

Versuch: N 30.1

Leerlaufspannung und Innenwiderstand von  
Spannungsquellen

Pelle Ofenbach (pelle.ofenbach@tu-dortmund.de)

Robert Appel (robert.appel@tu-dortmund.de)

Durchgeführt am 25. 10. 16

Abgabe am 08. 11. 16

≈ O.K.  
Jen

## Theorie

Wenn man die Spannung an einer Spannungsquelle abso, dass kein Strom fließt, so bezeichnet man diese Spannung als „Leerlaufspannung“  $U_0$ . Schließt man diese Spannungsquelle dann an einen Stromkreis an, in dem ein Strom  $I$  fließt, ist die abgenommene Spannung kleiner als  $U_0$ . Diese Spannung nennt man „Motorspannung“  $U_A$ , dies wird formal durch erklärt, dass dieser Stromquelle ein Innenwiderstand  $R_i$  zugeordnet wird.

Aus dem zweiten Kirchhoff'schen Gesetz (Mascheurregel):

$$\sum U_n = \sum R_m I_m \quad (1)$$

folgt dann:  $U_0 = I(R_i + R_a) \quad (2.)$

Weiter folgt mit dem Aufbau aus Abbildung 1 für die Motorspannung:  $U_A = I \cdot R_a = U_0 - I \cdot R_i \quad (3.)$

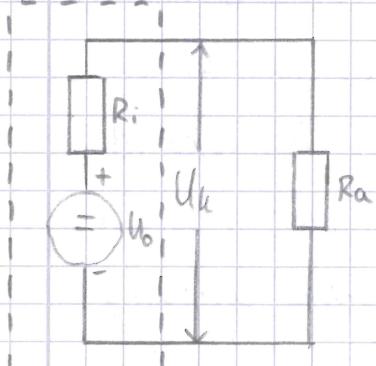


Abb. 1: Ersatzschaltbild einer realen Spannungsquelle mit Lastwiderstand  $R_a$

gilt  $U_0 \neq U_A$ .

Dabei bezeichnet  $R_a$  einen Lastwiderstand im Stromkreis. Durch den Umtauschen Teil (in Abb. 1) wird in Schaltbildern eine sog. reale Spannungsquelle dargestellt. Aus Formel (3) ist dann ersichtlich, dass zur Messung der Motorspannung ein Voltmeter mit möglichst hohem Innenwiderstand gewählt werden sollte, so dass

Der Innenwiderstand bewirkt auch, man einer Spannungsquelle nicht eine beliebig hohe Leistung entziehen kann. Betrachtet man dazu die Formel der el. Leistung einer Spannungsquelle als Funktion des Lastwiderstandes  $R_a$ :

$$N(R_a) = I^2 R_a \quad (4)$$

so kann man sich überlegen, dass die Leistung  $N$  maximal wird

Wenn  $R_a$  gleich dem Innenwiderstand  $R_i$  gewählt wird. Wird  $R_a$  entsprechend gewählt spricht man von Leistungsanpassung. Auch el. Generatoren lassen sich Innenwiderständen zuordnen, dieser ist aber nicht unbedingt durch einen Gleichstromwiderstand gegeben. Der Innenwiderstand könnte z.B. durch ein Rückkopplungsmechanismus gegeben sein. Dann ist es notwendig den Innenwiderstand als differentielle Größe einzuführen:  $R_i = \frac{dU_k}{dI}$  (5.)

## 2. Durchführung

→ keine Vergangenheit, kein wir, ich...

Im ersten Teil des Versuches ermittelten wir die Leerlaufspannung einer Monozelle mit einem hochohmigen Voltmeter und notierten den Eigenwiderstand des Voltmeters.

Im zweiten Teil des Versuches wird ein Schaltkreis mit der Monozelle, wie in Abbildung 2a aufgebaut und die Meßspannung in Abhängigkeit von der Stromstärke gemessen. Im Stromkreis wird ein variabler Widerstand eingebracht. Der Widerstand variiert zwischen 0-50 Ohm. Diesen Teil des Versuches führen wir zweimal durch, da eine Messreihe ungültig war, weil wir die Monozelle falsch angeschlossen hatten.

