

~~SECRET~~ 60

- 7 -

geklärt ist.

Beim Vergleich der draht- und dampfgeheizten Trennröhre ist zu berücksichtigen, dass die Drahttemperatur bei Verwendung von Wolframdrähten bis auf 2000° abs. gesteigert werden kann, während die Versuche mit den dampfgeheizten Röhren bisher nur bis 360°C (Siedetemperatur des Quecksilbers unter Atmosphärendruck) durchgeführt wurden. Obgleich die Ergebnisse der drahtgeheizten Röhre hier nicht diskutiert werden sollen, da sie für das spezielle Problem wohl kaum zur Anwendung kommen dürften, so sei doch darauf hingewiesen, dass der Trennfaktor bei Dampfheizung bei gleichen Temperaturunterschieden bedeutend grösser ist, und dass z.B. eine Dampfheizung mit Quecksilber (360°C) bei Rohrdurchessen von 16 mm bzw. 22 mm denselben Trenngrad ergibt, wie ein auf 1400°C geheizter Draht von 0,2 mm Durchmesser in einem Glasrohr von 5 mm Durchmesser. Die Einstelldauer ist ausserdem nur etwa der 10. Teil, obgleich das Volumen des Rohres etwa 5 mal so gross ist. Dabei ist es keineswegs sicher, dass das Optimum der Wandabstände der konzentrischen Röhre für die Einstelldauer bei unseren Versuchen schon erreicht ist; Versuche in dieser Richtung sollen noch durchgeführt werden.

Das beiliegende Diagramm zeigt die Ergebnisse einiger Versuche mit 2 m langen Metallapparaturen. Der Effekt ist bei den geringen hier vorhandenen Trenngraden proportional der Rohrlänge, wie der Vergleich der Versuchsergebnisse mit 2 m und mit 8 m langen Röhren ergab. Die Zeitabhängigkeit liess sich bei den

~~SECRET~~ 68

- 8 -

Versuchen bei 100°C und bei 146°C infolge der Kleinheit der Effekte nur schlecht messen; es scheint jedoch, dass die Einstelldauer auf keinen Fall dem Quadrat der Rohrlänge proportional, sondern schwächer von ihr abhängig ist.

In der folgenden Tabelle ist eine Zusammenstellung der Trennfaktoren in Abhängigkeit von der mittleren Versuchstemperatur, der verwendeten Höchsttemperatur und dem Temperaturunterschied gegeben. Sie zeigt, dass der Trenneffekt ^{hier kann} etwa proportional der Differenz von Aussen- und Innentemperatur und der mittleren absoluten Temperatur ist. Die angegebenen Atomgewichtsunterschiede entsprechen einem Trennrohr von 2 m Länge.

x. dieses gibt in seine Arbeit für leidenschaftliche Forscher den Effekt als proportional: $\frac{\Delta T}{T_{\text{mittel}}}$ an, was offenbar beim Xenon nicht der Fall ist.

~~SECRET~~ 60

- 9 -

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei Verwendung eines dampfgeheizten Doppelmantelrohres und einer mässigen Trennlänge (etwa 10 m) ein Effekt zu erwarten ist, der den gestellten Anforderungen genügt; die angereicherten Isotopen können bei geeigneter Dimensionierung wahrscheinlich in Mengen gewonnen werden, die für die vorliegenden Zwecke ausreichend sind.

~~SECRET~~ 60

- 10 -

Ferner hat Herr Suess eine Methode ausgearbeitet, die es gestattet, die erwartete Verschiebung des Isotopenverhältnisses nachzuweisen. Sie beruht auf folgender Überlegung: Das Isotop U^{235} , dessen Anreicherung interessiert, trägt, wie aus der in der Tabelle angegebenen Häufigkeit und Halbwertszeit hervorgeht, nur wenig zur Gesamt- α -Aktivität bei. Eine Veränderung der α -Aktivität durch geringe Anreicherung von U^{235} wird daher mit einfachen Mitteln nicht nachgewiesen werden können. Es wird jedoch bei der Anreicherung von U^{235} zwangsläufig auch das Isotop U^{234} und zwar in etwas stärkerem Masse angereichert. Das U^{234} trägt - als Folgeprodukt mit U^{238} im radioaktiven Gleichgewicht stehend - trotz seines geringen mengenmässigen Anteiles im natürlichen Uran zur Gesamt- α -Aktivität ebensoviel bei wie das U^{238} . Wird z.B. das U^{234} um 10% angereichert, dann steigt hierdurch die Gesamt- α -Aktivität um 5%. Man hat dann zu erwarten, dass das U^{235} um mindestens 7% angereichert wurde.

