Anreicherung der leichten Zinkisotope durch elektrolytische Überführung in geschmolzenem Zinkchlorid

VON ALFRED KLEMM, HEINRICH HINTENBERGER* UND ARNOLD LUNDÉN

Aus dem Institut für Physik, Chalmers Technische Hochschule, Göteborg,
und dem Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

(Z. Naturforschg. 6a, 489—494 [1951]; eingegangen am 2. Juli 1951)

An der Grenze zwischen PbCl_2 und ZnCl_2 wurde durch elektrolytische Überführung (Dauer 3 Tage, Stromstärke 230 mA, Stromdichte $4,27 \text{ A/cm}^2$, Verschiebung des Chlors relativ zum Zink 3,4 m, Vervielfachung 167, praktische Reichweite der Anreicherung 4 cm, Temperatur im Trennrohr 650°C) die Isotopenverteilung beim Zn zugunsten der leichten Isotope verschoben. Zwischen der besten Fraktion (59 mg Zink) und natürlichem Gemisch war für das Isotopenpaar ^{64}Zn , ^{70}Zn der Trennfaktor 3,19 erreicht worden. Der Masseneffekt $\mu = \frac{\Delta w}{w} \bigg/ \frac{\Delta m}{m}$ für die elektrolytischen Wanderungsgeschwindigkeiten w der Zinkisotope im ZnCl_2 wurde zu $\mu = -0,078$ bestimmt.

Die Kette —/Kohle/ $\text{Pb}/\text{PbCl}_2/\text{ZnCl}_2/\text{Cl}_2$ Kohle/ + wurde 3 Tage lang mit 230 mA elektrolysiert, wobei sich die Grenze zwischen der PbCl_2 - und ZnCl_2 -Schmelze in einem Diaphragma mit $0,054 \text{ cm}^2$ freiem Querschnitt befand, so daß dort eine Stromdichte von $4,27 \text{ A/cm}^2$ herrschte. Dadurch wurden bei einer Dichte des ZnCl_2 (650°C) von $2,3 \text{ g/cm}^3$ die Zinkionen relativ zu den Chlorionen um 340 cm verschoben. In Analogie zu früheren Versuchen¹ war an der Grenze $\text{PbCl}_2/\text{ZnCl}_2$ eine Anreicherung der leichten Zinkisotope zu erwarten. Für eine Anreicherung der schweren Bleiisotope an dieser Grenze war das Diaphragma auf der Seite des Bleichlorids zu kurz.

Vorversuche hatten gezeigt, daß während der Elektrolyse im mit ZnCl_2 gefüllten Teil des Diaphragmas gasgefüllte Hohlräume entstehen können, die zum Abwandern der Grenze ZnCl_2 — PbCl_2 nach der Kathode hin und zur Stromunterbrechung führen. Durch sorgfältiges Fernhalten von Wasser ließ sich diese Störung vermeiden. Das Zinkchlorid wurde deshalb in einem Seitenarm der Apparatur durch Verbrennen von Zink im trockenen Chlorstrom hergestellt, von wo es direkt in den Anodenraum überdestillierte.

Der Versuch wurde nach 3 Tagen abgebrochen, um eine einwandfreie Messung des Masseneffektes der Wanderungsgeschwindigkeiten für Zink im ZnCl_2 zu erhalten. Hierfür muß bei Versuchsende ein längeres Stück des Diaphragmas noch natürliches Isotopen-gemisch enthalten, so daß der erfolgte Isotopentrans-

port nicht durch stattgehabte Rückdiffusion oder Rückkonvektion der Beobachtung teilweise entgeht. Zur Bestimmung des Masseneffektes aus der stationären EndEinstellung der Apparatur müßte man die effektive Diffusionskonstante kennen, was die Meßgenauigkeit beeinträchtigen würde.

