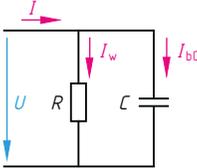
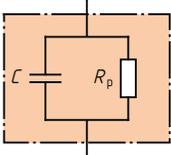


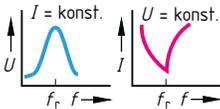
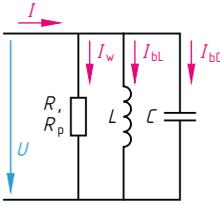
RL-Schaltung



RC-Schaltung



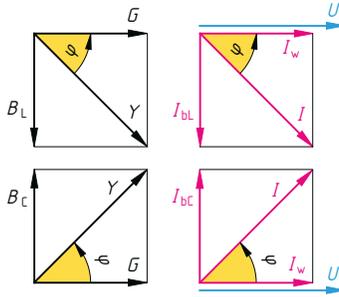
Kondensator mit Verlusten



RLC-Schaltung (Parallelschwingkreis)

Gütefaktor, Güte Parallelschwingkreis:

$$Q = R_p \sqrt{\frac{C}{L}}$$



B steht für B_L oder B_C ,
 I_b steht für I_{bL} oder I_{bC}

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} \quad 1$$

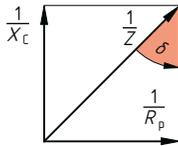
$$I = \sqrt{I_w^2 + I_b^2} \quad 2$$

$$I = \frac{U}{Z} \quad 3 \quad Z = \frac{1}{Y} \quad 4$$

$$G = Y \cdot \cos \varphi \quad 5 \quad I_w = I \cdot \cos \varphi \quad 6 \quad B = G \cdot \tan \varphi \quad 7 \quad I_b = I_w \cdot \tan \varphi \quad 8$$

Für R = X:

$$B = Y \cdot \sin \varphi \quad 9 \quad I_b = I \cdot \sin \varphi \quad 10 \quad Z = \frac{R}{\sqrt{2}} \quad 11 \quad \varphi = 45^\circ \quad 12$$



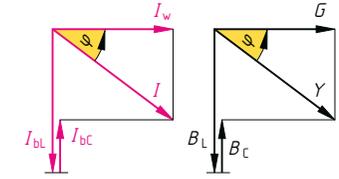
$$\tan \delta = \frac{X_C}{R_p} = \frac{1}{Q} \quad 13$$

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} \quad 14$$

$$I = \sqrt{I_w^2 + (I_{bL} - I_{bC})^2} \quad 15$$

$$\tan \varphi = \frac{B_L - B_C}{G} \quad 16$$

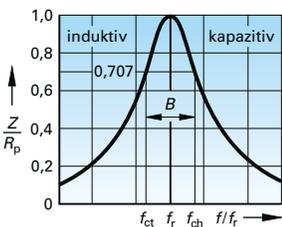
$$I = \frac{U}{Z} \quad 17 \quad Z = \frac{1}{Y} \quad 18$$



Bei Resonanz ist $X_L = X_C$.

$$Z = R \quad 19 \quad \varphi = 0^\circ \quad 20$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad 21 \quad B = f_{ch} - f_{ct} = \frac{f_r}{Q} \quad 22$$



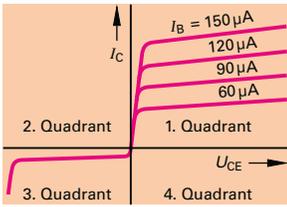
$$Q = \frac{I_{bL}}{I} = \frac{I_{bC}}{I} = \frac{R}{2\pi f_r \cdot L} = 2\pi f_r \cdot R \cdot C$$

- B Blindleitwert, auch Bandbreite (Schwingkreis)
- BC kapazitiver Blindleitwert
- BL induktiver Blindleitwert
- C Kapazität
- f Frequenz
- fr Resonanzfrequenz
- fch obere Grenzfrequenz
- fct untere Grenzfrequenz
- G Wirkleitwert

- I Gesamtstrom
- Ib Blindstrom
- IbC kapazitiver Blindstrom
- IbL induktiver Blindstrom
- Iw Wirkstrom
- L Induktivität der Spule
- Q Gütefaktor, Güte
- R Wirkwiderstand
- Rp Parallel-Verlustwiderstand
- U Gesamtspannung

- Xc kapazitiver Blindwiderstand
- XL induktiver Blindwiderstand
- Y Scheinleitwert
- Z Scheinwiderstand, Impedanz
- delta Verlustwinkel
- phi Phasenverschiebungswinkel
- cos phi Wirkfaktor, Leistungsfaktor
- sin phi Blindfaktor
- tan delta Verlustfaktor

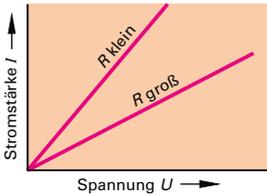
xy-Koordinaten (rechtwinklige Koordinaten, kartesische Koordinaten)



Quadranten

In einem rechtwinkligen Achsenkreuz (Koordinatensystem) zeigt ein Graph (eine Schaulinie) die abhängige Variable in der Senkrechten und die unabhängige Variable (Veränderliche) in der Waagrechten: $y = f(x)$. Werden drei Größen in einem Achsenkreuz dargestellt, hält man die dritte Größe als konstanten *Parameter*. Dabei entsteht eine *Kurvenschar* mit verschiedenen Parametern.

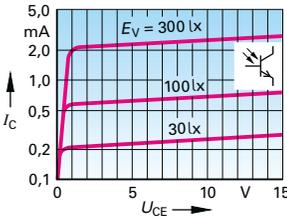
Quadrant	x-Achse	y-Achse
1.	+	+
2.	-	+
3.	-	-
4.	+	-



Widerstandskennlinien

Waagrechte Achse (x-Achse, Abszisse) für die unabhängige Variable, z.B. Ursache, Zeit. Formelzeichen und Einheit unter der Achse. Zunehmende Werte werden nach rechts, abnehmende nach links abgetragen.
Senkrechte Achse (y-Achse, Ordinate) für die abhängige Variable: $y = f(x)$. Zunehmende Werte nach oben, abnehmende Werte nach unten abtragen.

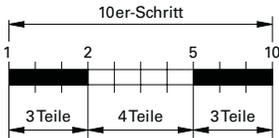
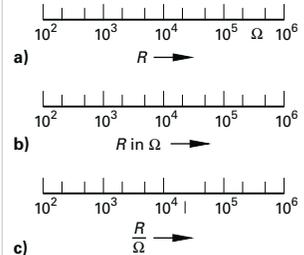
Formelzeichen und Einheit bei senkrechter Achse links neben Achse. Pfeilspitze zeigt in positive Achsrichtung. Pfeile auch parallel zu den Achsen möglich, Formelzeichen dann am Beginn der Pfeile.
Beschriftung muss von unten lesbar sein, nur ausnahmsweise von rechts (z.B. bei langen Ausdrücken).



Fototransistorkennlinien

Darstellung mit Netzlinien
Bei der quantitativen Darstellung sind die Achsen in gleichmäßigen oder unterschiedlichen Schritten aufgeteilt. Negative Werte sind mit dem Minuszeichen und die Nullpunkte beider Achsen mit einer Null zu kennzeichnen.

Das Einheitenzeichen schreibt man bei allen Diagrammen a) zwischen die letzten beiden Zahlen, b) hinter das Formelzeichen oder c) als Bruch: Formelzeichen dividiert durch Einheit.



Logarithmische Teilung

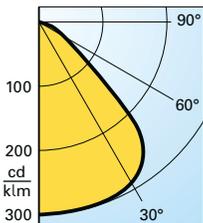
Umfassen die Werte einer Achse einen großen Bereich, teilt man sie im *logarithmischen Maßstab*. Der Abstand von 1 bis 10 ist gleich groß wie der Abstand von 10 bis 100 oder der Abstand von 100 bis 1 000.

Für die Darstellung der Zwischenwerte 2 und 5 bzw. 20 und 50 usw. teilt man den 10er-Schritt im Verhältnis 3 : 4 : 3.

Einfach-logarithmisch → 1 Achse logarithmisch.
Zweifach-logarithmisch → 2 Achsen logarithmisch.

Alternativen der Achsenbeschriftung

Polarkoordinaten



Verteilung der Lichtstärke einer Leuchte

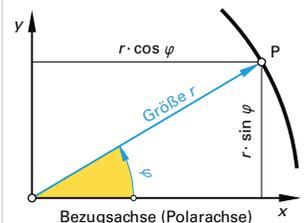
Zur Darstellung von *Richtkennlinien* verwendet man Polarkoordinaten. Sie dienen zur Darstellung der Abhängigkeit einer Größe von einem Winkel.

