

2.2 Arten von Stromkreisen

In der Elektrotechnik muss die elektrische Energie sicher und wirtschaftlich bis zum Verbraucher geliefert werden. Dazu benötigt man verschiedene Stromkreise. Man unterscheidet in der Praxis:

- Elektrische Gleichstromkreise,
- Einphasen-Wechselstromkreise (vereinfacht Wechselstromkreise genannt),
- Dreiphasen-Wechselstromkreise (auch Drehstromkreise genannt).

Elektrischer Gleichstromkreis (Seite 24)		
Betriebsmittelanschluss	Kennzeichnung	Schaltplan
Positiver Pol	+	
Negativer Pol	-	
Leiterbenennung	Kennzeichnung	
Positiver Leiter	L+	
Negativer Leiter	L-	

Überstrom-Schutzeinrichtungen (Sicherungen)

Gleichrichtung: Seite 251

Dreiphasen-Wechselstromkreis (Seite 156)		
Leiterbenennung	Kennzeichnung	Schaltplan
Außenleiter 1	L1	
Außenleiter 2	L2	
Außenleiter 3	L3	
Neutralleiter	N	
Schutzleiter	PE	
Neutralleiter mit Schutzfunktion	PEN	



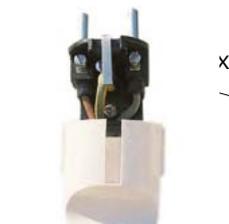
Drehstrommotor

- Motoren: Seite 488
- Schaltzeichen: Seite 662

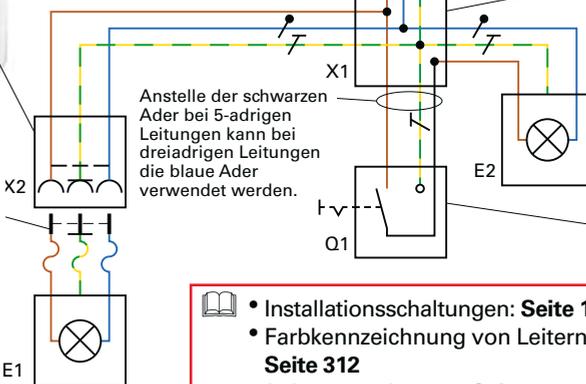
Einphasen-Wechselstromkreis (Seite 127)		
Leiterbenennung	Kennzeichnung	Schaltplan
Außenleiter	L*	
Neutralleiter	N	
Schutzleiter	PE	



Schutzkontaktsteckdose



Schutzkontaktstecker



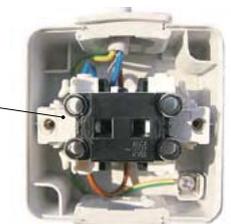
- Installationsschaltungen: Seite 103
- Farbkennzeichnung von Leitern: Seite 312
- Leitungsverlegung: Seite 318



Abzweigdose



Leuchte mit Lampe



Ausschalter

* Die Zahl nach „L“, z.B. L1, L2, L3, wird nur in Stromkreisen mit mehr als einem Außenleiter angegeben.



Multipliziert man die zusammengehörigen Augenblickswerte von Spannung und Strom, ergibt sich das zugehörige Linienbild der Leistung. Die positiven und negativen Flächenteile haben die gleiche Größe (**Bild 1**). Der Mittelwert der Leistung, d. h. die Wirkleistung P ist dann null. Die auftretende Leistung an der Induktivität oder Kapazität nennt man induktive bzw. kapazitive Blindleistung Q_L bzw. Q_C (**Seite 142 und 145**).

In einer Spule wird zwischen 90° und 180° sowie zwischen 270° bis 360° elektrische Energie in magnetische Energie umgewandelt und das Magnetfeld der Spule aufgebaut (**Bild 1**). Von 0° bis 90° sowie 180° bis 270° wird das Magnetfeld abgebaut. Dabei entsteht eine Selbstinduktionsspannung, die den Strom entgegengesetzt zur angelegten Spannung treibt. Die magnetische Energie wird in elektrische umgewandelt und der Stromquelle wieder zugeführt. Die ganze Energie pendelt zweimal in einer Periode zwischen Verbraucher und Erzeuger hin und her.

