



Das Ohmsche Gesetz (praktisch)

Üblicher Weise wird ein physikalisches Gesetz theoretisch erklärt. Dies erfolgt auch in diesem Dokument etwas später.

Zunächst soll aber versucht werden die Gesetzmäßigkeit durch praktische Versuche zu erkennen.

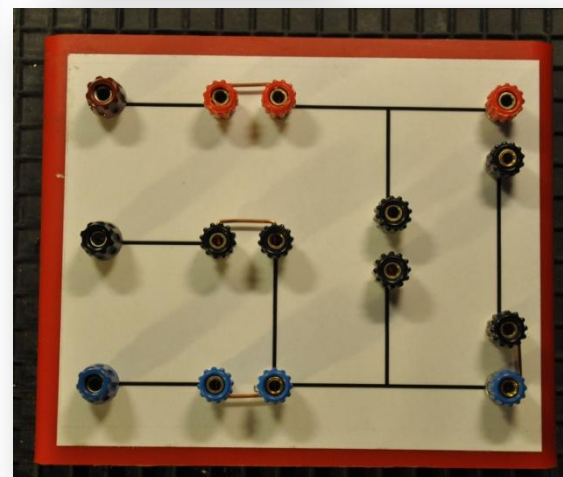
Im Ohmschen Gesetz werden drei elektrische Größen in Bezug gebracht, U (Spannung), I (Strom), R (Widerstand). Es werden folgende Gegenstände für die Versuche benötigt.

- 1) Eine Spannungsquelle, in diesen Versuchen ein regelbares Netzgerät (rechts außen).
- 2) Ein Strommessgerät, ein Amperemeter. In diesen Versuchen wurde ein digitales Multimeter zur Strommessung verwendet (Mitte).
- 3) Einige Widerstände (unten).

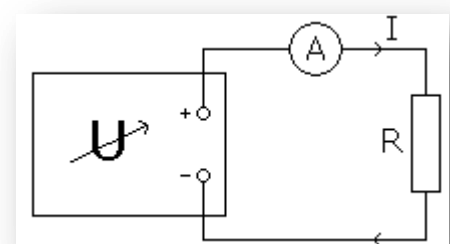


- 4) Ein Steckbrett, auf dem die Widerstände montiert und das Messgerät, bzw. die Spannungsquelle angeschlossen werden können.

Bei Versuchen ist es immer wichtig die Ergebnisse genau zu dokumentieren, damit später bei Fragen über die Messungen einige davon nachvollzogen, d.h. wiederholt werden können.

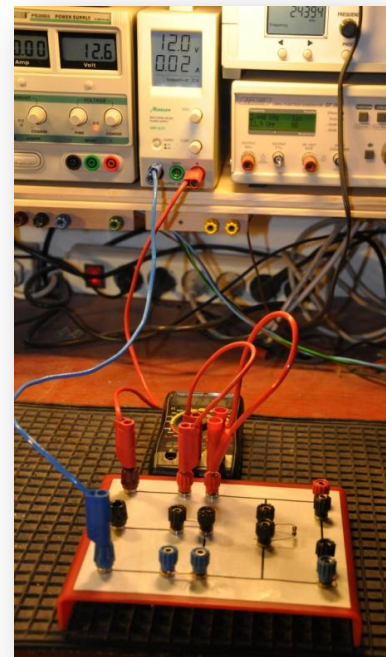


Bei diesem Versuch wurden wechselweise einige Widerstände in dem Steckbrett montiert und Spannungsquelle und Amperemeter entsprechend der rechten Schaltung angeschlossen. In der folgenden Tabelle sind sie Messwerte festgehalten.



Im rechten Bild die gesamte Versuchsanordnung.

