

# 3 Kennlinien elektrischer Leiter

*17. November 2016*

LUKAS BÜHLER, JÉRÔME LANDTWING  
(M4A)

Markus Hägi, KSA

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Grundprogramm: Eisendraht im Heizbad</b>	<b>3</b>
2.1	Aufbau . . . . .	3
2.2	Messungen bei Zimmertemperatur . . . . .	4
2.3	Messergebnisse bei $70^{\circ}C$ . . . . .	4
2.4	Messergebnisse bei $120^{\circ}C$ . . . . .	4
2.5	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Wahlversuche</b>	<b>6</b>
3.1	Glühlampe und Kohlenfadenlampe . . . . .	7
3.1.1	Aufbau . . . . .	7
3.1.2	Ergebnisse . . . . .	7
3.1.3	Diskussion . . . . .	8
3.2	Glimmlampe . . . . .	10
3.2.1	Aufbau . . . . .	10
3.2.2	Ergebnisse . . . . .	10
3.2.3	Diskussion . . . . .	11

## 1 Theorie

Der elektrische Strom in Leiter verschiedener Materialien ist von der Spannung und anderen Grössen und der Form des Leiters abhängig. Man stellt diese Abhängigkeit mit Kennlinien dar.

Jeder Leiter hat einen elektrischen Widerstand sobald ein Strom fliesst. Dieser steht im Verhältnis der Spannung zum Strom, also: ( $R = \frac{U}{I}$ ) Die Einheit ist Ohm  $\Omega$  [ $\frac{V}{A}$ ]

Bei metallischen Leitern mit konstanter Temperatur ist die Spannung proportional zur Stromstärke und deshalb bleibt dann auch der Widerstand konstant. Dies beschreibt das Ohmsche Gesetz, benannt nach Georg Simon Ohm, welcher diesen Sachverhalt 1826 entdeckte.

In einem Diagramm mit der Spannung und der Stromstärke lässt sich dann die Kennlinie des betroffenen Leiters erkennen. Jedoch hängt in den meisten Fällen die Kennlinie nicht nur von der Spannung und dem fliessenden Strom ab, sondern noch von einigen weiteren Variablen wie zum Beispiel der Temperatur, der Konzentration, der Geometrie des Leiters und sogar von der Beleuchtungsstärke. Wenn man eine Variable verändert und dann in das selbe Diagramm einträgt, lässt sich eine Geradenschar erkennen, ein sogenanntes Kennlinienfeld.

Metallische Leiter sind abhängig von der Länge ( $l$ ) und dem Querschnitt ( $A$ ) eines Leiters:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (1)$$

$\rho$  ist hierbei der spezifische Widerstand, welcher so berechnet wird:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \quad (2)$$

Dabei hat der spezifische Widerstand dabei die Einheit Ohmmeter [ $\Omega m$ ]. Der Kehrwert des spezifischen Widerstandes ist die elektrische Leitfähigkeit  $\sigma$ .

Auf Atomarer Ebene sind es bei Metallen die Elektronen im Elektronengas, welche sich bewegen, von Atom zu Atom. Das heisst ein äusseres Valenzelektron eines Metallatoms löst sich und springt ein Atom weiter. Und springt ein Atom weiter, so entsteht ein Strom. Der Widerstand welcher auf die Elektronen wirkt, ist auf die Temperatur zurückzuführen. Je grösser die Temperatur nämlich ist, desto grösser ist auch der spezifische Widerstand eines Leiters. Umgangssprachlich könnte man sagen, dass es mit zunehmender Temperatur schwieriger wird für die Elektronen den Platz zu wechseln, da die Atome stärker schwingen. Der spezifische Widerstand nimmt proportional zu der Temperatur zu, sofern man nicht zu hohe Temperaturen nimmt und sich der Aggregatzustand nicht ändert. Somit gilt:

$$\Delta\rho = \alpha \cdot \rho \cdot \Delta\vartheta \quad (3)$$

In dieser Gleichung steht  $\rho$  wieder für den spezifischen Widerstand,  $\alpha$  ist der Temperaturkoeffizient und  $\Delta\vartheta$  ist der Temperaturunterschied. Die abgestrahlte Leistung  $P$  eines Leiters ist proportional zur Temperatur hoch vier. Das heisst eine Glühlampe strahlt mit einer Leistung, welche proportional ist zur Temperatur hoch vier. Wenn die Lampe die Gesamte zugeführte Leistung auch Umsetzen kann, kann man schreiben:

$$R \propto \sqrt[4]{P} \quad (4)$$

## 2 Grundprogramm: Eisendraht im Heizbad

In diesem Versuch ging es darum die Kennlinie eines Eisendrahtes im Heizbad zu bestimmen. Der Widerstand eines Drahtes ist auch abhängig von der Temperatur und das galt es in diesem Versuch noch einmal zu ermitteln. Dazu werden die Spannung und der Strom welche durch einen Eisendraht fliessen gemessen, welcher sich zudem noch in einer nicht leitenden Flüssigkeit mit einer bestimmten Temperatur befindet.

### 2.1 Aufbau

In einem Behälter gefüllt mit Ucon-Öl war ein Eisendraht montiert, welcher mehrmals um eine Halterung gewickelt war. Der Draht war so mit einer Spannungsquelle verbunden, dass ein Stromkreislauf entstand. Die Spannungsquelle

bestand aus einem Netzgerät, welches auf Gleichstrom geschaltet war. Ausserdem war in dem Stromkreis ein Schalter eingebaut, um den Stromkreislauf zu unterbrechen und zwei Messgeräte waren ebenfalls angebracht. Eines dieser Multimeter war auf Volt geschaltet, das andere auf mili Ampère. Ebenfalls angebracht war ein Thermometer, welches die Temperatur des Ucon-Öls mass, sowie ein Tauchsieder und ein Rührfisch um das Ucon-Öl gleichmässig zu erhitzen. Erhitzt wird das Gefäss von unten mit einem Bunsenbrenner, gefüllt mit Propan / Butan Gas.

## 2.2 Messungen bei Zimmertemperatur

Für die erste Messreihe besass das Ucon-Öl Zimmertemperatur.

$$\vartheta_1 = 23 \pm 1^\circ C$$

Unsere Messergebnisse sehen wie folgt aus:

Spannung U	0.0	0.6	1.2	1.8	2.5	3.1	gemessen in [V]
Stromstärke I	0.0	70	130	203	268	345	gemessen in [mA]
Fehlerrechnung U: $\pm 0.1V$ , I: $\pm 0.5mA$							

Tabelle 1: Messwerte bei Zimmertemperatur

## 2.3 Messergebnisse bei $70^\circ C$

$$\vartheta_2 = 70^\circ C \pm 1.5^\circ C$$

Unsere Messergebnisse sehen wie folgt aus:

Spannung U	0.0	0.6	1.2	1.7	2.4	3.1	gemessen in [V]
Stromstärke I	0.0	56	113	153	215	275	gemessen in [mA]
Fehlerrechnung U: $\pm 0.1V$ , I: $\pm 0.5mA$							

Tabelle 2: Messwerte bei  $70^\circ C \pm 1.5^\circ C$

## 2.4 Messergebnisse bei $120^\circ C$

$$\vartheta_3 = 120^\circ C \pm 2^\circ C$$

Unsere Messergebnisse sehen wie folgt aus:

Spannung U	0.0	0.6	1.2	1.8	2.5	3.2	gemessen in [V]
Stromstärke I	0.0	44	88	130	185	235	gemessen in [mA]
Fehlerrechnung U: $\pm 0.1V$ , I: $\pm 0.5mA$							