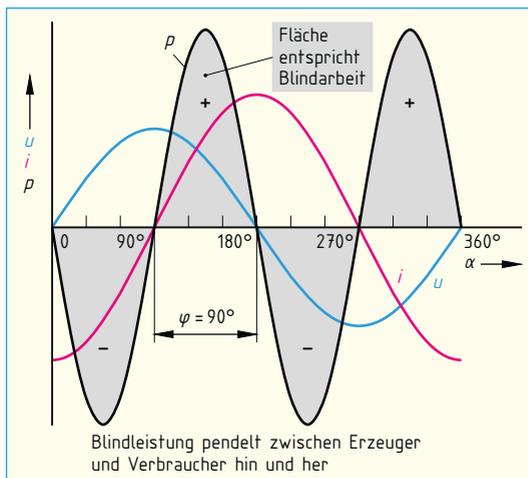


Bild 1: Induktive Blindleistung

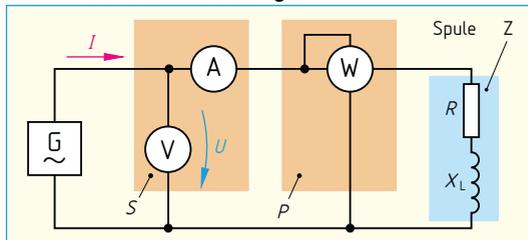


Bild 2: Ermittlung der Wirkleistung und Scheinleistung an einer Spule

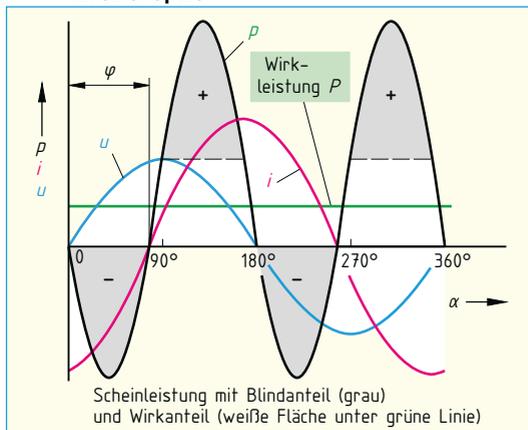


Bild 3: Wirkleistung P (Phasenverschiebungswinkel $\varphi = 80^\circ$)

7.4.3 Scheinleistung

Versuch: Schließen Sie eine Spule, z. B. mit 1000 Windungen, an Wechselspannung 10 V/50 Hz an (**Bild 2**). Messen Sie Stromstärke, Spannung und Leistung mit dem Leistungsmesser. Vergleichen Sie das Produkt aus Spannung und Stromstärke mit der Anzeige des Leistungsmessers.

Die berechnete Scheinleistung ist größer als die Anzeige des Leistungsmessers.

Die Scheinleistung S ist das Produkt der Effektivwerte von Spannung und Stromstärke.

Der Leistungsmesser zeigt die **Wirkleistung P** an, die so groß ist wie der Mittelwert aller Augenblickswerte $p = u \cdot i$. Die Wirkleistung P ist deshalb bei einer Phasenverschiebung φ zwischen Strom und Spannung immer kleiner als die **Scheinleistung S** . Während der Periodenabschnitte mit positiver Leistung wird Energie aus dem Netz entnommen. Negative Leistung bedeutet, dass die Energie an das Netz zurück geliefert wird (**Bild 1**). Die Differenz zwischen der positiven Energie und der negativen Energie wird in der Spule in Wirkarbeit (Wärme) umgesetzt (**Bild 3, grüne Linie**).

Bei induktiven Verbrauchern im Wechselstromnetz, z. B. Motoren in Haushaltsgeräten, treten **Wirk- und Blindleistung** gemeinsam auf. Diese Gesamtleistung bezeichnet man als **Scheinleistung** und hat die Einheit VA (Voltampere). Die Scheinleistung entspricht der **geometrischen Summe** aus Wirkleistung und Blindleistung (**siehe Seite 142**).

Die Scheinleistung S ist entscheidend für die Belastung der elektrischen Leitungsnetze. Deshalb müssen z. B. Transformatoren, Generatoren, Schaltanlagen und Leiterquerschnitte für die auftretende Scheinleistung dimensioniert sein.

