

# Versuchsprotokoll

## **Die Röhrendiode**

Versuch Nr. 6

vom 20. März 1997



Protokollführer: Dirk Sell

Assistent: Bärbel Hosenfeld

Gruppe: B 1

### **Grund der Untersuchung**

1. Aufnahme der Strom-Spannungskennlinie  $I_a=f(U_a)$ .
2. Bestimmung des Exponenten in der Schottky-Langmuirschen Raumladungsformel anhand einer doppellogarithmischen Darstellung der Strom-Spannungskennlinie.
3. Aufnahme einiger Arbeitskennlinien  $I_a=f(U_b)$  mit den vorliegenden Arbeitswiderständen.
4. Konstruktion einer Arbeitskennlinie  $I_a=f(U_b)$  aus der Strom-Spannungskennlinie  $I_a=f(U_a)$  für einen geeigneten Arbeitswiderstand.
5. Aufbau einer einfachen Gleichrichterschaltung mit einem Lastwiderstand von  $4,7\text{ k}\Omega$  und Aufnahme von Strom und Spannung mit dem Oszilloskop.

## Einführung in die Theorie

### • Thermoemission

Die Atome und Moleküle fester Stoffe schwingen auf ihren Plätzen. Je höher die Temperatur eines Stoffes ist, desto stärker sind diese Wärmeschwingungen. Bei bestimmten Stoffen werden auf Grund dieser Wärmeschwingungen Elektronen ausgestoßen. Diesen Vorgang nennt man *Thermoemission*.

Wird ein Metallstück (Kathode) in einem nahezu luftleeren Glaskolben erhitzt, so daß die Elektroden aus dem Metall austreten, wird es dadurch positiv geladen. Da die positiven Teilchen im Metall dann überwiegen. Es zieht somit die Elektronen wider an d.h. es holt sie sich also wider zurück (Abb. 1).

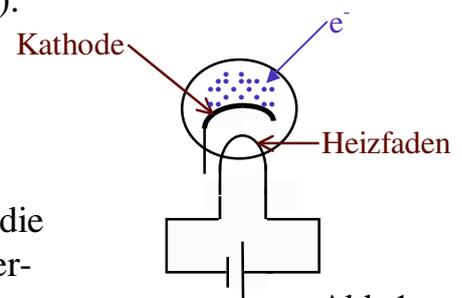
Da ununterbrochen Elektronen ausgesendet werden, befindet sich immer eine größere Zahl von ausgestoßenen Elektronen außerhalb des Metalls. Sie bilden die sogenannte *Raumladungswolke*.

Damit überhaupt Elektronen austreten können, müssen die Bindungskräfte entsprechend der atomaren Struktur überwunden werden. Die dazu benötigte Energie bezeichnet man als *Austrittsarbeit* (bei Wolfram ca.  $4,5\text{ eV}$ ).

Somit hängt die Zahl der ausgestoßenen Elektronen vom Werkstoff, der Temperatur und von der Größe der Oberfläche ab. Je größer die Oberfläche und je größer die Temperatur, desto mehr Elektronen werden pro Sekunde ausgestoßen.

Die Elektronen der Raumladungswolke können nun für unterschiedliche Zwecke verwendet werden.

Eine davon ist die Röhrendiode.

