

EUR 1631.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM

**EICHUNG MAGNETISCHER
DURCHFLOUSSFMESSER FÜR FLÜSSIGMETALLE**

von

B. SCHELTEN - PETERSSEN und W. SCHULZE

1964



**Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra - Italien**

Wärmeübertragungsdienst

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen :

- 1° — keine Gewähr dafür übernehmen, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder dass die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstösst ;
- 2° — keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird zum Preise von 60,— bfrs. verkauft. Bestellungen sind zu richten an: PRESSES ACADEMIQUES EUROPEENNES — 98, chaussée de Charleroi, Brüssel 6.

Die Zahlung ist zu leisten durch Überweisung an

— die BANQUE DE LA SOCIETE GENERALE (Agence Ma Campagne) — Brüssel — Konto Nr. 964.558 ;

— die BELGIAN AMERICAN BANK and TRUST COMPANY — New York — Konto Nr. 121.86 ;

— die LLOYDS BANK (Foreign) Ltd. — 10 Moorgate, London E.C.2,

als Bezug ist anzugeben : « EUR 1631.d — Eichung magnetischer Durchflussmesser für Flüssigmetalle ».

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

EUR 1631.d

EICHUNG MAGNETISCHER DURCHFLUSSMESSER FÜR FLÜSSIGMETALLE von B. SCHELTEN-PETERSSEN und W. SCHULZE

Europäische Atomgemeinschaft — EURATOM
Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra (Italien)
Wärmeübertragungsdienst
Brüssel, April 1964 — 38 Seiten — 20 Abb.

Der vorliegende Bericht beschreibt eine Eichanlage für magnetische Durchflussmesser, die Messungen mit einem mittleren Fehler von weniger als 1 % ermöglicht. Weiterhin werden die theoretischen Berechnungsverfahren für die Durchflussanzeige und die mit dem Kreislauf erhaltenen Messergebnisse beschrieben.

EUR 1631.d

CALIBRATION LOOP OF HIGH PRECISION FOR MAGNETIC FLOWMETER by B. SCHELTEN-PETERSSEN and W. SCHULZE

European Atomic Energy Community — Euratom
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment (Italy)
Heat Exchanges Service
Brussels, April 1964 — 38 pages — 20 figures

In this report a calibration loop of high precision for magnetic flowmeter is described. Medium errors are less than 1 %. Furthermore a theoretical method to calculate the massflow and all obtained results using this loop are described.

EUR 1631.d

CALIBRATION LOOP OF HIGH PRECISION FOR MAGNETIC FLOWMETER by B. SCHELTEN-PETERSSEN and W. SCHULZE

European Atomic Energy Community — Euratom
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment (Italy)
Heat Exchanges Service
Brussels, April 1964 — 38 pages — 20 figures

In this report a calibration loop of high precision for magnetic flowmeter is described. Medium errors are less than 1 %. Furthermore a theoretical method to calculate the massflow and all obtained results using this loop are described.

EUR 1631.d

CALIBRATION LOOP OF HIGH PRECISION FOR MAGNETIC FLOWMETER by B. SCHELTEN-PETERSSEN and W. SCHULZE

European Atomic Energy Community — Euratom
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment (Italy)
Heat Exchanges Service
Brussels, April 1964 — 38 pages — 20 figures

In this report a calibration loop of high precision for magnetic flowmeter is described. Medium errors are less than 1 %. Furthermore a theoretical method to calculate the massflow and all obtained results using this loop are described.

EUR 1631.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM

EICHUNG MAGNETISCHER
DURCHFLOSSMESSER FÜR FLÜSSIGMETALLE

von

B. SCHELTEN - PETERSSEN und W. SCHULZE

1964



Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra - Italien

Wärmeübertragungsdienst

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	2
1. Einleitung	3
2. Für Flüssigmetall benutzte Durchflußmesser	4
2.1. Theoret. Berechnung der Anzeige bei . magnet. Durchflußmessern	4
3. Beschreibung der allgemein benutzten Eichanlage	6
3.1. Schwierigkeiten und Fehlerquellen dieser Anordnung	6
4. Beschreibung der von uns benutzten Versuchsanordnung	7
4.1. Photoelektrische Abtastung der Waage	7
4.2. Feldstärkemessung der Magnete	8
4.3. Fehlerabschätzung der Meßanordnung	10
5. Eichung und Versuchsdurchführung	11
6. Allgemein auftretende Meßfehler bei der Durchflußmessung	11
6.1. Änderung der Anzeige durch verschiedene Anordnung der Elektroden zu den Magnetpolen	12
6.1.1. Verschiebung der Magnete in axialer Richtung	12
6.1.2. Verschiebung in radialer Richtung	12

./.

6.1.3. Drehung des Magneten um das Rohr	12
6.2. Einfluß der Wandstärkenänderung auf die Durchflußanzeige.....	12
6.3. Einfluß der Temperatur von Rohrwand und Magnet (K-Faktoren).....	13
6.4. Einfluß von Turbulenz im Meßrohr	13
6.5. Anzeigeänderung bei verschiedenen Elektrodenformen.....	13
6.6. Thermospannungen.....	14
7. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.....	14

Literaturverzeichnis

Abbildungen, Kurven

1. EINLEITUNG

Um die in unseren Kreisläufen benutzten Durchflußmesser, Pumpen und Druckmeßgeräte zu eichen und zu prüfen, wurde der in diesem Bericht beschriebene Eichkreislauf konstruiert und ausgeführt.

Im Folgenden werden die mit diesem Kreislauf erhaltenen Meßergebnisse beschrieben und die Nachteile der allgemein verwendeten Anordnung zur Eichung von Durchflußmessern aufgezeigt.

2. FÜR FLÜSSIGMETALL BENUTZTE DURCHFLUSSMESSER.

Die konventionellen Meßgeräte zur Durchflußmessung von Flüssigkeiten, wie z.B. Blenden, Venturirohre oder Rotationsdurchflußmesser, können für Flüssigmetalle nur unter Vorbehalt verwendet werden. Bei allen diesen Geräten besteht die Gefahr, daß sich Oxyde absetzen und dadurch die Meßwerte verfälschen. Deshalb entwickelte man einen Durchflußmesser nach dem Generatorprinzip. In einem Leiter, der ein magnetisches Feld durchschneidet, wird eine EMK induziert, Das Magnetfeld wird hierbei entweder durch einen Permanentmagneten oder Elektromagneten geliefert. Der Elektromagnet gibt zwar ein größeres Magnetfeld, jedoch muß die Stromversorgung so stabilisiert werden, daß das Feld konstant bleibt. Deshalb ist mit diesen Geräten ein erheblicher Kostenaufwand verbunden, der sich nur bei großen Rohrdurchmessern rechtfertigen läßt und so verwendet man bis zu einem Rohrdurchmesser von 50 mm in den meisten Fällen Permanentmagnete. Bei diesen muß jedoch von Zeit zu Zeit die Feldstärke überprüft werden, da bei einer Änderung des Feldes eine Neu-eichung nötig ist.

2.1. Theoretische Berechnung der Anzeige bei magnetischen Durchflußmessern.

Die elektromotorische Kraft, die im Durchflußmesser induziert wird, berechnet sich aus der Formel

$$E = 0,1 B v l k_1 k_2 k_3 \quad [mV] \quad (1)$$

Hierin ist: B = Feldstärke in Gauß

v = Durchfluß des Metalles in m/sec

l = Rohrinne Durchmesser in m

k₁ = Faktor zur Berücksichtigung des Shunt-effektes von Rohrwand und Flüssigmetall

k₂ = Faktor zur Berücksichtigung der begrenzten Dimension des Magnetfeldes unter Betriebsbedingungen (Abb. 2)

k_3 = Faktor zur Berücksichtigung der Feldänderung durch erhöhte Magnettemperaturen.

$$k_1 = \frac{2 \frac{d}{D}}{1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2 + \frac{\varphi_f}{\varphi_w} \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]} \quad (2)$$

$$k_3 = \frac{1 - \alpha_m (t_m - 20)}{1 - 6,95 \cdot 10^{-6} \frac{b}{a} (t_m - t_b)} \quad (3)$$

$$\alpha_m = \frac{B_{t_1} - B_{t_2}}{B_{t_1} - (t_2 - 20)} \quad (4)$$

- Hierin ist:
- D = Rohraußendurchmesser
 - d = Rohrinnendurchmesser
 - φ_w = elektr. spez. Widerstand der Rohrwand
 - φ_f = elektr. spez. Widerstand des Flüssigmetalles
 - α = Temperaturkoeffizient für die Feldstärkeänderung
 - t_m = Temperatur der Magnetpole
 - t_b = Temperatur des Magnetfußes
 - t_2 = mittlere Magnettemperatur

- a = Luftspaltgröße
- b = Polabstand auf der Grundplatte
- B_{t_1} = Feldstärke bei der Temperatur t_1 in Gauß
- B_{t_2} = Feldstärke bei der Temperatur t_2 in Gauß.

Für die Stabilität der Feldstärke über längere Zeit ist das Magnetmaterial und die Magnetisierungsart ausschlaggebend. Man sollte also aus diesem Grund nur das beste Material und Stoßmagnetisierung anwenden.

3. BESCHREIBUNG DER ALLGEMEIN BENUTZTEN EICHANLAGE

Die aus der Literatur bekannte Versuchsanordnung, welche allgemein zur Eichung und Messung von Durchflußmessern benutzt wird, ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Sie besteht aus zwei Behältern und dem sie verbindenden Meßrohr, an dem die Durchflußmesser angebracht werden. Das Volumen zwischen den Elektroden der Behälter muß möglichst genau bekannt sein. Der Durchfluß des Flüssigmetalles von einem Behälter in den anderen wird durch die Differenz des Gasdruckes der beiden Behälter erreicht. Wenn das Flüssigmetall in Kontakt mit der längeren Elektrode kommt, gibt diese ein Signal, womit eine elektrische Stoppuhr betätigt wird. Die kürzere Elektrode gibt dann das Stoppsignal für die Uhr.

3.1. Schwierigkeiten und Fehlerquellen dieser Anordnung.

Als erstes muß das Füllvolumen zwischen den beiden Elektroden genau bekannt sein. Dieses kann ohne Schwierigkeit mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5\%$ gemessen werden. Setzen sich jedoch an den Spitzender Elektroden Flüssigmetalltropfen oder Oxyde an, so können dadurch große Meßfehler entstehen. Die weitaus größere Schwierigkeit besteht jedoch in der genauen Regelung der beiden Gasdrücke in den Behältern, um einen kontinuierlichen Fluß zu erhalten. Diese Regelung bedingt einen hohen Kostenaufwand und wird nicht sehr genau. Aus

diesen Gründen wurde von uns die im Folgenden beschriebene Versuchsanordnung konstruiert und für die Messungen benutzt.

4. BESCHREIBUNG DER VON UNS BENUTZTEN VERSUCHSANORDNUNG.

Die von uns benutzte Anordnung ist in der Abb. 3 schematisch dargestellt. Sie besteht aus zwei Behältern, den verbindenden Rohrleitungen, einer Pumpe und einer Waage. Die Behälter sind flach und mit großem Durchmesser ausgeführt worden, um die Zulaufhöhe der Pumpe möglichst klein zu halten. Das Flüssigmetall wird durch das untere Rohr am Behälter angesaugt und läuft durch das obere Rohr frei in den anderen Behälter. Pumpe und Rohrleitung befinden sich in der gleichen Höhe, wobei eine Hälfte der Rohrleitung jedoch um einen Rohrdurchmesser höher liegt als die andere. Dies ist erforderlich, damit die elektromagnetische Pumpe beim Anfahren mit Flüssigmetall gefüllt ist. Zum Anfahren muß also ein Behälter bis zum oberen und der andere bis zum unteren Rohr gefüllt sein. Durch diese Anordnung wird erreicht, daß die gesamte Förderhöhe der Pumpe nur aus der Ansaughöhe und den Druckverlusten in der Rohrleitung besteht.

Die durch den zu eichenden Durchflußmesser fließende Menge wird mit einer Waage gemessen. Der Behälter auf der Waage ist durch einen langen Faltenbalg mit dem Rohrsystem verbunden, sodaß sich die Waage genügend frei bewegen kann. Beide Behälter können geheizt werden, um unter verschiedenen Temperaturbedingungen Eichungen durchführen zu können.

4.1. Photoelektrische Abtastung der Waage.

Um die Zeit möglichst genau abzustoppen, in der eine bestimmte Menge Flüssigmetall durch den Durchflußmesser fließt, wurde eine elektronische Stoppuhr und an der Waage eine Photozelle benutzt. Hierzu wurde am Zeiger der Waage eine Fahne aufgeklebt und der Zeiger neu austariert. In der Abdeckscheibe wurde ein drehbarer Arm angebracht, der die Photozelle trägt. Wenn die Fahne die Photozelle abdeckt, gibt diese ein Signal an die Stoppuhr und gleichzeitig die Zeitmarke für den Temperatur- und Durchflußschreiber. Beim zweiten Durchgang wird die Uhr gestoppt und ebenfalls eine Zeitmarke gegeben.