Nr.	U(V)	I(mA)	R(Ω) err.	R(Ω) ang.
1	1,5	6,49	231	220
2	3	12,97	231	220
3	6	25,95	231	220
4	6	4,1	1463	1k5
5	12	8,2	1463	1k5
6	30	20,5	1463	1k5
7	3	1,29	2320	2k2
8	6	2,59	2317	2k2
9	9	3,88	2320	2k2
10	12	5,18	2317	2k2
11	15	2,63	5703	5k6
12	30	5,26	5703	5k6
13	12	0,826	14516	15k
14	18	1,24	14516	15k
15	24	134	179	180
16	1,2	2,56	469	470
17	12	81,1	148	150



err.....errechnet, ang.....angegeben, (gem.....gemessen)

Zunächst sei erwähnt, dass Messungen von physikalischen Größen von der Genauigkeit und Messtoleranz der Messgeräte abhängt. Somit ergeben errechnete Werte (aus den gemessenen Werten) nicht immer z.B. den gleichen Widerstandswert, obwohl der Widerstand in den Versuchen immer der Gleiche war (siehe Messung 7 bis 10). Der Fehler der Messungen liegt unter 1%. Errechnete Werte wurden auch auf- oder abgerundet.

Die Widerstände sind Schichtwiderstände aus der E12-Normreihe mit einer Fertigungstoleranz von 5%. Die Bezeichnung 2k2 bedeutet 2,2 k Ω und 15k bedeutet 15 k Ω . Details darüber im Kapitel „Widerstände/Farbcode“.

Aus diesen vielen Messungen können nun einige Schlüsse gezogen werden.

Nr.	U(V)	I(mA)	R(Ω) err.	R(Ω) ang.
1	1,5	6,49	231	220
2	3	12,97	231	220
3	6	25,95	231	220

Es handelt sich um Widerstand von 231 Ω . Dieser hat bei jeweils verdoppelter Spannung (U) einen jeweils doppelten Strom (I). Daraus lässt sich schließen, dass Spannung und Strom **direkt proportional** sind.

4	6	4,1	1463	1k5
5	12	8,2	1463	1k5

Auch bei diesem Widerstand mit 1,5 k Ω ist bei der Verdopplung der Spannung der Strom doppelt so groß. Siehe auch Messungen Nr. 11 und 12.

Nun wurden Messungen mit der *gleichen* Spannung (12V) zusammen gefasst.

Nr.	U(V)	I(mA)	R(W) err.	R(W) ang.
17	12	81,1	148	150
5	12	8,2	1463	1k5
13	12	0,826	14516	15k

Dabei wird der Zusammenhang zwischen Widerstand und Strom bei gleicher Spannung betrachtet. Der Widerstandwert steigt um den Faktor 10 und die Stromwerte fallen jeweils auf 1/10. Daraus lässt sich schließen, dass Strom und Widerstand **verkehrt proportional** sind.

Bei dem Versuch wurden verschiedene Widerstände mit unterschiedlichen Toleranzen verwendet, daher sind die Zahlen nicht ganz exakt.

Nr.	U(V)	I(mA)	R(W) err.	R(W) ang.
3	6	25,95	231	220
4	6	4,1	1463	1k5
8	6	2,59	2317	2k2

In diesem Beispiel sind die Proportionen nicht so offensichtlich, aber unter Berücksichtigung der Toleranzen und Messgenauigkeiten ergibt eine Betrachtung auch:

$$\frac{I_3}{I_4} = \frac{R_4}{R_3} = \frac{25,95}{4,1} = \frac{1463}{231} = 6,33 \dots\dots \quad \frac{I_4}{I_8} = \frac{R_8}{R_4} = \frac{4,1}{2,59} = \frac{2317}{1463} = 1,583$$

Nun werden die beiden Erkenntnisse zusammengeführt:

..... dass Spannung und Strom **direkt proportional** sind

..... dass Strom und Widerstand **verkehrt proportional** sind

Mit den Kenntnissen aus der Mathematik ergibt sich die Formel für das Ohmsche Gesetz:

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{R}}$$

Spannung und Strom sind proportional (beide im Zähler) und Strom und Widerstand sind verkehrt proportional (R im Nenner)

Das Ohmsche Gesetz (theoretisch)

Es definiert die Zusammenhänge von drei physikalischen Größen:

Spannung, U in V (Volt) gemessen

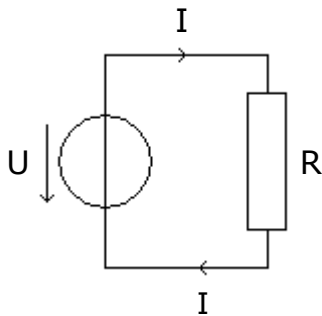
Strom, I in A (Ampere) gemessen

Widerstand, R in Ω (Ohm) gemessen

Es ist zwischen der physikalischen Größe, z.B. „Spannung“, dem Symbol dafür z.B. „U“ und der Einheit z.B. „V“ zu unterscheiden.

$$\mathbf{I = \frac{U}{R}} \quad \text{oder} \quad \mathbf{R = \frac{U}{I}} \quad \text{oder} \quad \mathbf{U = I * R}$$

Hier die Schaltung zu diesem Gesetz:



Die Spannungsquelle „U“ verursacht einen Strom „I“ durch den Widerstand „R“.

Die Größe vom Strom „I“ hängt direkt mit der Spannung „U“ zusammen und verkehrt proportional mit dem Widerstand „R“.

Das bedeutet, bleibt der Widerstand gleich und **steigt** die Spannung, **steigt** auch der Strom.

Umgekehrt, bleibt die Spannung gleich und **steigt** der Widerstand **fällt** der Strom.

$$\mathbf{I = \frac{U}{R}}$$

Der Begriff „Widerstand“ braucht eine genauere Betrachtung.

Bei der Spannung ist es verständlich, dass bei **größerer** Spannung (es sind mehr Elektronen für den Stromfluß bereit) **mehr** Strom fließen kann. Ebenso ist verständlich, dass ein **größerer** Strom **mehr** fließende Elektronen bedeutet.

Beim Widerstand sagt der Begriff schon aus, dass ein **größerer** Widerstand bedeutet, dass der Stromfluß **mehr** „beschränkt“, also **verringert** wird und daher **sinkt**.

Aus diesem Zusammenhang heraus ist der Widerstand „R“ im ohmschen Gesetz im Nenner des Bruches zu finden.

Praktisches Vorkommen der physikalischen Größen.

Spannung. Was kann eine Spannungsquelle sein?

Batterie^{*1)} (galvanische Zelle, Primärzelle) historisch die erste Spannungsquelle für Experimente.

Weitere Spannungsquellen sind:

Akkus (Sekundärzelle),
aufgeladene Kondensatoren,
Generatoren (Dynamo),
Transformatoren,
Photovoltaikzellen,
Piezokristalle.

Widerstand. Was kann ein Widerstand sein?

Elektrische Leitungen aus Metallen (Cu, Al) und Halbleitern,
industriell hergestellte *Widerstände* z.B. für die Elektronik,
Herdplatten,
Glühlampen,
ionisierte Gase (Leuchtstoff- und Sparlampen, Funken und Blitze),
Drahtwicklungen für magnetische Anwendungen (Motoren, Generatoren,
Transformatoren, Relais, Hubmagnete).

Regelbare Widerstände werden Potentiometer genannt.

Es gibt auch sogenannte *nichtlineare Widerstände*,
PTC, NTC sind temperaturabhängige Widerstände,
LDR ist ein lichtabhängiger Widerstand,
VDR ist ein spannungsabhängiger Widerstand (Varistor).

Strom. Was der Strom ist, wurde schon kurz besprochen, der Fluss der Elektronen in einem Leiter, in Gasen oder Flüssigkeiten.

Was kann der Strom bewirken?