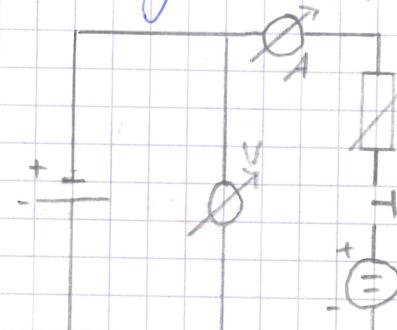
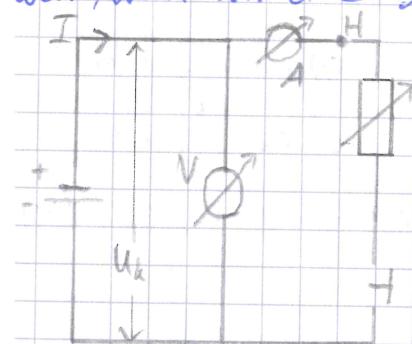


Abbildung 2:

a) Messschaltung zur Bestimmung von  $U_k$  u.  $R_i$ ; b) wie a), jedoch mit Verwendung einer Gegenspannung

Im dritten Teil des Versuches baut man den Versuchsaufbau zu zB um in dem man eine Gegenspannung anlegt, diese sollte min. 2 Volt größer sein als die Leerlaufspannung d. Monozelle.

Auch hier misst man die Membranspannung in Abhängigkeit von der Stromstärke.

Im letzten Teil des Versuches wiederholt man nun den zweiten Teil des Versuches mit dem Unterschied, dass dieses mal ein RC-Generator statt einer Monozelle als Spannungsquelle dient. Zudem wird einmal eine 1 Volt starke Rechteckspannung benutzt, mit dieser Rechteckspannung wird ein variabler Widerstand mit Variationsbereich von 20-250 Ohm benutzt. Später wird dann eine 1 Volt starke Stausspannung anstatt einer Rechteckspannung verwendet. Die Frequenz der beiden Spannungen blieb unverändert bei 60 Hertz.

Auswertung (alle Ablesefehler befragen ca. 5%)  $\rightarrow$  etwas hoch oder?

In Graphik I & Graphik Ia wurden die gemessenen Klemmspannungen der Mono zelle, der Rechteckspannung und der Sinusspannung in Abhängigkeit von I aufgetragen und ihre Ausgleichsgrade unter Verfahren zur Minimierung der Abweichung nach Gauß berechnet, wobei für die Sinusspannung die eingefärbten Werte aufgrund ihrer auffälligen Abweichung herausgenommen wurden. Aus diesen Ausgleichsgraden konnten folgende Innenwiderstände und Leerlaufspannungen bestimmt werden:

$$\text{Mono zelle: } R_i = 16,6 \Omega$$

$$U_0 = 7,675 \text{ V}$$

$\rightarrow$  und die Begründung?

$$\text{Rechteckspannung: } R_i = 85,7 \Omega$$

Fehler?

$$U_0 = 0,6358 \text{ V}$$

$$\text{Sinusspannung: } R_i = 703,4 \Omega$$

$$U_0 = 7,068 \text{ V}$$

Für die Mono zelle wurde die Leerlaufspannung  $U_0$  über die Klemmspannung  $U_k$  gerahmt:

$$U_k = I \cdot R_a = U_0 - IR_i \approx U_0$$

Wobei I durch Verwendung eines Hochohmigen Voltmeters ( $\geq 10 \text{ M}\Omega$ ) unterdrückt wurde. Der systematische Fehler ergibt sich hierbei wie folgt:

$$U_k = IR_V$$

$$U_0 = IR_V + IR_i$$

$$\frac{U_0}{U_k} = 1 + \frac{R_i}{R_V}$$

relativer Fehler.

Mit dem zuvor berechneten  $R_i = 16,6 \Omega$  und  $R_V \approx 70 \text{ M}\Omega$  ergibt sich die Abweichung zu:

$$\frac{R_i}{R_V} = \frac{16,6 \Omega}{70^7 \Omega} = 1,66 \cdot 10^{-6}$$

Zum systematischen Fehler bei Abgreifen der Klemmspannung hinter dem Ampermeter lässt sich sagen, dass in diesem Fall der Eigenwiderstand des Ampermeters zu  $R_i$  gerechnet wurde.