4.2. Feldstärkemessung der Magnete.

Die Feldstärke der Magnete wird mittels einer Wismutspirale und eines Flußmessers von H & B gemessen. Um die Feldstärkeänderungen in bestimmten Zeitabständen schnell und sicher nachprüfen zu können, haben wir das im Folgenden beschriebene Gerät konstruiert. (Abb. 4) Durch einen Synchronmotor mit einer konstanten Drehzahl von 3000 n/min wird ein Leichtmetall-Kurzschlußrahmen innerhalb einer Spule gedreht. Geschieht dies im Magnetfeld zwischen den beiden Polen, so fließt in diesem Rahmen ein Wechselstrom. Hierdurch wird in die ihn umschließende Spule eine Spannung induziert, die proportional der Feldstärke ist. Theoretisch ergibt sich die Spannung nach folgender Rechnung.

Die an den Rahmenenden erzeugte Spannung ist

$$e = \frac{d\bar{\phi}}{dt \cdot 10^8} \quad (5)$$

Da $\bar{\phi} = \mathcal{H} \cdot s \cdot \cos \varphi$ ist, wird $d\bar{\phi} = -\mathcal{H} \cdot s \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi$

Damit folgt aus Gleichung (1) für die Spannung im Rahmen:

$$e = - \frac{\mathcal{H} s \sin \varphi \cdot d\varphi}{10^8 \cdot dt}$$

bzw. für $\frac{d\varphi}{dt} = \omega$

$$e = - \frac{\mathcal{H} s \omega}{10^8 \sqrt{2}} \quad (6)$$

Die erzeugte Stromstärke wird, da $I = \frac{e}{R}$ ist:

$$I = \frac{\mathcal{H} s \omega}{10^8 \sqrt{2} R}$$

Die mit dieser Stromstärke in der Spule erzeugte Spannung beträgt:

$$e^t = j m \omega I$$

d. h.

$$e^t = -j \frac{m \omega^2 \mathcal{H} s n}{\sqrt{2} \cdot 10^8 \cdot R} \quad (7)$$

für n-Wicklungen auf einen Abschnitt, entsprechend der Rahmenhöhe.

In diesen Gleichungen bedeuten:

e = erzeugte Spannung an den Rahmenenden
in V

e^t = erzeugte Spannung an den Spulenenden
in V

ϕ = Fluß in Maxewell

\mathcal{H} = Feldstärke in Gauß

s = mittlere Rahmenfläche

φ = Winkel, gebildet aus Feldrichtung und
Rahmenstellung

t = Zeit in Sek

ω = Kreisfrequenz ($2\pi n = 2\pi f = \frac{d\varphi}{dt}$)

n = Windungszahl

- m = Gegeninduktivität in Henry
j = Phasenverschiebung um 90° ($\sqrt{-1}$)

4.3. Fehlerabschätzung der Meßanordnung.

Meßfehler treten auf: an der Waage, der Stoppuhr und dem Schreiber für die Durchflußmenge. Der Fehler, der sich an der Photozelle durch die Relaisverzögerung ergibt, hebt sich auf, da der Zeiger der Waage mit gleicher Geschwindigkeit zweimal durch die Photozelle läuft. Alle übrigen Meßfehler können mit einer Kurve für den mittleren Gesamtfehler prozentual zum Durchsatz, bzw. der mV-Anzeige, dargestellt werden (Abb. 5). In dieser Kurve sind die Punkte bis zu einem Durchsatz von ca. $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. einer Anzeige von 6 mV gemessen. Der weitere Verlauf wurde errechnet nach der Formel:

$$y = A + B e^{-cx} \quad (8)$$

Hierin bedeuten:

- $\pm y$ = Fehler in %
A = Fehler des Durchflußschreibers
B und C = Konstante
x = Durchfluß in m^3/h bzw. Anzeige in mV

Da als Meßgerät für den Durchfluß ein Kompensationsschreiber "Linecomp" von H & B mit einer Genauigkeit von $\pm 0,25\%$ verwendet wurde, ist in der Gl.(8) für A ein Fehler von $0,3\%$ bei 10 mV eingesetzt worden. Als Ablesegenauigkeit wurden $0,02 \text{ mV}$ festgestellt. Auf der verwendeten elektronischen Stoppuhr konnte bis zu $1/100$ Sekunde sicher abgelesen werden. Für Waage und Faltenbalg wurde durch Versuche ein mittlerer Fehler von 30 gr. festgestellt.

5. EICHUNG UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG.

Um eine Benetzung der Rohre mit NaK zu erhalten, wurde vor Beginn der Eichungen der Kreislauf mit etwa 350° C NaK-Temperatur gefahren. Dies ist für jede Messung mit magnetischen Durchflußmessern unbedingt erforderlich, da die Anzeige nur bei mit NaK vollbenetzten Rohren reproduzierbar ist. Es hat sich in Versuchen gezeigt und ist aus der Literatur bekannt, daß eine sichere Benetzung je nach Art der NaK-Legierungen bei etwa 280° C bis 340° C eintritt und die Rohre mit einem dauerhaften NaK-Film überzogen werden. Durch diesen Film ist ein besserer Kontakt zwischen fließendem NaK und der Rohrwand gegeben und damit auch ein größeres Signal an den Elektroden. Für die Eichung der Durchflußmesser werden etwa 70 kg NaK von einem Behälter in den anderen gepumpt. Dies entspricht dem Volumen zwischen den beiden Rohren an den Behältern. Da die Behälter gewölbte Böden haben, sind die beiden Rohre am zylindrischen Teil angeschweißt. Dadurch ist die Abnahme der Zulaufhöhe linear. Sie beträgt max. 160 mm und hat, wie die Versuche zeigten, praktisch keinen Einfluß auf die Konstanz der Fördermenge der Pumpe, was aus der zu vernachlässigenden geringen Neigung der Durchflußgeraden zwischen den beiden Zeitmarken auf dem Schreiber hervorgeht. Die Gesamtdurchflußmenge von 70 kg teilt sich auf in 20 kg als Vorlauf zur Durchflußstabilisierung, 30 kg als Eichdurchfluß und 20 kg als Nachlauf. Zur Eichung wurde eine Durchflußanzeige von 2 mV, 3 mV und 4 mV eingestellt und die Zeit gemessen, in der 30 kg NaK durch den Durchflußmesser flossen. Die Zeitmessung konnte bis auf 1/100 sec genau vorgenommen werden. Als Eichkurve wurde dann der Mittelwert aus mehreren Messungen bei gleicher Temperatur aufgetragen. Gemessen wurde bei 70° C, 100° C, 200° C und 285° C um den Einfluß der Temperatur auf die Meßergebnisse feststellen zu können. Als Meßstrecken wurden die in der Abb. 6 gezeigten Rohre verwendet. Die Magnete hatten einen Poldurchmesser von 37 mm, einen Luftspalt von 27 mm und eine Feldstärke von ca 2320 Gauß.

6. ALLGEMEIN AUFTRETENDE MESSFEHLER BEI DER DURCHFLUSSMESSUNG.

Meßfehler können auftreten, wenn die Elektroden zu den Magnetpolen versetzt sind. Weiterhin durch Temperaturerhöhung im Magnet (Abb. 7), sowie durch Änderung der Wandstärke bei gleichem Innendurchmesser des Rohres und gleichem Luftspalt zwischen den Magnetpolen (Abb. 8). Werden die Elektroden senkrecht angeordnet, treten durch

Luftkonvektion unterschiedliche Temperaturen an der unteren und oberen Elektrode auf, welche zu Thermospannungen und damit zu Meßfehlern führen (Abb. 9). Aus diesem Grunde ist gleichfalls darauf zu achten, daß an der Verbindungsstelle der Elektroden zur Meßleitung beide Kontakte gleiche Temperatur haben. Zusätzliche Verwirbelung des Flüssigmetalles an der Meßstelle, hervorgerufen durch Rohrbögen, Querschnittsänderungen usw., kann ebenfalls zu Meßfehlern führen.

6.1. Änderung der Anzeige durch verschiedene Anordnung der Elektroden zu den Magnetpolen.

6.1.1. Verschiebung des Magneten in axialer Richtung (Abb. 10).

Die Versuche zeigten, daß mit den verwendeten Magneten schon bei einer Verschiebung von 5 mm ein Fehler von etwa 2,5 % auftrat. Der Fehler blieb sowohl bei einer Verschiebung in Richtung des Flusses, wie auch entgegen des Flusses in der gleichen Größenordnung.

6.1.2. Verschiebung in radialer Richtung (Abb. 11)

Bei der Verschiebung des Magneten in Richtung der Elektroden traten bis 5 mm Differenz zwischen Rohr- und Magnetpolachse keine nennenswerten Änderungen der Anzeige auf. Bei einer Verschiebung von 10 mm wurde jedoch schon ein Fehler von etwa 3 % bis 3,5 % gefunden.

6.1.3. Drehung des Magneten um das Rohr (Abb. 12)

Bei der Drehung des Magneten um das Rohr trat bei einem Verdrehwinkel von 15° ein Meßfehler von etwa 1 % auf. Wie aus der Kurve ersichtlich, sind bis zu einem Verdrehwinkel von 10° keine großen Meßfehler zu erwarten.

6.2. Einfluß der Wandstärkenänderung auf die Durchflußanzeige.

In Gl. (1) geht für die Rohrwandänderung nur der Faktor k_1 (Gl. 2) ein. Eine für diesen Faktor errechnete Fehlerkurve zeigt Abb. 8 für 110° C , 200° C und 400° C bei einem Rohrrinnendurchmesser von

21 mm. Abb. 13 zeigt einen Vergleich zwischen den Rohren $25^{\phi} \times 2$ und $22^{\phi} \times 1$ bei 200°C . Der Unterschied in der Anzeige beträgt etwa 8 %, was auf die unterschiedliche Wandstärke und Durchflußgeschwindigkeit zurückzuführen ist. Berechnet man für die gleichen Verhältnisse nach den in der Literatur angegebenen Gleichungen diese beiden Kurven, kommt man auf einen Unterschied von etwa 8,5 %. Dies bedeutet, daß mit genügender Genauigkeit eine Fehlerkurve nach Gl.(2) aufgestellt werden kann.

6.3. Einfluß der Temperatur von Rohrwand und Magnet / k-Faktoren /.

Um den Einfluß auf die Anzeige bei verschiedenen Temperaturen festzustellen, wurden die Magnete bei einer NaK-Temperatur von etwa 90°C bis 300°C geeicht. Abb. 14 und 15 zeigen die hierbei erhaltenen Kurven. Da bei dieser Darstellung für Wärmeübergangsmessungen nicht genau genug interpoliert werden kann, wurde die aus den Meßpunkten berechnete Kurvenschar nach Abb. 16 aufgezeichnet. Hierbei wurden die Meßpunkte auf 0°C bezogen und mit den so gefundenen m^3/h eine Korrekturkurve errechnet. Wird diese Korrektur als Fehlerkurve in % aufgetragen, ist ersichtlich, daß man schon bei einem Temperaturunterschied von 100°C einen Fehler von etwa 1,5 % für ein Rohr $25^{\phi} \times 2$ erhält (Abb. 17).

6.4. Einfluß von Turbulenz im Meßrohr.

Nach Literaturangaben soll eine Verminderung der Anzeige von ca. 2,5 % eintreten, wenn die Meßstelle 7 Rohrdurchmesser von einem 90° -Rohrbogen entfernt ist. Mit der von uns in Abb. 6 gezeigten Meßstrecke wurde jedoch bei diesem Abstand nur eine Verminderung von etwa 1 % festgestellt. Der weitere Fehlerverlauf ist aus Abb. 18 ersichtlich.

6.5. Anzeigeänderung bei verschiedenen Elektrodenformen.

Um den Einfluß von verschiedenen Elektrodenformen festzustellen, wurde das in der Abb. 6 gezeigte Meßrohr getestet. Es zeigte sich, daß bei einer Elektrode in Plattenform (30×5) die Anzeige um

etwa 2 - 3 % verschlechtert wurde. Bei den anderen Elektrodenformen wurde ebenfalls eine Verminderung festgestellt. Diese Reduzierung der Anzeige rührt von der Vergrößerung des Shunteffektes durch die aufgeschweißten Elektroden her und es sind daher Elektroden mit möglichst geringem Durchmesser zu verwenden.