Tabelle.

	Konzentration	Halbwertszeit
U^{238}	0,99	$4,36 \cdot 10^9$ a
U^{235}	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$7,13 \cdot 10^8$ a
U^{234}	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^5$ a

Die Gesamt- α -Aktivität lässt sich, wie Herr Suess in unseren Institut überprüft hat, leicht durch Messung der Entladungsgeschwindigkeit eines Elektrometers auf 1% genau bestimmen. Zur Messung wird ungefähr ein Gramm Uranoxyd benötigt. Die Verschiebung des Isotopenverhältnisses um wenige Prozente kann auf diese Weise leicht nachgewiesen werden.

~~SECRET~~ 60

- 9 -

- 1.) Siehe
K. Clusius u. G. Dickel, Z. f. phys. Chem. (B) 44, 397 (1939)
- 2.) R. Fleischmann, Physikal. Zeitschr. 41, 14, 1940.
- 3.) W. H. Furry, R. Clark Jones u. L. Onnager, Phys. Rev. 55, 1083, 1939
A. K. Brewer u. A. Bramley, Phys. Rev. 55, 590, 1939
W. W. Watson, Phys. Rev. 55, 703, 1939
- 4.) W. Groth, Naturwiss. 27, 260 (1939)
W. Groth u. F. Harteck, Naturwiss. 27, 584 (1939)
W. Groth u. F. Harteck, Naturwiss. 28, 47 (1940)

Figure D.124: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-33].

