

Berichte der Betriebskontrolle Oppau

Wärmeleitgeräte zur Messung von $N_2 + CO$ in H_2
unter Verwendung von Luft als Vergleichsgas.
Berechnung der Kompensationswiderstände

von Dr. Edg. Ebbinghaus u. Dr. Hch. Wilde.



Wärmeleitgeräte zur Messung von $H_2 + CO$ in H_2 unter Verwendung
von Luft als Vergleichsgas.

Berechnung der Kompensationswiderstände.

In der Aktennotiz 40012 vom 29.4.40^{x)} ist ein Wärmeleitgerät beschrieben, das mit Temperatur- und Heizstromkompensation versehen, zur Messung von H_2 und CO in Wasserstoff dient. Die Schaltung zeigt Bild 1 (Anlage 1). Als Vergleichsgas wird dort Wasserstoff verwendet (Meßbereich 22-32 % $H_2 + CO$). Es wurde dort (Absatz IV) darauf hingewiesen, daß das angewandte Kompensationsprinzip mit zwei Konstantwiderständen voraussichtlich allgemeiner Anwendung fähig sei.

Als es nun später mit der in Bild 2 (Anlage 1) dargestellten Schaltung unter Verwendung von Luft als Vergleichsgas¹⁾ und für Wasserstoff als Betriebsgas gelang, Temperatur- und Stromunabhängigkeit zu erreichen, war dies als Bestätigung der oben gemachten Voraussage in einem extremen Fall anzusehen. Es lag nun nahe, die in der Aktennotiz beschriebene Messung, die an 2 Stellen in Oppau in Betrieb ist, zur Vereinfachung ebenfalls mit Luft als Vergleichsgas auszuführen. Dies wurde mit der in Bild 3 dargestellten Schaltung erreicht. Die Unbequemlichkeit der Verwendung eines anderen Vergleichsgases als Luft bei Messung binärer oder praktisch binärer Gemische ist somit ausgeschaltet²⁾.

Die Größe der in jedem Fall erforderlichen Kompensationswiderstände wurde durch teilweise sehr zeitraubende Versuche experimentell bestimmt. Wie in Nachfolgendem gezeigt wird, können sie aber auch durch Rechnung bestimmt werden.

Um gut definierte Voraussetzungen zu haben, wurden für die Schaltung nach Bild 2 die Zusatzwiderstände für H_2 als Betriebsgas und Luft als Vergleichsgas berechnet und gleichzeitig die Größe des Restfehlers bestimmt, der bei einer weitge-

1) Die Versuche wurden zur Messung von Cl_2 in H_2 unternommen, ~~.....~~

2) Vergl. Patentanmeldung OZ 12 889 vom 11.7.41.

x) und in einer Gebrauchsanweisung (G.A.Nr.239) der Betriebskontrolle Oppau.

hend strom- und temperaturunabhängigen Schaltung bei Änderung von Strom und Temperatur noch auftritt.

1) Aufstellen der Grundgleichungen.

Das Aufstellen der beiden Grundgleichungen sei an Hand der Brückenschaltung für die Kombination H_2 -Luft durchgeführt.

In Bild 2 bedeuten R_H und R_L die Widerstände von mit Wasserstoff bzw. Luft gefüllten Patronen und R_V , R_n , R_3 und R_4 temperaturunabhängige Widerstände. R_3 und R_4 sind so gewählt, daß die Brücke stromlos ist. Vergrößert man die Stromstärke, so wird in den beiden Patronen eine größere Stromwärme erzeugt und die Temperatur der Heizdrähte steigt an und damit deren Widerstand. Soll die Meßanordnung stromunabhängig sein, d.h. die Brücke bei Änderung der Stromstärke stromlos bleiben, so darf das Verhältnis der Widerstände R_1 und R_2 sich nicht ändern, d.h. es muß sein:

$$R_1 : R_2 = \frac{\partial R_1}{\partial t} : \frac{\partial R_2}{\partial t} \quad (1)$$

Auf Grund der gleichen Überlegung ergibt sich die Gleichung:

$$R_1 : R_2 = \frac{\partial R_1}{\partial \vartheta} : \frac{\partial R_2}{\partial \vartheta} \quad (2)$$

ϑ = Außentemperatur,

welche die Bedingung für Temperaturunabhängigkeit darstellt.

2) Anwendung der Grundgleichungen auf die Schaltung für die Messung von Wasserstoff.

In Folgendem bedeutet:

- R_0 = Widerstand des Heizdrahtes einer Patrone bei $0^\circ C$ Temperatur,
- α = Widerstandszahl des Heizdrahtes,
- t = Temperatur des Heizdrahtes,
- ϑ = Raumtemperatur,
- λ = Wärmeleitfähigkeit,
- β = Wärmeleitfähigkeitskoeffizient,
- $R_V = x$ = temperaturunabhängiger Vorschaltwiderstand,
- $R_n = y$ = " " " " Nebenwiderstand,

i = Stromstärke durch die Patronen,

A = Konstante, welche den Einfluß der Oberfläche und des Durchmessers der Patrone auf den Wärmeübergang berücksichtigt.

Der Index H bezieht sich auf Wasserstoff,

" " L " " " Luft.

Mit diesen Bezeichnungen lautet die Bedingung, daß die in einer Patrone entwickelte Stromwärme gleich dem abgegebenen Wärmestrom ist

$$i^2 \cdot 0,24 \cdot R_0 (1 + \alpha t) = A (t - \vartheta) \lambda_0 \left(1 + \beta \frac{t + \vartheta}{2}\right)$$

Daraus ergibt sich durch partielle Differentiation $\frac{\partial i}{\partial t}$ und $\frac{\partial t}{\partial \vartheta}$. Die in Gleichung (1) und (2) vorkommenden Größen

$$\frac{\partial R}{\partial i} = \frac{\partial R}{\partial t} \cdot \frac{\partial t}{\partial i} \quad \text{und}$$

$$\frac{\partial R}{\partial \vartheta} = \frac{\partial R}{\partial t} \cdot \frac{\partial t}{\partial \vartheta}$$

können damit berechnet werden.