6.6. Thermospannungen.

Sind die Elektroden am waagerechten Rohr senkrecht angeschweißt, können je nach Durchflußrichtung sehr große positive oder negative Thermospannungen auftreten. Diese vergrößern sich noch erheblich, wenn die Elektroden nicht aus dem gleichem Material wie das Rohr sind. Da die Meßstelle selbst nicht genügend isoliert werden kann (zu hohe Magnettemperatur), haben die so angeordneten Elektroden durch Luftkonvektion unterschiedliche Temperaturen. Abb. 9 zeigt die an einem Rohr 25 ϕ x 2 gemessenen Werte. Nach Möglichkeit sollten für genaue Messungen die Durchflußmesser entweder an senkrechten Rohren angebracht, oder die Elektroden waagerecht angeschweißt werden.

7. ZUSAMMENFASSUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.

Nach den Meßergebnissen sind folgende wichtige Punkte zu beachten, um Meßfehler zu vermeiden.

- a) Die Elektroden müssen achsialsymmetrisch zu den Magnetpolen angebracht sein, wobei eine Verschiebung von etwa 2 - 3 mm zugelassen werden kann.
- b) Wandstärkenänderungen von mehr als 0,1 mm bei gleichem Innendurchmesser sind zu vermeiden. Andernfalls muß eine Neueichung vorgenommen werden.
- c) Auf den Temperatureinfluß muß unbedingt bei der Aufnahme von Eichkurven geachtet werden.
- d) Zusätzliche Verwirbelung im Meßrohr bringt keine sehr großen Fehler. Im Abstand 20 D von einem 90°-Rohrbogen wurden etwa 0,4 % Meßfehler gefunden.

- e) Auf Thermospannungen ist unbedingt zu achten. D.h. Durchflußmesser sollten möglichst an senkrechten Rohren angebracht werden. Wo dies nicht möglich ist, müssen die Elektroden so angeordnet werden, daß ihre Fußtemperaturen gleich sind. Außerdem soll das Elektrodenmaterial mit dem Rohrmaterial identisch sein. Auf gleiche Temperatur der Anschlußklemmen an die Meßleitung ist ebenfalls zu achten.
- f) Aus einer Arbeit von L. R. BLAKE, (Resistivity Monitor to Indicate Oxide Content of Sodium) ist ersichtlich, daß der Oxydgehalt des Flüssigmetalles keinen sehr großen Einfluß auf die Durchflußmessung hat. Dieser Einfluß wird jedoch von uns für NaK-44 nochmals nachgeprüft.
-

LITERATURVERZEICHNIS

- Liquid-Metals Handbook - AEC Department of the Navy,
Wash.; D. C. (1955).
- A Simple Electromagnetic - ORNL- 1461
Flowmeter for Liquid Metals
- Instruments for Measuring the - Atomnaja Energija, Vol.9, No.3,
Pressure, Flow and Level of Fused pp.173-181 (Sept. 1960)
Alkali Metals
- Resistivity Monitor to Indicate - The Institution of Electr. Engineers
Oxide Content of Sodium Paper No. 3278 M (Aug. 1960)
- The Electrical Resistivity of - PWAC-349 Contract AEC
Lithium and Sodium-Potassium AT (11-1)-229 (June 1961)
Alloy
- Static and Dynamic Magnetic - AERE-Trans 903
Field Measurements Elektrotechnische Zeitschrift
B Vol. 14, no. 7, pp. 175-178
(1962).
-

Allgemein benutzte Eichanlage

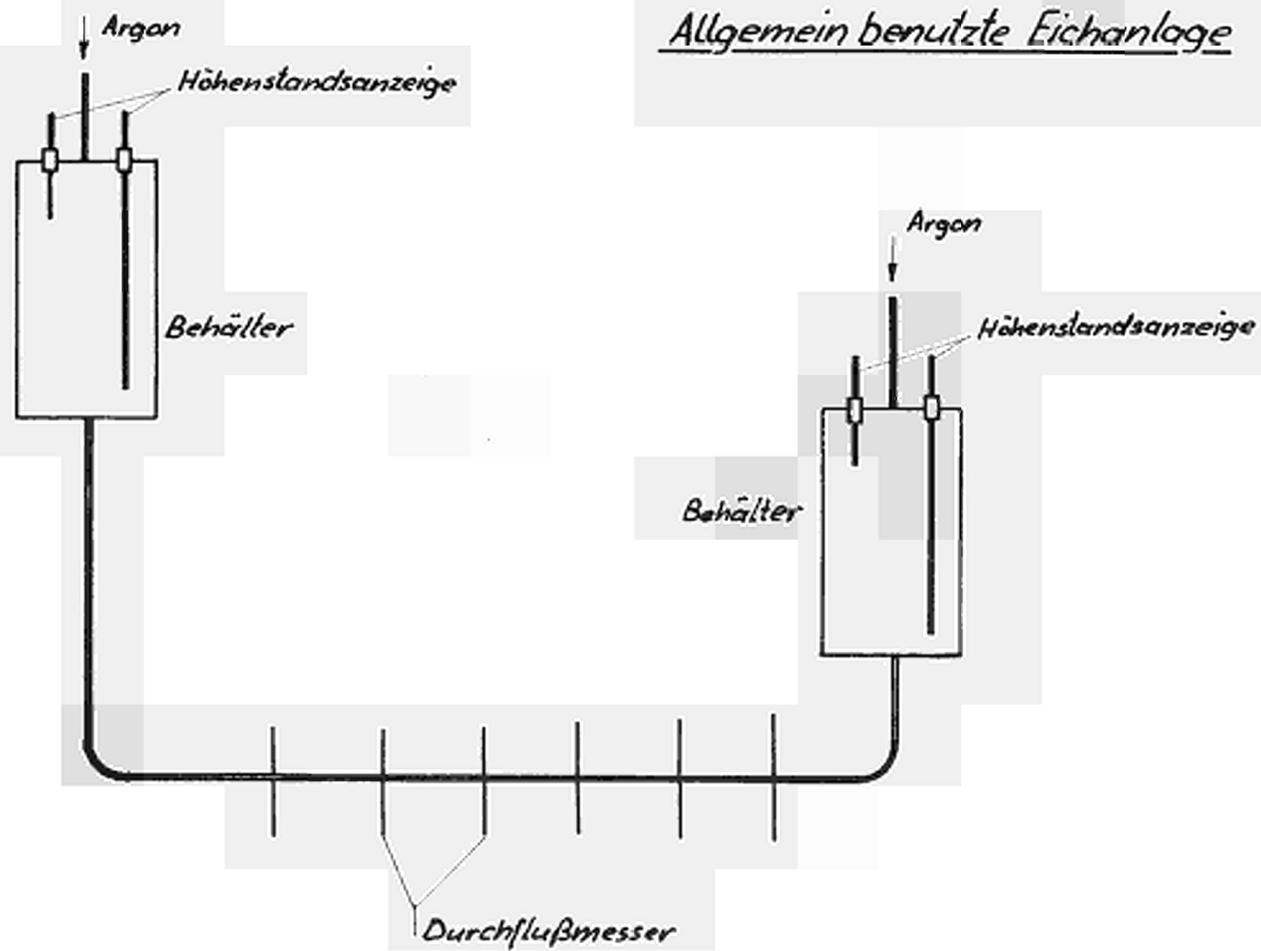
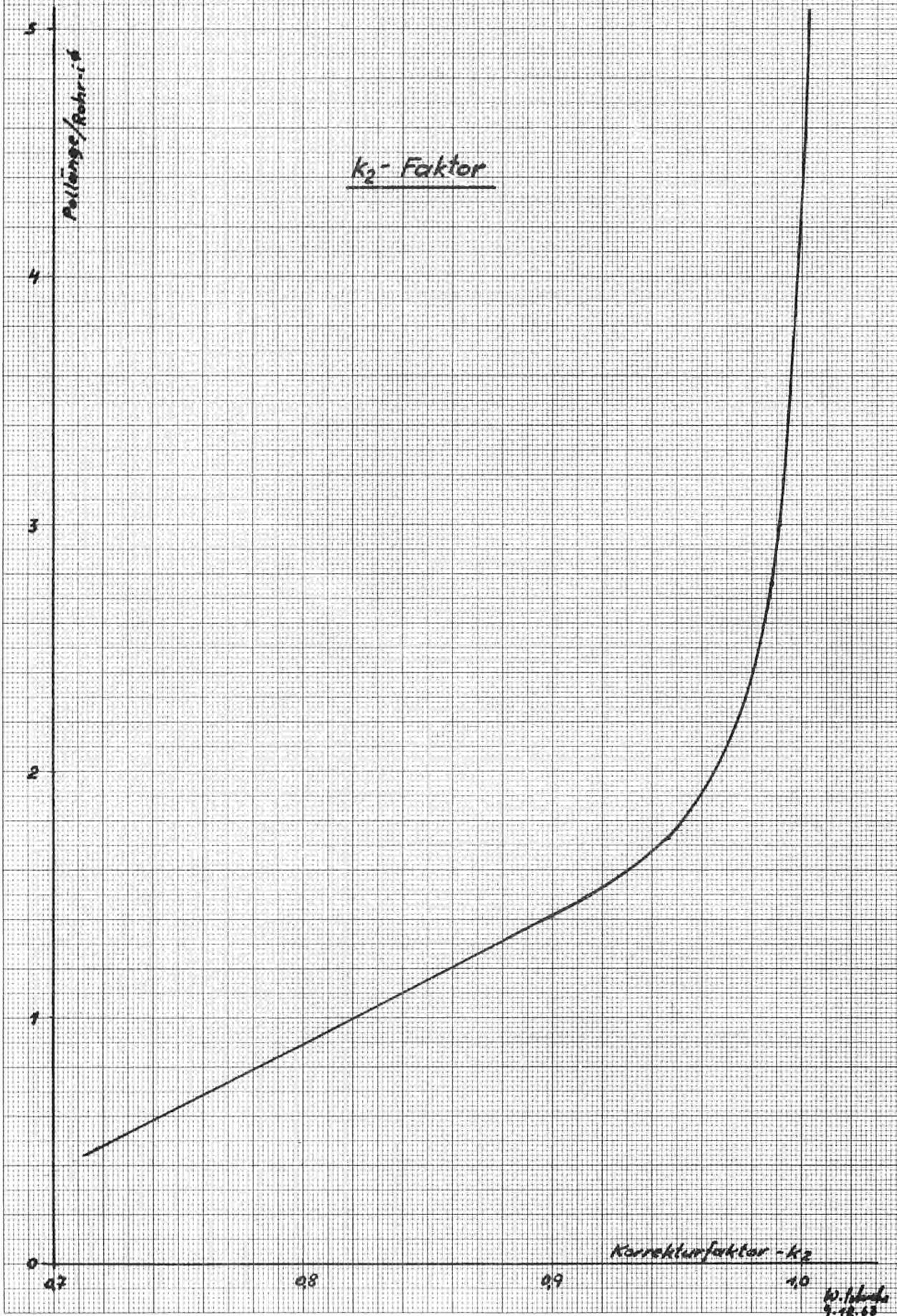


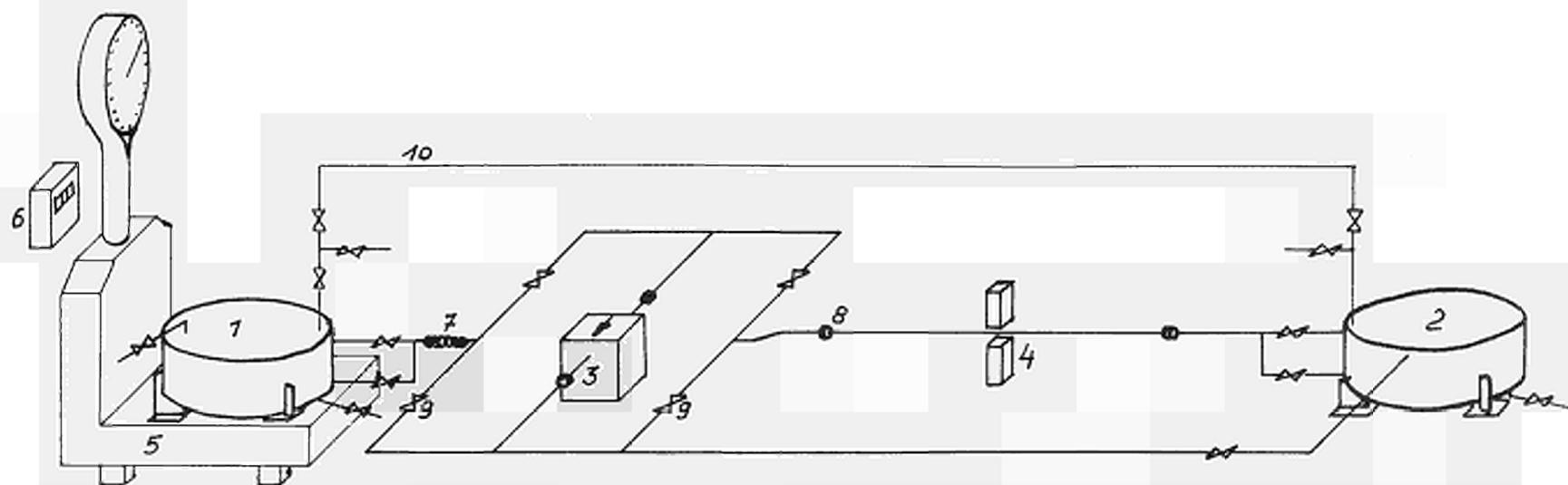
Abb. 1

Abb. 2



Eichstrecke für
Durchflußmesser u. Pumpen

Abb. 3



1+2 Vorratsbehälter
3 Pumpe
4 Durchflußmesser
5 Waage
6 Stoppuhr gekoppelt
mit der Waage

