

Alain Staub, David Falk und Julien Rebetez

REFAST

www.refast-swiss.com

# FORMEL BUCH

Mathematik

Physik

Elektrotechnik / Elektronik

Antriebstechnik - Elektrische Maschinen

Regelungstechnik

Digitaltechnik

**Alain Staub, David Falk und Julien Rebetez**

# **FORMELBUCH**

**MATHEMATIK**

**PHYSIK**

**ELEKTROTECHNIK / ELEKTRONIK**

**ANTRIEBSTECHNIK – ELEKTRISCHE  
MASCHINEN**

**REGELUNGSTECHNIK**

**DIGITALTECHNIK**

**3. Auflage – 2014**

**ISBN 978-3-033-04156-1**

# Grobinhaltsverzeichnis

Mathematik .....	3
Physik .....	43
Elektrotechnik / Elektronik.....	73
Antriebstechnik – Elektrische Maschinen .....	195
Regelungstechnik .....	223
Digitaltechnik.....	239
Stichwortverzeichnis .....	299
Quellenverzeichnis.....	308

**Mehr zum Buch**



# Mathematik

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	5
Körper- & Flächenberechnung .....	6
Dreieck.....	6
Viereck.....	6
Vieleck / Polygon .....	8
Kreis.....	9
Prisma.....	10
Größter gemeinsamer Teiler – Kleinstes gemeinsames Vielfaches .....	11
Prozent.....	12
Brüche .....	13
Potenzen .....	13
Multiplikation .....	13
Division .....	13
Binom .....	14
Wurzel / Radix .....	14
Gleichungen .....	15
Gleichungen mit 2 Unbekannten .....	16
Quadratische Gleichungen .....	17
Matrizen.....	17
Operationen .....	18
Determinanten .....	20
Spezielle Matrizen.....	21
Geometrische Begriffe .....	23
Dreiecke .....	23
Vierecke .....	24
Satz des Thales, Pythagoras und Euklid .....	25
Trigonometrie .....	26
Rechtwinkliges Dreieck.....	28
nicht rechtwinkliges Dreieck.....	29
Koordinatensystem .....	30
Ebene Koordinatensystem.....	30
Rechtwinkliges / Kartesisches Koordinatensystem .....	30
Polarkoordinatensystem .....	31
Räumliches Koordinatensystem .....	32
Rechtwinklig-räumliches Koordinatensystem.....	32
Räumliches Polar / Kugel Koordinatensystem .....	33
Räumliches Zylinderkoordinatensystem.....	33
Komplexe Zahl .....	34
Logarithmen .....	35
Sätze .....	35

Funktion .....	36
Lineare Funktion (affine Abbildung).....	36
Quadratische Funktion.....	37
Grenzwert / Limes .....	38
Differential.....	38
Integral .....	41

# Prozent

$P_w$ : Prozentwert  
 $G_w$ : Grundwert

$P_s$ : Prozentsatz [%]  
 $p$ : Steigung [%]

## Definition

$$1\% = 1 \cdot 10^{-2} = 0.01$$

## Anwendung

$$\frac{P_w}{G_w} = \frac{P_s}{100}$$

$$G_w \cdot P_s = P_w \cdot 100$$

$$100 = \frac{G_w \cdot P_s}{P_w}$$

$$P_w = \frac{G_w \cdot P_s}{100}$$

$$G_w = \frac{P_w \cdot 100}{P_s}$$

$$P_s = \frac{P_w \cdot 100}{G_w}$$

## Möglichkeiten

### Formel

$$P_s = \frac{P_w \cdot 100\%}{G_w}$$

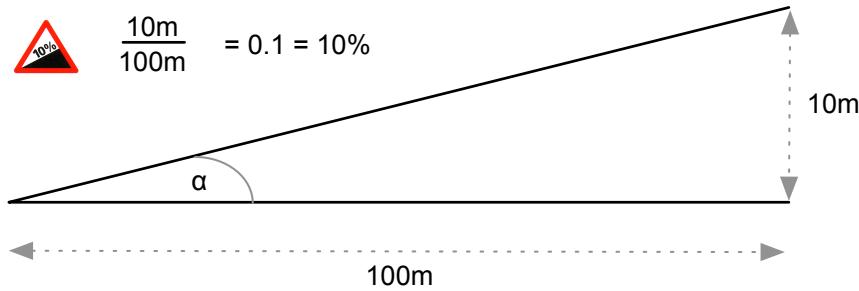
### Verhältnis

$$\frac{G_w}{P_w} = \frac{100\%}{P_s}$$

### Dreisatz

$$\frac{P_w : P_s}{P_s : P_s} = \frac{G_w}{100\%}$$

## Steigung



$$\alpha = \arctan\left(\frac{p}{100}\right)$$

Steigung p [%]	Winkel $\alpha$ [°]	Steigung p [%]	Winkel $\alpha$ [°]
1	0.57	40	21.8
3	1.72	50	26.6
8	4.57	70	35.0
10	5.71	100	45.0
12	6.84	200	63.4
15	8.53	500	78.7
20	11.3	1000	84.3
25	14.0	10000	89.4
30	16.7		

## Addition

$$A + B = C$$

Nur möglich wenn  $A=[a_{m,n}]$  und  $B=[b_{m,n}]$  folglich  $C=[c_{m,n}]$  gleicher Dimension sind.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} = a_{11} + b_{11} & c_{12} = a_{12} + b_{12} \\ c_{21} = a_{21} + b_{21} & c_{22} = a_{22} + b_{22} \end{bmatrix}$$

## Subtraktion

$$A - B = C$$

Nur möglich wenn  $A=[a_{m,n}]$  und  $B=[b_{m,n}]$  folglich  $C=[c_{m,n}]$  gleicher Dimension sind.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} = a_{11} - b_{11} & c_{12} = a_{12} - b_{12} \\ c_{21} = a_{21} - b_{21} & c_{22} = a_{22} - b_{22} \end{bmatrix}$$

## Skalarmultiplikation (Multiplikation mit einer Zahl)

$$\alpha \cdot A = C$$

Wobei  $A=[a_{m,n}]$  und  $C=[c_{m,n}]$  gleicher Dimension sind und  $\alpha$  einem Skalar entspricht.

$$\alpha \cdot \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} = \alpha \cdot a_{11} & c_{12} = \alpha \cdot a_{12} \\ c_{21} = \alpha \cdot a_{21} & c_{22} = \alpha \cdot a_{22} \end{bmatrix}$$

## Multiplikation von Matrizen

Zwei Matrizen A und B sind nur dann miteinander multiplizierbar, wenn die Anzahl der Spalten von der Matrix A, der Anzahl der Zeilen von der Matrix B entspricht.

Somit  $A=[a_{m,n}]$  und  $B=[b_{n,m}]$  folglich  $C=[c_{m,m}]$ .

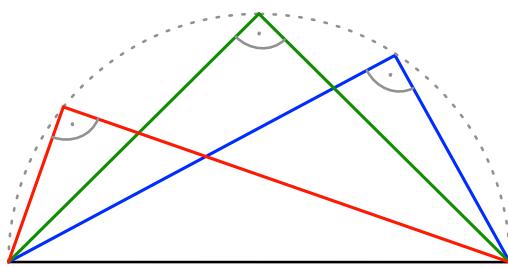
$$A \cdot B = C$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} = a_{11} \cdot b_{11} + a_{12} \cdot b_{21} + a_{13} \cdot b_{31} & c_{12} = a_{11} \cdot b_{12} + a_{12} \cdot b_{22} + a_{13} \cdot b_{32} \\ c_{21} = a_{21} \cdot b_{11} + a_{22} \cdot b_{21} + a_{23} \cdot b_{31} & c_{22} = a_{21} \cdot b_{12} + a_{22} \cdot b_{22} + a_{23} \cdot b_{32} \end{bmatrix}$$

# Satz des Thales, Pythagoras und Euklid

## Thaleskreis

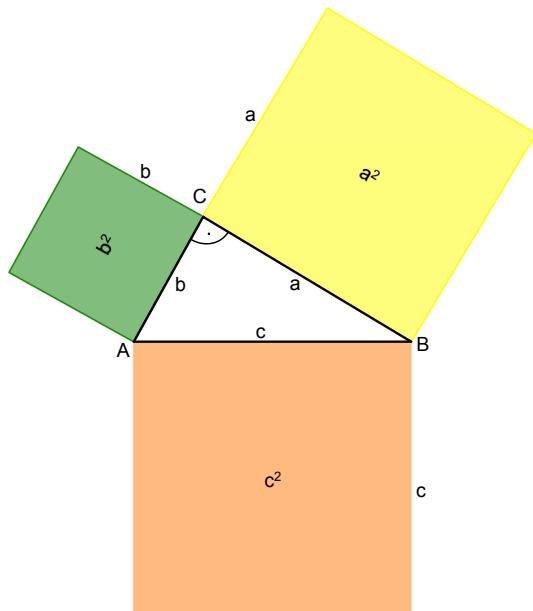
Alle Winkel am Thaleskreis (Halbkreisbogen) sind rechte Winkel.



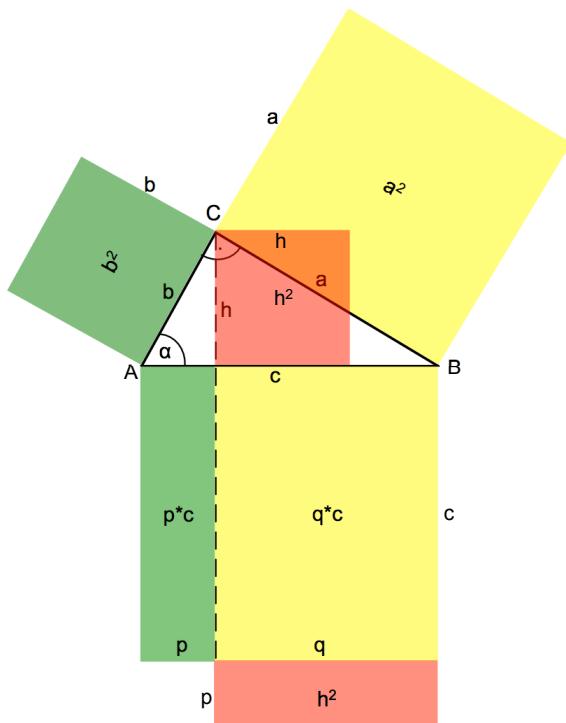
## Pythagoras

In einem rechtwinkligem Dreieck ist die Summe der Kathetenquadrate ( $a^2$  und  $b^2$ ) gleich dem Hypotenusequadrat ( $c^2$ ).

$$c^2 = a^2 + b^2$$



## Euklid



Der **Kathetensatz** besagt, dass in einem rechtwinkligem Dreieck:

- die Fläche vom Quadrat , $a$ ' der Fläche vom Rechteck mit den Seiten , $qc$ ' entspricht.
- die Fläche vom Quadrat , $b$ ' der Fläche vom Rechteck mit den Seiten , $pc$ ' entspricht.

$$a^2 = q \cdot c$$

$$b^2 = p \cdot c$$

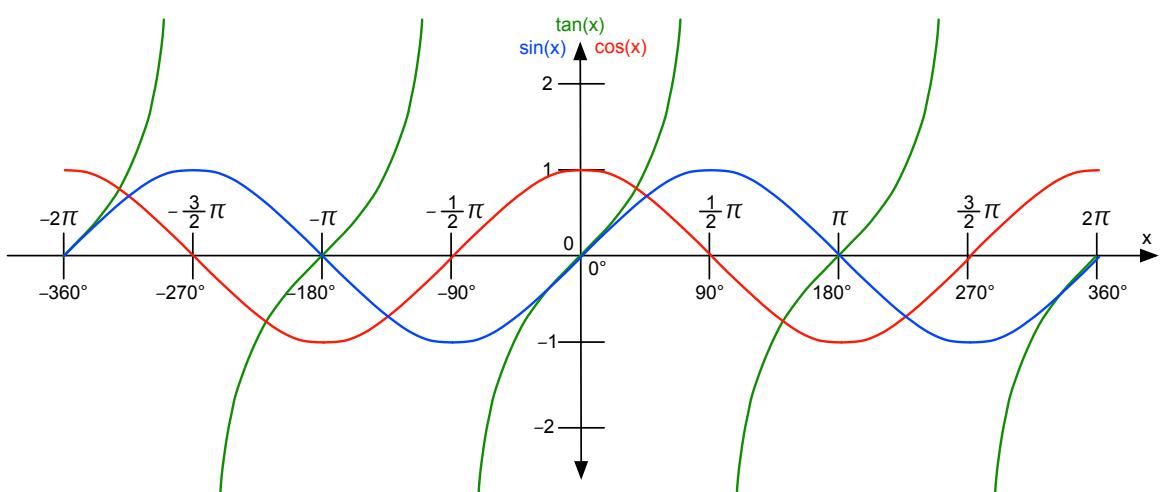
Der **Höhensatz** besagt, dass in einem rechtwinkligem Dreieck:

- die Fläche vom Quadrat , $h$ ' der Fläche vom Rechteck mit den Seiten , $pq$ ' entspricht.

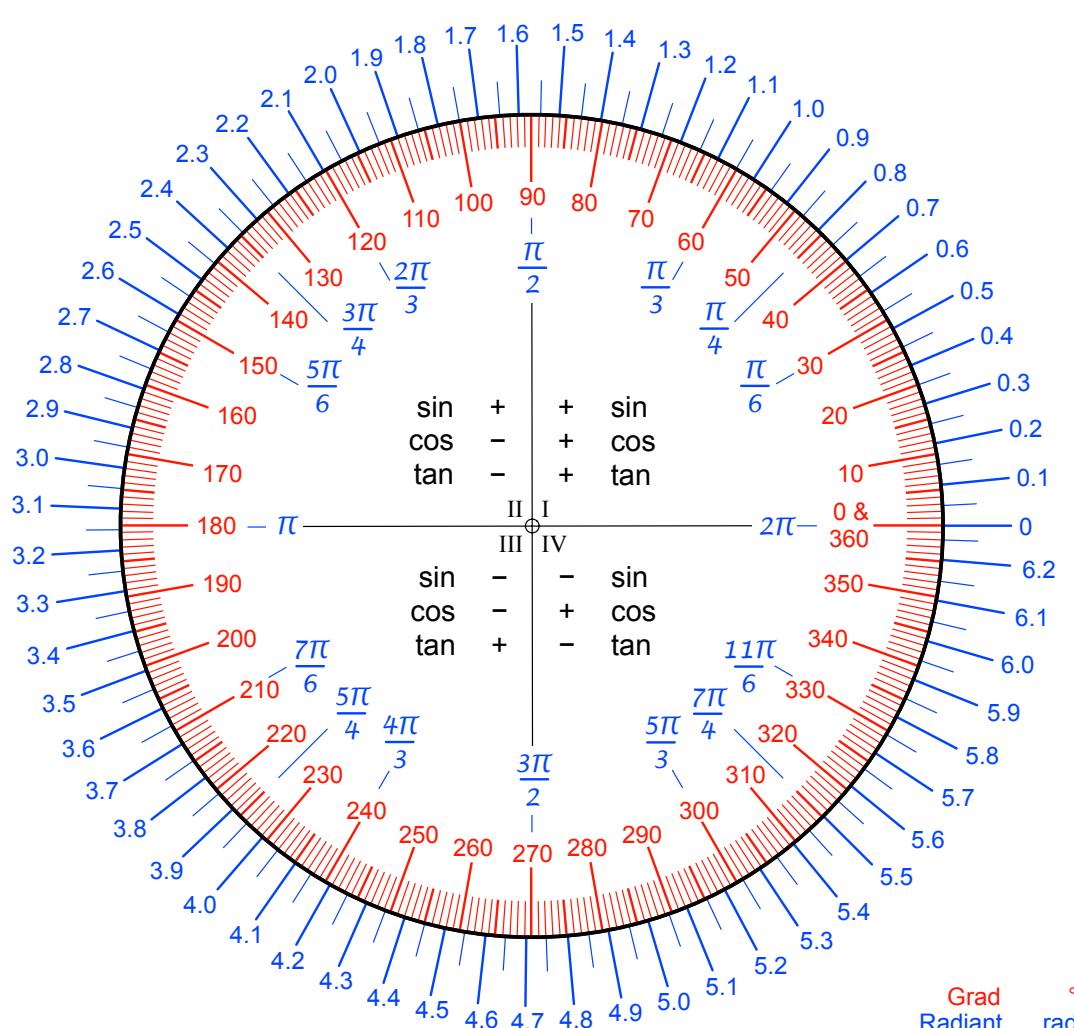
$$h^2 = p \cdot q$$

# Trigonometrie

## Graphen



## Winkelmasse



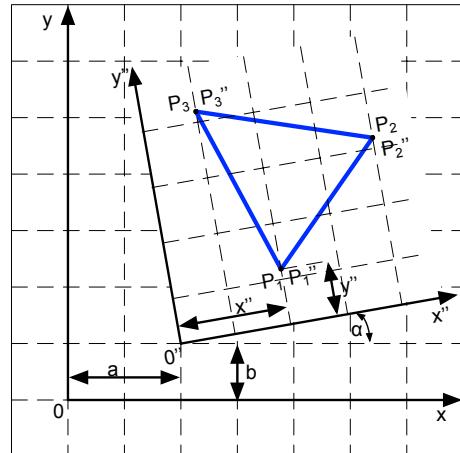
## Parallelverschiebung und Drehung

$$x'' = (x - a) \cdot \cos(\alpha) + (y - b) \cdot \sin(\alpha)$$

$$y'' = -(x - a) \cdot \sin(\alpha) + (y - b) \cdot \cos(\alpha)$$

$$x = x'' \cdot \cos(\alpha) - y'' \cdot \sin(\alpha) + a$$

$$y = x'' \cdot \sin(\alpha) + y'' \cdot \cos(\alpha) + b$$

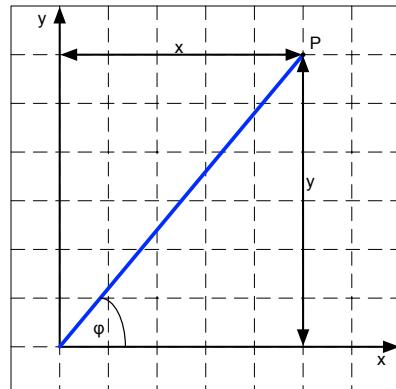


## Transformation rechtwinklige Koordinaten → Polarkoordinaten

$$r_p = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\tan \varphi_p = \frac{y}{x}$$

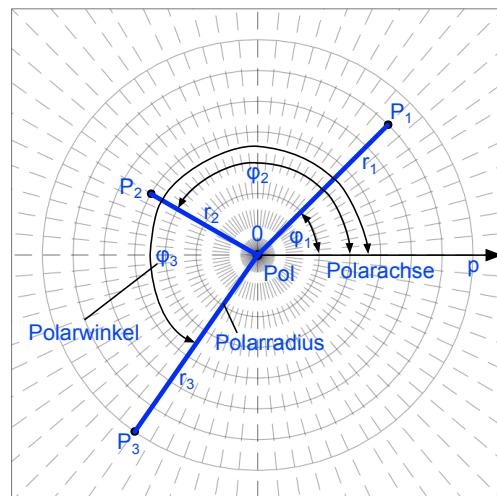
$$\varphi_p = \tan^{-1} \left( \frac{y}{x} \right)$$



## Polarkoordinatensystem

### Generell

- Anfangspunkt 0 wird als Pol bezeichnet und die von diesem Pol ausgehende Polarachse ,p'.
- Ein Punkt ,P' im Polarkoordinatensystem wird mit  $P<r_p | \varphi_p>$  bezeichnet.
- Die Polarwinkel sind immer vom Anfangspunkt aus gegen den Gegenuhzeigersinn angegeben.