Kompensation: **Seite 164**

Scheinleistung

$$S = U \cdot I$$

$$[S] = V \cdot A = VA$$

$$S^2 = P^2 + Q_L^2$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$$

S Scheinleistung
 U Spannung (Effektivwert)
 I Strom (Effektivwert)
 P Wirkleistung
 Q_L induktive Blindleistung



7.10.4 Kompensation bei nichtsinusförmigen Strömen

In Verbrauchern (**Übersicht**) mit elektronischen Steuerungen, z.B. Dimmern, Stromrichtern oder Frequenzumrichtern fließen nichtsinusförmige Ströme, die ins Netz zurück wirken und zu einer Überlagerung der Netzspannung führen (**Bild 1, Seite 311**). Diese Verzerrung entsteht aus einer Überlagerung verschiedener sinusförmiger Spannungen unterschiedlicher Frequenz. Im 50-Hz-Netz sind das die Grundschiwingung von 50 Hz und Oberschwingungen mit einem ganzzahligen Vielfachen der Grundschiwingung. Oberschwingungen werden mit einer Ordnungszahl n , z.B. 5 oder 7, gekennzeichnet. Bei einer Netzfrequenz von 50 Hz, hat z.B. die 5. Oberschwingung eine Frequenz von $5 \cdot 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$.

Bei der Kompensation der Blindleistung durch Kompensationskondensatoren wird das Netz von induktiver Blindleistung entlastet. Bildet aber die Kompensationskapazität zusammen mit der Induktivität des Netzes einen Reihenschwingkreis, so werden die entstehenden Oberschwingungen bei Resonanz zusätzlich verstärkt. Es kommt zu Spannungserhöhungen die zu Spannungsüberschlägen und damit z.B. zu Anlagenbränden führen können. Um dies zu verhindern, wird zum Kompensationskondensator eine Drossel in Reihe geschaltet (**Bild 1 und Bild 2**). Dieser Reihenschwingkreis wird so abgestimmt, dass die Resonanzfrequenz unterhalb der Frequenz der im Netz vorkommenden Oberschwingungen liegt.

Oberschwingungen verursachen Störungen im Netz und werden durch geeignete Schaltungen, z.B. verdrosselte Kompensationskondensatoren, oder Blindleistungs-Regelanlagen kompensiert.

Verdrosselte Kompensationsanlagen haben Vorteile:

- Reduzierung von Resonanzerscheinungen,
- Verminderung von Oberschwingungen,
- Verbesserung der Betriebssicherheit von Betriebsmitteln,
- Stabilisierung der Netzspannung,
- Verringerung der Blindleistung und deren Betriebskosten und
- Entlastung des Leitungsnetzes.

Ein Maß für die Verdrosselung ist der Verdrosselungsfaktor p . Er gibt das Verhältnis zwischen induktiven Blindwiderstand der Drossel und der Kapazität des Kompensationskondensators an. Für den Verdrosselungsfaktor p wurden Standardwerte, z.B. 7 %, vereinbart. Die Rundsteuerfrequenz von Tonfrequenz-Rundsteueranlagen (**Seite 166**) wird durch geeignete Wahl des Verdrosselungsfaktors p nicht beeinträchtigt.

Man unterscheidet Kompensationsanlagen mit z.B.:

- 7 %-Verdrosselung für Netze mit Oberschwingungsbelastung und Rundsteuerfrequenzen über 250 Hz, und
- 14 %-Verdrosselung für Netze mit Oberschwingungsbelastung und Rundsteuerfrequenzen von 168 Hz bis 190 Hz.

Beispiel:

Eine Kompensationsanlage hat eine Verdrosselung von 7 %. Wie groß ist die Resonanzfrequenz f_r der Anlage?

Lösung:

$$f_r = f_n \cdot \sqrt{\frac{1}{p}} = 50 \text{ Hz} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,07}} = \mathbf{189 \text{ Hz}}$$

Übersicht:

Verbraucherarten (Beispiele)

- Verbraucher, die keine Oberschwingungen erzeugen: Widerstandsheizungen, Beleuchtungsanlagen, Drehstrommotoren.
- Verbraucher, die Oberschwingungen erzeugen: Transformatoren, Stromrichter, Frequenzumrichter.

