



# Grundlagen der Elektrotechnik

Was hat es mit Strom, Spannung, Widerstand und Leistung  
auf sich

Michael Dienert

Walther-Rathenau-Gewerbeschule  
Freiburg

25. April 2016

# Inhalt

Strom und Spannung

Elektrisches Potential

Schutz vor den Gefahren des elektrischen Stroms  
Fehlerstrom-Schutzschalter

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Metalische Leiter: überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- Warum Metalle: bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- **Metallische Leiter:** überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- Warum Metalle: bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

## Elektrischer Strom in metallischen Leitern

- **Metallische Leiter:** überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- Warum Metalle: bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- **Metallische Leiter:** überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- **Bei Energieübertragung:** sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- **Warum Metalle:** bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Metalische Leiter: überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- Warum Metalle: bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Metalische Leiter: überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- Warum Metalle: bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:



## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Metalische Leiter: überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- **Warum Metalle:** bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Metalische Leiter: überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- Warum Metalle: bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Metalische Leiter: überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- Warum Metalle: bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Metalische Leiter: überwiegend Kupferdrähte, Kupferlitze (viele dünne, zusammengefasste Drähte), Leiterbahnen aus Kupfer.
- Bei Energieübertragung: sehr dicke Drähte aus Aluminium.
- *Fahrdraht* bei Eisenbahnen: Kupferdraht, ca. 12.4mm Durchmesser.
- Warum Metalle: bei Metallen sind Atome regelmässig in einem Raumgitter angeordnet.
- Jedes Atom ist *kugelförmig*
- Die Kugeln ordnen sich in einer *dichtest möglichen* Packung an:

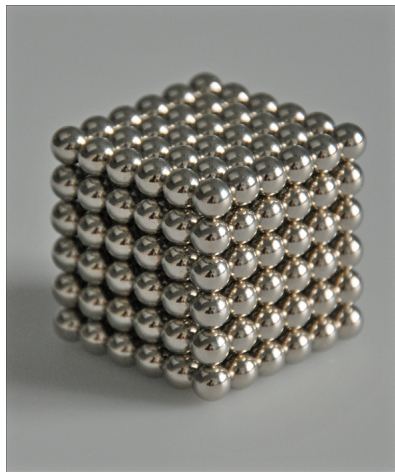
# Elektrischer Strom in metalischen Leitern



Abbildung : Trüffel-Metallgitter

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

Ein Bild, das nicht exakt die dichteste Kugelpackung zeigt:



**Abbildung** : Modell eines Metallgitters mit Neodym-Magnetkugeln

# Elektrischer Strom in metalischen Leitern

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Die äusseren *Elektronen* der Metallatome sind nur schwach an ihr Atom gebunden



## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Die äusseren *Elektronen* der Metallatome sind nur schwach an ihr Atom gebunden
- Sie können sich frei zwischen den Atomen in der Kugelpackung bewegen

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Die äusseren *Elektronen* der Metallatome sind nur schwach an ihr Atom gebunden
- Sie können sich frei zwischen den Atomen in der Kugelpackung bewegen
- Man kann sich diese freien Elektronen wie ein Gas

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Die äusseren *Elektronen* der Metallatome sind nur schwach an ihr Atom gebunden
- Sie können sich frei zwischen den Atomen in der Kugelpackung bewegen
- Man kann sich diese freien Elektronen wie ein Gas → sog. *Elektronengas*, vorstellen

## Elektrischer Strom in metalischen Leitern

- Die äusseren *Elektronen* der Metallatome sind nur schwach an ihr Atom gebunden
- Sie können sich frei zwischen den Atomen in der Kugelpackung bewegen
- Man kann sich diese freien Elektronen wie ein Gas  $\rightarrow$  sog. *Elektronengas*, vorstellen

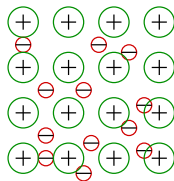


Abbildung : Metallgitter mit freien Elektronen

# Elektrischer Strom

- Bei Metallen besteht der elektrische Strom aus einer *Wanderung* der freien Elektronen in eine Richtung.
- D.h. man kann sich den elektrischen Strom wie eine Strömung des Elektronengases vorstellen
- Die Stromstärke hängt davon ab, wie stark diese *Elektronenströmung* ist.
- Möchte man ständig einen Strom fließen lassen, muss man einen *Stromkreis* aufbauen:

# Elektrischer Strom

- Bei Metallen besteht der elektrische Strom aus einer *Wanderung* der freien Elektronen in eine Richtung.
- D.h. man kann sich den elektrischen Strom wie eine Strömung des Elektronengases vorstellen
- Die Stromstärke hängt davon ab, wie stark diese *Elektronenströmung* ist.
- Möchte man ständig einen Strom fließen lassen, muss man einen *Stromkreis* aufbauen:

# Elektrischer Strom

- Bei Metallen besteht der elektrische Strom aus einer *Wanderung* der freien Elektronen in eine Richtung.
- D.h. man kann sich den elektrischen Strom wie eine Strömung des Elektronengases vorstellen
- Die Stromstärke hängt davon ab, wie stark diese *Elektronenströmung* ist.
- Möchte man ständig einen Strom fließen lassen, muss man einen *Stromkreis* aufbauen:

# Elektrischer Strom

- Bei Metallen besteht der elektrische Strom aus einer *Wanderung* der freien Elektronen in eine Richtung.
- D.h. man kann sich den elektrischen Strom wie eine Strömung des Elektronengases vorstellen
- Die Stromstärke hängt davon ab, wie stark diese *Elektronenströmung* ist.
- Möchte man ständig einen Strom fließen lassen, muss man einen *Stromkreis* aufbauen:

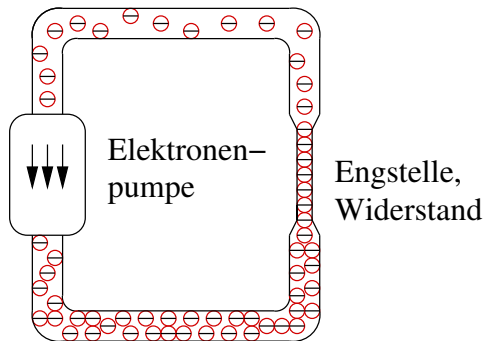


# Elektrischer Strom

- Bei Metallen besteht der elektrische Strom aus einer *Wanderung* der freien Elektronen in eine Richtung.
- D.h. man kann sich den elektrischen Strom wie eine Strömung des Elektronengases vorstellen
- Die Stromstärke hängt davon ab, wie stark diese *Elektronenströmung* ist.
- Möchte man ständig einen Strom fließen lassen, muss man einen *Stromkreis* aufbauen:

# Elektrischer Strom

niedriger Druck, hohe Fließgeschwindigkeit



hoher Druck, langsame Fließgeschwindigkeit

Abbildung : Modell eines Stromkreises

## Elektrische Spannung

- Die elektrische Spannung kann man sich als *Druckdifferenz* des Elektronengases vorstellen.
- In unserem Modell erzeugt die Pumpe einen Elektronendruck gegen den Widerstand der Verengung.
- Vor der Verengung ist der Druck grösser als nach der Verengung
- Wichtig: im Stromkreis gehen keine Elektronen verloren, sie werden nur im Kreis herumgepumpt.
- An Stellen mit hohem Druck ist die Fließgeschwindigkeit kleiner als an Stellen mit niedrigem Druck.

## Elektrische Spannung

- Die elektrische Spannung kann man sich als *Druckdifferenz* des Elektronengases vorstellen.
- In unserem Modell erzeugt die Pumpe einen Elektronendruck gegen den Widerstand der Verengung.
- Vor der Verengung ist der Druck grösser als nach der Verengung
- Wichtig: im Stromkreis gehen keine Elektronen verloren, sie werden nur im Kreis herumgepumpt.
- An Stellen mit hohem Druck ist die Fließgeschwindigkeit kleiner als an Stellen mit niedrigem Druck.

## Elektrische Spannung

- Die elektrische Spannung kann man sich als *Druckdifferenz* des Elektronengases vorstellen.
- In unserem Modell erzeugt die Pumpe einen Elektronendruck gegen den Widerstand der Verengung.
- Vor der Verengung ist der Druck grösser als nach der Verengung
- Wichtig: im Stromkreis gehen keine Elektronen verloren, sie werden nur im Kreis herumgepumpt.
- An Stellen mit hohem Druck ist die Fließgeschwindigkeit kleiner als an Stellen mit niedrigem Druck.

## Elektrische Spannung

- Die elektrische Spannung kann man sich als *Druckdifferenz* des Elektronengases vorstellen.
- In unserem Modell erzeugt die Pumpe einen Elektronendruck gegen den Widerstand der Verengung.
- Vor der Verengung ist der Druck grösser als nach der Verengung
- Wichtig: im Stromkreis gehen keine Elektronen verloren, sie werden nur im Kreis herumgepumpt.
- An Stellen mit hohem Druck ist die Fließgeschwindigkeit kleiner als an Stellen mit niedrigem Druck.