1. Gestalt und Herstellung des Trennrohres

Die Versuchsanordnung zeigt Abb. 1. Der wichtigste Teil des aus Supremax-Glas hergestellten Gefäßes für die Schmelzen ist das Trennrohr (Abb. 2). Dieses ist auf 18 cm Länge 4,1 mm weit, einschließlich der abschließenden Glasfilter-Platten 21,1 cm lang, hat 0,9 mm Wandstärke und ist gefüllt mit Glaspulver von 0,2 bis 0,4 mm Korngröße, welches als die zwischen zwei Sieben der Maschenweiten DIN 30 und DIN 40 verbleibende Fraktion erhalten worden war. Die Filterplatten (Durchmesser 9 mm, Dicke 4 mm) waren aus Glaspulver der Korngröße 0,6 bis 1,0 mm (DIN 11—14) hergestellt. Das Trennrohr hat an seinen Enden einen erweiterten Querschnitt, damit die Stromdichte an diesen kritischen Stellen vermindert wird und damit die Filterplatten nicht unbequem klein sein müssen. An der unteren Filterplatte wurde darauf geachtet, daß der Rand des Glasrohres nicht nach unten über die Platte hinausragt, weil sonst dort im Betrieb störende Gasblasen hängenbleiben können.

Die Zerkleinerung von Glas zur Gewinnung von Pulver geschah in einem Stahlzylinder mit Kolben unter einer hydraulischen Presse. Das Pulver wurde vor und nach dem Sieben mit konz. Salpetersäure gekocht, gewaschen und getrocknet. Die Filterplatten wurden in einem elektrischen Muffelofen bei 1000°C hergestellt, indem jeweils

* z. Zt. am Theodor-Kocher-Institut der Universität Bern.

¹ Literatur siehe A. Klemm, Z. Naturforschg. 6a, 487 [1951].

Abb. 1. Elektrolysegefäß und Öfen (maßstäblich) mit Zubehör (schematisch).

Abb. 2 Das Trennröhr und seine Zerlegung. Längen in mm.

5 mit dem Glaspulver gefüllte zweiteilige Formen aus Elektrodengraphit, die auf eine Kachel aufgeriht und zum Schutz gegen zu schnellen Abbrand mit Porzellantiegeln bedeckt waren, 20 Minuten lang im Ofen belassen wurden. Zur Herstellung des Trennröhres wurde zunächst die obere Filterplatte eingeschmolzen, dann wurde in das auf dem Kopf stehende Rohr heißes Glaspulver portionsweise und abwechselnd mit heftigem Klopfen so dicht als möglich eingefüllt. Wenn man nun sofort die untere Filterplatte einschmolz, dann war nach einigen Tagen oft ein Hohlraum im Glaspulver zu beobachten, weil sich das Glaspulver offenbar langsam gesetzt hatte. Deshalb wurde die untere Filterplatte erst eingeschmolzen, nachdem das Trennröhr einige Tage offen gestanden hatte.

Die Durchlässigkeit der Trennröhre wurde in verschiedenen Herstellungsstadien verfolgt, indem die Zeit gemessen wurde, in der in einem 2-l-Kolben der Luftdruck von 20 auf 60 mm Hg anstieg, wenn der Kolben über das Trennröhr mit der Atmosphäre in Verbindung stand. Beim fertigen Trennröhr betrug diese Zeit 42 sec.

Durch Messung von Durchmesser und Länge verschiedener Trennröhre und Wägung in ungefülltem und gefülltem Zustand wurde bei Kenntnis der Dichte von Supremaxglas ($2,438 \text{ g/cm}^3$) festgestellt, daß im Mittel 59 % des Rohrvolumens mit Pulver erfüllt ist und $41\% \pm 2\%$ für die Aufnahme der Schmelze leer bleibt. Diese Zahl hängt von der Homogenität des Pulvers, aber nicht von seiner Feinheit ab.

2. Chemikalien

Das Zink (in Stäben) AsT. war ein B.D.H. Laboratory Reagent der British Drug Houses, London.

Das Bomben-Chlor von E.K.A. (Bohus) war absolut trocken (durch H_2SO_4 -Dusche) und enthielt $< 0,01\%$ organischer Halogen-Verbindungen. Die chlorführenden Schläuche waren aus Polyvinylchlorid. Zum Schutz der Pumpe vor aggressiven Gasen war eine mit Adsorptionskohle gefüllte Falle, die mit Aceton-Kohlensäure gekühlt werden konnte, vorgelegt.