Wärme (absichtlich als Heizkörper und Glühlampe^{*2)} oder unabsichtlich als Verlustwärme),
magnetisches Feld und mit und ohne Kraftwirkungen,
chemische Prozesse (Elektrolyse^{*3)}),
Licht als Gasentladung^{*4)} und molekular (Kristalle) als Leuchtdiode (LED^{*5)}).

*1) http://de.wikipedia.org/wiki/Batterie_%28Elektrotechnik%29

*2) <http://de.wikipedia.org/wiki/Gl%C3%BChlampe>, *3) <http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrolyse>

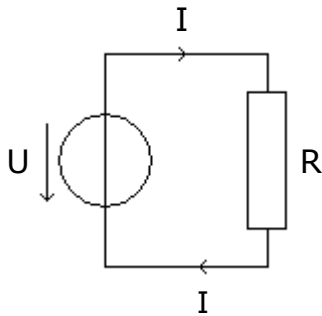
*4) <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstoffr%C3%B6hre>,

*5) <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode>

Besonderheit des ohmschen Gesetzes

Es gibt *ein* Gesetz (das Ohmsche Gesetz) und *zwei* verschiedene Anwendungen oder Auswirkungen mit Spannung, Strom und Widerstand.

Die erste Anwendung haben wir schon besprochen



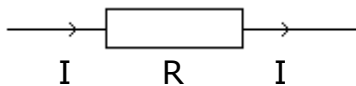
Die Spannungsquelle „U“ verursacht einen Strom „I“ durch den Widerstand „R“.

Die Größe vom Strom „I“ hängt direkt proportional mit der Spannung „U“ zusammen und verkehrt proportional mit dem Widerstand „R“.

$$I = \frac{U}{R}$$

Hier ist also die **Spannung die Quelle** und der **Strom die Auswirkung** und in Abhängigkeit des Widerstandes.

Die zweite Anwendung sieht anders aus.



Ein Strom „I“ fließt durch einen Widerstand „R“. Woher der Strom kommt ist nicht definiert, aber er fließt.

Der Strom ist vor und nach dem Widerstand der gleiche, aber es fällt über dem Widerstand eine Spannung ab. Die Spannung wird *Spannungsabfall* genannt und berechnet sich nach dem Ohmschen Gesetz

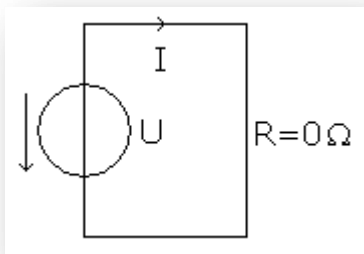
$$U = I * R$$

Der Spannungsabfall ist also direkt proportional zum Strom und direkt proportional zum Widerstand, **mehr** Strom ergibt **mehr** Spannungsabfall und an einem **größeren** Widerstand fällt eine **größere** Spannung ab.

Hier ist also der **Strom die Quelle** und die **Spannung die Auswirkung** (Spannungsabfall) und in Abhängigkeit des Widerstandes.

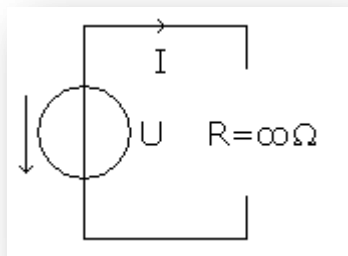
Betrachtung der Extremwerte des Widerstandes

Die Extremwerte des Widerstandes sind 0Ω , dies entspricht einem Kurzschluss und $\infty \Omega$, dies entspricht einem offenen Stromkreis.



$$I = \frac{U}{0}$$

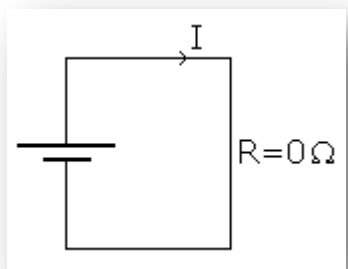
Ist der Widerstand $R = 0 \Omega$ somit ist der Strom $I = \infty \text{ A}$. Praktisch betrachtet sind in diesem Stromkreis nicht gezeichnete Widerstände enthalten, die noch später betrachtet werden. Der Kurzschlussstrom ist tatsächlich aber sehr hoch. Wer es genauer wissen will, die Erklärung auf dieser Seite unten.



