette.

Anhand der beiden nachfolgenden Abbildungen soll das Prinzip der Siebkette kurz erläutert werden.

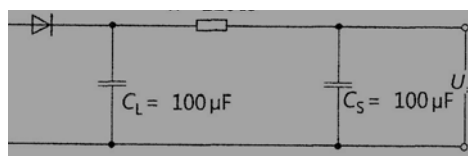
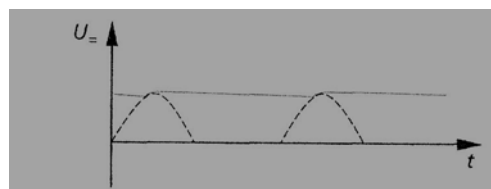


**prinzipielle Funktionsweise:**

- Bei geöffnetem Schalter lädt sich der sogenannte Ladekondensator  $C_L$  auf die Spannung  $U_L$  auf.
- Wenn der Schalter geschlossen wird liegt dann die Eingangsspannung über  $R$  und dem Kondensator  $C_S$ . Man nennt diese Konfiguration auch einen frequenzabhängigen Spannungsteiler.
- Bei Gleichspannungsanteilen hat der Kondensator einen fast unendlich hohen Widerstand, d.h. es fließt kein Strom und die Ausgangsspannung nimmt den Spannungswert von  $C_S$  an.
- Andersherum werden alle Wechselspannungsanteile herausgesiebt, da in diesem Fall der Kondensator einen Kurzschluß darstellt.

Der Schalter wird nun durch eine Diode ersetzt und man erhält eine gleichgerichtete Ausgangsspannung.

Es ergibt sich folgender Signalverlauf am Ausgang:

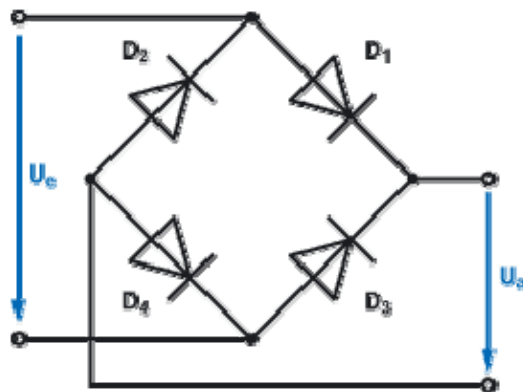


Je größer die beiden Kondensatoren, desto geringer ist die Welligkeit der Ausgangsspannung.

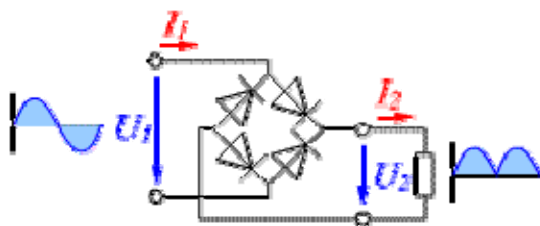
### **Brückenschaltung (Zweiweggleichrichtung, oder auch Greutzschaltung)**

Diese Art der Gleichrichtung wird in der Praxis am meisten verwendet, da sie beide Halbwellen gleichrichtet und somit am Ausgang eine geringere Welligkeit auftritt.

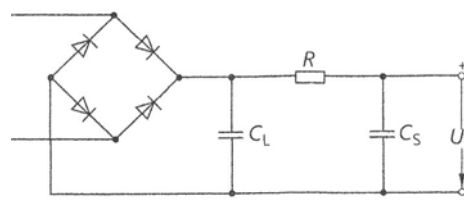
Nachstehendes Bild zeigt den Aufbau:



Ein weiteres Bild zeigt den Verlauf von Eingangs- und Ausgangsspannung.



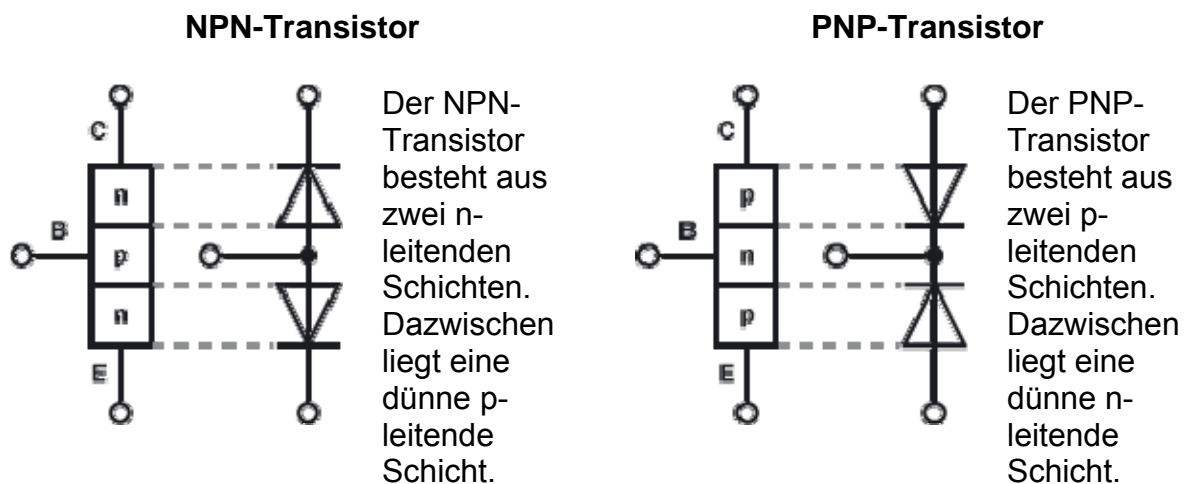
Um die Ausgangsspannung nun zu glätten, kommt der Einsatz einer Siebkette (soeben beschrieben) zur Anwendung.



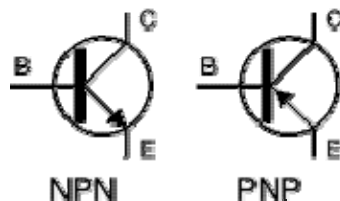
## 2. aktive Bauelemente (bipolare Transistoren),( Zusatzlit.)

### 2.1 Allgemeines

Jeder bipolare Transistor besteht aus drei dünnen Halbleiterschichten, die übereinander gelegt sind. Man unterscheidet zwischen einer npn- oder pnp-Schichtenfolge. Die mittlere Schicht ist im Vergleich zu den beiden anderen Schichten sehr dünn. Die Schichten sind mit metallischen Anschlüssen versehen, die aus dem Gehäuse herausführen. Die Außenschichten des bipolaren Transistors werden **Kollektor (C)** und **Emitter (E)** genannt. Die mittlere Schicht hat die Bezeichnung **Basis (B)** und ist die Steuerelektrode oder auch der Steuereingang des Transistors.