Tabelle 3: Messwerte bei  $120^\circ C \pm 2^\circ C$

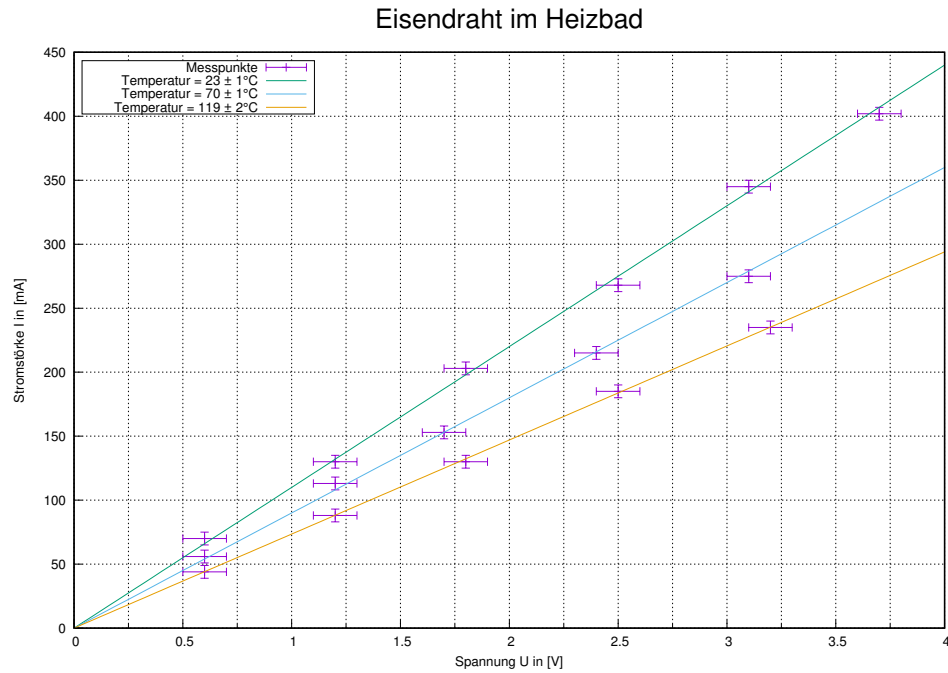


Abbildung 1: Kennlinien des untersuchten Eisendrahtes bei verschiedenen Temperaturen

## 2.5 Diskussion der Ergebnisse

$$\text{Steigung der "besten,,Gerade"} = \frac{\Delta I}{\Delta U} \quad (5)$$

- Steigung <sub>$\vartheta_1$</sub>  =  $110 \pm 5$
- Steigung <sub>$\vartheta_2$</sub>  =  $90 \pm 5$
- Steigung <sub>$\vartheta_3$</sub>  =  $73.5 \pm 5$

Um diese Werte zu berechnen, haben wir uns einer Funktion bedient, welche den Parameter  $a$  der Geradengleichung  $f(x) = a \cdot x$  so bestimmte, dass die Standardabweichung aller Werte am kleinsten war. Diese Werte liegen sehr nahe am Mittelwert unserer Messergebnisse.

Widerstandswerte bei verschiedenen Temperaturen:

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (6)$$

Daraus folgen die folgenden Widerstände:

- $R_{\vartheta_1} = (9.0 \pm 0.5) \, \Omega$

- $R_{\vartheta_2} = (11.0 \pm 0.5) \, \Omega$
- $R_{\vartheta_3} = (13.6 \pm 0.5) \, \Omega$

Spezifische Widerstandswerte des Eisens:

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (7)$$

Die Abmessungen des Drahtes waren:  $l = 5.3m \pm 0.1m$ ,  $d = 0.3mm \pm 0.1mm$ . Also ist die Querschnittsfläche  $A = 0.15mm^2 \cdot \pi = 7.0mm^2 \pm 1mm^2$

- $\rho_1 = (1.2 \pm 0.5) \cdot 10^{-7} \, \Omega m$
- $\rho_2 = (1.5 \pm 0.5) \cdot 10^{-7} \, \Omega m$
- $\rho_3 = (1.8 \pm 0.5) \cdot 10^{-7} \, \Omega m$

Vergleich mit dem Literaturwert: In unserer Formelsammlung<sup>1</sup>, haben wir für den spezifischen elektrischen Widerstand bei Raumtemperatur (20°C) den folgenden Wert gefunden:  $11.5 \cdot 10^{-8} \, \Omega m$ . Dieser Wert liegt recht nahe an dem von uns berechneten Wert.

## Temperaturkoeffizienten

$$\alpha = \frac{\Delta \rho}{\rho \cdot \Delta \vartheta} \quad (8)$$

$$\alpha_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)} \quad (9)$$

Mit den obigen Formeln haben wir für  $\alpha_{12}$  und  $\alpha_{13}$  die folgenden Werte berechnet.

