

### 3 OHMSCHE GESETZ

Der elektrische Leitwert G hat die Einheit Siemens (S) nach Werner von Siemens, deutscher Ingenieur, 1816 bis 1892.

Der elektrische Leitwert ist das Verhältnis von Stromstärke I zur Spannung U. Er sagt aus, wie gut ein Bauelement den elektrischen Strom leitet. Besitzt ein Verbraucher z.B. einen kleinen Widerstand, leitet er den elektrischen Strom gut. Er hat somit einen grossen Leitwert (G).

Der Fachbegriff „Widerstand“ wird in zweifacher Hinsicht verwendet. Er bezeichnet zum einen das Bauelement - Widerstand - und zum anderen die Eigenschaft eines Materials, dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegen zu setzen. Üblicherweise wird in der Elektrotechnik jeweils der Widerstandswert von Verbrauchern, Bauelementen, Leitungen usw. angegeben.

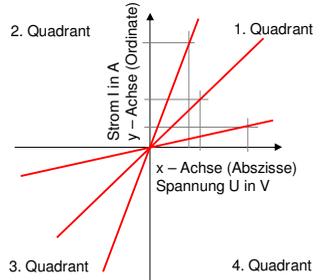
$$U = \frac{I}{G} \quad V = \frac{A}{S}$$

$$G = \frac{I}{U} \quad S = \frac{A}{V}$$

$$I = U \times G \quad A = V \times S$$

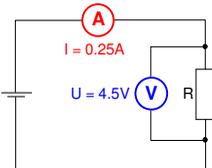
$$G = \frac{1}{R} \quad S = \frac{1}{\Omega}$$

Bei ohmschen oder linearen Widerständen ist die Stromstärke direkt von der Spannung abhängig. Kennzeichnend für dieses Verhalten ist die Widerstandsgerade im Koordinatensystem. Die unterschiedlichen Widerstandswerte werden aufgrund der verschiedenen Steigungen der Geraden erkannt. Das Verhalten dieser Widerstände ist unabhängig von der Spannungs- bzw. Strompolarität gleich, was dazu führt, dass die Kennlinien im 1. sowie im 3. Quadranten gleich verlaufen. Aus diesem Grund wird für die grafische Darstellung nur der erste Quadrant verwendet.



#### Beispiel 1

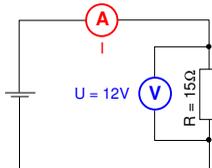
Wie gross sind der Widerstand R und der Leitwert G?



Geg.:  $I = 0.25A$   $U = 4.5V$   
 Ges.: R, G  
 $R = \frac{U}{I} = \frac{4.5V}{0.25A} = 18\Omega$   
 $G = \frac{I}{U} = \frac{0.25A}{4.5V} = 56mS$

#### Beispiel 2

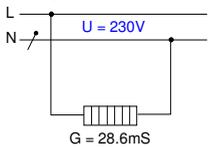
Wie gross sind der Strom I und der Leitwert G?



Geg.:  $U = 12V$   $R = 15\Omega$   
 Ges.: I, G  
 $I = \frac{U}{R} = \frac{12V}{15\Omega} = 0.8A$   
 $G = \frac{1}{R} = \frac{1}{15\Omega} = 67mS$

#### Beispiel 3

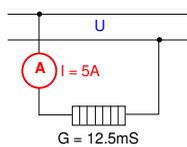
Wie gross sind der Strom I und der Widerstand R?



Geg.:  $U = 230V$   $G = 28.6mS$   
 Ges.: I, R  
 $I = U \times G$  oder  $\frac{U}{R} = 6.58A$   
 $R = \frac{1}{G} = \frac{1}{0.0286S} = 35\Omega$

#### Beispiel 4

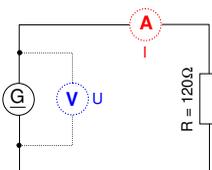
Wie gross sind die Spannung U und der Widerstand R?