### Schaltzeichen:



Transistoren und deren wesentliche Anwendungen:

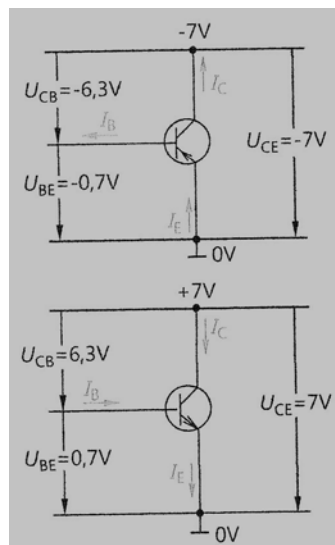
- Verstärker
- Schalter
- Speicher (hier aber unipolar)
- Impedanzwandler
- Impulsformer



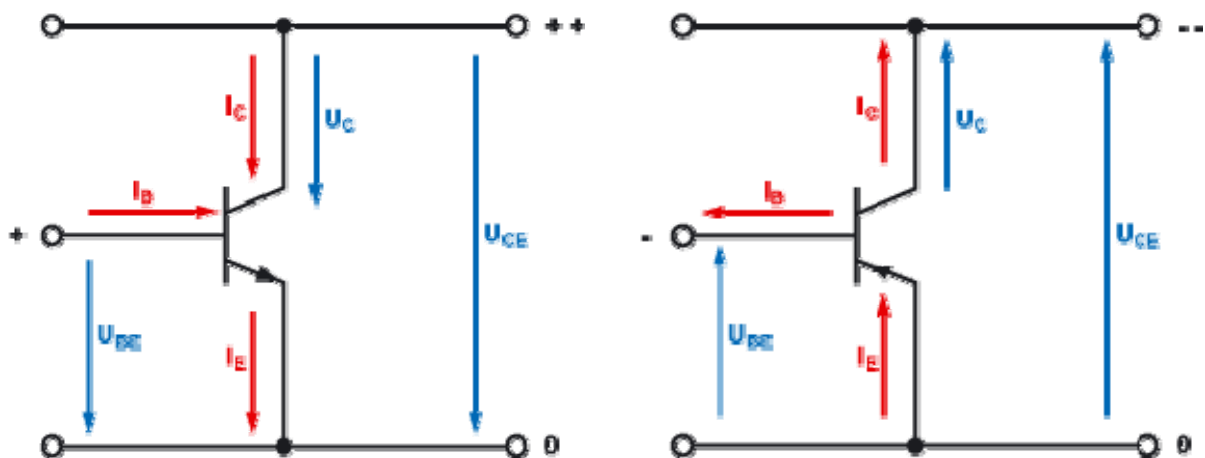
Man kann sagen, daß der Transistor das wichtigste Bauelement heutzutage ist, auch wenn man ihn nicht immer gerade vor Augen hat. Er ist in hohem Maße in sogenannten integrierten Schaltungen enthalten.

Zum Verständnis nun ein paar Beispiele, um dieses Bauelement näher zu erklären.

## 2.2 Ströme und Spannungen sowie Grundsaltungen



Die angegebenen Werte sind als Beispiel zu verstehen. Eine andere Darstellung der Ströme und Spannungen zeigt nachfolgendes Bild.



Strom und Spannung am NPN-Transistor

Strom und Spannung am PNP-Transistor

- $U_{CE}$  = Kollektor-Emitter-Spannung
- $U_{BE}$  = Basis-Emitter-Spannung (Schwellwert)
- $I_C$  = Kollektorstrom
- $I_B$  = Basisstrom

Auffallend ist, daß die einzelnen Werte stets die gleiche Richtung wie der Emitterpfeil haben. Gleichzeitig sind die einzelnen Ströme und Spannungen beim pnp-Transistor negativ, beim npn-Transistor positiv.

Zwischen Spannungen und Strömen gelten die Beziehungen:

$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE} \text{ und}$$

$$I_E = I_C + I_B.$$

Der Kollektorstrom bzw. die Ausgangsspannung (Ausgangswerte) kann um ein vielfaches höher sein (bis zu 10.000 mal) als der Basisstrom bzw. Basisspannung (Eingangswerte). Dies hat zur Folge, daß der Transistor sehr häufig als **Verstärker** eingesetzt wird. Das Verstärkungsverhältnis ( $B$ ) ergibt sich aus dem Verhältnis von Kollektorstrom und Basisstrom.

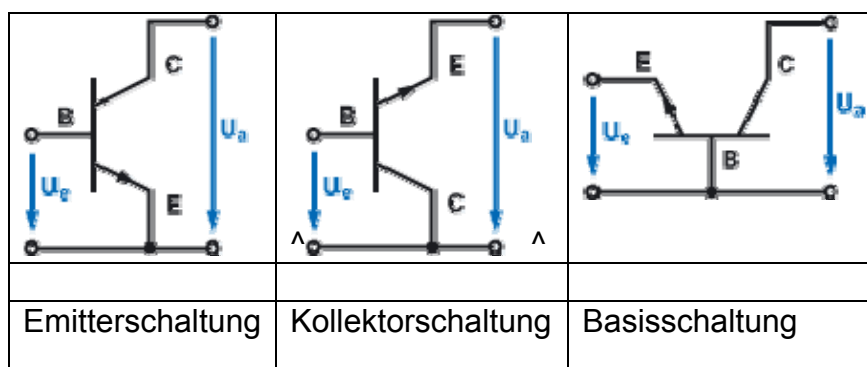
$$B = I_C / I_B$$

Es gibt grundsätzlich drei Transistorgrundschaltungen:

- Emitterschaltung
- Basisschaltung
- Kollektorschaltung

Diese Schaltungen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Ein- und Ausgangskonfiguration.

Zunächst zeigen folgende Bilder das Grundprinzip:



Die einzelnen Schaltungsamen richten sich entsprechend des Anschlusses, der sowohl am Eingang als auch am Ausgang als Vergleichspotential dient.

Die Emitterschaltung ist die am meist verwendete Schaltung in der Transistorelektronik. Deshalb wird nur diese näher erläutert und auch nur anhand eines NPN-Transistor.

## 2.3 Kennlinienfelder eines (npn)-Transistors (Emitterschaltung)

Kennlinienfelder zeigen Zusammenhänge zwischen

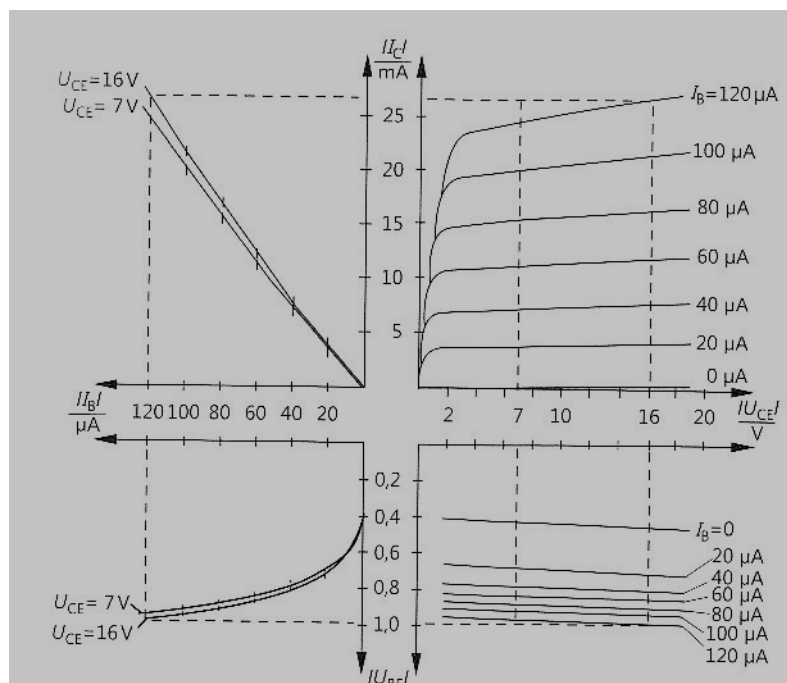
- Strom
- Spannung
- Leistung (indirekt)

auf.

