1 Griechisches Alphabet

Groß-buch-stabe	Name	Klein-buch-stabe	Groß-buch-stabe	Name	Klein-buch-stabe	Groß-buch-stabe	Name	Klein-buch-stabe
A	alpha	α	I	iota	ι	P	rho	ϱ, ρ
B	beta	β	K	kappa	κ	Σ	sigma	σ
Γ	gamma	γ	Λ	lamda	λ	T	tau	τ
Δ	delta	δ	M	my	μ	Υ	ypsilon	υ
E	epsilon	ε	N	ny	ν	Φ	phi	φ
Z	zeta	ζ	Ξ	xi	ξ	X	chi	χ
H	eta	η	O	omikron	o	Ψ	psi	ψ
Θ	theta	ϑ, θ	Π	pi	π	Ω	omega	ω

Entwurf © Max Blatter

2 Physikalische Größen und Einheiten

Die Tabellen in den folgenden Abschnitten beruhen auf dem *SI-Einheitensystem* gemäß internationalen Vereinbarungen (SI = *Système international d'unités*). Ergänzungen dazu sind in Fußnoten erläutert.

2.1 Basiseinheiten

Basisgröße	**Symbol {1}**	**Basiseinheit**	**Abk.**	**Bemerkungen**
Länge	ℓ	Meter	m	
Masse	m	Kilogramm	kg	Basiseinheit ist das Kilogramm, nicht etwa das Gramm. Weitere Einheit: Tonne, 1 t = 1000 kg
Zeit	t	Sekunde	s	Weitere Einheiten: Minute, 1 min = 60 s, Stunde, 1 h = 3600 s, Tag, 1 d = 24 h, Jahr, 1 a ≈ 365 d = 8760 h
elektrische Stromstärke	I, i	Ampere	A	
absolute Temperatur	T	Kelvin	K	Nicht etwa "*Grad* Kelvin"! Im Alltag gebräuchliche Einheit: Grad Celsius, siehe Abschnitt 2.4
Stoffmenge	n	Mol	mol	Auf der Anzahl der Moleküle basierende Mengenangabe in der Chemie
Lichtstärke	I_v	Candela	cd	Das Symbol steht für ***I**ntensität der **v**isuellen* (=sichtbaren) Strahlung

{1} Je nach Zusammenhang sind auch abweichende Symbole gebräuchlich.

Entwurf © Max Blatter

2.2 Wichtige Größen und Einheiten der Mechanik

Größe	**Symbol {1}**	**kohärente Einheit {2} (ev. weitere Einheiten)**	**Abk.**	**in Basiseinheiten {2} ev. Umrechnungen**
Länge	ℓ	Meter	m	m
Fläche	A	Quadratmeter	m^2	m^2
Volumen	V	Kubikmeter	m^3	m^3
Masse	m	Kilogramm	kg	kg
Dichte	ϱ	Kilogramm pro Kubikmeter	kg/m^3	$m^{-3}\cdot kg$
Zeit	t	Sekunde (Minute) (Stunde) (Tag) (Jahr)	s min h d a	s 1 min = 60 s 1 h = 3600 s 1 d = 24 h 1 a ≈ 365 d = 8760 h
Geschwindigkeit	v, c	Meter pro Sekunde (Kilometer pro Stunde)	m/s km/h	$m\cdot s^{-1}$ 3.6 km/h = 1 m/s
Volumenstrom	$\dot{V}, Q$	Kubikmeter pro Sekunde	m^3/s	$m^3\cdot s^{-1}$
Massenstrom	$\dot{m}$	Kilogramm pro Sekunde	kg/s	$kg\cdot s^{-1}$
Beschleunigung	a	Meter pro Sekunde im Quadrat	m/s^2	$m\cdot s^{-2}$
Schwerefeldstärke	g	Meter pro Sekunde im Quadrat	m/s^2	$m\cdot s^{-2}$
Impuls	p	Newtonsekunden	Ns	$m\cdot kg\cdot s^{-1}$
Kraft	F	Newton	N	$m\cdot kg\cdot s^{-2}$
Druck	p	Pascal, (Bar {3})	Pa bar	$m^{-1}\cdot kg\cdot s^{-2}$ 1 bar = 10^5 Pa
Umdrehungs-frequenz, Drehzahl	n	Umdrehungen pro Sekunde (Umdrehungen pro Minute)	s^{-1} min^{-1}	s^{-1} 60 min^{-1} = 1 s^{-1}
Winkel-geschwindigkeit	ω	Radiant pro Sekunde	s^{-1}	s^{-1}
Drehmoment	M	Newtonmeter	Nm	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}$
Leistung	P	Watt	W	$m^2\cdot kg\cdot s^{-3}$
Energie(menge), Wärme(menge), Arbeit	E, Q, W	Joule (Wattstunde {4})	J Wh	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}$ 1 Wh = 3600 J

{1} Je nach Zusammenhang sind auch abweichende Symbole gebräuchlich.

{2} Die „kohärente Einheit" einer Größe (kohärent = zusammenhängend) kann ohne Umrechnungsfaktoren auf die Basiseinheiten nach Abschnitt 2.1 zurückgeführt werden. Setzt man tatsächlich die Basiseinheiten in eine Formel ein, kann diese so auf Fehler überprüft werden: Die Rechnung muss dann auch für die Einheiten „aufgehen".

{3} Das Bar ist eine in der Technik noch gebräuchliche, anschauliche Druckeinheit außerhalb der kohärenten SI-Einheiten (der mittlere atmosphärische Luftdruck auf Meereshöhe beträgt 1.013 bar ≈ 1 bar).

{4} Die Wattstunde ist eine insbesondere in der Elektrotechnik gebräuchliche, anschauliche Energieeinheit. Zwar nicht kohärente Einheit des SI-Einheitensystems, ist sie (wie die Stunde) zum Gebrauch mit diesem zugelassen.

Entwurf © Max Blatter

2.3 Wichtige Größen und Einheiten der Elektrotechnik

Größe	**Symbol {1}**	**kohärente Einheit {2} (ev. weitere Einheiten)**	**Abk.**	**in Basiseinheiten {2} ev. Umrechnungen**
Spannung	U, u	Volt	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Stromstärke, Strom	I, i	Ampere	A	A
Widerstand	R	Ohm	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Leitwert	G	Siemens	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Kapazität	C	Farad	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Induktivität	L	Henry	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Frequenz	f	Hertz	Hz	s^{-1}
Kreisfrequenz	ω	Radiant pro Sekunde	s^{-1}	s^{-1}
Phasenverschiebung	φ	Radiant (Winkelgrad)	rad °	ohne Einheit 360° = 2π rad
Leistung	P	Watt	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Blindleistung	Q	Voltampere reaktiv	var	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Scheinleistung	S	Voltampere	VA	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Energie(menge), Arbeit	E, W	Joule (Wattstunde {3})	J Wh	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$ 1 Wh = 3600 J

{1} Je nach Zusammenhang sind auch abweichende Symbole gebräuchlich.

{2} Die „kohärente Einheit" einer Größe (kohärent = zusammenhängend) kann ohne Umrechnungsfaktoren auf die Basiseinheiten nach Abschnitt 2.1 zurückgeführt werden. Setzt man tatsächlich die Basiseinheiten in eine Formel ein, kann diese so auf Fehler überprüft werden: Die Rechnung muss dann auch für die Einheiten „aufgehen".

{3} Die Wattstunde ist eine insbesondere in der Elektrotechnik gebräuchliche, anschauliche Energieeinheit. Zwar nicht kohärente Einheit des SI-Einheitensystems, ist sie (wie die Stunde) zum Gebrauch mit diesem zugelassen.

Entwurf © Max Blatter

2.4 Wichtige Größen und Einheiten der Thermodynamik

Größe	**Symbol {1}**	**kohärente Einheit {2} (ev. weitere Einheiten)**	**Abk.**	**in Basiseinheiten {2} ev. Umrechnungen**
Druck	p	Pascal, (Bar {5})	Pa bar	$m^{-1}\cdot kg\cdot s^{-2}$ 1 bar = 10^5 Pa
Volumen	V	Kubikmeter	m^3	m^3
spezifisches Volumen {3}	v	Kubikmeter pro Kilogramm	m^3/kg	$m^3\cdot kg^{-1}$
absolute Temperatur	T	Kelvin	K	K
Celsius-Temperatur {4}	t, ϑ	(Grad Celsius {4})	°C	Umrechnung °C in K durch Verschiebung des Nullpunkts: −273.15°C = 0 K 0°C = 273.15 K 100°C = 373.15 K
Entropie	S	Joule pro Kelvin	J/K	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}\cdot K^{-1}$
spezifische Entropie {3}	s	Joule pro Kelvin und pro Kilogramm	J/(K·kg)	$m^2\cdot s^{-2}\cdot K^{-1}$
Enthalpie	H	Joule	J	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}$
spezifische Enthalpie {3}	h	Joule pro Kilogramm	J/kg	$m^2\cdot s^{-2}$
Wärmemenge, Arbeit	Q, W	Joule (Wattstunde {6})	J Wh	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}$ 1 Wh = 3600 J
spezifische Wärmemenge {3}, spezifische Arbeit {3}	q, w	Joule pro Kilogramm (Wattstunde {6} pro Kilogramm)	J/kg Wh/kg	$m^2\cdot s^{-2}$ 1 Wh/kg = 3600 J/kg

{1} Je nach Zusammenhang sind auch abweichende Symbole gebräuchlich.

{2} Die „kohärente Einheit" einer Größe (kohärent = zusammenhängend) kann ohne Umrechnungsfaktoren auf die Basiseinheiten nach Abschnitt 2.1 zurückgeführt werden. Setzt man tatsächlich die Basiseinheiten in eine Formel ein, kann diese so auf Fehler überprüft werden: Die Rechnung muss dann auch für die Einheiten „aufgehen".