Die Leistungskurve  $N(R_a)$  entnehme man Graphik II.

Ihre Werte wurden mittels der Formel  $N = \frac{U^2}{R}$  ermittelt.

## Diskussion

Die auffälligsten Abweichungen liegen wohl beim Spannungs-Strom Verhältnis der Sinusspannung vor. Für die beiden Messwerte mit  $U < 0,7V$  lässt sich dies durch die Umstellung des Messbereiches am Ampermeter erklären, welche wir vornahmen, da das Ende der  $0,7 \text{ mA}$ -Skala erreicht wurde. Die vorzübrigen Abweichungen röhren vermutlich daher, dass der am Potentiometer eingestellte Widerstand zu klein wurde und somit der Eigenwiderstand des Ampermeters die Ergebnisse beeinflusste.

Ebenfalls erheblich ist die Abweichung von  $U_0$  bei der Rechteckspannung von ca.  $0,37V$ . Diese könnte in der hohen Messunsicherheit in  $I$  sowie der Unsicherheit in  $U$  begründet sein.  
*mit  
unsicherheit  
...  
...  
...*

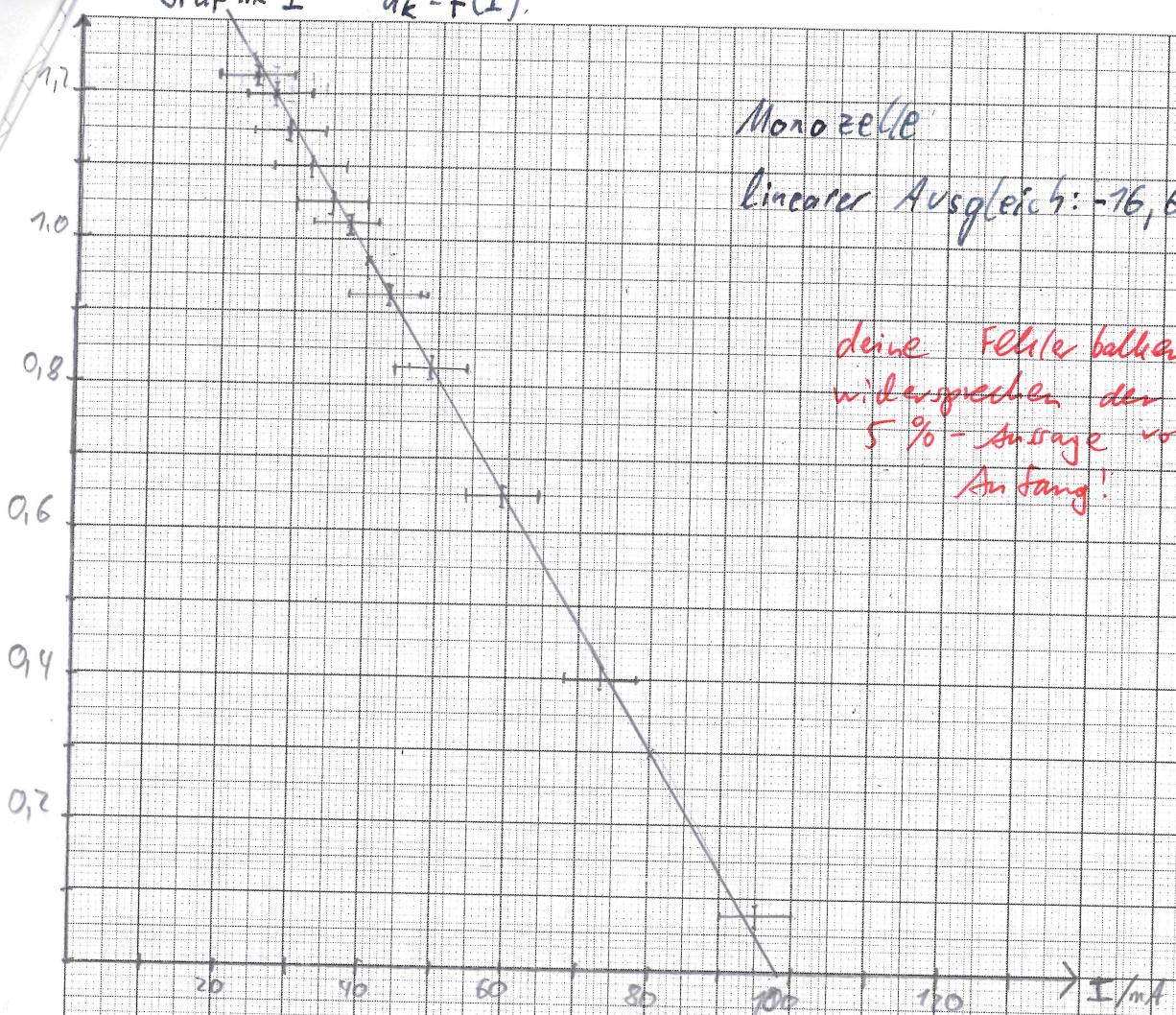
Die Leistungswerte von der Monozelle passen sehr gut zu den Modellwerten, wie Graphik II zeigt.