Das Bleichlorid, C.B. von Coleman & Bell (USA.) enthielt höchstens 0,005% Kupfer, 0,1% Erden und Alkalien, 0,001% Eisen, 0,000% Nitrat und 0,01% Sulfat.

3. Das Füllen der Apparatur

Die vom Glasbläser fertiggestellte Apparatur wurde mit Salpetersäure gereinigt, gewaschen und im Trockenschrank bei 140°C getrocknet. Dann wurde sie eingebaut, im wagrechten Schenkel mit 40 g Zn. auf 3 Schiffchen verteilt, beschickt und 12 Stdn. unter dem Vakuum einer rotierenden Ölpumpe belassen, wobei der senkrechte gläserne Ofen auf 500°C erhitzt war. Das Bleichlorid, welches in einem großen Reagensglas in einem anderen Ofen unter Vakuum so lange geschmolzen worden war, bis es kein Gas mehr abgab, wurde nach dem Lufteinlassen in die Apparatur mittels eines dünnwandigen Glastrichters durch den linken oberen Stutzen in die Apparatur eingegossen, und zwar bis zur Höhe der oberen Filterplatte. Auf diese Weise erfüllte das Bleichlorid das ganze Diaphragma von unten her und verdrängte dort die Luft, trat jedoch nicht in den Anodenraum ein, wo eine spätere Mischung von PbCl_2 mit ZnCl_2 vermieden werden sollte. Nachdem die Apparatur nochmals bis zum Aufhören der Gasabgabe des Bleichlorids evakuiert worden war, wurde in der Apparatur wieder Luftdruck hergestellt und dann Chlor eingeleitet, welches über eine mit Schwefelsäure gefüllte Waschflasche, an der seine Strömungsgeschwindigkeit zu beobachten war, ins Freie entweichen konnte. Durch Erhitzen des wagerechten Röhrenofens auf etwa 850° wurde das Zink entzündet. Es brannte mit hellem weißen Licht, und das gebildete ZnCl_2 sammelte sich im Anodenraum an. Die zunächst unscharfe Grenze PbCl_2 — ZnCl_2 wurde dabei in das Trennrohr hineingedrückt. Wenige Minuten nach dem Einschalten des Elektrolysenstromes wurde sie völlig scharf und deutlich sichtbar. Der wagerechte Supremaxglas-Schenkel hatte sich infolge der 850° etwas gebogen.

4. Die elektrische Einrichtung

600 Volt der Gleichspannung wurden einem bis 2 A belastbaren Selengleichrichter entnommen und weitere 200 V von einem Röhrengleichrichter geliefert. Ein Gleichstromstabilisator (Abb. 3) hielt den Elektrolysenstrom auf 230 mA konstant. Die durch das Nachunterschwächen der Grenze $\text{PbCl}_2/\text{ZnCl}_2$ systematisch ansteigende Zellenspannung sowie die mit einem Thermoelement in der Höhe der unteren Filterplatte gemessene Temperatur wurde von einem Papierschreiber registriert. Ein zweites, unmittelbar neben dem ersten angebrachtes Thermoelement steuerte einen

Abb. 3. Schema des Gleichstrom-Reglers.

Temperaturregler, der die Zeigerbewegung eines Millivoltmeters kapazitiv ausnützt (Wheelco Instruments Co., Chicago, Modell 221). Durch den Temperaturregler wurde abwechselnd 5 und 6 A Heizstrom eingeschaltet. Ein drittes, verschiebbares Thermoelement diente zur Messung der räumlichen Temperaturvariation im Ofen.