Die Rechnung ist in Anlage 2 angegeben und hat folgendes Ergebnis:

a) Gleichung für Stromunabhängigkeit

$$\frac{x + 2 R_0 (1 + \alpha t_H) y^3}{R_0 (1 + \alpha t_L) [2y + R_0 (1 + \alpha t_L)]^2} = \frac{\lambda_L (1 + \alpha t_H)^2 \left\{ (1 + \alpha t_L) \cdot R_0 \alpha (t_L - \vartheta) [2 + \beta (t_L + \vartheta)] + [1 + \beta_L t_L + \alpha \vartheta + \frac{\alpha \beta_L}{2} (t_L^2 + \vartheta^2)] [2y + R_0 (1 + \alpha t_L)] \right\}}{\lambda_H (1 + \alpha t_L)^2 \left[1 + \beta_H t_H (1 + \frac{\alpha}{2} t_H) + \alpha \vartheta + \frac{\alpha \beta_H}{2} \vartheta^2 \right]} \quad (3)$$

b) Gleichung für Temperaturunabhängigkeit

$$\frac{[x + 2 R_0 (1 + \alpha t_H)] y}{R_0 (1 + \alpha t_L) [2y + R_0 (1 + \alpha t_L)]} = \frac{(1 + \beta_H \vartheta) \cdot \frac{i^2 \cdot 0,24 R_0}{A \cdot \lambda_L}}{(1 + \beta_L \vartheta) \cdot \frac{i^2 \cdot 0,24 R_0}{A \cdot \lambda_H}} \quad (4)$$

Die Gleichung (3) liefert zusammengehörige Werte für die beiden Zusatzwiderstände x und y , mit denen die Meßanordnung stromunabhängig wird; das Gleiche leistet Gleichung (4) für Temperaturunabhängigkeit.

3) Zahlenmäßige Auswertung.

Die der Zahlenrechnung zu Grunde gelegten Werte sind folgende:

Widerstand des Heizdrahtes einer Patrone bei 0°C	5,34 Ohm
Wärmeleitzahl für Wasserstoff	$0,410 \cdot 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}}$
" " Luft	$0,058 \cdot 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}}$
Wärmeleitfähigkeitskoeffizient für Wasserstoff	0,0022
" " Luft	0,0028.

Die Konstante A, in welcher Oberfläche und Durchmesser der Patrone berücksichtigt sind, wurde nach Widerstands- und damit Temperaturmessung (Bild 4, Anlage 3) des Heizdrahtes einer Patrone berechnet.

Das Ergebnis der zahlenmäßigen Auswertung der Gleichungen (3) und (4) ist in Bild 5, Anlage 3 dargestellt. Es zeigt einerseits zu einem vorgegebenen Vorschaltwiderstand x den zugehörigen Nebenwiderstand y für eine weitgehend strom- oder temperaturunabhängige Meßanordnung (für $i = 165 \text{ mA}$; Lufttemperatur $\vartheta = 0^\circ\text{C}$), andererseits die Änderung dieser Werte, wenn Strom und Temperatur variiert werden ($i = 150 \text{ mA}$; $\vartheta = 0^\circ\text{C}$ und $i = 165 \text{ mA}$; $\vartheta = 20^\circ\text{C}$).

Der Schnittpunkt zusammengehöriger Kurven ergibt die Werte für die Zusatzwiderstände, für welche sowohl Strom- als auch Temperaturunabhängigkeit erreicht wird. Sie sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 1

Heizstrom mA	Außentemperatur °C	Vorschaltwiderstand x Ohm	Nebenwiderstand y Ohm
165	0	3,8	9,7
150	0	3,2	9,9
165	20	4,05	10,6

Die Tabelle zeigt das überraschende Ergebnis, daß die Zusatzwiderstände stark von der Stromstärke und auch von der Außentemperatur abhängig sind. Es hat danach den Anschein, als wenn mit der angegebenen Schaltung nur in sehr engen Grenzen eine strom- und temperaturunabhängige Meßanordnung erreicht werden kann. Um dies zu prüfen, wurde der Brückenstrom in Abhängigkeit von der Gesamtstromstärke und der Außentemperatur berechnet. Der Rechnung wend dabei als Zusatzwiderstände $x = 4,05 \text{ Ohm}$ und $y = 10,6 \text{ Ohm}$ zu Grun-

de gelegt worden, die weiteren Widerstände wurden so gewählt, daß für $i = 165 \text{ mA}$ und $\vartheta = 0^\circ \text{C}$ die Brücke stromlos ist. Das Ergebnis der Rechnung ist in Bild 6 (Anlage 3) und in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 2

Änderung des Brückenstromes in Abhängigkeit von Stromstärke und Außentemperatur.

(Widerstand des Meßinstrumentes: 200 Ohm).

Außentemperatur °C	Stromstärke i durch Patrone mA	Brückenstrom	
		mV	% des Skalenbereiches (0-5 mV 0-5 % N ₂ in H ₂)
10	160	- 0,05	- 1
20		- 0,10	- 2
30		- 0,15	- 3
10	165	+ 0,05	+ 1
20		-	0
30		- 0,10	- 2
10	170	+ 0,15	+ 3
20		+ 0,10	+ 2
30		0,0	0

Aus Bild 6 und obiger Tabelle folgt, daß bei Änderung der Stromstärke um 3 % und der Außentemperatur um 10°C eine Änderung des Ausschlags des Meßinstrumentes um max. 3 % des gesamten Meßbereiches (0-5 mV) bewirkt wird, d.h., daß mit der angegebenen Schaltung Verunreinigungen in Wasserstoff praktisch strom- und temperaturunabhängig gemessen werden können. Zur allgemeinen Orientierung sei noch vermerkt, daß der Endausschlag des Instrumentes bei Beimischung von ca. 5 % N₂ zum H₂ erreicht wird.

4) Übereinstimmung der Rechnung mit dem Experiment.