Umrechnung:

$$x = r \cdot \cos \varphi$$

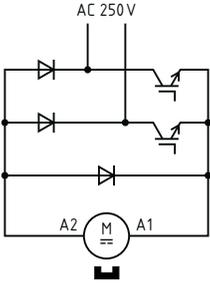
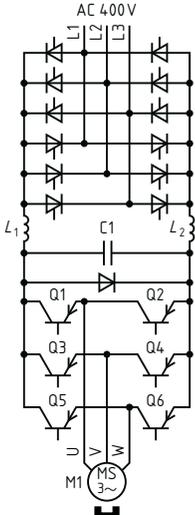
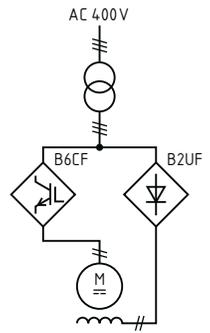
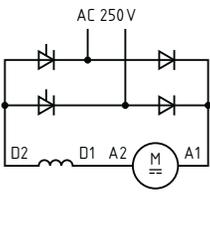
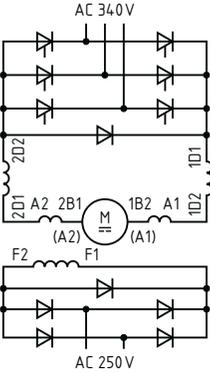
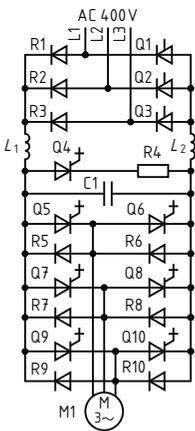
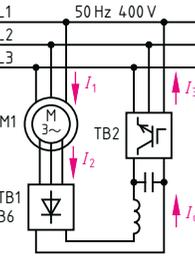
$$y = r \cdot \sin \varphi$$

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



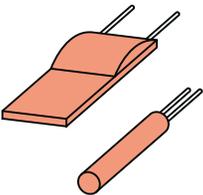
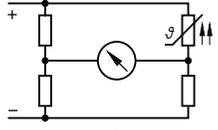
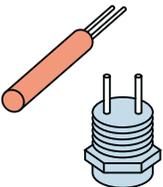
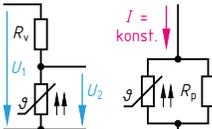
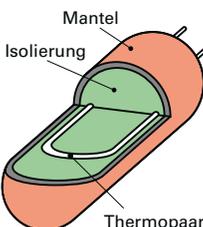
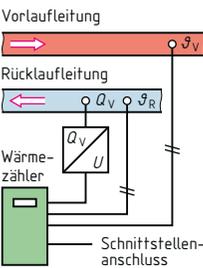
Polarkoordinaten (Aufbau)



Schaltplan	Benennung, Erklärung	Schaltplan	Benennung, Erklärung
Gleichstrommotoren			
	<p>Gleichstrommotor für DC 220 V mit Dauermagnet-erregung (fremderregter Gleichstrommotor) an Stromrichterschaltung B2HKF (Zweipulsbrückenschaltung, halbgesteuert mit Freilaufdiode).</p> <p>Darstellung für Stromlauf-plan.</p>	<p>Drehfeldmotoren (synchrone oder asynchrone)</p>  <p>Synchronmotor mit Dauermagnet-erregung, z. B. Servomotor, an Umrichter zur Pulsweitenmodulation mit Gleichspannungszwischenkreis (U-Umrichter).</p> <p>Der Umrichter besteht aus dem Netzstromrichter B6AB6 (2 Sechspulsbrückenschaltungen antiparallel) für Vierquadrantenbetrieb und Energie-rücklieferung, dem Gleichspannungszwischenkreis mit Freilaufdiode und dem Maschinenstromrichter B6C aus Transistoren zur Pulsweitenmodulation (PWM).</p>	
	<p>Fremderregter Gleichstrommotor mit Erregerwicklung.</p> <p>Anker an Stromrichterschaltung B6CF (Sechspulsbrückenschaltung mit Freilaufdiode), Erregerwicklung an ungesteuerter Stromrichterschaltung B2UF (Zweipulsbrückenschaltung mit Freilaufdiode).</p> <p>Darstellung für Übersichts-schaltplan.</p>		
	<p>Gleichstrom-Reihenschlussmotor für DC 220 V an Stromrichterschaltung B2HA (Zweipulsbrückenschaltung, halbgesteuert).</p> <p>A1A2 steht für den ganzen Ankerstromkreis, wenn vorhanden mit B- und C-Wicklung. Diese werden zur Entstörung geteilt und in A1A2 eingefügt.</p>		
	<p>Fremderregter Gleichstrommotor für DC 440 V mit Reihenschluss-Hilfswicklung (Doppelschlussmotor) und Wendepolwicklung.</p> <p>Der Läufer ist an eine Stromrichterschaltung B6CF (sechspulsig vollgesteuerte Brückenschaltung mit Freilaufdiode) angeschlossen, die Erregerwicklung für DC 220 V an eine ungesteuerte Stromrichterschaltung B2UF.</p>		
			<p>Kurzschlussläufermotor an Umrichter zur Pulsamplitudenmodulation mit Gleichspannungszwischenkreis (U-Umrichter).</p> <p>Der Umrichter besteht aus dem Netzstromrichter B6HA (Sechspulsbrückenschaltung, halbgesteuert), der keine Energierücklieferung ermöglicht, dem Gleichspannungszwischenkreis L_1, L_2, C_1 mit Bremskreis Q4, R4 und dem Maschinenstromrichter B6C aus Abschaltthyristoren (GTO bzw. IGC) oder IGBTs und Blindleistungsdiolen.</p>
			<p>Schleifringläufermotor mit läuferseitigem Gleichspannungszwischenkreis.</p> <p>Die Läufer-spannung wird durch einen Gleichrichter B6 (TB1) gleichgerichtet. Diese Gleichspannung wird durch TB2 (Wechselrichter B6C) in Wechselspannung der Netzfrequenz umgerichtet. Die Schlupfenergie wird zurückgespeist.</p> <p>I_d Gleichstrom</p>

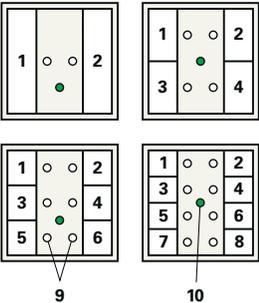
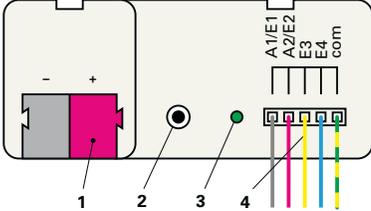
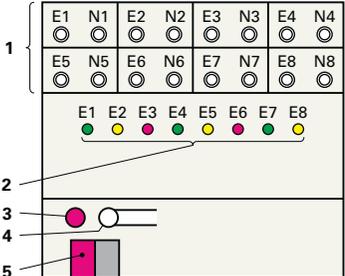
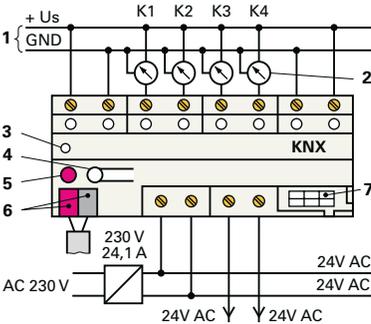
Weitere Stromrichterschaltungen in Teil AS „Schaltungen für Gleichrichter und Stromrichter“, „Halbgesteuerte Stromrichter“, „Vollgesteuerte Stromrichter“, „Gleichstromsteller, U-Umrichter“. Siehe [Seiten 433 f.](#)



