

# Hall Effekt und Bandstruktur

---

## Themen zur Vorbereitung (relevant im Kolloquium zu Beginn des Versuchstages und für den „Theorieteil“ des Protokolls):

- Entstehung von Bandstruktur.
- Halbleiter-Bandstruktur.
- Dotierung von Halbleitern, Konzept des Loches.
- Zustandsdichte.
- Drude-Model.
- Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerdichte in dotierten und undotierten Halbleitern.
- Streuprozesse im Halbleiter und Beweglichkeit.
- Hall-Effekt.
- Magnetowiderstand.

## Relevant für die Durchführung des Versuches:

- Van-der-Pauw Methode.
- Thermoelement (wie verwendet man die Eich-tabelle für die Thermospannung!?)
- Funktion des Hochvakuum-Pumpstands.

## Versuchsaufgaben:

1. Der spezifische Widerstand und der Hall-Koeffizient einer Germaniumprobe sollen mittels der van-der-Pauw Methode als Funktion der Temperatur im Bereich von 80K bis 330K aufgenommen werden. Die Messwerte sollen halb-logarithmisch gegen  $1/T$  aufgetragen werden.
2. Mittels der Polarität der Hall-Spannung (Anzeige am Voltmeter muss negativ sein), des Primärstromes (positiv bei gegebener Verschaltung) und des Magnetfeldes (negativ, wenn Schalter links) soll das Vorzeichen des Hall-Koeffizienten und daraus die Dotierungsart der Probe bestimmt werden (Anfertigung einer Skizze für das Protokoll!).
3. Aus den Messungen soll die Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerkonzentration der untersuchten Probe bestimmt und halb-logarithmisch gegen  $1/T$  aufgetragen werden. Die Messkurve soll mit der theoretischen Temperaturabhängigkeit verglichen werden. Welche Donatoren-Konzentration liegt vor?
4. Aus den Messungen soll die Temperaturabhängigkeit der Hall-Beweglichkeit bestimmt, doppellogarithmisch aufgetragen und mit dem theoretischen Temperaturverlauf verglichen werden.
5. Die Größe der Energielücke von Germanium soll bestimmt werden. Bei einem Messbereich bis 330 K ist es sinnvoll, statt linearer Regression nur eine Interpolation

zwischen den beiden Messwerten mit den höchsten Temperaturen zur Ermittlung der Energielücke durchzuführen. Warum?

### Versuchsdurchführung:

- Aufzeichnung eines Schaltplans zum Versuch
- Inbetriebnahme des Pumpstands (bitte erst nach Rücksprache mit dem Assistenten!!)
- Messung des spezifischen Widerstands (in  $\Omega \cdot \text{cm}$ ) und der Ladungsträgerkonzentration (in  $\text{cm}^{-3}$ ) bei Zimmertemperatur (zwecks Überprüfung der Messergebnisse). Die Magnetfeldstärke soll  $3,5\text{kGauss} = 0,35\text{T}$  betragen. Die dafür erforderliche Erregerstromstärke ist einer grafischen Darstellung in der beigefügten Staatsexamensarbeit zu entnehmen!
- Die Dicke der Probe ist  $0.565\text{mm}$ .
- Messung des spezifischen Widerstands und des Hallwiderstands von  $290$  bis  $330\text{ K}$  (in Schritten von  $5\text{K}$ ). Maximale Heizspannung oberhalb  $20^\circ\text{C}$ :  $3,5\text{V}$ ! (Mit welcher Leistung wird hier geheizt?)
- Messung des spezifischen Widerstands und des Hallwiderstands von  $80\text{K}$  bis  $290\text{K}$  (in Schritten von  $5\text{K}$ ). Maximale Heizspannung  $4\text{V}$ !

### Literatur:

- Versuchsanleitung.
- Ibach, Lüth: Festkörperphysik (Halbleiter)
- Demtröder: Experimentalphysik 3 (Halbleiter)
- Siegfried Hunklinger: Festkörperphysik (Elektrische Transporteigenschaften, Halbleiter)
- Thuselt: Physik der Halbleiterbauelemente (Bänderstruktur und Ladungstransport)
  
- Melissinos, Experiments in Modern Physics
- C. Kittel, Einführung in die Festkörperphysik
- J. Singh, Semiconductor Devices
- S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices
- Putley, The Hall-Effect and Semiconductor Physics
- P. Grosse, Freie Elektronen im Festkörper

P.S. Die neue Anleitung beim Betreuer abholen.