{3} Die spezifischen Größen beziehen sich auf die Masse des Arbeitsmediums (z.B. Dampf), das bei einem Arbeitszyklus umgesetzt wird.

{4} Die Celsius-Skala ist zwar gemäß den einschlägigen Normen zugelassen, ist aber keine kohärente SI-Einheit. Deshalb sollen z.B. Temperatur*differenzen* stets in K angegeben werden (die Zahlenwerte sind allerdings gleich wie in °C).

{5} Das Bar ist eine in der Technik noch gebräuchliche, anschauliche Druckeinheit außerhalb des kohärenten SI-Einheitensystems (der mittlere atmosphärische Luftdruck auf Meereshöhe beträgt 1.013 bar ≈ 1 bar).

{6} Die Wattstunde ist eine insbesondere in der Elektrotechnik gebräuchliche, anschauliche Energieeinheit. Zwar nicht kohärente Einheit des SI-Einheitensystems, ist sie (wie die Stunde) zum Gebrauch mit diesem zugelassen.

Entwurf © Max Blatter

*2.5 **Zehnerpotenzen als Zusatz der Maßeinheiten***

Name	*Abk.*	*Zehnerpotenz*	*Wert*
Yotta	Y	10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000
Zetta	Z	10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000
Exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000
Peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000
Tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000
Giga	G	10^{9}	1 000 000 000
Mega	M	10^{6}	1 000 000
Kilo	k	10^{3}	1000
Hekto	h	10^{2}	100
Deka	da	10^{1}	10
Dezi	d	10^{-1}	0.1
Centi	c	10^{-2}	0.01
Milli	m	10^{-3}	0.001
Mikro	µ	10^{-6}	0.000 001
Nano	n	10^{-9}	0.000 000 001
Pico	p	10^{-12}	0.000 000 000 001
Femto	f	10^{-15}	0.000 000 000 000 001
Atto	a	10^{-18}	0.000 000 000 000 000 001
Zepto	z	10^{-21}	0.000 000 000 000 000 000 001
Yokto	y	10^{-24}	0.000 000 000 000 000 000 000 001

Entwurf © Max Blatter

3 Physikalische Grundformeln

3.1 Energie und Leistung

Die *Energie* (auch *Energiemenge*) *E* berechnet sich aus einer Leistung *P*, multipliziert mit der Zeitspanne *t*, während der diese Leistung andauert:

$E = P \cdot t$

Einheit: Joule, 1 J = 1 Ws
alternative Einheit: Wattstunde, 1 Wh = 3600 J

Vgl. auch Abschnitte 2.2, 2.3 und 2.4.

Wärmeenergie (kurz *Wärme*, auch *Wärmemenge*) wird meist mit dem Symbol *Q* (statt *E*) bezeichnet.

Mechanische Energie (auch *Arbeit* genannt) wird oft mit dem Symbol *W* (statt *E*) bezeichnet (vom englischen Wort „work").

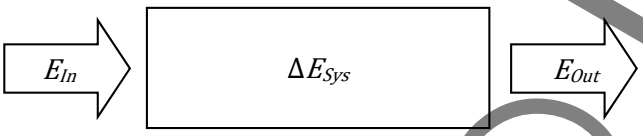
Die *Leistung P* berechnet sich aus einer Energiemenge *E*, dividiert durch die Zeitspanne *t*, innert der diese Energie transportiert, umgewandelt oder anderweitig umgesetzt wird:

$P = E/t$

Einheit: Watt, 1 W = 1 J/s

Vgl. auch Abschnitte 2.2, 2.3 und 2.4.

3.2 Energieerhaltung



Gegeben ist ein System,

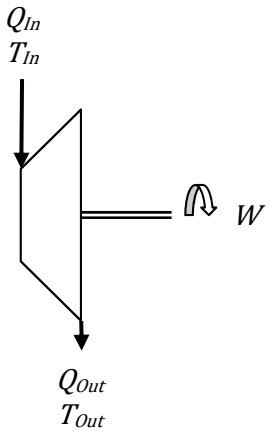
- in das eine Energiemenge E_{In} von außen hineinfließt,
- aus dem eine Energiemenge E_{Out} nach außen abgegeben wird,
- dessen Energieinhalt sich dadurch um einen Betrag ΔE_{Sys} ändert.

Dann besagt der *Energieerhaltungssatz*, dass sich die im System enthaltene Energie gerade um die Differenz zwischen der von außen hineinfließenden und der nach außen abgegebenen Energie ändert:

$\Delta E_{Sys} = E_{In} - E_{Out}$

Entwurf © Max Blatter

*3.3 **Exergie und Anergie***



Gegeben ist eine Maschine (ähnlich einer Dampfturbine), die Wärme in mechanische Energie umwandeln soll.

Dann besagt der sogenannte *zweite Hauptsatz der Thermodynamik*, dass dies nicht vollständig möglich ist. Genauer: Eine Wärmemenge Q_{In}, die aus einer Quelle mit der Temperatur T_{In} in die Maschine fließt, kann nicht vollständig in mechanische Arbeit W umgewandelt werden. Stets wird ein Anteil der Energie als Abwärme Q_{Out} mit einer Temperatur T_{Out} an die Umgebung abgegeben.

Es gibt einen theoretischen Energieumwandlungsprozess, *Carnot-Prozess* genannt, bei dem die Ausbeute an mechanischer Arbeit W maximal ist; man nennt W dann *Exergie*. Gleichzeitig ist die nicht weiter nutzbare Abwärme $Q_{Out,}$ minimal; sie wird *Anergie* genannt.

Dabei gilt folgender Zusammenhang:

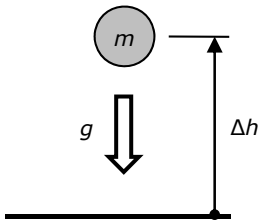
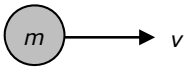
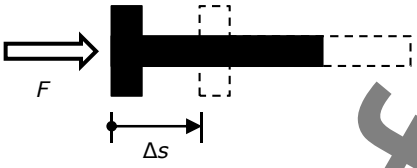
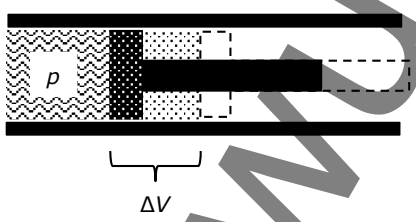
$\frac{W}{Q_{In}} = \frac{T_{In} - T_{Out}}{T_{In}}$: *Exergieanteil*, auch *Carnot-Faktor* oder Carnot-Wirkungsgrad genannt

$\frac{Q_{Out}}{Q_{In}} = \frac{T_{Out}}{T_{In}}$: *Anergieanteil*

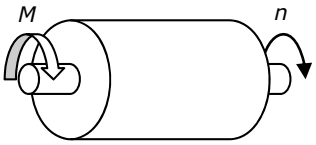
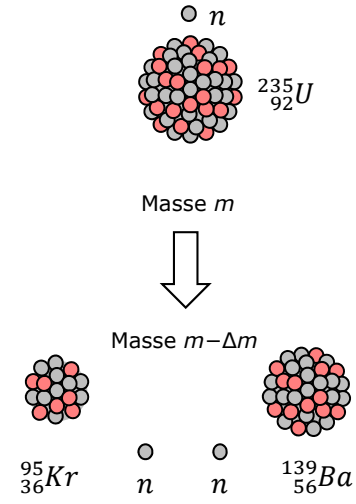
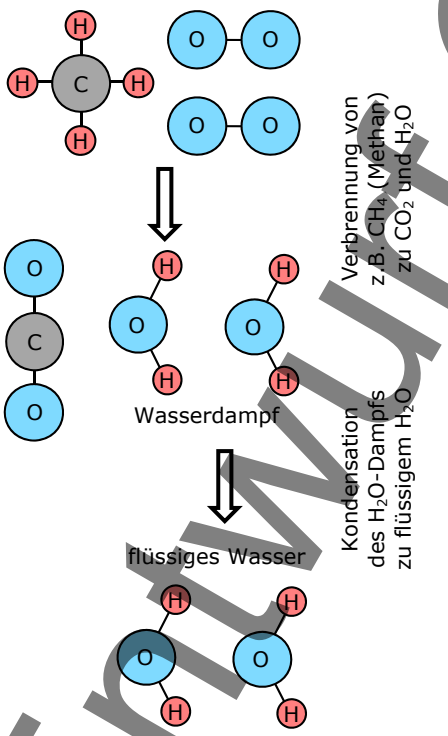
Nach dem Energieerhaltungssatz (Abschnitt 3.2) müssen der Exergieanteil und der Anergieanteil zusammen 100% ergeben.