Prinzip, Art	Aufbau, Wirkungsweise	Eigenschaften	Anwendungen, Formel
 <p>Widerstandsthermometer</p>	<p>Platinwiderstand nimmt fast linear mit der Temperatur zu. Platinschicht als Dünnschicht auf Aluminiumoxid-Träger, durch Glasüberzug geschützt oder in Keramikgehäuse eingeschlossen.</p> <p>Positiver Temperaturbeiwert; Temperaturbereich von -50°C bis $+600^{\circ}\text{C}$.</p>	<p>Bemessungswiderstand R_N meist $100\ \Omega$, $500\ \Omega$ oder $1000\ \Omega$. Für $\vartheta = 0^{\circ}\text{C}$, z.B. PT 100 $\Rightarrow R_N = 100\ \Omega$.</p> <p>Enge Toleranz, schnelle Ansprechzeit, erschütterungsempfindlich.</p> <p>Messfehler infolge Eigen Erwärmung durch Messstrom.</p>	
 <p>Silicium-Temperaturfühler</p>	<p>N-leitendes Silicium, das zwischen zwei Kontaktflächen einen positiven Temperaturbeiwert und eine leicht gekrümmte Temperatur-Widerstands-Kennlinie aufweist.</p> <p>Gehäuse Kunststoff oder Messing.</p> <p>Wegen Eigen erwärmung nur kleiner Messstrom ($\approx 0,1\ \text{mA}$).</p>	<p>Temperaturbereich von -50°C bis $+150^{\circ}\text{C}$.</p> <p>Linearisierung der Kennlinie durch:</p> <p>Konstante Spannung Konstante Stromstärke</p> 	<p>Messen, Steuern und Regeln der Temperatur, der Luft oder anderer Gase sowie von Flüssigkeiten.</p> <p>Temperaturmessung in Flüssigkeiten unter Druck.</p> <p>Automotor-Temperatur-Überwachung.</p> <p>Heißwassergeräte und Fieberthermometer.</p>
 <p>Heißleiter-Temperaturfühler</p>	<p>Temperaturabhängiger Heißleiterwiderstand mit negativem Temperaturkoeffizient α zwischen $-3\%/K$ und $-5\%/K$.</p>	<p>Hohe Empfindlichkeit, nicht lineare Kennlinie, hoher Widerstandswert; mechanisch, thermisch und elektrisch stabil; hohe Lebensdauer; kleine Bauform.</p>	<p>Temperaturregelung in Klimaanlage, Kühlschränken und Geschirrspülern.</p> <p>Temperaturkompensation in elektronischen Schaltungen.</p> <p>Siehe auch Seite 56 Halbleiterwiderstände.</p>
 <p>Thermoelement-Temperaturfühler</p>	<p>Zwei miteinander verschweißte Leiter stark unterschiedlicher Elektronenkonzentration (Thermopaar) liefern beim Erwärmen eine Spannung, die proportional zur Temperatur ist.</p>	<p>Fe (+) zu CuNi (-) für -200°C bis 700°C (J).</p> <p>NiCr (+) zu Ni (-) für -200°C bis 1200°C (K).</p> <p>NiCrSi (+) zu NiSi (-) für -200°C bis 1300°C (N).</p> <p>PtRh (+) zu Pt (-) für bis 1600°C (R, S, B).</p> <p>R, S, B, J, K, N sind internationale Kennbuchstaben.</p> <p>www.tcgmbh.de</p>	<p>An festen Körpern:</p> <p>Mit abgeflachter Mess-Stelle zum Anpressen oder Anlöten bzw. Einlassen in ein Bohrloch für einen guten thermischen Kontakt zwischen dem Thermoelement und dem Messobjekt.</p> <p>Thermoelemente sind Bestandteile von Messschaltungen mit Kalibriervorrichtung.</p>
 <p>Wärmemengenmessung</p>	<p>Die Wärmemengenmessung, z.B. in Heizungsanlagen, besteht aus einem Durchflusssensor für die Durchflussmenge, zwei Temperaturfühlern für die Messung der Vorlauf- und Rücklauftemperatur sowie dem mikrocontrollergesteuerten Kleincomputer.</p> <p>Für die Weiterleitung der Informationen werden Draht-Schnittstellen, z.B. zum M-Bus, oder Funkschnittstellen verwendet.</p>	<p>Der Wärmekoeffizient k ist für die jeweilige Wärmeträgerflüssigkeit im EEPROM des Messgerätes abgelegt.</p> <p>Über eine Abfrage werden Vorlauf- und Rücklauftemperatur, $\Delta T = \vartheta_V - \vartheta_R$, und k-Wert ermittelt. Durchfluss und Wärmeleistung werden auf einem 4-stelligen Display angezeigt.</p> <p>ΔT Temperaturdifferenz in Kelvin</p>	<p>Wärmeleistung</p> $P = Q_V \cdot (\vartheta_V - \vartheta_R) \cdot k$ <p>P Wärmeleistung in kW Q_V Durchfluss in m^3/h ϑ_V Vorlauftemperatur in $^{\circ}\text{C}$ ϑ_R Rücklauftemperatur in $^{\circ}\text{C}$ k Wärmekoeffizient in $\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$</p>

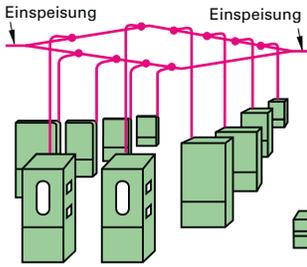
Anmerkung: Betriebsbereite Sensor-Schaltungen besitzen z.B. Schnittstellen RS232, AS-i, USB, Funk, SPE.



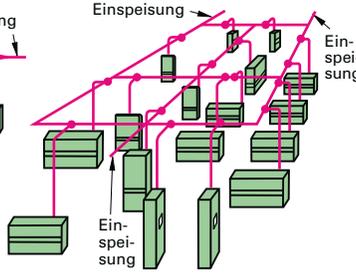
Komponente	Erklärung	Daten, Bemerkungen
 <p>Tastensormodule 1-fach, 2-fach, 3-fach und 4-fach</p>	<p>Bedientasten: 1 bis 8 Status-LEDs: 9 Betriebs-LED: 10</p> <p>Funktion softwareabhängig. Tasten-Bedienung funktionsabhängig.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beispiel Schalten, Dimmen: Schalten → Taste kurz drücken, Dimmen → Taste lang drücken, loslassen stoppt Dimmen. • Beispiel Jalousie schalten: Jalousie fahren → Taste lang drücken, Jalousie stoppen/verstellen bzw. kippen → Taste kurz drücken. 	<p>Meist werden Universal-Tastensensoren mit integriertem Bus-anakoppler verwendet. Ihre Funktion ist softwareabhängig.</p> <p>Damit kann jede Taste eine andere Schaltfunktion ausführen, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schalten, • Dimmen, • Jalousien steuern, • Wert geben (senden), • Szenen aufrufen. <p>Häufig kann auch ein Erweiterungsmodul angeschlossen werden.</p>
 <p>Tasterschnittstelle</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 KNX-Busanschluss 2 Programmier-taste 3 Programmier-LED 4 Anschlussleitungen für die 2/4 Kanäle 	<p>Mit dieser Schnittstelle können herkömmliche Schaltgeräte (potenzialfreie Kontakte) an den KNX-Bus angeschlossen werden.</p> <p>Die Spannungsversorgung dieser Kontakte erfolgt über den Bus.</p> <p>Die Anschlussleitungen von 280 mm Länge dürfen nicht verlängert werden.</p>
 <p>Binäreingang REG (Reiheneinbaugerät)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 Anschluss Eingänge 2 Status LEDs der Eingänge 3 Programmier-LED 4 Programmier-taste 5 KNX Busanschluss <p>Zustandsabfrage von Schalt-, Tastkontakten, Signalen angeschlossener Verbraucher.</p> <p>Für z. B. Schalten, Dimmen, Jalousie-Schalten. Potenzialanschlüsse N für jeden Eingang.</p>	<p>Mit Binäreingängen REG können herkömmliche Schaltgeräte an den Bus angeschlossen werden.</p> <p>Unterschieden werden: Geräte für AC 110 V bis 230 V, für AC/DC 12 V bis 48 V, und für potenzialfreie Kontakte.</p> <p>Je nach Parametrierung wird die steigende oder fallende Flanke des Signals verarbeitet.</p>
 <p>Analogeingang REG (Reiheneinbaugerät)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 + U_s Versorgung externer Messwertaufnehmer (+/-) 2 Messwertaufnehmer 3 Status LED 4 Programmier-taste 5 Programmier-LED 6 KNX-Busanschluss 7 Modulanschluss für Erweiterung <p>Verarbeitung analoger Sensorsignale möglich.</p>	<p>Analoge Signale, z. B. für</p> <ul style="list-style-type: none"> • Helligkeit, • Dämmernung, • Regen, • Temperatur, • Wind, <p>können mit dem Analogeingang und entsprechenden Sensoren an den Bus angeschlossen werden.</p> <p>Die Analogeingänge werden auf Drahtbruch überwacht.</p>