# Van-der-Pauw-Methode

Eine wichtige Voraussetzung für die konventionellen Methoden zur Bestimmung der Leitfähigkeit und des Hall-Effektes ist eine wohldefinierte Probengeometrie. Normalerweise geht man von einer quader- oder stabförmigen Probenform aus. Die Van-der-Pauw Methode stellt in der Regel leichter zu erfüllende Anforderungen an die Probengeometrie. Die Probe muss eine (nahezu) planparallele Scheibe darstellen, darf eine beliebige Form haben und keine Locher aufweisen. 4 hinreichend kleine Kontakte A, B, C, D werden am Rand der Probe angebracht (Siehe Abbildung 1).

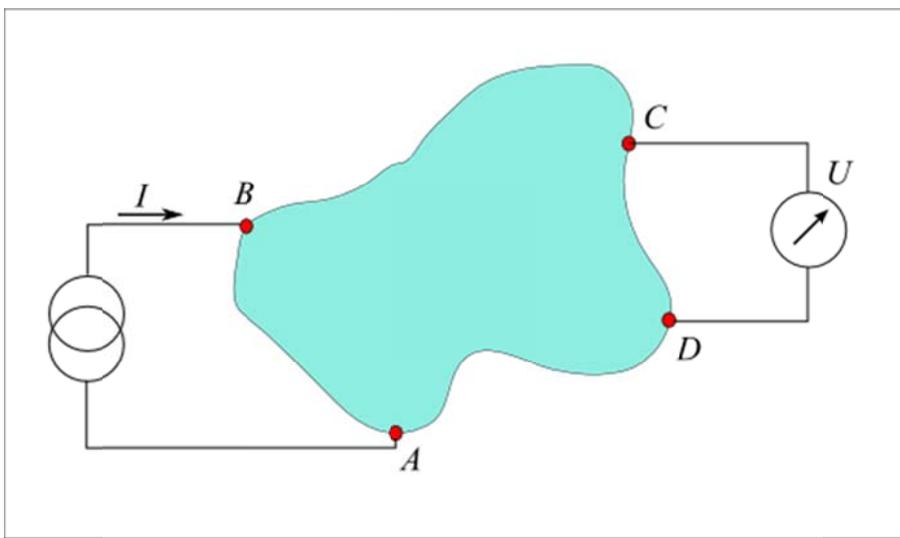


Abb.1 Van-der-Pauw-Geometrie

Man definiert  $R_{AB,CD}$  als Potentialdifferenz zwischen den Kontakten D und C dividiert durch den Strom  $I_{AB}$ , der durch den Kontakt A in die Probe fließt und durch den Kontakt B die Probe verlässt,

$$R_{AB,CD} = \frac{V_D - V_C}{I_{AB}}$$

Durch Anwendung der Theorie konformer Abbildungen auf den vorliegenden Sachverhalt lässt sich beweisen, dass sich daraus der isotrope Widerstand der Probe nach folgender Formel berechnen lässt:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln(2)} \left( \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \right) f \left( \frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}} \right)$$

Hier ist  $d$  die Probendicke,  $f$  ist eine nicht explizit darstellbare Funktion (siehe Abbildung 2), die nur vom Verhältnis  $R_{AB,CD}/R_{BC,DA}$  abhängig ist.