$$I = \frac{U}{\infty}$$

Ist der Widerstand $R = \infty \Omega$, also wie nicht vorhanden, so ist kein Stromfluß möglich und daher ist $I = 0 \text{ A}$.

----- für jene, die es genau wissen wollen -----



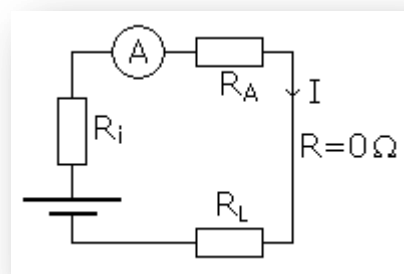
Die linke Schaltung ist eine theoretisch Annahme. Die Spannungserzeugung ist in einer [Batterie](#) ein chemischer Prozess. Es sind feuchte Medien, Elektroden aus verschiedenen Materialien, Leitungen, etc. vorhanden, die alle einen kleinen, aber vorhandenen Widerstand besitzen. Alle diese Widerstände werden mit dem Begriff „Innenwiderstand“ (R_i) bezeichnet.

In der rechten Schaltung sind noch weitere Widerstände eingezeichnet:

R_A ...Innenwiderstand des Amperemeter

R_L ... Summe alle Leitungen und Verbindungen

Eine genau Berechnung des Innenwiderstandes wird noch erfolgen.

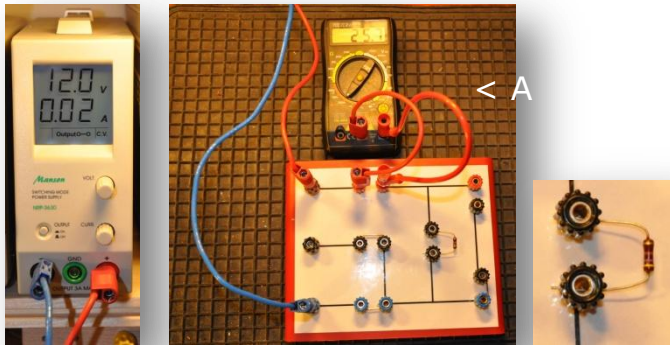


Wichtig, der Kurzschluss einer Spannungsquelle stellt jedenfalls eine Überlastung der Leistung der Quelle dar und führt zur Zerstörung. Batterien und Akkus können heiß werden und zerbersten. **ACHTUNG!**

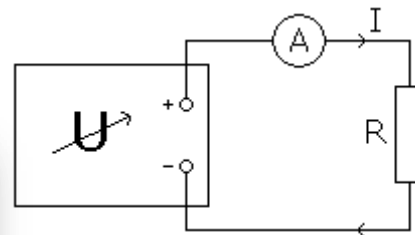
Hier ein Versuch mit einem Widerstand

An einer regelbaren Spannungsquelle (Labornetzgerät) wird ein Widerstand mit 470Ω angeschlossen. Der Strom durch diesen Widerstand wird mit einem Amperemeter (Strommessgerät) gemessen.

Bild des Experimentes



Die Schaltung



Der Widerstand ist sehr klein auf dem Steckbrett zu sehen. Mit dem Steckbrett sind mehrere Schaltungen möglich, in diesem Beispiel wurde nur ein Teil vom Steckbrett genutzt.

Das Amperemeter ist ein Multimeter (Messgerät mit dem mehrere elektrische Größen gemessen werden können), welches auf die Messbereiche „20 mA“ und „200 mA“ gestellt war.

Tabelle der gemessenen und daraus errechneten Werte.