Auf Grund der früheren Versuche (vergl. Seite 1, Fußnote 1) ist es nun im Falle der Stromunabhängigkeit möglich, die Ergebnisse der Rechnung mit dem Experiment zu vergleichen. In Anlage 3, Bild 5 sind die Meßergebnisse für die Stromabhängigkeit bei Zimmertemperatur und ca. 165 mA Heizstrom mit eingetragen. Man sieht, daß der Verlauf dem theoretisch geforderten durchaus

ähnlich ist. Für die geringe Parallelverschiebung der Kurven sind eine Reihe von Einflüssen verantwortlich zu machen (Ungleichheit der Patronen, nicht genügend genaue Kenntnis von Temperatur und Stromstärke bei den früher zu anderem Zweck angestellten Messungen).

Leider liegt keine experimentelle Kurve bei Temperaturabhängigkeit vor. Eine solche könnte nur in außerordentlich langwieriger Versuchsarbeit, die praktisch kaum aufgebracht werden kann, ermittelt werden. Umso wertvoller ist hier die theoretische Kurve, die den ungefähren Verlauf angibt.

Abschließend kann gesagt werden, daß die befriedigende Übereinstimmung von Rechnung und Experiment im vorliegenden Fall zu der Hoffnung berechtigt, daß die Rechnung bei der Lösung zukünftiger Kompensationsprobleme beim Wärmeleitgerät wertvolle Hinweise geben kann.

Zusammenfassung.

- 1) Es wurden die allgemeinen Gleichungen zur Berechnung der zur Erzielung von Temperatur- und Stromabhängigkeit notwendigen Kompensationswiderstände für Wärmeleitgerätschaltungen entwickelt.
- 2) Für die Schaltung zur Messung von H_2 wurden besondere Gleichungen zur Berechnung der Zusatzwiderstände abgeleitet.
- 3) Die zahlenmäßige Auswertung hatte folgendes Ergebnis:
 - a) Die Zusatzwiderstände können innerhalb kleiner Grenzen geändert werden, ohne daß die besonderen Eigenschaften der Meßanordnung, weitgehend strom- und temperaturunabhängig zu sein, wesentlich beeinflusst werden.
 - b) Die Änderung des Brückenstromes bei Strom- und Temperaturschwankungen wurde berechnet.
- 4) Die experimentellen und rechnerischen Ergebnisse stimmen befriedigend überein.

Wille Elbighy

Gom

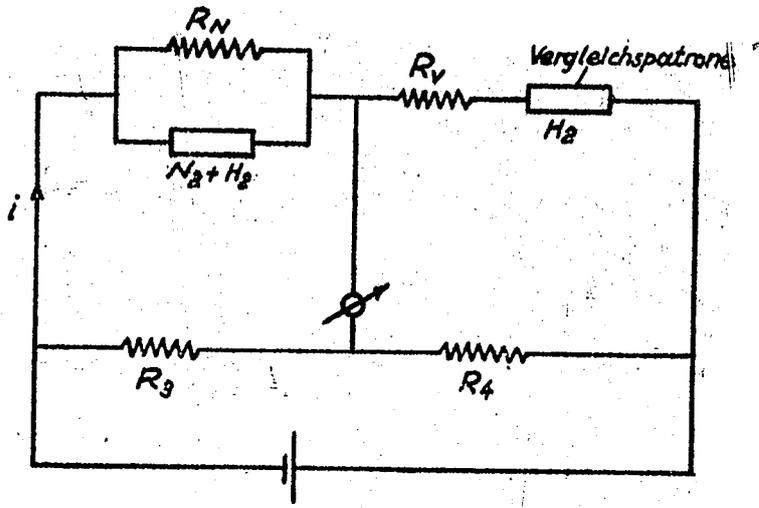


Bild 1

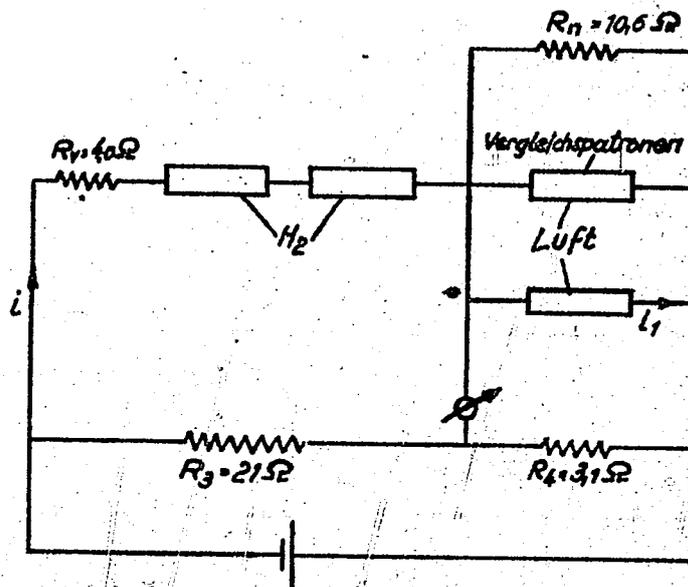


Bild 2

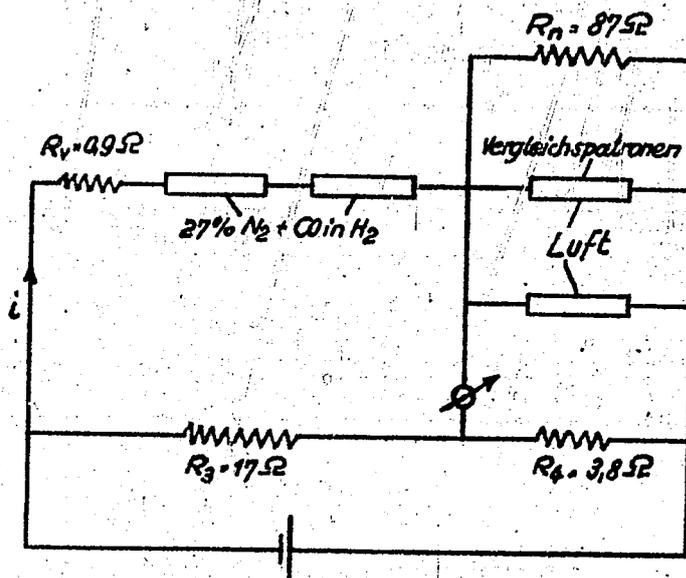
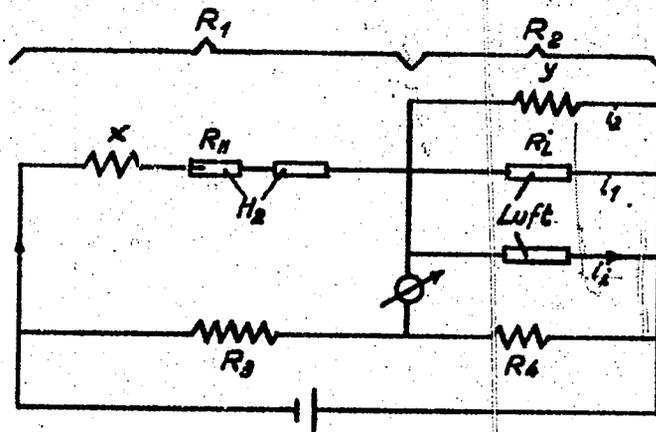