Anordnung der Stromschienensysteme

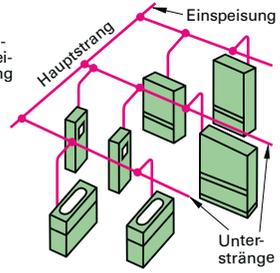
Ringstrang mit 2 Einspeisungspunkten



Maschennetz mit 3 Einspeisungspunkten



Hauptstrang mit Untersträngen



Arten von Stromschienensystemen

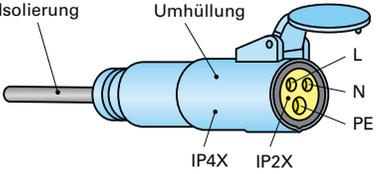
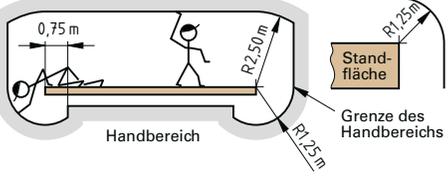
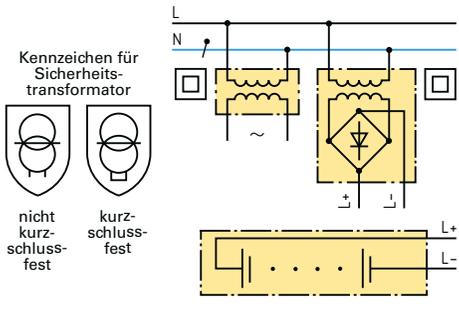
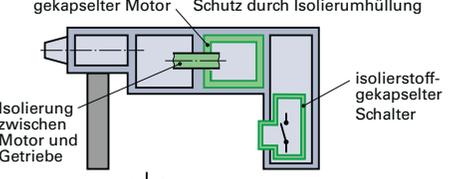
Bezeichnung	Anwendung	Bemerkungen	
Schienenverteiler, fabrikfertig	ohne Abgänge	Stromversorgung in Gebäuden	Horizontale oder vertikale Anordnung, Ersatz für Kabel
	mit Abgängen	Hauptleitungen in Hochhäusern	Ersatz für Kabel
	mit veränderbaren Abgängen	Versorgung von Verbrauchsmitteln	Maschinen, leicht umstellbar
	mit Stromabnehmerwagen	Versorgung ortsveränderlicher Verbraucher	Für Elektrowerkzeuge
	für Leuchten	Lichtbänder	Auch kombiniert mit Kraftversorgung
Stromschienensystem, nicht fabrikfertig	abgedeckt, umhüllt, z.T. offen	Verbindung von Transformator mit Niederspannungs-Hauptschaltanlage	Ersatz für Kabel, Ersatz für Hauptleitungen in Hochhäusern.
Schleifleitungen	abgedeckt, z.T. offen	Stromversorgung von Hebezeugen	Nur außerhalb des Handbereichs zulässig.

Schutzmaßnahmen: Körper der Stromschienensysteme Schutzklasse I müssen an der gekennzeichneten Stelle mit dem Schutzleiter verbunden werden.
 Für Stromschienensysteme Schutzklasse II gelten die Bestimmungen für Schaltanlagen und Verteiler.
Anschlussstellen: Müssen auch nach dem Errichten der Anlage ohne Schwierigkeiten zugänglich sein.
Befestigung: Zuverlässig. Bei Übergang von horizontal in vertikal muss gewichtsbedingte Verschiebung berücksichtigt werden.
Längendehnung: Abhilfe durch Einbau von Dehnungsbändern.
Anschlüsse und Verbindungen: Bei fabrikfertigen Systemen nur mit passenden Zubehörteilen.

Kennwerte von Schienenverteiler-Systemen

Umgebungstemperatur	-5 °C bis +40 °C			
Schutzart DIN EN 60529	IP54	IP54	IP52, IP54	IP34, IP54
Werkstoff: Schienenkästen	Stahlblech verzinkt und lackiert		Stahlblech feuerverzinkt, lackiert	
Werkstoff: Stromschienen	Cu-Runddrähte, verzinkt und isoliert	Al bzw. Cu	Al	Al bzw. Cu
Bemessungsbetriebsspannung U_N	400 V AC	400 V AC	690 V AC	1000 V AC
Bemessungsisolationsspannung U_{Ni}	400 V AC 400 V DC	400 V AC 400 V DC	690 V AC 800 V DC	1000 V AC 1200 V DC
Bemessungsstrom I_N	25–40 A	40–160 A	100–800 A	1100–5000 A
Bemessungsstoßstromfestigkeit I_{pk}	2,4–3,6 kA	2,55–15,3 kA	14–78 kA	121–286 kA
Bemessungskurzzeitstromfestigkeit I_{cw} (t = 1 s)	0,56–0,85 kA	0,58–2,5 kA	4,5–32 kA	40–116 kA



Schutzart	Erklärung	Bemerkungen, Ansichten
Maßnahmen für den Basisschutz		
Normaler (allgemeiner) Basisschutz	<p>Basisisolierung verhindert das Berühren aktiver (unter Spannung stehender) Teile. Die Isolierung darf nur durch Zerstörung entfernbar sein.</p> <p>Abdeckung oder Umhüllung verhindert ebenfalls direktes Berühren. Es muss mindestens die Schutzart IP2X vorhanden sein, bei horizontalen Abdeckungen IP4X. Öffnen oder Entfernen darf nur mit Werkzeug oder Schlüssel möglich sein.</p>	 <p>Beispiel einer Basisisolierung</p>
Basisschutz in fachlich überwachten Anlagen	<p>Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs muss das <i>unbeabsichtigte Berühren</i> aktiver Teile verhindern.</p> <p>Schutz durch Hindernisse muss nur die <i>unbeabsichtigte Annäherung</i> an aktive Teile verhindern. Hindernisse müssen so gesichert sein, dass sie nicht <i>unbeabsichtigt</i> entfernt werden können.</p> <p>Fachliche Überwachung (kein Normbegriff) ist gegeben, wenn die Anlage von einer Elektrofachkraft oder elektrotechnisch unterwiesenen Person betrieben und beaufsichtigt wird (VDE 0100-410).</p>	 <p>Beim Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs dürfen innerhalb des Handbereichs gleichzeitig berührbare Teile verschiedenen Potentials nicht vorhanden sein.</p>
Maßnahmen für gleichzeitigen Basisschutz und Fehlerschutz		
Schutz durch Kleinspannungen SELV und PELV	<p>SELV (Sicherheitskleinspannung) ist als Basisschutz meist geeignet bis AC 25 V bzw. DC 60 V, als Fehlerschutz bis AC 50 V bzw. DC 120 V. Aktive Teile nicht mit PE oder Erde verbinden. Leitungen getrennt von anderen Stromkreisen verlegen. Isolationswiderstand $\geq 0,5 \text{ M}\Omega$.</p> <p>PELV (Schützende Kleinspannung) Die Betriebsmittel sind zum Funktionspotenzialausgleich geerdet. Basisschutz, z.B. durch Isolierung, erforderlich. Sonstige Bedingungen wie bei SELV.</p> <p>FELV (Funktionskleinspannung) Stromquelle, z.B. Trafo mit getrennten Wicklungen, keine eigenständige Schutzmaßnahme. Maßnahmen wie bei normalen Stromkreisen erforderlich.</p>	 <p>Stromquellen für SELV und PELV</p>
Doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse II)	<p>Eine zusätzliche oder verstärkte Isolierung der aktiven Teile verhindert eine gefährliche Spannung auch bei schadhafter Basisisolierung. Alle leitfähigen Teile eines Betriebsmittels, die von aktiven Teilen nur durch die Basisisolierung getrennt sind, müssen in Schutzart IP2X umhüllt sein. Isolationswiderstand $\geq 2 \text{ M}\Omega$. Leitfähige Teile dürfen nicht an den PE angeschlossen sein. Enthält die Anschlussleitung einen PE, so wird dieser an den Stecker angeschlossen, nicht aber an das Betriebsmittel der Schutzklasse II (SkII).</p>	 <p>Handwerkzeug mit Schutzklasse II</p>
SkII		<p>Kennzeichnungen für Schutzklasse II</p>
Bemessungsspannungen von SELV und PELV, höchstzulässige bestehenbleibende Berührungsspannungen		
AC 50 V, DC 120 V	Übliche Anlage, z.B. Wohnhausinstallation, in Werkstätten.	Beleuchtungsstromkreise, Steckdosenstromkreise, Motorstromkreise.
AC 25 V, DC 60 V	Anlagen, in denen mit niedrigem Körperwiderstand der Menschen zu rechnen ist.	Stromkreise in medizinisch genutzten Bereichen, Stromkreise in unmittelbarer Nähe zu Schwimmbecken.
AC < 25 V, DC < 60 V	Anlagen, in denen mit extrem niedrigem Körperwiderstand zu rechnen ist.	AC $\leq 12 \text{ V}$ bzw. DC $\leq 30 \text{ V}$ für Stromkreise z.B. in Schwimmbecken und in der Nähe von Fontänen ¹ .
AC Alternating Current	FELV Functional Extra Low Voltage ($\leq \text{AC } 50 \text{ V, DC } 120 \text{ V}$)	SELV Safety Extra Low Voltage nötig
DC Direct Current	PELV Protective Extra Low Voltage	¹ Auch bei PELV kein weiterer Basisschutz nötig.



Übliche Drehstromtransformatoren

Zeigerbild OS	Übersetzung $U_1 : U_2$	Schaltgruppe	Schaltung OS US	Zeigerbild US	Schaltgruppe	Schaltung OS US	Zeigerbild US
	$\frac{N_1}{N_2}$	Dreieck-Dreieck Dd0			Dreieck-Dreieck Dd6		
	$\frac{N_1}{N_2}$	Stern-Stern Yy0			Stern-Stern Yy6		
	$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$	Dreieck-Stern Dy5			Dreieck-Stern Dy11		
	$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$	Stern-Dreieck Yd5			Stern-Dreieck Yd11		
	$\frac{2 N_1}{\sqrt{3} N_2}$ $\frac{2 N_1}{3 N_2}$	Stern-Zickzack Yz5 Dz0, Dz6			Stern-Zickzack Yz11		

N_1 und N_2 sind Windungszahlen je Strang; U_1 und U_2 sind Leiterspannungen (Dreiecksspannungen) bei Leerlauf. Ist der Sternpunkt herausgeführt, wird an die betreffende Schaltung ein n bzw. N angehängt, z.B. Dyn5 oder YNd5.