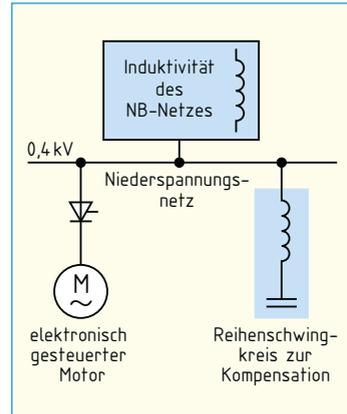


Bild 1: Kompensation einer Stromrichterschaltung (Prinzip)

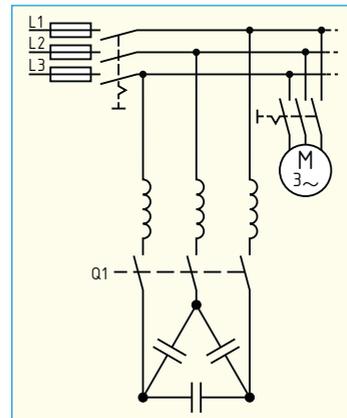


Bild 2: Verdrosselte Kondensatoren

Verdrosselungsfaktor

$$p = \frac{X_L}{X_C}; \quad f_r = f_n \cdot \sqrt{\frac{1}{p}}$$

p	Verdrosselungsfaktor
X_L, X_C	Kompensationsblindwiderstände
f_r	Resonanzfrequenz der Kompensationsanlage
f_n	Netzfrequenz


Situationsbeschreibung:

Mit einem digitalen Oszilloskop soll an einer elektronischen Schaltung, z. B. an einem Schwellwertschalter (Seite 214), gemessen werden. a) Beschreiben Sie die Vorgehensweise. b) Bestimmen Sie mithilfe des Oszilloskopbildes die Eingangsspannung U und c) die Frequenz f der Ausgangsspannung

Signalerfassung:

- Normale Abtastung
- Spitzenwert
- Mittelwert

Triggerstatus:

- Trig'd**: Das Oszilloskop hat einen Trigger erkannt und erfasst jetzt die Nachtriggerdaten.
- Scan: Signaldaten werden im Abtastmodus vom Oszilloskop kontinuierlich erfasst und angezeigt.

Multifunktions-Drehknopf: Einstellung von Funktionen, z.B. mathematische Addition

Menü- und Steuerungstasten, Beispiele:

- HILFE, ruft das Menü Hilfe auf
- MESSUNG, Menü für automatische Messungen wird aufgerufen
- SPEICHERN/ABRUFEN, Menü zum Speichern von Signalen wird aufgerufen

Horizontale Triggerposition

Taster-Display-menü

Triggereinstellungen

Horizontale Einstellungen:

- Steller Position
- Menüeinstellung
- Steller Zeit/div

Vertikale Einstellungen:

- Steller Position
- Steller Amplitude Volt/div

Horizontale Einstellungen:

- Steller Position
- Menüeinstellung
- Steller Zeit/div

Ein-/Aus-Taste (hier durch das Gehäuse verdeckt)

Einstellung, vertikal CH1: 5 V/div

Einstellung, vertikal CH2: 2 V/div

Einstellung, horizontal: 5 ms/div

- CH1: Triggerkanal
- 41,7 mV: Triggerpegel

Eingangsbuchse Kanal 1 (CH1)

Eingangsbuchse Kanal 2 (CH2)

Trigger-Eingangsbuchse

USB-Schnittstelle

1 Tastkopf 1 an die Eingangsbuchse Kanal 1 (CH1) und an das Eingangssignal gegen Ground (GD) anschließen.

2 Tastkopf 2 an die Eingangsbuchse Kanal 2 (CH2) und an das Ausgangssignal anschließen.

Triggerung: Zum Bestimmen des Startpunktes des Messsignals auf dem Bildschirm (Display). Auf dem Leuchtschirm erscheint nur dann eine ruhig stehende Kurve, z. B. eine Sinuslinie, wenn die Messspannung immer von der gleichen Stelle am Bildschirm des Oszilloskops beginnend dargestellt wird. Dies erzwingt man durch Triggerung. Mit dem Steller „Pegel“ kann der Startpunkt des Messsignals verschoben werden.

a) Durchführung der Messung

- 1** Tastkopf 1 an die Eingangsbuchse Kanal 1 (CH1) und an das Eingangssignal gegen Ground (GD) anschließen.
Hinweis: Tastköpfe verbinden das Oszilloskop mit der Prüfschaltung. Durch eine abgeschirmte Messleitung wird die Beeinflussung durch Störsignale verringert. Bei Tastköpfen mit einem integrierten Spannungsteiler (Tastteiler), z. B. 10 : 1, beträgt der Eingangswiderstand etwa 10 M Ω . Dadurch wird das Messobjekt wenig belastet und die Messspannung im Verhältnis von 10 : 1 herabgesetzt. Somit lassen sich höhere Spannungen messen, z. B. 600 V, je nach Hersteller. Tastteiler haben meist einen Schalter zum Umschalten des Teilverhältnisses zwischen 1 : 1 und 10 : 1.
- 2** Tastkopf 2 an die Eingangsbuchse Kanal 2 (CH2) und an das Ausgangssignal anschließen.
- 3** Das Oszilloskop mit der „Ein-Aus-Taste“ einschalten.
- 4** Taste „AUTOSET“ betätigen, nachdem der Selbsttest des Oszilloskops beendet ist.
Hinweis: Wird die Taste „AUTOSET“ einmalig betätigt, identifiziert das Oszilloskop die Signalart und stellt sich selbst so ein, dass eine brauchbare Anzeige des Eingangssignals auf dem Bildschirm erscheint.