Geg.:  $I = 5A$   $G = 12.5mS$   
 Ges.: U, R  
 $U = \frac{I}{G}$  oder  $U \times R = 400V$   
 $R = \frac{U}{I} = \frac{400V}{5A} = 80\Omega$

#### Beispiel 5

Wie gross sind die Spannung U und der Strom I?



Aufgabe nicht lösbar!  
 Es sind zwei Werte unbekannt.  
 Durch Messen einer dieser beiden Werte ist die Aufgabe lösbar.

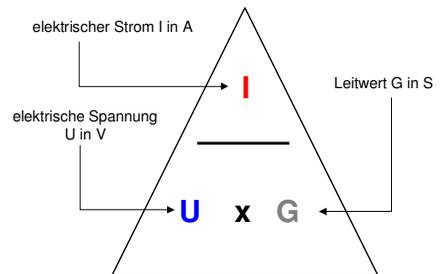


Bild 3.1 Ohmsche Gesetz

- 6.13** Der Widerstand einer 40W/230V (0.174A) Kohlefadenlampe beträgt bei 20°C 2215Ω.  
 a) Wie gross ist der Betriebswiderstand und  
 b) der mittlere Temperaturkoeffizient bei einer Wendel – Betriebstemperatur von 1937°C?

- 6.14** Ein Leiter erwärmt sich aufgrund des Betriebsstromes auf eine Leitertemperatur von 70°C. Der dadurch vorhandene Leitungswiderstand ist aus der vorliegenden Tabelle ersichtlich. Ergänzen Sie die Tabelle (siehe Anhang 3) mit den dafür nötigen maximalen Leitungslängen.

Nennquerschnitt in mm <sup>2</sup> (Cu)	Überstromschutzeinrichtung	maximaler Widerstand in Ω (bei 70°C)	maximale Leitungslänge in m
1.5	10	0.920 → R <sub>20</sub>	→ 32.9
1.5	13	0.707	
1.5	16	0.575	
1.5	20	0.460	
2.5	13	0.707	
2.5	16	0.575	
2.5	20	0.460	
2.5	25	0.368	
4.0	16	0.575	
4.0	20	0.460	
4.0	25	0.368	
4.0	32	0.287	
6.0	20	0.460	
6.0	25	0.368	
6.0	32	0.287	
6.0	40	0.230	

Der max. Widerstand ergibt sich aus der Überlegung, dass der Spannungsfall für eine 230V Leitung 4% nicht überschreiten soll, auch dann nicht, wenn die Leitertemperatur 70°C beträgt.

- 6.15** Welcher spezifische Widerstand besitzt Kupfer bei a) -30°C, b) 40°C, c) 80°C und d) 150°C?
- 6.16** Eine Transformatorenwicklung aus Kupfer hat bei einer Betriebstemperatur von 63°C einen Widerstand von 4.37Ω. Wie gross ist der Wicklungswiderstand bei 20°C?
- 6.17** Ergänzen Sie die Tabelle (siehe Anhang 4). Die Stromkreise sind an 230V angeschlossen.

Überstromunterbrecher	Charakteristik B (3... 5 mal I <sub>N</sub> )			Charakteristik C (5... 10 mal I <sub>N</sub> )			Charakteristik D (10... 20 mal I <sub>N</sub> )		
	Leiterquerschnitt	1.5mm <sup>2</sup>		2.5mm <sup>2</sup>			6mm <sup>2</sup>		
Nennstrom in A	10	13	16	13	16	20	20	25	32
minimaler I <sub>k</sub> in A	50								
max. Widerstand R in Ω	4.6								
max. Leitungslänge l in m bei 20°C und R	197.1								
max. Leitungslänge l in m bei 160°C und R	126.4								

- 6.18** Ein Motor hat bei einer Wicklungstemperatur von 12°C einen Widerstand von 3.78Ω. Nach 6,5-stündigem Dauerbetrieb beträgt der Wicklungswiderstand 5.17Ω. Welche Temperatur besitzt die warme Wicklung?