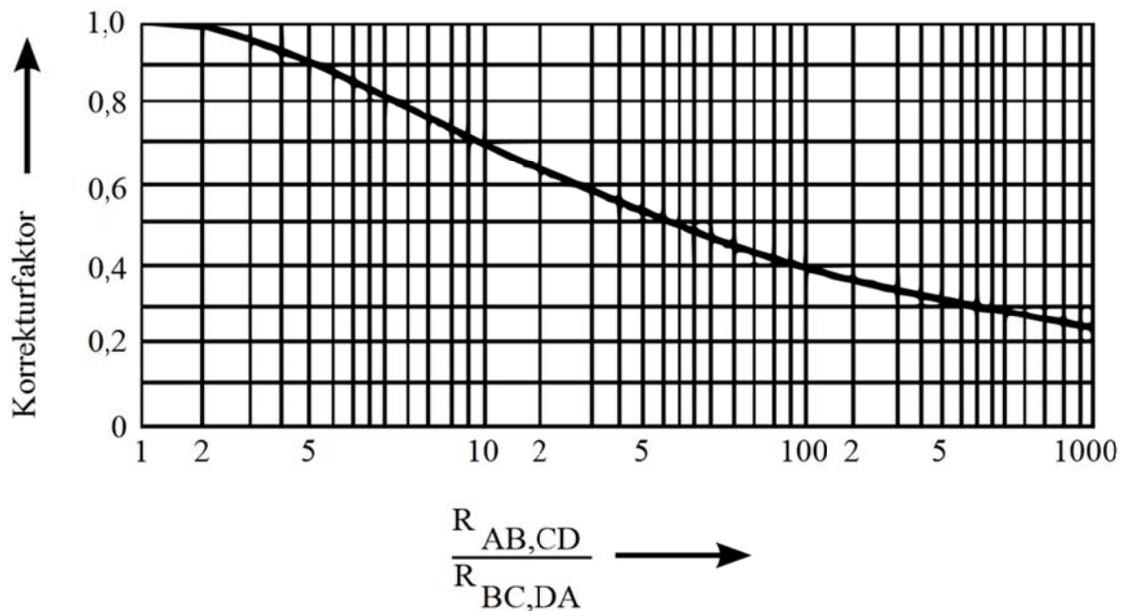


Abb. 2 Die Funktion für Widerstandsberechnung

Der Hall-Koeffizient kann bestimmt werden durch eine Messung der Änderung des Widerstands  $R_{BD,AC}$ , die durch das Anlegen des magnetischen Feld verursacht wird:

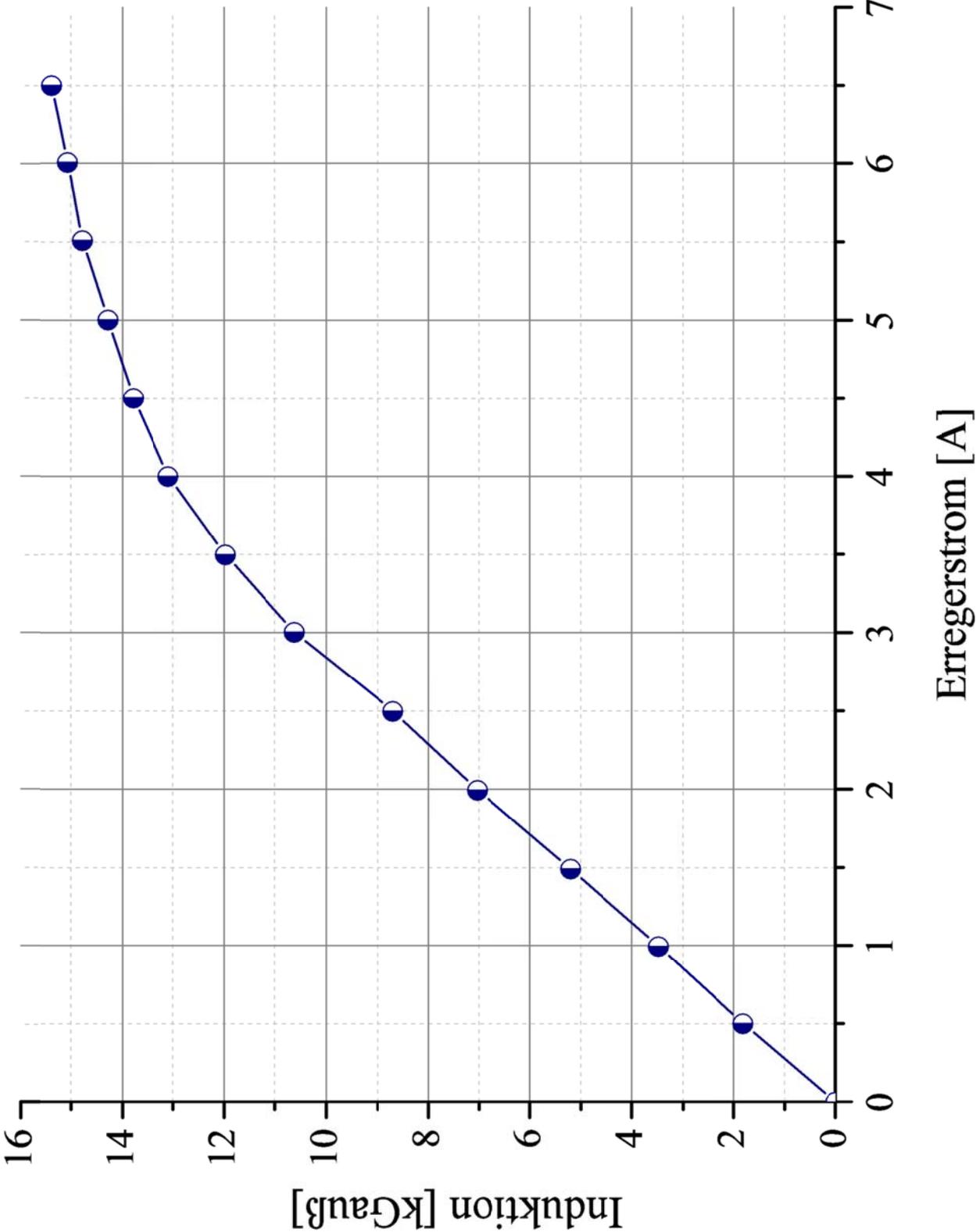
$$R_H = \frac{d}{B} \Delta R_{BD,AC} = \frac{1}{e n}$$