5. Verlauf des Versuches

Während des Versuches war die Temperatur nach Angabe des Temperaturschreibers innerhalb 5°C konstant. Sie war so gewählt, daß das Bleichlorid im Kathodenraum unten fest und oben flüssig war, so daß dort die Schmelztemperatur herrschte (501°C). Dies war vorteilhaft, weil sich dann so wenig als möglich Blei im Bleichlorid löste. Die Einschnürung der Apparatur zwischen der unteren Filterplatte und der Kathode (Abb. 1) trug vollends dazu bei, daß die schwarz gefärbte Bleilösung nur bis zur Höhe dieser Einschnürung anstieg, und daß das Trennrohr durch den klargelben Mantel von Bleichlorid hindurch stets deutlich sichtbar war. Im Ofen neben dem Trennrohr wurde ein Temperaturanstieg nach oben von 520°C bis 575°C auf 13 cm Länge gemessen. Die Temperatur im Trennrohr selbst konnte nur indirekt abgeschätzt werden, und zwar aus der Änderung der Zellenspannung bei der Verschiebung der Grenze PbCl_2 — ZnCl_2 . Es gilt nämlich:

$$\frac{dV}{dx} = i \left(\frac{1}{\kappa_1} - \frac{1}{\kappa_2} \right),$$

wo V = Zellenspannung, x = Abstand der Grenzfläche von der oberen Filterplatte, i = Stromdichte, κ_1 und κ_2 elektrische Leitfähigkeiten von ZnCl_2 und PbCl_2 . Aus den experimentellen Werten $dV/dx = 12,5 \text{ Volt/cm}$ und $i = 4,27 \text{ A/cm}^2$ sowie der bekannten starken Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeiten, besonders des ZnCl_2 , ergab sich die Temperatur im Trennrohr an der Stelle der Grenze zu 650°C ($\kappa_1 = 0,32 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$, $\kappa_2 = 2,08 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$).

Dies stimmt mit der Beobachtung überein, daß sich einerseits das Trennrohr während des Versuchs etwas verbogen hatte, daß aber andererseits bei der nachträglichen Zerlegung das Glaspulver im Trennrohr noch nicht zusammengesintert war, sondern von selbst herausfiel. Bei einem Vorversuch wurde festgestellt, daß die Zellenspannung bei Erhöhung der Ofentemperatur um 1°C um etwa 1 Volt stieg. Infolge des Verbrauchs von PbCl_2 im Reserveraum wanderte die Grenzfläche kontinuierlich nach unten, und die

sten Trennrohrstück ein Verschluß gebildet wurde. Nach Abspaltung des Glas- und PbCl_2 -Mantels wurde dann das Trennrohr gemäß Abb. 2 in einzelne Proben zerlegt, die wegen der Hygroskopie des ZnCl_2 sofort in Glasröhrchen eingeschmolzen wurden.

6. Chemische Analyse

Nachdem die zugeschmolzenen Glasröhrchen mit den Trennrohrstücken gewogen worden waren, wurden sie aufgebrochen und in Wasser gebracht, so daß sich PbCl_2 und ZnCl_2 auflösten. Das gesamte Glas wurde dann auf Papierfiltern gewaschen und nach Versäuerung des Papiers gewogen. Durch Differenzbildung ergab sich die Menge Chlorid in jeder Probe (Tab. 1). Da Probe 1 PbCl_2 und

Abb. 4. Zeitlicher Anstieg der Elektrolyse-Spannung infolge der zunehmenden Länge der ZnCl_2 -Säule.

Zellenspannung stieg entsprechend, wie es Abb. 4 zeigt. Dabei blieb der Quotient der Niveaudifferenzen zwischen der Grenze ZnCl_2 — PbCl_2 und den Oberflächen des ZnCl_2 und PbCl_2 nahezu konstant bei 1,895. Daß er etwas von dem rein hydrostatischen Gleichgewichtswert 2,01 abwich, ist als Folge der Wechselwirkungen zwischen den wandernden Ionen und der Glaswand nicht verwunderlich. Als die Grenze 2 cm von der unteren Filterplatte entfernt war, wurde der Versuch abgebrochen.

Die Abkühlung wurde durch Entfernung der unteren Asbestisolation so vorgenommen, daß das PbCl_2 von unten nach oben fortschreitend erstarrte, damit nicht das später erstarrende ZnCl_2 bei der Volumenverminderung des PbCl_2 in den Kathodenraum hineingesaugt wurde, sondern rechtzeitig durch Erstarren des PbCl_2 im unter-

Probe Nr.	Länge (cm)	ZnCl_2 (mg)	μf_n	f_n
1	0,9	124	— 12,93	166,6
2	1,1	148	— 6,16	79,4
3	2,9	398	— 1,58	20,4
4	5,0	690	—	—
5	3,2	437	—	—
6	3,8	570	—	—

Tab. 1. Längen, Gewichte und Vervielfältigungsfaktoren der Proben 1—6.