b) Bestimmen der Spannung U

- 5** Einstellung Kanal 1 (CH1): 5 V/div
- 6** Ablesung: 2 V/div $\Rightarrow \hat{u} = 5 \text{ V/div} \cdot 2 \text{ div} = 10 \text{ V}$; $\hat{u} = \hat{u}/2 = 5 \text{ V}$; $U = 0,707 \cdot \hat{u} = 0,707 \cdot 5 \text{ V} = 3,5 \text{ V}$

c) Ermitteln der Frequenz f

- 7** Frequenz f : $f = 50,011 \text{ Hz}$ (durch Ablesung)

**Tabelle 1: Zündverhalten Triac**

Quadrant	Verhalten
1	Spannung vom Anschluss A2 nach Anschluss A1 positiv, von G nach A1 positiv.
2	Spannung vom Anschluss A2 nach Anschluss A1 positiv, von G nach A1 negativ.
3	Spannung vom Anschluss A2 nach Anschluss A1 negativ, von G nach A1 negativ.
4	Spannung vom Anschluss A2 nach Anschluss A1 negativ, von G nach A1 positiv.

Triacs werden für Sperrspannungen bis 1200 V und Durchlassströme bis 120 A hergestellt. Er lässt sich als Stellglied für Wechselstromverbraucher, z. B. in Dimmern (**Seite 260**), und als elektronisches Schütz verwenden.

Ein Triac für die Verwendung an einer Wechselspannung von 230 V zeigt die **Tabelle Seite 247**.

9.9.1.4 Diac

Der Diac¹ enthält ein Siliciumplättchen mit den Schichten PNP (**Bild 1a**). Beim Überschreiten der Schaltspannung (**Tabelle 2**) wird der Diac (**Bild 1b**) unabhängig von der Polarität leitend und somit niederohmig. Die Spannung an den beiden Anschlüssen sinkt sehr schnell auf etwa 75 % der Schaltspannung (**Bild 1c**). Beim Unterschreiten der Haltespannung (einige Volt) sperrt der Diac.

Diacs werden vor allem zur Erzeugung von Spannungsimpulsen und damit zum Zünden von Thyristoren und Triacs verwendet. Zu diesem Zweck schaltet man Diacs vor den Steueranschluss (Gate) des betreffenden Bauelementes, meist einem Triac (**Bild 2**).

Funktion: Nach Anlegen der Spannung wird der Kondensator C_1 über den Widerstand R_1 aufgeladen. Nach Erreichen der Schaltspannung wird der Diac leitend. Der aufgeladene Kondensator zündet den Triac und die Last erhält Spannung. Durch Ändern von R_1 kann der Zeitpunkt des Zündens des Triacs verzögert werden. Dadurch erhält die Last nur einen geringen Teil der Netzspannung. Damit dient diese Schaltung der Leistungssteuerung z. B. von Glühlampen. Man spricht von einer Phasenanschnittsteuerung (Dimmer).

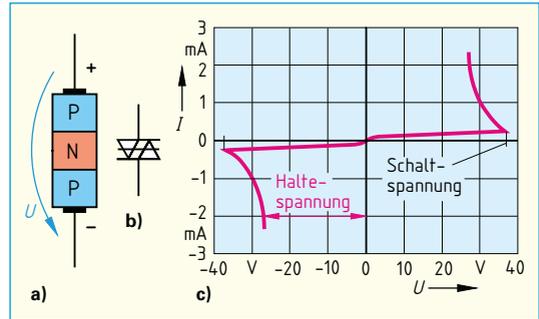


Bild 1: a) Aufbau, b) Schaltzeichen und c) Kennlinie einer Dreischichtdiode (Diac)

i Arten von Diacs

Diacs sind Mehrschicht-Halbleiter und werden auch als Zweirichtungsdioden bezeichnet.