$B$  ist magnetische Induktion,  $\Delta R_{BD,AC}$  ist die Änderung des Widerstands  $R_{BD,AC}$  infolge des magnetischen Feldes.

Tabelle: Thermospannung des Kupfer-Konstanten-Thermopaars in mV nach DIN 43710 Bezugstemperatur 0 °C

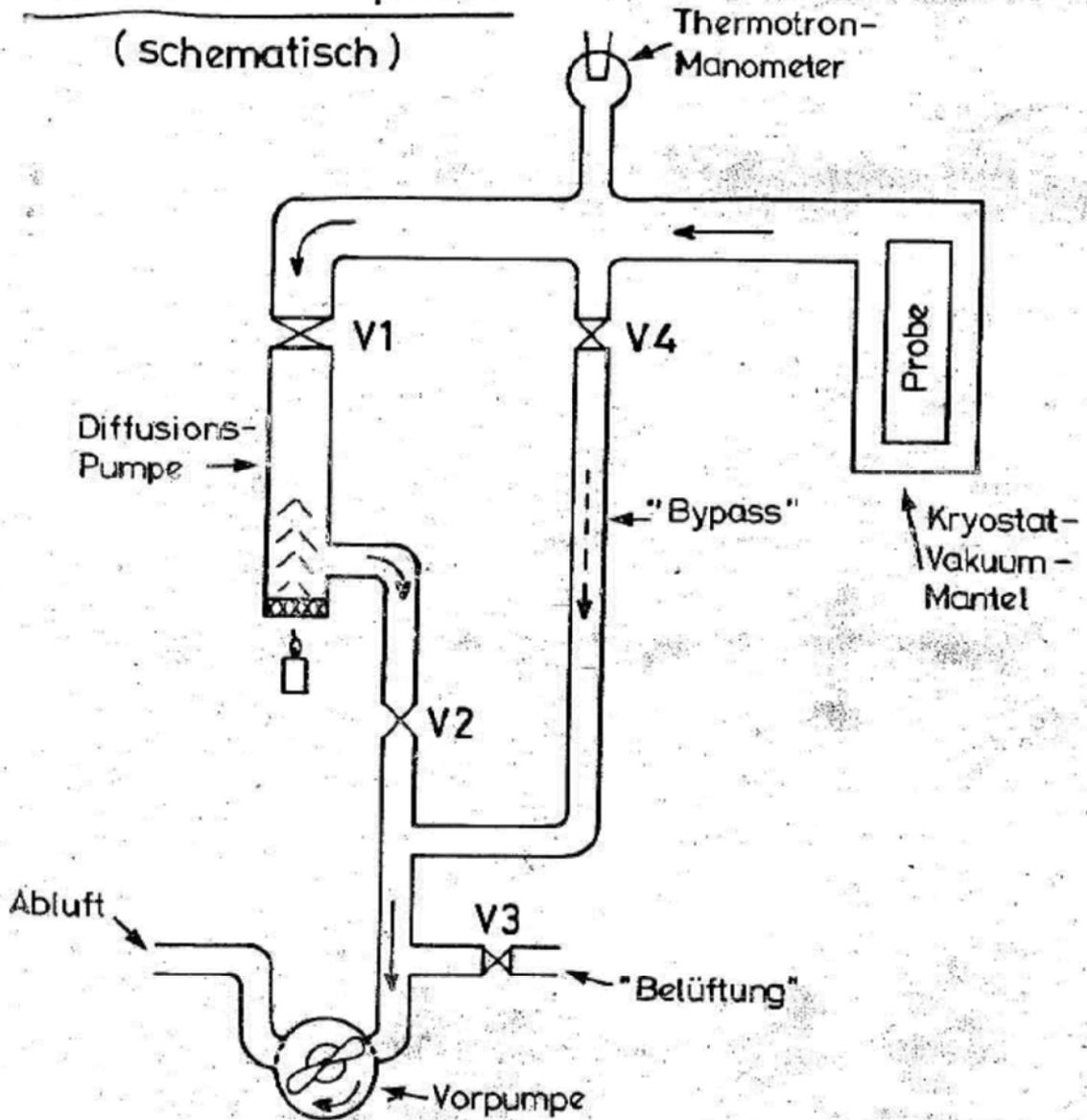
°C	mV	°C	mV	°C	mV
0	0	-100	-3,4	0	0
-10	-0,39	-110	-3,68	10	0,4
-20	-0,77	-120	-3,95	20	0,8