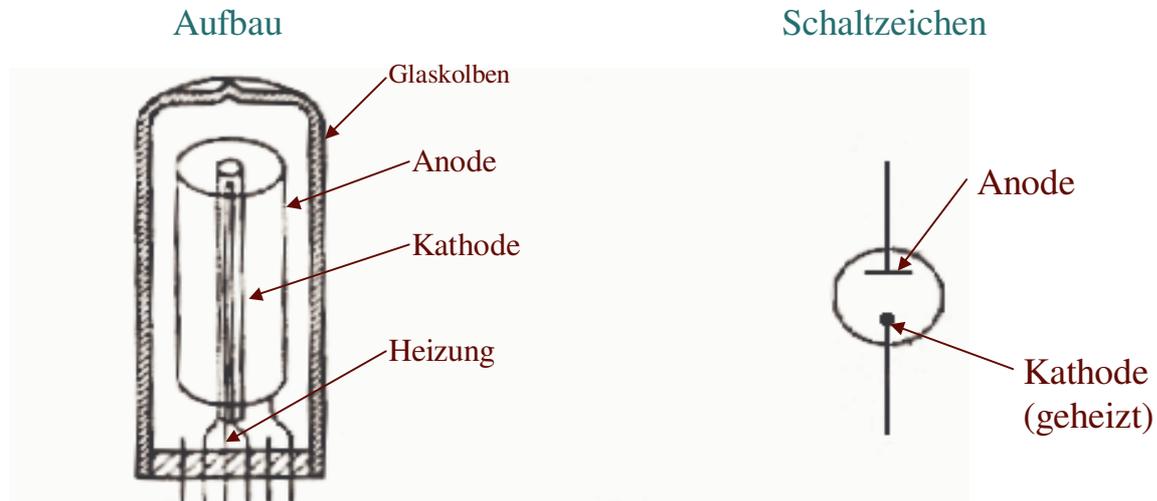


(1)

### • Röhrendiode

Der Glaskolben mit der Kathode erhält eine zweite Metallelektrode, eine sogenannte Anode.

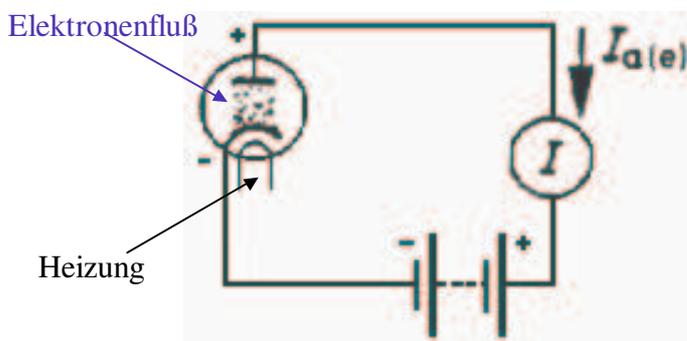
Der Glaskolben mit den nun zwei Elektroden wird *Röhrendiode*, *Zweipolröhre* oder auch *Vakuumdiode* genannt.



Gibt man der Anode eine positive Spannung gegenüber der Kathode, so saugt die positive Anode die negativ geladenen Elektronen an. Somit fließt ein Strom durch die Diode (Abb.2).

Wird die Spannung umgepolt, somit erhält die Anode eine negative Spannung gegenüber der Kathode und es fließt kein Strom, da die negative Anode die Elektronen abstößt. Die Diode sperrt.