ZnCl_2 enthielt, wurde hier das im Filtrat vorhandene Blei als Sulfat gefällt und gewogen. Es ergab sich, daß die Probe 33,9 mg PbCl_2 enthielt. Außerdem enthielt Probe 1, wie aus einem schwach blauen Schimmer an der Stelle der Grenze PbCl_2 — ZnCl_2 erkenntlich war, eine Spur Eisen, das sich an der Grenze angereichert hatte. Auf Grund eines Vorversuches, bei dem das Eisen als $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ -Lösung kolorimetrisch bestimmt worden war, konnten wir abschätzen, daß es sich diesmal um weniger als 1 mg Fe handelte.

Die ZnCl_2 -Lösungen wurden zwecks Bildung von Zinkat mit NaOH versetzt, und das Zink an Anoden aus Pt-Blech elektrolytisch abgeschieden.

7. Massenspektrometrische Analyse

Zur massenspektroskopischen Untersuchung erwies sich das auf Platinblech niedergeschlagene metallische Zink als ungeeignet und wurde mit Salzsäure wieder chloriert. Die so erhaltenen ZnCl_2 -Proben wurden in der Ionenquelle eines 60° -Massenspektrometers aus einem Öfchen verdampft, durch einen Elektronenstrahl ionisiert und die Isotopenhäufigkeiten am Zn^+ -Spektrum gemessen. Da ziemlich leicht ZnCl_2^{++} -Ionen auftreten, die das Zn^+ -Spektrum teilweise überlagern, wurde mit einer sehr kleinen Beschleunigungsspannung für die Elektronen (23 Volt) gearbeitet, die beträchtlich unterhalb des Appearance-Potentials der ZnCl_2^+ -Ionen ($\approx 28\text{ V}$)

Probe Nr.	Masse	64	66	67	68	70
1	Meßwert	100	$38,2 \pm 0,5$	$5,0 \pm 1,0$	$17,4 \pm 1,0$	—
	Ausgeglichen	100	38,2	4,60	17,4	0,40
2	Meßwert	100	$47,1 \pm 0,5$	$6,5 \pm 1,0$	$25,3 \pm 1,0$	—
	Ausgeglichen	100	47,1	6,28	26,2	0,73
3	Meßwert	100	$54,2 \pm 0,5$	$8,8 \pm 1,0$	$34,5 \pm 1,0$	—
	Ausgeglichen	100	54,2	7,74	34,5	1,10
4	Meßwert	100	$58,2 \pm 1,0$	$8,6 \pm 1,0$	$38,6 \pm 1,0$	—
5	Meßwert	100	$57,4 \pm 1,0$	$9,2 \pm 1,0$	$38,7 \pm 1,0$	—
6	Meßwert	100	$57,0 \pm 0,5$	$8,7 \pm 1,0$	$39,0 \pm 1,0$	—
Tabellenwert		100	56,90	8,32	38,05	1,27

Tab. 2. Gemessene und ausgeglichene Isotopenhäufigkeiten der Proben Nr. 1—6, bezogen auf ^{64}Zn .

lag. Die für die verschiedenen Proben erhaltenen Isotopenhäufigkeiten zeigt Tab. 2. Die angegebenen Fehler kommen hauptsächlich von schwachen Stör-
linien her, die besonders bei den Massen 67 und 70 immer vorhanden waren. Deshalb wurde das schwache Isotop bei der Masse 70 überhaupt nicht gemessen. Die Massenspektren wurden bei konstanter Beschleunigungsspannung durch Veränderung des Magnetfeldes ausgemessen. Ein Hilfsmagnet wurde in der Ionenquelle nicht benutzt.