GRAFIK L  $U_K = f(I)$

Monozelle

linearer Ausgleich:  $-16,652 \cdot I + 7,635 V = U_K$

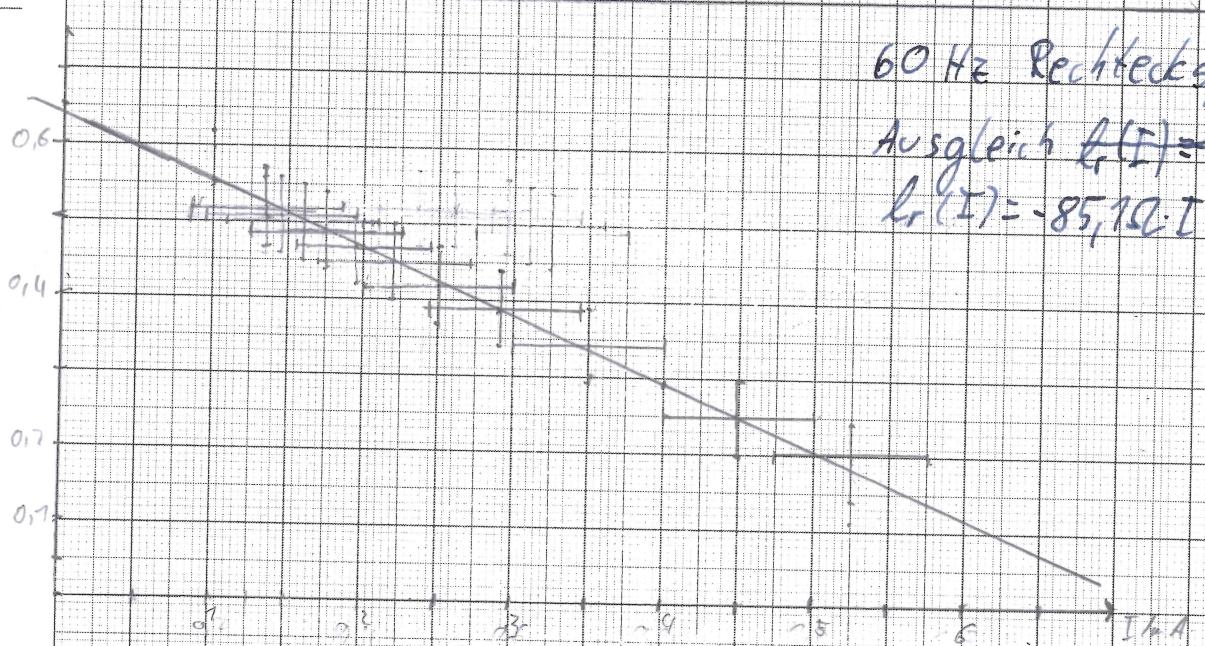
deine Fehlerbalken  
widersprechen der  
5% - Aussage vom  
Anfang!