■ *Die Röhrendiode verhält sich wie ein Stromventil.*

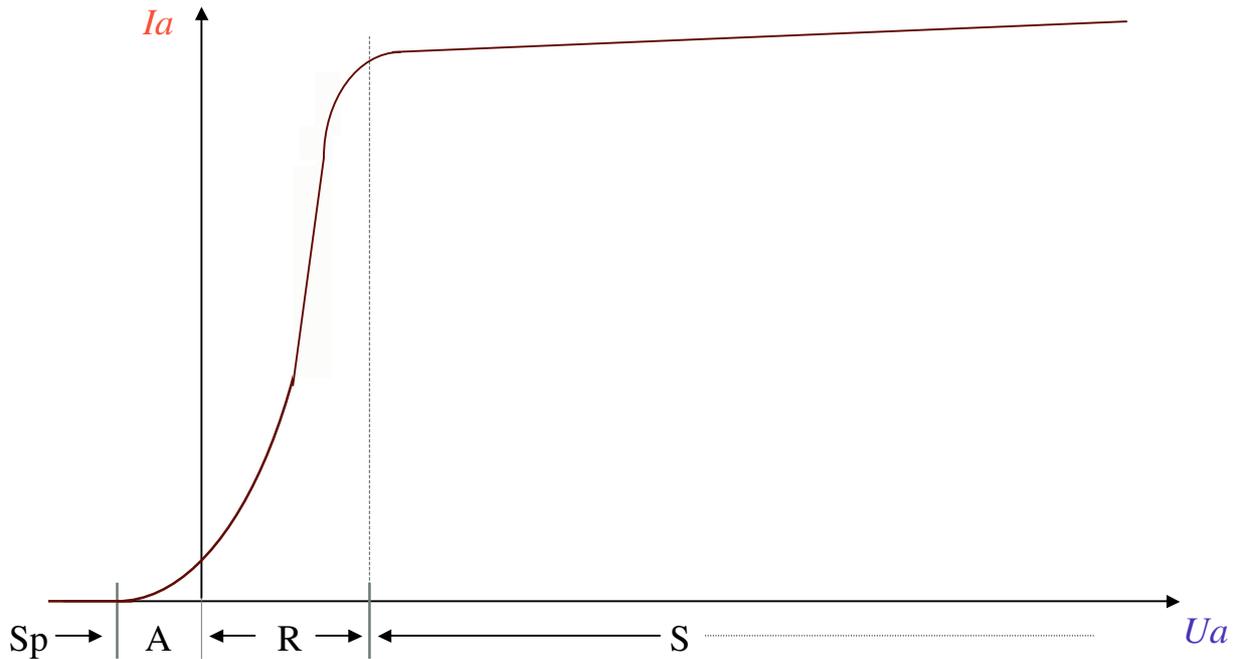


← **Abb.2)** Die positive Anode saugt die negativ geladenen Elektronen an

Dieses Verhalten der Diode ist aus ihrer Kennlinie ersichtlich.

(2)

•  **$I_a - U_a$  - Kennlinie**



Die Diodenkennlinie ist in folgende Bereiche eingeteilt:

### Sperrbereich (Sp)

Die Anodenspannung ist stark negativ. Auch schnelle Elektronen erreichen die Anode nicht. Die Diode sperrt vollständig.  $I_a=0$  ( $U_a < -1V$ )

### Anlaufstrombereich (A)

Elektronen, die mit hoher Anfangsgeschwindigkeit aus der Kathode austreten, können gegen die bremsende Wirkung der schwach negativen Anode anlaufen. Es fließt ein kleiner Strom, der sogenannte *Anlaufstrom*.

$$I_a = I_0 \cdot e^{\frac{e|U_a|}{k \cdot T}}$$

Die langsameren Elektronen bilden eine Raumladungswolke.

### Raumladungsbereich (R)

Es werden um so mehr Elektronen abgesaugt, je größer die Anodenspannung  $U_a$  ist ( $0 < U_a < 10V$ ).

In diesem Fall gilt für den Strom die *Schottky-Langmuirsche* Raumladungsformel:

(3)

$$\boxed{\phantom{I_a = I_0 \cdot e^{\frac{e|U_a|}{k \cdot T}}}}$$

$$I_a = c \cdot \sqrt{(U_a + U_0)}$$

$$c = \frac{4}{9} \epsilon_0 \cdot \sqrt{2 \frac{e}{m_{e0}} \cdot \frac{A}{d^2}} \cdot U^{\frac{3}{2}}$$

Dieses  $I \cong U^{\frac{3}{2}}$  Gesetz gilt allgemein für Raumladungsbegrenzte Ströme.