# Physik

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	44
Konstanten I .....	46
Konstanten II .....	48
Mechanik .....	48
Kinematik .....	48
Gleichmässige Bewegung .....	49
Gleichmässige Rotation.....	50
Freier Fall und Wurf.....	51
Dynamik .....	53
Kräfte .....	53
Arbeit, Energie und Leistung .....	56
Fluidtechnik.....	57
Eigenschaft von Gasen (ideale) .....	57
Eigenschaften von Flüssigkeiten .....	57
Ruhende Flüssigkeiten & Gase .....	58
Strömende Flüssigkeiten & Gase .....	59
Optik .....	61
Licht .....	62
Optische Linsen .....	63
Brechungsgesetz .....	64
Lichtwellenleiter - LWL .....	65
Einführung .....	65
Aufbauarten .....	66
Dämpfung .....	67
Reparatur.....	68
Dispersion .....	68
Wärmelehre .....	69
Wärmeausdehnung .....	69
Wärmekapazität .....	70
Ausbreitung der Wärme .....	71
Wärmeleitung .....	71
Wärmeübergang.....	71

# Konstanten I

Stoff	Temperatur		Wärme-ausdehnung		Leitfähigkeit Thermisch	Dichte <sup>1)</sup> Relative / spezifische d	i
	Schmelz-punkt [°C]	Siede-punkt [°C]	Länge – fest α [1/K]	Volumen γ [1/K]			
Aceton C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	-95	56		1460 · 10 <sup>-6</sup>			10
Aluminium Al	660	2519	23.8 · 10 <sup>-6</sup>		230		11
Blei Pb	327	1744	31 · 10 <sup>-6</sup>		35		12
Bronze CuSn		1063	18 · 10 <sup>-6</sup>		0.8 ... 1.4		13
Chlor Cl	-101.5	-34.6				2.4861	14
Chloroform CHCl <sub>3</sub>	-63	61		1210 · 10 <sup>-6</sup>			15
Chrom Cr	1907	2482	4.9 · 10 <sup>-6</sup>				16
Eis	0	100	51 · 10 <sup>-6</sup>		1.7		17
Eisen Fe	1538	3000	12 · 10 <sup>-6</sup>		80		18
Ethanol C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	-114	78		1400 · 10 <sup>-6</sup>	0.2		19
Gold Au	1064	2970	14.2 · 10 <sup>-6</sup>		419		20
Kohlen(stoff)dioxid CO <sub>2</sub>	<sup>4)</sup> -56.57	<sup>4)</sup> -78				1.5292	21
Kohlen(stoff)monoxid CO	-205	-191.5			95	0.9669	22
Kupfer Cu	1084	2595	16.5 · 10 <sup>-6</sup>		385		23
Luft O <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	-220	-194			0.025	1	24
Magnesium Mg	650	1100	24.8 · 10 <sup>-6</sup>		170		25
Messing	900 ... 980	~ 2300	18.5 · 10 <sup>-6</sup>		120		26
Methan CH <sub>4</sub>	-182	-162				0.556	27
Methanol CH <sub>3</sub> O	-98	65		1490 · 10 <sup>-6</sup>			28
Nickel Ni	1455	2730	13.4 · 10 <sup>-6</sup>		85		29
Platin Pt	1768	3827	8.8 · 10 <sup>-6</sup>		71		30
Quecksilber Hg	-38.8	357		181.1 · 10 <sup>-6</sup>	8.3		31
Sauerstoff O	-218	-183				1.1	32
Silber Ag	961	2210	19.7 · 10 <sup>-6</sup>		428		33
Stahl Ae	~ 1500	~ 2500	12 · 10 <sup>-6</sup>		47		34
Stickstoff N	-210	-196					35
Wasser H <sub>2</sub> O	0	100		2060 · 10 <sup>-6</sup>	0.58		36
Wasserstoff H	-259	-252			0.1805	0.06952	37
Zink Zn	419	907	30 · 10 <sup>-6</sup>		120		38
Zinn Sn	231	2620	23 · 10 <sup>-6</sup>		67		39

<sup>1)</sup> im Vergleich zur normalen Luft

<sup>2)</sup> Gas c<sub>p</sub> bei konstantem Druck und 20° C

i	Dichte			Spezifische Wärmekapazität					
	Fest $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Flüssig $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Gaz $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Fest c [J/(kg·K)]	Flüssig c [J/(kg·K)]	<sup>2)</sup> Gas $c_p$ [J/(kg·K)]	<sup>3)</sup> Gaz $c_v$ [J/(kg·K)]	Schmelzwärme [J/kg]	Latente Wärme [J/kg]
10		791			2160				
11	2700			896				$0.396 \cdot 10^6$	$9.47 \cdot 10^6$
12	11300			129				$0.0247 \cdot 10^6$	$0.85 \cdot 10^6$
13	7400 ... 8400			357					
14			3.215			754	522		
15		1480			950				
16	7140			452					
17	917			2090				$0.335 \cdot 10^6$	
18	7874			450				$0.267 \cdot 10^6$	$6.34 \cdot 10^6$
19		790			2400				
20	19300			130				$0.0643 \cdot 10^6$	$1.74 \cdot 10^6$
21	<sup>5)</sup> 1560	1100	1.98			831	647		
22			1.25			1042	744		
23	8920			383				$0.205 \cdot 10^6$	$4.8 \cdot 10^6$
24			1.293			1005	717		
25	1738			1034					
26	8100 ... 8700			389					
27			0.72			2220			
28		790			2470				
29	8908			448				$0.3 \cdot 10^6$	$6.23 \cdot 10^6$
30	21450			133				$0.1 \cdot 10^6$	$2.29 \cdot 10^6$
31		13545			140			$0.0116 \cdot 10^6$	$0.292 \cdot 10^6$
32			1.429			917	657		
33	10490			235				$0.105 \cdot 10^6$	$2.36 \cdot 10^6$
34	7850			460					
35			1.25			1038	741		
36		1000			4180			$0.335 \cdot 10^6$	
37			0.0899			14320	10190	$0.063 \cdot 10^6$	$0.45 \cdot 10^6$
38	7140			389					
39	7280			230				$0.061 \cdot 10^6$	$2.4 \cdot 10^6$

<sup>3)</sup> Gas  $c_v$  bei konstantem Volumen und 20° C

<sup>4)</sup> unter 5.2 bar

<sup>5)</sup> Trockeneis

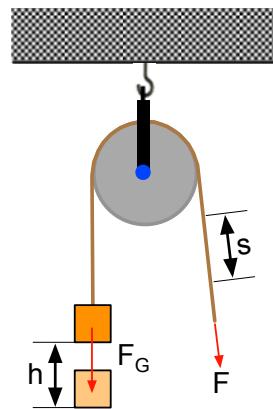
47

### Flaschenzug – Feste Rolle

$$F = F_G$$

$$s = h$$

$$W = F_G \cdot h$$

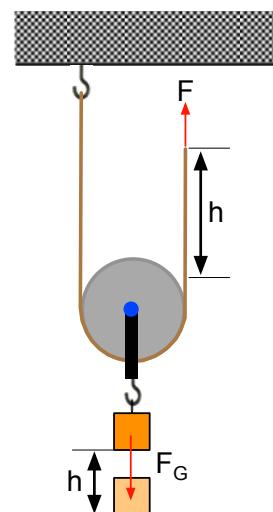


### Flaschenzug – Lose Rolle

$$F = \frac{F_G}{2}$$

$$s = 2 \cdot h$$

$$W = F_G \cdot h$$



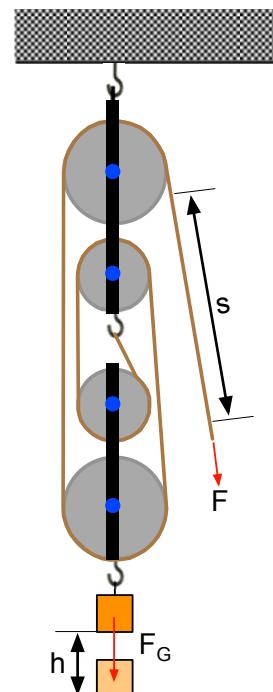
### Flaschenzug

$$F = \frac{F_G}{n}$$

$$s = n \cdot h$$

$$W = F_G \cdot h$$

$n = \text{Anzahl Rollen}$



## Ruhende Flüssigkeiten & Gase

### Statischer Druck

Der statische Druck ist der in ruhenden Gasen und Flüssigkeiten herrschende Druck.

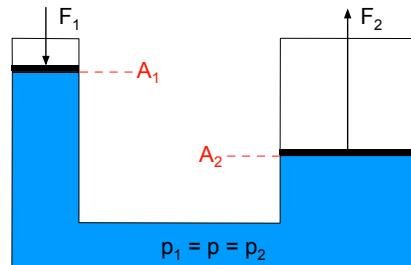
$$p_{\text{stat}} = p_K + p_S$$

### Kolbendruck

$$p_K = \frac{F}{A}$$

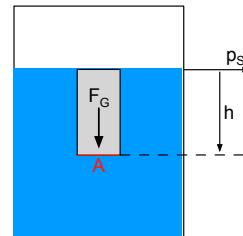
Hydraulische Kraftwandlung

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$



### Schweredruck in Flüssigkeiten

$$p_S = \frac{F_G}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h$$



### Druckskalen

Überdruck

$$p_{\ddot{u}} = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}}$$

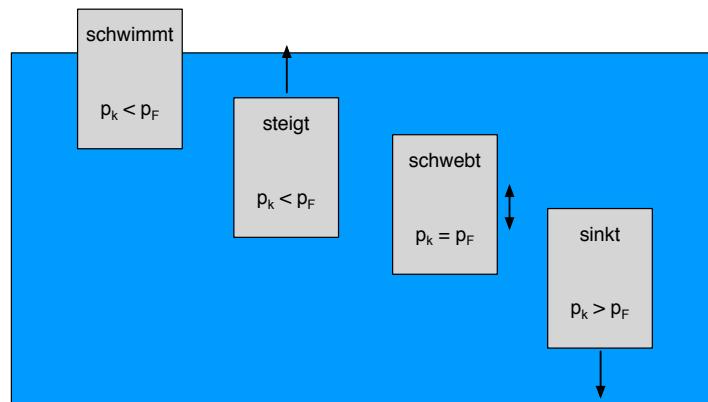
Unterdruck

$$p_{\ddot{u}} = p_{\text{amb}} - p_{\text{abs}}$$

### Auftriebskraft von Flüssigkeiten

$$F = F_A - F_G = \Delta \rho \cdot g \cdot h$$

### Verhalten von Körpern mit unterschiedlicher Dichte



$\rho_k$  = Dichte der Körper

$\rho_F$ : Dichte der Flüssigkeit

## Aufbauarten

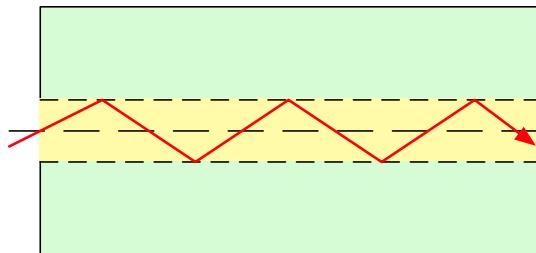
### Monomodefaser

Eigenschaften:

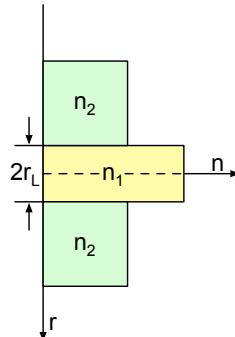
- Geringe Dämpfung
- 3dB/100km
- Bandbreite - 75 Gbit/s
- Glasfaser
- Konfektionieren aufwendig
- Steckverbinder teuer

Der Faserdurchmesser ist  $10\mu\text{m}$ .

Bei einer Bandbreite von 75 Gbit/s können gleichzeitig ca. 53 Stereo Audiokanäle in CD-Qualität (44,1 KHz Abtastfrequenz, 16 Bit Auflösung) übertragen werden.



Verlauf der Brechzahlen – Monomodeprofil

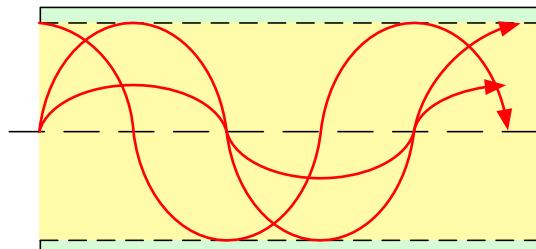


### Gradientenfaser

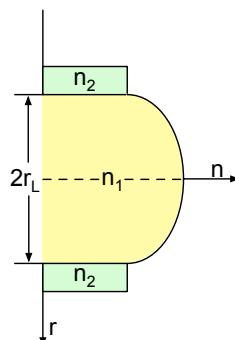
Eigenschaften

- Kunststoff-LWL
- Bandbreite 1 Gbit/s
- Gradientenfaser ist teurer als Multimodefaser

Signale werden im LWL wegen dessen unterschiedlicher Dichte wie durch eine Linse gebündelt, deshalb der gekrümmte Verlauf der Lichtstrahlen.



Verlauf der Brechzahlen – Gradientenprofil



## Wärmeübergangskoeffizient

$$\alpha = \frac{Q}{A \cdot \Delta T \cdot t}$$

## Wärmedurchgangskoeffizient

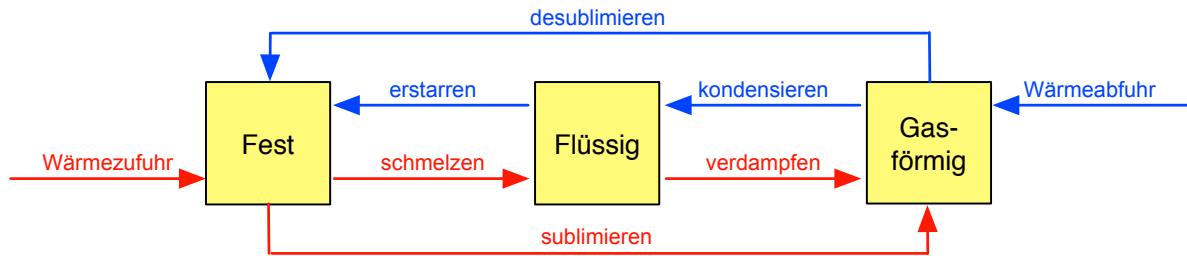
$$k = \frac{\lambda}{\ell}$$

Dieser beschreibt den gesamten Wärmedurchgang zwischen zwei durch Wände getrennte Medien.