Bild 3

Berechnung der Gleichungen für Strom- u. Temperaturunabhängigkeit

8400



(Erklärung der Bezeichnungen siehe Abschnitt 2)

1.) Widerstände R_1 und R_2

$$R_1 = x + 2 R_0 (1 + \alpha t_H)$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{y} + \frac{2}{R_0 (1 + \alpha t_L)}$$

$$R_2 = \frac{y \cdot R_0 (1 + \alpha t_L)}{2y + R_0 (1 + \alpha t_L)}$$

2.) Stromstärke:

durch H_2 -Patrone: i

durch Luft-Patrone: i_1
 $i_1 \cdot R_0 (1 + \alpha t_L) = i_2 \cdot y$

$$2i_1 + i_2 = i$$

$$i_1 = \frac{y \cdot i}{2y \cdot R_0 (1 + \alpha t_L)}$$

3.) Berechnung der Differentialquotienten $\frac{\partial R}{\partial t}$

$$\frac{\partial R_1}{\partial t_H} = 2 R_0 \cdot \alpha$$

$$\frac{\partial R_2}{\partial t_L} = \frac{2y^2 R_0 \cdot \alpha}{[2y + R_0 (1 + \alpha t_L)]^2}$$

4.) Berechnung von $\frac{\partial i}{\partial t}$

$$i^2 = 0,24 \cdot R_0 (1 + \alpha t_H) = A (t_H - \vartheta) \cdot \lambda_H (1 + \beta_H \frac{t_H + \vartheta}{2})$$

$$\frac{\partial i}{\partial t_H} = \frac{A \lambda_H}{2 \cdot 0,24 R_0} \cdot \frac{1 + \beta_H t_H (1 + \alpha t_L) + \alpha \vartheta + \alpha \beta_H \vartheta^2}{(1 + \alpha t_H)^2}$$

$$\frac{y^2 i^2}{[2y + R_0 (1 + \alpha t_L)]^2} = 0,24 \cdot R_0 (1 + \alpha t_L) = A (t_L - \vartheta) \lambda_L (1 + \beta_L \frac{t_L + \vartheta}{2})$$

$$\frac{\partial i}{\partial t_L} = \frac{A \lambda_L [2y + R_0 (1 + \alpha t_L)]}{2 \cdot 0,24 \cdot y^2 \cdot R_0 (1 + \alpha t_L)^2 \cdot R_0 \cdot \alpha \cdot [2y + R_0 (1 + \alpha t_L)] + [1 + \beta_L (t_L - \vartheta)] [1 + \beta_L (t_L + \vartheta)] + [1 + \beta_L (t_L - \vartheta)] [1 + \beta_L (t_L + \vartheta)]}$$

5.) Berechnung von $\frac{\partial t}{\partial \vartheta}$

$$\frac{\partial t_H}{\partial \vartheta} = \frac{1 + \beta_H \vartheta}{1 + \beta_H t_H} = \alpha \cdot \frac{[1 + \beta_H (t_H - \vartheta)] [1 + \beta_H (t_H + \vartheta)] + [1 + \beta_H (t_H - \vartheta)] [1 + \beta_H (t_H + \vartheta)]}{A \cdot \lambda_H}$$

$$\frac{\partial t_L}{\partial \vartheta} = \frac{1 + \beta_L \vartheta}{1 + \beta_L t_L} = \alpha \cdot \frac{[1 + \beta_L (t_L - \vartheta)] [1 + \beta_L (t_L + \vartheta)] + [1 + \beta_L (t_L - \vartheta)] [1 + \beta_L (t_L + \vartheta)]}{A \cdot \lambda_L}$$

6.) Gleichung für Stromunabhängigkeit

$$R_1 \cdot R_2 = \left(\frac{\partial R_1}{\partial t} \cdot \frac{\partial t}{\partial \vartheta} \right) \cdot \left(\frac{\partial R_2}{\partial t} \cdot \frac{\partial t}{\partial \vartheta} \right)$$

$$\frac{[x + 2 R_0 (1 + \alpha t_H)] y^2}{R_0 (1 + \alpha t_L) [2y + R_0 (1 + \alpha t_L)]} = \frac{\lambda_L (1 + \beta_L t_H)^2 \cdot [1 + \beta_L (t_H - \vartheta)] [1 + \beta_L (t_H + \vartheta)] \cdot [1 + \beta_L (t_L - \vartheta)] [1 + \beta_L (t_L + \vartheta)]}{\lambda_H (1 + \beta_H t_H)^2 \cdot [1 + \beta_H (t_H - \vartheta)] [1 + \beta_H (t_H + \vartheta)] + \alpha \vartheta^2 + \alpha \beta_H \vartheta^2}$$

7.) Gleichung für Temperaturunabhängigkeit

$$R_1 : R_2 = \left(\frac{\partial R_1}{\partial t} \cdot \frac{\partial t}{\partial \vartheta} \right) \cdot \left(\frac{\partial R_2}{\partial t} \cdot \frac{\partial t}{\partial \vartheta} \right)$$

$$\frac{[x + 2 R_0 (1 + \alpha t_H)] \cdot y}{R_0 (1 + \alpha t_L) [2y + R_0 (1 + \alpha t_L)]} = \frac{(1 + \beta_H \vartheta) \cdot (1 + \beta_L t_L - \alpha \cdot \frac{i^2 \cdot 0,24 \cdot R_0}{A \cdot \lambda_L})}{(1 + \beta_L \vartheta) \cdot (1 + \beta_H t_H - \alpha \cdot \frac{i^2 \cdot 0,24 \cdot R_0}{A \cdot \lambda_H})}$$