### Sättigungsbereich (S)

Alle ausgetretenen Elektronen werden abgesaugt. Auch bei weiterer Steigung von  $U_a$  kann  $I_a$  nicht wesentlich ansteigen. Man bezeichnet diesen max. Strom als Sättigungsstrom ( $I_s$ ).

$$I_a = I_s = A \cdot c \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{W}{k \cdot T}}$$

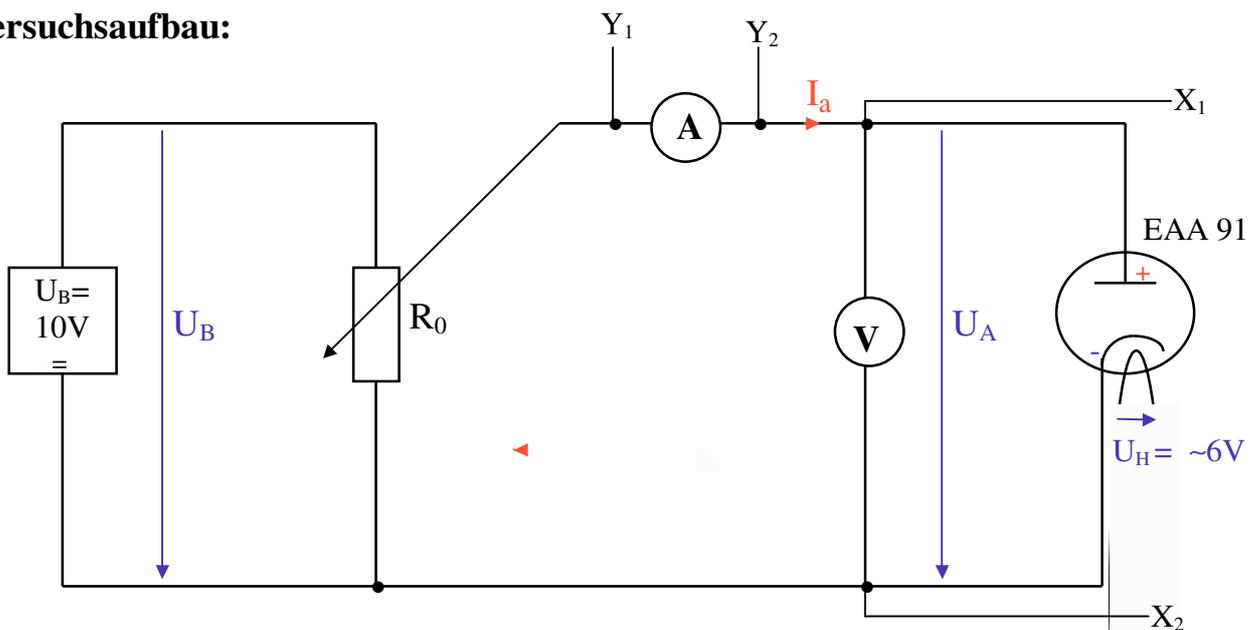
A= Kathodenfläche  
k= Boltzmannkonstante  
W= Austrittsarbeit

Bei Steigung der absoluten Temperatur ( $T$ ) der Kathode, steigt auch der Sättigungsstrom ( $I_s$ ) an.

## Erläuterung der Untersuchungsmethode:

### 1.) Aufnahme der Strom-Spannungskennlinie

#### Versuchsaufbau:



(4)

Die verwendete Diode EAA 91 ist eine mit 6,3 V geheizte Röhrendiode.

Der zulässige Anodenstrom von 18 mA darf nicht überschritten werden, da sonst die Kathode in die Sättigung betrieben und zerstört wird.

Die Betriebsspannung  $U_B$  betrug bei dem Versuch 10 V.

Mit dem Voltmeter wurde die Spannung  $U_A$  zwischen der Anode und der Kathode gemessen. Mit dem Amperemeter der Anodenstrom  $I_A$ .

Mit Hilfe des Schiebewiderstandes  $R_0$  konnten wir die Spannung langsam von 0 auf 10 V ansteigen lassen, dies war aber nur solange möglich wie der Anodenstrom die 18 mA nicht überschritten hat.

Ein X-Y-Schreiber, über den Anschlüssen  $X_1, X_2$  &  $Y_1, Y_2$  angeschlossen, zeichnete die Kurve auf (Blatt A). Um den negativen Teil der Kennlinie (Sperrbereich) zu erfassen, haben wir einfach die Spannungsquelle umgepolt.