62

**ELEKTROMAGNETISCHE INDUKTION DURCH BEWEGEN EINES LEITERS**

Henrik Antoon Lorentz, niederländischer Mathematiker und Physiker, 1853 bis 1928, entwickelte div. Theorien im Magnetismus  
 Heinrich Friedrich Emil Lenz, deutscher Physiker, 1804 bis 1865, untersuchte unter anderem die elektromagnetische Induktion

Die Erzeugung von Magnetfeldern mit Hilfe des elektrischen Stromes wird mit dem Durchflutungsgesetz beschrieben. Das Induktionsgesetz (lat. inductio = das Hineinführen) beschreibt die entgegengesetzte Richtung, nämlich die Erzeugung einer elektrischen Spannung durch sich ändernde magnetische Felder oder das Bewegen eines elektrischen Leiters in einem homogenen Magnetfeld.

Zudem wirkt das Induktionsgesetz in folgenden zwei Zusammenhängen:

Gegeninduktion	Selbstinduktion
Spule wird nicht ursächlich von einem Strom durchflossen sondern sich einem ändernden Magnetfeld ausgesetzt. Dabei wird in der Spule eine Spannung induziert.	Dieses Phänomen tritt in jeder stromdurchflossenen Spule selber auf und zwar immer dann, wenn der magnetische Fluss infolge Stromänderungen ebenfalls ändert.

Dieses Kapitel beschäftigt sich ausschliesslich mit der Bewegung eines Leiters in einem homogenen Magnetfeld (Gegeninduktion). Die Induktion durch Bewegung wird auch Generatorprinzip genannt.

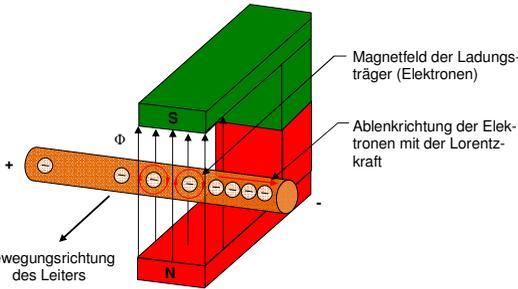


Bild 62.1 Ladungsverschiebung durch Leiterbewegung im homogenen Magnetfeld

Ein Leiter aus Kupfer besitzt freie Elektronen. Diese Ladungsträger bewegen sich um ihre eigene Achse, weshalb sie von einem Magnetfeld umgeben werden. Durch den Einfluss eines weiteren Magnetfeldes (z.B. Dauermagnet wie in Bild 62.1) beginnen die Elektronen in eine bestimmte Richtung zu wandern. Dies trifft jedoch nur dann zu, wenn der Leiter bewegt wird. Die Ablenkung erfolgt mit der Lorentzkraft und zwar senkrecht zur Bewegungsrichtung.

Der erwähnte Sachverhalt führt dazu, dass während der Leiterbewegung im Magnetfeld auf der einen Seite des Leiters sich ein Elektronenüberschuss bildet und auf der anderen Seite ein Elektronenmangel. Dieser Vorgang wird elektromagnetische Induktion genannt.

Die Richtung der induzierten Spannung ist von der Bewegungsrichtung und der Richtung des Magnetfeldes abhängig.

Wird nun an den Leiter ein Verbraucher angeschlossen, so dass der Stromkreis geschlossen ist, können die Elektronen fließen. Dieser durch die Induktionsspannung hervorgerufene Strom verursacht ein Magnetfeld um den Leiter. Weil dieses Magnetfeld stets so gerichtet ist, dass es zusammen mit dem Polfeld eine Kraft gegen die Bewegung ausübt, wird der Leiter abgebremst – Lenz'sche Regel –.