Man unterscheidet im Aufbau:

- Dreischichtdioden (PNP)
- Vierschichtdioden (PNPN)
- Fünfschichtdioden (PNPNP)

In der Praxis wird die Dreischichtdiode, z. B. zum Ansteuern von Thyristoren und Triacs, am meisten verwendet.

Tabelle 2: Übliche Kenndaten eines Diacs

	Schaltspannung	37 V
	Durchbruchstrom	0,4 ... 1 mA
	max. Durchlassstrom	1 A

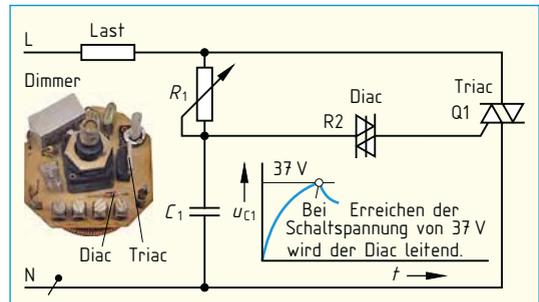


Bild 2: Ansteuern eines Triacs mit einem Diac (Prinzip)

Phasenanschnittsteuerung: Seiten 256 und 260

Wiederholungsfragen

- 1 Beschreiben Sie den Schichtenaufbau eines Thyristors.
- 2 Erklären Sie den Begriff Vorwärtsrichtung am Thyristor.
- 3 Welche Aufgabe hat der Gatestrom beim Thyristor?
- 4 Warum kann man Thyristoren als Gleichrichter verwenden?
- 5 Was versteht man unter der Nullkippspannung eines Thyristors?
- 6 Wozu verwendet man einen GTO-Thyristor?
- 7 Wie hoch ist die Schaltspannung eines Diacs?
- 8 Welche Anschlüsse sind bei einem Triac vorhanden?
- 9 Für welche Aufgaben verwendet man den Triac?
- 10 Was versteht man unter dem Vier-Quadranten-Betrieb beim Triac?
- 11 Welche Polaritäten der Spannungen sind zum Zünden eines Triacs im 4. Quadranten notwendig?

¹ Kunstwort aus Diode und alternating current (engl.) = Diode für Wechselstrom



10.1.1.4 Wasserkraftwerke

Wasserkraftwerke teilt man nach ihrer Bauart in

- Laufwasserkraftwerke,
- Speicherkraftwerke,
- Pumpspeicherkraftwerke und
- Gezeitenkraftwerke ein.

Nach der Fallhöhe des Wassers unterscheidet man Niederdruckanlagen (Fallhöhe bis 25 m), Mitteldruckanlagen (25 m bis 100 m) und Hochdruckanlagen (über 100 m). In Niederdruckanlagen verwendet man vorwiegend **Kaplanturbinen**¹ (Bild 1), in Mittel- und in Hochdruckanlagen **Francisturbinen**². Bei Fallhöhen über 400 m baut man Freistrah- oder **Peltonurbinen**³ ein.

Wasserkraftwerke haben einen Wirkungsgrad bis 85%.

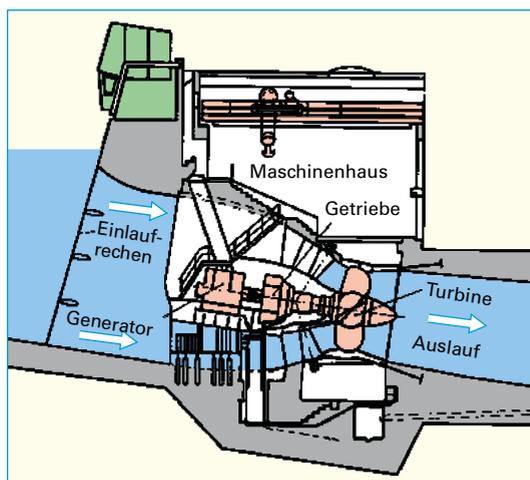


Bild 1: Kaplan-Rohrturbine

Laufwasserkraftwerke werden an Flussläufen oder Kanälen errichtet. Das durch die Wehranlage aufgestaute Wasser wird dem Kraftwerk direkt zugeführt. Bei geringer Fallhöhe werden meist Kaplanurbinen verwendet. Kaplanurbinen können mit senkrechter Welle oder als Rohrturbine (Bild 1) ausgeführt sein. Rohrturbinen sind in Fließrichtung des Wassers angeordnete Turbinen. Der Generator befindet sich in einem von Wasser umströmten Stahlgehäuse, das auf einem Betonsockel steht und von der Maschinenhalle aus zugänglich ist.