Spartransformator, Transformatorsätze

Schaltgruppe	Zeigerbild OS	Schaltung Spartransformator OS US	Zeigerbild US	Schaltgruppe	Zeigerbild OS	Schaltung OS US	Zeigerbild US
Y0				Ii0		Einphasentransformator für Drehstromsätze	

Transformatorsätze (Transformatorbänke) bestehen aus Einphasentransformatoren, die wie die Wicklungen eines Drehstromtransformators geschaltet sind, z.B. zu Dy11 (Oberspannungsseiten OS in Dreieck, Unterspannungsseiten US in Stern). I,i Einphasenschaltung (I für OS, i für US).

Leistungsschild

Hersteller

Typ NR. Baujahr 2024 VDE0532

Bem.-leistung kVA 160 Art LT Frequenz Hz 50

Bem.-spg. V 20800 400 Betrieb S1

3 19200 Reihe Yzn5

Bem.-strom A 4,62 231 Isol.-Kl. A

Kurzschl.-Spg.% 4,1 Kurzschl.-Strom kA

Schutzart IP55 Kurzschl.-Dauer max.s 1,8

Kühlungsart S

Ges.-Mas. t 1,0 Öl-Masse t 0,27

Angegeben sind Name des Herstellers, Transformatortyp, Herstellungsnummer, Baujahr, zugrunde liegende VDE-Bestimmung, Bemessungsleistung, Art des Transformators (z.B. LT für Leistungstransformator), Frequenz, Bemessungsbetriebsart, Oberspannungen (je nach Einstellung des Umspanners), Unterspannung, Schaltgruppe, Reihe (für Isolation maßgebende Spannung in kV), Bemessungsströme, Isolationsklasse, Schutzart IP, Kühlungsart, z.B. S für Selbstkühlung, relative Kurzschlussspannung.

Weitere Angaben sind möglich. Einzelne Angaben können aber auch fehlen → zunehmend digitale Leistungsschilder.

Statt Bemessungs-, z.B. Bemessungsleistung, verwenden manche Bestimmungen auch Nenn-, z.B. Nennleistung.

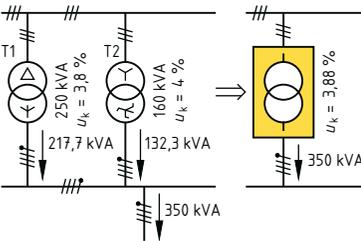


Bedingungen für Parallelbetrieb

- Die **Bemessungsspannungen (Nennspannungen)** der parallel zu schaltenden Wicklungen müssen gleich sein.
- Die **Kurzschlussspannungen** der parallel zu schaltenden Transformatoren müssen annähernd gleich sein. Zulässig ist eine Abweichung der Kurzschlussspannungen untereinander von 10 % .
- Das **Verhältnis der Bemessungsleistungen** der parallel zu schaltenden Transformatoren soll kleiner sein als 3 : 1.
- Die **Phasenlage** der Spannungen muss bei Leerlauf und bei Belastung gleich sein. Ist bei **Einphasentransformatoren** die Phasenlage nicht gleich, so kann durch Umpolen einer Eingangsseite oder einer Ausgangsseite die gleiche Phasenlage erreicht werden. **Drehstromtransformatoren** müssen gleiche Kennzahlen der Schaltgruppen haben, damit die Phasenlage gleich ist. Transformatoren der Kennzahl 5 können jedoch mit Transformatoren der Kennzahl 11 parallel geschaltet werden, wenn man die Anschlüsse geeignet vertauscht (siehe folgende Tabelle).

Prüfung der Phasenlage beim Parallelschalten		Anschlussmöglichkeiten bei Transformatoren mit Kennzahlen 5 und 11					
<p>Nach Anschluss der Eingangswicklung darf zwischen den zu verbindenden Ausgangsklemmen keine Spannung herrschen. Gefordert: Kennzahl 5</p>	geforderte Kennzahl	Anschluss an die Leiter der Oberspannungsseite			Anschluss an die Leiter der Unterspannungsseite		
	vorhandene Kennzahl	L1	L2	L3	L1	L2	L3
	5	1U	1V	1W	2U	2V	2W
	11	1U	1V	1W	2U	2V	2W
	5	1U	1W	1V	2W	2V	2U

Lastverteilung beim Parallelschalten von Transformatoren



$$\sum S_N = S_{N1} + S_{N2} + \dots$$

Einzeilleistungen

$$S_1 = S_{N1} \cdot \frac{u_k}{u_{k1}} \cdot \frac{\sum S}{\sum S_N}$$

bei gleichen u_k :

$$S_1 = \sum S \cdot \frac{S_{N1}}{\sum S_N}$$

entsprechend für S_2 ; S_3 ; ...

Kurzschlussspannung

$$u_k = \frac{\sum S_N}{\frac{S_{N1}}{u_{k1}} + \frac{S_{N2}}{u_{k2}} + \dots}$$

Gesamtlast:

$$S_{\max} = \sum S_N \cdot \frac{u_{k\min}}{u_k}$$

Beispiel: Berechnen Sie die Lastverteilung zweier parallel geschalteter Transformatoren.

Transformator T1: Bemessungsleistung 250 kVA, Kurzschlussspannung 3,8 %,

Transformator T2: Bemessungsleistung 160 kVA, Kurzschlussspannung 4 %, Gesamtlast 350 kVA.

Lösung:
$$u_k = \frac{\sum S_N}{\frac{S_{N1}}{u_{k1}} + \frac{S_{N2}}{u_{k2}}} = \frac{250 \text{ kVA} + 160 \text{ kVA}}{\frac{250 \text{ kVA}}{3,8 \%} + \frac{160 \text{ kVA}}{4 \%}} = \frac{410}{65,8 + 40} = 3,88 \%$$

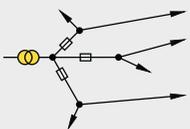
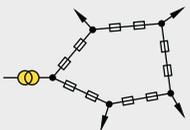
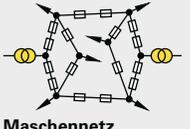
$$S_1 = S_{N1} \cdot \frac{u_k}{u_{k1}} \cdot \frac{\sum S}{\sum S_N} = 250 \text{ kVA} \cdot \frac{3,88 \%}{3,8 \%} \cdot \frac{350 \text{ kVA}}{410 \text{ kVA}} = 218 \text{ kVA}$$

$$S_2 = S_{N2} \cdot \frac{u_k}{u_{k2}} \cdot \frac{\sum S}{\sum S_N} = 160 \text{ kVA} \cdot \frac{3,88 \%}{4 \%} \cdot \frac{350 \text{ kVA}}{410 \text{ kVA}} = 132 \text{ kVA}$$

Probe:
218 kVA + 132 kVA = 350 kVA

S_1, S_2, \dots	Lastabgaben der einzelnen, parallel geschalteten Transformatoren	$\sum S_N$	Summe der Bemessungsleistungen der parallel geschalteten Transformatoren
S_{\max}	maximale Gesamtlast Verbraucher	u_k	resultierende Kurzschlussspannung der Parallelschaltung
$\sum S$	Gesamtlast (Leistungsaufnahme der angeschlossenen Verbraucher)	$u_{k1}, u_{k2} \dots$	Kurzschlussspannungen der einzelnen Transformatoren
S_{N1}, S_{N2}, \dots	Bemessungsleistungen der einzelnen, parallel geschalteten Transformatoren	$u_{k\min}$	kleinste Kurzschlussfassung der einzelnen Transformatoren



Netzformen (Topologie)			
Netzart	Kennzeichen	Anwendung	Vorteile und Nachteile
 <p>Strahlennetz</p>	Die Energieversorgung verteilt sich strahlenförmig von einem gemeinsamen Einspeisepunkt aus. An jedem Strahl sind ein oder mehrere Verbraucher angeschlossen.	In Mittel- und Niederspannungsnetzen. Zur Energieversorgung von Reihendörfern oder Siedlungen in engen Tälern.	Hoher Spannungsfall am Ende der Leitung. Große Spannungsschwankungen abhängig von den Anschlusswerten der Verbraucher. Sichere Energieversorgung ist nicht gewährleistet. Große Leiterquerschnitte sind erforderlich.
 <p>Ringnetz</p>	Das Ende eines Versorgungsstrahls wird an den Einspeisepunkt zurückgeführt. Mehrere Einspeisungen sind möglich.	Bei flächenförmiger Anordnung weniger Verbraucher, die weit auseinander liegen, z. B. Aussiedlerhöfe oder verteilte Industrieanlagen. Mittel- und Niederspannungsnetze.	Aufwendiger als das Strahlennetz, da Rückführung erforderlich. Größerer Aufwand am Einspeisepunkt. Hohe Versorgungssicherheit, da von beiden Seiten eingespeist werden kann, falls in einem Teilstück eine Störung vorliegt.
 <p>Maschennetz</p>	Mehrere Einspeisepunkte. Diagonalverbindungen versorgen in der Masche liegende Verbraucheranlagen.	Für Hoch-, Mittel- und Niederspannungsanlagen. Versorgung von Großstädten.	Hohe Spannungs Konstanz. Kleine Leitungsverluste. Große Versorgungssicherheit. Hoher Aufwand für Schutzgeräte und Netzschaltanlagen durch hohe Kurzschlussströme.