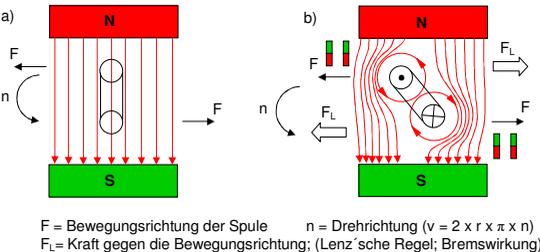


Bild 62.2 a) drehbar gelagerte Spule im Magnetfeld ohne Leiterfeld  
 b) Spule in Drehbewegung mit Leiterfeld

$U_i = N \times B \times l \times v$	$v = \frac{v_s}{m^2} \times m \times \frac{m}{s}$	$N = \frac{U_i}{B \times l \times v}$	$k.E. = \frac{v}{\frac{v_s}{m^2} \times m \times \frac{m}{s}}$	$B = \frac{U_i}{N \times l \times v}$	$\frac{v_s}{m^2} = \frac{v}{m \times \frac{m}{s}}$
$I = \frac{U_i}{N \times B \times v}$	$m = \frac{v}{\frac{v_s}{m^2} \times \frac{m}{s}}$	$v = \frac{U_i}{N \times B \times l}$	$\frac{m}{s} = \frac{v}{\frac{v_s}{m^2} \times m}$	U <sub>i</sub> = induzierte Spannung N = Windungszahl B = magnetische Flussdichte l = wirksame Leiterlänge im Magnetfeld v = Bewegungsgeschwindigkeit	

**ACHTUNG:** Befindet sich eine Leiterschleife in einem Magnetfeld, muss die Formel um den Faktor 2 erweitert werden (Hin- und Rückleiter)!

**Lenz'sche Regel:** Jeder durch eine induzierte Spannung hervorgerufene Strom ist stets so gerichtet, dass sein Magnetfeld der Ursache der Induktion entgegenwirkt.

Die Richtung des Stromes resp. der induzierten Spannung ist dabei von der Bewegungsrichtung der Leiterschleife und der Magnetfeldrichtung abhängig (Generatorregel: rechte Hand).