Speicherkraftwerke sammeln Regen- oder Schmelzwasser in einer Talsperre oder in einem Speicherbecken. Nach ihrem Volumen unterscheidet man Tages-, Wochen-, Monats- und Jahresspeicher.

Pumpspeicherkraftwerke (Bild 2) erzeugen elektrische Energie, wenn aus dem hochgelegenen Speicherbecken Wasser über die Turbine in das Unterbecken fließt. In Schwachlastzeiten, z.B. in den Nachtstunden, wird das Wasser aus dem Unterbecken wieder in das Speicherbecken hochgepumpt. Jeder Maschinensatz besteht aus Turbine, Maschine (Motor-Generator) und Pumpe (Bild 2). Die Maschine kann wahlweise als Generator oder als Motor arbeiten. Die Turbine ist mit der Maschine durch eine starre Kupplung verbunden. Zwischen Maschine und Pumpe ist zur Kraftübertragung im Motorbetrieb ein Drehmomentwandler eingebaut. Bei Turbinenbetrieb wird die Pumpe entleert und von der Maschine abgekuppelt, um unnötige Verluste zu vermeiden. Beim Übergang zum Pumpbetrieb wird zuerst das Turbinengehäuse durch Pressluft entleert und dann die Pumpe auf Bemessungsdrehzahl gebracht. Haben Pumpe und Maschine gleiche Drehzahl, wird im Drehmomentwandler die starre Kupplung eingerückt.

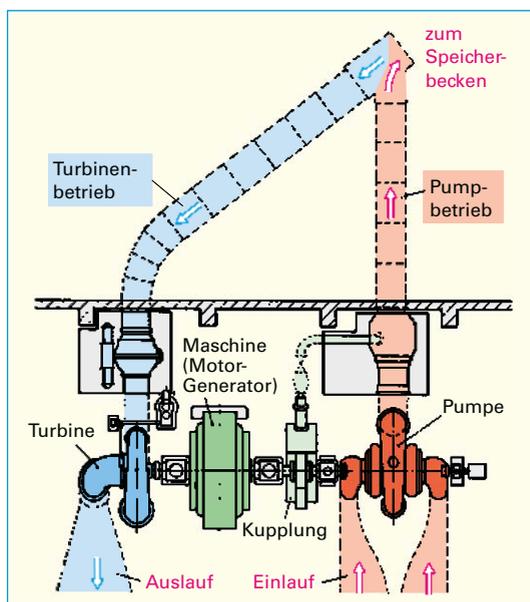


Bild 2: Maschinensatz eines Pumpspeicherkraftwerkes

i In modernen Maschinensätzen bilden Turbine und Pumpe eine Baueinheit.

Pumpspeicherkraftwerke können innerhalb weniger Minuten zwischen Pumpbetrieb und Turbinenbetrieb wechseln. Pumpspeicherkraftwerke decken nur den Spitzenlastbereich ab.

Gezeitenkraftwerke nutzen das durch Ebbe und Flut zu- bzw. abfließende Wasser. In Gezeitenkraftwerken kann elektrische Energie nur wirtschaftlich gewonnen werden, wenn ausgeprägte Gezeiten vorhanden sind, z. B. an der französischen Atlantikküste.

¹ Viktor Kaplan, österreichischer Ingenieur, 1876 bis 1934

³ Lester Allan Pelton, amerikanischer Ingenieur, 1829 bis 1908

² James Francis, amerikanischer Ingenieur, 1815 bis 1892



Entscheidend für die Folgen eines elektrischen Unfalls ist die Höhe des Stromes, der beim Berühren unter Spannung stehender Teile durch den Körper fließt. Aus Erfahrung weiß man, dass schon eine Stromstärke von 50 mA den Tod herbeiführen kann, wenn der Strom über das Herz fließt.

Der durch den Körper fließende Berührungsstrom I_B hängt von der Spannung und vom Widerstand des Körpers ab. Dieser **Körperwiderstand** R_K setzt sich aus dem **Körperinnenwiderstand** R_{Ki} und den **Übergangswiderständen** $R_{ü1}$ und $R_{ü2}$ an der Stromeintrits- und Stromaustrittsstelle zusammen (**Bild**).