## Elektrische Spannung

- Die elektrische Spannung kann man sich als *Druckdifferenz* des Elektronengases vorstellen.
- In unserem Modell erzeugt die Pumpe einen Elektronendruck gegen den Widerstand der Verengung.
- Vor der Verengung ist der Druck grösser als nach der Verengung
- Wichtig: im Stromkreis gehen keine Elektronen verloren, sie werden nur im Kreis herumgepumpt.
- An Stellen mit hohem Druck ist die Fließgeschwindigkeit kleiner als an Stellen mit niedrigem Druck.

## Elektrische Spannung

- Die elektrische Spannung kann man sich als *Druckdifferenz* des Elektronengases vorstellen.
- In unserem Modell erzeugt die Pumpe einen Elektronendruck gegen den Widerstand der Verengung.
- Vor der Verengung ist der Druck grösser als nach der Verengung
- Wichtig: im Stromkreis gehen keine Elektronen verloren, sie werden nur im Kreis herumgepumpt.
- An Stellen mit hohem Druck ist die Fließgeschwindigkeit kleiner als an Stellen mit niedrigem Druck.



## Definitionen

- Wenn pro Sekunde  $6.24 \cdot 10^{18}$  Elektronen durch den Leiterquerschnitt fließen, beträgt die *Stromstärke* 1 A (Ampère).
- Für den elektrischen Strom wird das *Formelzeichen*  $I$  verwendet. Die *Einheit* des elektrischen Stroms ist das Ampère.
- An der Verengung, am Widerstand wird z.B. Wärme erzeugt. Die *Leistung* die dabei umgesetzt wird hängt von der elektrischen Spannung und der Stromstärke ab.

## Definitionen

- Wenn pro Sekunde  $6.24 \cdot 10^{18}$  Elektronen durch den Leiterquerschnitt fließen, beträgt die *Stromstärke* 1 A (Ampère).
- Für den elektrischen Strom wird das *Formelzeichen*  $I$  verwendet. Die *Einheit* des elektrischen Stroms ist das Ampère.
- An der Verengung, am Widerstand wird z.B. Wärme erzeugt. Die *Leistung* die dabei umgesetzt wird hängt von der elektrischen Spannung und der Stromstärke ab.

## Definitionen

- Wenn pro Sekunde  $6.24 \cdot 10^{18}$  Elektronen durch den Leiterquerschnitt fließen, beträgt die *Stromstärke* 1 A (Ampère).
- Für den elektrischen Strom wird das *Formelzeichen*  $I$  verwendet. Die *Einheit* des elektrischen Stroms ist das Ampère.
- An der Verengung, am Widerstand wird z.B. Wärme erzeugt. Die *Leistung* die dabei umgesetzt wird hängt von der elektrischen Spannung und der Stromstärke ab.

## Definitionen

- Wenn pro Sekunde  $6.24 \cdot 10^{18}$  Elektronen durch den Leiterquerschnitt fließen, beträgt die *Stromstärke* 1 A (Ampère).
- Für den elektrischen Strom wird das *Formelzeichen*  $I$  verwendet. Die *Einheit* des elektrischen Stroms ist das Ampère.
- An der Verengung, am Widerstand wird z.B. Wärme erzeugt. Die *Leistung* die dabei umgesetzt wird hängt von der elektrischen Spannung und der Stromstärke ab.

## Definitionen

- Formelzeichen der Leistung:  $P$  (Power), Einheit der Leistung  $1\text{W}$  (Watt)
- Die elektrische Spannung (Druckdifferenz) hat das Formelzeichen  $U$  und die Einheit  $1\text{V}$  (Volt).

• Wenn an einem beliebigen Widerstand (Engstelle) der von einem Strom der Stärke  $1\text{A}$  durchflossen wird, eine Leistung von  $1\text{W}$  umgesetzt wird, beträgt die elektrische Spannung (Druckdifferenz)  $1\text{V}$ .

## Definitionen

- Formelzeichen der Leistung:  $P$  (Power), Einheit der Leistung 1W (Watt)
- Die elektrische Spannung (Druckdifferenz) hat das Formelzeichen  $U$  und die Einheit 1V (Volt).

Wenn an einem beliebigen Widerstand (Engstelle) der von einem Strom der Stärke 1A durchflossen wird, eine Leistung von 1W umgesetzt wird, beträgt die elektrische Spannung (Druckdifferenz) 1V.

## Definitionen

- Formelzeichen der Leistung:  $P$  (Power), Einheit der Leistung 1W (Watt)
- Die elektrische Spannung (Druckdifferenz) hat das Formelzeichen  $U$  und die Einheit 1V (Volt).

Wenn an einem beliebigen Widerstand (Engstelle) der von einem Strom der Stärke 1A durchflossen wird, eine Leistung von 1W umgesetzt wird, beträgt die elektrische Spannung (Druckdifferenz) 1V.

## Definitionen

- Formelzeichen der Leistung:  $P$  (Power), Einheit der Leistung  $1\text{W}$  (Watt)
- Die elektrische Spannung (Druckdifferenz) hat das Formelzeichen  $U$  und die Einheit  $1\text{V}$  (Volt).

• Wenn an einem beliebigen Widerstand (Engstelle) der von einem Strom der Stärke  $1\text{A}$  durchflossen wird, eine Leistung von  $1\text{W}$  umgesetzt wird, beträgt die elektrische Spannung (Druckdifferenz)  $1\text{V}$ .



## Elektrischer Stromkreis

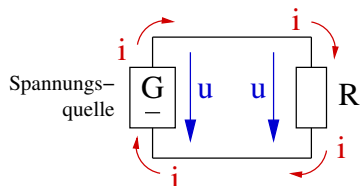


Abbildung : Elektrischer Stromkreis

- Das Modellbild des Stromkreises mit Pumpe, Elektronengas und Engstelle wird ab jetzt wie in Abb. 6 dargestellt.
- Die Pumpe wird zu *Spannungsquelle*
- Die Engstelle, an der Wärmeenergie umgesetzt wird, wird durch das Schaltzeichen eines *elektrischen Widerstands* dargestellt.

## Elektrischer Stromkreis

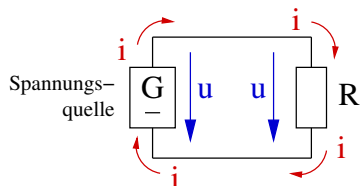


Abbildung : Elektrischer Stromkreis

- Das Modellbild des Stromkreises mit Pumpe, Elektronengas und Engstelle wird ab jetzt wie in Abb. 6 dargestellt.
- Die Pumpe wird zu *Spannungsquelle*
- Die Engstelle, an der Wärmeenergie umgesetzt wird, wird durch das Schaltzeichen eines *elektrischen Widerstands* dargestellt.

## Elektrischer Stromkreis

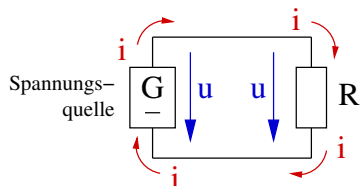


Abbildung : Elektrischer Stromkreis

- Das Modellbild des Stromkreises mit Pumpe, Elektronengas und Engstelle wird ab jetzt wie in Abb. 6 dargestellt.
- Die Pumpe wird zu *Spannungsquelle*
- Die Engstelle, an der Wärmeenergie umgesetzt wird, wird durch das Schaltzeichen eines *elektrischen Widerstands* dargestellt.

## Elektrischer Stromkreis

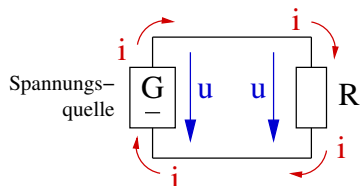


Abbildung : Elektrischer Stromkreis

- Das Modellbild des Stromkreises mit Pumpe, Elektronengas und Engstelle wird ab jetzt wie in Abb. 6 dargestellt.
- Die Pumpe wird zu *Spannungsquelle*
- Die Engstelle, an der Wärmeenergie umgesetzt wird, wird durch das Schaltzeichen eines *elektrischen Widerstands* dargestellt.

## Elektrischer Stromkreis

- Die Rohrleitungen für das Elektronengas werden durch Linien dargestellt.
- entlang der Linien findet keinerlei “Druckverlust” statt, d.h. die Spannung in der Nähe der Quelle ist genauso hoch wie in der Nähe des Widerstands.
- Die Spannungen werden durch blaue Pfeile repräsentiert. Die Pfeilrichtung zeigt dabei von Bereichen mit mehr positiven Ladungen zu Bereichen mit mehr negativen Ladungen.
- Die Spannungsquelle “pumpt” die Elektronen an ihrem unteren Ende heraus. D.h. unten sind mehr negative Ladungen als oben.  $\Rightarrow$  die Spannungspfeile zeigen von oben nach unten.