## 76 WÄRMENUTZUNGSGRAD (WÄRMEWIRKUNGSGRAD)

### Nr. Aufgabe

- 76.1** Ein Wassererwärmer kann mit einer Energie von 2kWh seinen 60l Inhalt von 14°C auf eine Endtemperatur von 40°C erwärmen. Wie gross ist der Wärmewirkungsgrad?
- 
- 76.2** Nach welcher Zeit ist der Inhalt eines 150l Elektrospeichers auf 60°C erwärmt, wenn der Anschlusswert des Elektroeinsatzes 5kW beträgt und der Wirkungsgrad 97%? Die Kaltwassertemperatur liegt bei 13.5°C.
- 
- 76.3** Welche Anschlussleistung muss ein 100l Elektrospeicher besitzen, wenn der Inhalt innert einer Stunde von 12°C auf 60°C erwärmt werden soll? Der Wirkungsgrad des Elektroheizstabes beträgt 97%.
- 
- 76.4** Auf einer 1.5kW Kochplatte werden 2.4l Wasser erwärmt. Wie lange dauert es, wenn das Wasser von 13°C auf 96°C erwärmt wird und der Wärmewirkungsgrad 58% beträgt?
- 
- 76.5** In einem Landwirtschaftsbetrieb werden 400l Wasser von 14°C auf 70°C erwärmt. Die Zählerablesung ergab einen elektrischen Energiebezug von 28kWh. Wie gross ist der Wirkungsgrad des Wassererwärmers?
- 
- 76.6** In einem Gefäss, welches mit 2.5l Wasser von 13°C gefüllt ist, wird ein Tauchsieder gelegt. Der Tauchsieder besitzt einen Widerstand von  $30\Omega$  und ist für eine Nennspannung von 230V vorgesehen. Der Wirkungsgrad wird mit 95% angenommen. Das Wasser soll bis zum Siedepunkt (100°C) erhitzt werden.
- Wie gross ist die aufzuwendende Erwärmungsenergie?
  - Wie lange dauert es, bis das Wasser siedet, wenn die Anschlussspannung 205V beträgt?
  - Wie lange dauert es, bis das Wasser bei Nennspannung siedet?
- 
- 76.7** Ein Tauchsieder mit einer Anschlussleistung von 3.5kW ist während 15 Minuten eingeschaltet. Welche Wassermenge kann in dieser Zeit von 12°C auf 60°C erhitzt werden, wenn der Wärmewirkungsgrad 98% beträgt?
- 
- 76.8** Der Wasserinhalt eines 250l Wassererwärmers soll in der Zeit von 22.00 Uhr bis 06.00Uhr von 15°C auf 65°C erwärmt werden. Welcher elektrische Anschlusswert ist dafür erforderlich, wenn mit einem Wärmewirkungsgrad von 92% gerechnet werden muss?
- 
- 76.9** Aus einem Herstellerkatalog ist zu entnehmen, dass die Erwärmung von 2l Wasser von 12°C auf 98°C 8 Minuten dauert, wenn die beschriebene 2.5kW Kochplatte dafür verwendet wird.
- Wie gross ist der berücksichtigte Wärmewirkungsgrad?
  - Welche Bedingungen müssen berücksichtigt werden, damit dieser Wärmewirkungsgrad erreicht werden kann?
- 
- 76.10** Um auf einer Blitzkochplatte ( $\varnothing$  180mm) 5l Wasser von 6.8°C auf 88°C zu erwärmen, ist eine Zeit von 35min. 25sek. notwendig. Während dieser Zeit macht der Zähler mit einer Zählerkonstante von  $c = 150U/kWh$  177 Umdrehungen.
- Wie gross ist der Wärmewirkungsgrad?
  - Auf welche Leistungsstufe wurde der 7 Takt – Stufenschalter der Blitzkochplatte eingestellt, wenn die Verluste zwischen Kochplatte und Kochgeschirr auftreten?
- 
- 76.11** Zu Spitzenlastzeiten, wie dies zur Mittagszeit der Fall ist, sinkt die Spannung von 400V auf 375V. Dadurch braucht Frau Müller zum Erwärmen von 1l Wasser mit einer 1.5kW Kochplatte von 12°C auf 98°C 8min. 19sek. .
- Wie lange dauert die Aufheizzeit bei einer Spannung von 400V?
  - Wie gross ist der Wärmewirkungsgrad?

## 87 ELEKTROWÄRMEPUMPEN

Mit einer Wärmepumpe wird aus minderwertiger (ungenutzter) Wärme, hochwertige Raumwärme hergestellt. Die Arbeitsweise entspricht derjenigen eines Kompressorkühlschranks. Über einen Verdampfer wird der Umgebung (Umgebungsluft / Erreich / Wasser) Wärme entzogen und einem Heizsystem zugeführt. Damit dies funktioniert, wird ein Arbeitsmittel (Kältemittel) benötigt, welches bei niedriger Temperatur den Siedepunkt erreicht. Die sich in einem Kreislauf befindende Flüssigkeit wird nacheinander verdampft, verdichtet, verflüssigt und entspannt.

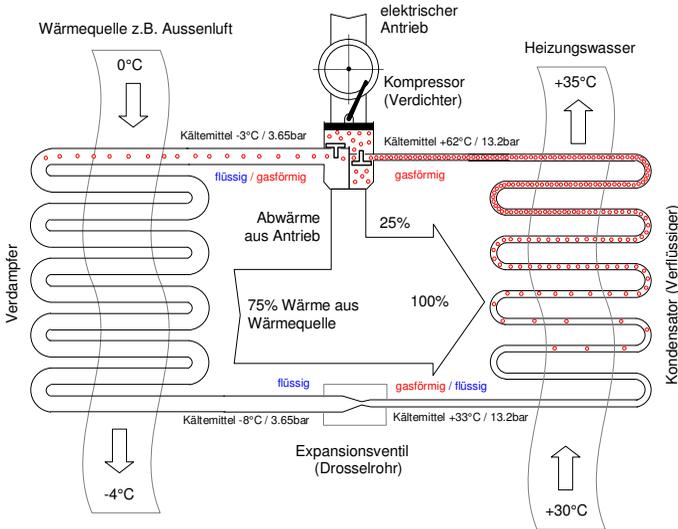


Bild 87.1 Prinzip einer Luft/Wasser – Wärmepumpe (mit Zahlenbeispiel)