Die Übergangswiderstände hängen auch von äußeren Verhältnissen ab. Trockene Haut und trockene Kleidung haben einen großen Widerstand. Bei Feuchtigkeit, z. B. Schweiß oder nassem Fußboden, ist der Übergangswiderstand dagegen gering. Der Übergangswiderstand wird außerdem umso kleiner, je größer die Berührungsfläche ist.

Bei einer Stromstärke von AC 50 mA durch den menschlichen Körper und einem Körperwiderstand R_K , der aus der Ersatzschaltung mit R_{Ki} und $R_{ü}$ zu 1000 Ω angenommen wird, beginnt die gefährliche Berührungsspannung U_B daher bei:

$$U_B = R_K \cdot I_B \\ = 1000 \Omega \cdot 0,05 \text{ A} \\ = 50 \text{ V}$$

Berührungsspannung U_B : Seite 355



- Wechselspannungen über 50 V sind lebensgefährlich.
- Gleichspannungen über 120 V sind lebensgefährlich.
- Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz ist gefährlicher als Gleichstrom, weil es bereits bei dieser Frequenz zum Herzkammerflimmern kommen kann.

Folgen und Auswirkungen eines Stromschlages

Die Wärmewirkung des elektrischen Stromes führt bei großer Stromstärke an der Ein- und Austrittsstelle zu **Verbrennungen**. Dort entstehen die sogenannten **Strommarken**. Dabei kann es durch Lichtbögen bis zum Verkohlen von Körperteilen kommen (Verbrennungen 4. Grades). Die Folgen starker Verbrennungen führen zur Überlastung der Nieren und damit zum Tode.

Der Strom kann das Blut elektrolytisch zersetzen, vor allem bei längerer Einwirkdauer. Dadurch kommt es zu schweren **Vergiftungserscheinungen**. Solche Folgeerkrankungen können auch erst nach einigen Tagen auftreten. Um sicherzugehen, sollte man daher bei elektrischen Unfällen auch dann einen Arzt aufsuchen, wenn zunächst keine Anzeichen einer Schädigung vorliegen (**Erste Hilfe, Seite 18**).

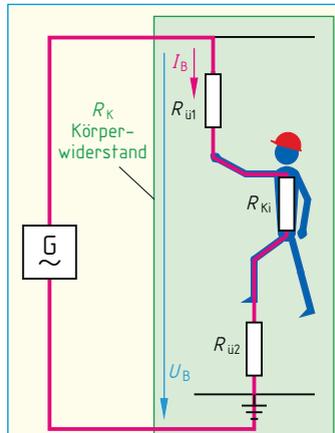


Wegen der Unfallgefahr ist das Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen verboten!

Bei Betriebsspannungen über 50 V Wechselspannung oder 120 V Gleichspannung sind Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen nur dann gestattet, wenn diese Teile aus wichtigen Gründen nicht spannungsfrei geschaltet werden können. Solche Arbeiten dürfen jedoch nur durch Elektrofachkräfte mit Zusatzausbildung ausgeführt werden, nicht aber durch Auszubildende (DIN VDE 0105).

Achtung!

- Stromstärken ab 50 mA sind lebensgefährlich.
- Die Gefährdung nimmt mit höherer Stromstärke und längerer Einwirkdauer zu.



- $R_{ü1}$ Leiter-Körper-Widerstand
- R_{Ki} Körperinnenwiderstand
- $R_{ü2}$ Körper-Leiter-Widerstand
- U_B Berührungsspannung
- I_B Berührungsstrom

$$R_K = R_{ü1} + R_{Ki} + R_{ü2} \\ U_B^* = R_K \cdot I_B$$

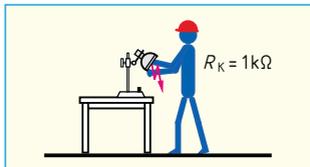
* statt U_B auch U_T

Bild: Körperwiderstand

Beispiel:

Bei der Reparatur einer Lampe berührt eine Person die Netzwechselspannung $U = 230 \text{ V}$.

- Berechnen Sie die Stromstärke I_B , die durch den Körper fließt.
- Welche Körperreaktionen sind für den Verunglückten bei einer Einwirkdauer von $t = 0,1 \text{ s}$ (siehe **Bild, Seite 348**) möglich?



Lösung:

a) $I_B = \frac{U}{R_K} = \frac{230 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 230 \text{ mA}$

b) Atemschwierigkeiten, Muskelverkrampfungen, Muskelkontraktionen, reversible Herzstörungen möglich, meist kein organischer Schaden.