## Wärmedurchgang

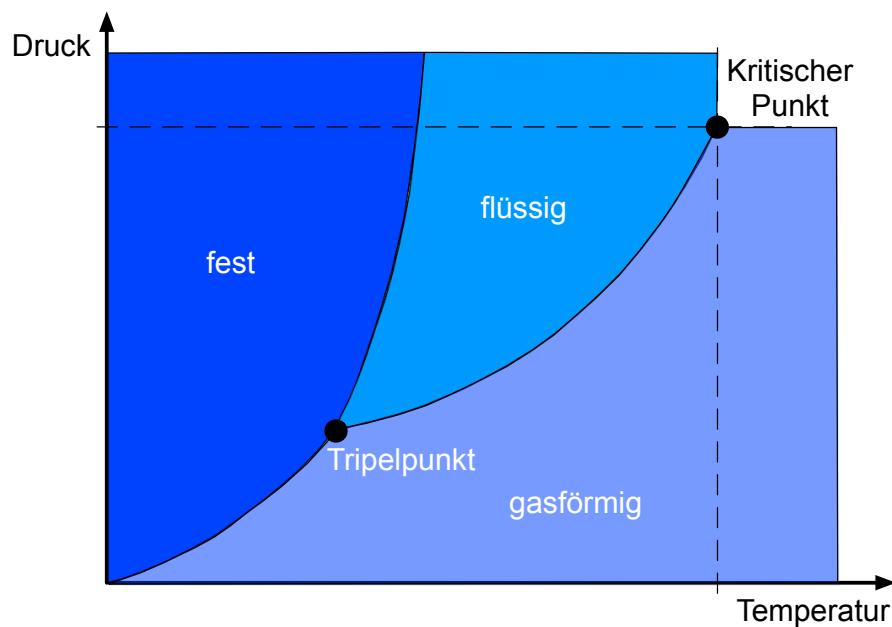
$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \quad \text{mit} \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

## Aggregatzustände



## Tripelpunkt - Dreiphasenpunkt

Der Tripelpunkt ist der Zustand, an dem die drei Phasen – Fest, Flüssig und Gasförmig – im Gleichgewicht sind.



# Elektrotechnik / Elektronik

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	75
Atomaufbau .....	77
Grundlagen .....	77
Leistung .....	78
Kirchhoffsches Gesetz .....	79
Widerstand .....	80
Schaltungen .....	84
Spannungsteiler.....	85
Brückenschaltung .....	85
Dreieck- → Sternschaltung und Stern- → Dreieckschaltung.....	87
Potentiometer.....	87
Nichtlineare Widerstände .....	88
Wärme.....	90
Wärmewiderstand .....	90
Quellen.....	91
Spannungsquellen .....	91
Stromquelle.....	92
Elektrisches Feld .....	93
Feldverlauf .....	93
Kondensator .....	95
Kapazität.....	95
Kraft .....	97
Schaltungen .....	97
Gleichspannung .....	99
Wechselspannung .....	102
Magnetisches Feld .....	103
Kraftwirkungen .....	104
Magnetisierungskennlinie .....	105
Spule .....	106
Schaltungen .....	106
Gleichspannung .....	107
Wechselspannung .....	110
RC-, RL-, RLC- Schaltungen.....	111
Grundlegendes zu komplexe Zahlen .....	111
Serie- oder Reihenschaltung .....	112
Parallelschaltung.....	115
Ersatzserie- oder Ersatzreihenschaltung und Ersatzparallelschaltungen.....	118
Schwingkreis .....	119
Serie- oder Reihenschwingkreis .....	119
Parallelschwingkreis .....	120
Filter / Siebschaltungen .....	121
Transformator.....	125
Verhalten.....	126

Wechselstrom / Wechselspannung.....	127
Wechselsignale.....	127
Leistung im 1ph-Wechselstromkreis.....	129
Zusammenhang zwischen P, Q und S.....	130
Leistung im 3ph-Wechselstromkreis.....	132
Sternschaltung.....	132
symmetrische Belastung .....	133
unsymmetrische Belastung .....	134
Dreieckschaltung .....	135
symmetrische Belastung .....	135
unsymmetrische Belastung .....	136
Diodentechnik .....	137
Gleichrichterschaltungen mit Dioden.....	140
Einweggleichrichter (M1U) .....	140
Zweiweggleichrichter / Brückengleichrichter (B2U).....	141
Mittelpunkt-Gleichrichter (M2U).....	142
Gleichspannungserhöhungs-Schaltungen.....	143
Bipolare Transistoren.....	144
Arbeitspunktschaltungen .....	145
Verstärker-Grundschaltungen.....	147
Stabilisierungsschaltungen.....	152
Kippschaltungen .....	155
Unipolare Transistoren.....	159
Verstärker-Grundschaltungen.....	162
Operationsverstärker.....	165
Verstärker-Grundschaltungen.....	166
Spannungsstabilisierung.....	168
Kippschaltungen .....	169
Schmitt-Trigger.....	169
Leistungselektronik .....	171
Bauelemente der Leistungselektronik.....	172
Leistungsdioden.....	173
Erweiterung der Grenzdaten .....	173
Verluste .....	175
Der Thyristor (SCR) – gesteuerte Diode.....	176
Thyristorarten – Derivate (Ableiten) .....	178
Leistungstransistoren.....	180
Verluste .....	180
Zünd- & Steuersätze für gesteuerte Dioden .....	181
Mittelwertberechnung .....	182
Gleichrichterschaltungen mit Thyristoren .....	182
Einweggleichrichter (M1, M1C) .....	182
Zweiweggleichrichter (M2, M2C).....	183
Zweiweggleichrichter (B2, B2C).....	184
Verstärkung und Dämpfung .....	188
HF-Technik.....	189
Dämpfungsglieder $\pi$ & T .....	189
Datenübertragung .....	190
Modulation & Demodulation .....	191

## Atomaufbau

- Elektronen sind die Träger der negativen Elementarladungen.  
Protonen sind die Träger der positiven Elementarladungen.
- Elektrisch neutrale Atome besitzen genauso viele positive wie negative elektrische Ladungen.
- Positiv oder negativ geladene Atome oder Atomverbände nennt man Ionen.
- Atomkerne besitzen auch elektrisch neutrale Teilchen – die Neutronen.
- Protonen und Neutronen bestimmen im Wesentlichen das Gewicht des Atoms.

1 Elementarladung entspricht  $1,602 \cdot 10^{-19}$  As

1As = 1C (Coulomb)

1C entspricht  $6,25 \cdot 10^{18}$  Elementarladungen

Bezeichnung	Symbol	Masse [kg]	Ladung
Neutron	N	$1,6748 \cdot 10^{-27}$	0
Proton	P	$1,6725 \cdot 10^{-27}$	-e
Elektron	e	$0,00091 \cdot 10^{-27}$	+e

Neutron zerfällt in Proton und Elektron bildet sich neu.

Elektronengeschwindigkeit  $\approx$

3mm/s

Impulsgeschwindigkeit  $\approx$

$300'000\text{km/s} \rightarrow 3 \cdot 10^8$  → Lichtgeschwindigkeit

## Grundlagen

$\lambda$ : Wellenlänge [m]

T: Periodendauer [s]

$c_z$ : mech. Zähler [1/kWh]

$u_s, i_s$ : Spitzenvwert [V,A]

$P_{\text{auf}}$ : Aufgenommene Leistung [W]

U: Spannung [V]

$P_{\text{ab}}$ : Abgegebene Leistung [W]

I: Strom [V]

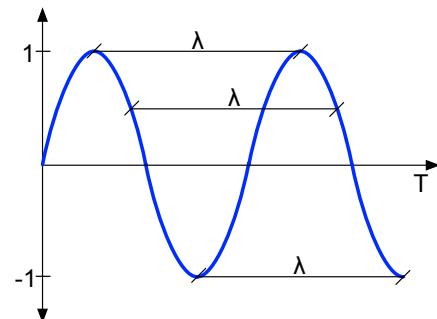
### Wellenlänge

$$\lambda = \frac{v}{f} = v \cdot T$$

$$v = \lambda \cdot f$$

$$T = \frac{\lambda}{v}$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$



Die Wellenlänge ist der kleinste Abstand zweier Punkte in einer Schwingung gleicher Phase.

### Ohmsches Gesetz

$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

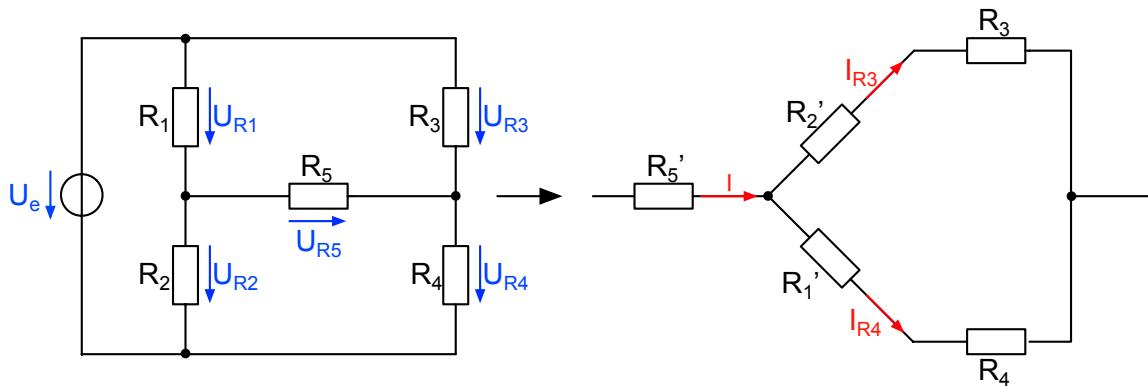
## Wheatstone'sche Brücke

$$U_A = U_e \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_4 = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1}$$

$$U_B = U_e \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

## Belastet



Berechnung mit Hilfe der Umwandlung ‚Dreieck- in Sternschaltung‘. Das Dreieck bildet im obigen Beispiel  $R_1$ ,  $R_5$  und  $R_2$ :

$$R_2' = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_2}$$

$$R_1' = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_2}$$

$$R_5' = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_5 + R_2}$$

$$R_g = \frac{(R_1' + R_3) \cdot (R_2' + R_4)}{(R_1' + R_3) + (R_2' + R_4)} \cdot R_5'$$

$$I = \frac{U_e}{R_g}$$

$$I_{R3} = \frac{I \cdot (R_1' + R_4)}{R_2' + R_4 + R_1' + R_3}$$

$$I_{R4} = I - I_{R3}$$

$$U_{R3} = I_{R3} \cdot R_3$$

$$U_{R4} = I_{R4} \cdot R_4$$

$$U_{R5} = U_{R3} - U_{R4}$$

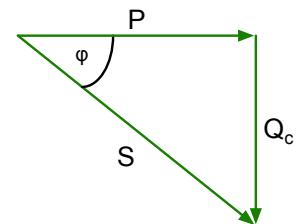
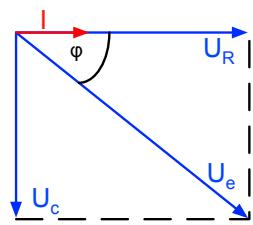
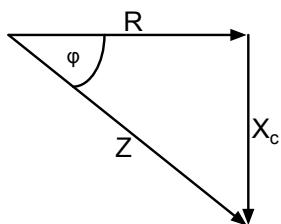
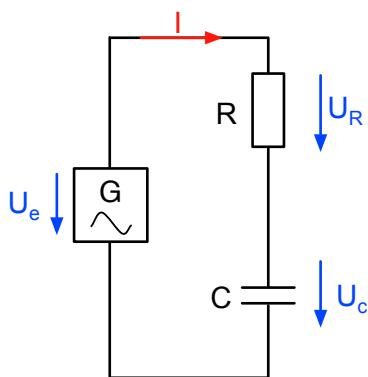
$$I_{R5} = \frac{|U_5|}{R_5}$$

Formel zur direkten Berechnung des Brückenstromes:

$$I_{R5} = \frac{U_e \cdot [(R_2 \cdot R_3) - (R_1 \cdot R_4)]}{R_5 \cdot (R_2 + R_4) \cdot (R_1 + R_3) + R_2 \cdot R_4 \cdot (R_1 + R_3) + R_1 \cdot R_3 \cdot (R_2 + R_4)}$$

## Serie- oder Reihenschaltung

### RC-Schaltung



$$U_e = \sqrt{U_R^2 + U_c^2} = \frac{U_R}{\cos(\varphi)} = \frac{U_c}{\sin(\varphi)}$$

$$Z = \frac{U_e}{I} = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \frac{R}{\cos(\varphi)} = \frac{X_c}{\sin(\varphi)}$$

$$S = U_e \cdot I = \frac{U_e^2}{Z} = I^2 \cdot Z = \sqrt{P^2 + Q_c^2} = \frac{P}{\cos(\varphi)} = \frac{Q_c}{\sin(\varphi)}$$

$$U_c = U_R \cdot \tan(\varphi) = X_c \cdot I$$

$$X_c = R \cdot \tan(\varphi)$$

$$Q_c = P \cdot \tan(\varphi)$$

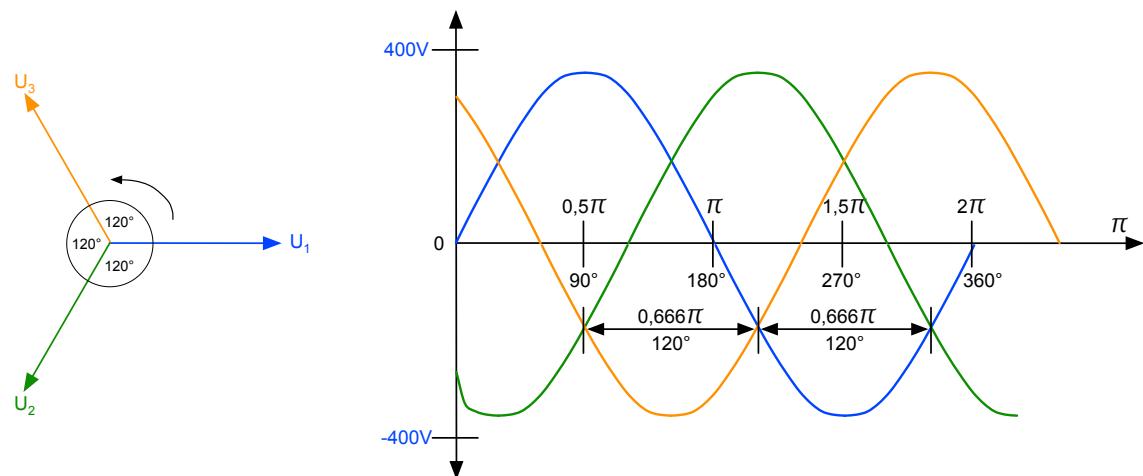
## Leistung im 3ph-Wechselstromkreis

$U_{L12}, U_{L21}, U_{L31}$ : Leiterspannung [V]  
 $U_{St1}, U_{St2}, U_{St3}$ : Strangspannung [V]  
 $\cos(\varphi)$ : Leistungsfaktor  
 $Q$ : Blindleistung [var]  
 $P_{\text{Stern}}$ : Leistung in Sternschaltung [W]

$I_{L1}, I_{L2}, I_{L3}$ : Leiterstrom [A]  
 $I_{St1}, I_{St2}, I_{St3}$ : Strangstrom [A]  
 $I_N$ : Neutralleiterstrom [A]  
 $P_0$ : ursprüngliche Leistung [W]  
 $P_{\text{Dreieck}}$ : Leistung in Dreieckschaltung [W]

### Generell

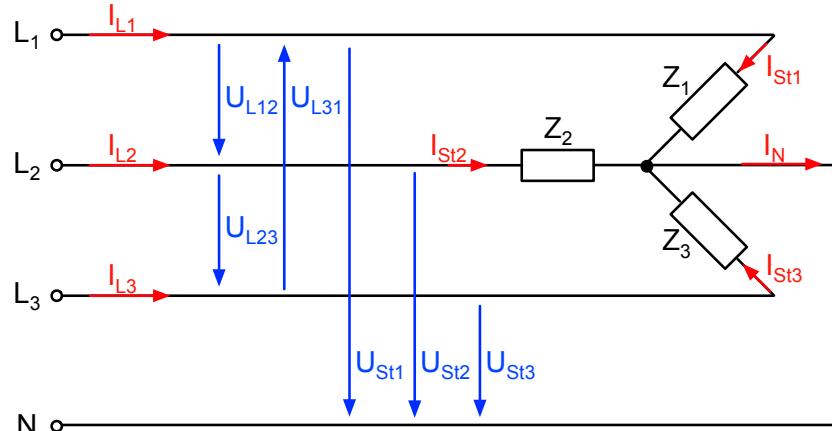
Zeiger- und Liniendiagramm:



Die Summe der Spannungen ( $U_1$ ,  $U_2$  und  $U_3$ ) sind zu jedem Zeitpunkt gleich 0V.  
Bei einer symmetrischen Belastung der 3 Phasen (gleiche Lastwiderstände) gilt dies auch für die Ströme ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ).