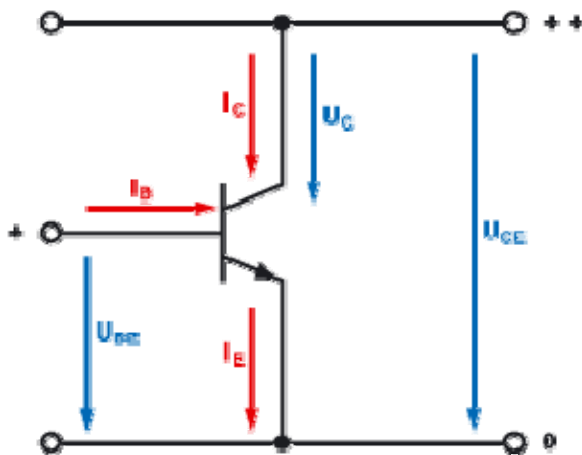
Daraus ergeben sich dann Anwendungen:

- als Verstärker
- als Schalter
- und viele andere mehr .

In der folgenden Abbildung ist ein Vierquadrantenkennlinienfeld abgebildet (eingetragene Werte sind exemplarisch).



Es zeigt die Zusammenhänge zwischen Eingangs- und Ausgangssignalen auf.

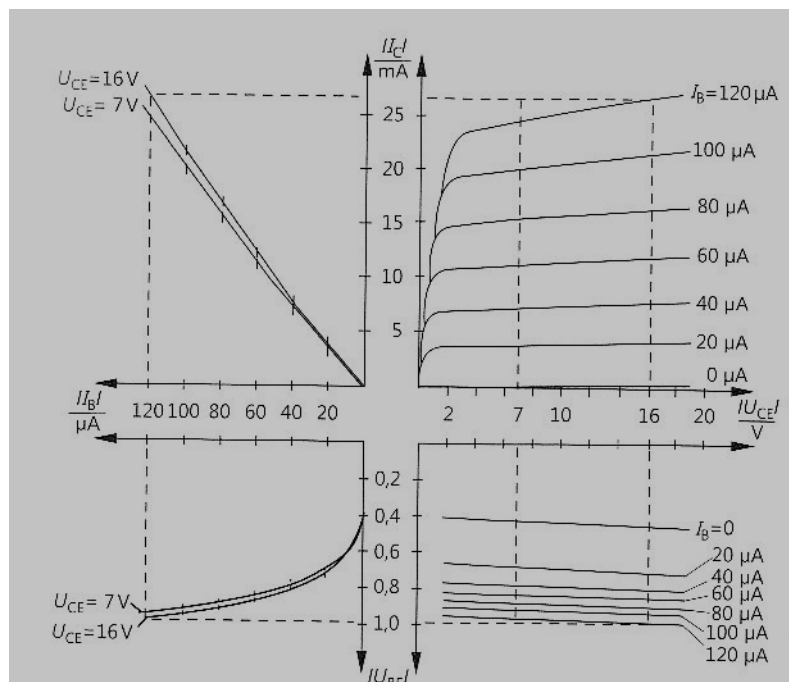


Das wichtigste Kennlinienfeld ist das Ausgangskennlinienfeld (oben rechts). Es zeigt im Besonderen den Zusammenhang zwischen:

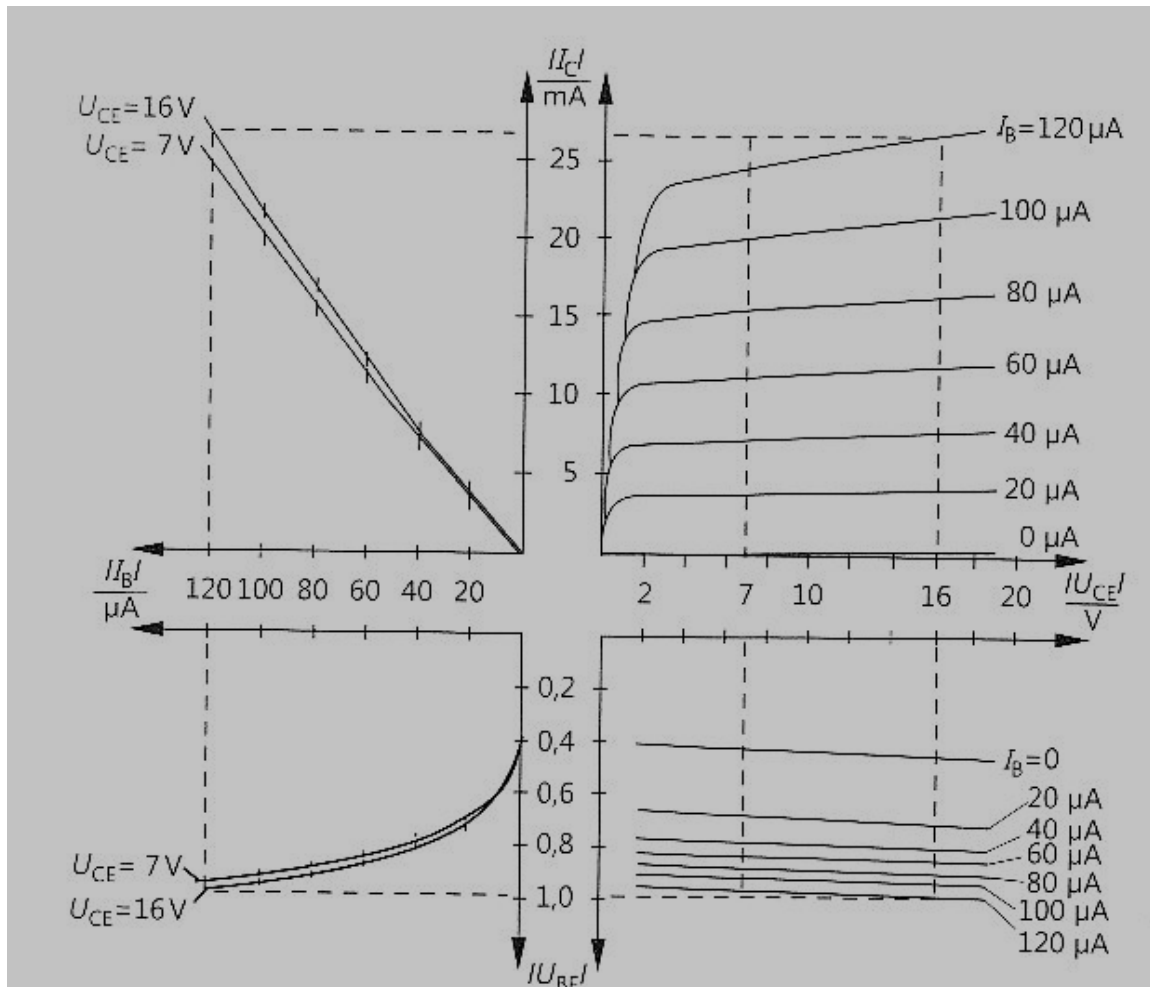
- Eingangsgrößen und
- Ausgangsgrößen

auf.