Entwurf © Max Blatter

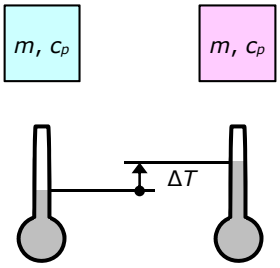
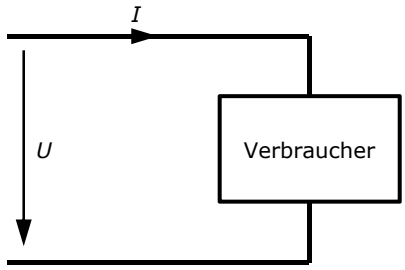
3.4 Grundformeln für verschiedene Energieformen

Energieform	**Formeln für Leistung**	**Formeln für Energie**
Potenzielle Energie eines Körpers (Lageenergie)  Bezugshöhe Fußboden natürliche Erdoberfläche Meeresspiegel …		$E_{pot} = g \cdot m \cdot \Delta h$ E_{pot}: potenzielle Energie in J $g \approx 9.8\,\mathrm{m/s^2}$: Schwerefeldstärke („Erdbeschleunigung“) Zahlenwert gilt auf der ganzen Erdoberfläche mit weniger als ±0.4% Abweichung m: Masse des Körpers in kg Δh: Höhendifferenz des Körperschwerpunkts zur Bezugshöhe in m
Kinetische Energie eines Körpers (Bewegungsenergie)  		$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ E_{kin}: kinetische Energie in J m: Masse des Körpers in kg v: Geschwindigkeit in m/s
Mechanische Arbeit bei geradlinig bewegten Körpern  	$P = F \cdot v$ P: mechanische Leistung in W F: ausgeübte Kraft in N v: Geschwindigkeit in m/s	$W = F \cdot \Delta s$ W: mechanische Arbeit in J F: ausgeübte Kraft in N Δs: zurückgelegter Weg in m
Mechanische Arbeit bei Flüssigkeiten (hydraulische Arbeit)  	$P = p \cdot Q$ P: hydraulische Leistung in W p: ausgeübter Druck in Pa Q: Volumenstrom in m³/s	$W = p \cdot \Delta V$ W: hydraulische Arbeit in J p: ausgeübter Druck in Pa ΔV: bewegtes Volumen in m³

Entwurf © Max Blatter

Energieform	**Formeln für Leistung**	**Formeln für Energie**
Mechanische Leistung bei rotierenden Maschinen  	$P_m = 2\pi \cdot M \cdot n$ P_m: mechanische Leistung in W M: Drehmoment in Nm n: Drehzahl in s^{-1}	
Energie aus nuklearem Masseverlust bei der Kernspaltung  Die Spaltprodukte sind als Beispiel zu verstehen		$E_{nkl} = \frac{\Delta m}{m} \cdot m \cdot c^2$ E_{nkl}: freigesetzte nukleare Bindungsenergie in J $\frac{\Delta m}{m} \approx 0.09\% = 0.0009$: relativer Massenverlust bei der Spaltung von ^{235}U-Atomkernen m: Gesamtmasse des gespalteten ^{235}U in kg $c = 299\,792\,458$ m/s: Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum)
Verbrennungsenergie  		$Q_V = m \cdot H_i$ respektive $Q_V + Q_K = m \cdot H_s$ Q_V: freigesetzte Verbrennungswärme in J Q_K: freigesetzte Kondensationswärme in J m: Masse des Brennstoffs in kg H_i: Heizwert (früher: unterer Heizwert) in J/kg (*i* steht für inferior) H_s: Brennwert (früher: oberer Heizwert) in J/kg (*s* steht für superior)

Entwurf © Max Blatter

Energieform	**Formeln für Leistung**	**Formeln für Energie**
Erwärmung eines Körpers  		$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ Q: zugeführte Wärme in J m: Masse des Körpers in kg c_p: Wärmekapazität des Körpers in J/(K·kg) (p steht für „bei konstantem Druck" – wichtig bei Gasen) ΔT: Temperaturerhöhung in K
Elektrische Leistung  	$P_{el} = U \cdot I$ P_{el}: elektrische Leistung in W U: elektrische Spannung in V I: Stromstärke in A	

Entwurf © Max Blatter

4 Chemie und Kernphysik

4.1 Begriffe

Atom

Kleinster Bestandteil eines *chemischen Elementes* (s. Abschnitt 4.3). – Das Atom besteht zum einen aus dem Atomkern (der sich wiederum aus elektrisch positiv geladenen *Protonen* und elektrisch neutralen *Neutronen* zusammensetzt) und zum anderen aus der Elektronenhülle (aus elektrisch negativ geladenen *Elektronen* gebildet).

Proton

Positiv geladenes Teilchen der *Massenzahl* A=1 (s. Abschnitt 4.2), das einen Bestandteil des Atomkerns bildet. Seine Masse beträgt $m_p \approx 1.673 \cdot 10^{-27}$ kg.

Neutron

Elektrisch ungeladenes Teilchen der Massenzahl A=1 (s. Abschnitt 4.2), das einen Bestandteil des Atomkerns bildet. Seine Masse beträgt $m_n \approx 1.675 \cdot 10^{-27}$ kg.

Elektron

Negativ geladenes Teilchen, etwa 1800 mal leichter als das Proton oder das Neutron. Es ist Bestandteil der Elektronenhülle eines Atoms; seine Masse beträgt $m_e \approx 0.911 \cdot 10^{-30}$ kg.

Isotop

Variante eines chemischen Elementes, die sich durch eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen von anderen Isotopen des gleichen Elementes unterscheidet. Isotope besitzen die gleiche Anzahl von Protonen und stellen somit das gleiche Element mit gleichen chemischen Eigenschaften dar, unterscheiden sich aber durch ihre Masse (dadurch Möglichkeit zur Trennung z.B. in Zentrifugen) und durch ihre kernphysikalischen Eigenschaften (radioaktiver Zerfall, nukleare Spaltbarkeit).

Atomgruppe

Gruppierung mehrerer Atome. Atomgruppen können oft nicht für sich allein existieren, sondern sind Bestandteile von *Lösungen* (z.B. in Wasser) oder Bausteine komplexerer Verbindungen (sogenannter *Moleküle*).

Molekül

Kleinster Bestandteil einer *chemischen Verbindung*. Ein Molekül besteht aus mehreren Atomen oder Atomgruppen und kann für sich allein existieren.

Entwurf © Max Blatter

4.2 Symbolische Schreibweise für chemische Elemente und Verbindungen

$$ {}^{A}_{Z}X^{z\pm}_{n} $$

X: Chemisches Zeichen des Elementes (siehe Abschnitt 4.3).

A: Massenzahl des Atoms = Anzahl der Protonen *und* Neutronen im Atomkern (positive ganze Zahl). Varianten eines chemischen Elementes, die unterschiedliche Massenzahl haben, heißen *Isotope*.

Z: Ordnungszahl des Atoms = Anzahl der Protonen im Atomkern (positive ganze Zahl).

z+ Anzahl Elektronen, die ein Atom oder eine Atomgruppe z.B. in einer Lösung *abgegeben* hat (positive ganze Zahl; statt 1+ wird nur + geschrieben).
Das Atom oder die Atomgruppe wird damit zu einem *positiv* geladenen Ion, einem *Kation*.

z− Anzahl Elektronen, die ein Atom oder eine Atomgruppe z.B. in einer Lösung *aufgenommen* hat (positive ganze Zahl; statt 1− wird nur − geschrieben).
Das Atom oder die Atomgruppe wird damit zu einem *negativ* geladenen Ion, einem *Anion*.

n Anzahl Atome des betreffenden Elementes, die in einer Atomgruppe oder einem Molekül enthalten sind (positive ganze Zahl; 1 wird weggelassen).

Generell werden neben dem eigentlichen chemischen Zeichen *X* nur diejenigen Zusätze geschrieben, die im gegebenen Zusammenhang wichtig sind. Insbesondere ist die Ordnungszahl *Z* durch die Bezeichnung des Elementes bereits eindeutig bestimmt und wird deshalb meist weggelassen.

4.3 Periodisches System der Elemente

Das *Periodische System der Elemente* ist eine Darstellung, in der die chemischen Elemente in der Reihenfolge ihrer Ordnungszahlen aufgelistet sind, und zwar so, dass sich Elemente mit ähnlichen chemischen Eigenschaften in der jeweils gleichen Spalte befinden (sogenannte *Gruppen*).

Bemerkungen zu dem auf der folgenden Seite wiedergegeben Periodischen System:

- Die *Nummerierung der Gruppen* entspricht der aktuellen Übereinkunft der IUPAC (= International Union of Pure and Applied Chemistry).
- Wo gebräuchliche *deutsche Namen oder Schreibweisen* von Elementen existieren, wurden diese den von der IUPAC empfohlenen offiziellen Namen vorgezogen (z.B. Silizium statt Silicium etc.)
- Als *Atommasse* ist diejenige des häufigsten natürlichen Isotopes angegeben. Wenn von einem Element keine oder nur sehr kurzlebige natürliche Isotope existieren, steht ein Stern *.