7 Faltenbalg
8 Kupplung
9 Ventile
10 Gasausgleichleitung

Feldstärke - Meßgerät

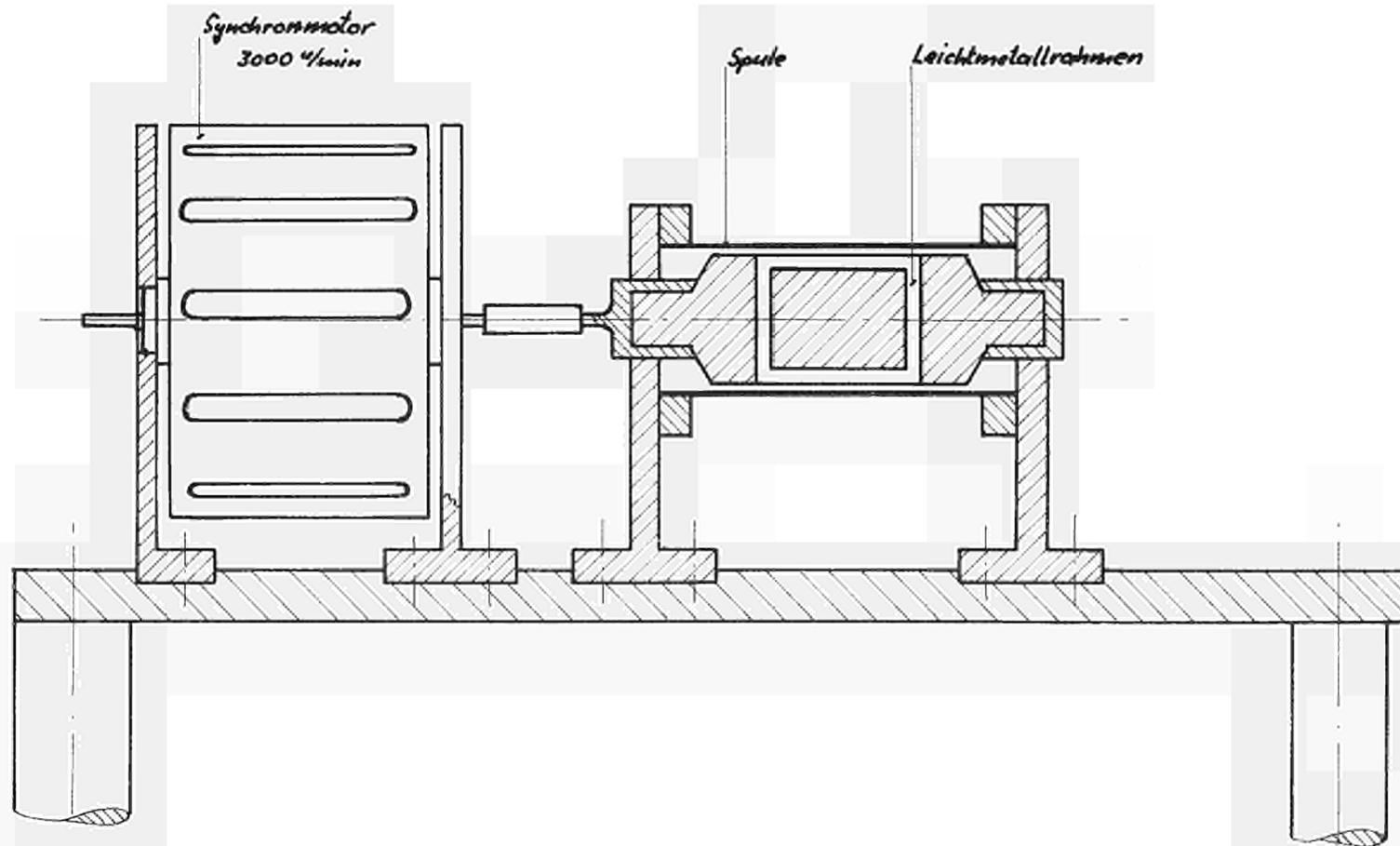


Abb. 4

W. Lehner
10.11.63

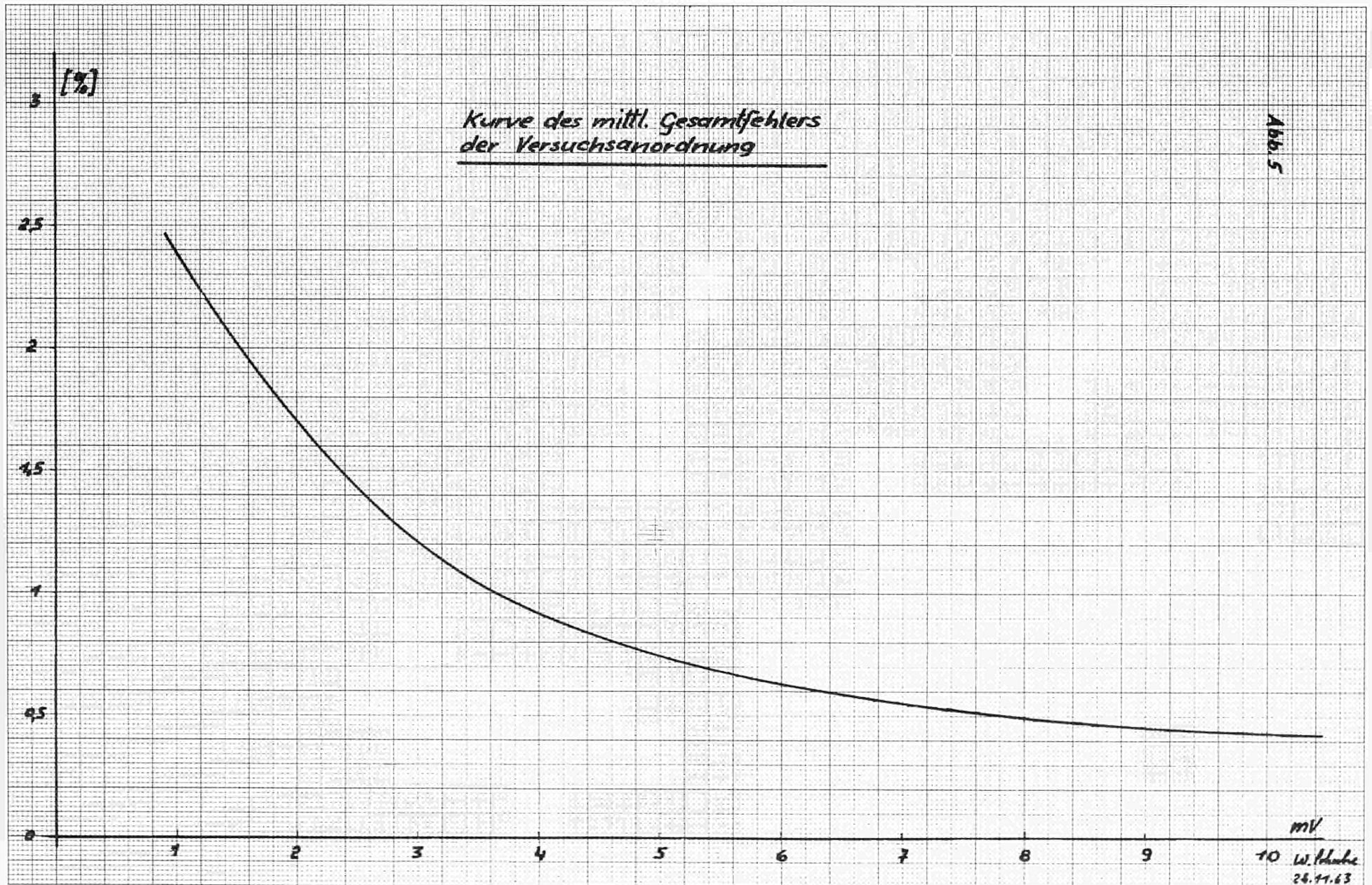
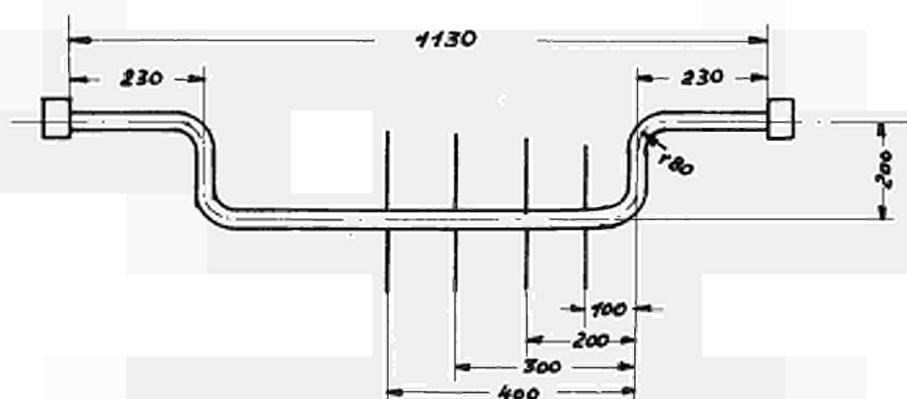


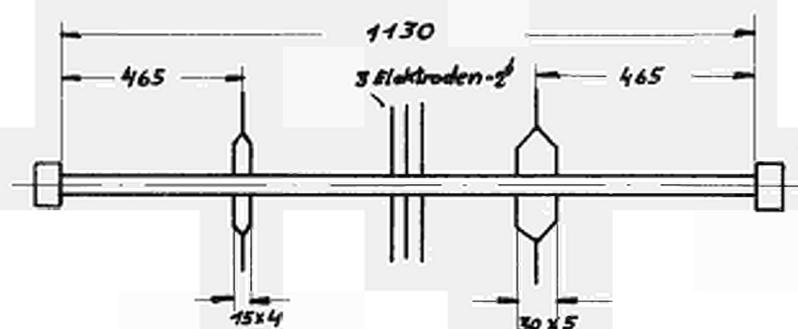
Abb. 6



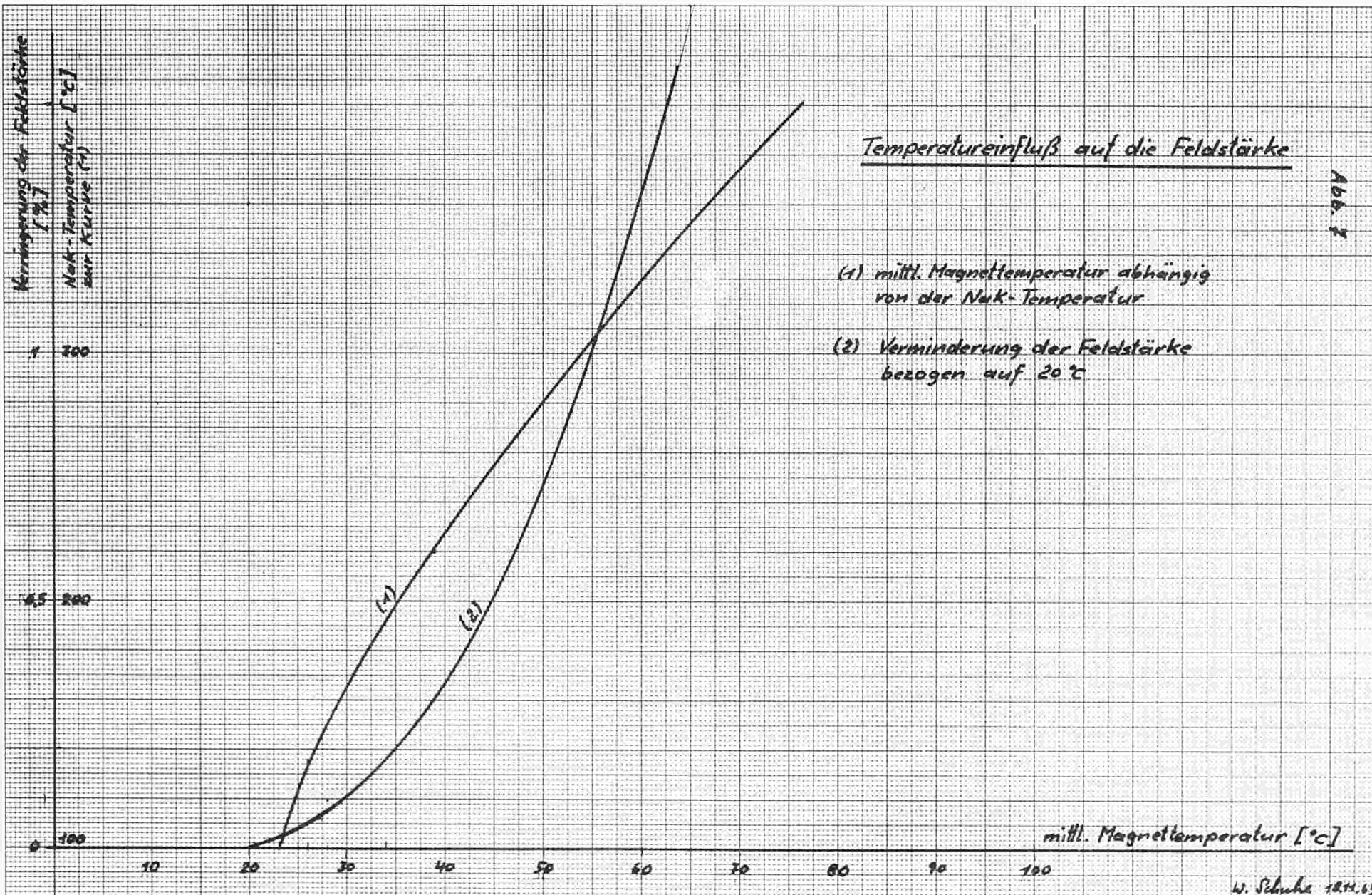
a) gerades Rohr $25^{\phi} \times 2$ und $22^{\phi} \times 1$