8. Auswertung

Zunächst wurden die massenspektrometrisch gefundenen Isotopenhäufigkeiten mittels der Beziehung

$$\ln \frac{m, ^{64}\text{V}_n}{m, ^{64}\text{V}_0} = \mu f_n 2 \frac{m - 64}{m + 64}$$

ausgeglichen. Dabei ist $m, ^{64}\text{V}_n$ die Häufigkeit des Isotops der Masse m in bezug auf das Isotop 64 in Probe n . $n = 0$ bezeichnet das natürliche Gemisch. Da die Isotope 64 und 66 die häufigsten sind, war ihr Mischungsverhältnis am genauesten gemessen. Es wurde deshalb benutzt, um zunächst für jede Probe μf_n zu bestimmen. Mittels dieser in Tab. 1 eingetragenen μf_n -Werte wurden die übrigen Mischungsverhältnisse berechnet. Für die natürlichen Häufigkeiten wurden die Tabellenwerte² eingesetzt. Die Meßwerte sowie das Ergebnis des Ausgleiches sind in Tab. 2

² Mattauch-Flammersfeld, Isotopenbericht 1949 (Sonderheft der Z. Naturforsch.).

³ A. Klemm, Z. Naturforsch. 1, 252 [1946].

und Abb. 5 zusammengefaßt. Man erkennt, daß in Probe 1 bis 3 die schweren Isotope in der erwarteten Reihenfolge angereichert sind. Der größte vorkommende Trennfaktor besteht zwischen den Isotopen 64 und 70 in Probe 1 und beträgt 3,19. Die Proben 4 bis 6 können als von natürlicher Isotopenzusammensetzung gelten.

Abb. 5. Abszisse: relative Massendifferenz. Ordinate: Abreicherung der Isotope 66, 67, 68 und 70 gegenüber der natürlichen Mischung 0 und dem häufigsten Isotop 64 für die Proben 1 bis 6. Kreise: Meßwerte; Kreuze: Ausgegliche Werte.

Für das systematische Herausfallen der für die Masse 67 gemessenen Häufigkeitswerte ist die bereits erwähnte Störlinie verantwortlich, die sich wegen der geringen Häufigkeit dieses Isotopes bei der Masse 67 besonders stark auswirkt. Der durch die Gleichung

$$\mu = \frac{\Delta w}{w} \bigg/ \frac{\Delta m}{m}$$

(w = Ionenwanderungsgeschwindigkeit, m = Isotopenmasse) definierte Masseneffekt μ wurde mittels der Gleichungen³

$$\left(\frac{\Delta w}{w} \right)_{64,66} = \left(\frac{^{64}\text{N}}{^{64}\text{N}_0} - \frac{^{66}\text{N}}{^{66}\text{N}_0} \right) \frac{F N_{\text{Cl}}}{L},$$

$$^m\text{N} = ^m\text{N}_1 + ^m\text{N}_2 + ^m\text{N}_3$$

bestimmt. Dabei ist $F = 96\,500$ Coulomb, $L = 0,23$ A, 3 Tage = 59 600 Coulomb. N_{Cl} ist die in den Proben 1—3 als ZnCl_2 enthaltene Menge Cl in Mol. Da die 3 Proben 670 mg ZnCl_2 enthielten, war $N_{\text{Cl}} = 0,00983$.

Es waren nun die absoluten Mengen $^{64,66}\text{N}$ der Isotope 64 und 66 in den Proben 1 bis 3 zu berechnen. Dies geschah mittels der Gleichung

$$^m N_n = N_n \frac{m,^{64}\text{V}_n}{\sum_m m,^{64}\text{V}_n},$$

wobei für die $m,^{64}\text{V}_n$ die ausgeglichenen Werte gemäß Tab. 2 eingesetzt wurden. So wurde gefunden

$$\frac{^{64}\text{N}}{^{64}\text{N}_0} - \frac{^{66}\text{N}}{^{66}\text{N}_0} = 0,150.$$

Daraus ergibt sich

$$\left(\frac{\Delta w}{w}\right)_{64,66} = 0,00239 \text{ und } \mu = -0,0776.$$

Nach Kenntnis von μ konnten noch für die Proben 1 bis 3 die Vervielfachungen f_n aus den bekannten μf_n -Werten bestimmt werden (Tab. 1). Da sich

die Anreicherung auf ungefähr 4 cm Länge erstreckte, setzen wir $\sqrt{\pi D' t} = 4$ cm und erhalten mit $t = 3$ Tage für die effektive Diffusionskonstante der Zinkionen den Wert $D' = 1,7$ cm²/Tag.