Unterscheidung nach Spannung

Bezeichnung	Bemessungsspannung in kV	Anwendung	Mastbauart	Spannweite in m
Niederspannungsnetz Zuschaltung, z. B. Haus-PV-Anlagen	0,23/0,4	Energieversorgung von Wohnungen, Gewerbebetrieben und Landwirtschaft.	National und international. Holz.	40 bis 80
Mittelspannungsnetz Einspeisung u. a. Wind-, PV-Parks	6, 10, 20, 30, 60 (66, 69)	Energieversorgung von Ortsnetzstationen, Industriebetrieben und großen Wohnheiten. Regionalnetz.	Beton, Stahlrohr, Holz.	80 bis 220
Hochspannungsnetz (HN) 1 Einspeisung Kraftwerke, Wind-, PV-Parks	110, 220, 380	Energieversorgung von Großstädten, große Industriebetriebe. Kraftwerksverbund.	Beton, Stahlgitter	200 bis 350
Hochspannungsnetz 2 (Höchstspannungsnetz) HGÜ, siehe Seite 282 Einspeisung wie HN1	(380), 500, 750	Energieübertragung über große Strecken, z. B. von Offshore-Windenergie-Anlagen zum Verbundnetz.	Stahlgitter, Spezialkabel	bis 750 –

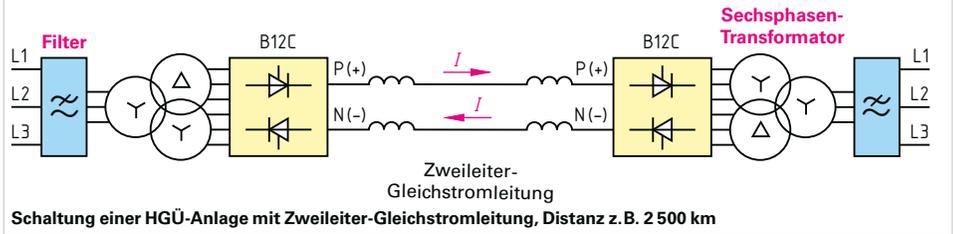
Unterscheidung nach Leitungsart

Bezeichnung	Spannungsbereich	Anwendung	Bemerkungen
Freileitungsnetz	Niederspannung	Ortsnetze	Alte Anlagen u. Erweiterungen. Billiger als Kabelnetze.
	Mittelspannung	Regionale und überregionale Energieversorgung. Europäisches Verbundnetz zur Absicherung nationaler Versorgung.	Preisgünstiger als Kabelnetz. Weniger Verluste. Kleinere Kapazität. Leicht überwachbar.
	Hochspannung, Höchstspannung		
Kabelnetz	Niederspannung	Ortsnetze	Kunststoffisolierte Kabel (PVC oder VPE)
	Mittelspannung	Verbindungskabel zu den Umspannstationen in Ortsnetzen oder großen Industrieanlagen. Über 110 kV sind wegen hoher Kosten nur kurze Verbindungsstrecken möglich.	Anlagen bis 1980 erstellt: bis 60 kV Massekabel, darüber Gasdruck- und Öldruckkabel. Neue Anlagen: Meist VPE-Kabel (Seite 280).
	Hochspannung		

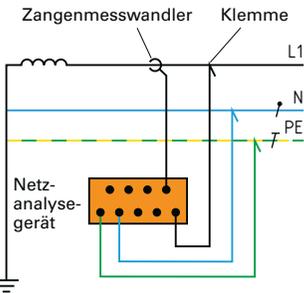
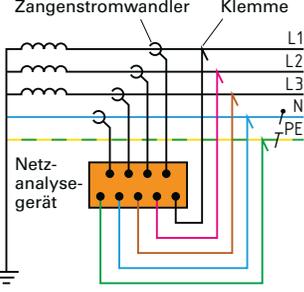
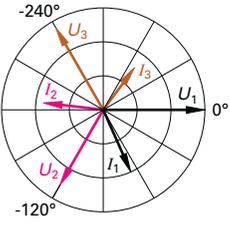
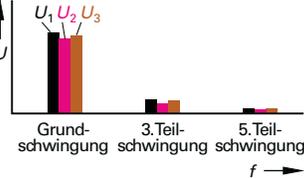




Merkmal	Erklärung	Bemerkungen
Hintergrund	Die Energieübertragung durch Gleichstrom besitzt über große Entfernungen geringere Übertragungsverluste als die Übertragung mit Dreiphasenwechselstrom. Bei Gleichspannung wird nur Wirkleistung übertragen. Dadurch treten weniger Leitungsverluste auf, da kein Skinneffekt (Stromverdrängung an Leiteraußenrand, nur bei AC) und keine Leitungskapazitäten und Leitungseinduktivitäten vorhanden sind.	Bei der herkömmlichen Energieerzeugung befinden sich die Kraftwerke in Nähe zu den Endverbrauchern. Bei Freileitungen ist HGÜ ab 600 km Übertragungslänge wirtschaftlicher als die Dreiphasenwechselstromtechnik. Bei Erdkabeln oder Seekabeln ist HGÜ bereits ab 80 km erforderlich infolge der großen Verluste beim Dreiphasenwechselstrom. Anwendung z.B. bei Offshore-Windparks.
große Übertragungsstrecken	Die Energieübertragung erfordert insbesondere bei Offshore-Windkraftanlagen oder PV-Parks Übertragungsstrecken von z.B. 1 000 km bis zum Endverbraucher.	Zur Energieübertragung sind hohe Spannungen notwendig, um die Leitungsverluste gering zu halten. Je höher die Übertragungsspannung, umso kleiner kann die Stromstärke für die gleiche zu übertragende Leistung $P = U \cdot I$ gewählt werden, wodurch die Leitungsverluste $P_v = R \cdot I^2$ geringer bleiben.
Prinzip	Die von einem Wechselspannungsgenerator erzeugte Wechselspannung wird transformiert und mittels Umrichter (Umrichterstation) in Gleichspannung gewandelt (Gleichrichter) und am anderen Ende der Transportleitung mit einem weiteren Umrichter wieder in Wechselspannung (Wechselrichter). Diese wird dann letztendlich nach verschiedenlichem Transformieren zu den Endverbrauchern geführt.	Bei HGÜ sind ein oder zwei Leiter erforderlich, bei Dreiphasenwechselstrom drei. Vorteil HGÜ: weniger Materialkosten. Bei einem Leiter dient die Erde bzw. das Meerwasser als zweiter Pol (Rückleiter), Nachteil: Korrosion an der Strom-Eintrittselektrode. Zwischen den Polen kann die Gleichspannung zwischen ± 100 kV bis über ± 800 kV betragen. Übertragungsleistung bis 2 GW über Kabel, bis 7 GW über Freileitung.
Gleichrichter Wechselrichter		
Stromrichterstation	(Umrichterstation) enthält den Stromrichter, Stromrichtertransformator, Glättungsspulen, Oberschwingungsfilter sowie eine Einrichtung zum Regeln und Schalten.	Wegen der großen Übertragungsleistungen, z.B. 1,5 GW, sind die Stromrichterstationen sehr große Anlagen. Mittels z.B. 12-pulsiger Gleichrichtung kann wenig welliger Gleichstrom erzeugt werden.
Kabel	Als Erdkabel oder Seekabel haben HGÜ-Kabel einen Durchmesser zwischen 5 cm und 20 cm. Infolge des Kabelgewichts können bei Erdkabeln die Kabelstränge nur bis zu 1 000 m lang sein, begrenzt durch Lkw-Ladefähigkeit beim Anliefern. Verbindung der Kabelstränge erfolgt über Kabelmuffen. Verlegung in Schutzrohr mit Stickstoff-Überdruck.	<ul style="list-style-type: none"> • Erwärmung der Erdkabel auf ca. 90°C, • Verlegungstiefe ca. 1,7 m im Erdboden, • Isolation der Kabel mittels thermoplastischen Material, vernetztem Polyethylen (VPE, XLPE), Öl-Isolierung. de.prysmiangroup.com, www.abb.com
Herausforderungen	Das Trennen der Last vom Netz im Störfall oder Auftrennen des Netzes bzgl. der Energie-Verteilung (vermaschte Netze, Routing) ist bei HVDC gegenüber AC aufwendiger. Bei AC erfolgt das Trennen bei Stromnulldurchgang der Sinuskurve. Bei DC gibt es keinen natürlichen Stromnulldurchgang, sodass beim Trennen unter Strom ein nichtverlöschender Schaltlichtbogen entstehen würde.	Für das Trennen in vermaschten HGÜ-Netzen (HVDC-Netzen) sind HVDC-Leistungsschalter notwendig, die den Strom künstlich zu Null bringen. Dies erfolgt durch Zusatzbeschaltungen im HVDC-Leistungsschalter. Der Strom wird in ihm von seinem Hauptstrompfad (Nominalstrompfad) in einen parallelen Strompfad mit Überspannungsableiter kommutiert (geleitet). In ihm wird die Energie abgebaut und somit der Strom unterbrochen.