In welchem Verhältnis die vom Verflüssiger abgegebene Wärmeleistung zur zugeführten elektrischen Leistung steht, ist hauptsächlich von den Temperaturen im Primär- und im Sekundärkreislauf abhängig. Je grösser die Temperatur auf der Verdampferseite (Primär.) und je niedriger die gewünschte Wasser – Vorlaufemperatur auf der Kondensatorseite (Sekundär.), desto grösser ist die Leistungszahl  $\epsilon$ . Anstelle eines Wirkungsgrades dient bei Wärmepumpen die Leistungszahl  $\epsilon$  (auch Leistungsziffer genannt) zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit.

$$\epsilon = \frac{\dot{\Phi}_{WP}}{P_{el}} \text{ oder } \frac{\dot{Q}_{WP}}{P_{el}} = \frac{m \times c \times \Delta\theta \times \eta}{P_{ab} \times t}$$

$\epsilon$  (Epsilon) = Leistungszahl (Leistungsziffer)

$\dot{\Phi}_{WP} = \dot{Q}_{WP}$  = abgegebener Nutzwärmestrom in kW

$P_{el}$  = elektrische Antriebsleistung des Verdichters in kW ( $P_{au}$ )

$P_{ab}$  = mechanische Antriebsleistung des Verdichters in kW ( $P_{ab}$ )

Zur Ermittlung der Betriebskosten wird der Jahresenergiebedarf d.h. die Jahresarbeitszahl (JAZ) verwendet. Geht es um das Erfassen eines momentanen Energiebedarfes, nennt man die Jahresarbeitszahl nur Arbeitszahl.

$$\beta = \frac{Q}{W_{el}} \text{ oder } \frac{m \times c \times \Delta\theta}{\Sigma P_{el} \times t}$$

$\beta$  = Jahresarbeitszahl (evt. auch nur Arbeitszahl)

$Q$  = abgegebene Nutzwärme in kWh

$W_{el} = \Sigma$  sämtlicher der WP zugeführten kostenpflichtigen elektrischen Energien in kWh

Eine weitere Kennzahl ist der COP (Coefficient of Performance). Die Ermittlung erfolgt durch Messungen unter bestimmten Prüfbedingungen (Temperaturverhältnisse, Zeitpunkt etc.). Er bezieht sich ebenfalls auf die Leistung. Im Unterschied zur Leistungszahl  $\epsilon$  wird neben der Antriebsleistung zudem die nötige Leistung für die übrigen elektrischen Geräte in die Berechnung mit einbezogen.

$$COP = \frac{\dot{\Phi}_{WP}}{(P_{el} + P_V + P_K + P_{SR} + P_A)} \text{ oder } \frac{\dot{Q}_{WP}}{\Sigma P_{el}} = \frac{m \times c \times \Delta\theta}{\Sigma P_{el} \times t}$$

COP = Coefficient of Performance

$P_V$  = nötiger Leistungsanteil des Verdampfers in kW

$P_K$  = nötiger Leistungsanteil des Kondensators in kW

$P_{SR}$  = Leistungsanteil Steuerung/Regelung in kW

$P_A$  = Leistungsanteil Abtaueinrichtung in kW

Bei der Leistungszahl und dem COP – Wert handelt es sich nur um Momentanaufnahmen. Sie erlauben keine Bewertung einer Gesamtanlage. Dafür ist die Jahresarbeitszahl notwendig.

In der Praxis sollte eine Wärmepumpe so ausgelegt sein, dass die Leistungszahl  $\epsilon$  zwischen  $\geq 4 \dots 7$  liegt. Die Jahresarbeitszahl ist erfahrungsgemäss um etwa einen Zählerplatz kleiner, d.h.  $\geq 3 \dots 6$ .