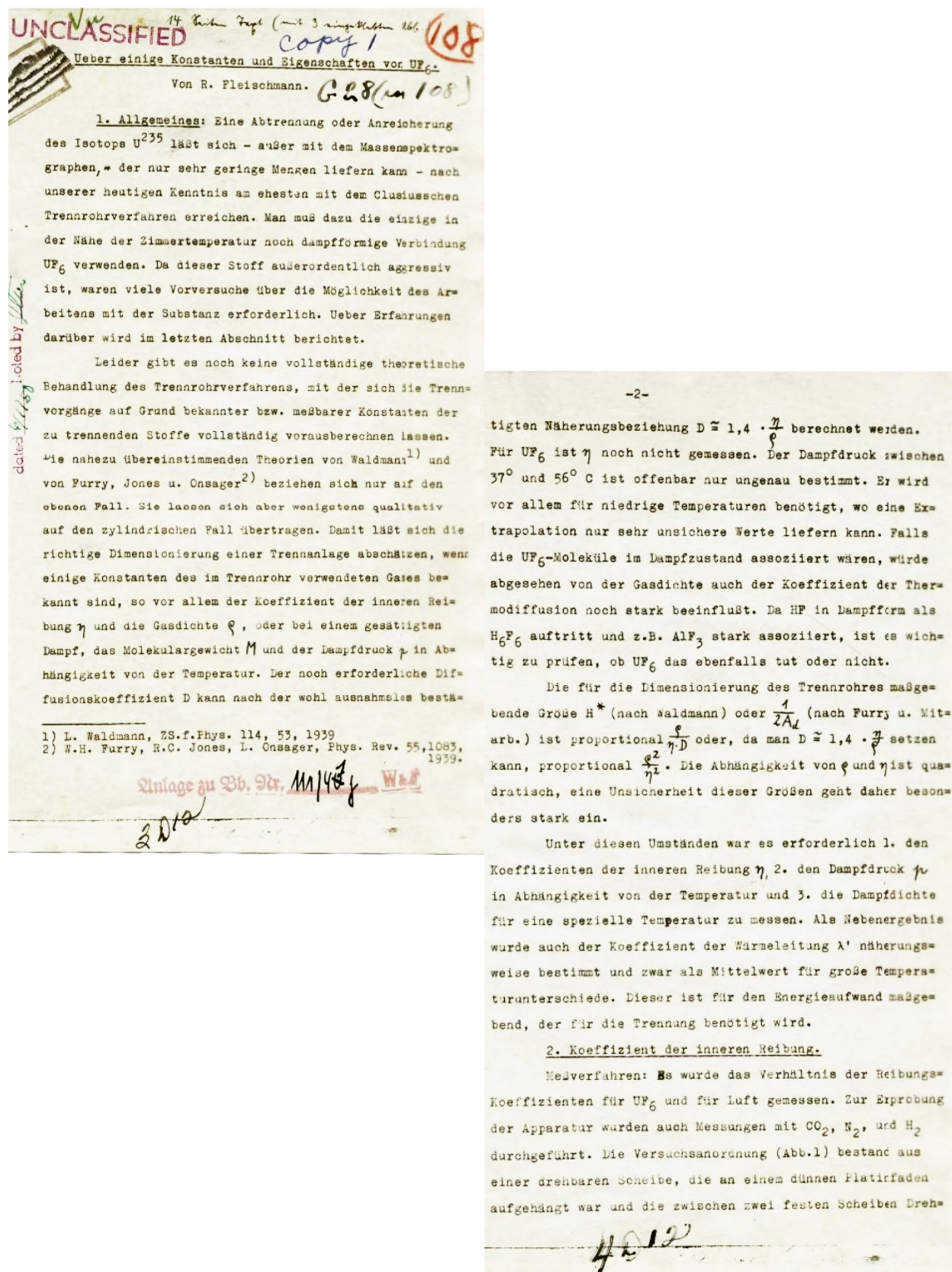


Figure D.125: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-28].

schwingungen ausführte. Gemessen wurde das logarithmische Dekrement der gedämpften Schwingung, das bis auf kleine Korrekektionsgrößen proportional ist dem Koeffizienten η .

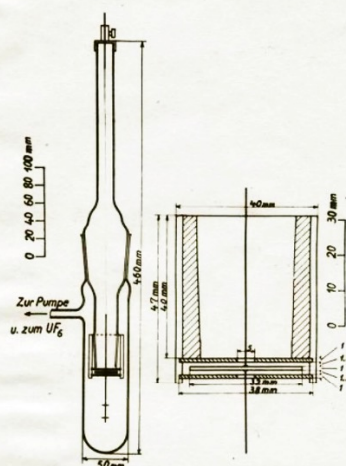
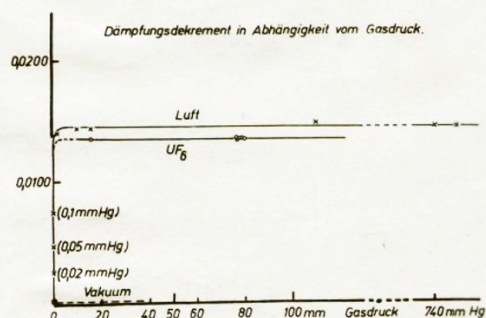


Abb. 1. Versuchsanordnung

Das Versuchsgefäß bestand aus Glas, die Metallteile aus vernickeltem Messing. Die festen Scheiben wurden durch 3 Metalleisten gehalten, die an einem Metallschliff befestigt waren. Dieser war mit einem Glasschliff verklebt,

f88 waren auch nach längerer Zeit kaum Spuren eines Niederschlags zu sehen.

Messungen: Um die Eigendämpfung des Systems zu erhalten, wurden zunächst Dämpfungsmessungen bei Hochvakuum ausgeführt. Aus der Abnahme der Dämpfung war zu ersehen, daß sich während der ersten Stunde des Pumpens noch Gasreste geltend machten. Nach 2 bis 6-stündigem Pumpen wurde ein konstanter Minimalwert des Dekrements 0,00018 erreicht; das ist rund 1,5 % der Dämpfung in Luft. Dieser Wert wurde als Eigendämpfung des Systems angesehen. Das Ergebnis der Dämpfungsmessungen mit UF_6 und mit Luft bei verschiedenen Drucken ist in Abb.2 wiedergegeben. Die nach der kinetischen Gastheorie zu erwartende Konstanz von η , (so lange die freie Weglänge \ll als die Apparatdimensionen) ist mindestens bis 5 mm Druck nerab erfüllt.