## Elektrischer Stromkreis

- Die Rohrleitungen für das Elektronengas werden durch Linien dargestellt.
- entlang der Linien findet keinerlei “Druckverlust” statt, d.h. die Spannung in der Nähe der Quelle ist genauso hoch wie in der Nähe des Widerstands.
- Die Spannungen werden durch blaue Pfeile repräsentiert. Die Pfeilrichtung zeigt dabei von Bereichen mit mehr positiven Ladungen zu Bereichen mit mehr negativen Ladungen.
- Die Spannungsquelle “pumpt” die Elektronen an ihrem unteren Ende heraus. D.h. unten sind mehr negative Ladungen als oben.  $\Rightarrow$  die Spannungspfeile zeigen von oben nach unten.

## Elektrischer Stromkreis

- Die Rohrleitungen für das Elektronengas werden durch Linien dargestellt.
- entlang der Linien findet keinerlei “Druckverlust” statt, d.h. die Spannung in der Nähe der Quelle ist genauso hoch wie in der Nähe des Widerstands.
- Die Spannungen werden durch blaue Pfeile repräsentiert. Die Pfeilrichtung zeigt dabei von Bereichen mit mehr positiven Ladungen zu Bereichen mit mehr negativen Ladungen.
- Die Spannungsquelle “pumpt” die Elektronen an ihrem unteren Ende heraus. D.h. unten sind mehr negative Ladungen als oben.  $\Rightarrow$  die Spannungspfeile zeigen von oben nach unten.

## Elektrischer Stromkreis

- Die Rohrleitungen für das Elektronengas werden durch Linien dargestellt.
- entlang der Linien findet keinerlei “Druckverlust” statt, d.h. die Spannung in der Nähe der Quelle ist genauso hoch wie in der Nähe des Widerstands.
- Die Spannungen werden durch blaue Pfeile repräsentiert. Die Pfeilrichtung zeigt dabei von Bereichen mit mehr positiven Ladungen zu Bereichen mit mehr negativen Ladungen.
- Die Spannungsquelle “pumpt” die Elektronen an ihrem unteren Ende heraus. D.h. unten sind mehr negative Ladungen als oben.  $\Rightarrow$  die Spannungspfeile zeigen von oben nach unten.



## Elektrischer Stromkreis

- Die Rohrleitungen für das Elektronengas werden durch Linien dargestellt.
- entlang der Linien findet keinerlei “Druckverlust” statt, d.h. die Spannung in der Nähe der Quelle ist genauso hoch wie in der Nähe des Widerstands.
- Die Spannungen werden durch blaue Pfeile repräsentiert. Die Pfeilrichtung zeigt dabei von Bereichen mit mehr positiven Ladungen zu Bereichen mit mehr negativen Ladungen.
- Die Spannungsquelle “pumpt” die Elektronen an ihrem unteren Ende heraus. D.h. unten sind mehr negative Ladungen als oben. ⇒ die Spannungspfeile zeigen von oben nach unten.

## Elektrischer Stromkreis

- Die Rohrleitungen für das Elektronengas werden durch Linien dargestellt.
- entlang der Linien findet keinerlei “Druckverlust” statt, d.h. die Spannung in der Nähe der Quelle ist genauso hoch wie in der Nähe des Widerstands.
- Die Spannungen werden durch blaue Pfeile repräsentiert. Die Pfeilrichtung zeigt dabei von Bereichen mit mehr positiven Ladungen zu Bereichen mit mehr negativen Ladungen.
- Die Spannungsquelle “pumpt” die Elektronen an ihrem unteren Ende heraus. D.h. unten sind mehr negative Ladungen als oben.  $\Rightarrow$  die Spannungspfeile zeigen von oben nach unten.

# Elektrischer Stromkreis

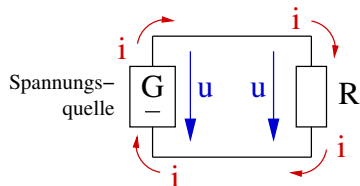


Abbildung : Elektrischer Stromkreis

- Der elektrische Strom wird durch rote Pfeile symbolisiert.
- Die Pfeilrichtung zeigt *gegen* die Wanderungsrichtung der Elektronen!

# Elektrischer Stromkreis

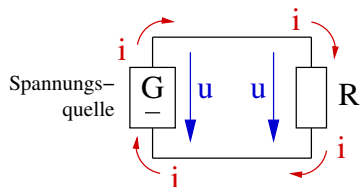


Abbildung : Elektrischer Stromkreis

- Der elektrische Strom wird durch rote Pfeile symbolisiert.
- Die Pfeilrichtung zeigt *gegen* die Wanderungsrichtung der Elektronen!

# Elektrischer Stromkreis

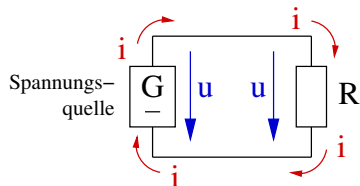


Abbildung : Elektrischer Stromkreis

- Der elektrische Strom wird durch rote Pfeile symbolisiert.
- Die Pfeilrichtung zeigt *gegen* die Wanderungsrichtung der Elektronen!

## Definition des elektrischen Widerstands

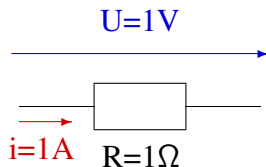


Abbildung : Strom und Spannung am  $1\Omega$  Widerstand

- Der elektrische Widerstand hat das Formelzeichen **R** und die Einheit  $1\Omega$  ( $\Omega$  steht für *Ohm*).
- Durch einen Widerstand von  $1\Omega$  fließt ein Strom von  $1A$ , wenn die am Widerstand anliegende Spannung  $1V$  beträgt.

## Definition des elektrischen Widerstands

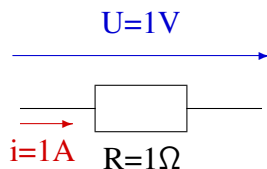


Abbildung : Strom und Spannung am  $1\Omega$  Widerstand

- Der elektrische Widerstand hat das Formelzeichen **R** und die Einheit  $1\Omega$  ( $\Omega$  steht für *Ohm*).
- Durch einen Widerstand von  $1\Omega$  fließt ein Strom von  $1A$ , wenn die am Widerstand anliegende Spannung  $1V$  beträgt.

## Definition des elektrischen Widerstands

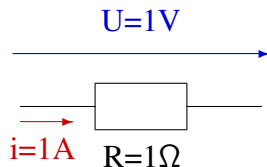
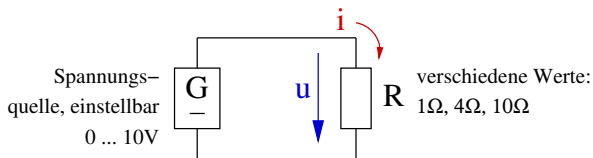


Abbildung : Strom und Spannung am  $1\Omega$  Widerstand

- Der elektrische Widerstand hat das Formelzeichen **R** und die Einheit  $1\Omega$  ( $\Omega$  steht für *Ohm*).
- Durch einen Widerstand von  $1\Omega$  fließt ein Strom von  $1A$ , wenn die am Widerstand anliegende Spannung  $1V$  beträgt.



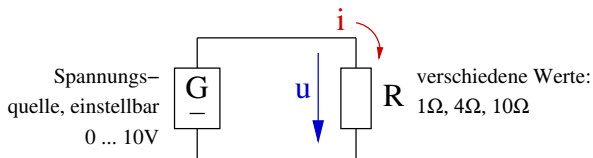
# Ohmsches Gesetz



**Abbildung** : Elektrischer Stromkreis mit variabler Spannung und verschiedenen Widerständen

- Der elektrische Strom wird in einer Grafik über der Spannung aufgetragen.
- Bei sog. *ohmschen Widerständen* ergibt sich dabei eine Gerade als Schaubild:

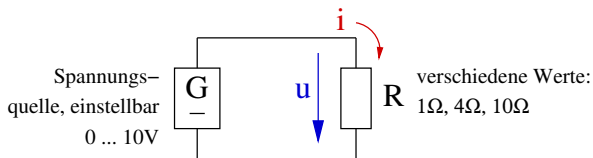
# Ohmsches Gesetz



**Abbildung** : Elektrischer Stromkreis mit variabler Spannung und verschiedenen Widerständen

- Der elektrische Strom wird in einer Grafik über der Spannung aufgetragen.
- Bei sog. *ohmschen Widerständen* ergibt sich dabei eine Gerade als Schaubild:

# Ohmsches Gesetz



**Abbildung** : Elektrischer Stromkreis mit variabler Spannung und verschiedenen Widerständen

- Der elektrische Strom wird in einer Grafik über der Spannung aufgetragen.
- Bei sog. *ohmschen Widerständen* ergibt sich dabei eine Gerade als Schaubild:

# Ohmsches Gesetz

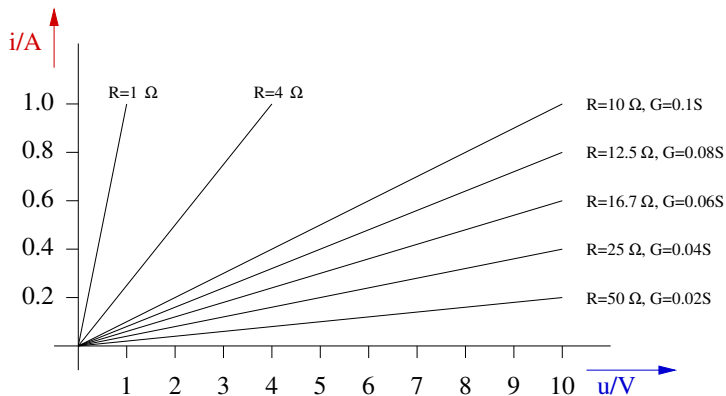


Abbildung : Widerstandsgeraden

# Ohmsches Gesetz

- Die Stromstärke  $i$  ist *proportional* zur Spannung  $u$ :  
 $i \sim u$
- Die Stromstärke ist *proportional* zum *Kehrwert* des Widerstands:  $i \sim \frac{1}{R}$
- Den Kehrwert des Widerstands nennt man *Leitwert* **G**:  
 $G = \frac{1}{R}$
- Die Stromstärke ist also proportional zum Leitwert  $G$ .

# Ohmsches Gesetz

- Die Stromstärke  $i$  ist *proportional* zur Spannung  $u$ :  
 $i \sim u$
- Die Stromstärke ist *proportional* zum *Kehrwert* des Widerstands:  $i \sim \frac{1}{R}$
- Den Kehrwert des Widerstands nennt man *Leitwert*  $G$ :  
 $G = \frac{1}{R}$
- Die Stromstärke ist also proportional zum Leitwert  $G$ .

# Ohmsches Gesetz

- Die Stromstärke  $i$  ist *proportional* zur Spannung  $u$ :  
 $i \sim u$
- Die Stromstärke ist *proportional* zum *Kehrwert* des Widerstands:  $i \sim \frac{1}{R}$
- Den Kehrwert des Widerstands nennt man *Leitwert*  $G$ :  
 $G = \frac{1}{R}$
- Die Stromstärke ist also proportional zum Leitwert  $G$ .

# Ohmsches Gesetz

- Die Stromstärke  $i$  ist *proportional* zur Spannung  $u$ :  
 $i \sim u$
- Die Stromstärke ist *proportional* zum *Kehrwert* des Widerstands:  $i \sim \frac{1}{R}$
- Den Kehrwert des Widerstands nennt man *Leitwert* **G**:  
 $G = \frac{1}{R}$
- Die Stromstärke ist also proportional zum Leitwert  $G$ .



# Ohmsches Gesetz

- Die Stromstärke  $i$  ist *proportional* zur Spannung  $u$ :  
 $i \sim u$
- Die Stromstärke ist *proportional* zum *Kehrwert* des Widerstands:  $i \sim \frac{1}{R}$
- Den Kehrwert des Widerstands nennt man *Leitwert*  $G$ :  
 $G = \frac{1}{R}$
- Die Stromstärke ist also proportional zum Leitwert  $G$ .

## Ohmsches Gesetz

- Das ohmsche Gesetz gilt nur für *ohmsche Widerstände*.
- Ein Beispiel für Bauteile bei dem es nicht gilt, sind Dioden.
- Bei einer Diode ändert sich der Strom *exponentiell* mit der Spannung:

## Ohmsches Gesetz

- Das ohmsche Gesetz gilt nur für *ohmsche Widerstände*.
- Ein Beispiel für Bauteile bei dem es nicht gilt, sind Dioden.
- Bei einer Diode ändert sich der Strom *exponentiell* mit der Spannung:

## Ohmsches Gesetz

- Das ohmsche Gesetz gilt nur für *ohmsche Widerstände*.
- Ein Beispiel für Bauteile bei dem es nicht gilt, sind Dioden.
- Bei einer Diode ändert sich der Strom *exponentiell* mit der Spannung:

## Ohmsches Gesetz

- Das ohmsche Gesetz gilt nur für *ohmsche Widerstände*.
- Ein Beispiel für Bauteile bei dem es nicht gilt, sind Dioden.
- Bei einer Diode ändert sich der Strom *exponentiell* mit der Spannung:

## Ohmsches Gesetz

- Das ohmsche Gesetz gilt nur für *ohmsche Widerstände*.
- Ein Beispiel für Bauteile bei dem es nicht gilt, sind Dioden.
- Bei einer Diode ändert sich der Strom *exponentiell* mit der Spannung:

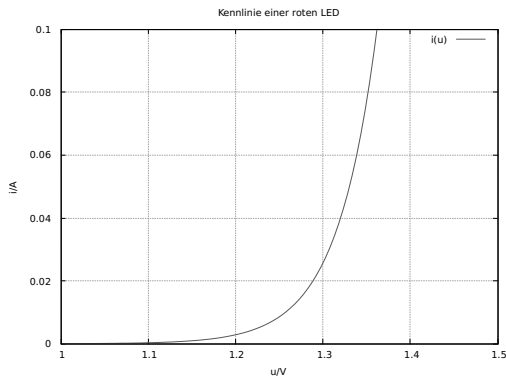


Abbildung : Kennlinie einer roten LED

# Maschenregel

- Eine Masche ist ein geschlossener Weg innerhalb einer beliebigen elektronischen Schaltung.
- Definition der Maschenregel:

Geht man in einer Masche einmal komplett im Kreis herum, ist die Summe aller Spannungen **Null!**

- Beim Aufsummieren der Spannungen muss man die Pfeilrichtungen beachten: Spannungspfeile, die gegen die Laufrichtung zeigen werden negativ gezählt.
- Die Maschenregel ist ein Spezialfall des *Energieerhaltungssatzes*.

# Maschenregel

- Eine Masche ist ein geschlossener Weg innerhalb einer beliebigen elektronischen Schaltung.
- Definition der Maschenregel:

Geht man in einer Masche einmal komplett im Kreis herum, ist die Summe aller Spannungen **Null!**

- Beim Aufsummieren der Spannungen muss man die Pfeilrichtungen beachten: Spannungspfeile, die gegen die Laufrichtung zeigen werden negativ gezählt.
- Die Maschenregel ist ein Spezialfall des *Energieerhaltungssatzes*.



# Maschenregel

- Eine Masche ist ein geschlossener Weg innerhalb einer beliebigen elektronischen Schaltung.
- Definition der Maschenregel:

Geht man in einer Masche einmal komplett im Kreis herum, ist die Summe aller Spannungen **Null!**

- Beim Aufsummieren der Spannungen muss man die Pfeilrichtungen beachten: Spannungspfeile, die gegen die Laufrichtung zeigen werden negativ gezählt.
- Die Maschenregel ist ein Spezialfall des *Energieerhaltungssatzes*.

## Maschenregel

- Eine Masche ist ein geschlossener Weg innerhalb einer beliebigen elektronischen Schaltung.
- Definition der Maschenregel:

Geht man in einer Masche einmal komplett im Kreis herum, ist die Summe aller Spannungen **Null!**

- Beim Aufsummieren der Spannungen muss man die Pfeilrichtungen beachten: Spannungspfeile, die gegen die Laufrichtung zeigen werden negativ gezählt.
- Die Maschenregel ist ein Spezialfall des *Energieerhaltungssatzes*.

## Maschenregel

- Eine Masche ist ein geschlossener Weg innerhalb einer beliebigen elektronischen Schaltung.
- Definition der Maschenregel:

Geht man in einer Masche einmal komplett im Kreis herum, ist die Summe aller Spannungen **Null!**

- Beim Aufsummieren der Spannungen muss man die Pfeilrichtungen beachten: Spannungspfeile, die gegen die Laufrichtung zeigen werden negativ gezählt.
- Die Maschenregel ist ein Spezialfall des *Energieerhaltungssatzes*.