Nr.	U (V)	I (mA)	R (Ω) err	R (Ω) ang
1	1,2	2,56	469	470
2	3,0	6,46	464	470
3	6,0	13,0	462	470
4	12,0	26,1	460	470
5	15,0	32,7	459	470
6	18,0	39,5	456	470
7	24,0	53,5	449	470
8	30,0	67,7	443	470

Bei steigender Spannung (U) steigt auch der Strom (I) bei gleichem Widerstand. Bei der Messung 2 und 3 wurde die Spannung verdoppelt und auch der Strom hat sich verdoppelt.

Bei genauer Betrachtung ist aber zu sehen, dass sich aber der Widerstand über die gesamte Messungen um 5% verringert hat. Wer es genauer wissen will warum - die Begründung dafür erfolgt auf den nächsten drei Seiten.

Im Kapitel „elektrische Leistung und elektrische Arbeit“ wurde erklärt, dass die elektrische Leistung aus dem Produkt Spannung * Strom errechnet werden kann.

$$P = U * I$$

Die elektrische Leistung wird bei einem Widerstand zu 100% in Wärme umgesetzt, das bedeutet, dass der Widerstand heiß wird. Diese Eigenschaft wird bei allen elektrischen Heizungen genutzt, um Wärme zu „erzeugen“.

Hier nochmals die schon bekannte Tabelle mit dem 470Ω-Widerstand ergänzt um die Spalte „P (W)“. Wie aus dem Bild zu erkennen ist, handelt es sich um einen „kleinen“ Schichtwiderstand. Seine maximale Verlustleistung beträgt auf Grund seiner Größe und Bauart nur 0,5 W.



Nr.	U (V)	I (mA)	R (Ω) err	P (W)
1	1,2	2,56	469	0,003
2	3,0	6,46	464	0,019
3	6,0	13,0	462	0,077
4	12,0	26,1	460	0,313
5	15,0	32,7	459	0,491
6	18,0	39,5	456	0,711
7	24,0	53,5	449	1,284
8	30,0	67,7	443	2,031

In der Tabelle wurde die errechnete Leistung in der rechten Spalte eingetragen. Die Verlustleistung beträgt bei der Messung 5 bereits 0,491W. Bei allen weiteren Messungen wurde die maximale Leistung überschritten und beträgt bei der Messung 8 (30V) sogar mehr als das Vierfache!!

Der Widerstand erreichte bei den kurzzeitigen Messungen eine Temperatur weit über 100 °C (Verdampfung von Wasser) und war kurz vor der Zerstörung!!

Diese Erwärmung ist auch der Grund für die Verringerung des Widerstandswertes während der Messung.

Alle Metalle erhöhen bei der Erwärmung ihren Widerstand, sie haben einen positiven Temperaturkoeffizienten ^{*6)}.

Kohle hat hingegen einen negativen Temperaturkoeffizienten ^{*6)}, das bedeutet bei *steigender* Temperatur *fällt* der Widerstand.

Im gegebenen Versuch sank der Widerstand bei steigender Verlustleistung und Temperatur, somit war das Widerstandsmaterial Kohle, also war der Widerstand ein *Kohleschichtwiderstand* im Gegensatz zu *Metallschichtwiderständen*.

*6) <http://www.elektroniktutor.de/bauteile/tempkoef.html>

Die Formel für die Widerstandsänderung bei Temperaturänderung:

$$\Delta R = R_{20} * \alpha * \Delta t$$

ΔR ...Widerstandsänderung (in Ω)

R_{20} ...Widerstand bei 20°C (in Ω)

α ...Temperaturkoeffizient (in K^{-1}) *7)

Δt ...Temperaturdifferenz in $^{\circ}C$ *7)

In unserem Versuch hat sich der Widerstand um 26 Ω verringert, der Widerstand bei 20°C beträgt 469 Ω und α von Kohle ist $-0,5 * 10^{-3} K^{-1}$

Die obige Formel wird nach Δt aufgelöst:

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{R_{20} * \alpha} = \frac{26\Omega}{469\Omega * 0,0005K^{-1}} = 110^{\circ}C$$

Nachdem die Temperaturdifferenz von 20°C aus berechnet wurde, muss um die tatsächlichen Temperatur zu erhalten, 20°C hinzugezählt werden. Der Widerstand hatte bei der kurzzeitigen vierfachen Überlastung (Messung 8) 130°C.