der oben in den Kern eines großen Glasschliffs überging. Die übrigen Einzelheiten sind aus der Abb.1 zu entnehmen. Das drehbare System trug unten ein kleines astatisches Magnetenadelpaar. Bei geeigneter rhythmischer Annäherung eines schwachen Magneten konnte die Drehschwingung angeregt werden. Auf der drehbaren Scheibe war eine Marke angebracht, deren Bewegung mit einem Ablesemikroskop für große Gegenstandsweite durch die Glaswand hindurch beobachtet werden konnte. Die Schwingungsweite wurde auf der Okularteilung des Mikroskops abgelesen. Die volle Schwingungsdauer der drehbaren Scheibe betrug ziemlich genau 15 sec. In Luft war das Dekrement $\lambda = 0,01454$, d.h. es waren rund 21 Schwingungen erforderlich, um die Amplitude auf die Hälfte zu bringen.

Es schien möglich, daß sich das UF_6 -Gas während der Messung zersetzt und dadurch Fehler in der Bestimmung von η entstehen. Nach folgenden Beobachtungen kann man aber sicher sein, daß solche Einflüsse weit unterhalb der Meßgenauigkeit liegen. Da das Dämpfungskoeffizient bei kleinen Drucken sich sehr schnell mit dem Druck ändert (vgl. Abb.2), kann man aus dem Dekrement sehr empfindlich auf Gasreste schließen. Vor der Messung mit UF_6 wurde das Versuchesgefäß ausgepumpt, während sich das UF_6 in flüssiger Luft befand, und das Dämpfungskoeffizient $\lambda = 0,00025$ bestimmt, entsprechend etwa $0,45 \cdot 10^{-3}$ mm Hg. Dann wurde das UF_6 auf Zimmertemperatur gebracht und gemessen; dabei war $\lambda = 0,01349$. Nach dem sofortigen Wiedereinfrieren war die Dämpfung $\lambda = 0,00052$. Der Druck im Versuchesgefäß läßt sich daraus zu $2,1 \cdot 10^{-3}$ mm Hg abschätzen. Es sind also nur verschwindende Gasspuren entstanden. Ähnliche Beobachtungen wurden mehrfach ausgeführt. Am Versuches-

Das Verhältnis der Koeffizienten der inneren Reibung ergibt sich aus $\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\lambda - K}{\lambda_0 - K}$, dabei ist η der Reibungskoeffizient für das unbekannte Gas (UF_6), η_0 der für das bekannte (Luft), λ und λ_0 das gemessene logarithmische Dekrement für das unbekannte und bekannte Gas, K die Eigendämpfung.

Die Dekremente und relativen Reibungskoeffizienten nach eigenen Messungen und nach Literaturwerten sind in Tab.1 zusammengestellt. Setzt man bei Zimmertemperatur ($T = 293^{\circ} \text{K}$) für Luft $\eta = 1809 \cdot 10^{-7}$, so ergibt sich für UF₆ $\eta = 1673 \cdot 10^{-7}$.

Tab. 1

Relative Reibungskoeffizienten reduz. auf 20° C.

Landolt-Bornstein	Luft	N ₂	CO ₂	H ₂	UF ₆
Eg I 143 ff.	1	0,958	0,800	~0,485	-
Eg IIa 137	1	0,960	-	0,483	-
Eg IIIa 190/191	1	-	0,808	-	-
Eg IIIa 185	1*)	0,964	0,807	0,482	-
Eigene Messungen	1	0,963	0,810	0,482	0,925

Bei den eigenen Messungen wurde getrocknete CO_2 -freie Luft, Reinstickstoff (von Ceraam), CO_2 und H_2 aus gewöhnlichen Gasflaschen verwendet.

* Absolutwert für $t = 20^{\circ}$ $\eta = 1809 \cdot 10^{-7}$.

Die Temperaturabhängigkeit von η ist mit sehr guter Näherung für alle bisher untersuchten Gase $\sim \frac{T_K}{1 + \frac{T_K}{T}}$. Dabei ist die sogenannte Sutherlandsche Konstante C empirisch = $1,47 \cdot T_S$, wo T_S die Siedetemperatur ist bzw. die Temperatur, bei der der Dampfdruck der Substanz 760 mm beträgt. Für UF_6 ist daher $C = 1,47 \cdot (56 + 273) = 483$ anzunehmen. Also wird für UF_6

Figure D.126: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-28].