Das folgende exemplarische Bild zeigt diesen Zusammenhang noch mal sehr deutlich (wie eben erläutert):



**Diagramm für spätere Übung**



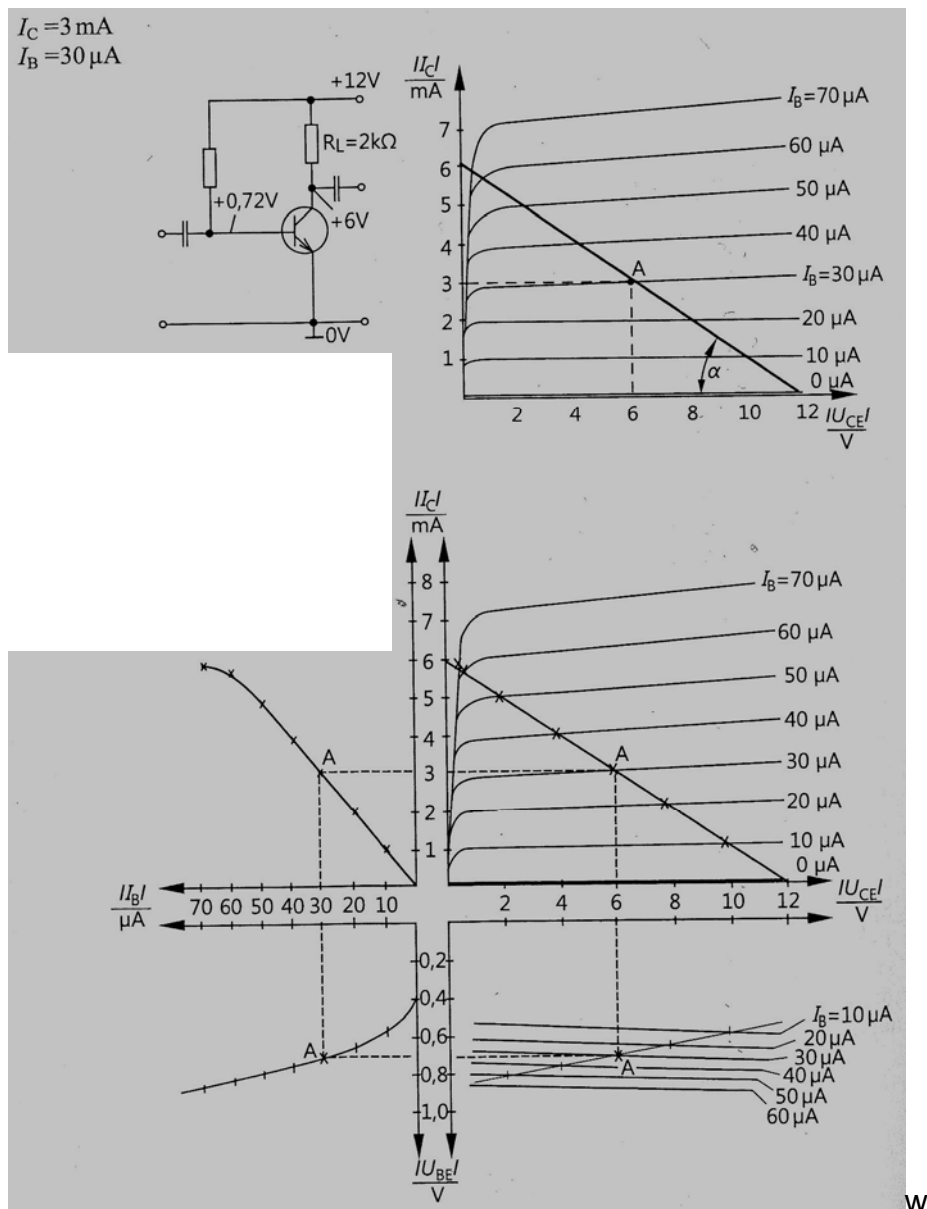
Arbeitspunktwahl:

Spannungen und Ströme

Man kann nun im Vierquadrantenkennlinienfeld den **ARBEITSPUNKT** einer Transistorschaltung festlegen. Dies erfolgt über einen Kollektorwiderstand, der zwischen Betriebsspannung und dem Kollektor des Transistors liegt (siehe Abbildung).

Wozu braucht eine Schaltung einen Arbeitspunkt?

- 
- 
- 



Entscheidende Größen zur Wahl des Arbeitspunktes sind die

- Eingangsgrößen  $U_{BE}$  und  $I_B$  und die
- Ausgangsgrößen  $U_{CE}$  und  $I_C$ .

In aller Regel wird der Arbeitspunkt im Ausgangskennlinienfeld festgelegt und zwar durch die Bestimmung von  $U_{CE}$  und  $I_B$ . Die Betriebsspannung liegt fest, in unserem Beispiel liegt diese bei 12 V.

Der Lastwiderstand  $R_L$  soll den Wert  $2k\Omega$  haben. Damit ergibt sich ein maximaler Kollektorstrom  $I_C$  von  $6mA$ . Damit kann die Widerstandsgerade in das Ausgangskennlinienfeld eingezeichnet werden. (Es gibt auch andere Möglichkeiten, um beispielsweise  $R_L$  aus vorgegebenen Werten für Strom und Spannung zu ermitteln.)

Wir wollen nun einen Arbeitspunkt für folgende Werte festlegen:

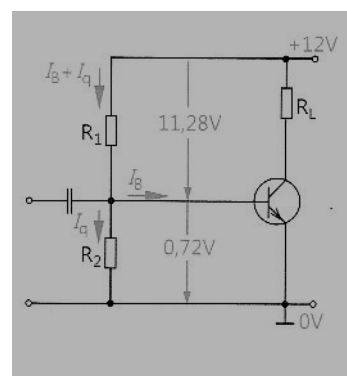
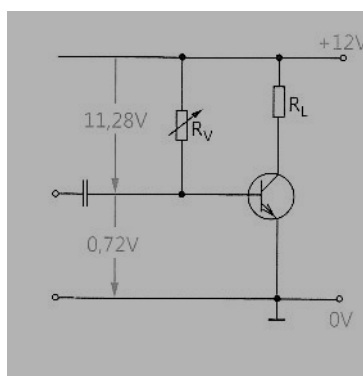
- $U_{CE} = 6V$
- $I_B = 30\mu A$

Damit ist  $I_C$  hier  $3mA$

Aus der Ermittlung der Widerstandsgeraden im Ausgangskennlinienfeld kann nun u.a. auch die zugehörige Eingangsspannung  $U_{BE}$  ermittelt werden (und **zusätzlich** können alle anderen Kennlinien konstruiert werden). Sie beträgt in unserem Fall ca.  $0,72V$ . Zur Berechnung des Widerstandes zwischen Betriebsspannung und Basis des Transistors ergibt sich nun folgende Beziehung:

$$R_V = (U_B - U_{BE}) / I_B \quad \text{oder} \quad (12V - 0,72V) / 30\mu A = 376k\Omega.$$