b) Rohr $25^{\phi} \times 2$ zur Prüfung des Einflusses eines 90° -Rohrbogens



c) verschiedene Elektrodenformen auf einem Rohr $25^{\phi} \times 2$



Temperatureinfluß auf die Feldstärke

Abb. 7

- (1) mittl. Magnettemperatur abhängig von der Nuk-Temperatur
- (2) Verminderung der Feldstärke bezogen auf 20°C

Theor. Verringerung der Anzeige bei
Änderung der Wandstärke um s [mm]

($d_i = 21 \text{ mm}^{\text{d}}$ konst.)

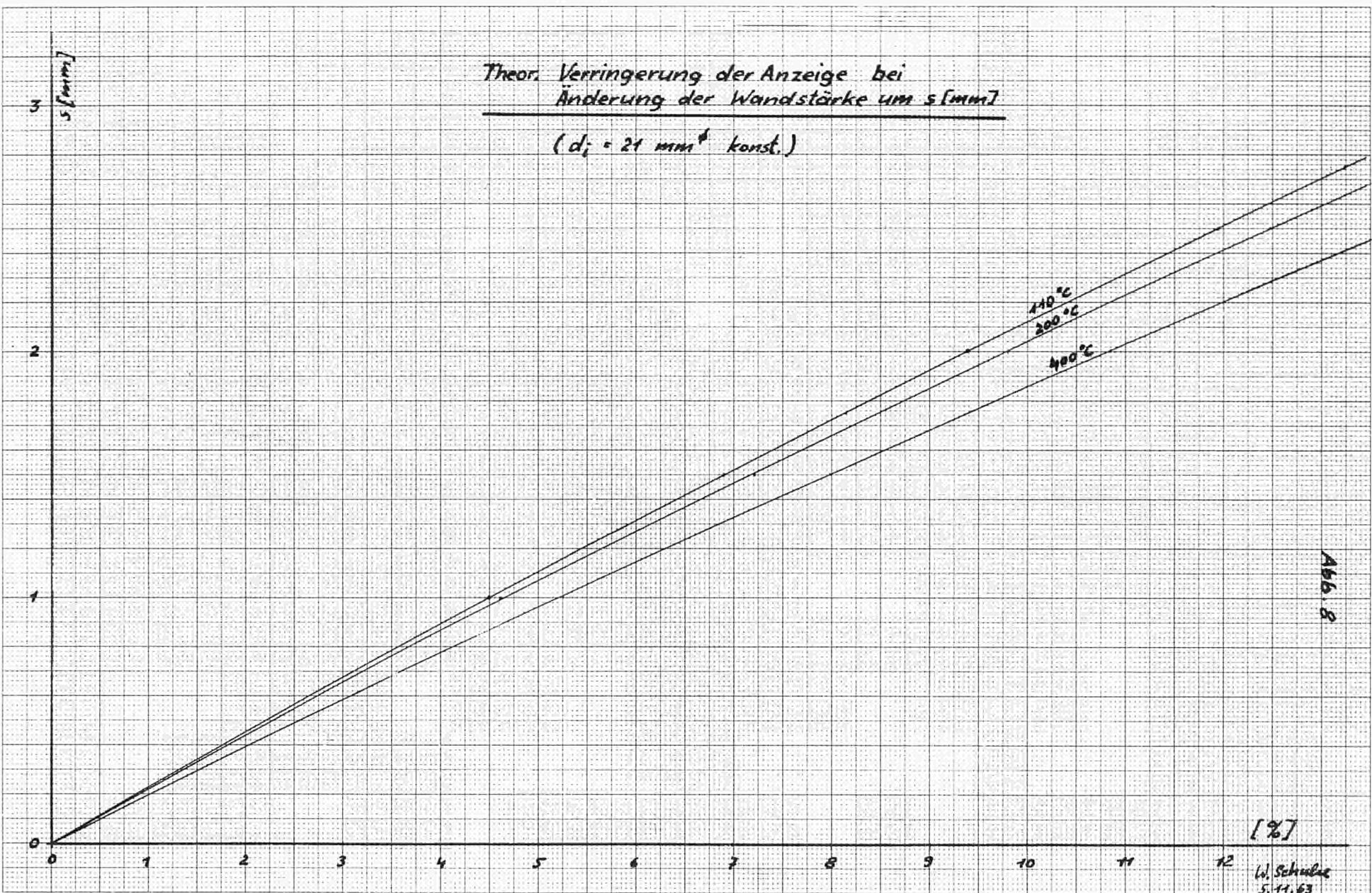


Abb. 8

[%]
W. Schulze
5.11.63

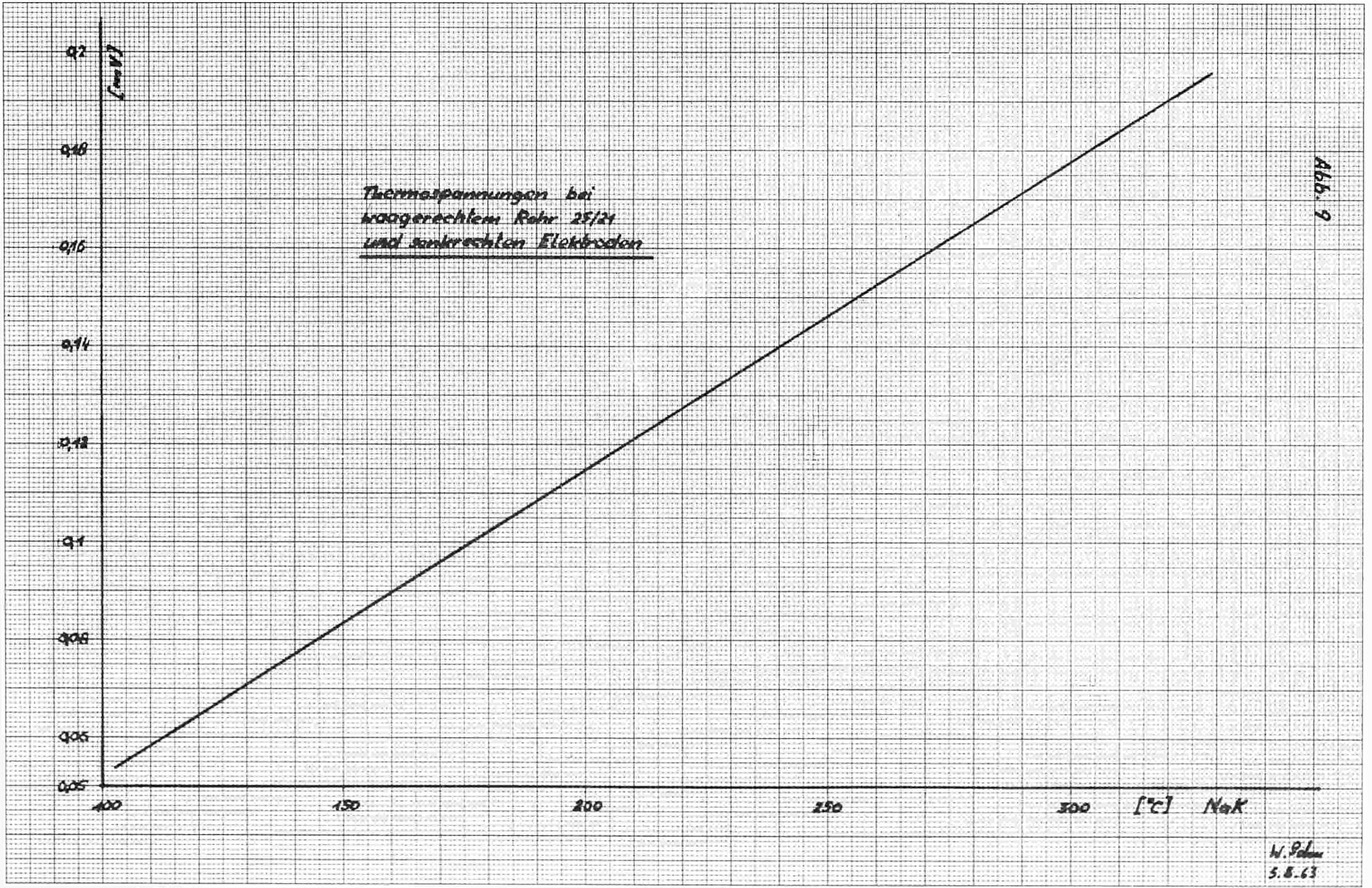
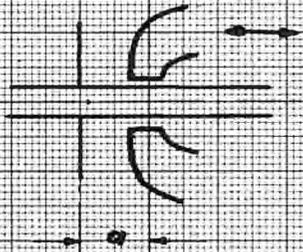


Abb. 9

W. Polow
5.8.63

Mittl. Fehlerkurve bei Verschiebung der Magneten in Achsrichtung

Durchflußmesser Nr. FA61/105
Stellung (1) / Rohr 25⁴ x 2 / B = 2350 Gauß
Rohr 25 x 2



[%]

30

20

10

0

5

10

15

20

a [mm]