-7-

$$\eta = 1673 \cdot 10^{-7} \frac{\sqrt{2}}{(293)^{3/2}} \cdot \frac{2,65}{1 + \frac{483}{T}}$$

Weiter lassen sich nach bekannten Beziehungen¹⁾ berechnen die freie Weglänge

$$\Lambda_{173} = 0,1538 \frac{293^5}{10^5} \text{ (760 mm Hg)}$$

der Durchmesser des kugelförmig angenommenen Moleküls

$$d = 4,47 \text{ \AA}.$$

3. Abhängigkeit des Dampfdrucks von der Temperatur.

Verfahren: Um die Messung des Dampfdrucks mit einem Quecksilbermanometer zu ermöglichen, wurde ein neues Verfahren angewendet. Die Beschaffung eines Quarzspiralmometers, mit dem solche Messungen oft durchgeführt werden, hätte viel Zeit gekostet. Außerdem konnten so Erfahrungen über den Betrieb des Trennrohrs gesammelt werden.

Bringt man in ein Clusiussches Trennrohr die zu flüssige oder feste untersuchende Substanz am unteren Ende und füllt außerdem Heliumgas ein, so schichtet sich bei geheiztem Draht das Helium über den Dampf. Wird das Trennrohr so dimensioniert, daß seine Länge erheblich größer ist als die Länge der Ubergangszone, in der Dampf und Helium gleichzeitig vorhanden sind, so kann man oben ein Hg-Manometer anschließen. Zum Schutz des Manometers wird noch ein in flüssiger Luft zu kühlendes U-Rohr zwischen Manometer und Trennrohr eingeschaltet. Ist die Substanz zuerst so stark gekühlt, daß sie keinen Dampfdruck besitzt, so wird nur der Druck des in der Anordnung befindlichen Heliums gemessen. Bei zunehmender Erwärmung wird das He durch den Dampf mehr und mehr verdrängt und der He-Druck steigt. Sobald die Ubergangszone ganz in das Trennrohr verschoben ist, zeigt das Mano-

1) Müller-Fouillet, Bd. III, 2, S. 418/19.

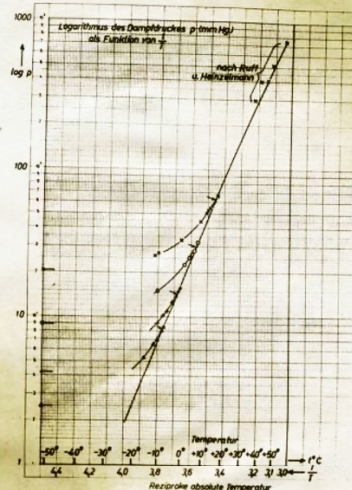


Abb. 3

Eine frühere Dampfdruckmessung ist von Ruff und Heilmann¹⁾ ausgeführt worden. Zuerst wurde nur die Temperatur (56,2° C) bestimmt, bei der Dampfdruck dem Atmosphärendruck (764,6 mm) entsprach. Die übrigen Bestimmungen bei 37 bis 48° sind recht unsicher. Die von den Verfassern ganz willkürlich vorgenommene Extrapolation für

1) ZS.f.anorg. Chem. 72, 63, 1911.

meter den Dampfdruck an. Bei weiterer Steigerung der Temperatur verschiebt sich die Ubergangszone im Trennrohr nach oben und drückt dabei das Helium weiter zusammen. Das Volumen der oberen Ansätze (Manometer u.s.w.) soll möglichst klein sein, damit ein möglichst großer Druckbereich mit einer einzigen He-Füllung überdeckt werden kann. Für einen großen Druckbereich ist ein sehr langes Trennrohr oder mehrere verschiedene He-Füllungen erforderlich. Aus den Volumenverhältnissen läßt sich überschlagen, bezugsweltfachen des ursprünglichen He-Druckes die Ubergangszone sich in der Nähe des unteren und des oberen Trennrohrendes befindet.

Die örtliche Lage der Ubergangszone läßt sich außerdem leicht aus dem Spannungsabfall am geheizten Draht erschließen, der durch den Wärmeleitungsunterschied verschiedener Gase und Dämpfe hervorgerufen wird. Mit 3,0 Amp. Drahtheizung betrug der Spannungsabfall am Draht bei vollständiger He-Füllung 2,9 Volt, bei vollständiger UF₆-Füllung dagegen 7,8 Volt.