Entwurf © Max Blatter

Entwurf © Max Blatter

Gruppe 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Periode
Wasserstoff $^{1}_{1}H$																	Helium $^{4}_{2}He$	1
Lithium $^{7}_{3}Li$	Beryllium $^{9}_{4}Be$											Bor $^{11}_{5}B$	Kohlenstoff $^{12}_{6}C$	Stickstoff $^{14}_{7}N$	Sauerstoff $^{16}_{8}O$	Fluor $^{19}_{9}F$	Neon $^{20}_{10}Ne$	2
Natrium $^{23}_{11}Na$	Magnesium $^{24}_{12}Mg$											Aluminium $^{27}_{13}Al$	Silizium $^{28}_{14}Si$	Phosphor $^{31}_{15}P$	Schwefel $^{32}_{16}S$	Chlor $^{35}_{17}Cl$	Argon $^{40}_{18}Ar$	3
Kalium $^{39}_{19}K$	Kalzium $^{40}_{20}Ca$	Scandium $^{45}_{21}Sc$	Titan $^{48}_{22}Ti$	Vanadium $^{51}_{23}V$	Chrom $^{52}_{24}Cr$	Mangan $^{55}_{25}Mn$	Eisen $^{56}_{26}Fe$	Kobalt $^{59}_{27}Co$	Nickel $^{58}_{28}Ni$	Kupfer $^{63}_{29}Cu$	Zink $^{64}_{30}Zn$	Gallium $^{69}_{31}Ga$	Germanium $^{74}_{32}Si$	Arsen $^{75}_{33}As$	Selen $^{80}_{34}Se$	Brom $^{79}_{35}Br$	Krypton $^{84}_{36}Kr$	4
Rubidium $^{85}_{37}Rb$	Strontium $^{88}_{38}Sr$	Yttrium $^{89}_{39}Y$	Zirkonium $^{90}_{40}Zr$	Niob $^{93}_{41}Nb$	Molybdän $^{98}_{42}Mo$	Technetium $^{99}_{43}Tc$	Ruthenium $^{102}_{44}Ru$	Rhodium $^{103}_{45}Rh$	Palladium $^{106}_{46}Pd$	Silber $^{107}_{47}Ag$	Cadmium $^{114}_{48}Cd$	Indium $^{115}_{49}In$	Zinn $^{120}_{50}Sn$	Antimon $^{121}_{51}Sb$	Tellur $^{130}_{52}Te$	Jod $^{127}_{53}I$	Xenon $^{132}_{54}Xe$	5
Cäsium $^{133}_{55}Cs$	Barium $^{138}_{56}Ba$	Lanthanoide	Hafnium $^{180}_{72}Hf$	Tantal $^{181}_{73}Ta$	Wolfram $^{184}_{74}W$	Rhenium $^{187}_{75}Re$	Osmium $^{190}_{76}Os$	Iridium $^{193}_{77}Ir$	Platin $^{195}_{78}Pt$	Gold $^{197}_{79}Au$	Quecksilber $^{202}_{80}Hg$	Thallium $^{205}_{81}Tl$	Blei $^{208}_{82}Pb$	Wismut $^{209}_{83}Bi$	Polonium $^{210}_{84}Po$	Astat $^{*}_{85}At$	Radon $^{222}_{86}Rn$	6
		Lanthan $^{139}_{57}La$	Cer $^{140}_{58}Ce$	Praseodym $^{141}_{59}Pr$	Neodym $^{142}_{60}Nd$	Promethium $^{147}_{61}Pm$	Samarium $^{152}_{62}Sm$	Europium $^{153}_{63}Eu$	Gadolinium $^{158}_{64}Gd$	Terbium $^{159}_{65}Tb$	Dysprosium $^{164}_{66}Dy$	Holmium $^{165}_{67}Ho$	Erbium $^{166}_{68}Er$	Thulium $^{169}_{69}Tm$	Ytterbium $^{174}_{70}Yb$	Lutetium $^{175}_{71}Lu$		
Frankium $^{223}_{87}Fr$	Radium $^{226}_{88}Ra$	Actinoide	Transactinoide. Ordnungszahlen 104 und höhere. Künstlich erzeugte, kurzlebige Elemente ohne technisch-wirtschaftliche Bedeutung															7
		Actinium $^{227}_{89}Ac$	Thorium $^{232}_{90}Th$	Protactinium $^{231}_{91}Pa$	Uran $^{238}_{92}U$	Neptunium $^{*}_{93}Np$	Plutonium $^{*}_{94}Pu$	Americium $^{*}_{95}Am$	Curium $^{*}_{96}Cm$	Berkelium $^{*}_{97}Bk$	Californium $^{*}_{98}Cf$	Einsteinium $^{*}_{99}Es$	Fermium $^{*}_{100}Fm$	Mendelevium $^{*}_{101}Md$	Nobelium $^{*}_{102}No$	Lawrencium $^{*}_{103}Lr$		

4.4 Für den Fachbereich Energie wichtige chemische Elemente und Verbindungen

Al *Aluminium*
Guter elektrischer Leiter, leichter und kostengünstiger als Kupfer; deshalb wichtiger Werkstoff der elektrischen Energietechnik (z.B. Übertragungsleitungen). Allgemein wichtiger Konstruktionswerkstoff.

C *Kohlenstoff*
Hauptbestandteil der Kohle als Brennstoff. Werkstoff: Graphit (elektrischer Leiter mit guten Gleit-Eigenschaften); Kohlefasern (Carbon-Verbundwerkstoffe).

CO *Kohlen[stoff]monoxid*
Akut giftiges Gas (blockiert den Sauerstofftransport im Blut). Entsteht als unerwünschter Luftschadstoff bei unvollständiger Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brenn- und Treibstoffen, insbesondere in Verbrennungsmotoren oder bei mangelhafter Luftzufuhr in Feuerungen.

CO_2 *Kohlen[stoff]dioxid*
Eines der wichtigsten Treibhausgase in der Erdatmosphäre; entsteht durch die Atmung der Lebewesen einschließlich Mensch; entsteht als Verbrennungsprodukt kohlenstoffhaltiger Brenn- und Treibstoffe; zusammen mit Wasser Ausgangsstoff für die Fotosynthese der Pflanzen (= Aufbau von Kohlehydraten, Abgabe von Sauerstoff)

CH_4 *Methan*
Ein Kohlenwasserstoff. Der Hauptbestandteil von Erdgas und Biogas. Wirkt in der Erdatmosphäre als Treibhausgas (wirksamer als Kohlendioxid, aber derzeit mengenmäßig weniger bedeutend).

C_mH_n *Kohlenwasserstoffe (allgemein)*
Unter anderem Hauptbestandteile des Rohöls. Meist brennbare gasförmige, flüssige, zähflüssige bis beinahe feste Substanzen; Nutzung als Brenn- und Treibstoffe, Schmiermittel, teerähnliche Baustoffe. Ausgangsmaterialien für die Kunststoff-Herstellung (Petrochemie).

$C_6H_{12}O_6$
Glukose (= Traubenzucker)
Ein Kohlehydrat. Wird durch die Fotosynthese der Pflanzen aufgebaut.

$C_mH_{2n}O_n$
Kohlehydrate (allgemein)
Hauptbestandteile der pflanzlichen und tierischen Biomasse.

Cu *Kupfer*
Zweitbester elektrischer Leiter nach Silber; deshalb wichtiger Werkstoff der elektrischen Energietechnik.

Fe *Eisen*
Unter anderem wichtiger Magnet-Werkstoff für die elektrische Energietechnik (Generatoren, Transformatoren, Motoren). Allgemein wichtiger Konstruktionswerkstoff (Stahl).

H_2 *Wasserstoff*
Als Brennstoff verwendbar.

H_2O *Wasser*
In flüssiger Form Kühlmittel und Wärmeträger; in Dampfform Wärmeträger und Arbeitsmedium von Dampfturbinen; entsteht als Verbrennungsprodukt wasserstoffhaltiger Brenn- und Treibstoffe; Ausgangsmaterial zur Gewinnung von Wasserstoff.

Entwurf © Max Blatter

He *Helium*
Ein Edelgas, deshalb nicht brennbar und ungiftig. In speziellen Fällen als Kühlmittel und Wärmeträger verwendet.

N_2 *Stickstoff*
Bestandteil der Erdatmosphäre (Volumenanteil rund 78%). Bildet bei hohen Temperaturen (z.B. in Feuerungen und Verbrennungsmotoren) mit dem Luftsauerstoff zusammen unerwünschte Schadstoffe (Stickoxide wie *NO* und *NO_2*).

O_2 *Sauerstoff*
Bestandteil der Erdatmosphäre (Volumenanteil rund 21%). Wird durch die Atmung der Lebewesen sowie durch Verbrennungsvorgänge verbraucht und durch die Fotosynthese der Pflanzen erzeugt.

SF_6 *Schwefelhexafluorid*
Ein nicht brennbares, ungiftiges Gas. Elektrisches Isoliervermögen bei gleichem Volumen besser als Luft, in der elektrischen Energietechnik deshalb zum Bau platzsparender Hochspannungs-Anlagen verwendet.

Si *Silizium*
Eines der häufigsten chemischen Elemente auf der Erde (Quarzsand ist *SiO_2*). Äußerst wichtiges Rohmaterial für die ganze Elektronik. In der elektrischen Energietechnik: Fotovoltaische Energieerzeugung; Gleich-, Wechsel- und Umrichter.

^{235}U *Uran 235*
Das Uran-Isotop, das sich in Nuklear-Reaktoren spalten lässt. Es ist im natürlich vorkommenden Uran nur zu 0.7% enthalten.

^{238}U *Uran 238*
Das Uran-Isotop, das den Hauptbestandteil des natürlich vorkommenden Urans bildet, aber in Nuklear-Reaktoren nicht spaltbar ist.

Entwurf © Max Blatter

5 Auflösen einfacher mathematischer Gleichungen (Niveau: Höhere Fachschule)

5.1 Lineare Gleichung

	Operation auf beiden Seiten der Gleichung	**Bedingung**
$\boldsymbol{a \cdot x + b = 0}$	$-b$	keine
$a \cdot x = -b$	$: a$	$a \neq 0$
$\boldsymbol{x = \frac{-b}{a}}$	***ist die Lösung***	

5.2 Quadratische Gleichung

	Auflösen der Gleichung	**Bedingung**
$\boldsymbol{a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0}$	(Die Herleitung der Lösungsformel ist relativ kompliziert, so dass hier darauf verzichtet wird.)	
$\boldsymbol{x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}}$	***ist die Lösungsformel*** Zwei Lösungen entsprechend den beiden Vorzeichen der Wurzel. Ist $b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0$, fallen die beiden Lösungen zusammen.	$b^2 - 4 \cdot a \cdot c \geq 0$ (andernfalls sind die Lösungen keine reellen Zahlen mehr)

5.3 Exponentialfunktion

	Operation auf beiden Seiten der Gleichung	**Bedingung**
$\boldsymbol{e^{a \cdot x} = b}$	$\ln(\ \ )$	$b > 0$
$a \cdot x = \ln b$	$: a$	$a \neq 0$
$\boldsymbol{x = \frac{\ln b}{a}}$	***ist die Lösung***	