60 Hz Rechteckspannung

Ausgleich  $f_1(I) = -203,1848I + 706,9$

$f_2(I) = -85,92 \cdot I + 0,6358 V$



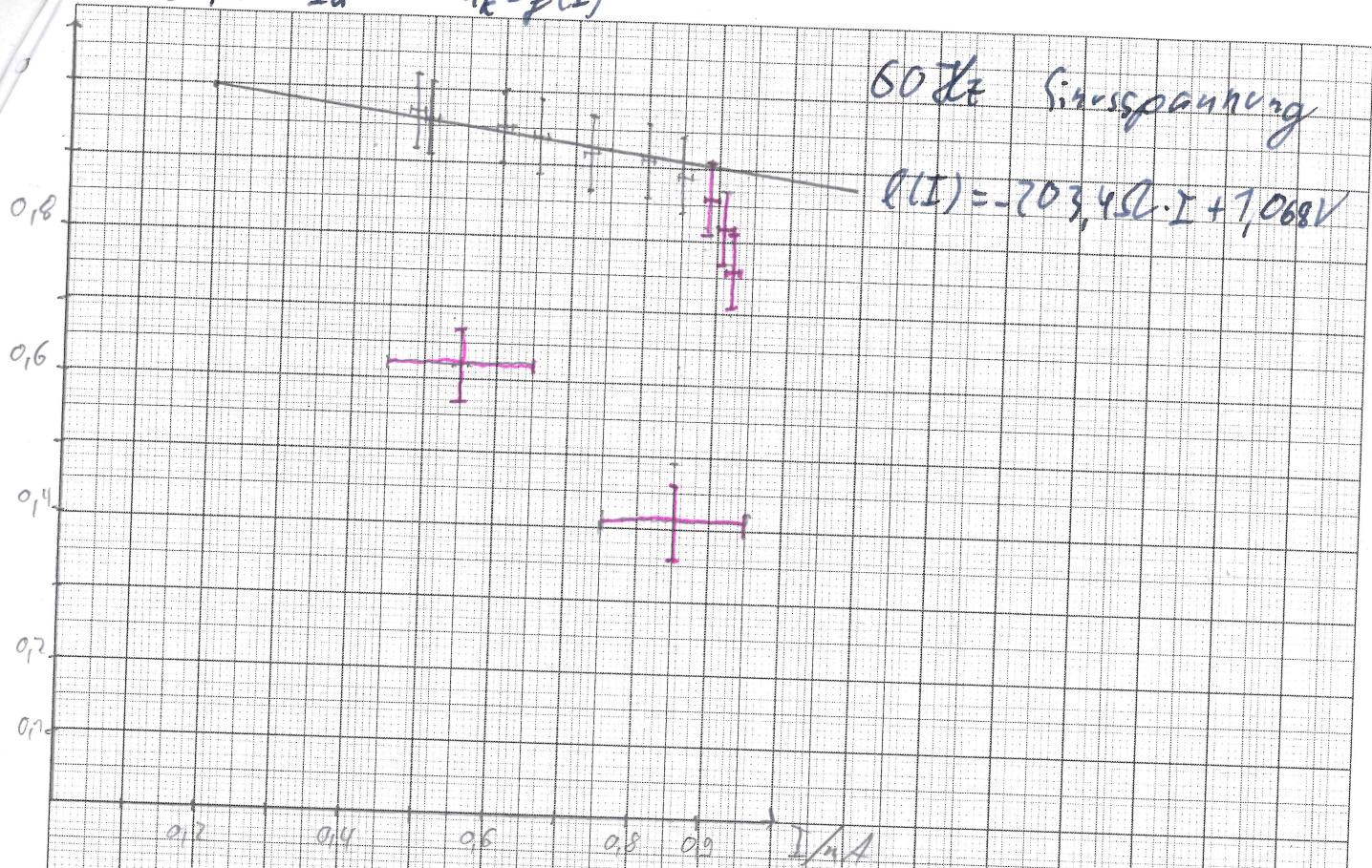
Gegen Spannung?