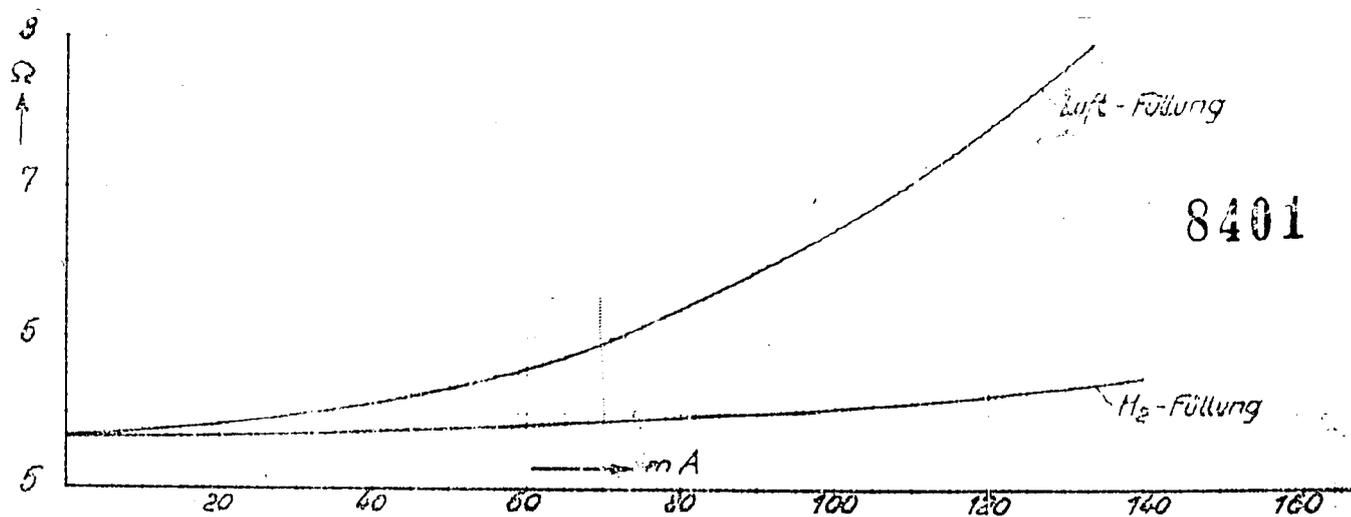


Bild. 4 Gemessener Widerstand des Heizdrahtes einer Patrone mit H_2 und Luft-Füllung in Abhängigkeit von der Stromstärke.

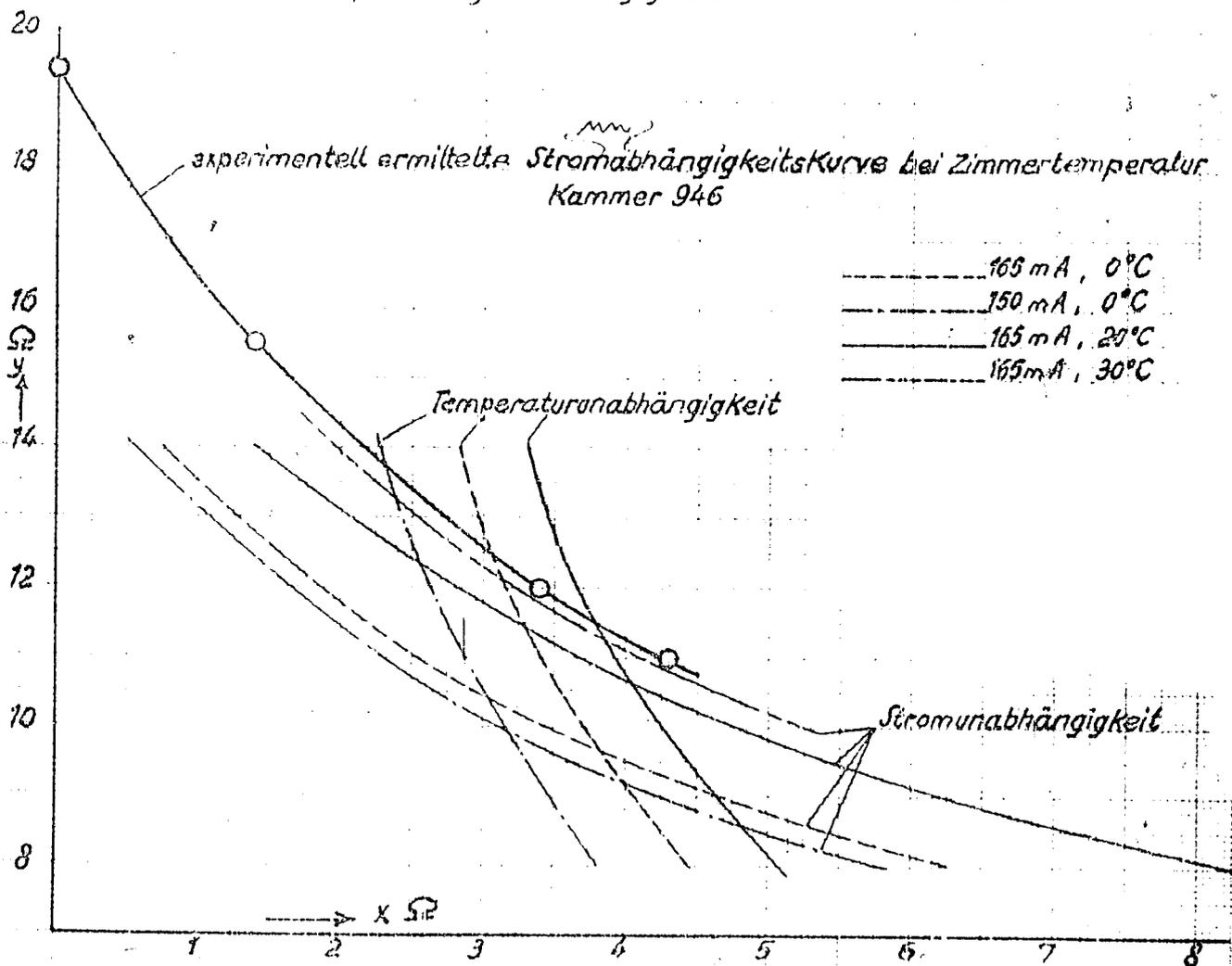


Bild. 5 Zusatzwiderstände x und y bei weitgehend Strom- oder temperatur-unabhängiger Schaltung für verschiedene Stromstärken u. Temperaturen.