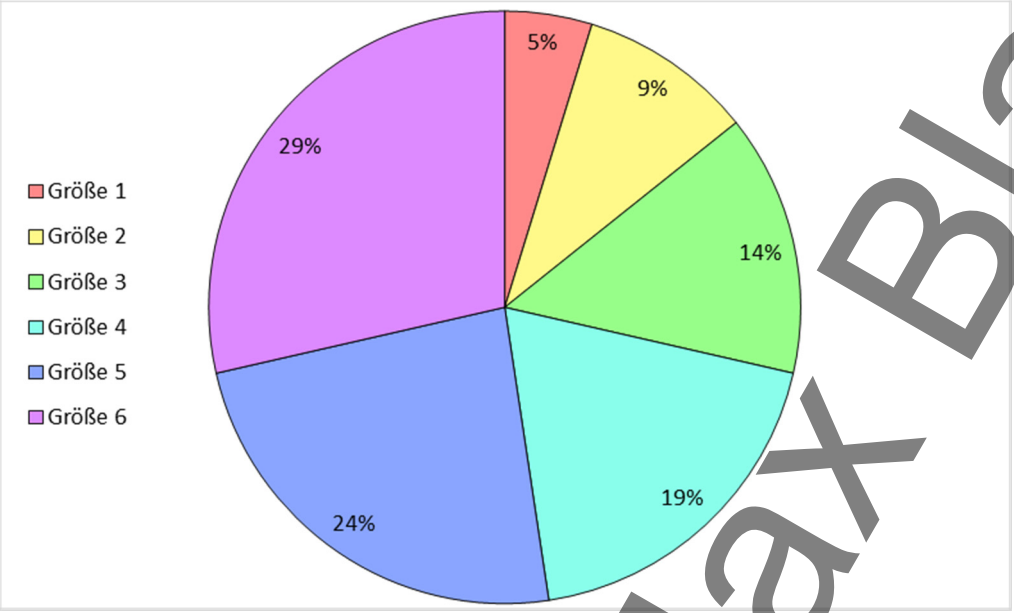
5.4 Logarithmus

	Operation auf beiden Seiten der Gleichung	**Bedingung**
$\boldsymbol{\ln(x + a) = b}$	$e^{(\ \ )}$	keine
$x + a = e^b$	$-a$	keine
$\boldsymbol{x = e^b - a}$	***ist die Lösung***	

Entwurf © Max Blatter

6 Darstellung zahlenmäßig erfassbarer Größen in Diagrammen (Niveau: Höhere Fachschule)

6.1 Kreisdiagramm („Kuchendiagramm“)



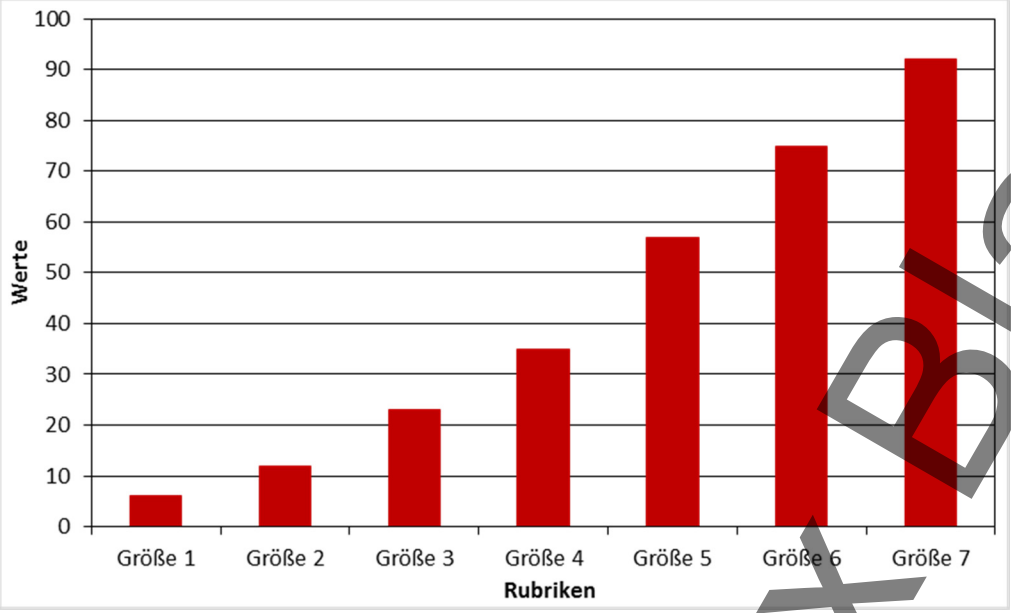
Oft liegt eine Größe vor, die sich aus verschiedenen Summanden zusammensetzt, und es interessiert, welchen Anteil die einzelnen Summanden zur Gesamtsumme beitragen. (Beispiel: Die verschiedenen Energieressourcen, die zur Energieversorgung eines Landes beitragen; oder die verschiedenen Verwendungszwecke, für welche die Energie gebraucht wird.) Um dies darzustellen, bietet sich das Kreisdiagramm an.

Eigenschaften:

- Der volle Kreis steht für die Gesamtsumme.
- Die einzelnen Summanden werden durch Kreissektoren dargestellt, deren Öffnungswinkel und somit auch deren Flächen proportional zur Größe des jeweiligen Summanden sind.
- Da es keine Skaleneinteilung gibt, an der die Größe der Summanden abgelesen werden könnte, wird diese (absolut oder als Prozentwerte) meist im Klartext in die jeweiligen Sektoren geschrieben.

Entwurf © Max Blatter

6.2 Säulendiagramm mit linearer Skala



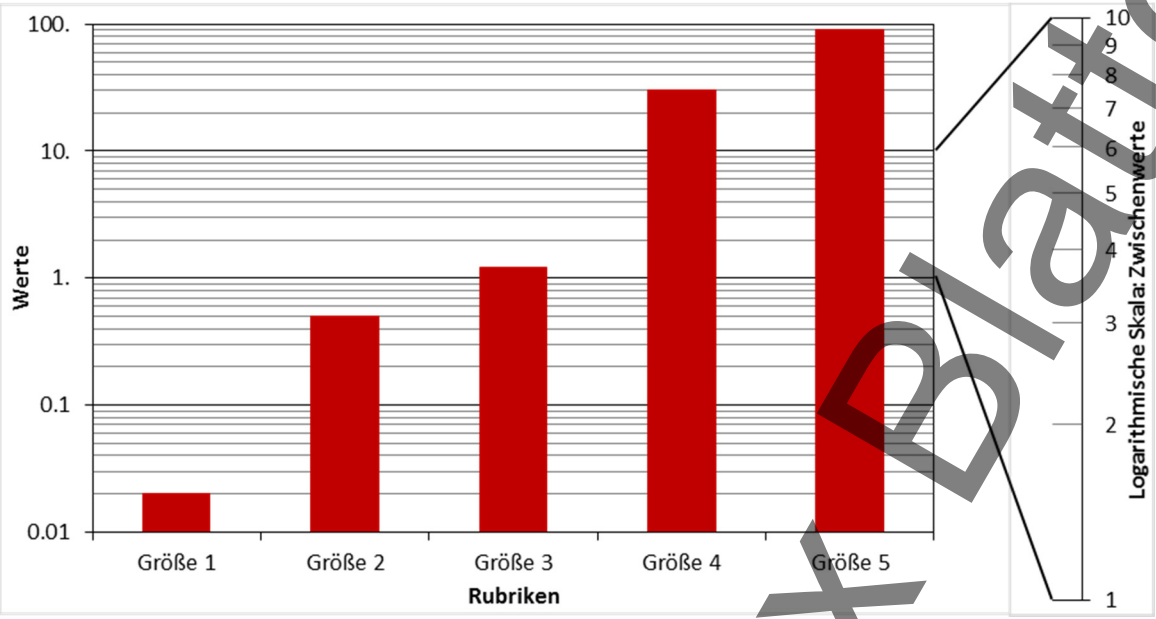
Für die Darstellung mehrerer Größen, deren Werte sich nicht allzu stark unterscheiden, ist das Säulendiagramm oft die einfachste Lösung.

Eigenschaften der linearen Skala:

- Gleich weit auseinander liegende Skalenstriche gehören zu Zahlenwerten, deren Differenz gleich groß ist.
- Der Wert 0 kann dargestellt werden (dann entartet die entsprechende Säule zu einem Strich, der auf der Nulllinie liegt).
- Negative Werte können dargestellt werden (dann zeigen die entsprechenden Säulen von der Nulllinie nach unten).

Entwurf © Max Blatter

6.3 Säulendiagramm mit logarithmischer Skala



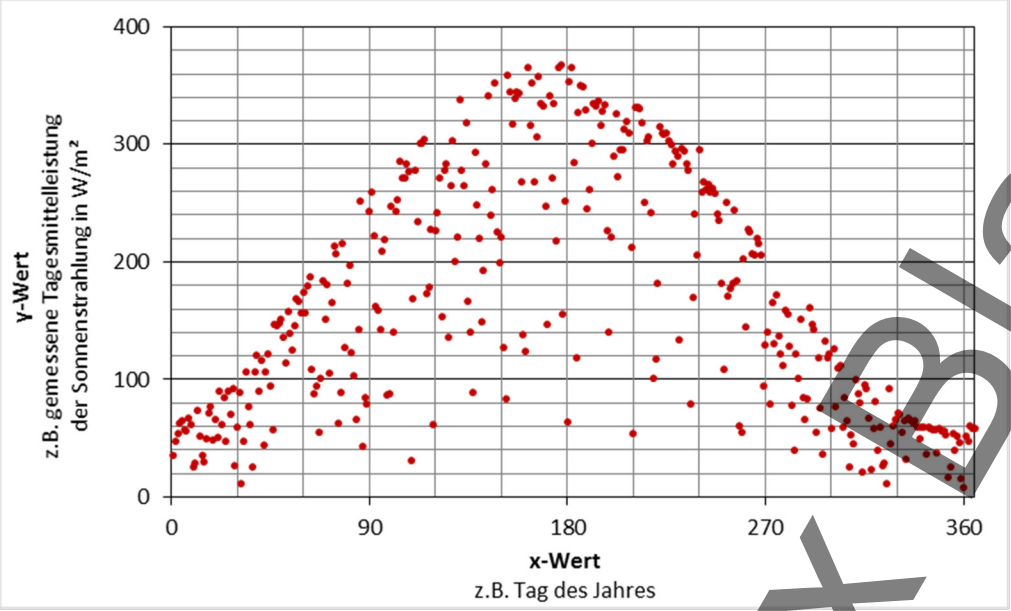
Müssen in einem Diagramm Größen dargestellt werden, die sehr unterschiedliche Werte haben, ist dies mit einer linearen Skala nicht mehr möglich, da entweder die kleinsten Größen nicht mehr erkennbar wären oder aber die größten außerhalb des Diagramms lägen. (Beispiel: Die mechanische Leistung einer fliegenden Mücke, die elektrische Leistung eines Kernkraftwerks und die Strahlungsleistung der Sonne sollen im gleichen Diagramm dargestellt werden.) Abhilfe schafft dann die logarithmische Skala.