## Sternschaltung

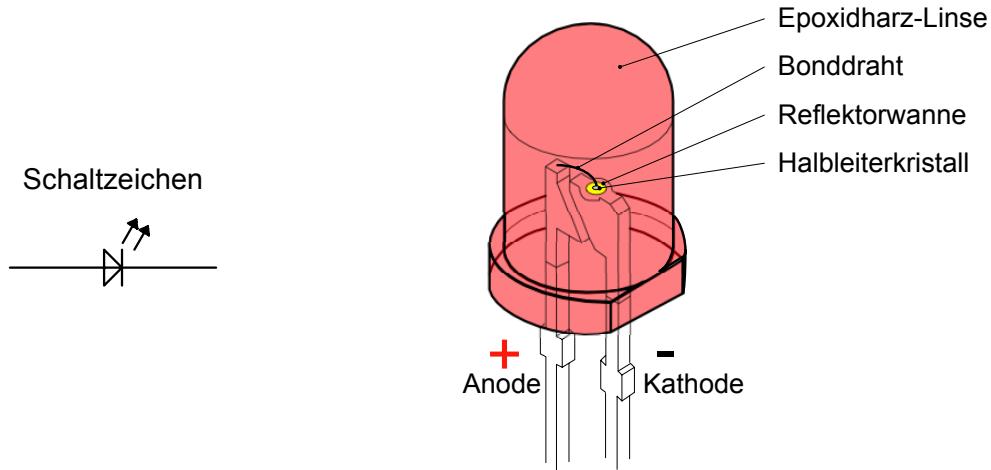
### Schaltbild



$$U_{L12} = U_{L23} = U_{L31} = 400\text{VAC}$$

$$U_{St1} = U_{St2} = U_{St3} = 230\text{VAC}$$

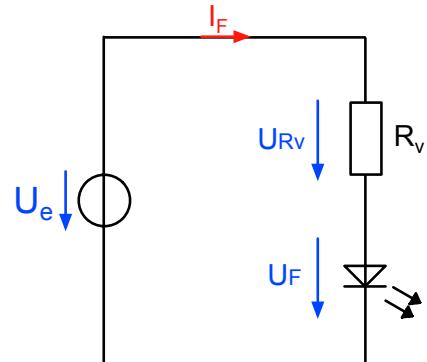
## LED - Leuchtdiode



Anondenseite: Der längere der beiden Drahtanschlüsse ist der Anodenanschluss +  
Positiver Anschluss.

Kathodenseite: Der kürzere der beiden Drahtanschlüsse ist der Kathodenanschluss –  
Negativer Anschluss.  
Dieser befindet sich auch dort wo das Gehäuse abgeflacht ist.

$$R_V = \frac{U_e - U_F}{I_F} = \frac{U_{Rv}}{I_F}$$



### Durchlassspannung der LED's bei verschiedenen Farben

Farbe	Wellenlänge $\lambda$	~ Durchlassspannung $U_F$
Infrarot	> 760nm	1,2V ... 1,9V
	Rot 610nm ... 760nm	1,6V ... 2,1V
	Orange 590nm ... 610nm	2,0V ... 2,1V
	Gelb 570nm ... 590nm	2,1V ... 2,2,V
	Grün 500nm ... 570nm	2,0V ... 3,4V
	Weiss Summe der Farben	3,0V ... 3,5V
	Blau 450nm ... 500nm	2,5V ... 3,7V
	Ultraviolett 230nm ... 400nm	3,1V ... 4,4V

## Annähernde Dimensionierung

Die Formeln sind annähernd und gelten bis max. 10% Welligkeit der Brummspg. bei einer Frequenz von 50Hz.

### ohne Kondensator

Diodengrenzwerte:

$$U_R \approx 1,5 \cdot U_{eff}$$

$$I_F \approx 1,0 \cdot I_{DC}$$

Erforderliche Eingangsspannung:

$$U_{eff} = (2,22 \cdot U_{DC}) + U_F$$

Gleichspannung:

$$U_{DC} = \frac{U_{eff} - U_F}{2,22}$$

Brummspannung:

$$U_{Br} = 1,21 \cdot U_{DC}$$

### mit Kondensator

Diodengrenzwerte:

$$U_R \approx 1,3 \cdot U_{eff}$$

$$I_F \approx 1,4 \cdot I_{DC}$$

Erforderliche Eingangsspannung:

$$U_{eff} = (0,85 \cdot U_{DC}) + U_F$$

Gleichspannung:

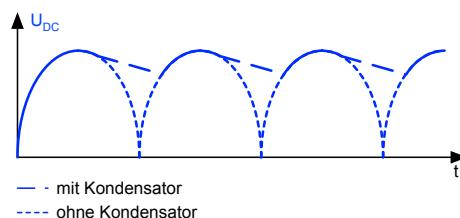
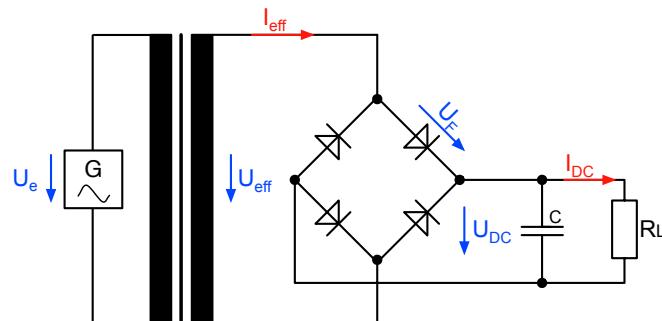
$$U_{DC} = \frac{U_{eff} - U_F}{0,85}$$

Brummspannung:

$$U_{Br} = \frac{0,24 \cdot I_{DC}}{f \cdot C}$$

## Zweiweggleichrichter / Brückengleichrichter (B2U)

### Schaltbild & Diagramm



$$K_F = 1,11$$

$$f_{Br} = 2 \cdot f$$

### Berechnung

$$U_{DC} = I_{DC} \cdot R_L = U_{DC_0} \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{R_i}{2 \cdot R_L}} \right)$$

$$\hat{U}_{Br} = U_{Br_{ss}} = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot I_{DC}}{C} = \frac{I_{DC}}{2 \cdot C \cdot f} \cdot \left( 1 - \sqrt[4]{\frac{R_i}{2 \cdot R_L}} \right)$$

$$U_{DC_{min}} \approx U_{DC} - \frac{2}{3} (U_{Br_{ss}})$$

$$U_{Br} = \frac{1,8 \cdot 10^{-3} \cdot I_{DC}}{C}$$

$$U_{DC_0} = \sqrt{2} \cdot U_{eff} - (2 \cdot U_F)$$

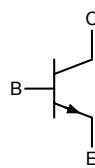
$$P_N = (1,2 \dots 2) \cdot U_{DC} \cdot I_{DC}$$

$$U_R = \sqrt{2} \cdot U_{eff}$$

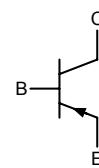
# Bipolare Transistoren

## NPN – Transistor

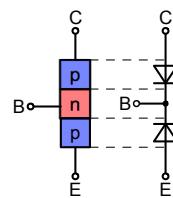
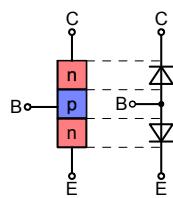
### Schaltzeichen



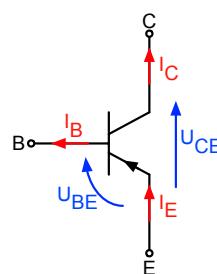
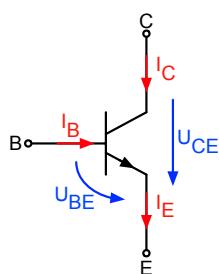
## PNP – Transistor



### Aufbau



### Bezeichnungen



B: Basis

E: Emitter

$U_{BE}$ : Basis-Emitter-Spannung [V]

$U_{CE}$ : Kollektor-Emitter-Spannung [V]

C: Kollektor

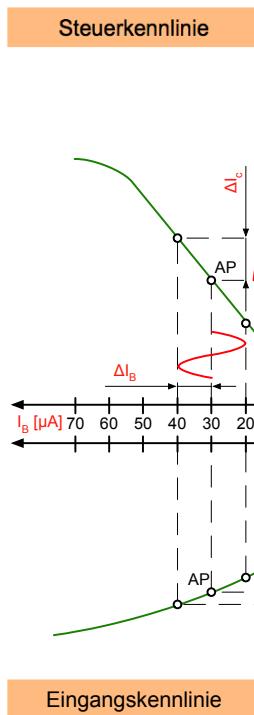
$I_B$ : Basisstrom [A]

$I_C$ : Kollektorstrom [A]

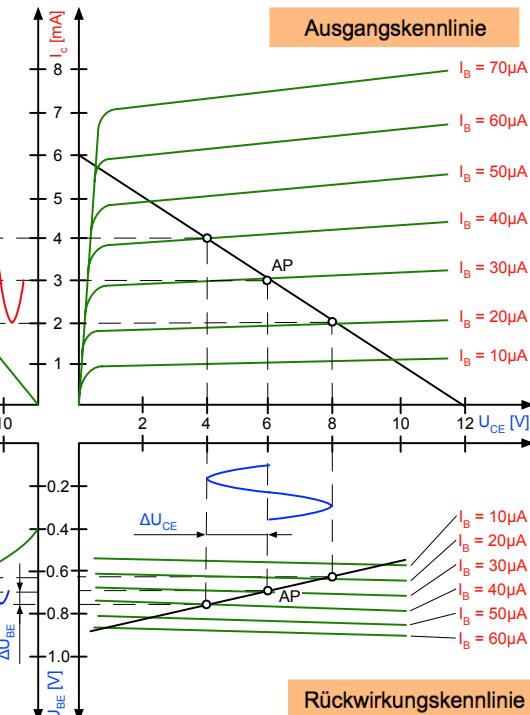
$I_E$ : Emitterstrom [A]

### Vierquadranten Kennlinie

#### Steuerkennlinie



#### Ausgangskennlinie

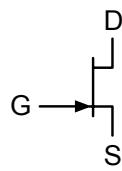


#### Eingangskennlinie

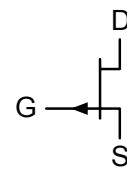
#### Rückwirkungskennlinie

# Unipolare Transistoren

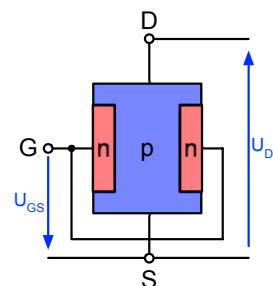
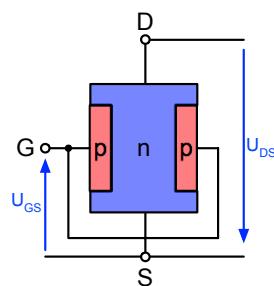
n-Kanal Sperrschiicht FET



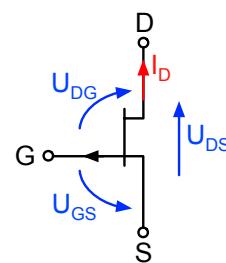
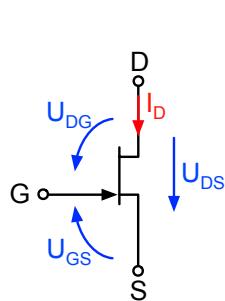
p-Kanal Sperrschiicht FET



Schaltzeichen



Aufbau



Bezeichnung

G: Gate

S: Source

$U_{GS}$ : Gate-Source-Spannung [V]

$U_{DG}$ : Drain-Gate-Spannung [V]

D: Drain

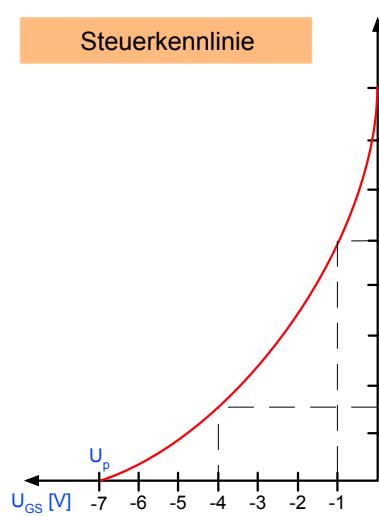
$I_D$ : Drainstrom [A]

$I_{GS}$ : Gate-Source-Strom [A]

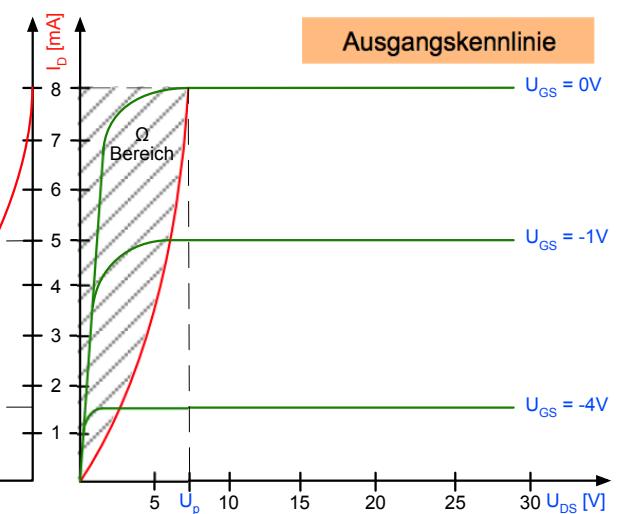
$U_{DS}$ : Drain-Source-Spannung [V]

## Kennlinie

Steuerkennlinie



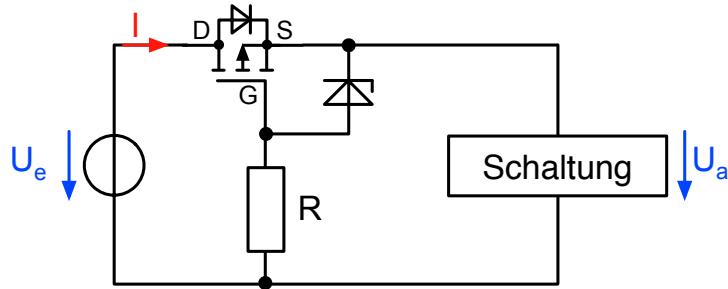
Ausgangskennlinie



Pinch Off Voltage oder Abschnürspannung ( $U_p$ ).

Wird diese erreicht, ist der Kanal gesperrt und es fließt praktisch kein Drainstrom mehr.  
Bedenke Leckstrom!

## Verpolungsschutz

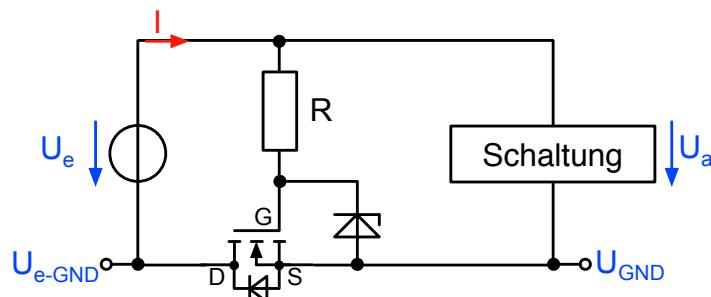


Eine elegantere Lösung als eine Diode in Serie als Verpolungsschutz, ist ein P-Kanal Mos-FET. Beim Einschalten ist der Mos-FET Stromkreis nicht geschlossen, aber ein Strom kann über die Diode welche parallel zum Mos-FET liegt fliessen. Dieser Strom bewirkt nun, dass sich der Stromkreis von der Z-Diode und Widerstand schliesst, womit die Sourcespannung grösser ist als die Gatespannung und der Mos-FET nun leitet. Die Z-Diode begrenzt die Gatespannung. Die Verlustspannung ist wegen dem  $R_{DS(on)}$  vom Mos-FET nun deutlich kleiner als bei einer Diode.

$$U_a = U_e - (I \cdot R_{DS(on)})$$

Beispiel P-Kanal Mos-FET FDD5614P:  $R_{DS(on)} = 100\text{m}\Omega \dots 130\text{m}\Omega$

Wird nun die Spannung verpolt angeschlossen, so sperrt die Diode welche parallel zum Mos-FET liegt. Der Mos-FET wird somit nicht leitent.



Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz eines N-Kanal Mos-FET, wobei das Prinzip das gleiche bleibt.

Wichtig ist nun zu beachten, dass mit dieser Schaltung das GND-Potenzial „verschoben“ wird.