## 2. Bestimmung des Exponenten der Schottky-Langmuirschen Raumladungsformel

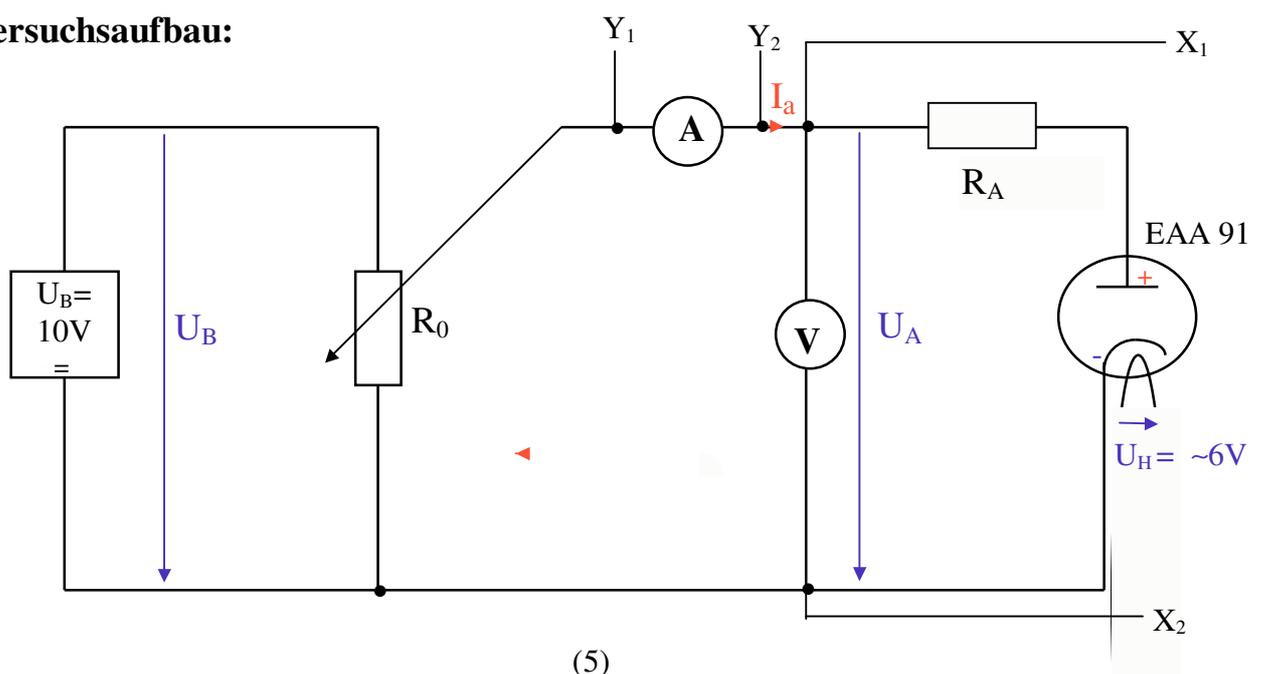
Wenn man die Strom- Spannungskennlinie von Blatt A auf doppellogarithmischen Papier darstellt so ergibt sich daraus eine Gerade.

Da die Geradengleichung  $f(x) = m \cdot x + b$  ist und nach dem Logarithmusgesetz  $m \cdot \ln x = \ln x^m$  ist, dann muß die Steigung der Geraden dem Exponenten entsprechen.

Da auf Blatt B die Steigung  $m = \frac{3}{2}$  beträgt, ist der Exponent mit  $U^{\frac{3}{2}}$  richtig gewählt.

## 3. Aufnahme von Widerstandskennlinien

### Versuchsaufbau:



Wie zu sehen ist wurde der Versuchsaufbau von Aufgabe 1 weitgehend übernommen und nur einzeln durch die Arbeitswiderstände  $R_A$  ( $100 \Omega$ ,  $470\Omega$ ,  $1 \text{ k}\Omega$ ,  $4,7 \text{ k}\Omega$ ,  $10 \text{ k}\Omega$ ,  $18 \text{ k}\Omega$ ) erweitert.