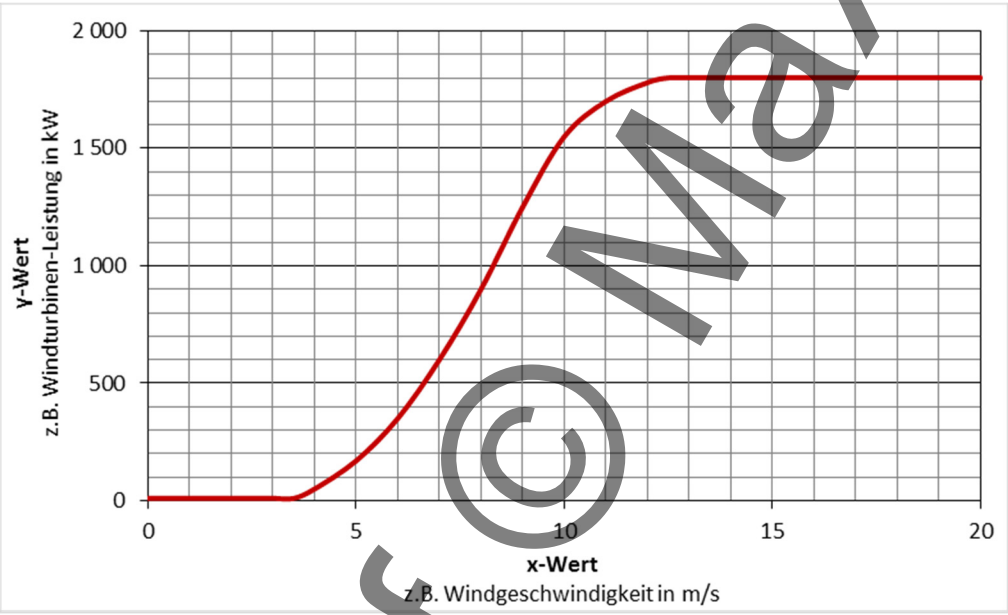
Eigenschaften der logarithmischen Skala:

- *Gleich weit auseinander* liegende Skalenstriche gehören zu Zahlenwerten, deren *Quotient gleich groß* ist (meist =10).
  Im obenstehenden Diagramm sind dies die Werte 0.01, 0.1, 1, 10, 100.
- Umgekehrt: Bei Zahlenwerten, deren *Differenz gleich groß* ist, liegen die zugehörigen Skalenstriche *unterschiedlich weit auseinander*.
  Im obenstehenden Diagramm sind dies die Zwischenwerte (1), 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, (10).
- Der Wert 0 sowie negative Werte können *nicht* dargestellt werden.

Entwurf © Max Blatter

6.4 x-y-Diagramm





Das x-y-Diagramm ist geeignet, um die Abhängigkeit einer Größe (*y-Wert*) von einer anderen (*x-Wert*) darzustellen. Die zugrunde liegenden Daten bestehen dabei aus einer Anzahl von Paaren zusammengehörender x- und y-Werte. Diese können aus Messungen stammen oder aber einen theoretischen, durch eine Formel gegebenen Zusammenhang widerspiegeln.

Eigenschaften des x-y-Diagramms:

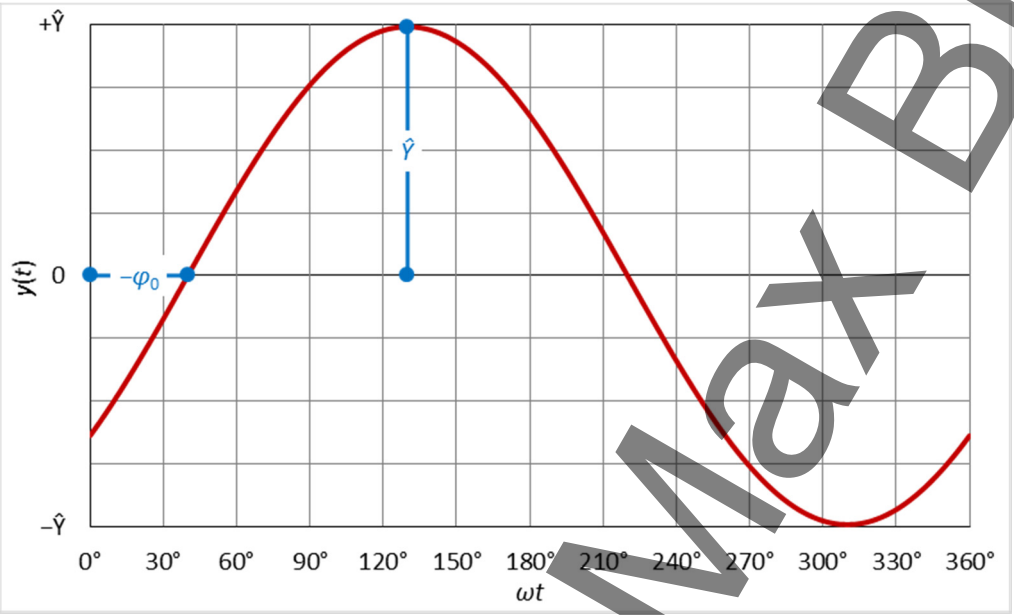
- Die x-y-Wertepaare können als einzelne Punkte dargestellt werden. So kann auch dann noch eine gewisse Übersichtlichkeit gewahrt werden, wenn die Werte sehr unstetig verlaufen (obere Grafik, sogenanntes *Punktdiagramm*).
- Wenn die x-y-Wertepaare einen „glatten" Verlauf zeigen, kann dieser durch Verwendung eines sogenannten *Liniendiagramms* noch hervorgehoben werden. Dabei werden die Punkte nicht mehr einzeln dargestellt, sondern durch eine kontinuierliche Linie verbunden (untere Grafik).
- Bei Bedarf können eine oder beide Achsen mit einer logarithmischen Skala versehen werden. Im ersten Fall spricht man von einem *einfach-logarithmischen*, im zweiten von einem *doppelt-logarithmischen Diagramm*.

Entwurf © Max Blatter

7 Zeitlicher Verlauf zahlenmäßig erfassbarer Größen (Niveau: Höhere Fachschule)

Wenn eine Größe sich mit der fortschreitenden Zeit ändert, stellt man den Verlauf üblicherweise in einem *x-y-Diagramm* dar (siehe Abschnitt 6.4), wobei auf der x-Achse die Zeit aufgetragen wird, auf der y-Achse die erfasste Größe. Die x-Achse wird dann auch als *Zeitachse* oder t-Achse bezeichnet. – Die folgenden Abschnitte zeigen besonders wichtige und oft vorkommende Arten von Zeitverläufen.

7.1 Sinusschwingung



$y(t) = \hat{Y} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$

Größe, deren schwingender Zeitverlauf beschrieben werden soll.

$\hat{Y}$ *Amplitude* oder *Scheitelwert*. Der maximal auftretende (positive) Wert der schwingenden Größe.

t *Zeit*.
Statt der Zeit selbst wird (wie in der obenstehenden Grafik) oft die Größe ωt angegeben.
Einheit von ωt: 1 rad = dimensionslose Größe;
oft aber gemäß der Beziehung 360° = 2π rad in Winkelgrad angegeben.

T *Periodendauer*.
Zeitspanne, nach der eine Schwingung vollendet ist und sich der Zeitverlauf exakt wiederholt.

$f = \frac{1}{T}$

Frequenz. Einheit: 1 Hz (Hertz). Siehe Abschnitt 2.3.

$\omega = 2\pi \cdot f$

Kreisfrequenz. Einheit: 1 rad/s = 1 s^{-1}. Siehe Abschnitt 2.3.

φ_0 *Nullphasenwinkel*. Gibt an, um wieviel der ansteigende Nulldurchgang der Sinusschwingung *vor* dem Zeitpunkt t=0 liegt (dann ist φ_0>0) respektive *nach* dem Zeitpunkt t=0 (dann ist φ_0<0).
(In der obenstehenden Grafik ist φ_0=−40°.)
Einheit: 1 rad = dimensionslose Größe;
oft aber gemäß der Beziehung 360° = 2π rad in Winkelgrad angegeben.