## Beispiel Maschenregel

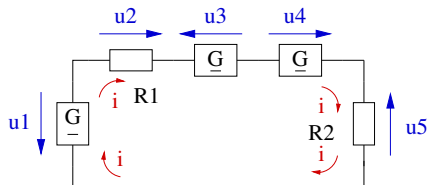


Abbildung : Beispiel zur Maschenregel

$$-u_1 + u_2 - u_3 + u_4 - u_5 = 0$$

## Beispiel Maschenregel

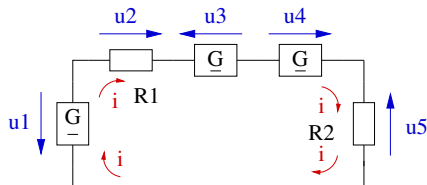


Abbildung : Beispiel zur Maschenregel

$$-u_1 + u_2 - u_3 + u_4 - u_5 = 0$$

# Knotenregel

- Ein Knoten ist ein Punkt, an dem mehrere elektrische Leiter miteinander verbunden sind.
- Definition der Knotenregel:

Die Summe aller Ströme, die auf einen Knoten zufließen ist genauso gross wie die Summe aller Ströme, die von diesem Knoten wegfließen!

- Die Knotenregel ist ein Spezialfall des *Ladungserhaltungssatzes*.
- Im Knoten geht keine Ladung verloren: soviel Elektronen wie hineinfließen, fließen auch wieder hinaus.

## Knotenregel

- Ein Knoten ist ein Punkt, an dem mehrere elektrische Leiter miteinander verbunden sind.
- Definition der Knotenregel:

Die Summe aller Ströme, die auf einen Knoten zufließen ist genauso gross wie die Summe aller Ströme, die von diesem Knoten wegfließen!

- Die Knotenregel ist ein Spezialfall des *Ladungserhaltungssatzes*.
- Im Knoten geht keine Ladung verloren: soviel Elektronen wie hineinfließen, fließen auch wieder hinaus.

## Knotenregel

- Ein Knoten ist ein Punkt, an dem mehrere elektrische Leiter miteinander verbunden sind.
- Definition der Knotenregel:

Die Summe aller Ströme, die auf einen Knoten zufließen ist genauso gross wie die Summe aller Ströme, die von diesem Knoten wegfließen!

- Die Knotenregel ist ein Spezialfall des *Ladungserhaltungssatzes*.
- Im Knoten geht keine Ladung verloren: soviel Elektronen wie hineinfließen, fließen auch wieder hinaus.



## Knotenregel

- Ein Knoten ist ein Punkt, an dem mehrere elektrische Leiter miteinander verbunden sind.
- Definition der Knotenregel:

Die Summe aller Ströme, die auf einen Knoten zufließen ist genauso gross wie die Summe aller Ströme, die von diesem Knoten wegfließen!

- Die Knotenregel ist ein Spezialfall des *Ladungserhaltungssatzes*.
- Im Knoten geht keine Ladung verloren: soviel Elektronen wie hineinfließen, fließen auch wieder hinaus.

## Knotenregel

- Ein Knoten ist ein Punkt, an dem mehrere elektrische Leiter miteinander verbunden sind.
- Definition der Knotenregel:

Die Summe aller Ströme, die auf einen Knoten zufließen ist genauso gross wie die Summe aller Ströme, die von diesem Knoten wegfließen!

- Die Knotenregel ist ein Spezialfall des *Ladungserhaltungssatzes*.
- Im Knoten geht keine Ladung verloren: soviel Elektronen wie hineinfließen, fließen auch wieder hinaus.

## Beispiel Knotenregel

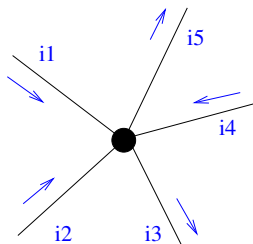


Abbildung : Beispiel zur Maschenregel

$$i_1 + i_2 + i_4 = i_3 + i_5$$

## Beispiel Knotenregel

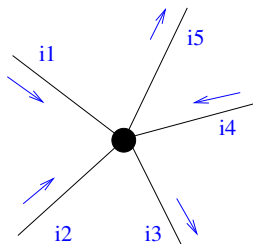


Abbildung : Beispiel zur Maschenregel

$$i_1 + i_2 + i_4 = i_3 + i_5$$

# Reihenschaltung

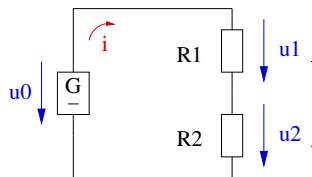


Abbildung : Reihenschaltung

## Reihenschaltung

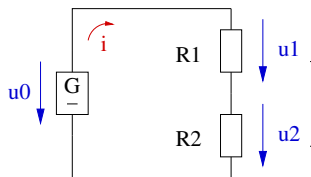


Abbildung : Reihenschaltung

*Maschenregel* :  $u_0 = u_1 + u_2$

## Reihenschaltung

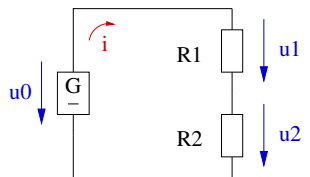


Abbildung : Reihenschaltung

$$\text{Maschenregel : } u_0 = u_1 + u_2$$

$$u_1 = R_1 \cdot i$$

## Reihenschaltung

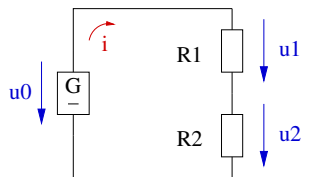


Abbildung : Reihenschaltung

$$\text{Maschenregel : } u_0 = u_1 + u_2$$

$$u_1 = R_1 \cdot i$$

$$u_2 = R_2 \cdot i$$



## Reihenschaltung

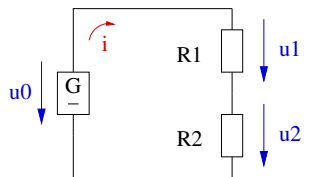


Abbildung : Reihenschaltung

$$\text{Maschenregel : } u_0 = u_1 + u_2$$

$$u_1 = R_1 \cdot i$$

$$u_2 = R_2 \cdot i$$

$$u_0 = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i$$

## Reihenschaltung

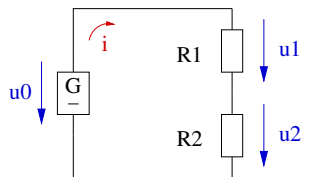


Abbildung : Reihenschaltung

$$\text{Maschenregel : } u_0 = u_1 + u_2$$

$$u_1 = R_1 \cdot i$$

$$u_2 = R_2 \cdot i$$

$$u_0 = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i$$

$$\frac{u_0}{i} = R_1 + R_2 = R_{ges}$$

# Parallelschaltung

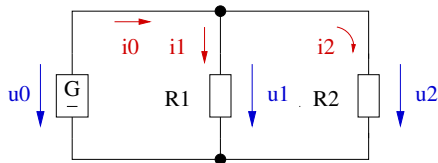


Abbildung : Parallelschaltung

# Parallelschaltung

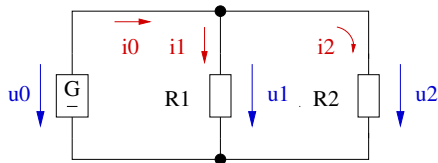


Abbildung : Parallelschaltung

*Maschenregel* :  $u_0 = u_1 = u_2$

# Parallelschaltung

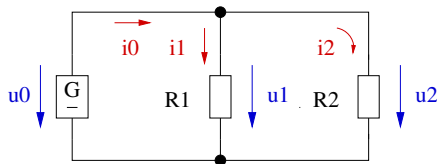


Abbildung : Parallelschaltung

*Maschenregel* :  $u_0 = u_1 = u_2$

*Knotenregel* :  $i_0 = i_1 + i_2$

# Parallelschaltung

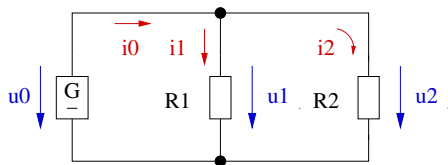


Abbildung : Parallelschaltung

## Parallelschaltung

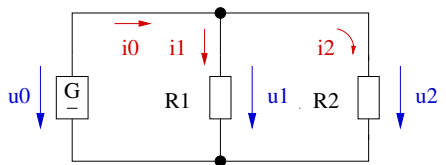


Abbildung : Parallelschaltung

$$i_1 = \frac{u_0}{R_1}$$

## Parallelschaltung

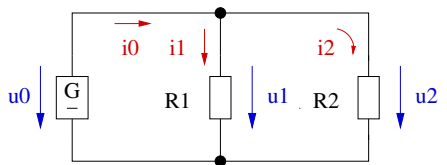


Abbildung : Parallelschaltung

$$i_1 = \frac{u_0}{R_1} \quad i_2 = \frac{u_0}{R_2}$$



## Parallelschaltung

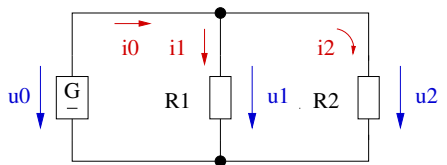


Abbildung : Parallelschaltung

$$i_1 = \frac{u_0}{R_1} \quad i_2 = \frac{u_0}{R_2}$$

$$i_0 = \frac{u_0}{R_1} + \frac{u_0}{R_2}$$

## Parallelschaltung

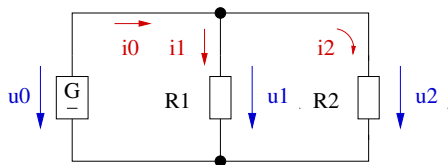


Abbildung : Parallelschaltung

$$i_1 = \frac{u_0}{R_1} \quad i_2 = \frac{u_0}{R_2}$$

$$i_0 = \frac{u_0}{R_1} + \frac{u_0}{R_2}$$

$$\frac{i_0}{u_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{ges}}$$

# Inhalt

Strom und Spannung

**Elektrisches Potential**

Schutz vor den Gefahren des elektrischen Stroms  
Fehlerstrom-Schutzschalter

## Elektrisches Potential

Das *Potential* eines beliebigen Punkts in einem Stromkreis ist die Spannung zwischen diesem Punkt und einem beliebigen *Referenzpunkt*. Der Referenzpunkt bekommt dabei das Potential 0V zugeordnet

- In der Geodäsie (Vermessungskunde) entspricht die absolute Höhe eines Punkts auf der Erde dem Potential in einem Stromkreis. Das Nullpotential der Elektrotechnik entspricht dabei dem mittleren Meeresspiegel.