Um diesen "krummen" Wert zu erreichen, verwendet man einen einstellbaren Widerstand. Oder auch einen Spannungsteiler. Beide Varianten sind den nachfolgenden Bildern zu entnehmen:



Bei der zweiten Variante zur Einstellung der Eingangsspannung  $U_{BE}$  bedient man sich eines Spannungsteilers bestehend aus den Widerständen  $R_2$  und  $R_1$ . Gleichzeitig wird ein Strom  $I_Q$  (Querstrom) als Bezeichnung eingeführt. Dieser Querstrom sollte ungefähr das Zweifache des Basisstroms betragen. Damit ergeben sich folgende Zusammenhänge (vgl. rechte Abbildung):

- $R_2 = U_{BE} / I_Q = 12 \text{ k}$
- $R_1 = (U_B - U_{BE}) / (I_B + I_Q) = 125 \text{ k}$

Es gibt nun Methoden, um diese Arbeitspunkteinstellungen zu stabilisieren (z.B. gegen Temperaturschwankungen). Diese Möglichkeiten entnehmen Sie bitte der Literatur.

## **2.4 Der Transistor als Schalter und Verstärker**

Transistoren sind für vielfältige Funktionen und Aufgaben anwendbar. Es ist in diesem Rahmen unmöglich, alle Anwendungen zu erklären und zu erläutern.

Deshalb werden nur die Schalterfunktion und Verstärkungsfunktion (letztere nur im Überblick) behandelt.

### **2.4.1 Der Transistor als Schalter**

Der eben behandelte Arbeitspunkt des Transistors pendelt zwischen zwei Werten:

- nahezu kein Stromfluß zwischen Kollektor und Emitter bei maximaler Spannung zwischen diesen beiden Anschlüssen (nahezu Betriebsspannung). **Der Transistor ist gesperrt, oder der Schalter ist offen.**
- Nahezu maximaler Stromfluß am Ausgang bei minimaler Spannung zwischen Emitter und Kollektor. **Der Transistor ist offen, oder der Schalter ist geschlossen.**

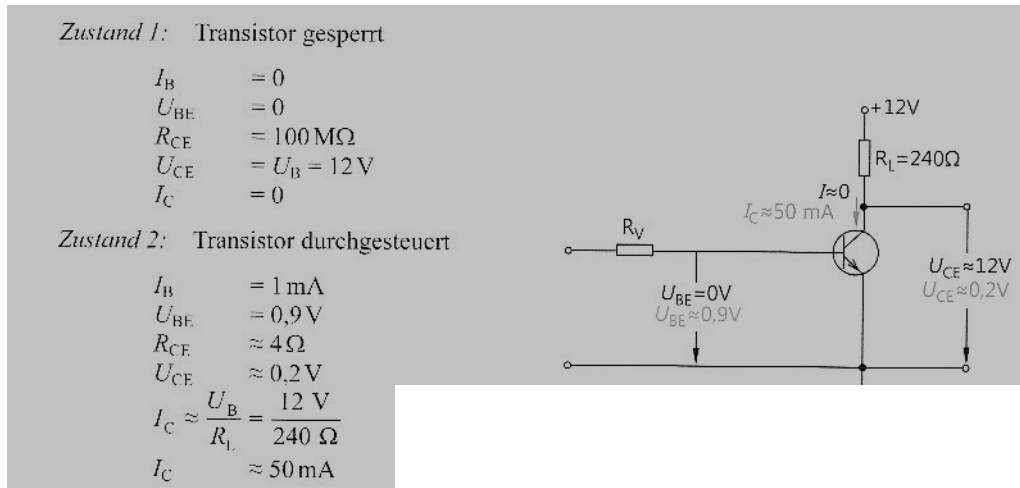
Beide Arbeitspunkte sind im Ausgangskennlinienfeld (P1, P2) dargestellt.

Zwischen dem Wechsel von einem Punkt zum Anderen vergeht eine gewisse, wenn auch kurze Zeit. Dieses Prinzip wird in der Digitaltechnik eingesetzt, um zwischen den logischen Pegeln "1" und "0" zu schalten.

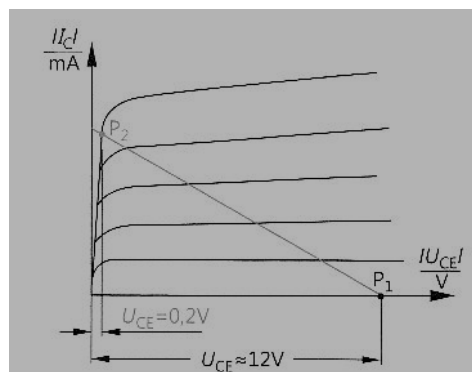


Betrachten wir hierzu nun die jeweiligen Abbildungen:

### Schaltung:



### Kennlinie:



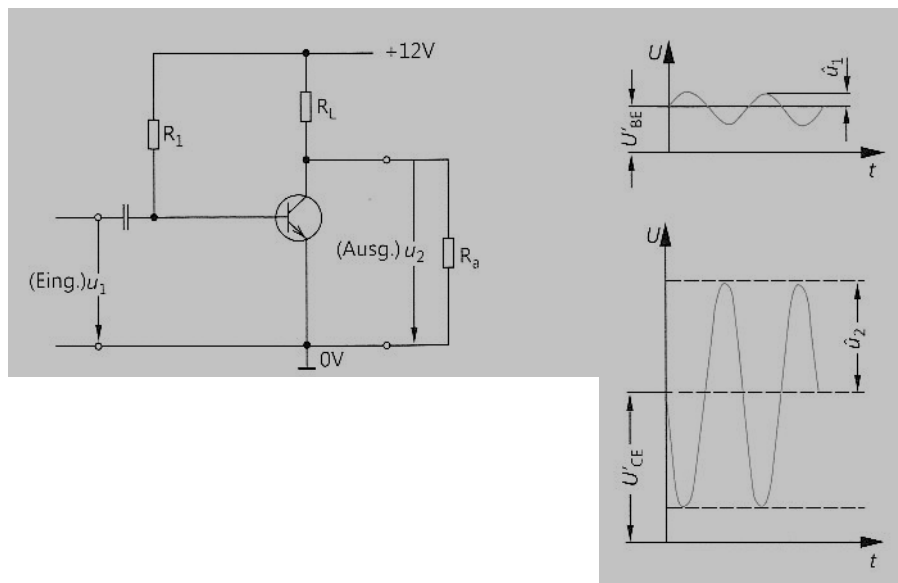
### Erläuterungen:

## 2.4.2 Der Transistor als Verstärker (Zusatzinformation)

Eines der Hauptanwendungsgebiete eines Transistors ist der Verstärker

Gibt man auf einen Wechselspannungsverstärker ein Eingangssignal, so kann dieses auf ein vielfaches verstärkt werden (z.B. Musikveranstaltungen).