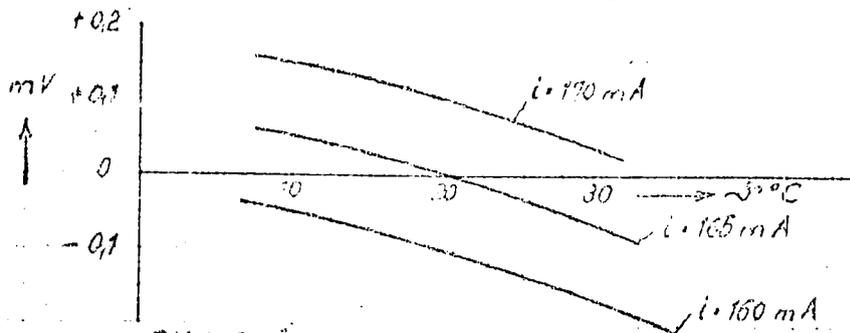


Bild. 6 Änderung des Brückenstromes in Abhängigkeit von Stromstärke und Außentemperatur (Innere Widerstand des Meßgerätes 200 Ω)

$$\underbrace{\frac{\alpha \cdot i^2 \cdot 0,24 \cdot R_0}{\pi \cdot \lambda}}_B (1 + \alpha t) = \underbrace{(t - \tau)}_I \underbrace{\left(1 + \beta \frac{t + \tau}{2}\right)}_{II} \underbrace{\left[2\gamma + R_0 (1 + \alpha t)\right]^2}_{III}$$

$$B \cdot \alpha \cdot \frac{dt}{d\tau} = \left(\frac{dt}{d\tau} - 1\right) \cdot \underline{II} \cdot \underline{III} + \underline{I} \cdot \underline{III} \cdot \frac{\beta}{2} \left(\frac{dt}{d\tau} + 1\right) + \underline{I} \cdot \underline{II} \cdot \sqrt{\underline{III}} \cdot 2 R_0 \alpha \cdot \frac{dt}{d\tau}$$

$$\frac{dt}{d\tau} \left(B \cdot \alpha - \underline{II} \cdot \underline{III} - \underline{I} \cdot \underline{III} \cdot \frac{\beta}{2} - \underline{I} \cdot \underline{II} \cdot \sqrt{\underline{III}} \cdot 2 R_0 \alpha \right) = - \underline{II} \cdot \underline{III} + \underline{I} \cdot \underline{III} \cdot \frac{\beta}{2}$$

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\underline{II} \cdot \underline{III} - \underline{I} \cdot \underline{III} \cdot \frac{\beta}{2}}{\underline{II} \cdot \underline{III} + \underline{I} \cdot \underline{III} \cdot \frac{\beta}{2} + \underline{I} \cdot \underline{II} \cdot \sqrt{\underline{III}} \cdot 2 R_0 \alpha - B \cdot \alpha}$$

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\underline{II} - \underline{I} \cdot \frac{\beta}{2}}{\underline{II} + \underline{I} \cdot \frac{\beta}{2} + \frac{\underline{I} \cdot \underline{II}}{\sqrt{\underline{III}}} \cdot 2 R_0 \alpha - \frac{B \cdot \alpha}{\underline{III}}}$$

$$= \frac{1 + \frac{\beta}{2}(t + \tau) - \frac{\beta}{2}(t - \tau)}{1 + \beta \frac{t + \tau}{2} + \frac{\beta}{2}(t - \tau) + \frac{(t + \tau)(1 + \beta \frac{t + \tau}{2})}{2\gamma + R_0(1 + \alpha t)} \cdot 2 R_0 \alpha - \frac{\alpha \cdot i^2 \cdot 0,24 \cdot R_0}{\pi \cdot \lambda [2\gamma + R_0(1 + \alpha t)]^2}}$$

$$= \frac{1 + \beta \tau}{1 + \beta t - \frac{\alpha \cdot i^2 \cdot 0,24 \cdot R_0}{\pi \cdot \lambda} + \frac{(t - \tau) \cdot (1 + \beta \frac{t + \tau}{2}) \cdot 2 R_0 \alpha}{2\gamma + R_0(1 + \alpha t)}}$$

Berechnung der Auslastung für einen Kunden

8403

1) Erwartungswert

$$x + 2 R_0 (1 + \alpha t_n) \cdot y = \frac{\left(\frac{1 + \beta \cdot y}{1 + \beta \cdot t - \alpha \cdot \frac{(t - \tau)(1 + \beta \cdot y)}{1 + \beta \cdot t}} \right) \cdot H}{R_0 (1 + \alpha t_n) [2y + R_0 (1 + \alpha t_n)]}$$

$R_0 = 5.34$ $\beta_H = 0.0022$ $\tau_H = 40$
 $\alpha = 0.004$ $\beta_X = 0.0028$ $\tau_X = 58$

$i = 165$ cc A ; $\tau = 0$ $R_0 (1 + \alpha t_n) = 5.88$ $t_n = 26$

y	i	t _n	R ₀ (1+αt _n)	βt	αt	α(t-τ)	βt+β	αt-β/(1+βt)	1+βt-α	() _N	x+2R ₀ (1+αt _n)	x
8	60.4	22	5.81	0.0616	0.088		0.0308	0.0333	0.9783	1.022	16.22	4.46
9	62.7	23.4	5.83	158	936		328	884	9772	1.024	15.75	3.99
10	63.7	24.5	5.85	686	98		343	922	9764		15.42	3.66
11	65.1	25.5	5.87	744	102		357	958	9752		15.17	3.41
12	66.3	26.4	5.89	740	1058		370	990	9749		14.97	3.21
13	67.3	27.3	5.91	765	1092		382	1023	9743		14.77	3.07
14	68.1	28.0	5.93	785	112		392	1046	9738		14.62	2.86

$$\left(\right)_{42} = \frac{1}{1 + 0.0022 \cdot 26 - 0.004 \cdot 26} = \frac{1}{1.0572 - 0.104} = \frac{1}{0.9532} = 1.049$$