25 W. Fehrer
25.8.63

Abb. 10

Mitt. Fehlerkurve bei Verschiebung
des Magneten in radialer Richtung

Stellung (r) 1110°C | $B = 3250$ Gauß
Rohr 25 x 2

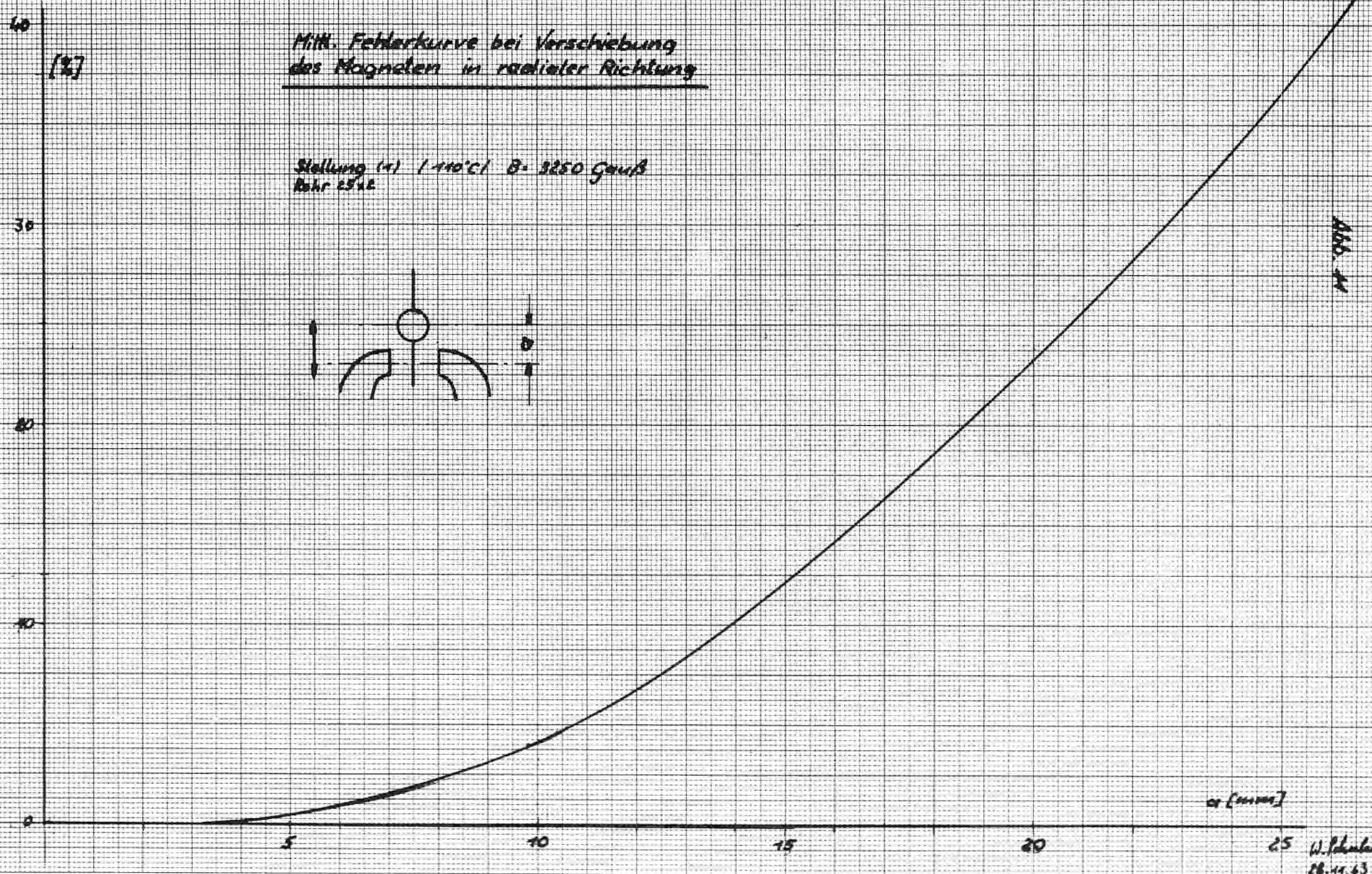
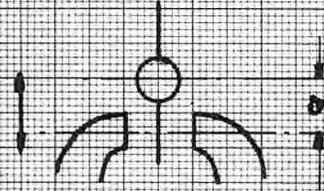


Abb. 11

Mitt. Fehlerkurve bei Verdrehung
des Magneten um Winkel α

Stellung (1) / 140° / $B = 2350$ Gauß
Dreh 2572

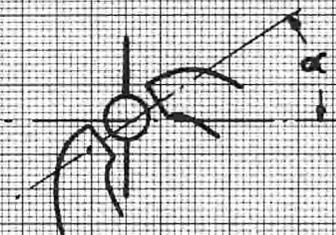
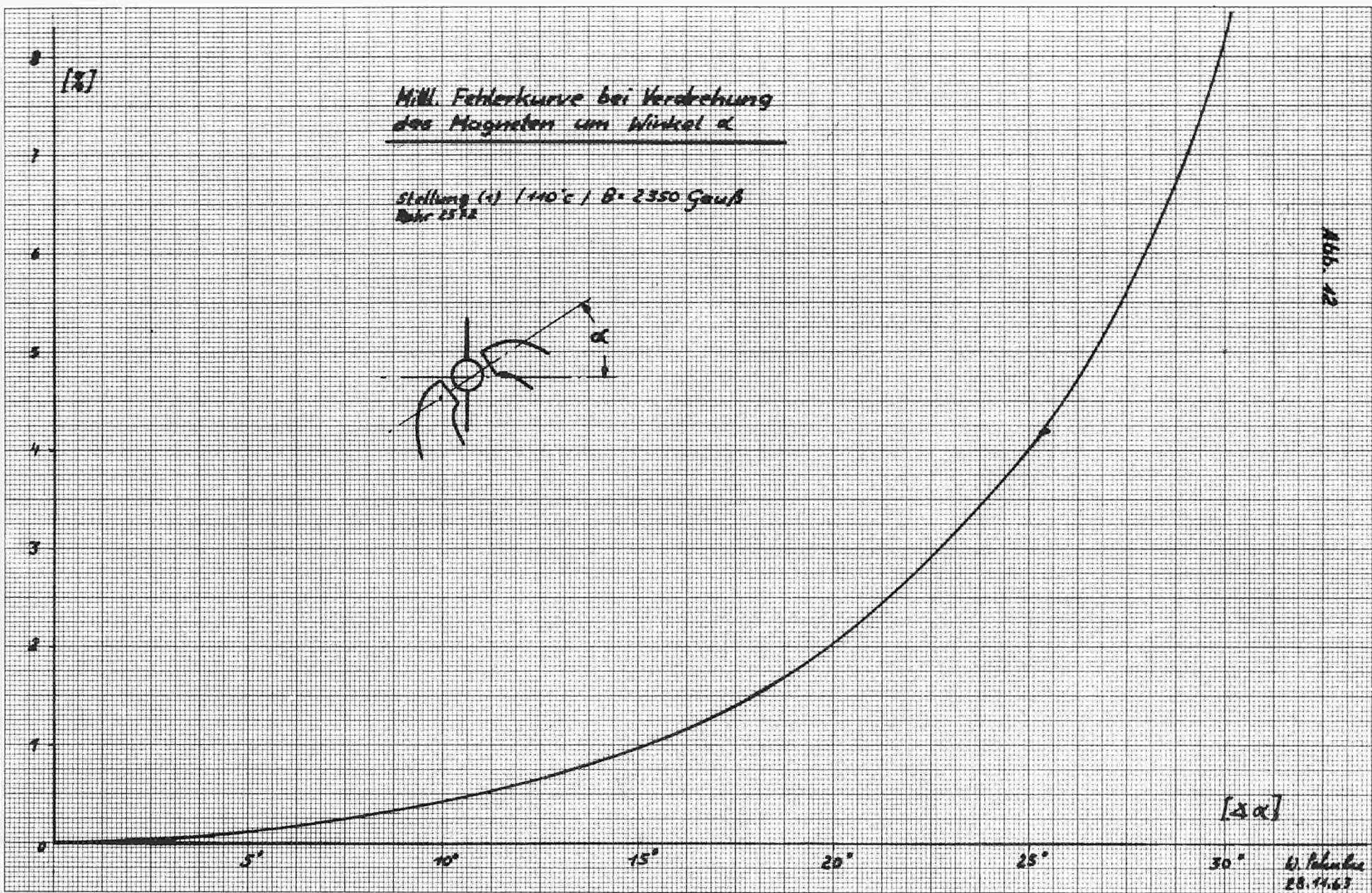


Abb. 12



W. Fehrer
28.11.67

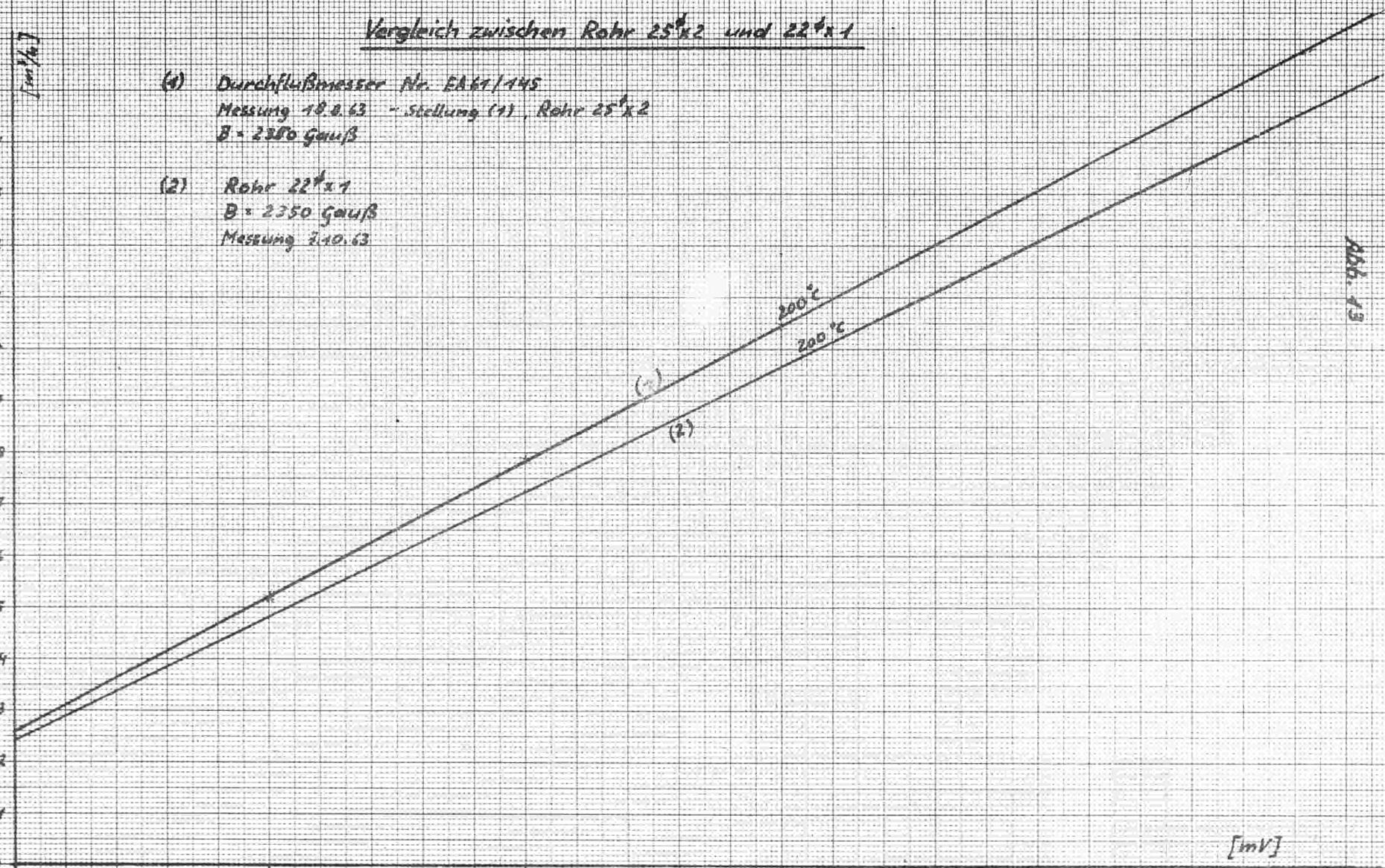
Vergleich zwischen Rohr 25⁺x2 und 22⁺x1

(1) Durchflußmesser Nr. EA61/145
Messung 18.8.63 - Stellung (1), Rohr 25⁺x2
B = 2380 Gauß

(2) Rohr 22⁺x1
B = 2350 Gauß
Messung 2.10.63

[m³/h]