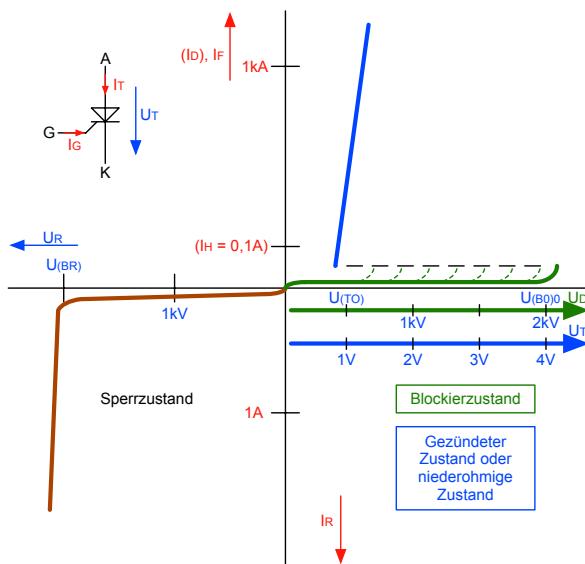
$$U_{e-GND} \neq U_{GND}$$

# Der Thyristor (SCR) – gesteuerte Diode

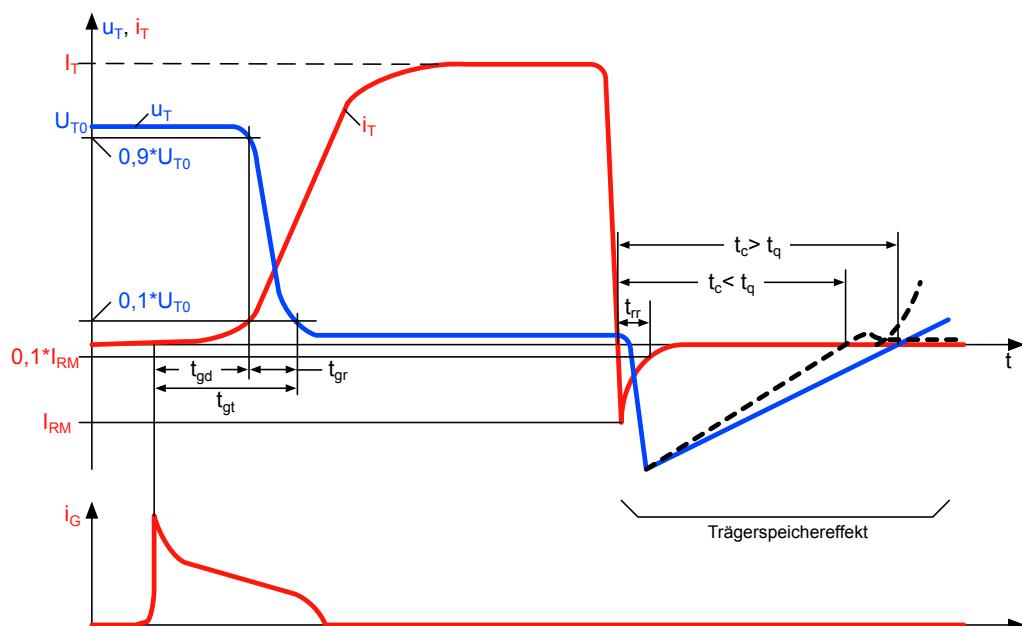
## Kennlinie

$U_{AK}, U_D, U_{BO}$ : Blockierspannung [V]  
 $U_{(BO)0}$ : Nullkippspannung [V]  
 $U_{TO}$ : Schleusenspannung [V]  
 $U_F, U_T$ : Durchlass- / Vorwärtsspannung [V]  
 $U_{BR}$ : Rückwärtsdurchbruchspannung [V]  
 $U_R$ : Rückwärts- / Sperrspannung [V]  
 $t_c$ : Schonzeit [s]  
 $t_{rr}$ : Sperrverzugszeit [s]  
 $t_{gt}$ : Schaltzeit [s]  
 $t_{ein}$ : Einschaltzeit [s]

$I_H$ : Haltestrom [A]  
 $I_G, I_s$ : Steuer- / Gatestrom [A]  
 $I_{T-AVM}$ : max. zulässiger  $I_T$  [A]  
 $I_F, I_T$ : Durchlassstrom [A]  
 $I_R$ : Sperrstrom [A]  
 $T$ : Periodendauer [s]  
 $t_d$ : Freiwerdezeit [s]  
 $t_{gd}$ : Schaltverzugszeit [s]  
 $t_{gr}$ : Zündzeit [s]  
 $t_{aus}$ : Ausschaltzeit [s]



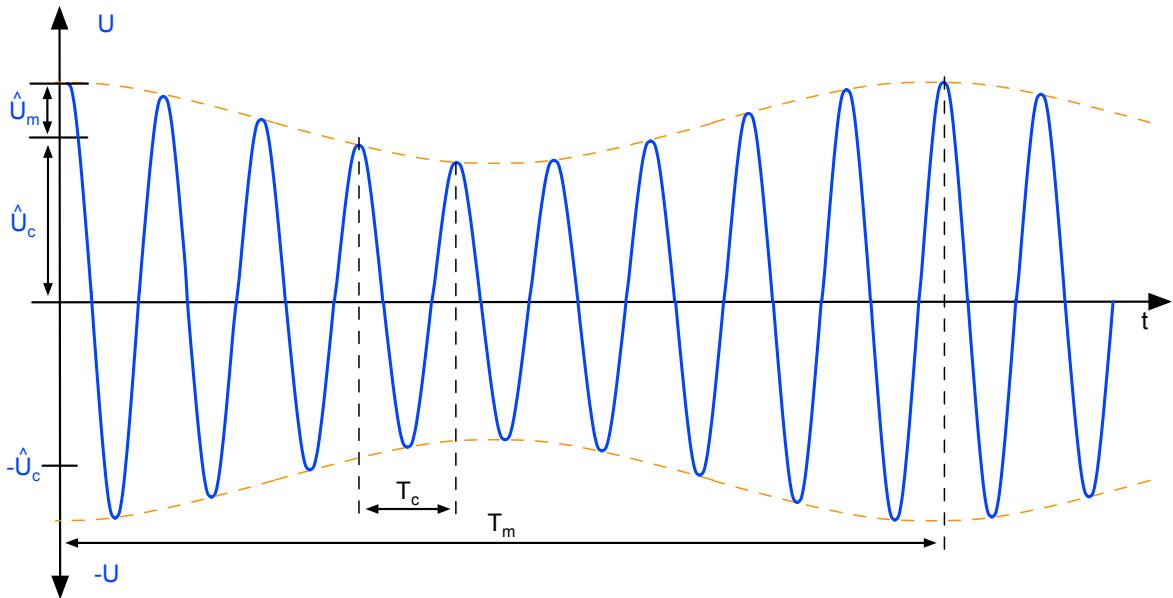
## Einschaltverhalten



Schonzeit ( $k \sim 1,5$ ):

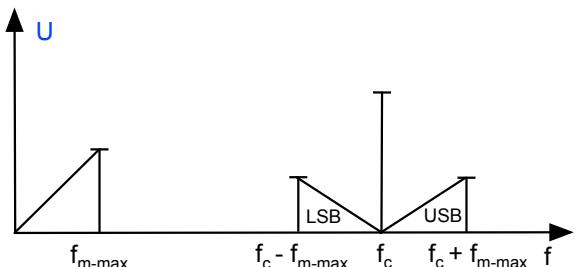
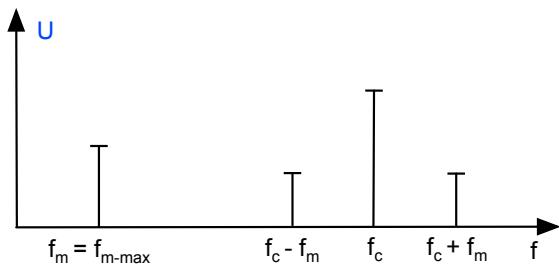
$$t_c = k \cdot t_q$$

## Amplitudenmodulation AM



AM mit NF-Schwingung

AM mit NF-Band



LSB: Lower side band  
MSB: Upper side band

Modulationsgrad

$$m = \frac{\hat{U}_m}{\hat{U}_c}$$

Der Modulationsgrad  $m$  ist immer kleiner 100%. Dieser wird maximal bis ca. 80% moduliert (maximale Lautstärke bei einem Audiosignal).

$$b = 2 \cdot f_{m\text{-max}}$$

$$\eta = \frac{m^2}{4 + 2m^2}$$

$$P_{\text{ges}} = 2 \cdot P_m + P_c$$

# Antriebstechnik – Elektrische Maschinen

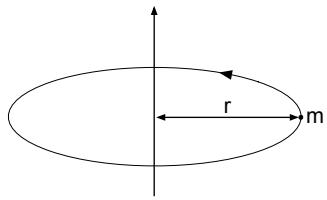
## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	196
Grundlagen elektrischer Maschinen.....	197
Betriebsarten .....	200
Betriebsart S1 .....	202
Betriebsart S2 .....	203
Betriebsart S3 .....	204
Betriebsart S8 .....	204
Wirkungsprinzip der elektrischen Maschine – Wandlungsprinzip .....	205
Krafterzeugung .....	205
Drehmomenterzeugung .....	205
Spannungserzeugung – Induktionsgesetz.....	206
DC-Maschine.....	207
Grundgesetze .....	208
Erzeugung des Hauptmagnetfeldes .....	209
Mit Wicklung und Elektromagnet .....	210
Antriebssteuerungen und Antriebsregelungen .....	212
AC-Maschine.....	214
Synchronmotor.....	215
Betriebsart nach Steuerkonzept .....	215
Ansteuerarten nach Konstruktion .....	216
Dreiphasen-, Drehstrommaschine .....	217
DAM – Drehstromsynchrongenerator .....	217
Gebersysteme .....	221
Erfassung.....	221

## Trägheitsmoment (Schwungmasse)

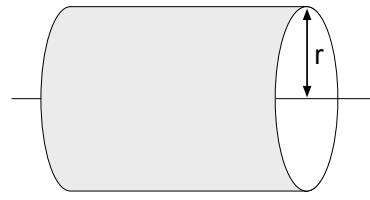
Punktmasse

$$J = r^2 \cdot m$$



Zylindermantel mit dünnem Mantel

$$J \approx r^2 \cdot m$$



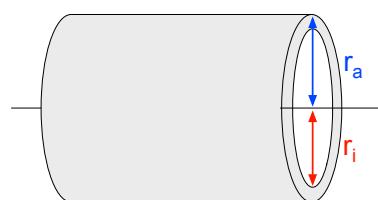
Vollzylinder

$$J = \frac{m \cdot r^2}{2}$$



Hohlzylinder

$$J = \frac{m \cdot (r_a^2 + r_i^2)}{2}$$



## Beschleunigungs- & Hochlaufzeit

Beschleunigungszeit für einen bestimmten Drehzahlbereich und Beschleunigungsmoment (konstant):

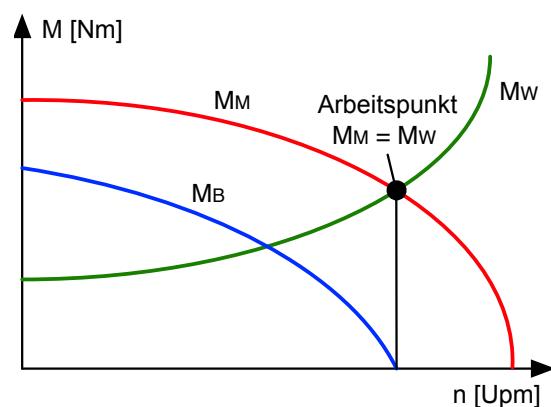
$$t = \frac{J_{\text{tot}} \cdot (2\pi \cdot \Delta n)}{60 \text{ s/min} \cdot M_B}$$

Die Zeit, die vergeht bis ein Motor mit  $n = 0$ , seine Solldrehzahl  $n_s$  oder seinen Arbeitspunkt  $M_M = M_W$  erreicht hat, nennt man Hochlaufzeit oder Anlaufdauer  $t_A$ . Dazu werden die einzelnen (falls mehrere vorhanden) Beschleunigungszeiten zusammen addiert.  
Ohne Last entspricht  $M_M = M_B$ .

## Arbeitspunkt

Wenn  $M_W = M_M$  ist, befindet sich der Antrieb im stabilen Zustand, d.h. der Antrieb dreht mit einer konstanten Drehzahl → der Antrieb arbeitet im Arbeitspunkt (AP).

$$\begin{aligned} M_B &= M_M - M_W \\ M_B &= (M_M - M_W) \cdot \frac{I_{\text{Nenn}}}{I_{\text{Max}}} \end{aligned}$$



## Mittleres, erwärmungs relevantes Drehmoment & Leistung

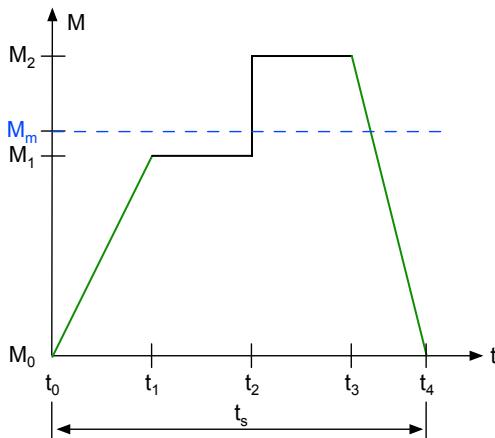
### Drehmoment

Bei gerader Steigung

$$M_{x-y} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot [M_x \cdot M_y + (M_x^2 + M_y^2)]}$$

Mittelwert (RMS)

$$M_m = \frac{\sqrt{(M_x^2 \cdot \Delta t_x) + (M_y^2 \cdot \Delta t_y) + \dots}}{\sqrt{t_s}}$$



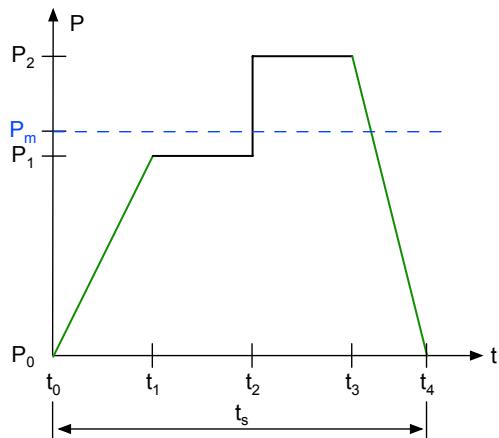
### Leistung ( $P_{ab}$ )

Bei gerader Steigung

$$P_{x-y} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot [M_x \cdot M_y + (M_x^2 + M_y^2)]}$$

Mittelwert (RMS)

$$P_m = \frac{\sqrt{(P_x^2 \cdot \Delta t_x) + (P_y^2 \cdot \Delta t_y) + \dots}}{\sqrt{t_s}}$$



Bei einer unregelmässig belasteten Maschine ist der Mittelwert (RMS) der Belastung für die Auslegung der Maschine maßgebend.

## Betriebsarten

$P_v$ : Verlustleistung [W]

ED: relative Einschaltdauer [ $t_1/T_{tot}$ ]

$\Delta\vartheta_u$ : Temperaturzunahme [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta\vartheta_{ue}$ : Maximal zulässige Temperaturzunahme [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$P_{ab}$ : Abgegebene Leistung [W]

$\vartheta_u$ : Übertemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\vartheta_{ue}$ : Übertemperatur Endzustand [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\vartheta_{Umg}$ : Umgebungstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

### Generell

Die Erwärmung der Maschine bestimmt deren Grösse.

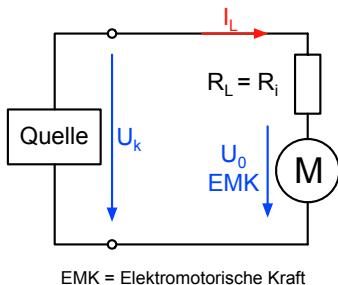
Die Verlustleistung ist proportional zum Strom ( $P_v \sim I^2$ ) und der Strom ist proportional zum Drehmoment ( $I \sim M$ ). Daraus ergibt sich der Zusammenhang zwischen der Maschinenleistung und der Verlustleistung in der Maschine ( $P_v \sim P_{ab}^2$ ).

Wie bei einem Widerstand ist auch eine Maschine für eine gewisse Verlustleistung gebaut. Ist ein Widerstand mit 0,25W gekennzeichnet, so verträgt dieser höchstens diese Leistung im Dauerbetrieb. Diese Leistung darf aber kurzzeitig überschritten werden, wenn während dieser Zeit der Widerstand nicht zu heiss wird. Für die elektrischen Maschinen gelten grundsätzlich die gleichen Überlegungen.

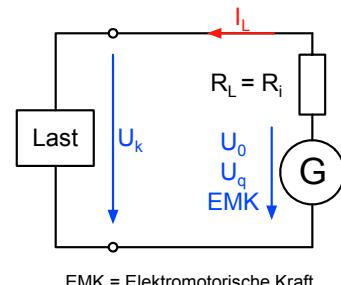
Diese verschiedenen Betriebsarten wurden mit S1-10 definiert.

## 1. Grundgesetz

### Motor



### Generator



$$U_k = U_0 + (I_L \cdot R_i)$$

$$U_k = U_0 - (I_L \cdot R_i)$$

Die Drehzahl des Motors:  $n = f(U_0, \Phi)$

$$n = \frac{U_0}{\Phi} \cdot C$$

Die Klemmenspg. des Gen.:  $n = f(U_0, \Phi)$

$$U_0 = \Phi \cdot n \cdot C$$

Die Drehzahl des Motors:  $n = f(U_0, \Phi)$

$$n \sim U_0$$

$$n \sim \frac{1}{\Phi}$$

Die Klemmenspg. des Gen.:  $n = f(U_0, \Phi)$

$$U_0 \sim n$$

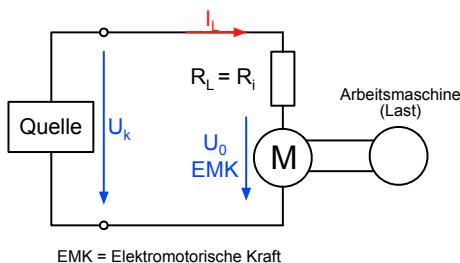
$$U_0 \sim \Phi$$

$n$  ist nicht proportional zu  $U_k$

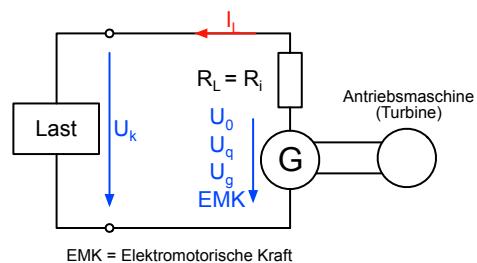
$U_k \neq U_0 \rightarrow$  Einzige Ausnahme = Leerlauf

## 2. Grundgesetz

### Motor



### Generator



$$M = F \cdot \frac{d}{2} = B \cdot I \cdot \ell \cdot z \cdot \frac{d}{2} \cdot k = \Phi \cdot I \cdot C'$$

$$M \sim \Phi$$

$$M \sim I$$

## Erzeugung des Hauptmagnetfeldes

### Ohne Wicklung und mit Dauermagnet

Permanentmagneterregung:

Diese Erregungsart wird vorwiegend bei Antrieben <5kW verwendet. Insbesondere die elektronisch kommutierten DC-Antriebe werden mit dieser Erregungsart realisiert.