Schaltung einer HGÜ-Anlage mit Zweileiter-Gleichstromleitung, Distanz z. B. 2 500 km

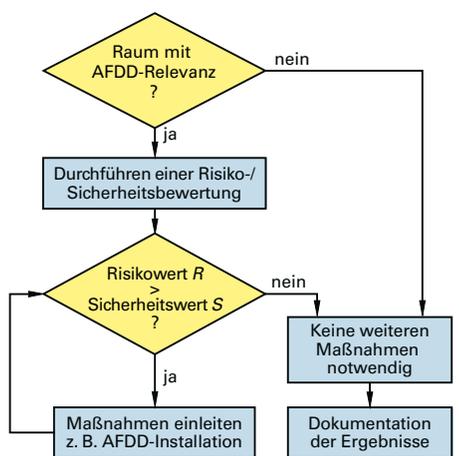
Merkmal	Erklärung	Bemerkungen, Darstellungen
Aufgabenstellung	Qualitativ schlechte Generatoren und Verbraucher mit nichtlinearer Kennlinie erzeugen OS (vorhergehende Seite, Seite 200). Bei der Leitungsberechnung ist vor allem die 3. Teilschwingung zu beachten (Seite 304).	Verbraucher mit nichtlinearen Kennlinien sind: PC, Bildschirm, Fax, Kopierer, Umrichter, Energiesparlampen, elektronische Vorschaltgeräte (Seite 200).
Ablauf Einphasen-Messung mit Netz-Analyse-Messgerät (Beispiel)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Messgerät auf Netzoption SINGLE (Messung an Phase, Neutraleiter, Schutzleiter) einstellen. 2. Spannungsprüfleitungen anschließen (auf Farben achten). 3. Strom-Zangenmesswandler an den Außenleiter L1 anschließen (Pfeilrichtung des Messwandlers beachten). 4. Notstromversorgung für die zu prüfende Elektroanlage herstellen, falls die Versorgung zum Anschließen des Messgerätes vorübergehend unterbrochen werden muss. 5. SAVE-Taste betätigen, wenn bestimmte Werte im Display unmittelbar gespeichert werden sollen. 6. Überprüfung der Einstellungen, bevor die Messung beginnt, GO/STOP zum Aktivieren/Deaktivieren der Messung. 	 <p>Anschluss des Messgeräts an ein einphasiges Netz.</p>
Ablauf Drehstrom-Vierleiternetz-Messung mit Netz-Analyse-Messgerät (Beispiel)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Messgerät auf Netzoption 4WIRE (Messung an L1, L2, L3, Neutraleiter, Schutzleiter) einstellen. 2. Spannungsprüfleitungen an L1, L2, L3, Neutraleiter, Erdleiter anschließen (auf Farben achten). 3. Strom-Zangenmesswandler an den Außenleiter L1, L2, L3 und Neutraleiter anschließen (Pfeilrichtung des Messwandlers beachten). 4. Notstromversorgung für die prüfende Elektroanlage herstellen, falls die Versorgung zum Anschließen des Messgerätes vorübergehend unterbrochen werden muss. 5. SAVE-Taste betätigen, wenn bestimmte Werte im Display unmittelbar gespeichert werden sollen. 6. Überprüfung der Einstellungen, bevor die Messung beginnt, GO/STOP zum Aktivieren/Deaktivieren der Messung. 	 <p>Anschluss des Messgeräts an ein Vierleiter-Drehstromnetz und PE.</p>
Zeigerdiagramm erstellen	<p>Die Bilder zeigen die Messung eines Drehstrommotors in einem mit Oberschwingungen belasteten Netz. Die Außenleiterspannungen sind um 120° phasenverschoben, die Ströme um ca. 67° nacheilend. Die Strangspannungen haben unterschiedliche Werte (Unsymmetrie).</p> <p> U_1 / U_2 120° U_2 / U_3 120° U_3 / U_1 120° U_1 / I_1 67° U_2 / I_2 67° U_3 / I_3 66° </p> <p>Die Spannungszeiger (Vektoren) sind verschieden lang \Rightarrow Unsymmetrie, siehe Bild unten!</p>	 <p>Summen-Zeigerdiagramm für Vierleiter-Netz</p>
Ergebnis Oberschwingungsanalyse darstellen	<p>Darstellung der Oberschwingungswerte, z.B. der Spannungen U_1, U_2, U_3 gegen PE (für TN-S-Netz). THD Total Harmonic Distortion in % oder als numerische Werte mit Histogramm-Grafik, ebenso deren Gesamt-Verzerrungsgehalte THD, vorhergehende Seite.</p> <p> U_1 230,3 V U_2 223,1 V U_3 227,8 V THD_1 3,4 % THD_2 2,9 % THD_3 3,1 % </p> <p>Balkendiagramm nicht maßstabgerecht</p>	 <p>Oberschwingungsanalyse von Spannungen für Vierleiter-Netze</p>



In DIN VDE 0100-420 werden für nachfolgende **Räume** und **Orte** besondere Maßnahmen zum Schutz gegen die Auswirkungen von Fehlerlichtbögen empfohlen:

- Räumlichkeiten mit Schlafgelegenheit,
- Räume oder Orte mit besonderem Brandrisiko – Feuegefährdete Betriebsstätten (nach MBO),
- Räume oder Orte aus Bauteilen mit brennbaren Baustoffen, wenn diese einen geringeren Feuerwiderstand als feuerhemmend aufweisen,
- Räume oder Orte mit Gefährdungen für unersetzbare Güter, z.B. Museen.

Um besondere **Risiken** durch die Auswirkung von Fehlerlichtbögen in Endstromkreisen zu erkennen, ist in der Planungsphase eine Risiko- und Sicherheitsbewertung durchzuführen (**Bild**). Bei Vorliegen von besonderen Risiken durch Auswirkungen von Fehlerlichtbögen in Endstromkreisen sind geeignete bauliche, anlagentechnische und/oder organisatorische Maßnahmen vorzusehen. Dabei stellt der Einsatz von Brandschutzschaltern (**AFDDs**) nach DIN EN 62606 eine geeignete anlagentechnische Maßnahme zum Schutz gegen die Auswirkungen von Fehlerlichtbögen dar.



Verfahrensablauf zur Risiko-/Sicherheitsbewertung

Risiko-/Sicherheitsbewertung

Ist Entscheidungshilfe, ob bauliche, anlagentechnische und organisatorische Maßnahmen sowie ggf. Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDDs) in Endstromkreisen der Räume oder Orte gemäß DIN VDE 0100-420 (siehe oben) vorgesehen werden müssen.

Risikowert R:

$$R = RO \cdot P \cdot L$$

- **RO** Faktorwert Räume, Orte (**Tabelle 1**),
- **P** Faktorwert Personenzahl (**Tabelle 2**),
- **L** Faktorwert vertikale Lage (**Tabelle 3**).

Sicherheitswert S:

$$S = Q \cdot ZT \cdot ZBS \cdot ZB \cdot ZO$$

Faktoren, Zuschlagsfaktoren für Maßnahmen M in den Räumen, Orten mit den Faktorwerten (FW) sind:

- **Q** Qualität der Elektroinstallation (FW 1),
- **ZT** anlagentechnische M (**Tabelle 4**) (FW 1,1 bis 2,5),
- **ZBS** brandschutztechnische M (FW 1,5 bis 2,5),
- **ZB** bauliche Maßnahmen (FW 1,0 bis 1,9),
- **ZO** organisatorische Maßnahmen (FW 1,0 bis 1,9).

Der Vergleich von Risikowert **R** und Sicherheitswert **S** verdeutlicht das Brandrisiko.

$$S \geq R$$

Wenn der Sicherheitswert mindestens gleich groß wie der Risikowert ist, kann auf zusätzliche bauliche, anlagentechnische und organisatorische Maßnahmen bzgl. der Endstromkreise der jeweiligen Räume und Orte verzichtet werden.