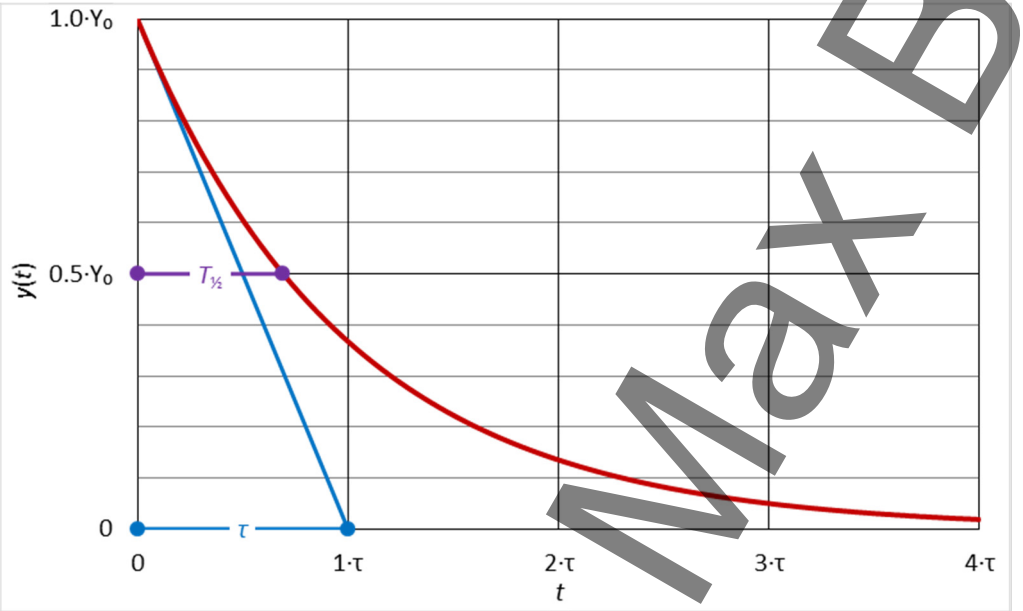
Oft setzen sich Sinusschwingungen verschiedener Frequenz zu komplexeren Schwingungen zusammen.

Entwurf © Max Blatter

Beispiele für (Sinus- oder komplexere) Schwingungen:

- Mechanische Schwingungen
- Schall
- Licht
- Radiowellen
- Elektrische Spannung und Stromstärke in der Wechselstrom-Energietechnik

*7.2 **Exponentielles Abklingen***



$y(t) = Y_0 \cdot \mathrm{e}^{-t/\tau}$

Größe, deren abklingender Zeitverlauf beschrieben werden soll.

Y_0 *Anfangswert*.

t *Zeit*.
Statt der Zeit selbst wird oft die Größe t/τ als dimensionslose Zahl angegeben.

τ *Abkling-Zeitkonstante*.
Anschauliche Bedeutung: Eine Tangente, die an die Kurve $y(t)$ gelegt wird, schneidet die Linie $y = 0$ nach Ablauf der Zeitspanne τ.

$T_{½} = (\ln 2) \cdot \tau \approx 0.693 \cdot \tau$

Halbwertszeit. Zeitspanne, nach der die Größe $y(t)$ auf die Hälfte abgeklungen ist.

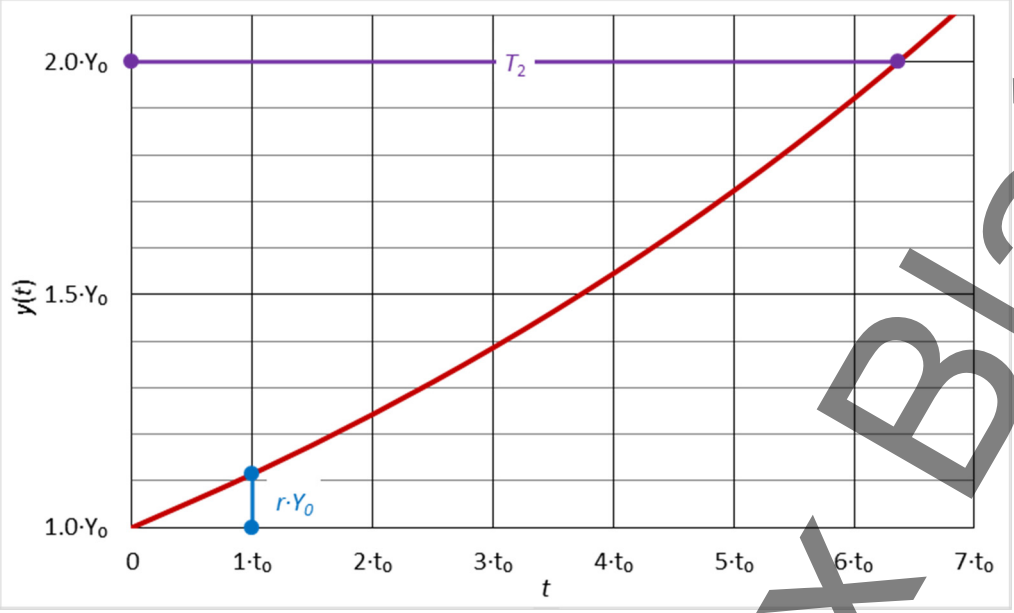
Theoretisch erreicht die Größe $y(t)$ nie exakt den Wert Null, wird in der Praxis aber irgendwann unmessbar klein.

Beispiele für (exakt oder annähernd) exponentielles Abklingen:

- Abklingen der Strahlung radioaktiver Substanzen
- Selbstentladung von Energiespeichern (Warmwasserspeicher, elektrische Batterien, …)

Entwurf © Max Blatter

7.3 Exponentielles Wachstum



$y(t) = Y_0 \cdot (1+r)^{t/t_0}$

Größe, deren anwachsender Zeitverlauf beschrieben werden soll.

Y_0 *Anfangswert*.

t *Zeit*.
Statt der Zeit selbst wird oft die Größe t/t_0 als dimensionslose Zahl angegeben.

t_0 *Wachstumsperiode*.
Zeitspanne, auf die sich die Wachstumsrate bezieht. Oft ein Jahr ($t_0 = 1\,\mathrm{a}$).

r *Wachstumsrate*.
Relative Zunahme der Größe $y(t)$ während einer Wachstumsperiode.
Einheit: Dimensionslose Zahl oder Prozentzahl.
(In der obenstehenden Grafik ist $r = 0.115 = 11.5\%$.)

$T_2 = \frac{\ln 2}{\ln(1+r)} \cdot t_0 \approx \frac{0.693}{\ln(1+r)} \cdot t_0$

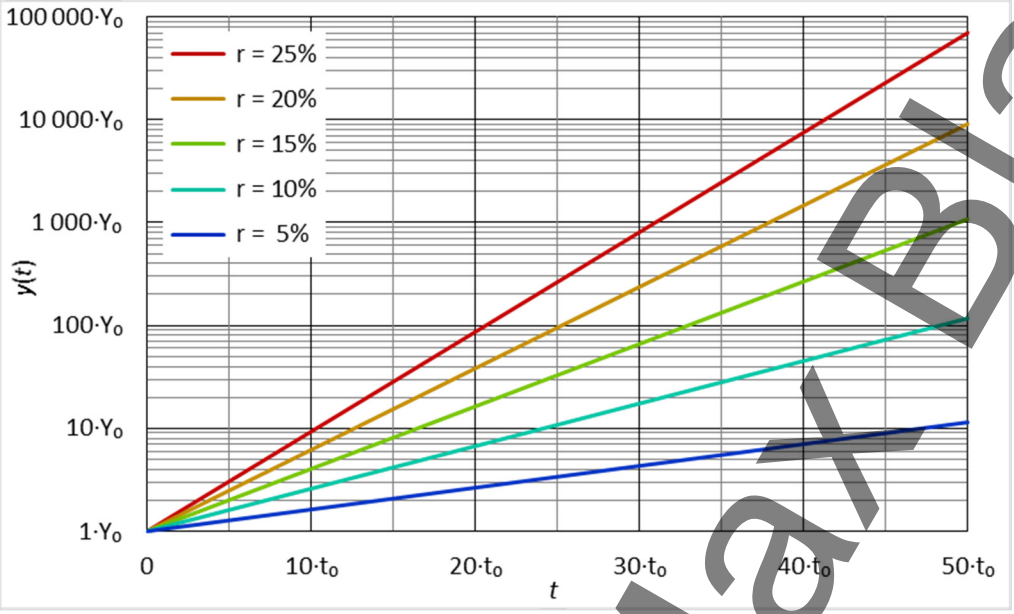
Verdoppelungszeit. Zeitspanne, nach der die Größe $y(t)$ auf das Doppelte angewachsen ist.
(In der obenstehenden Grafik ist $T_2 \approx 6.37 \cdot t_0$.)

Beispiele für (exakt oder annähernd) exponentielles Wachstum:

- Leistungsanstieg bei einer unkontrollierten nuklearen Kettenreaktion („Atombombe“)
- Zunahme der Population bei ungebremster Vermehrung von Lebewesen
- Anfängliche Verbreitung einer neu eingeführten Technologie (z.B. erneuerbare Energien)

Entwurf © Max Blatter

In der nachfolgenden Grafik wird der Verlauf des exponentiellen Wachstums für verschiedene Wachstumsraten in einem einfach-logarithmischen Diagramm gezeigt. Ein exponentielles Wachstum, das über etliche Wachstumsperioden anhält, führt demnach schon bei relativ bescheidenen Wachstumsraten zu einer Vervielfachung um mehrere Größenordnungen. In der Praxis treten allerdings stets nach einiger Zeit begrenzende Einflussfaktoren auf, die für ein Abflachen des Wachstums sorgen.



Entwurf © Max Blatter

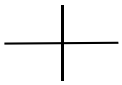
8 In Anlagenplänen verwendete Sinnbilder und Schaltzeichen

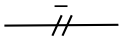
Die aufgeführten Sinnbilder lehnen sich weitgehend an die einschlägigen Normen an, können im Einzelfall aber leicht davon abweichen.