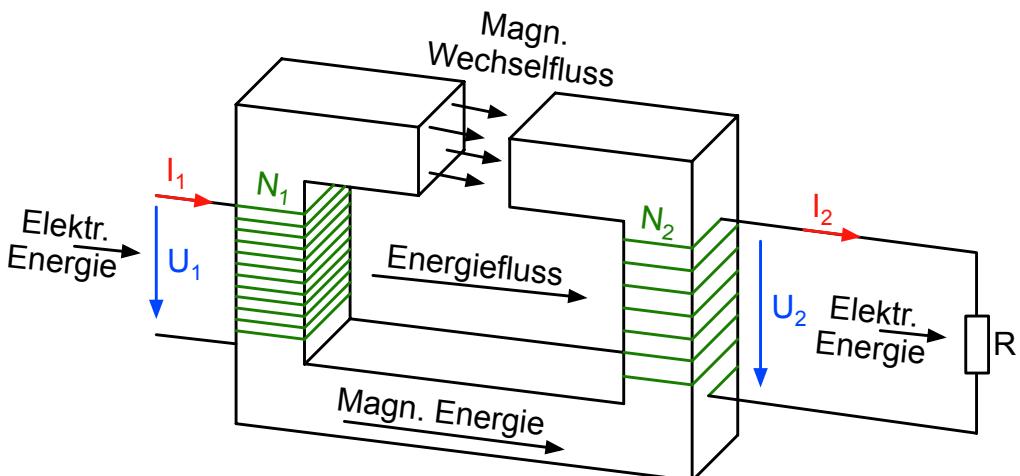
DC-Antriebe >10kW mit Permanentmagnet für kommerzielle Anwendungen existieren nicht.

# AC-Maschine

U: Spannung [V]  
 B: magn. Flussdichte [ $\text{Vs}/\text{m}^2 = \text{T}$ ]  
 N: Windungszahl  
 ü: Übersetzung  
 $n_s$ : Drehfelddrehzahl [Upm]  
 $\vartheta_K$ : Kippmoment-Winkel [ $^\circ$ ]  
 $n_L$ : Läuferdrehzahl [Upm]

I: Strom [A]  
 $\Phi$ : magn. Fluss [ $\text{Vs} = \text{Wb}$ ]  
 $\xi$ : Korrekturfaktor  
 s: Schlupf  
 p: Polzahl  
 $\vartheta_N$ : Nennmoment-Winkel [ $^\circ$ ]  
 $f_L$ : Läuferfrequenz [Hz]

## Idealer Einphasentransformator



$$\dot{U} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$U_1 = N_1 \cdot \frac{\Delta \Phi_1}{\Delta t_1}$$

$$U_2 = N_2 \cdot \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t_2}$$

$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I}$$

$$U = I \cdot X_L = I \cdot 2\pi \cdot f \cdot L = N \cdot 2\pi \cdot f \cdot \Phi = N \cdot 2\pi \cdot f \cdot B \cdot A$$

$$U = N \cdot 2\pi \cdot f \cdot \frac{B_{\max}}{\sqrt{2}} \cdot A$$

$$U = 4,44 \cdot N \cdot 2\pi \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A$$

Bezogen auf den Maximalwert eines sinusförmigen Wechselfeldes.

$$U = 4,44 \cdot N \cdot 2\pi \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A \cdot \xi$$

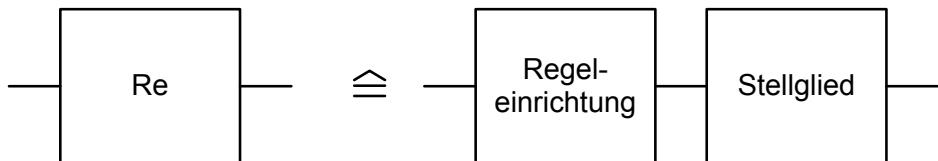
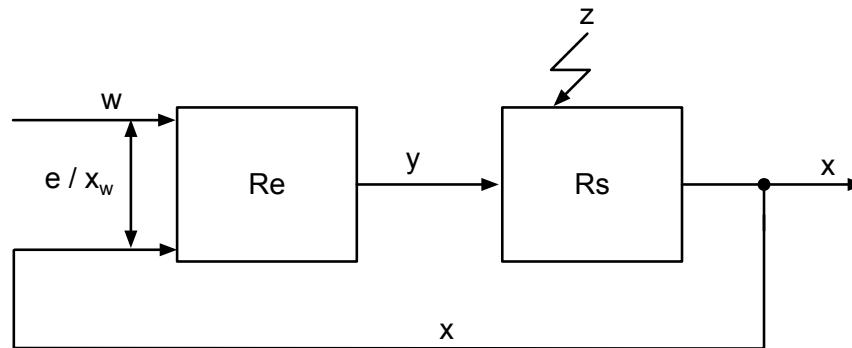
Weil beim Trafo vorausgesetzt wird, dass beide Spulen vom gleichen Fluss durchgesetzt werden, gilt die Gleichung für die Aus- & Eingangsseite des Trafos. Sind die beiden Transformerspulen nicht vom gleichen Fluss erfasst, muss der Korrekturfaktor  $\xi$  (Ksi) eingeführt werden.  $\xi = 1$  bei Netztrafo und Übertrager.

# Regelungstechnik

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	224
Steuerung / Regelung – Unterschied .....	225
Definition .....	225
Aufbau.....	225
Regelung .....	226
Digitale Regler .....	226
Analoge Regler .....	227
Stetige Regler.....	227
Unstetige Regler.....	227
Schaltungsphilosophie .....	229
Zeitglieder .....	230
Totzeitglied ,Tt-Glied' .....	230
Verzögerungsglieder.....	230
Reglerarten .....	231
P-Regler.....	231
I-Regler .....	232
D-Regler.....	233
PI-Regler.....	234
PD-Regler .....	235
PID-Regler .....	236
Begriffe der Regelungstechnik .....	237
Grössen der Regelungstechnik .....	237
Symbolen der Regelungstechnik .....	238

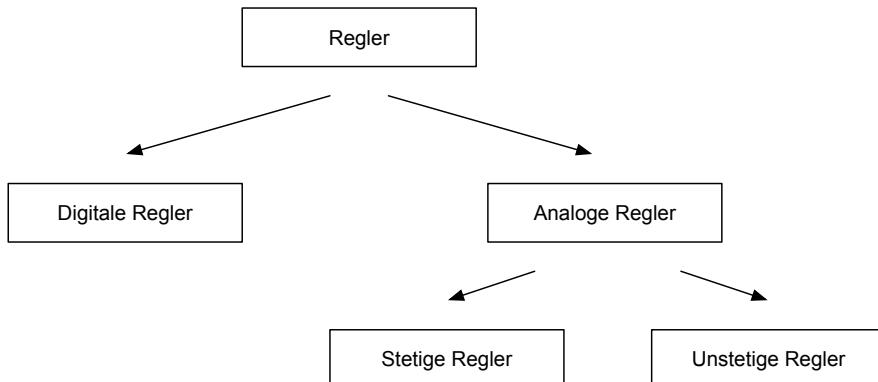
## Regelung



- w: Führungsgröße / Sollwert  
e /  $x_w$ : Regelabweichung / Regeldifferenz  
Re: Regeleinrichtung  
y: Stellgröße  
Rs: Regelstrecke  
z: Störgröße  
x: Regelgröße / Istwert

## Regelung

### Übersicht



## Digitale Regler

### Generell

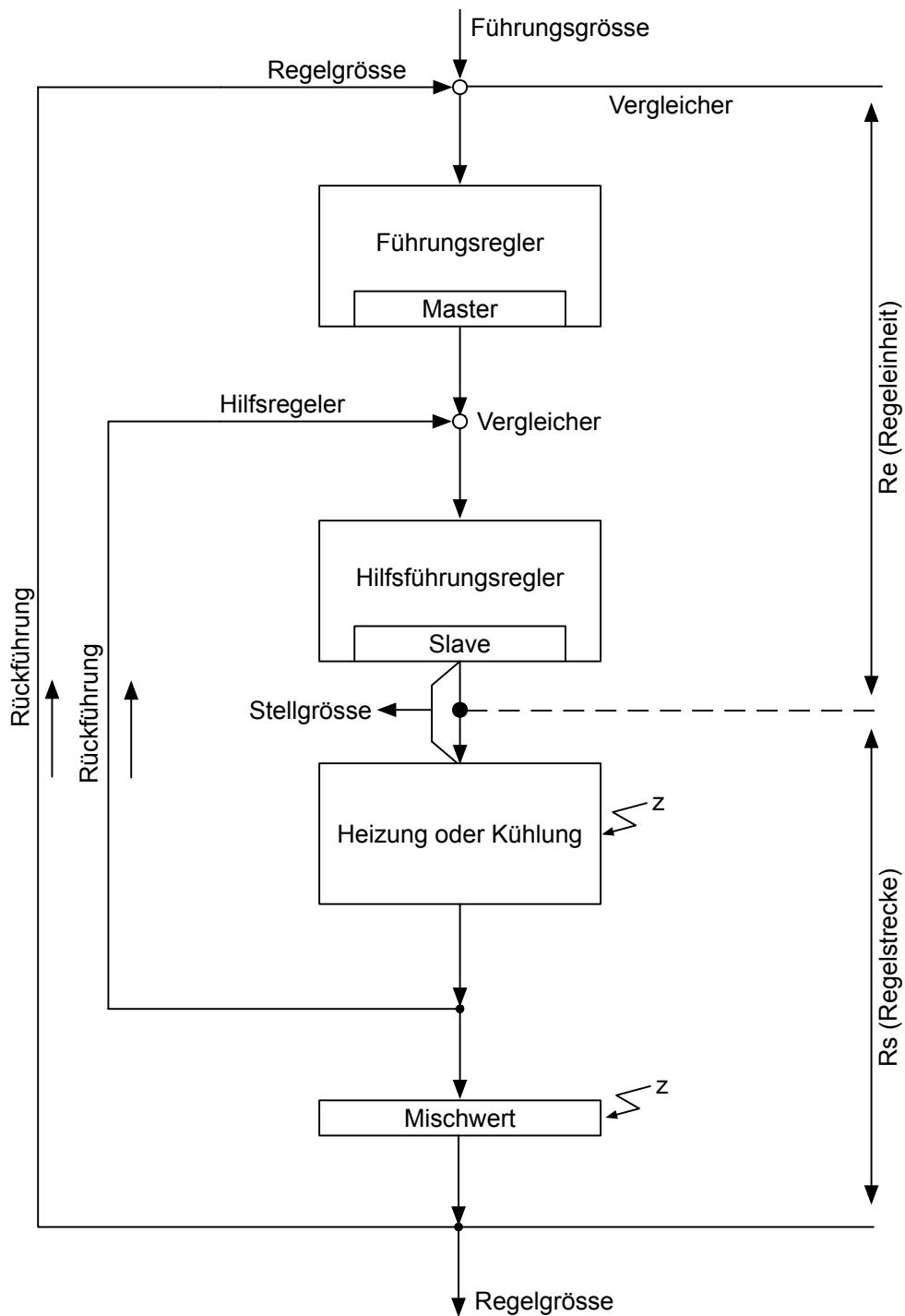
Benötigen ein digitales Eingangssignal. Meistens wird das Eingangssignal digital mittels eines Analog-Digital-Wandlers (ADW) gewandelt. Danach kann die Stellgröße berechnet werden. Diese Stellgröße kann mittels eines Digital-Analog-Wandlers (DAW) wieder zu einem analogen Ausgangssignals gewandelt werden.

## Kaskadenregelung

Bedeutet einen weiteren Regelkreis in einen oder mehreren Regelkreise einzufügen.  
Technisch gesehen ist dies ein Master (Führungsregler) – Slave (Hilfsführungsregler)  
Prinzip. Der Hilfsregler ist ein untergeordneter Regler.

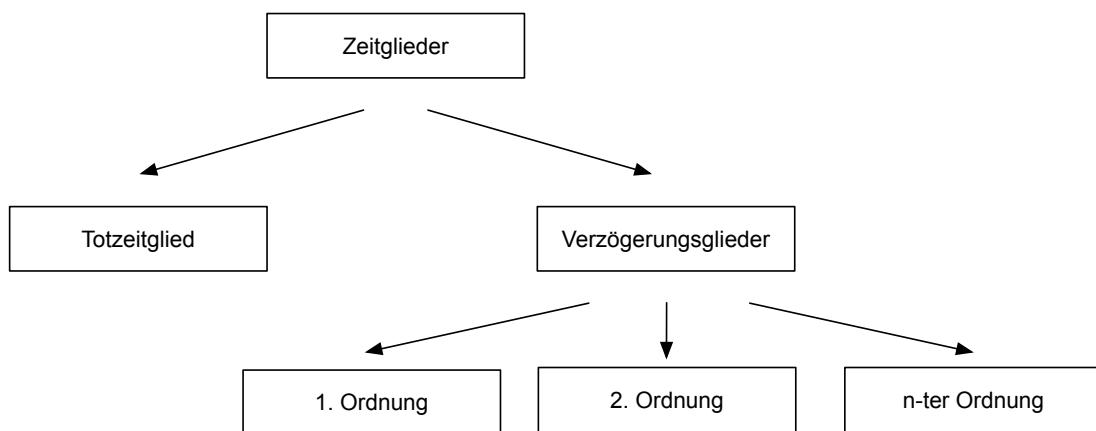
Die Rückführung kann:

- Regelgröße
  - Rückkopplung
  - Hilfsregelgröße
- sein.



# Zeitglieder

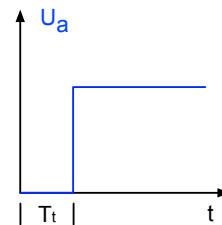
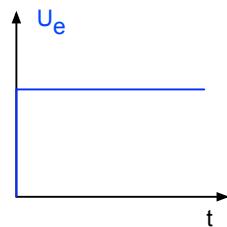
## Übersicht



## Totzeitglied ,Tt-Glied'

### Generell

Wird ein Totzeitglied angesteuert, so erscheint am Ausgang exakt das gleiche Signal, allerdings um eine bestimmte Zeit, die sogenannte Totzeit  $T_t$  (auch Laufzeit genannt), verschoben.

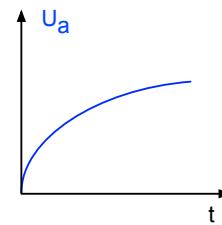
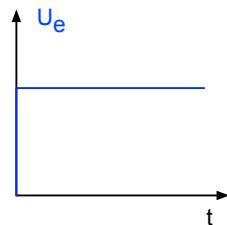


## Verzögerungsglieder

### 1. Ordnung ,T1-Glied'

$T_1$ -Glieder besitzen einen Energiespeicher.

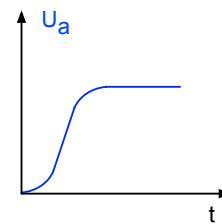
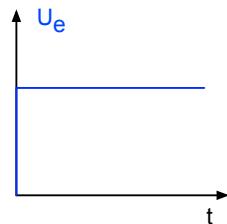
Bedenke RC-Glied → exponentielle Aufladefunktion des Kondensators.



### 2. Ordnung ,T2-Glied'

$T_2$ -Glieder besitzen zwei Energiespeicher.

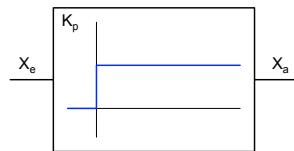
Diese können einfach mit 2  $T_1$ -Glieder in Serie aufgebaut werden.



# Reglerarten

## P-Regler

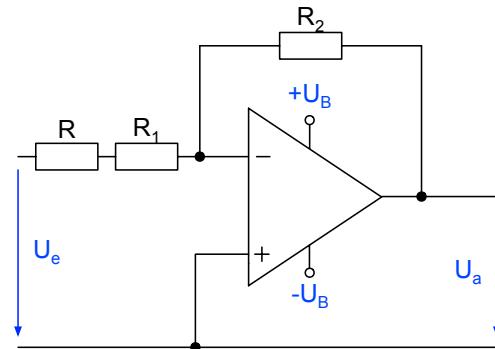
### Symbol



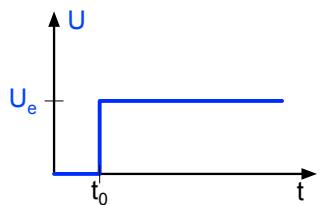
### Aufbau

$$K_p = \frac{R_2}{R_1 + R} = \frac{X_a}{X_e}$$

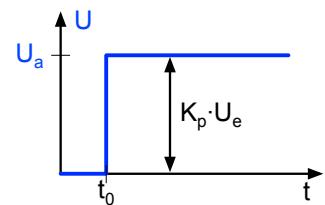
$$U_a = -K_p \cdot U_e$$



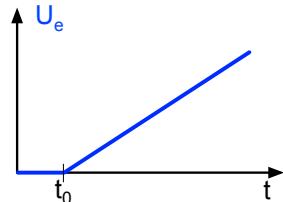
### Sprungantwort



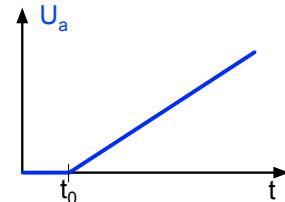
→



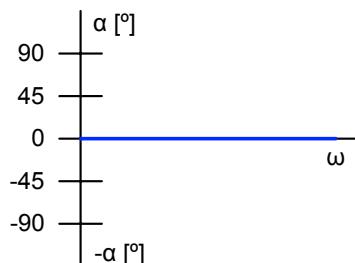
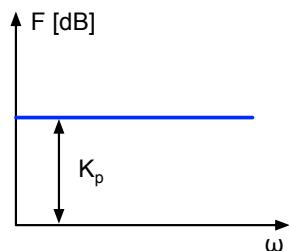
### Rampenantwort



→



### Amplituden- & Phasengang



### Regelverhalten

- Regelt schnell, aber mit bleibender Regeldifferenz.