Graphik 1a

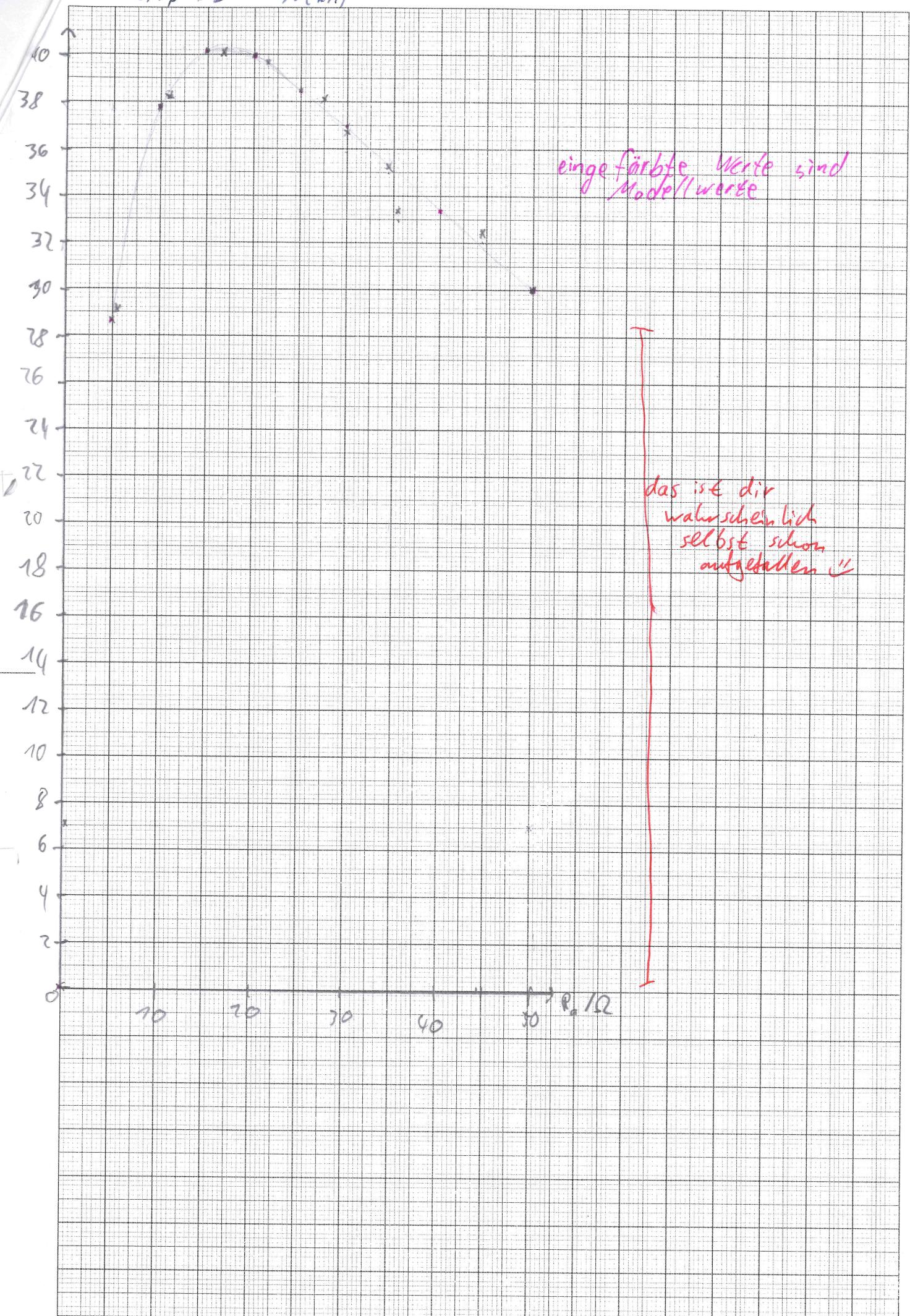
$$U_k = f(I)$$

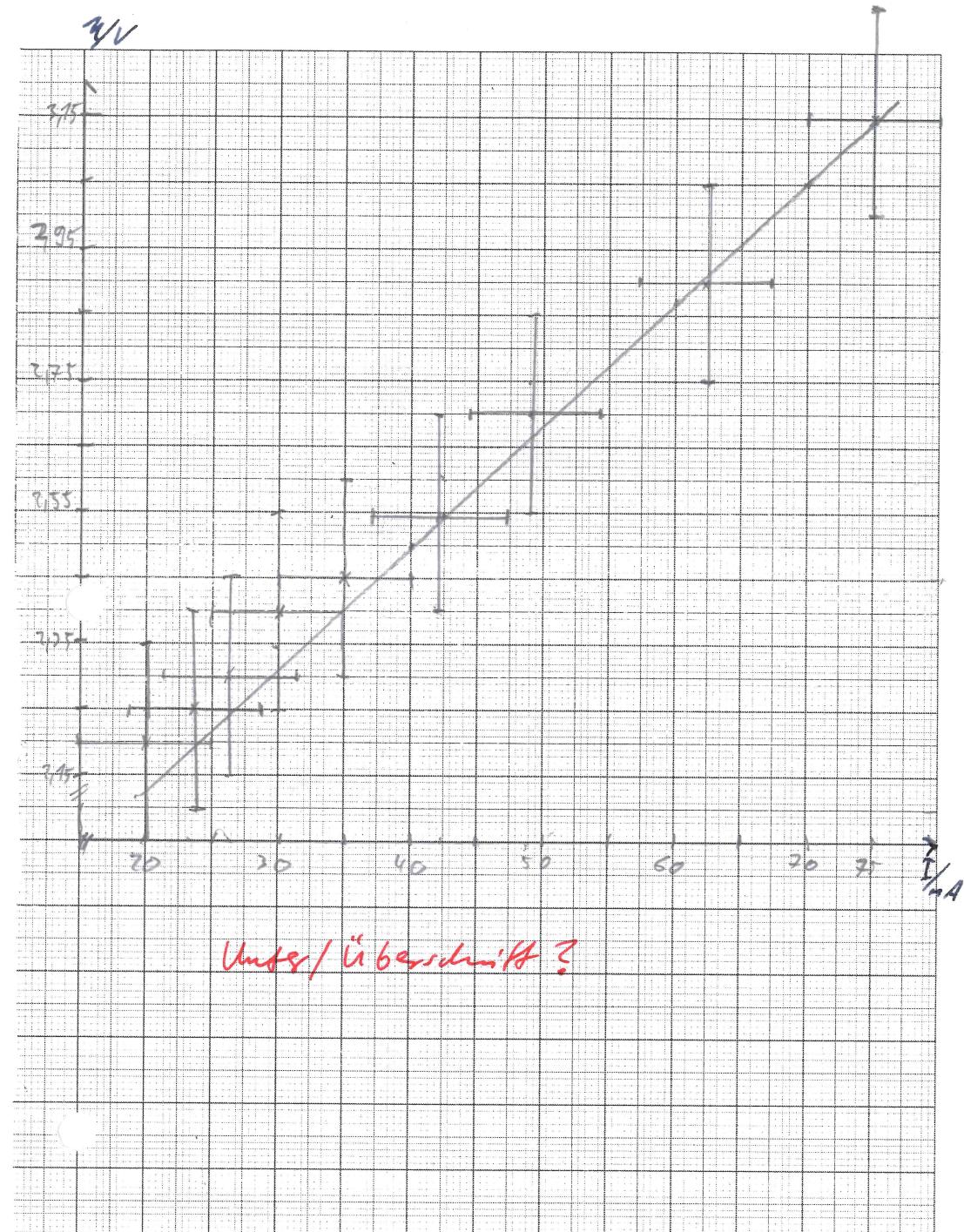
60 % Spannung

$$f(I) = -203,45 \cdot I + 7,068V$$



Graph II  $N(RA)$





## Ergänzung d. Auswertung:

Es wurden mittels linearer Ausgleichsrechnung folgende Innenwiderstände & Leerlaufspannungen bestimmt:

Monozelle:  $R_i = (16,6 \pm 0,17) \Omega$   
 $U_o = (1,635 \pm 0,008) V$

Monozelle b.  $R_i = (17,2 \pm 0,2) \Omega$   
Gegenspannung:  $U_o = (1,848 \pm 0,008) V$

Sinusspannung:  $R_i = (203,4 \pm 17) \Omega$   
 $U_o = (1,068 \pm 0,011) V$

Rechteckspannung:  $R_i = (85,7 \pm 0,5) \Omega$   
 $U_o = (0,6358 \pm 0,0015) V$

## Ergänzung d. Diskussion

Bei Betrachtung der zwei Wertepaare zum Innenwiderstand & der Leerlaufspannung der Monozelle fällt auf, dass zwischen ihnen ein

$$\Delta R_i = (0,6 \pm 0,37) \Omega$$

sowie ein

$$\Delta U_o = (0,213 \pm 0,016) V$$

liegt. Dieser Unterschied ist in der Zuschaltung eines weiteren Gerätes begründet, dessen Eigenwiderstand das Ergebnis verfälscht.