Die Temperatur wurde bei dem Versuch nicht gemessen, aber ein Wassertropfen ist auf dem Widerstand sofort verdampft. Dies trug natürlich auch zu seiner Kühlung bei.

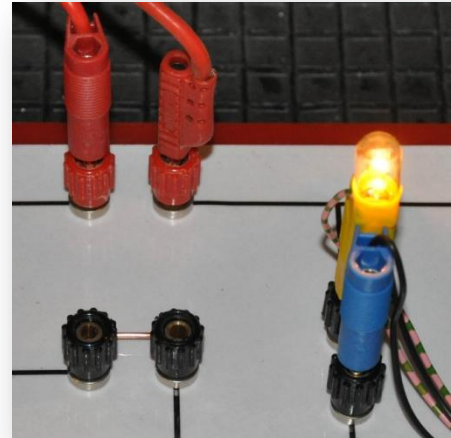
Bei seiner maximalen Verlustleistung von 0,5W (Messung 5) errechnet sich eine Temperaturdifferenz von 43°C, also bei 20°C Umgebungstemperatur wird der Widerstand 63°C heiß. Dies ist eine übliche Betriebstemperatur für Widerstände dieser Größe und Bauart in der Elektronik.

*7) $^{\circ}C$ und $^{\circ}K$ sind die Maßeinheiten der Temperatur. 0°C ist der Gefrierpunkt des Wassers und 0°K ist der [absolute Nullpunkt](#) oder $-273,15^{\circ}C$.

Die Temperaturabhängigkeit von Widerständen soll in einem weiteren Versuch noch deutlicher gezeigt werden, ein Versuch mit einem Glühlämpchen.

Es wurde ein Glühlämpchen aus der KFZ-Elektrik verwendet mit 12V und 5W (Blinklichtlampe).

Die Messungen wurden wie bei der Widerstandsmessung mit einem regelbaren Netzgerät und einem digitalem Amperemeter durchgeführt.



Nr.	U(V)	I(A)	R(Ω)	P(W)	t ($^{\circ}$ C)
1	0,01	0,0036	2,778	0,000	20
2	0,5	0,090	5,556	0,045	247
3	1	0,125	8,000	0,125	447
4	2	0,160	12,500	0,320	815
5	3	0,184	16,304	0,552	1127
6	4	0,210	19,048	0,840	1351
7	5	0,234	21,368	1,170	1541
8	6	0,253	23,715	1,518	1733
9	7	0,273	25,641	1,911	1891
10	8	0,291	27,491	2,328	2042
11	9	0,307	29,316	2,763	2191
12	10	0,325	30,769	3,250	2310
13	11	0,338	32,544	3,718	2455
14	12	0,354	33,898	4,248	2566

Die Spannung und der Strom wurden gemessen, der Widerstand, die Leistung und die Temperatur (rechte Spalte) wurden errechnet.

Der Glühfaden besteht aus Wolfram. Der Temperaturkoeffizient für dieses Metall beträgt $4,4 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{K}$.

Bereits bei 2V wird der Glühfaden rot bis orange und laut Tabelle hat dieser ein Temperatur von $815 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (rechtes Bild).

Bei 12V ist das Lämpchen hell weiß bei $2566 \text{ }^{\circ}\text{C}$, (Bild am Seitenanfang), dies entspricht etwa dem Farbton „Warmweiß“ bei den Leuchtmitteln.