- $\alpha_{12} = (4.6 \pm 2)$
- $\alpha_{13} = (4.9 \pm 2)$

In unserer Formelsammlung haben wir für den Temperaturkoeffizienten bei Raumtemperatur (20°C) den Wert:  $+6.2 \cdot 10^{-3} \, K^{-1}$ . Unsere grosse Fehlerschranke begründen wir mit dem grossen Temperaturunterschied, der sich daraus ergab, dass das Ucon-Öl sich während den Messungen sehr stark abkühlte.

## 3 Wahlversuche

Wir hatten genügend Zeit, zwei der drei Wahlversuche durchzuführen.

---

<sup>1</sup>Byland, Samuel: *Formeln, Tabellen, Begriffe* (2. Auflage, S. 194). Zürich: Orell Füssli Verlag.

### 3.1 Glühlampe und Kohlenfadenlampe

In diesem Versuch ging es um das Ermitteln des Widerstandes einer Glühlampe. Es wurde eine Glühlampe mit Eisendraht und eine Glühlampe mit Kohlefaden getestet. Der Versuch sollte den Unterschied zwischen Halbleitern und Leitern aufzeigen.

#### 3.1.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau bestand aus einem Stromkreis, in welchem eine Glühlampe eingebaut war. Es war wichtig die Multimeter beim Versuch auf Wechselstrom einzustellen, da über die Spannungsquelle Wechselstrom kam. Die Spannung musste man in 40 Volt schritten von 0 V bis 240 V variieren und die Werte für die Stromstärke dazu notieren. So war es schlussendlich möglich, die Kennlinien zu ermitteln.

#### 3.1.2 Ergebnisse

So sehen unsere Messergebnisse aus:

Spannung U	0.0	39.8	80.4	120	160	200	240	gemessen in [V]
Stromstärke I	0.0	0.115	0.156	0.190	0.220	0.248	0.272	gemessen in [A]
Fehlerrechnung: U: $\pm 1V$ , I: $\pm 0.001A$								

Tabelle 4: Spannung und Stromstärke der Glühlampe

Spannung U	0.0	40.0	81.0	120	160	201	240	gemessen in [V]
Stromstärke I	0.0	0.042	0.081	0.122	0.170	0.221	0.275	gemessen in [A]
Fehlerrechnung: U: $\pm 1V$ , I: $\pm 0.001A$								

Tabelle 5: Spannung und Stromstärke der Kohlenfadenlampe

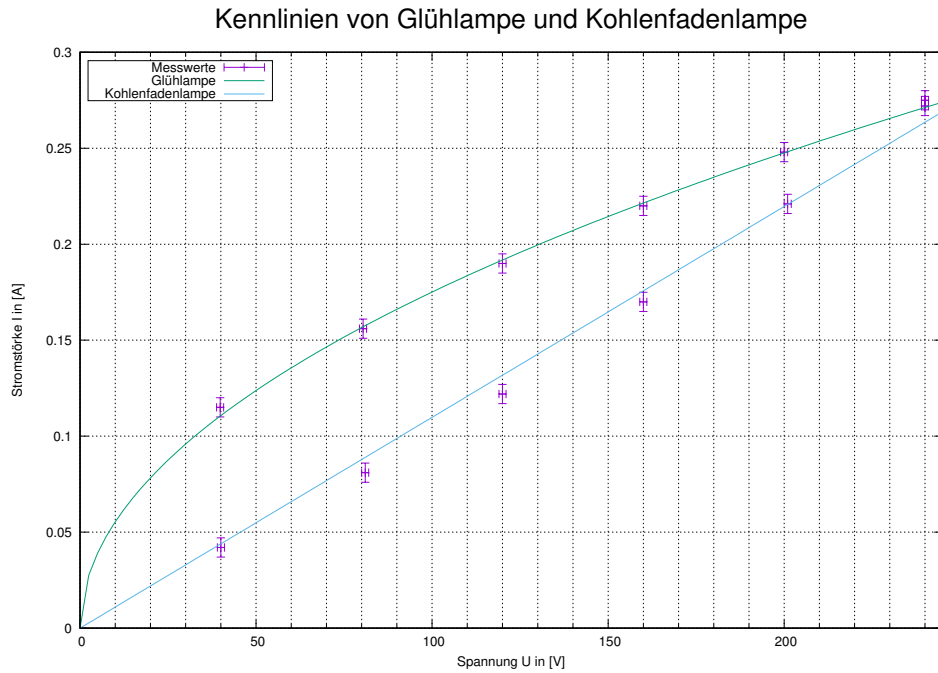


Abbildung 2: unsere Messergebnisse, dargestellt als Grafik

$$R = \frac{U}{I} \quad (10)$$

$$P = U \cdot I \quad (11)$$

Wir haben unsere Messwerte in die Formeln 10 und 11 eingesetzt und die folgenden Werte für  $R$  bzw.  $P$  berechnet:

Widerstand R	0	346	515	632	727	806	882	[Ω]
Leistung P	0	4.57	12.5	22.8	35.2	49.6	65.3	[W]

Fehlerrechnung: R:  $\pm 5 \Omega$  (der relative Fehler bewegt sich zwischen 3 und 10  $\Omega$ )  
I:  $\pm 1 \text{ W}$

Tabelle 6: Widerstand und Leistung der Glühlampe

### 3.1.3 Diskussion

Unsere Resultate zeigten bei der Glühlampe und der Kohlenfadenlampe Unterschiede des Widerstandes bei verschiedenen Spannungen. Bei der Kohlenfadenlampe nahm der Widerstand proportional zur Spannung zu, was bei der Glühlampe nicht der Fall war. Der elektrische Widerstand der Glühlampe nahm nicht proportional zur Spannung zu, er nahm bei tieferen Spannung weniger zu



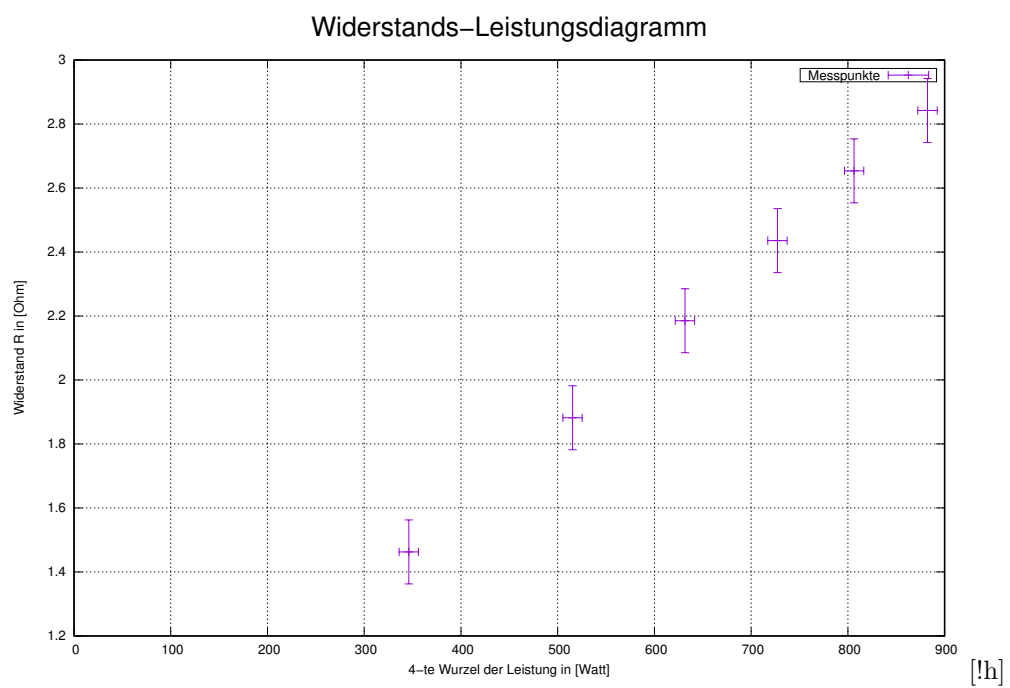


Abbildung 3: Unsere Rechenwerte als Grafik dargestellt

und bei höheren Spannungen nahm er mehr zu. Man könnte auch sagen, dass die Glühlampe den elektrischen Strom bei höheren Spannungen schlechter leitete, als bei tieferen. Bei der Kohlenfadenlampe war das Gegenteil der Fall, bei tieferen Temperaturen leitete sie schlechter als bei Höheren. Diese Beobachtungen lassen sich leicht erklären, denn Leiter aus Kohlenstoff sind Heissleiter und Metalle sind Kaltleiter. Heissleiter leiten den elektrischen Strom besser, bei höheren Temperaturen, als bei Tieferen und bei den Kaltleitern ist das exakte Gegenteil der Fall.