Regelbereich $x_h$	Ist der Bereich, in dem die Regelgrösse bei korrekter Funktion der Regelung eingestellt werden kann.
Führungs bereich $w_h$	Ist der Bereich, innerhalb dessen die Führungsgrösse liegen kann.
P-Bereich $x_p$	Ist der Bereich, indem sich die Regelgrösse ändern muss, um die Stellgrösse über den Stellbereich zu ändern.
Sprungantwort	Wie verändert sich das Ausgangssignal auf die sprungartige Veränderung des Eingangssignals.
Rampenantwort / Anstiegsantwort	Erfolgt durch den Anwender am Regler eine Sollwertänderung, wird der neue Sollwert rampenförmig übernommen.

## Symbole der Regelungstechnik

$x:$	Regelgrösse	$t:$	Zeit
$y:$	Stellgrösse	$f:$	Frequenz
$z:$	Störgrösse	$\omega:$	Kreisfrequenz
$w:$	Führungsgrösse	$T:$	Zeitkonstante
$x_A:$	Aufgabengrösse	$T_A:$	Anlaufzeit
$x_e:$	Eingangsgrösse	$T_D:$	Differenzierzeit
$x_a:$	Ausgangsgrösse	$T_g:$	Ausgleichszeit
$x_w:$	Regelabweichung	$T_i:$	Integrierzeit
$x_d:$	Regeldifferenz	$T_n:$	Nachstellzeit
$()I:$	Istwert	$T_v:$	Vorhaltezeit
$()S:$	Sollwert	$T_t:$	Totzeit
$x_h:$	Regelbereich	$T_u:$	Verzugszeit
$y_h:$	Stellbereich	$T_y:$	Stellzeit
$x_p:$	P-Bereich	$T_{An}:$	Anregelzeit
$x_{Ah}:$	Aufgabenbereich	$T_R:$	Ausregelzeit
$w_h:$	Führungs bereich	$V_y:$	Stellgeschwindigkeit
$K_D:$	Differenzierbeiwert		
$K_I:$	Integrierbeiwert		
$K_P:$	Proportionalbeiwert		
$K_R:$	Übertragungsbeiwert der Regeleinrichtung		
$K_S:$	Übertragungsbeiwert der Regelstrecke		
$Q:$	Ausgleichswert der Regelstrecke		

# Digitaltechnik

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	241
Dualzahlen .....	242
Umwandlung Dezimal zu Dual.....	242
Schaltalgebra / Boolesche Algebra .....	243
Rechenregel.....	244
Karnaugh-Diagramm (KV).....	245
Disjunktive (DNF) und Konjunktive (KNF) Normalform .....	246
Grundfunktionen & Grundschatungen .....	246
Realisierung einer Grundfunktion durch .....	249
NAND- oder NOR-Gatter .....	249
Logikfamilien .....	250
Aufbau.....	252
Codierung.....	254
Numerische Codes .....	254
Wortcodes .....	254
Zifferncodes (BCD Codes) .....	255
Alphanumerische Codes.....	258
Bit Vergleicher .....	260
Rechenschaltung .....	261
Halbaddierer .....	261
Volladdierer.....	262
Graphische Symbole – Binäre Elemente .....	264
Symbolaufbau.....	264
Kennzeichnungssymbole .....	265
Flip-Flop .....	270
Taktzustandsgesteuert.....	270
Einflankengesteuert .....	271
Zweiflankengesteuert.....	274
Frequenz-Zähler .....	275
Asynchron .....	275
Synchron.....	277
Frequenzteiler .....	277
Schieberegister .....	278
Analog-Digital- / Digital-Analog-Wandler.....	280
AD-Wandler .....	281
Fehler/Abweichungen.....	283
Aufbau .....	284
DA-Wandler .....	287
Fehler/Abweichungen.....	287
Aufbau .....	289

Multiplexer / Demultiplexer.....	291
Multiplexer .....	291
Demultiplexer.....	291
Halbleiterspeicher .....	292
Random-Access-Memory – RAM .....	294
SRAM .....	294
DRAM .....	295
Read-Only-Memory – ROM .....	296
MROM .....	296
PROM.....	296
EPROM .....	297
EEPROM.....	297

# Karnaugh-Diagramm (KV)

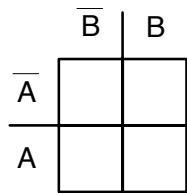
## Generell

Nebst den schaltalgebraischen Methoden dient auch das KV-Diagramm für die Vereinfachung von Funktionsgleichungen. Bei einer Funktion mit N-Eingangsvariablen benötigt man  $2^N$  Felder. Am Rand dieser Felder sind die Eingangsvariablen stets negiert und nicht negiert. Alle Zeilen der Wahrheitstabelle, bei welchen die Ausgangsvariable 1 wird, werden ebenfalls als 1 in das entsprechende Feld geschrieben.

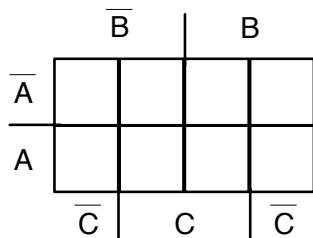
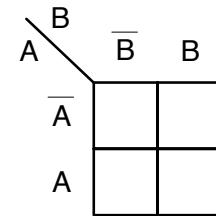
## Anwendungsbeispiel

Wahrheitstabelle / Funktionsgleichung	KV-Diagramm	Lösung															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>A</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> $Z = /A \wedge /B \vee A \wedge /B \vee /A \wedge B$	B	A	Z	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0		$Z = /A \wedge /B$ $Z = /(A \wedge B)$ $Z = \text{NAND}$
B	A	Z															
0	0	1															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	0															

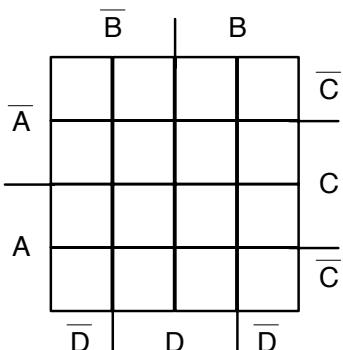
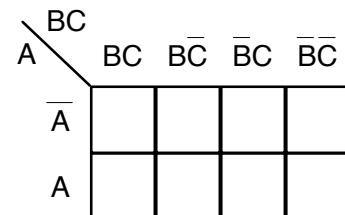
## Beispieldfelder



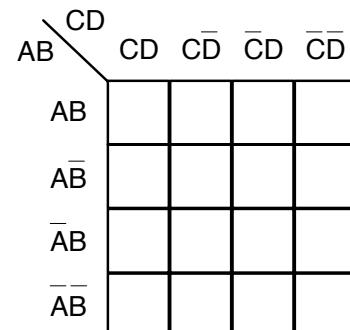
oder



oder



oder

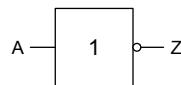


## NOT / NICHT

Funktions-gleichung

$$Z = /A$$

Schalt-zeichen (IEC)



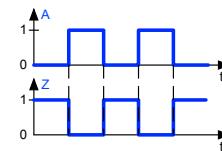
Kontakt-schaltung



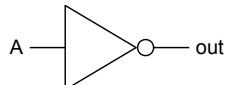
Wahrheits-tabelle

A	Z
0	1
1	0

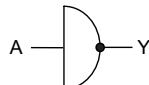
Zeitdiagramm



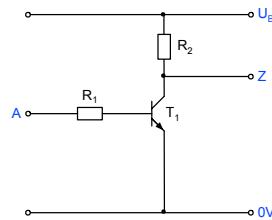
Schaltzeichen (ANSI)



Schaltzeichen (DIN)



Dioden-Transistor-Logik (DTL)



## NAND – Not AND / Nicht UND

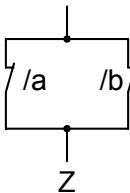
Funktions-gleichung

$$\begin{aligned} Z &= /(A \wedge B) \\ Z &= /A \cdot B \\ Z &= /AB \end{aligned}$$

Schalt-zeichen (IEC)



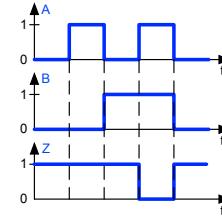
Kontakt-schaltung



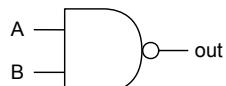
Wahrheits-tabelle

B	A	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

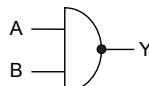
Zeitdiagramm



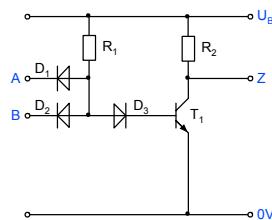
Schaltzeichen (ANSI)



Schaltzeichen (DIN)



Dioden-Transistor-Logik (DTL)

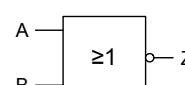


## NOR – Not OR / Nicht ODER

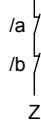
Funktions-gleichung

$$\begin{aligned} Z &= /(A \vee B) \\ Z &= /A + B \end{aligned}$$

Schalt-zeichen (IEC)



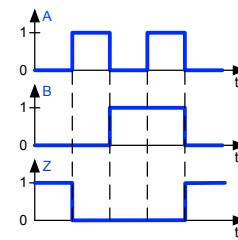
Kontakt-schaltung



Wahrheits-tabelle

B	A	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Zeitdiagramm



### Exzess-3-Code

Beim 3-Exzess-Code, oder Stibitz-Code, ist der gültige Zahlenbereich 0 bis 9 um 3 Tetraden verschoben. Die Pseudotetraden verteilen sich also auf 3 am Anfang und 3 am Ende der 16 möglichen Kombinationen.

Der Vorteil vom 3-Exzess-Code ist, dass die Zahl 0 nicht durch binär 0000 sondern durch 0011 dargestellt wird. Damit kann bei einer Datenübertragung eine Leitungsunterbrechung erkannt werden.

Exzess-Code				
0	Pseudo-tetraden			
1				
2				
3	0		■	■
4	1		■	■
5	2		■	■
6	3		■	■
7	4		■	■
8	5		■	■
9	6		■	■
10	7		■	■
11	8		■	■
12	9		■	■
13	Pseudo-tetraden			
14				
15				

### Fehlererkennende Codes

Binäre Codierung oder Binärdaten sind fehleranfällig. Fehler während der Übertragung können durch Rauschen oder Geräteausfall entstehen.

Fehler können auch mit Hilfe von Paritätsbits erkannt werden. Hierbei handelt es sich um ein zusätzliches Bit, das angibt, ob die Gesamtzahl der Einsen gerade oder ungerade ist.

Welches Bit innerhalb des Codes das Paritätsbit ist, ist reine Definitionssache.

#### Paritätsbit gerade (Even)

Gerade (Even)				
8	4	2	1	P
0				
1			■	■
2		■	■	■
3		■	■	■
4	■		■	■
5		■	■	■
6		■	■	■
7		■	■	■
8	■		■	■
9		■	■	■

#### Paritätsbit ungerade (Odd)

Ungerade (Odd)				
8	4	2	1	P
0				
1				■
2		■	■	■
3		■	■	■
4	■		■	■
5		■	■	■
6		■	■	■
7		■	■	■
8	■		■	■
9		■	■	■

## ASCII-Code

Der ASCII-Code steht für **American Standard Code for Information Interchange**.

Jedem Zeichen wird ein Bitmuster aus 7-Bit zugeordnet. Da jedes Bit zwei Werte annehmen kann, gibt es  $2^7 \rightarrow 128$  verschiedene Bitmuster, die auch als die ganzen Zahlen 0 – 127 interpretiert werden können.

In nicht-englischen Sprachen verwendete Sonderzeichen, beispielsweise die deutschen Umlaute, sind im ASCII-Zeichensatz nicht enthalten. Für eine Erweiterung würden mindestens 8-Bit benötigt.

Das für ASCII nicht benutzte Bit kann auch für Fehlerkorrekturzwecke (Paritätsbit) auf den Kommunikationsleitungen oder für andere Steuerungsaufgaben verwendet werden. Heute wird es fast immer zur Erweiterung von ASCII auf einen 8-Bit-Code verwendet. Diese Erweiterungen sind mit dem ursprünglichen ASCII weitgehend kompatibel, so dass alle im ASCII definierten Zeichen auch in den verschiedenen Erweiterungen durch die gleichen Bitmuster kodiert werden. Die einfachsten Erweiterungen sind Kodierungen mit sprachspezifischen Zeichen, die nicht im lateinischen Grundalphabet enthalten sind.

Dezimal	Hexa-dezimal	Charakter									
0	0	NULL	32	20	SPACE	64	40	@	96	60	`
1	1	SOH	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	STX	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	ETX	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	EOT	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	5	ENQ	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	ACK	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	BEL	39	27	,	71	47	G	103	67	g
8	8	BS	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	TAB	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	LF	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	VT	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	FF	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	CR	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	SO	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	SI	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	DLE	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	DC1	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	DC2	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	DC3	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	DC4	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	NAK	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	SYN	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	ETB	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	CAN	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	EM	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	SUB	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	ESC	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	FS	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	
29	1D	GS	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	RS	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	US	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	DEL

NULL	null	SI	Einrücken
SOH	Beginn der Kopfzeile	DLE	Datenverbindung abbrechen
STX	Beginn des Textes	DCx	Geräte-Steuersignale
ETX	Ende des Textes	NAK	Fehlermeldung
EOT	Ende der Übertragung	SYN	Synchronisation
ENQ	Anfrage	ETB	Ende eines Datenblocks
ACK	Bestätigung	CAN	Widerruf
BEL	Klingel	EM	Ende des Datenträgers
BS	Rückschritt	SUB	Ersatz
TAB	Tabulator horizontal	ESC	Abbruch
LF	Zeilenvorschub	FS	Block-Trennzeichen
VT	Tabulator vertikal	GS	Gruppen-Trennzeichen
FF	Blattvorschub	RS	Aufnahme-Trennzeichen
CR	Wagenrücklauf	US	Einheiten-Trennzeichen
SO	Ausrücken	SPACE	Leerzeichen/Zwischenraum

# Graphische Symbole – Binäre Elemente

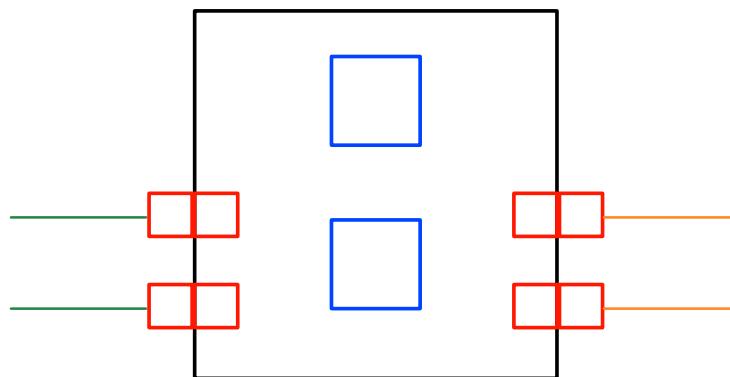
## Einleitung

Es handelt sich hierbei um eine Definition/Norm, die durch die IEC (Internationale-Elektronische-Komission) erstellt wurde, welche den Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang der Logiksymbole und deren Abhängigkeitsnotation beschreibt.

Dieses Kapitel soll dazu dienen, einige der wichtigsten (häufig auftretenden) Symbole aufzulisten und deren Bedeutung zu erläutern.