$i = 150$ cc A ; $\tau = 0$ $R_0 (1 + \alpha t_n) = 5.80$ $t_n = 21$

y	i	t _n	R ₀ (1+αt _n)	βt	αt	α(t-τ)	βt+β	αt-β/(1+βt)	1+βt-α	() _N	x+2R ₀ (1+αt _n)	x
8	55.2	18	5.72	0.0576	0.072		0.0288	0.0688	0.9564	1.045	15.40	3.80
9	56.8	19.3	5.75	54	772		27	740	9530		15.10	3.50
10	58.2	20.4	5.78	585	816		282	777	9505		14.70	3.10
11	59.3	21.4	5.80	599	852		30	812	9485		14.58	2.98
12	60.3	22.3	5.83	624	897		312	844	9468		14.22	2.62
13	61.4	23.2	5.84	649	927		324	875	9449		14.04	2.44
14	62.0	24.0	5.85	672	960		336	903	9433		13.88	2.28

$$\left(\right)_{42} = \frac{1}{1 + 0.0022 \cdot 21 - 0.004 \cdot 21} = \frac{1}{1.0462 - 0.084} = \frac{1}{0.9622} = 1.039$$

$i = 165$ cc A ; $\tau = 20$ $R_0 (1 + \alpha t_n) = 6.34$ $t_n = 46.7$

y	i	t _n	R ₀ (1+αt _n)	βt	αt	α(t-τ)	βt+β	αt-β/(1+βt)	1+βt-α	() _N	x+2R ₀ (1+αt _n)	x
8	59.3	41.3	6.23	0.116	0.1652	0.0786	0.088	0.079	1.037	1.017	17.78	5.10
9	62.8	44.0	6.28	124	1760	0.856	90	89	1.035	1.020	16.92	4.24
10	65.3	46.7	6.33	128	1845	0.906	93	96	1.032	1.022	16.35	3.67
11	67.3	47.8	6.36	134	1912	0.946	95	102	1.032	1.020	15.99	3.31

$$\left(\right)_{42} = \frac{1}{1 + 0.0022 \cdot 46.7 - 0.004 \cdot 46.7} = \frac{1}{1.044 - 0.1868} = \frac{1}{0.8572} = 1.166$$

Fluorimessung

8404

$$R_0(1+\alpha t_N) z^3 = \frac{R_0(1+\alpha t_N) \left[2\beta t_N + \alpha(1+\alpha t_N) \right] + \left[1+\beta t_N + \alpha\beta + \frac{\alpha\beta}{2}(t_N^2 + 2t_N) \right] \left[2\beta + R_0(1+\alpha t_N) \right]}{(1+\alpha t_N) \left[2R_0 + R_0(1+\alpha t_N) \right]} = \frac{R_0(1+\alpha t_N) \left[2\beta t_N + \alpha(1+\alpha t_N) \right] + \left[1+\beta t_N + \alpha\beta + \frac{\alpha\beta}{2}(t_N^2 + 2t_N) \right] \left[2\beta + R_0(1+\alpha t_N) \right]}{2R_0(1+\alpha t_N)^2} \cdot \left(1 + \beta t_N + \alpha\beta + \frac{\alpha\beta}{2}(t_N^2 + 2t_N) \right)$$

i = 165 m A z = 0

y	$2\beta(1+\alpha t_N) + \beta(t_N^2 + 2t_N)$	A $(1+\alpha t_N) \left[2R_0 + R_0(1+\alpha t_N) \right]$	B $\frac{1+\beta t_N + \alpha\beta + \frac{\alpha\beta}{2}(t_N^2 + 2t_N)}{2}$	C $B[2\beta + R_0(1+\alpha t_N)]$	A+C	$x + 2R_0(1+\alpha t_N)$	x
8	45.35	1.05	1.064	23.2	24.25	18.05	6.29
9	48.3	1.13	6.8	25.5	25.63	16.48	4.76
10	50.7	1.185	7.1	27.7	28.88	15.30	3.54
11	52.8	1.24	7.4	29.9	31.14	14.32	2.58
12	54.8	1.29	7.7	32.2	33.49	13.60	1.84
13	56.7	1.34	8.0	34.5	35.84	12.03	1.27
14	58.2	1.38	8.2	36.7	38.08	12.50	0.74

$$1 + \beta t_N + \alpha\beta + \frac{\alpha\beta}{2}(t_N^2 + 2t_N) = 1 + 0.0022 \cdot 36 \cdot (1 + 0.0022 \cdot 36) = 1.06$$

i = 150 m A z = 0

8	36.9	0.905	1.0522	22.85	23.75	17.45	5.85
9	38.7	9.55	1.0581	25.1	26.05	16.85	4.25
10	42.0	1.052	1.0593	27.3	28.35	14.82	3.22
11	44.1	1.112	1.0626	29.5	30.61	13.90	2.30
12	46.0	1.168	1.0652	31.8	32.97	13.30	1.70
13	47.9	1.220	1.0680	34.0	35.22	12.69	1.07
14	49.6	1.273	1.0703	36.25	37.52	12.15	0.55
15	52.8	1.370	1.0746	45.0	46.37	10.80	-0.80

$$= 1 + 0.0022 \cdot 21 \cdot (1 + 0.0022 \cdot 21) = 1.048$$

i = 165 m A z = 20 °C

8	46.3	1.155	1.2078	26.8	27.95	20.9	8.22
9	52.3	1.315	1.217	32.0	33.32	17.45	4.77
10	57.1	1.445	1.222	37.1	38.54	15.50	2.82
11	60.9	1.54	1.229	42.25	43.79	14.10	1.42