Folgendes Grundprinzip kommt zur Anwendung:



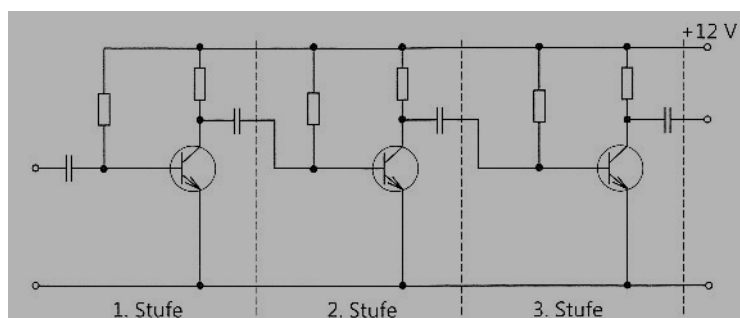
### Frage!!!

Wozu dient der Kondensator?

Folgende Abbildung zeigt einen mehrstufigen Verstärker.

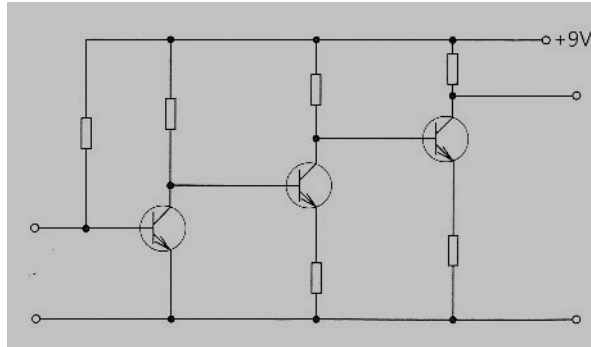
Jede dieser Stufen hat eine bestimmte Verstärkung, bestimmt durch den Arbeitspunkt des Transistors (siehe vorher).

Welche Verstärkung hätte zum Beispiel folgender Aufbau, wenn jede der einzelnen Stufen einen Verstärkungsfaktor von 50 hätte.



Handelt es sich in der nachstehend abgebildeten Schaltung um einen Wechselspannungsverstärker und /oder Gleichspannungsverstärker?

**Um welchen Verstärker handelt es sich hierbei und warum??**



### 2.4.3 Kenndaten und Grenzwerte eines Transistors

Hier werden nur in der Aufzählung entsprechende Daten und Werte angegeben, die dann für jeden Typ und je nach Schaltung zu berücksichtigen sind.

- Ströme und Spannungen
- Verlustleistung
- Frequenzen
- Schaltzeiten
- Restströme
- Sperr- und Durchbruchspannungen
- Verstärkung
- Rauschen
- Temperaturen (Kühlung beachten)

### 3. Boolsche Algebra, digitale Grundfunktionen, (Zusatzlit.)

Ein digitales System entsteht durch die Verknüpfung von einzelnen digitalen Signalen. Dabei werden mehrere Eingangssignale zu einem oder mehreren Ausgangssignalen verknüpft. Die Verknüpfungsarten von binären Signalen werden dabei durch die Boolsche Algebra berechenbar.

#### Boolsche Algebra:

- entwickelt vom englischen Mathematiker George Boole (1815-1864)
- zweiwertiges oder binäres logisches System, das Zusammenhänge
  - o zwischen Ereignissen mathematisch erfaßt

#### 3.1 Grundverknüpfungen und ihre symbolische Darstellung

Die kommenden Betrachtungen werden für jeweils **zwei** binäre Eingangssignale angestellt.

##### 3.1.1 Die Konjunktion oder das logische UND

Schreibweise:

$x_2 \wedge x_1$  oder  
 $x_2 \cdot x_1$  oder **(bitte mittigen Punkt einfügen)**  
 $x_2 x_1$

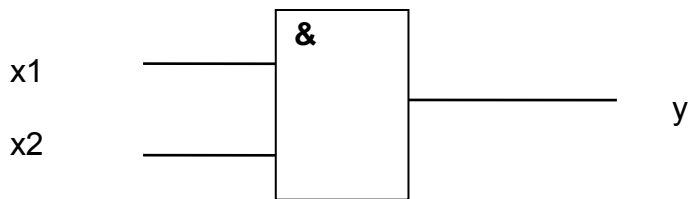
Die Konjunktion aus den Eingangswerten  $x_2$  und  $x_1$  liefert nur dann den Ausgangswert **true (1)**, wenn beide Eingänge den Wert 1 führen.

Bei zwei Eingangsvariablen können durch das binäre System insgesamt vier Verknüpfungsmöglichkeiten auftreten. Diesen Sachverhalt faßt man üblicher Weise in einer sogenannten **Schaltbelegungstabelle (SBT)** zusammen:

Schaltbelegungstabelle:

$x_2$	$x_1$	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**Schaltsymbol:**



### 3.1.2 Die Disjunktion oder das logische ODER

**Schreibweise:**

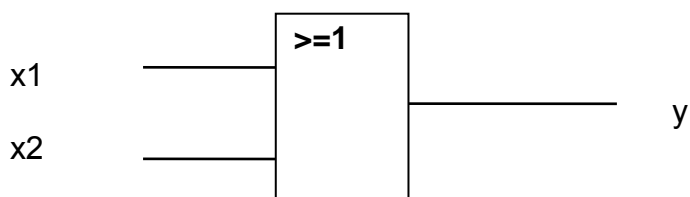
$$x2 + x1 \text{ oder } x2 \vee x1.$$

Die Disjunktion aus den Eingangswerten x2 und x1 liefert immer dann den Ausgangswert **true (1)**, wenn mindestens einer der Eingänge den Wert 1 führt.

**Schaltbelegungstabelle:**

x2	x1	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

**Schaltsymbol:**



### 3.1.3 Die Negation einer Aussage

Die Negation ist eine sehr wichtige Funktion in der Digitaltechnik.

**Schreibweise:**

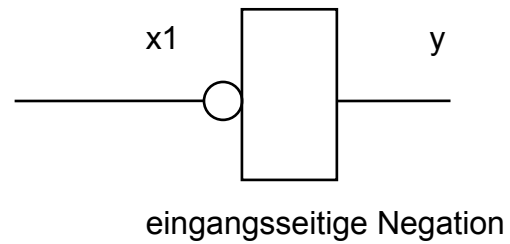
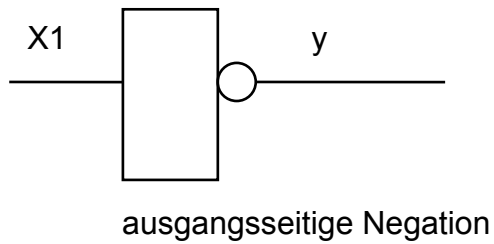
$$y = \overline{x1}$$

^^

**Schaltbelegungstabelle:**

x1	y
0	1
1	0

**Schaltsymbol:**



Stellen Sie jeweils eine Tabelle für drei Eingangsvariablen auf:

**Konjunktion:**

**Disjunktion**

### 3.2 Gesetze der Booleschen Algebra und Schaltungsminimierung

Ausgangspunkt der Betrachtungen sind die soeben behandelten drei Grundverknüpfungsarten.