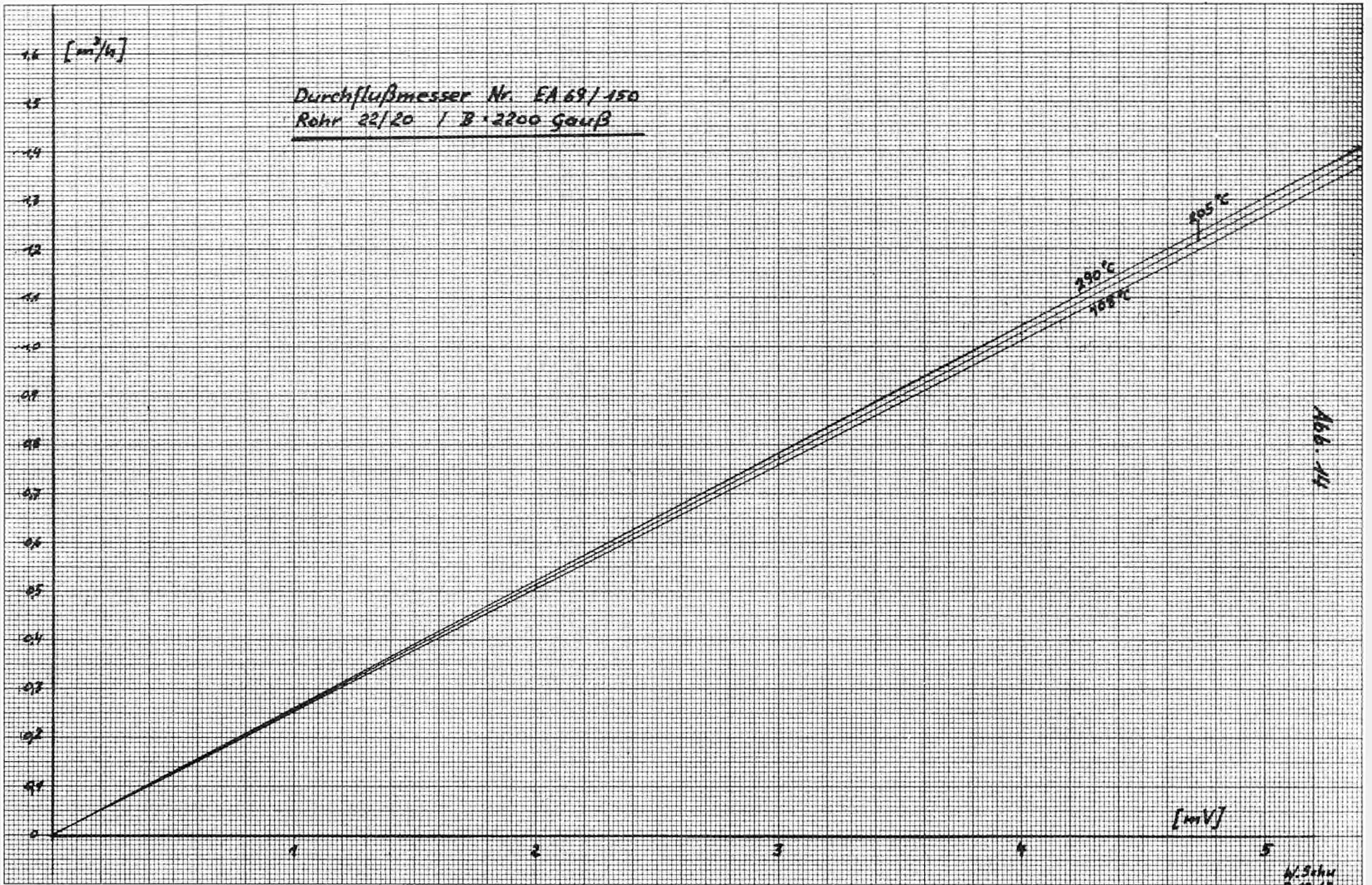
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0



[mV]

Abb. 13

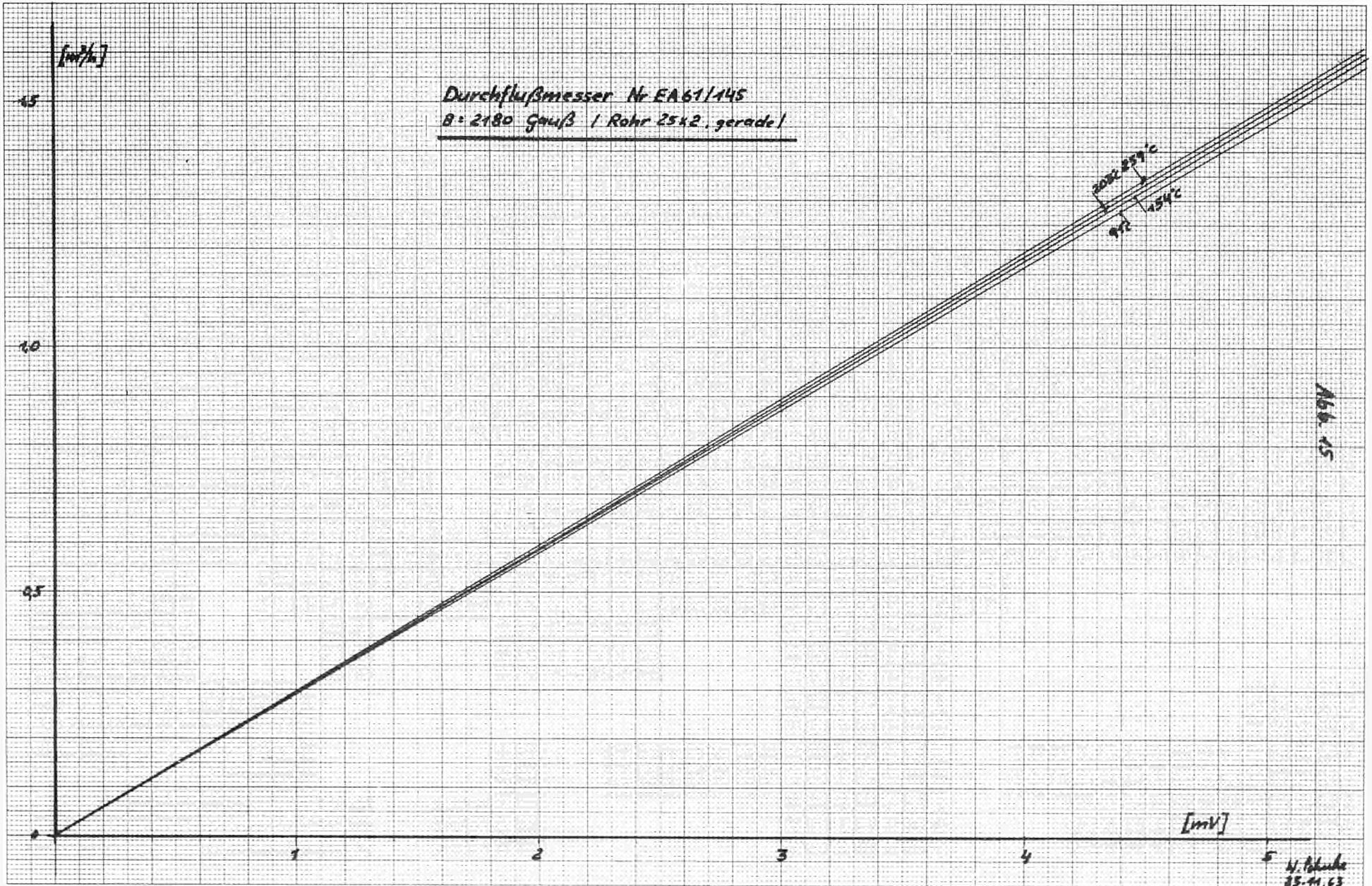
G. W. Fischer
18.8.63



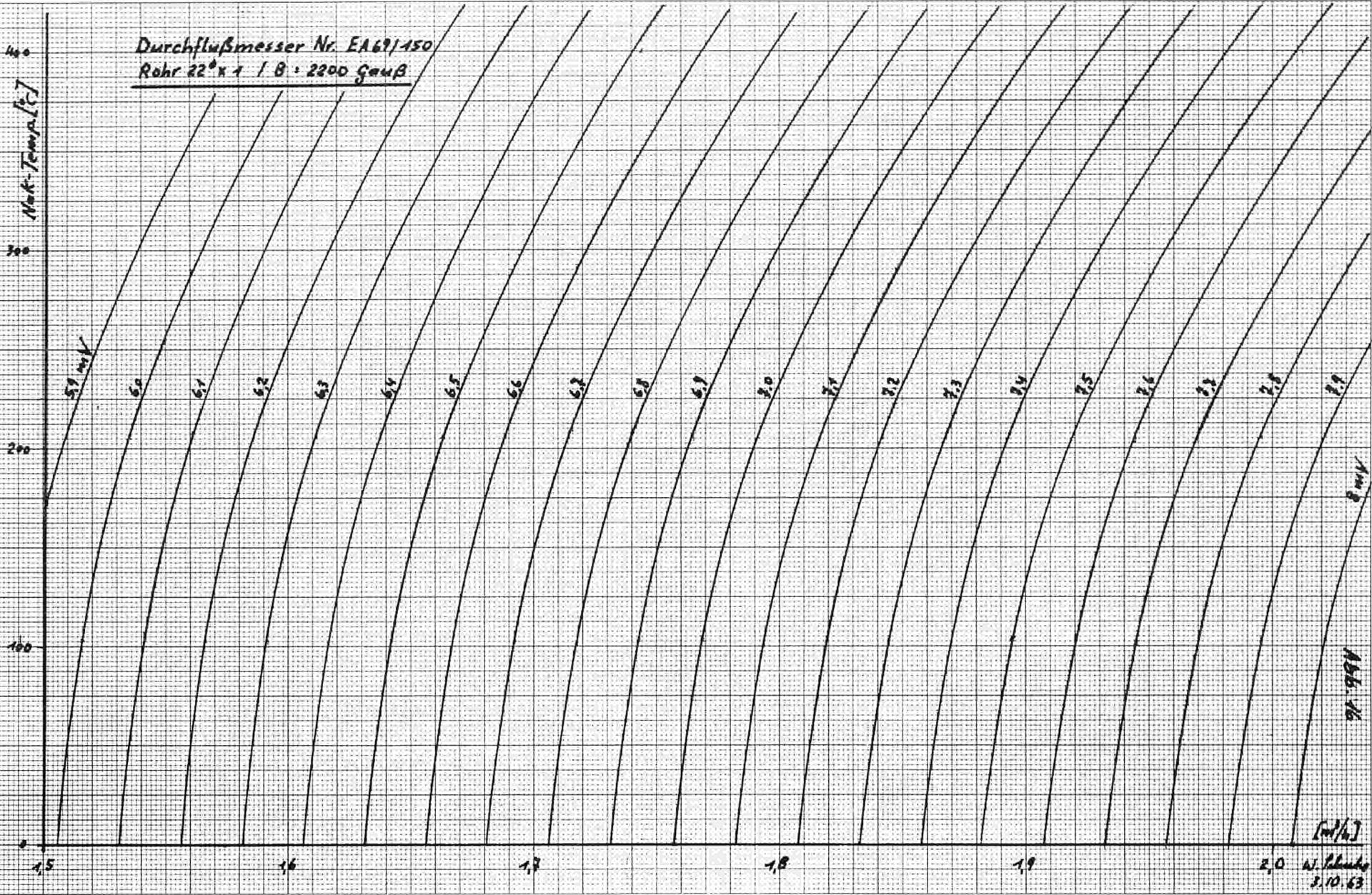
Durchflußmesser Nr. EA 69/150
 Rohr 22/20 I B = 2200 Gauß

Abb. 11

W. Schu
 5.10.65



Durchflußmesser Nr. EA691450
Rohr 22^ox1 / B = 2200 Gauß



[ml/min]