## Symbolaufbau

### Allgemein

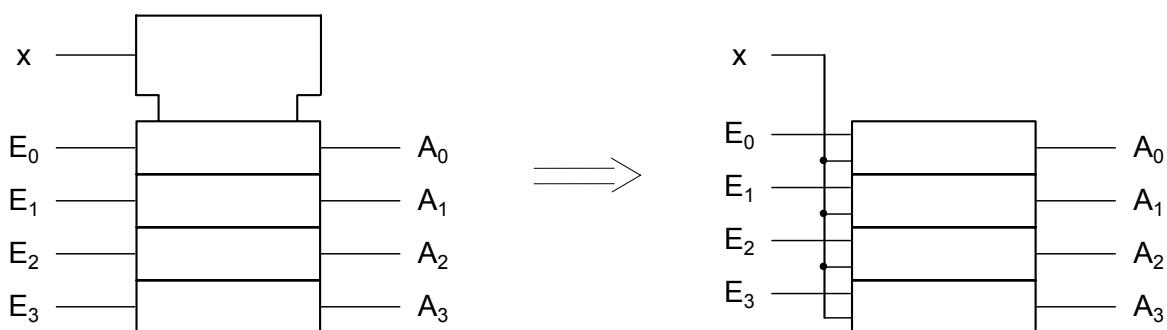


Aufbau:

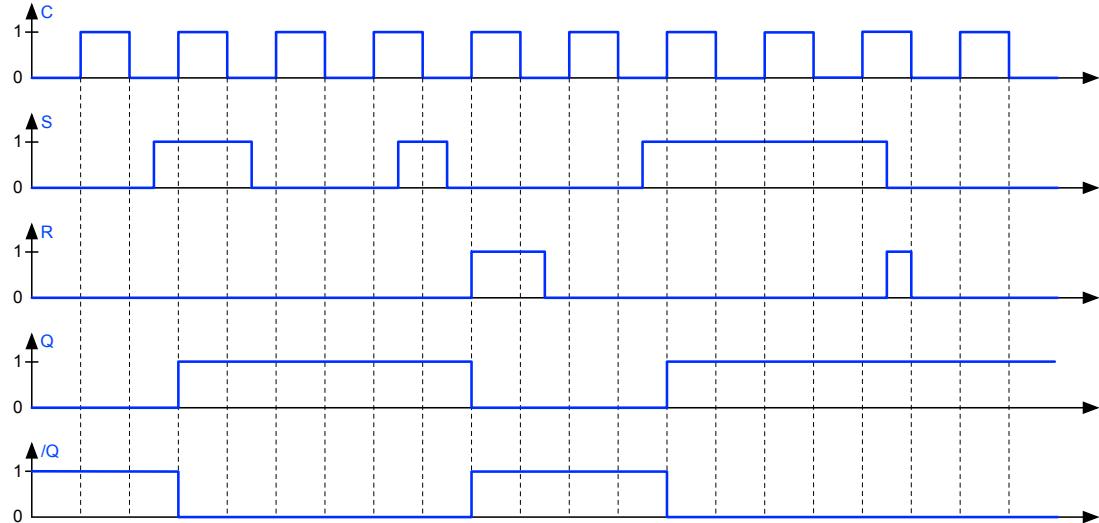
- Kennzeichnungssymbol (zwei Möglichkeiten, z.B. ist bei den Grundschaltungen „UND, OR etc.“ das Kennzeichnungssymbol in der Mitte)
- Weitere Symbole (nicht zwingend)
- Eingänge
- Ausgänge

### Steuerkopf

Ein Steuerkopf kann eingesetzt werden, wenn verschiedene Eingänge einer Schaltung einen gemeinsamen Anschluss haben.

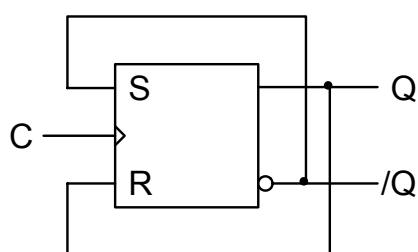


### Positiv flankengesteuert

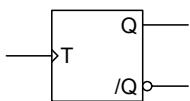


### T Flip-Flop

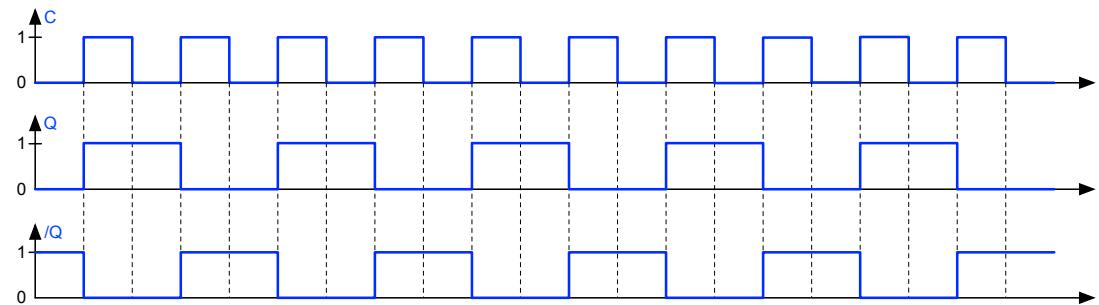
Einsatz als Frequenzteiler



C	Q	/Q	Funktion
0	Q	/Q	Speichern
1	Q	/Q	Toggle



### Positiv flankengesteuert



# Analog-Digital- / Digital-Analog-Wandler

## Generell

Analoge Signale werden vielfach in digitaler Form benötigt. Die digitalen Werte / Informationen lassen sich speichern, weiterverarbeiten und übertragen. Aus digitalen Werten kann auch wieder ein analoges Signal erzeugt werden – z.B.: Musikdaten.

Grundsätzlich sind 3 Schritte notwendig, um ein analoges Signal in eine digitale Form zu bringen:

### 1. Sampling

In gleichen zeitlichen Abständen wird vom analogen Signal ein Momentanwert gemessen. Dadurch entsteht eine Folge von Messwerten.

### 2. Quantisierung

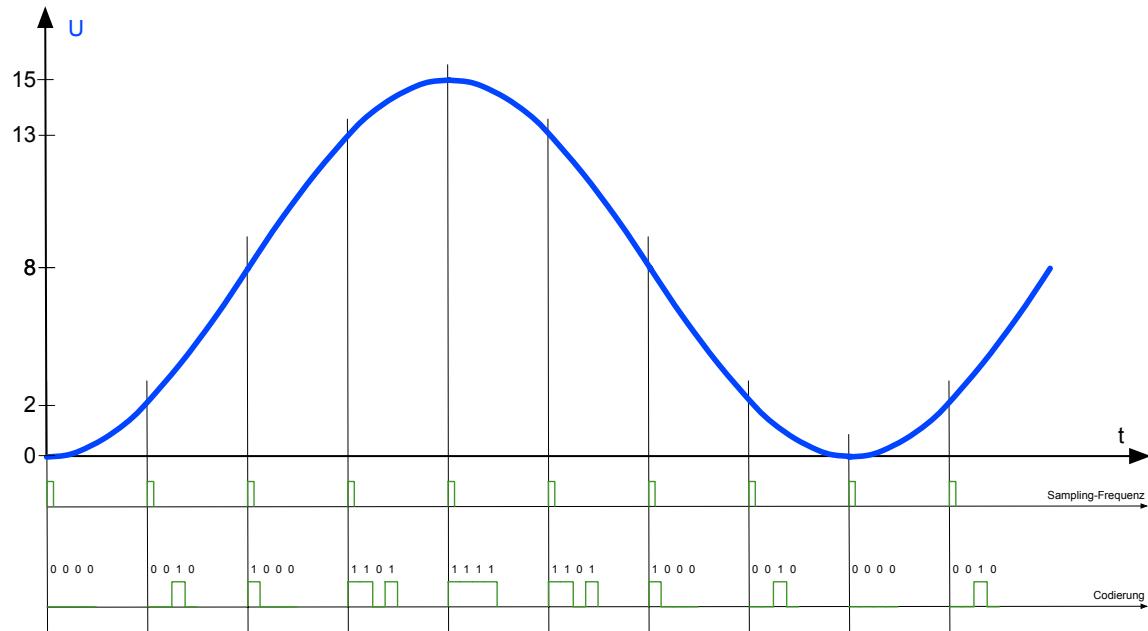
Jeder Messwert wird in ein vorgegebenes Raster von Abstufungen eingeordnet und einem Wert, der dem gemessenem Wert am nächsten kommt zugeordnet.

### 3. Codierung

Jeder eingeordneter Messwert wird nun aus dem Zahlensystem, in dem es gemessen und quantisiert wurde, in das Dualsystem übertragen, damit es mit den logischen Zuständen „0“ – Low und „1“ – High darstellbar wird.

## Sampling-Quantisierung-Codierung

Im folgenden Bild sind die 3 Schritte zu erkennen.



In diesem Beispiel wird eine Auflösung von 4-Bit eingesetzt – 1 Bit entspricht somit 1V:

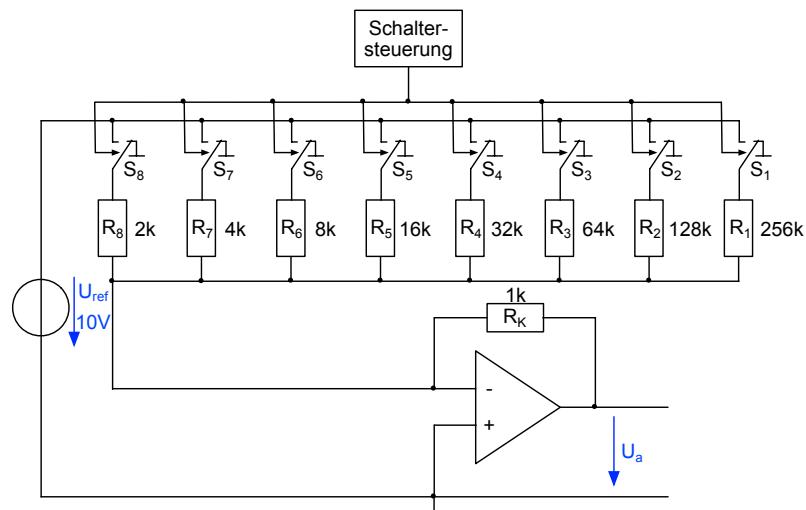
$$U_{\text{Auflösung}} = U_{\text{LSB}} = \frac{U}{2^4 - 1} = \frac{15}{16 - 1} = 1V$$

Das Signal wird in gleichen zeitlichen Abständen abgetastet (**Sampling**). Das Messsignal wird mehrmals abgetastet, hierbei spricht man von der „Sampling-Frequenz  $f_s$ “. Je höher diese Frequenz ist, desto genauer kann ein Signal erfasst werden. Wie im oberen Bild zu erkennen ist, wird das Signal durch eine so kleine Sampling-Frequenz sehr ungenau erfasst.

## Aufbau

### Einfaches Prinzip – Gewichtete Widerstände

Ein DA-Wandler kann wie in der unteren Schaltung aufgezeigt, mit gestuften Widerständen aufgebaut werden.



$$U_a = -\frac{R_K}{R_{x-aktiv}} \cdot U_{ref} = -\frac{1k}{R_{x-aktiv}} \cdot 10V$$

$R_{x-aktiv}$  steht hierbei für die aktiven Widerstände, die über die Schalter dazugeschalten werden.

Die Ausgangsspannung variiert anhand der **aktiven** Schalterstellungen:

$S_8$	$S_7$	$S_6$	$S_5$	$S_4$	$S_3$	$S_2$	$S_1$	$U_a$
0	0	0	0	0	0	0	0	0V
0	0	0	0	0	0	0	1	0.039V
0	0	0	0	0	0	1	0	0.078V
0	0	0	0	0	0	1	1	0.117V
0	0	0	0	0	1	0	0	0.156V
0	0	0	0	0	1	0	1	0.195V
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	1	1	1	1	0	1	0	9.765V
1	1	1	1	1	0	1	1	9.804V
1	1	1	1	1	1	0	0	9.843V
1	1	1	1	1	1	0	1	9.882V
1	1	1	1	1	1	1	0	9.921V
1	1	1	1	1	1	1	1	9.960V

Eine solche Schaltung kommt nicht zum Einsatz, da diese folgende Nachteile hat:

- Die Referenzspannung  $U_{ref}$  wird durch die Schalterstellungen unterschiedlich belastet.
- Stark unterschiedliche Widerstände lassen sich schlecht integrieren.

Typ	Bedeutung
SRAM	Static RAM
DRAM	Dynamic RAM
MROM	Mask ROM
PROM	Programmable ROM
EPROM	Erasable PROM
Flash-EPROM / EEPROM	Electrically EPROM

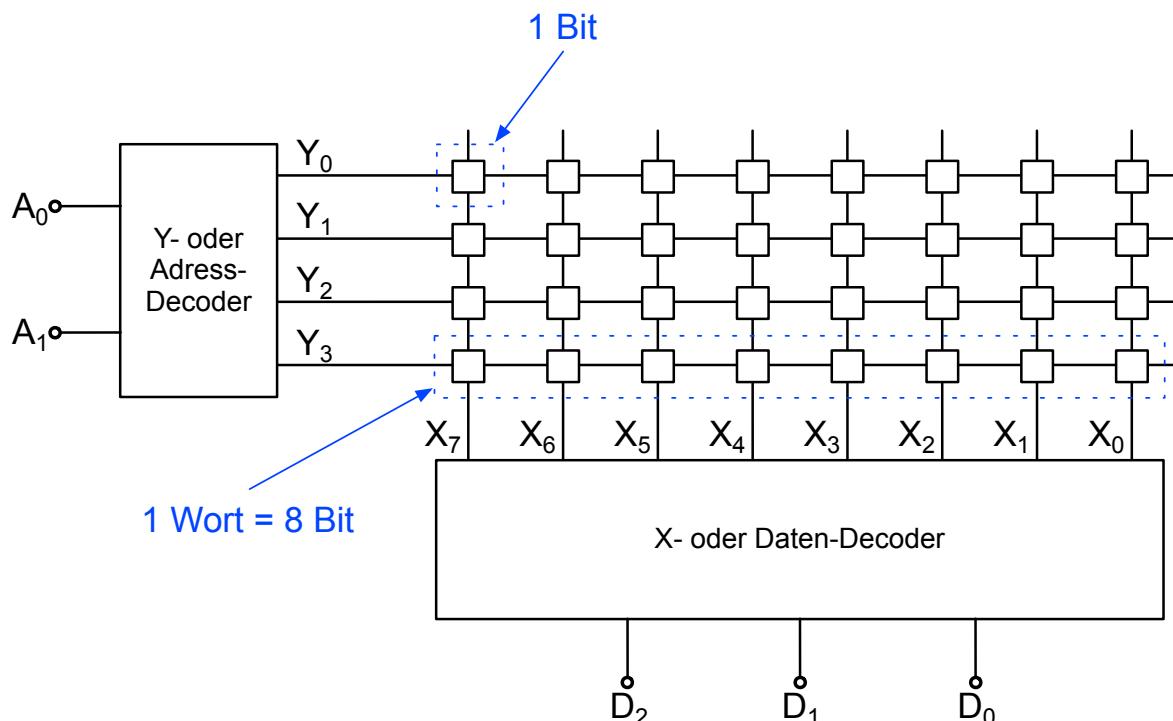
### Speicheraufbau

Ein Speicher der wie erwähnt eine Grösse von 1MB ( $2^{20} = 1'048'576$ ) besitzt, kann:

- Bitorganisiert  
Jede Zelle ist einzeln anwählbar.
- Wortorganisiert  
Pro Adresse werden jeweils 8 Zellen (1 Byte) angewählt und gleichzeitig gelesen/geschrieben.

sein.

Prinzipieller Aufbau:



# Stichwortverzeichnis

<b>1</b>	Anstiegsgeschwindigkeit (Slew Rate) ....	282
1. binomische Formel .....	14	
1. Grundgesetz .....	209	
<b>2</b>	Antiproportionalität .....	15
2. binomische Formel .....	14	
2. Grundgesetz .....	209	
2-Bit Parallel-Wandler.....	284	
2-Punkt Regler.....	227	
<b>3</b>	Antisymmetrische Matrix.....	22
3. binomische Formel .....	14	
3-Punkt Regler.....	227	
<b>8</b>	Antivalenz.....	248
8-4-2-1-Code .....	256	
<b>A</b>	Aperture Time .....	282
Abhängigkeitsnotation .....	268	
Ablenkraft.....	104	
Abschalt-thyristor-diode .....	178	
Abschnürspannung.....	159	
Absorptionsgesetz .....	244	
Abszissenachse.....	30, 32	
Abtast-Halte-Glied (Sample and Hold) ..	281	
Abtastphase.....	282	
Achteck .....	9	
AC-Maschine .....	214	
Acquisition Time (Einstellzeit).....	282	
Addierverstärker .....	167	
Additionsmethode .....	17	
AD-Wandler .....	280, 281	
Affine Abbildung.....	36	
Aggregatzustände .....	72	
Aiken-Code .....	256	
Aktive Bauelemente .....	172	
Algebraische Form.....	34	
Allgemeine Normalform .....	17	
Alphanumerische Codes.....	258	
Amplitudengang....	231, 232, 233, 234, 235, 236	
Amplitudenmodulation AM.....	192	
Analoge Regler.....	227	
AND-Funktion .....	246, 249	
Anker .....	207	
Ankerspannungssteuerung.....	212	
Ankerspule .....	207	
Anlassverfahren.....	220	
Anstiegsantwort .....	238	
<b>B</b>	Anstiegsgeschwindigkeit (Slew Rate) ....	282
B12, B12C .....	186	
B2,B2C .....	184	
B2U .....	141	
B6, B6C .....	186	
Bandbreite .....	119	
Bandpass .....	123	
Bandsperre .....	124	
Basis .....	13	
Basisschaltung .....	150	
Baudot-Code .....	258	
Bauelemente passiv / aktiv .....	172	
BCD-Code .....	256	
Beleuchtungsstärke .....	62	
Bernoulli .....	59	
Beschleunigungsarbeit .....	54	
Beschleunigungszeit .....	199	
Bestrahlungsstärke .....	62	
Betriebsarten S1-S10 .....	200	
BICMOS-Technik .....	250	
Binom .....	14	
Bipolar Transistor .....	144	
Bipolarer Transistor als Schalter .....	151	