Dieser im Vergleich zu früheren Versuchen kleine Wert dürfte auf eine verminderte Konvektion im Diaphragma infolge der thermisch günstigeren Lagerung des Trennrohres in einem Bad aus geschmolzenem Bleichlorid zurückzuführen sein.

Die Schmelzelektrolyse wurde in Göteborg am Institut für Physik der Technischen Hochschule durchgeführt, wo der eine von uns (A.K.) als Gast weilte. Herr Prof. Dr. N. Ryde hat die Arbeit durch Schaffung der Voraussetzungen auf das freundlichste unterstützt, Herr fil. kand. Kongstad hat den Röhrengleichrichter und den Stromstabilisator unter Mitwirkung von Herrn Ingenieur Brune entworfen und gebaut, Herr Civiling. R. Andersson und Herr stud. phys. A. Loddning haben bei den Versuchen selbst geholfen. Herr Dr. R. Lindner vom Institut für Silikatforschung in Göteborg hat uns einige Proben chemisch analysiert. Die Isotopenhäufigkeitsmessungen hat der zweite von uns (H.H.) mit dem Massenspektrometer des Max-Planck-Instituts für Chemie als Gast des Theodor-Kocher-Instituts der Universität Bern unter Mitwirkung von Herrn C. Lang durchgeführt. Wir möchten allen Beteiligten unseren herzlichsten Dank abstatten.

Positive Kugelkorona und Schwingungsmessungen

VON WILHELM FUCKS UND WALTER BUDDE

Aus dem Physikalischen Institut der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

(Z. Naturforschg. **6a**, 494—504 [1951]; eingegangen am 28. Mai 1951)

Die Koronaentladung läßt sich zu Schwingungsmessungen verwenden. Es werden zunächst statisch ermittelte Kurzschluß- und Arbeitskennwerte der Koronameßstrecke mitgeteilt. Sodann wird die Koronameßstrecke mit schwingender Kathode betrachtet. Mehrere für die Theorie nützliche Begriffe lassen sich in Analogie zur Theorie der Verstärkerröhre definieren. Es zeigt sich, daß für tiefere Frequenzen die statisch ermittelten Kennlinien für instationäre Vorgänge zugrundegelegt werden dürfen. Die Schwingungsform einer quadratischen Glasplatte wird mit der Koronameßmethode bestimmt.

In mehreren vorangegangenen Arbeiten^{1,2,3} wurde von Fucks gezeigt, daß sich Vorstromentladungen zu trägheits- und rückwirkungsfreien anemometrischen, thermometrischen und mechanischen Schwan-

kungs- und Schwingungsmessungen verwenden lassen. Im folgenden wird über die Grundlagen der Messung von mechanischen Schwingungen mit der Koronaentladung berichtet. Der Entladung zwischen einer Kugel als Anode und einer Platte als Kathode (Abb. 1) kommt hierbei besondere Bedeutung zu, weil bei Messungen an schwingenden Metallflächen diese direkt als Kathode verwendet werden können. Bei

¹ W. Fucks, Dtsch. Luftfahrtforschg., Untersuch. Mitt. 1202 (31) 2203 [1944]; ebenda 1203 (31) 2203 [1944]; ebenda 1205 (31) 2803 [1944]; ebenda 1230 (31) 0305 [1944]; ebenda 1299 (35) 0308 [1944]; ebenda 1431 (40) 1101 [1944]; FEPI 1943; DVL-Bericht 1943; W. Fucks u. F. Kettel, Dtsch. Luftfahrtforschg., Untersuch. Mitt. 1452 (35) 1801 [1945]; ebenda 1470 [1945]; W. Fucks u. G. Schumacher, ebenda 1189 (35) 1103 [1944].

² W. Fucks, Z. Naturforschg. **5a**, 89 [1950].

³ W. Fucks, Z. angew. Physik (im Druck).