Messungen: Das Verfahren wurde mit Brom geprüft und ergab eine befriedigende Übereinstimmung mit den Dampfdruckmessungen nach anderen Verfahren.

Die Messungen an UF₆ mit He als Hilfgas in einem Trennrohr von 130 cm Länge und 0,8 cm Innendurchmesser zeigt die Abb. 3. Die Punkte, bei denen der Spannungsabfall 6 Volt beträgt, sind durch Pfeile in der Abb. gezeichnet. Sie entsprechen der gleichen Lage der Ubergangszone (praktisch ganz im Innern des Rohres) und liegen in der Nähe des letzten Meßpunktes. Die Einhüllende der Kurvenschar ist näherungsweise eine Gerade, entsprechend der bekannten Abhängigkeit in $p = \frac{A}{T} + B$, wo B meist ein kleiner Betrag ist.

-10- 012

niedrigere Temperaturen ist daher noch viel unsicherer. Sie liefert für 0° C den Dampfdruck 48 mm, während er nach Abb. 3 tatsächlich nur 16 mm beträgt. Aus der Abb. entnimmt man folgende Dampfdrucke:

t° C	-20°	-10°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°
p (mm)	2,5	6,8	16	37	78	160	300

Daraus ergibt sich für die Verdampfungswärme zwischen -10° und +20° 12500 cal/Mol·Grad oder 35,5 cal/g·Grad.

4. Dampfdichte (Molekulargewicht).

Ein Glaskolben aus Jenaeer Gerätglas mit Glasahn wurde gut getrocknet und an ein Gefäß, das UF₆ enthielt und leergepumpt werden konnte, angekittet. Dann wurde der Kolben evakuiert, mit UF₆ gefüllt und gekühlt bis sich feste UF₆-Kristalle niederschlugen. Dann wurde das Vorratsgefäß auf 11,2° C gekühlt und gewartet bis im Kolben keine festen Kristalle mehr vorhanden waren. Dadurch bestand Sicherheit, daß der Kolben mit gasförmigem UF₆ mit dem Dampfdruck, der 11,2° entsprach, gefüllt war. Der Kolben wurde zuerst leer und dann mit UF₆ gewogen, das UF₆-Gas wieder in den Vorrat zurückgefüllt und der Kolben nochmals gewogen. Vor jeder Wägung wurde der Kitt vom Ansatzrohr abgelöst. Der Unterschied des Leergewichts vor und nach der Füllung betrug 1,4 mg; daraus folgt, daß sich während der Wägung kein merklicher Teil des UF₆ unter Rückstandsform zerlegt hatte. Das Kolbenvolumen wurde hinterher durch Füllung mit Wasser und Wägung bestimmt. Eine Probemessung mit Reinstickstoff ergab für diesen das Molekulargewicht M = 28,15.

Die Molekulargewichtsbestimmung von UF₆ ergab unter Voraussetzung eines Dampfdrucks von 41,5 mm für 11,2° C M = 372. Würde der Dampfdruck 43,8 mm sein, so ergäbe sich

Figure D.127: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-28].

-11-

$M = 352$, was genau der Formel UF_6 entspricht. Der Versuch zeigt, daß UF_6 bei Zimmertemperatur praktisch nicht assoziiert ist. Im Trennrohr sind also einfache Moleküle mit den Molekulargewichten 352 und 349 zu trennen.

Im einzelnen wurden folgende Wägungen durchgeführt: Kolbenvolumen aus Wasserfüllung $312,02 \text{ cm}^3$

UF_6 -Dampf bei Sättigungsdruck von $11,2^\circ$ ($p = 41,5 \text{ mm}$)