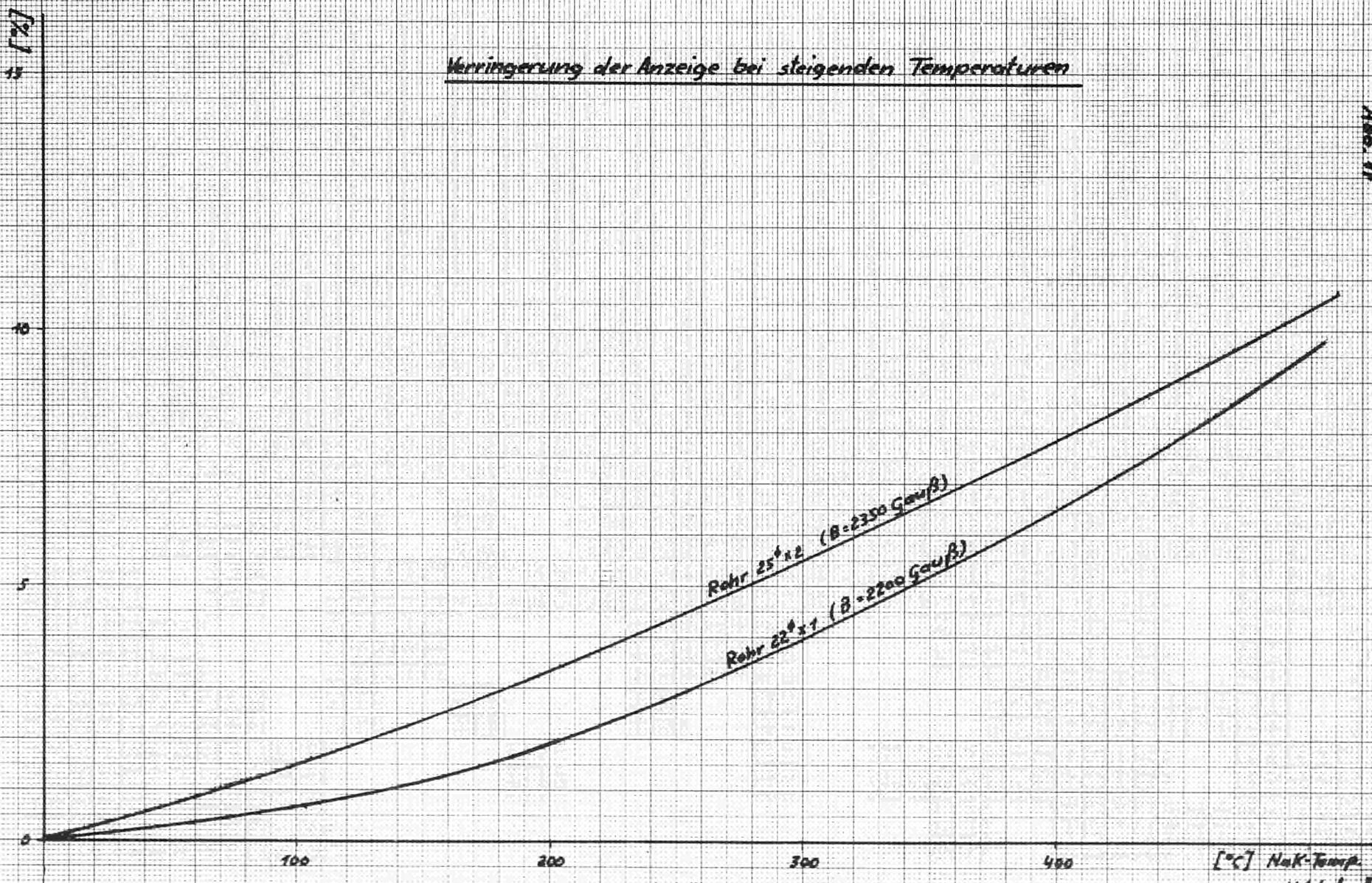
W. Röhler
2.10.63

Abb. 16

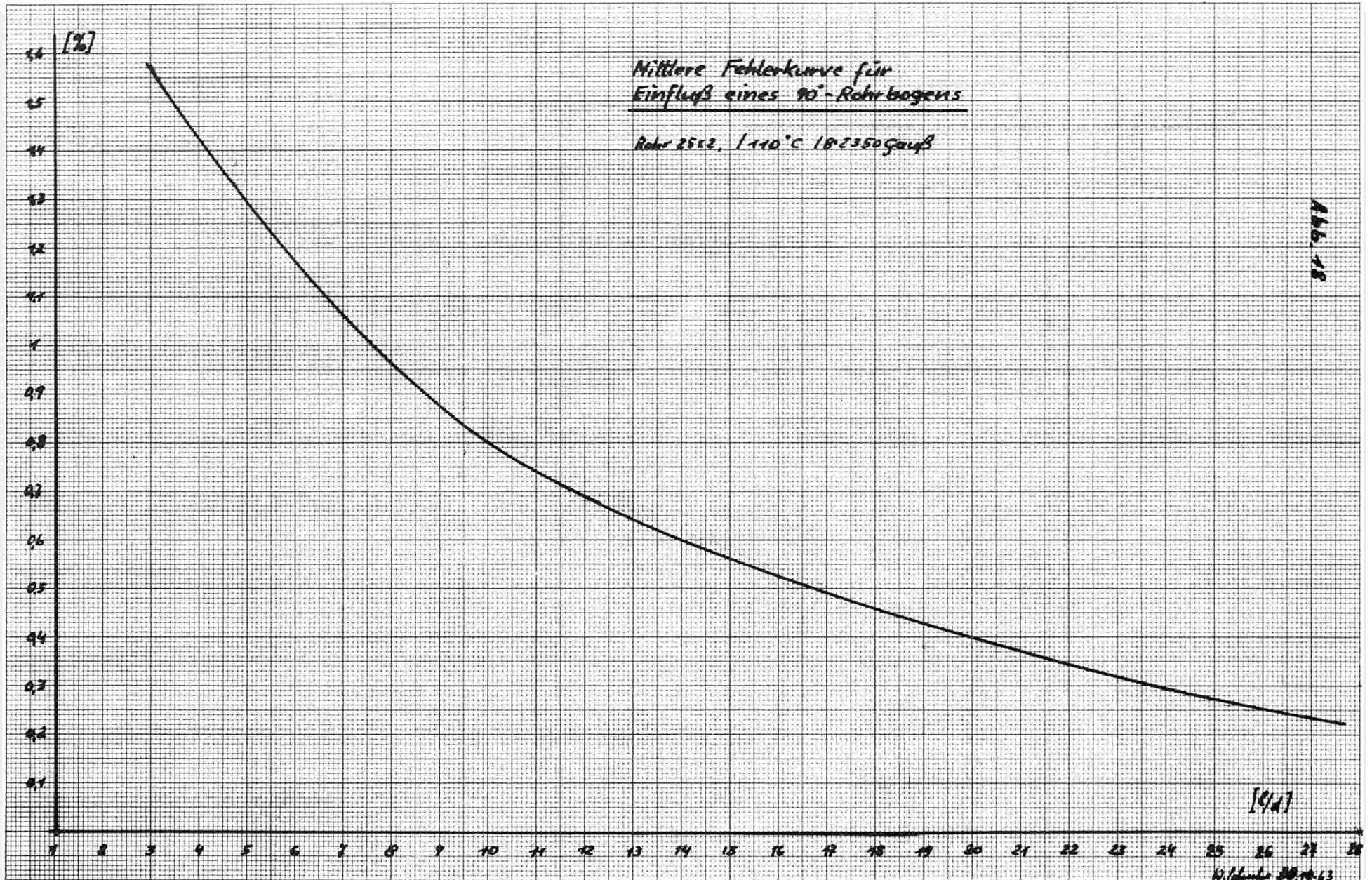
1 mm Ø

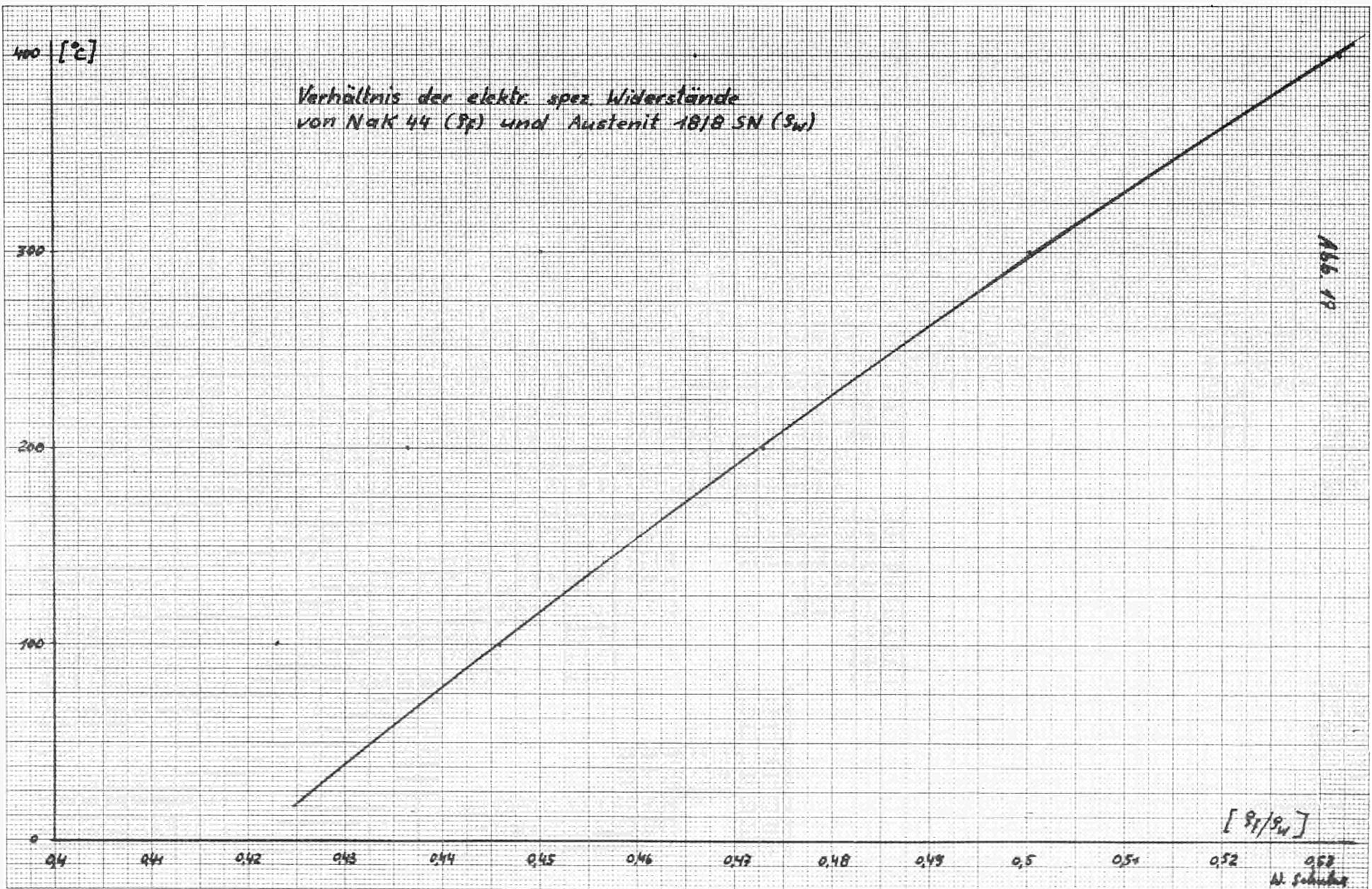
Verringerung der Anzeige bei steigenden Temperaturen

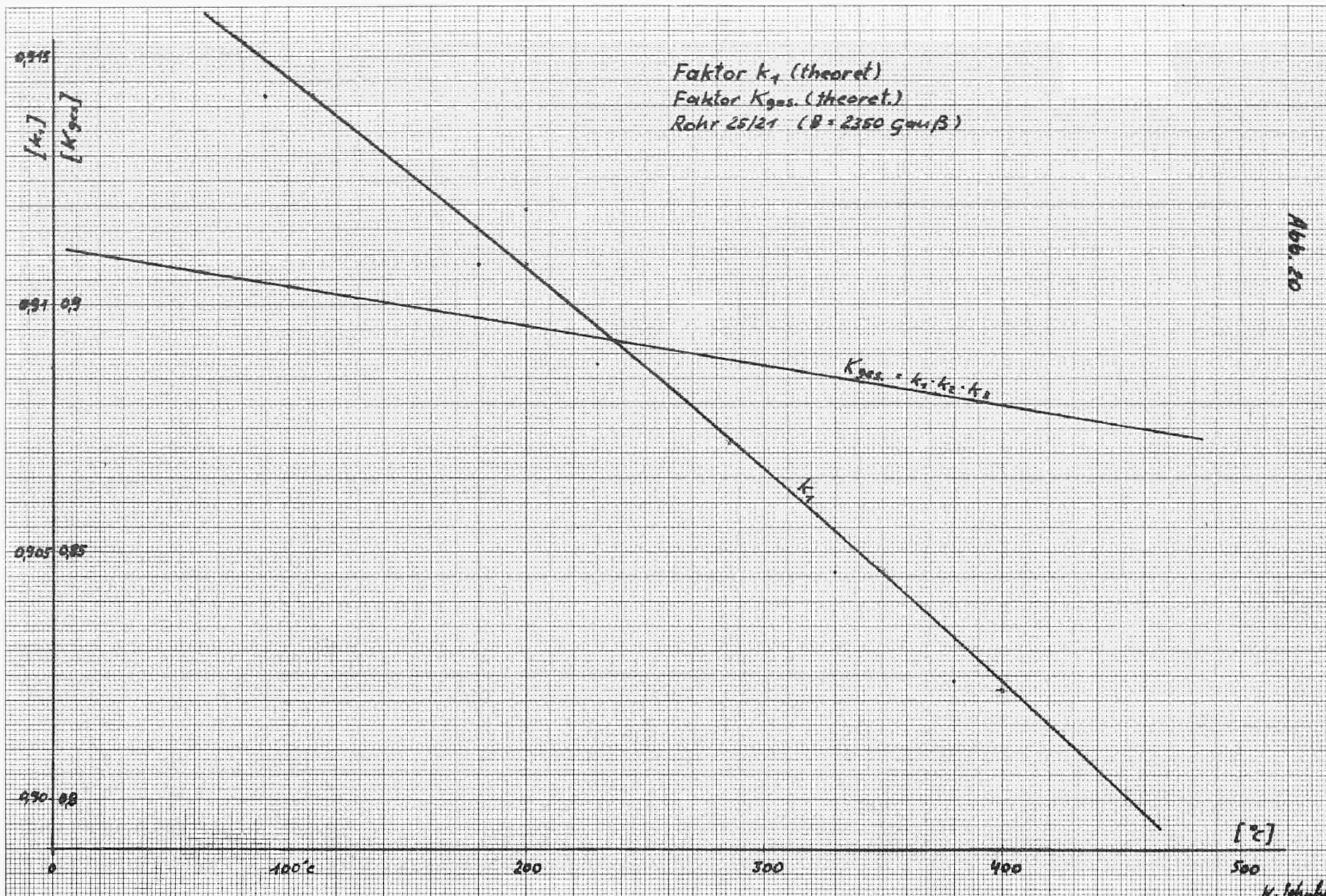
Abb. 11



[°C] NaK-Temp.
W. Schuler 2.10.53
12.10.53







CDNA01631DEC