$$= 1 + 0.0022 \cdot 46.7 \cdot (1 + 0.0022 \cdot 46.7) + 0.004 \cdot 20 + \frac{0.004 \cdot 0.0022 \cdot 46.7^2}{2}$$

$$= 1 + \frac{0.103 \cdot 1.0934}{0.913} + 0.08 + 0.002 = 1.195$$

8405

165 mV

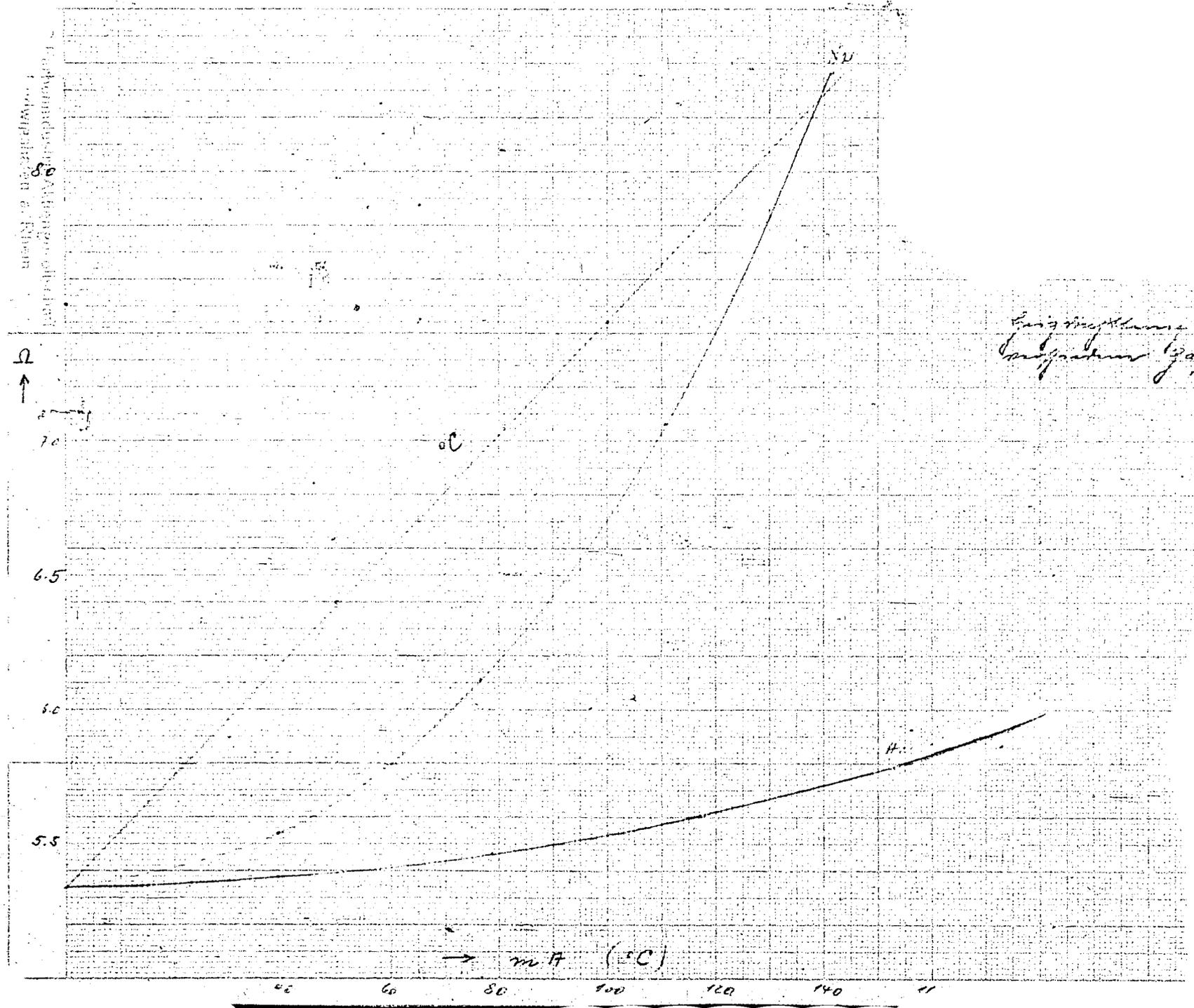
 $R_s = 25$ $t_H = 51.9^\circ\text{C}$

Z	t_N	R_L	$2(t-t_s) + \beta(t-t_s)^2$	A	B	C	MAC	$x_1 + \beta R_0(\)$	X
8	46.1	6.33	46.5	1.17	1.244	27.8	29.0	21.48	8.37
10	48.9	6.38	50.8	1.35	1.254	33.1	34.4	17.98	5.06
12	57.0	6.43	57.5	1.48	1.261	38.4	39.9	16.00	3.08
14	52.8	6.46	61.8	1.60	1.268	43.7	45.3	14.58	1.66

$$1 + \beta t_H = 1.229$$

J	z	v_1	x	y	t_H	t_D	R_H	R_E	R_1	R_2	R_3 R_4 $R_4 = 3.07$	R_2 R_3 $R_3 = 2.1$	ΔR	mv	SK %
160	10	63.2	4.0	10.6	34.3	37.8	6.08	6.065	16.16	2.363	4950	4949	-1	-0.25	-1
	20	61.8			44.5	43.7	6.29	6.27	16.58	2.495	5079	5077	-2	-0.10	-2
	30	61.4			54.7	53.6	6.50	6.48	17.00	2.485	5208	5205	-3	-0.75	-3
165	10	65.5			36.3	36.5	6.11	6.115	16.22	2.375	4970	4972	+1	+0.05	+1
	20	65.1			46.7	46.3	6.34	6.33	16.68	2.440	5110	5110	-	0.0	0
	30	64.7			57.2	56.1	6.568	6.54	17.13	2.504	5247	5245	-2	-0.10	-2
170	10	66.0			37.6	37.0	6.145	6.13	16.29	2.374	4990	4995	+3	+0.75	+3
	20	65.4			47.9	46.75	6.36	6.34	16.72	2.443	5114	5116	+2	+0.10	+2
	30	64.9			58.1	56.5	6.58	6.55	17.16	2.507	5257	5257	-0	+0.0	+0

840



Eigenschaften für ...