## Elektrisches Potential

Das *Potential* eines beliebigen Punkts in einem Stromkreis ist die Spannung zwischen diesem Punkt und einem beliebigen *Referenzpunkt*. Der Referenzpunkt bekommt dabei das Potential 0V zugeordnet

- In der Geodäsie (Vermessungskunde) entspricht die absolute Höhe eines Punkts auf der Erde dem Potential in einem Stromkreis. Das Nullpotential der Elektrotechnik entspricht dabei dem mittleren Meeresspiegel.

## Elektrisches Potential

Das *Potential* eines beliebigen Punkts in einem Stromkreis ist die Spannung zwischen diesem Punkt und einem beliebigen *Referenzpunkt*. Der Referenzpunkt bekommt dabei das Potential 0V zugeordnet

- In der Geodäsie (Vermessungskunde) entspricht die absolute Höhe eines Punkts auf der Erde dem Potential in einem Stromkreis. Das Nullpotential der Elektrotechnik entspricht dabei dem mittleren Meeresspiegel.

# Elektrisches Potential

Die Spannung zwischen zwei Punkten in einem Stromkreis ist der *Potentialunterschied* dieser Punkte. Der Potentialunterschied ist die Differenz der Potentiale

- Die Spannung entspricht damit dem Höhenunterschied in der Vermessungskunde.
- Im Gegensatz zur Vermessungskunde, wo es nur einen Referenzpunkt (das Normal-Null) gibt, kann man in der Elektrotechnik den Referenzpunkt bei jedem Stromkreis selbst festlegen.

## Elektrisches Potential

Die Spannung zwischen zwei Punkten in einem Stromkreis ist der *Potentialunterschied* dieser Punkte. Der Potentialunterschied ist die Differenz der Potentiale

- Die Spannung entspricht damit dem Höhenunterschied in der Vermessungskunde.
- Im Gegensatz zur Vermessungskunde, wo es nur einen Referenzpunkt (das Normal-Null) gibt, kann man in der Elektrotechnik den Referenzpunkt bei jedem Stromkreis selbst festlegen.



## Elektrisches Potential

Die Spannung zwischen zwei Punkten in einem Stromkreis ist der *Potentialunterschied* dieser Punkte. Der Potentialunterschied ist die Differenz der Potentiale

- Die Spannung entspricht damit dem Höhenunterschied in der Vermessungskunde.
- Im Gegensatz zur Vermessungskunde, wo es nur einen Referenzpunkt (das Normal-Null) gibt, kann man in der Elektrotechnik den Referenzpunkt bei jedem Stromkreis selbst festlegen.

## Elektrisches Potential

Die Spannung zwischen zwei Punkten in einem Stromkreis ist der *Potentialunterschied* dieser Punkte. Der Potentialunterschied ist die Differenz der Potentiale

- Die Spannung entspricht damit dem Höhenunterschied in der Vermessungskunde.
- Im Gegensatz zur Vermessungskunde, wo es nur einen Referenzpunkt (das Normal-Null) gibt, kann man in der Elektrotechnik den Referenzpunkt bei jedem Stromkreis selbst festlegen.

# Inhalt

Strom und Spannung

Elektrisches Potential

Schutz vor den Gefahren des elektrischen Stroms  
Fehlerstrom-Schutzschalter

# Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

- Der menschliche Körper leitet den elektrischen Strom. Dabei ist der Widerstand des Körpers ungefähr  $1000\Omega$
- Gefährlich ist dabei nicht die elektrische Spannung, sondern ausschliesslich der Strom, der durch den Körper fliesst und die Dauer des Stromflusses.
- Als Faustregel gilt: Ist das Produkt aus Strom und Zeit (die elektrische Ladung) grösser als  $50\mu\text{As}$  oder die Energie grösser als  $350\text{mJ}$ , wird es gefährlich.
- Wechselstrom ist gefährlicher als Gleichstrom, da er den Herzrhythmus stört.

# Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

- Der menschliche Körper leitet den elektrischen Strom. Dabei ist der Widerstand des Körpers ungefähr  $1000\Omega$
- Gefährlich ist dabei nicht die elektrische Spannung, sondern ausschliesslich der Strom, der durch den Körper fliesst und die Dauer des Stromflusses.
- Als Faustregel gilt: Ist das Produkt aus Strom und Zeit (die elektrische Ladung) grösser als  $50\mu\text{As}$  oder die Energie grösser als  $350\text{mJ}$ , wird es gefährlich.
- Wechselstrom ist gefährlicher als Gleichstrom, da er den Herzrhythmus stört.

# Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

- Der menschliche Körper leitet den elektrischen Strom. Dabei ist der Widerstand des Körpers ungefähr  $1000\Omega$
- Gefährlich ist dabei nicht die elektrische Spannung, sondern ausschliesslich der Strom, der durch den Körper fliesst und die Dauer des Stromflusses.
- Als Faustregel gilt: Ist das Produkt aus Strom und Zeit (die elektrische Ladung) grösser als  $50\mu\text{As}$  oder die Energie grösser als  $350\text{mJ}$ , wird es gefährlich.
- Wechselstrom ist gefährlicher als Gleichstrom, da er den Herzrhythmus stört.

## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

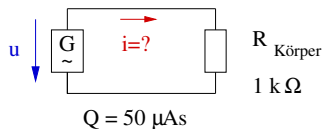
- Der menschliche Körper leitet den elektrischen Strom. Dabei ist der Widerstand des Körpers ungefähr  $1000\Omega$
- Gefährlich ist dabei nicht die elektrische Spannung, sondern ausschliesslich der Strom, der durch den Körper fliesst und die Dauer des Stromflusses.
- Als Faustregel gilt: Ist das Produkt aus Strom und Zeit (die elektrische Ladung) grösser als  $50\mu\text{As}$  oder die Energie grösser als  $350\text{mJ}$ , wird es gefährlich.
- Wechselstrom ist gefährlicher als Gleichstrom, da er den Herzrhythmus stört.

# Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

- Der menschliche Körper leitet den elektrischen Strom. Dabei ist der Widerstand des Körpers ungefähr  $1000\Omega$
- Gefährlich ist dabei nicht die elektrische Spannung, sondern ausschliesslich der Strom, der durch den Körper fliesst und die Dauer des Stromflusses.
- Als Faustregel gilt: Ist das Produkt aus Strom und Zeit (die elektrische Ladung) grösser als  $50\mu\text{As}$  oder die Energie grösser als  $350\text{mJ}$ , wird es gefährlich.
- Wechselstrom ist gefährlicher als Gleichstrom, da er den Herzrhythmus stört.



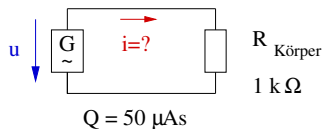
## Beispielrechnung 1



**Abbildung :** Der menschliche Körper hat ca.  $1 \text{ k}\Omega$  Innenwiderstand

Wir nehmen an: der Strom fließt eine Millisekunde lang durch den menschlichen Körper. Bei welchem Strom werden  $Q = 50 \mu\text{As}$  erreicht?

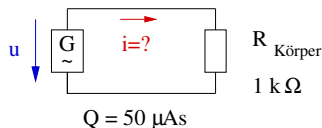
## Beispielrechnung 1



**Abbildung** : Der menschliche Körper hat ca.  $1 \text{ k}\Omega$  Innenwiderstand

Wir nehmen an: der Strom fließt eine Millisekunde lang durch den menschlichen Körper. Bei welchem Strom werden  $Q = 50 \mu\text{As}$  erreicht?