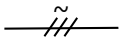
8.1 Allgemeine Elektrotechnik

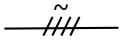
Leitung (allgemein)

Leitungsverzweigung (leitende Verbindung)


Leitungskreuzung ohne leitende Verbindung


2-polige Gleichstromleitung

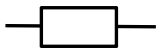

3-polige Drehstromleitung

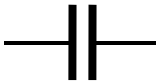

4-polige Drehstromleitung

Netzknoten

Einspeisepunkt

Erdverbindung


Ohmscher Widerstand

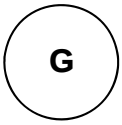

Kapazität

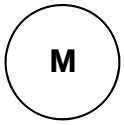
Induktivität

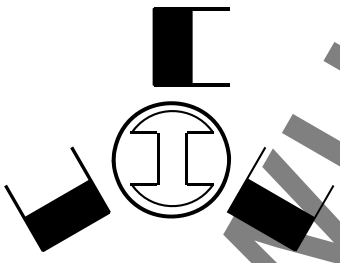
Transformator

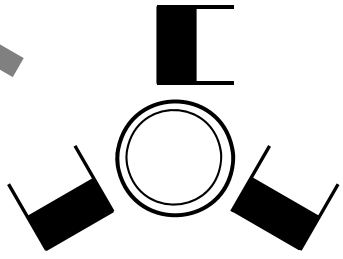
Transformator (Kurzsymbol)

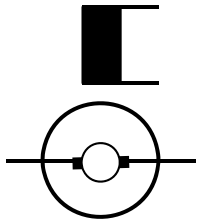
8.2 Elektrische Maschinen

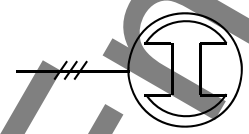

Generator, allgemein (Kurzsymbol)

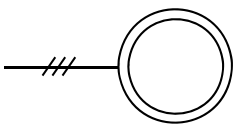
Motor, allgemein (Kurzsymbol)


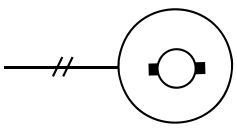

Dreiphasen-Synchronmaschine (unten Kurzsymbol)


Dreiphasen-Induktionsmaschine (unten Kurzsymbol)


Einphasen- oder Gleichstrom-Kommutatormaschine (unten Kurzsymbol)

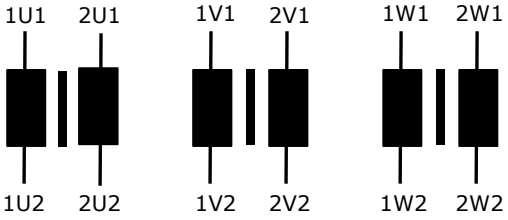




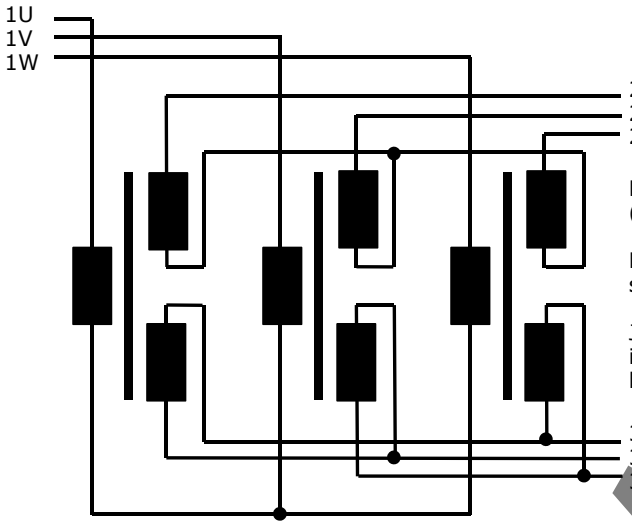


Entwurf © Max Blatter

8.3 Dreiphasen-Transformatoren, Gleich- und Wechselrichter



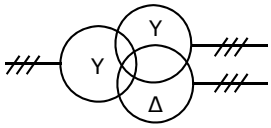
Drehstrom-Transformator
(rechts Kurzsymbol)



Drehstrom-Transformator
(rechts Kurzsymbol)

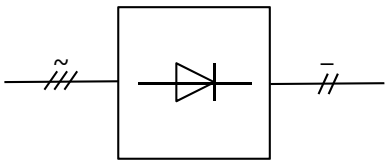
Primärwicklung in Stern-
schaltung ohne Neutralleiter

Je eine Sekundärwicklung
in Sternschaltung ohne Neutral-
leiter und in Dreieckschaltung



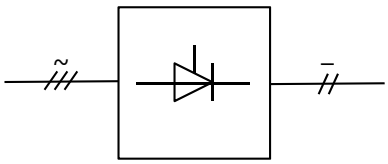
Diode

Thyristor



Dioden-
Gleichrichter
(Kurzsymbol)

thyristor-
gesteuerter
Gleich- und
Wechselrichter
(Kurzsymbol)



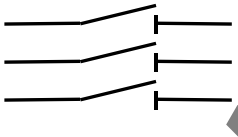
8.4 Elektrische Schaltanlagen

Trennschalter

Lasttrennschalter

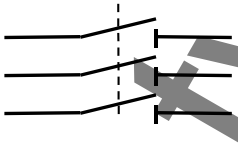
Leistungsschalter

Lastschalter

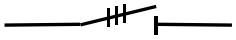


drei getrennte, einpolige
Trennschalter

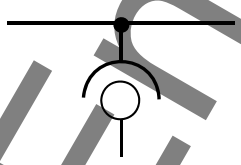
drei getrennte, einpolige
Trennschalter (Kurzsymbol)



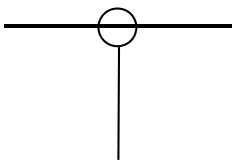
gekoppelter, dreipoliger
Trennschalter



gekoppelter, dreipoliger
Trennschalter (Kurzsymbol)



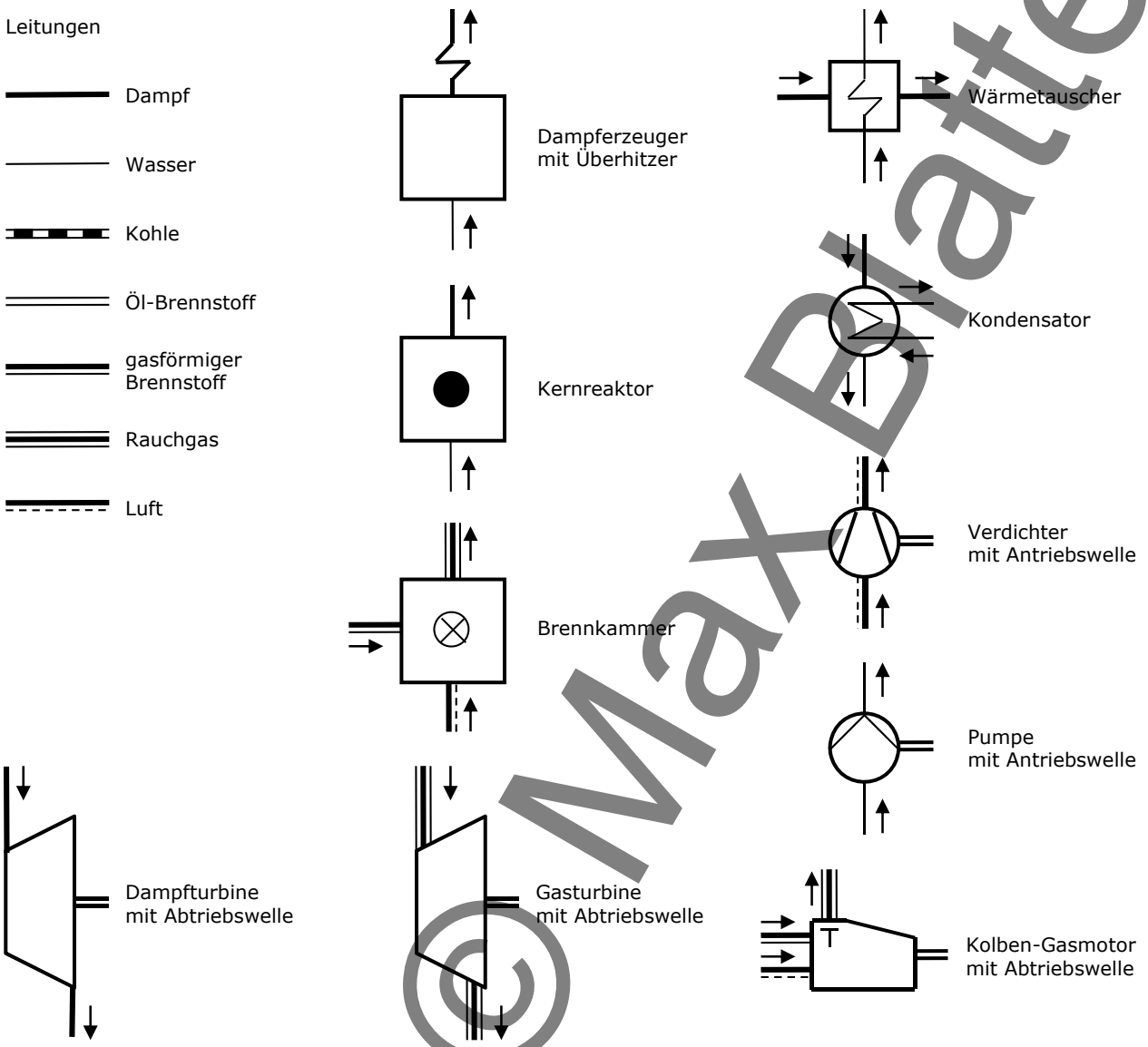
Spannungswandler



Stromwandler

Entwurf © Max Blatter

*8.5 **Wärmekraftanlagen***



Entwurf © Max Blatter