Die Ergebnisse dieser Messung sind auf Blatt C zu sehen.

#### 4. Konstruktion einer Arbeitskennlinie

Um die Arbeitsgerade zu konstruieren muß die Strom- Spannungskennlinie und die Widerstandsgerade ( $1 \text{ k}\Omega$ ) in das gleiche Koordinatensystem eingetragen werden. Da es bei der Schaltung um eine Reihenschaltung handelt, braucht man nur noch die Spannungen der beiden Kennlinien bei gleichen Strom auf addieren und erhält somit die gesuchte Arbeitskennlinie (siehe Blatt D).

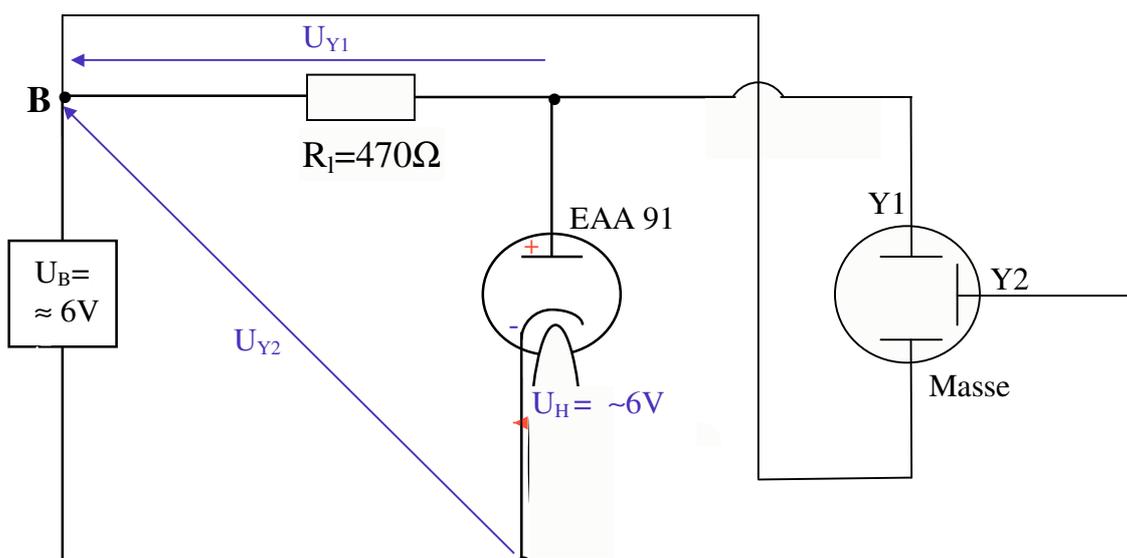
Wie man auf Blatt D sieht, scheint sich die Arbeitskennlinie nicht wesentlich von der Widerstandsgerade zu unterscheiden. Lediglich die Steigung ist etwas kleiner.