Rechengesetze	konjunktive Form	disjunktive Form
Kommutativgesetz	$A * B = B * A$	$A + B = B + A$
Assoziativgesetz	$A * (B * C) = (A * B) * C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
Distributivgesetz	$A * (B + C) = AB + AC$	$A + BC = (A + B) * (A + C)$
Spezialfall: Absorptionsgesetz	$A * (A + B) = AA + AB = A$	$A + AB = (A + A) * (A + B) = A$
Komplementgesetz	$A * \overline{A} = 0$	$A + \overline{A} = 1$
doppelte Negation	$\overline{\overline{A}} = A$	
Operationen mit binären Werten	$A * 0 = 0$ $A * 1 = A$	$A + 0 = A$ $A + 1 = 1$
Gesetz nach De Morgan	$\overline{A * B} = \overline{A} + \overline{B}$	$\overline{A + B} = \overline{A} * \overline{B}$

**Beweis dieses De-Morganschen Grundgesetzes (anhand der Wertetabelle):**

B	A	$\overline{A * B}$	$\overline{A} + \overline{B}$	$\overline{A + B}$	$\overline{\overline{A} * \overline{B}}$
0	0	1	1	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0

Daraus leitet sich das allgemeine De-Morgansche Theorem ab:

Gleichfalls lassen sich aus den Gesetzen wichtige Spezialfälle von Verknüpfungen ableiten, um den Schaltungsaufwand zu minimieren, einem wesentlichen Anliegen bei der Nutzung dieser Gesetze. Vorher aber noch ein paar Spezialfälle.

a)  $A * A = A$

b)  $A * \overline{A} = 0$

c)  $A + A = A$

d)  $A + \overline{A} = 1$

e)  $\overline{A(A+B)} = \quad , \quad \text{denn}$

f)  $A + \overline{A}B = \quad , \quad \text{denn}$

g)  $A + \overline{A}B = \quad , \quad \text{denn}$

h)  $AB + \overline{A}B = \quad , \quad \text{denn}$

**Beispiel:**

$y =$

$y =$

**Beweis:**

**Übungsbeispiele:**

1.  $y =$

2.  $y =$

3.  $y =$

4.  $y =$



1. Beispiel:

2. Beispiel:

3. Beispiel:

4. Beispiel:

weiter 4. Beispiel:

### **Zusammenfassung zur Kürzung von Funktionen mittels Boolescher Algebra:**

1. Ausgangsfunktion nach Gesetzen der Booleschen Algebra absuchen.
2. Gleiche Terme ausklammern.
3. Regeln anwenden und eventuell mit bereits vorhandenen Termen erweitern.

### **Schaltungsminimierung mittels Karnaugh:**

Neben der Anwendung der Booleschen Algebra zur Minimierung von Schaltfunktionen werden sehr häufig Karnaugh-Tafeln verwendet. Sie sind meist einfacher handhabbar als die Regeln der Algebra, obwohl diese Tafeln natürlich auf nichts anderem beruhen.

#### **Wichtige Regeln bei der Anwendung von Karnaughtafeln:**

1. Eine Karnaugh-Tafel für „n“-Eingangsvariable besteht aus  $(2 \text{ hoch } n)$  Feldern. Jedem dieser Felder ist eine der insgesamt  $(2 \text{ hoch } n)$  möglichen Eingangskombinationen *aller* Eingangsvariablen, d.h. eine Zeile der Schaltbelegungstabelle zugeordnet. Dabei ändert sich beim Übergang von einem *benachbarten* Feld zum Anderen stets genau eine Variable (negiert / nicht negiert). Dieser Sachverhalt entspricht dem GRAY-Code (siehe später).
2. Die Bereiche am äußeren Rand der Karnaughtafel gehören zusammen.  
  
In horizontaler Richtung berühren sich der rechte und der linke Rand.  
Bei  $\geq 4$  Eingangsvariablen auch der obere und untere Rand (Zylinder).
3. Der „1“-Wert entspricht dem nicht negierten Wert der zugehörigen Variable.

### **Aufbau von Karnaughtafeln:**

- a) Karnaughtafel für 2 Eingangsvariable:


- b) Karnaughtafel für 3 Eingangsvariable:


**c) Karnaughtafel für 4 Eingangsvariable:**


4. Üblicherweise gibt man bei der Beschriftung nur die nicht negierten Werte an (disjunktive kanonische Normalform, DKNF)

**Beispiel: Wie erfolgt nun Kürzung?**

Wieder unser Beispiel von eben:

y =

1. Schaltbelegungstabelle ist Ausgangspunkt (hier erläutern wie man dazu überhaupt kommt)

X3	X2	X1	y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

2. Aufstellen der Karnaughtafel:

1	1	1	1

Für jede Eingangskombination, die  $y = 1$  ergibt, erfolgt die Eintragung in den Karnaughplan.

### 3. Kürzung:

Zusammengehörige 2, 4, 8, (allgemein:  $2^{\text{hoch } n}$ ) - Blöcke (zusammenhängende 1-Einträge) in *waagerechter und oder senkrechter* Richtung können gekürzt werden. Als minimierte Schaltfunktion bleibt die Kombination übrig, die sich im gesamten Block *nicht* ändert.

Weitere Beispiele zur Handhabung von Karnaughtafeln:

1.

	1	1	
1			1

2.

		1	
		1	1

3.

	1	1	1
1		1	1

4.

1		1	
	1		

5.

		1	
	1	1	
	1	1	
		1	

6.

1			
1	1	1	1
1			

7.

1	1	1	1
1	1	1	1
		1	1

8.

	1	1	1
	1	1	1
	1	1	

### 3.3 abgeleitete Grundfunktionen der Digitaltechnik

#### 3.3.1 Die NAND - Funktion

Eine der wichtigsten Funktionen in der Digitaltechnik ist das negierte UND oder NAND. Fast alle komplexen Strukturen werden herstellungstechnisch als NAND realisiert.

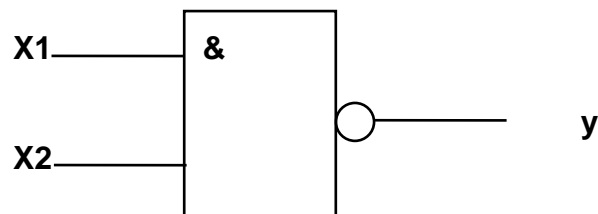
**Schreibweise:**

$$y = \overline{x_2 x_1}$$

**Schaltbelegungstabelle:**

X2	x1	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

**Schaltsymbol:**



#### 3.3.2 Die NOR - Funktion

Die NOR-Funktion entspricht dem negierten ODER und stellt eine weitere abgeleitete Grundfunktion in der Digitaltechnik dar.

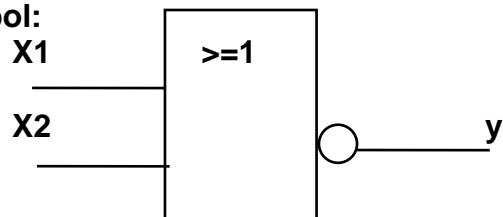
**Schreibweise:**

$$y = \overline{x_2 + x_1}$$

### Schaltbelegungstabelle:

X2	x1	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

### Schaltsymbol:



### 3.3.3 Die EXOR-Funktion (Antivalenz)

Besonders in der Mikroprozessortechnik hat diese Funktion im Hinblick von z.B. Adressierungsvorgängen besondere Bedeutung.