Weitere Hinweise, Zuschlagsfaktoren siehe Veröffentlichungen der AMEV (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen EitAnlagen 2020, www.amev-online.de)

Tabelle 1: Klassifikation der Räume und Orte **RO**

Kl.	Räume, Orte	Faktorwert RO	
		empf.	ge.
1	Schlafräume KITA	1,3 – 1,7	
2	Schlafräume Wohnung	1,0 – 1,7	
3	Schlafräume Heim	1,5 – 2,5	
4	Besonderes Brandrisiko	1,5 – 2,5	
5	Bauteile mit brennbaren Baustoffen	1,5 – 2,5	
6	Gefährdung für unersetzbare Güter	1,5 – 2,5	

Tabelle 2: Bewertung der Personenzahl **P**

Kl.	Personenzahl	Faktorwert P	
		empf.	ge.
3	Maximal 2	1,0	
3	Mehr als 2	1,2 – 2,0	

Tabelle 3: Bewertung der vertikalen Lage **L**

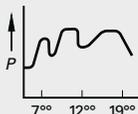
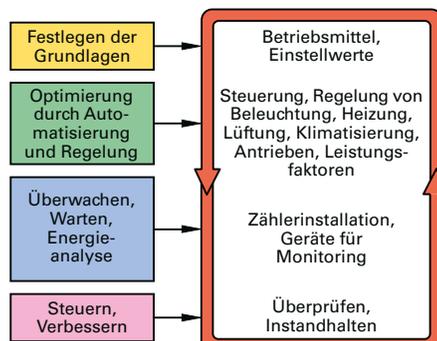
Kl.	Vertikale Lage der Räume/Orte	Faktorwert L	
		empf.	ge.
1-3	Ebenerdig	1,0	
1-3	1. bis 6. Obergeschoss	1,1 – 1,6	

Tabelle 4: Zuschlagsfaktoren für anlagentechnische Maßnahmen **ZT** (Auszug)

Kl.	Maßnahme	Faktorwert ZT	
		empf.	ge.
1-6	Leitungen unter Putz	1,5	
1-6	Zusätzlicher Schutz durch RCD	1,6	
1	Zentrales Abschalten der Steckdosen während der Schlafzeit	1,8	
4,5	Verzicht auf Endstromkreise für Steckdosen und Leuchten mit Ex-Zertifizierung	2,5	

Kl. Klasse, empf. empfohlen, ge. gewählt



Merkmale	Erklärung	Bemerkungen, Formel, Daten																																			
Energieeffizienz-Management Lastprofile  Lastabschaltung Kabel, Leitungen Zonen, Maschen	<p>Energieeffizienz (EE) wird erreicht durch Maßnahmen bei Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie.</p> <p>Lastprofile kennzeichnen den Leistungsbedarf P von Verbrauchern und Einrichtungen über einen Zeitraum. In DIN VDE 0100-801 sind Standard-Lastprofile gegeben, z.B. H0 Haushalt, G1 Gewerbe allgemein, G5 Gewerbe Bäckerei, L1 Landwirtschaft mit Milchwirtschaft.</p> <p>Lastabschaltung dient dazu, Spitzenlasten zu vermeiden.</p> <p>Schaltanlage und Transformator sollten wegen EE nahe beieinanderliegen → Lastschwerpunkt.</p> <p>Ein Regeln der Leistungsaufnahme ist bei der Auswahl von Kabeln und Leitungen zu berücksichtigen.</p> <p>Masche: Stromkreis oder mehrere Stromkreise. Zone: z.B. Wohnraum, Stockwerk oder Gebäude.</p>	<p>Prozess des Energieeffizienz-Managements</p>  <p>Entsprechend der Maschen, Zonen kann der Energieverbrauch gemessen, analysiert und optimiert werden.</p>																																			
Ermittlung der el. Energieeffizienzklasse EE_x Punktesystem, siehe auch folgende Seite	<p>Erfolg für el. Anlagen von Wohnungen, Industrie-, Gewerbe-, Infrastrukturanlagen über ein Punktesystem (Tabelle unten). EE0 bedeutet niedrige Effizienz, EE5 sehr hohe.</p> <p>Die Gesamtpunktezahl erfolgt durch Addition der Punkte für z.B. Energieverbrauch, Spannungsfall, Wirkungsgrad Transformatoren, Abschaltbarkeit von Verbrauchern, Anzahl über ein Energiemanagement verwaltete Verbraucher, Leistungsüberprüfung, Oberschwingungsgehalt am Einspeisepunkt, Anteil erneuerbarer Energien, Speicherung der erfassten Daten.</p> <p>Die Berechnung der Punkte des Energieverbrauchs erfolgt nach Formel 1, zusammen mit Tabelle rechts.</p> <p>Punkttabellen der anderen Merkmale → DIN VDE 0100-801, folgende Seite.</p>	<p>$E_{\%}$ Energieverbrauch in % E_M Jahres-Energieverbrauch d. Lasten aller am Einspeisepunkt gemessener Maschen E_A Jahres-Energieverbrauch der Anlage $[E_M] = [E_A] = \text{kWh}$ (1 kWh = 3,6 MJ)</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block;"> $E_{\%} = \frac{E_M \cdot 100\%}{E_A}$ </div> <p>Punkte-Bestimmung des Energieverbrauchs</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>$E_{\%}$ in %</th> <th>Whg.</th> <th>$E_{\%}$ in %</th> <th>Ind. Inf.</th> <th>gwL. Geb.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 40</td> <td>0</td> <td>< 50</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>≥ 40 < 50</td> <td>2</td> <td>≥ 50 < 65</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>≥ 50 < 60</td> <td>6</td> <td>≥ 65 < 75</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>≥ 60 < 80</td> <td>10</td> <td>≥ 75 < 83</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>≥ 80 < 90</td> <td>16</td> <td>≥ 83 < 90</td> <td>6</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>≥ 90</td> <td>20</td> <td>≥ 90</td> <td>7</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> <p>Whg. Wohngebäude, Ind. Inf. Industrie-/Infrastrukturgebäude, -anlage, gwL. Geb. gewerbliches Gebäude</p>	$E_{\%}$ in %	Whg.	$E_{\%}$ in %	Ind. Inf.	gwL. Geb.	< 40	0	< 50	0	0	≥ 40 < 50	2	≥ 50 < 65	1	1	≥ 50 < 60	6	≥ 65 < 75	2	2	≥ 60 < 80	10	≥ 75 < 83	4	4	≥ 80 < 90	16	≥ 83 < 90	6	5	≥ 90	20	≥ 90	7	6
$E_{\%}$ in %	Whg.	$E_{\%}$ in %	Ind. Inf.	gwL. Geb.																																	
< 40	0	< 50	0	0																																	
≥ 40 < 50	2	≥ 50 < 65	1	1																																	
≥ 50 < 60	6	≥ 65 < 75	2	2																																	
≥ 60 < 80	10	≥ 75 < 83	4	4																																	
≥ 80 < 90	16	≥ 83 < 90	6	5																																	
≥ 90	20	≥ 90	7	6																																	
Energie-management Energie-monitoring Energie-controlling	<p>Erfolgt computerunterstützt anhand von Messdaten bzgl. Verbrauch von z.B. Strom, Wasser, Gas, Heizenergie, Kühlenergie. Als Ergebnis werden Energieberichte, Energieberechnungen erstellt, ggf. werden Regelungsabläufe gestartet, Verbraucher wie Waschmaschinen zu energie günstigen Zeiten geschaltet, Energiespeicher, z.B. von Elektrofahrzeugen, geladen.</p>	<p>Smart Grids und Smart-Home-Anlagen sind zusammen mit Smart Meter Voraussetzung für ein Energiemanagement(system). Verwandte Begriffe sind Energiemonitoring, Energiecontrolling.</p> <p>Bestandteil des Energiemanagements ist das Facilitymanagement (Software zur Verwaltung und Betreuung von Gebäuden und deren technischen Anlagen und Einrichtungen, facility = Einrichtung).</p> <p>www.bafa.de</p>																																			
Energieeffizienzklassen von elektrischen Anlagen und ihre Punktezahlen																																					
Effizienzklasse	Wohnungen	Industrieanlagen	Gewerbeanlagen	Infrastrukturanlagen	Notwendige Messungen																																
EE0	0 bis 14	0 bis 19	0 bis 18	0 bis 18	Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung, Wirkenergie, Scheinverbrauch, Frequenz, Strangstrom, Neutralleiterstrom, Leistungsfaktor, Spannung zwischen Außenleiter, Spannung zwischen Außenleiter/Neutralleiter, Oberschwingungsgehalt.																																
EE1	15 bis 30	20 bis 38	19 bis 36	19 bis 36																																	
EE2	31 bis 49	39 bis 63	37 bis 60	37 bis 59																																	
EE3	50 bis 69	64 bis 88	61 bis 84	60 bis 83																																	
EE4	70 bis 89	89 bis 113	85 bis 108	84 bis 106																																	
EE5	90 und mehr	114 und mehr	109 und mehr	107 und mehr																																	