## Beispielrechnung 1



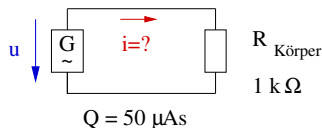
**Abbildung** : Der menschliche Körper hat ca.  $1 \text{ k}\Omega$  Innenwiderstand

Wir nehmen an: der Strom fließt eine Millisekunde lang durch den menschlichen Körper. Bei welchem Strom werden  $Q = 50 \mu\text{As}$  erreicht?

$$Q = I \cdot t$$

$$t = 0.001 \text{ s}$$

## Beispielrechnung 1



**Abbildung** : Der menschliche Körper hat ca.  $1 \text{ k}\Omega$  Innenwiderstand

Wir nehmen an: der Strom fließt eine Millisekunde lang durch den menschlichen Körper. Bei welchem Strom werden  $Q = 50 \mu\text{As}$  erreicht?

$$Q = I \cdot t$$

$$t = 0.001 \text{ s}$$

$$i = 50 \text{ mA}$$

## Beispielrechnung 2

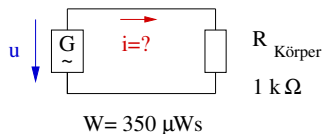


Abbildung : Wirkung der elektrischen Energie

$350 \text{ mJ} = 350 \text{ mWs}$ . Damit diese Energie übertragen wird, müssen eine Sekunde lang  $350 \text{ mW}$  erreicht werden:

## Beispielrechnung 2

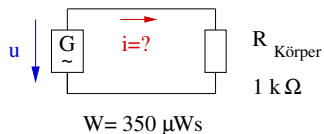


Abbildung : Wirkung der elektrischen Energie

$350mJ = 350mWs$ . Damit diese Energie übertragen wird, müssen eine Sekunde lang  $350mW$  erreicht werden:

## Beispielrechnung 2

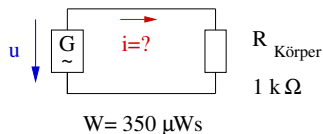


Abbildung : Wirkung der elektrischen Energie

$350\text{mJ} = 350\text{mWs}$ . Damit diese Energie übertragen wird, müssen eine Sekunde lang  $350\text{mW}$  erreicht werden:

$$P = u \cdot i$$

$$u = R \cdot i$$

## Beispielrechnung 2

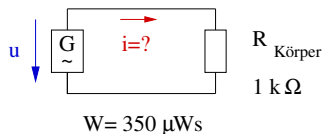


Abbildung : Wirkung der elektrischen Energie

$350mJ = 350mWs$ . Damit diese Energie übertragen wird, müssen eine Sekunde lang  $350mW$  erreicht werden:

$$\begin{aligned}P &= u \cdot i \\u &= R \cdot i \\ \Rightarrow P &= i^2 \cdot R\end{aligned}$$



## Beispielrechnung 2

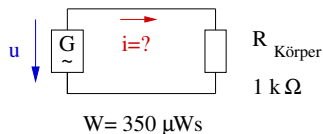


Abbildung : Wirkung der elektrischen Energie

$350 \text{ mJ} = 350 \text{ mWs}$ . Damit diese Energie übertragen wird, müssen eine Sekunde lang  $350 \text{ mW}$  erreicht werden:

$$\begin{aligned}P &= u \cdot i \\u &= R \cdot i \\ \Rightarrow P &= i^2 \cdot R \\ i &= \sqrt{P/R} = 18.7 \text{ mA}\end{aligned}$$

# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$

# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$

# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$

# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$

# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$

# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$

# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$



# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$

# Hautwiderstand

- Die oben genannten  $1\text{ k}\Omega$  bezeichnen den *Innenwiderstand* des menschlichen Körpers.
- Der Hautwiderstand ist jedoch viel höher und hängt von vielen Faktoren ab:
  - Kontaktfläche
  - Feuchtigkeit
  - Anpressdruck (wie stark packt man zu)
  - uvm.
- Der Hautwiderstand hat ca.  $1\text{ M}\Omega$
- Bei schweren Stromunfällen wird die Haut vom Strom durchschlagen und es wirkt nur noch der Körperinnenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$



## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Folgende Werte beziehen sich auf Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz:

- $i < 10\text{mA}$  spürbar, ungefährlich, keine Muskelkrämpfe
- $10 - 25\text{mA}$  nicht tödlich, Krämpfe setzen ein. 25mA ist die Grenze des erträglichen. Zum Vergleich: hell leuchtende LED benötigt ca. 25mA.
- $25 - 80\text{mA}$  falls der Strom über das Herz fließt (linke Körperhälfte) und länger als 30s dauert, kann *Herzkammerflimmern* einsetzen. Durch die Muskelverkrampfung kann es sein, dass man den unter Spannung stehenden Gegenstand nicht mehr loslassen kann.
- $80\text{mA} - 5\text{A}$  bei 80mA setzt bereits ab 0.3s Herzkammerflimmern ein. Lähmung der Atemmuskulatur, Verbrennungen
- mehr als 5A sofortiger Herzstillstand, starke Verbrennungen, Atemlähmung.



## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Folgende Werte beziehen sich auf Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz:

- $i < 10\text{mA}$  spürbar, ungefährlich, keine Muskelkrämpfe
- $10 - 25\text{mA}$  nicht tödlich, Krämpfe setzen ein. 25mA ist die Grenze des erträglichen. Zum Vergleich: hell leuchtende LED benötigt ca. 25mA.
- $25 - 80\text{mA}$  falls der Strom über das Herz fließt (linke Körperhälfte) und länger als 30s dauert, kann *Herzkammerflimmern* einsetzen. Durch die Muskelverkrampfung kann es sein, dass man den unter Spannung stehenden Gegenstand nicht mehr loslassen kann.
- $80\text{mA} - 5\text{A}$  bei 80mA setzt bereits ab 0.3s Herzkammerflimmern ein. Lähmung der Atemmuskulatur, Verbrennungen
- mehr als 5A sofortiger Herzstillstand, starke Verbrennungen, Atemlähmung.



## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Folgende Werte beziehen sich auf Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz:

- $i < 10\text{mA}$**  spürbar, ungefährlich, keine Muskelkrämpfe
- $10 - 25\text{mA}$**  nicht tödlich, Krämpfe setzen ein.  $25\text{mA}$  ist die Grenze des erträglichen. Zum Vergleich: hell leuchtende LED benötigt ca.  $25\text{mA}$ .
- $25 - 80\text{mA}$**  falls der Strom über das Herz fließt (linke Körperhälfte) und länger als 30s dauert, kann *Herzkammerflimmern* einsetzen. Durch die Muskelverkrampfung kann es sein, dass man den unter Spannung stehenden Gegenstand nicht mehr loslassen kann.
- $80\text{mA} - 5\text{A}$**  bei  $80\text{mA}$  setzt bereits ab 0.3s Herzkammerflimmern ein. Lähmung der Atemmuskulatur, Verbrennungen
- mehr als  $5\text{A}$**  sofortiger Herzstillstand, starke Verbrennungen, Atemlähmung.

## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Folgende Werte beziehen sich auf Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz:

- $i < 10\text{mA}$  spürbar, ungefährlich, keine Muskelkrämpfe
- $10 - 25\text{mA}$  nicht tödlich, Krämpfe setzen ein. 25mA ist die Grenze des erträglichen. Zum Vergleich: hell leuchtende LED benötigt ca. 25mA.
- $25 - 80\text{mA}$  falls der Strom über das Herz fließt (linke Körperhälfte) und länger als 30s dauert, kann *Herzkammerflimmern* einsetzen. Durch die Muskelverkrampfung kann es sein, dass man den unter Spannung stehenden Gegenstand nicht mehr loslassen kann.
- $80\text{mA} - 5\text{A}$  bei 80mA setzt bereits ab 0.3s Herzkammerflimmern ein. Lähmung der Atemmuskulatur, Verbrennungen
- mehr als 5A sofortiger Herzstillstand, starke Verbrennungen, Atemlähmung.

## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Folgende Werte beziehen sich auf Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz:

- $i < 10\text{mA}$  spürbar, ungefährlich, keine Muskelkrämpfe
- $10 - 25\text{mA}$  nicht tödlich, Krämpfe setzen ein. 25mA ist die Grenze des erträglichen. Zum Vergleich: hell leuchtende LED benötigt ca. 25mA.
- $25 - 80\text{mA}$  falls der Strom über das Herz fließt (linke Körperhälfte) und länger als 30s dauert, kann *Herzkammerflimmern* einsetzen. Durch die Muskelverkrampfung kann es sein, dass man den unter Spannung stehenden Gegenstand nicht mehr loslassen kann.
- $80\text{mA} - 5\text{A}$  bei 80mA setzt bereits ab 0.3s Herzkammerflimmern ein. Lähmung der Atemmuskulatur, Verbrennungen
- mehr als 5A sofortiger Herzstillstand, starke Verbrennungen, Atemlähmung.

## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Folgende Werte beziehen sich auf Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz:

- $i < 10\text{mA}$**  spürbar, ungefährlich, keine Muskelkrämpfe
- $10 - 25\text{mA}$**  nicht tödlich, Krämpfe setzen ein. 25mA ist die Grenze des erträglichen. Zum Vergleich: hell leuchtende LED benötigt ca. 25mA.
- $25 - 80\text{mA}$**  falls der Strom über das Herz fließt (linke Körperhälfte) und länger als 30s dauert, kann *Herzkammerflimmern* einsetzen. Durch die Muskelverkrampfung kann es sein, dass man den unter Spannung stehenden Gegenstand nicht mehr loslassen kann.
- $80\text{mA} - 5\text{A}$**  bei 80mA setzt bereits ab 0.3s Herzkammerflimmern ein. Lähmung der Atemmuskulatur, Verbrennungen
- mehr als 5A** sofortiger Herzstillstand, starke Verbrennungen, Atemlähmung.



## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Folgende Werte beziehen sich auf Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz:

- $i < 10\text{mA}$**  spürbar, ungefährlich, keine Muskelkrämpfe
- $10 - 25\text{mA}$**  nicht tödlich, Krämpfe setzen ein. 25mA ist die Grenze des erträglichen. Zum Vergleich: hell leuchtende LED benötigt ca. 25mA.
- $25 - 80\text{mA}$**  falls der Strom über das Herz fließt (linke Körperhälfte) und länger als 30s dauert, kann *Herzkammerflimmern* einsetzen. Durch die Muskelverkrampfung kann es sein, dass man den unter Spannung stehenden Gegenstand nicht mehr loslassen kann.
- $80\text{mA} - 5\text{A}$**  bei 80mA setzt bereits ab 0.3s Herzkammerflimmern ein. Lähmung der Atemmuskulatur, Verbrennungen
- mehr als 5A** sofortiger Herzstillstand, starke Verbrennungen, Atemlähmung.

## Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Folgende Werte beziehen sich auf Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz:

- $i < 10\text{mA}$**  spürbar, ungefährlich, keine Muskelkrämpfe
- $10 - 25\text{mA}$**  nicht tödlich, Krämpfe setzen ein. 25mA ist die Grenze des erträglichen. Zum Vergleich: hell leuchtende LED benötigt ca. 25mA.
- $25 - 80\text{mA}$**  falls der Strom über das Herz fließt (linke Körperhälfte) und länger als 30s dauert, kann *Herzkammerflimmern* einsetzen. Durch die Muskelverkrampfung kann es sein, dass man den unter Spannung stehenden Gegenstand nicht mehr loslassen kann.
- $80\text{mA} - 5\text{A}$**  bei 80mA setzt bereits ab 0.3s Herzkammerflimmern ein. Lähmung der Atemmuskulatur, Verbrennungen
- mehr als 5A** sofortiger Herzstillstand, starke Verbrennungen, Atemlähmung.

# Schutzmassnahmen

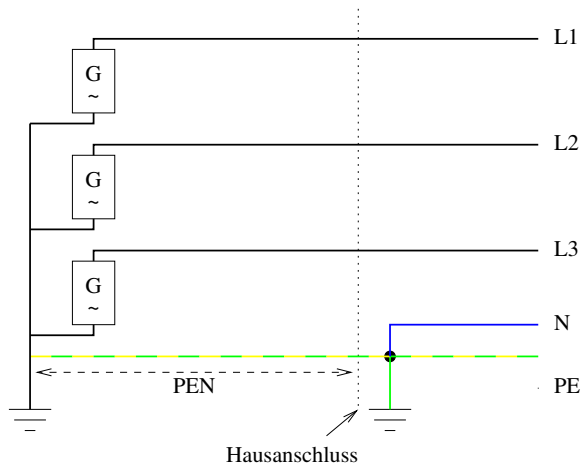


Abbildung : TN-C-S System

## Schutzmassnahmen

- TN-C-S: Terre neutre combiné-séparé
- Die Metallgehäuse von elektrischen Geräten werden *immer* mit PE verbunden.
- Auf diese Weise haben die Metallgehäuse dasselbe Potential wie die Erde.
- Somit kann am Gehäuse niemals eine Spannung gegenüber Erde auftreten.

## Schutzmassnahmen

- **TN-C-S: Terre neutre combiné-séparé**
- Die Metallgehäuse von elektrischen Geräten werden *immer* mit PE verbunden.
- Auf diese Weise haben die Metallgehäuse dasselbe Potential wie die Erde.
- Somit kann am Gehäuse niemals eine Spannung gegenüber Erde auftreten.

## Schutzmassnahmen

- TN-C-S: Terre neutre combiné-séparé
- Die Metallgehäuse von elektrischen Geräten werden *immer* mit PE verbunden.
- Auf diese Weise haben die Metallgehäuse dasselbe Potential wie die Erde.
- Somit kann am Gehäuse niemals eine Spannung gegenüber Erde auftreten.

## Schutzmassnahmen

- TN-C-S: Terre neutre combiné-séparé
- Die Metallgehäuse von elektrischen Geräten werden *immer* mit PE verbunden.
- Auf diese Weise haben die Metallgehäuse dasselbe Potential wie die Erde.
- Somit kann am Gehäuse niemals eine Spannung gegenüber Erde auftreten.

## Schutzmassnahmen

- TN-C-S: Terre neutre combiné-séparé
- Die Metallgehäuse von elektrischen Geräten werden *immer* mit PE verbunden.
- Auf diese Weise haben die Metallgehäuse dasselbe Potential wie die Erde.
- Somit kann am Gehäuse niemals eine Spannung gegenüber Erde auftreten.



## Warum N und PE?

- Das Nullpotential am Gehäuse hätte man auch alleine mit dem Leiter N erreichen können.
- Die Trennung von N und PE erlaubt aber eine sehr sichere Schutzschaltung:.
- Man summiert die Ströme, die auf L1, L2, L3 und N fließen.
- Nach Knotenregel muss die Summe 0 ergeben!
- Weicht die Summe um mehr als z.B. 30mA von Null ab, schaltet die Schutzeinrichtung alle vier Leitungen (L1, L2, L3, N) ab.

## Warum N und PE?

- Das Nullpotential am Gehäuse hätte man auch alleine mit dem Leiter N erreichen können.
- Die Trennung von N und PE erlaubt aber eine sehr sichere Schutzschaltung:.
- Man summiert die Ströme, die auf L1, L2, L3 und N fließen.
- Nach Knotenregel muss die Summe 0 ergeben!
- Weicht die Summe um mehr als z.B. 30mA von Null ab, schaltet die Schutzeinrichtung alle vier Leitungen (L1, L2, L3, N) ab.

## Warum N und PE?

- Das Nullpotential am Gehäuse hätte man auch alleine mit dem Leiter N erreichen können.
- Die Trennung von N und PE erlaubt aber eine sehr sichere Schutzschaltung:.
- Man summiert die Ströme, die auf L1, L2, L3 und N fließen.
- Nach Knotenregel muss die Summe 0 ergeben!
- Weicht die Summe um mehr als z.B. 30mA von Null ab, schaltet die Schutzeinrichtung alle vier Leitungen (L1, L2, L3, N) ab.

## Warum N und PE?

- Das Nullpotential am Gehäuse hätte man auch alleine mit dem Leiter N erreichen können.
- Die Trennung von N und PE erlaubt aber eine sehr sichere Schutzschaltung:.
- Man summiert die Ströme, die auf L1, L2, L3 und N fließen.
- Nach Knotenregel muss die Summe 0 ergeben!
- Weicht die Summe um mehr als z.B. 30mA von Null ab, schaltet die Schutzeinrichtung alle vier Leitungen (L1, L2, L3, N) ab.

## Warum N und PE?

- Das Nullpotential am Gehäuse hätte man auch alleine mit dem Leiter N erreichen können.
- Die Trennung von N und PE erlaubt aber eine sehr sichere Schutzschaltung:.
- Man summiert die Ströme, die auf L1, L2, L3 und N fließen.
- Nach Knotenregel muss die Summe 0 ergeben!
- Weicht die Summe um mehr als z.B. 30mA von Null ab, schaltet die Schutzeinrichtung alle vier Leitungen (L1, L2, L3, N) ab.

## Warum N und PE?

- Das Nullpotential am Gehäuse hätte man auch alleine mit dem Leiter N erreichen können.
- Die Trennung von N und PE erlaubt aber eine sehr sichere Schutzschaltung:.
- Man summiert die Ströme, die auf L1, L2, L3 und N fließen.
- Nach Knotenregel muss die Summe 0 ergeben!
- Weicht die Summe um mehr als z.B. 30mA von Null ab, schaltet die Schutzeinrichtung alle vier Leitungen (L1, L2, L3, N) ab.