#### 5. Aufbau einer Gleichrichterschaltung

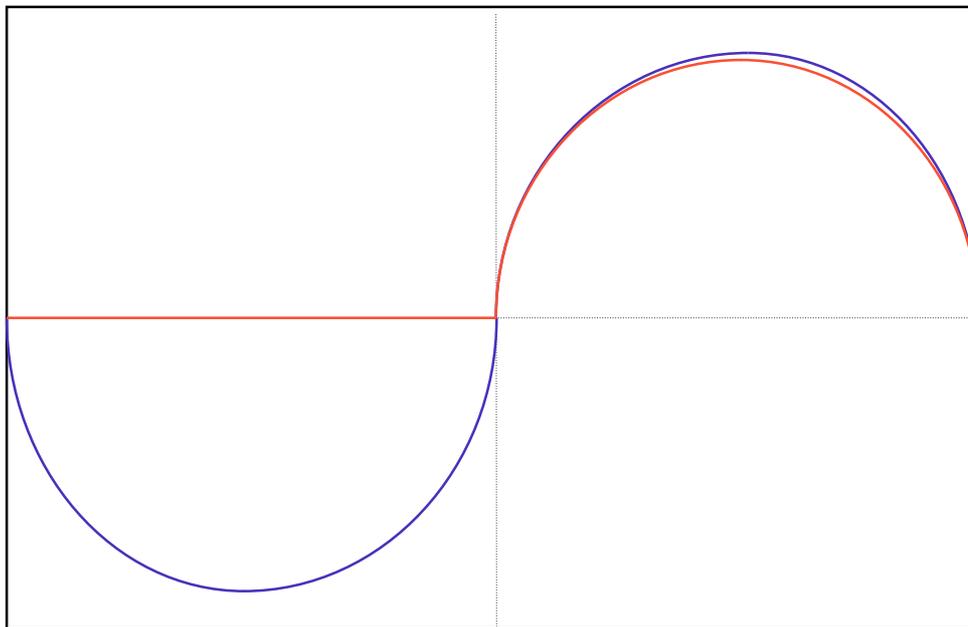
Da ein Oszilloskop nur Spannungen messen kann, ist es notwendig den Strom über den Lastwiderstand  $R_L$  zu messen.

Außerdem war zu beachten, daß beide Spannungen gegen den gleichen Bezugspunkt **B** gemessen werden. Zwar muß man dann einen Eingang invertierten, doch wenn man dies nicht tut kommt es zum Kurzschluß über die beiden Massen.

Aufbau der Schaltung:



Nach dem Versuchsaufbau kann man folgendes Bild auf dem Bildschirm des Oszilloskops sehen:



— Spannung  $U_{Y2}$   
— Strom gemessen über Anschluß  $U_{Y2}$

### Fehlerberechnung

Eine Auswertung statistischer Fehler ist nicht möglich, da wir jede Messung nur einmal durchführten. Daher macht es nur Sinn auf systematische Fehler einzugehen. Diese Fehler kommen zustande da die verwendeten Meßgeräte eine Toleranz besitzen, die beim Multimeter bei der Spannungsmessung  $\pm 1\%$  und bei der Strommessung  $\pm 2,5\%$  beträgt. Diese Fehler machen aber nur etwas bei der Skaleneinteilung der Kurven aus. Denn der X-Y Schreiber besitzt selbst keine Ungenauigkeit, da er keine absoluten Meßergebnisse liefert, sondern nur Verhältnisse darstellt.

Andere Fehler können sich nur durch Ableseungenauigkeiten (kleinere Schwankungen der Digitalanzeige) und durch zeichnerische (beim zeichnen der Ausgleichsgerade oder der Arbeitskennlinie) Ungenauigkeiten ergeben, die aber nicht auszuwerten sind.

## Abschließende Diskussion

Die Röhrendiode ist heutzutage zwar weitgehend verschwunden und durch Halbleiterbauelemente ersetzt wurden. Doch bei Schaltungen mit hoher Leistung wie z.B. in der Nachrichtentechnik, wo große Sendeleistungen erforderlich sind, findet sie noch Heute ihr Einsatzgebiet.

Denn Röhrendioden können für sehr hohe Sperrspannungen (bis 220 kV) gebaut werden, das ginge bei Halbleiterbauelementen unter Umständen zwar auch, doch bräuchte man Unmengen an Platz für die Kühlung.

Das ist auch der Grund warum sie bei der Raumfahrt ihre Anwendung findet.

z.B. in Übertragungssatelliten (auch wegen des Gewichtes).

Weitere Anwendungen sind wie wir gesehen haben Gleichrichterschaltungen, zur Gleichrichtung kleiner Wechselströme bis zu einigen 100 mA, da der Spannungsabfall in Durchlaßrichtung (positive Anodenspannung) im Vergleich zu anderen Gleichrichtern groß ist. Er liegt je nach Röhre zwischen 50 und 1000 V. Häufiger ist jedoch die Verwendung für die Demodulation von Hochfrequenzschwingungen und für Sonderzwerke.