## 3.2 Glimmlampe

Beim Versuch mit der Glimmlampe war es das Ziel Kennlinie einer Glimmlampe zu ermitteln und diese Darzustellen.

### 3.2.1 Aufbau

Der Versuch wurde auf der selben Steckplatte aufgebaut wie der Versuch mit der Glühlampe, nur wurde zusätzlich ein Widerstand von  $47k\Omega$  (kilo Ohm) eingebaut um das Umschlagen der Glimmlampe in einen Lichtbogen und der damit verbundene Kurzschluss zu verhindern. Man musste wieder mit Wechselstrom arbeiten und die Multimeter auf Wechselstrom einstellen. Das Multimeter, welches Ampère anzeigte musste man auf Milliampère stellen.

### 3.2.2 Ergebnisse

U	0.0	40.3	80	100	105	110	115	120	125	130	135	140	gemessen in [V]
I	0.0	0.07	0.09	0.09	0.44	0.61	0.81	1.02	1.24	1.5	1.74	2.02	gemessen in [mA]

Fehlerrechnung: U:  $\pm 0.5V$ , I:  $\pm 0.05mA$

Tabelle 7: Wertepaare bis 140V

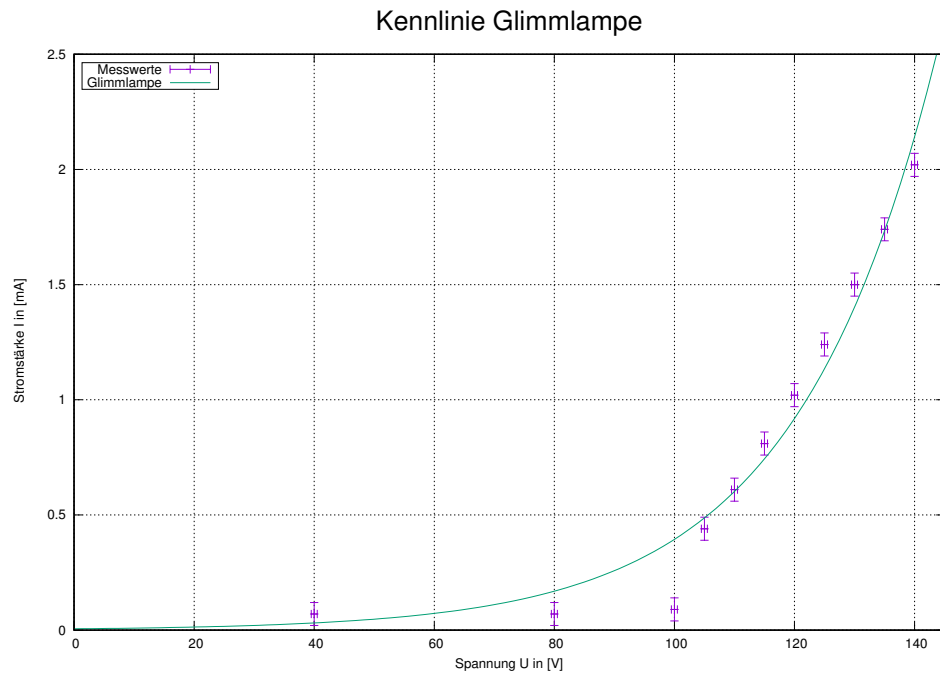


Abbildung 4: Visualisierung unserer Messergebnisse

### 3.2.3 Diskussion

Die nach oben gebogene Kurve weist auf einen Halbleiter hin. Bei Halbleitern werden durch die mit der Spannung ansteigende Temperatur immer mehr Elektronen aus ihren Bindungen herausgebrochen. Das heisst, dass mehr Leitungselektronen zu Verfügung stehen. Der Widerstand wird also mit grösserer Spannung immer kleiner. In unserer Messserie waren die Werte bis 100 Volt sehr klein und sprangen dann sprunghaft an.