-30	-1,14	-130	-4,21	25	1
-40	-1,5	-140	-4,46	30	1,21
-50	-1,85	-150	-4,69	35	1,42
-60	-2,18	-160	-4,91	40	1,63
-70	-2,5	-170	-5,12	45	1,84
-80	-2,81	-180	-5,32	50	2,05
-90	-3,11	-190	-5,51	60	2,48
-100	-3,4	-200	-5,7	70	2,91
				80	3,35
				90	3,8
				100	4,25

# Die Magnetfeldstärke

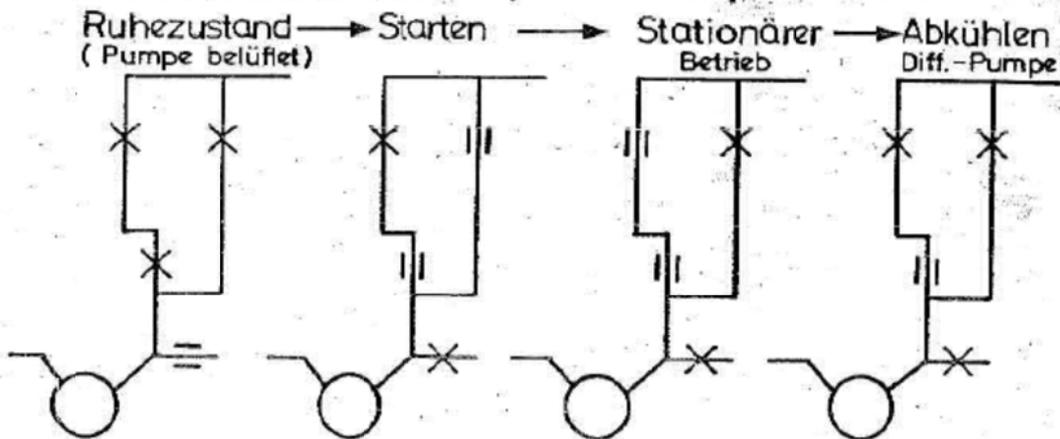


Hochvakuum-Pumpstand:

(schematisch)



Betriebszustände: (\* Ventil zu, || Ventil auf)



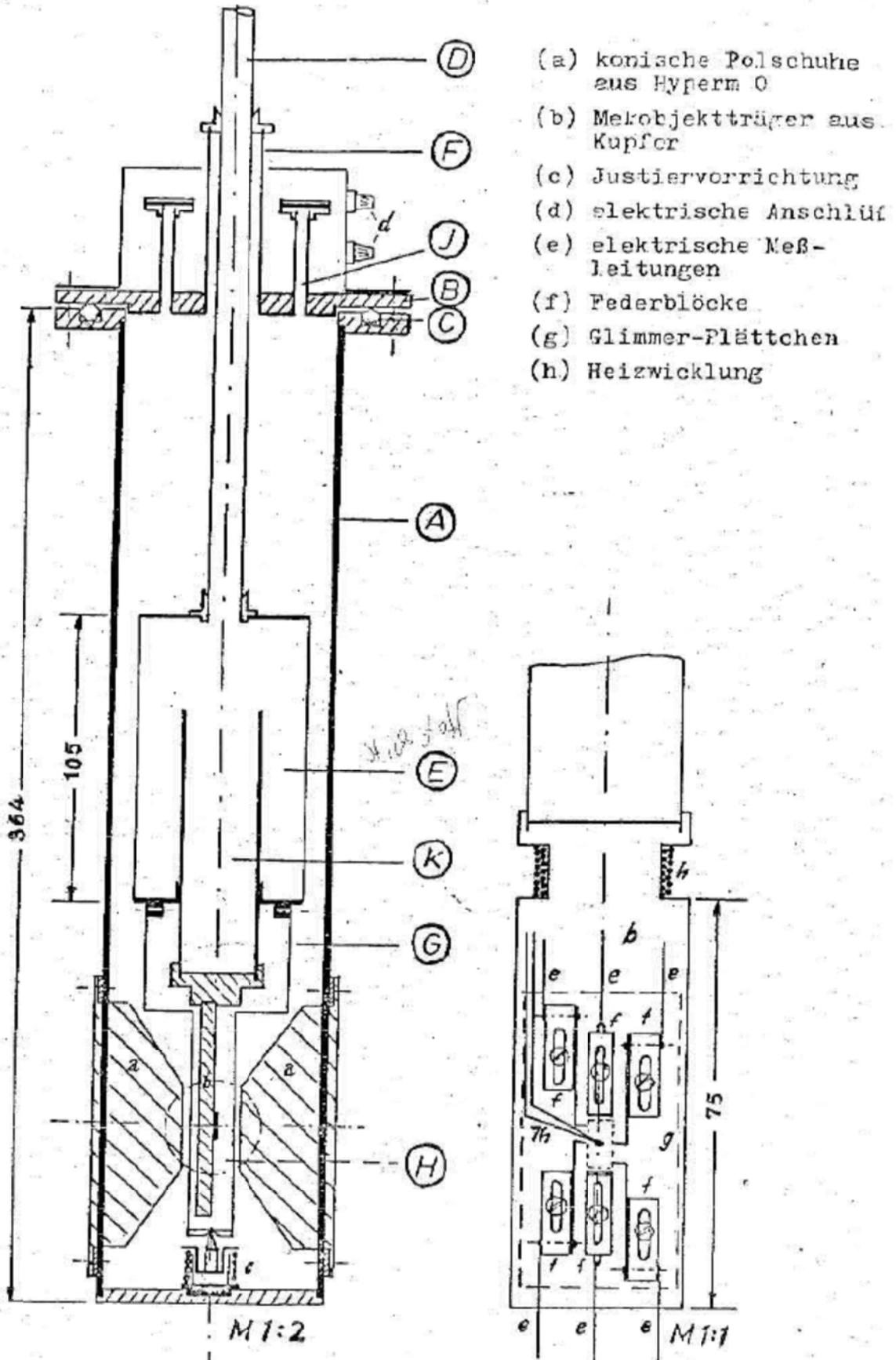


Abb. 10. Kryostat und Proberhalterung