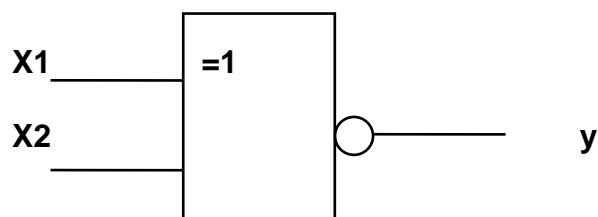
### Schreibweise:

$$y = \overline{x_2}x_1 + x_2\overline{x_1}$$

### Schaltbelegungstabelle:

X2	x1	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

### Schaltsymbol:





### 3.3.4 Die NOEXOR - Funktion (Äquivalenz)

Diese Funktion stellt die Umkehrung der EXOR-Funktion dar und hat insbesondere bei Gleichheitsvergleichen Bedeutung.

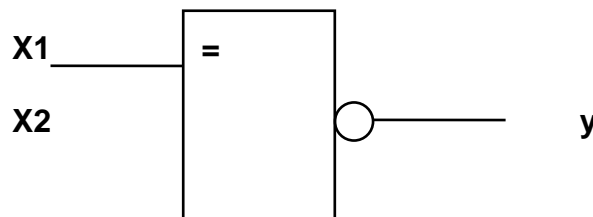
**Schreibweise:**

$$y = \bar{x}_2 \bar{x}_1 + x_2 x_1$$

**Schaltbelegungstabelle:**

X2	x1	y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**Schaltsymbol:**



Bisher haben wir alle Funktionen in einer speziellen Form ausgelesen. Wir hatten alle Zustände, die den Ausgangszustand high hervorrufen konjunktiv verknüpft und die einzelnen Möglichkeiten dann disjunktiv verarbeitet. Dies entspricht einer bestimmten Normalform. Die beiden wichtigsten Normalformen sollen nun besprochen werden.

### 3.4 wichtige Normalformen

Die beiden Normalformen sind:

- disjunktive Normalform
- konjunktive Normalform

**disjunktive Normalform:**

Die disjunktive Normalform (DNF) erhält man, wenn man alle Eintragungen, für die ein Funktionswert 1 wird, disjunktiv miteinander verknüpft. Jede Eintragung ist hierbei als konjunktive Verknüpfung aller Eingangsvariablen darzustellen.

### **konjunktive Normalform:**

Die konjunktive Normalform (KNF) erhält man, wenn man alle Eintragungen, für die ein Funktionswert 0 wird, konjunktiv miteinander verknüpft. Jede Eintragung ist hierbei als disjunktive Verknüpfung aller Eingangsvariablen darzustellen.

### **wichtiger Hinweis:**

bei der DNF sind die Eingangsvariablen als aktiv zu kennzeichnen sofern diese den Wert 1 haben, bei der konjunktiven genau umgekehrt.

### **Beispiel:**

gegeben. sei folgende Schaltbelegungstabelle:

### **Schaltbelegungstabelle:**

X2	x1	y
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1

### **Funktion als DNF:**

y =

### **Funktion als KNF:**

y =

### **Beweis mittels boolscher Algebra (selbständig zur Übung):**

y =

!! Manchmal macht es halt mehr Sinn, die Nullwerte auszulesen, um kleinere Funktionen zu bekommen. (7-Segment-Ansteuerung ).

### 3.5 zusammenfassendes Beispiel zum Abschnitt 3

**Aufgabe:** Ein Ausgangssignal soll aktiv sein, wenn von 3 vorhandenen Eingangssignalen mindestens 2 aktiv sind.

**Teilaufgaben:**

- Aufstellen der Schaltbelegungstabelle
- DNF auslesen
- KNF auslesen
- Kürzung der Funktion (als DNF)
- Schaltung mit BE als DNF

#### 1. Schaltbelegungstabelle

x3	x2	x1	y

#### 2. DNF

y =

#### 3. KNF

y =

#### 4. Kürzung (DNF):

y =

#### 5. Schaltung als DNF

### 3.6 Übungen zum Kapitel 3

#### Aufgabe 1:

Vereinfachen Sie folgende Ausdrücke (zunächst mittels Boolescher Algebra, anschließend mittels Karnaughdiagrammen):

a)  $y =$

b)  $y =$

c)  $y =$

#### Aufgabe 2:

Lesen Sie die minimierte Schaltfunktion aus folgenden Karnaugh-Tafeln heraus:

a)

1		1	1
1			1
1	1		1
			1

1			1
			1
1	1	1	1

b)

1	1	1	
			1
	1		
		1	

		1	
1			1
	1		
1			

c)

			1
		1	1
		1	1
		1	1

1	1	1	
	1	1	
		1	
1	1	1	

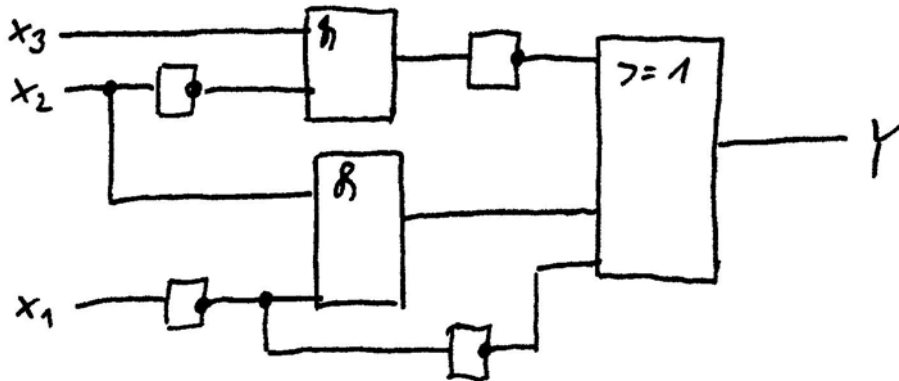
d)

	1	1	
	1	1	
1	1	1	1
	1	1	

	1	1	
		1	
1		1	1

### Aufgabe 3:

Welche Ausgangsfunktion wird durch nachstehende Schaltung erzeugt? Sofern diese Schaltung zu vereinfachen ist, zeichnen Sie die minimierte Struktur.



### Aufgabe 4:

Eine Überwachungsanlage besteht aus insgesamt 4 Sensoren (Eingangsvariablen) und drei optischen Ausgängen. Die Sensoren tragen die Bezeichnung  $S_0 \dots S_3$ , die Ausgänge  $Y_0 \dots Y_2$ . Sofern nur ein Sensor aktiv ist (1-Pegel) ist nur der Ausgang  $Y_0$  aktiv (ebenfalls 1-Pegel). Falls genau drei Sensoren 1-Pegel führen, sind  $Y_1$  und  $Y_2$  aktiv. Falls alle Sensoren aktiv sind, sind  $Y_0$  und  $Y_2$  aktiv. Wenn  $S_1$  und  $S_2$  1-Pegel haben, sollen die Ausgänge  $Y_0$  und  $Y_2$  in den aktiven Zustand übergehen.

- Stellen Sie die zugehörige Schaltbelegungstabelle auf.
- Kürzen Sie die jeweiligen Ausgangsfunktionen.
- Zeichnen Sie die vollständige Schaltung mit den in der Vorlesung behandelten Grundelementen.