Kolben leer 103,4872 g

mit UF_6 -Dampf 103,7518 g

Kolben leer 103,4886 g

Ergebnis: $M = 372$

N_2 -Gas von 22° C und 769 mm Hg

Kolben leer 103,3659 g

mit N_2 103,7339 g

Kolben leer 103,3666 g

Ergebnis: $M = 28,15$

5. Wärmeleitvermögen.

Eine Abschätzung des mittleren Wärmeleitvermögens für größere Temperaturunterschiede, wie sie im Trennrohr vorkommen, war mit dem in Ziff. 3 erwähnten Trennrohr möglich. Bei vollkommener Füllung mit UF_6 -Dampf (Druck 16 mm Hg) wurde der Spannungsabfall am Trennrohr beim Heizstrom $i_1 = 3,0 \text{ Amp.}$ zu $7,8 \text{ Volt}$ bestimmt. Der Widerstand war also $2,60 \Omega$. Um den gleichen Drahtwiderstand, d.h. die gleiche Temperatur zu erzielen, mußte der Heizstrom bei N_2 -Füllung (16 mm) $i_2 = 4,6 \text{ Amp.}$ betragen, bei A-Füllung (17 mm) $i_3 = 4,0 \text{ Amp.}$, bei Hochvakuum $i_0 = 1,8 \text{ Amp.}$ Bei Hochvakuum wird die zugeführte Leistung durch Strahlung abgegeben, sie ist $\sim i_0^2$. Bei Gasfüllung wird die Leistung $\sim i_n^2$ teils als Strahlung ($\sim i_0^2$), teils als Wärme-

-13-

aufzubewahren. Ein Glasröhrchen, das mehrere Wochen lang massiv mit festem UF_6 angefüllt war, zeigte keinerlei Verätzungserscheinungen.

Um die obige Kettenreaktion der Zersetzung aufzuhalten, wurde der Substanz zuerst versuchsweise und dann regelmäßig NaF beigelegt, weil HF , das bei der ersten Zersetzung entsteht, als $NaPF_6$ gebunden wird. Trockenes Natriumfett (Apizkon) und Kitt werden durch gasförmiges UF_6 nur wenig angegriffen. Das zeigt u.a. auch folgende Beobachtung. In einem kleinen Versuchstrennrohr aus gewöhnlichem Glas, das $UF_6 + NaF + A$ enthielt und mit einem Fettbahn verschlossen und erst hinter diesem zur Sicherheit abgeschmolzen war, hielt sich die Substanz viele Monate. Ein großer Teil davon konnte nach 10 Monaten wieder aus dem Rohr entnommen werden und diente für die oben beschriebenen Bestimmungen von η , $p(t)$ und M . Der Substanzrest ist jetzt wieder in ein Röhrchen aus gewöhnlichem Glas eingeschmolzen und wird weiter beobachtet.

Wird UF_6 bei der Temperatur der flüssigen Luft in dicker Schicht in ein Rohr einsublimiert, so besteht große Gefahr, daß das Rohr beim Wegnehmen der flüssigen Luft durch die thermische Ausdehnung des UF_6 gesprengt wird. Die Substanz ist dann auch durch Udestillieren nicht mehr zu retten, da sich die Feuchtigkeit der Luft sofort darauf niederschlägt. Läßt man nur dünne Niederschläge entstehen und bringt sie durch kurze Erwärmung des Rohres zum Abfallen, so kann die Gefahr vermieden werden.

Für Isotopentrennung

Es wurde ein Trennrohr von 11 m Länge gebaut und in Betrieb gesetzt. Der Durchmesser nahm längs des Rohres von $6,2$ auf $4,4 \text{ mm}$ von unten nach oben ab. Es befand sich in störungsfreiem Dauerbetrieb seit 9. September und wurde am 28. November außer Betrieb gesetzt. Der Draht war ein

-12-

Leitung ($\sim (i_n^2 - i_0^2)$) abgegeben. Daher gilt für das relative

mittlere Leitvermögen für $UF_6 : N_2 : A$

$(i_1^2 - i_0^2) : (i_2^2 - i_0^2) : (i_3^2 - i_0^2) = 0,32 : 1 : 0,71$

Eine ähnliche Bestimmung bei noch höherer Drahttemperatur (Beginn sichtbarer Glut, Stromstärke bei UF_6 -Füllung $i_1' = 3,4 \text{ Amp.}$) ergab $0,305 : 1 : 0,705$.

Nach genaueren früheren Messungen anderer Forscher ergibt sich bei 100° C für $N_2 : A$ $1 : 0,698$; für höhere Temperaturen fehlen Messungen.

Die Wärmeleitung von UF_6 ist also etwa 31% der von Stickstoff (zwischen etwa 500° und Zimmertemperatur).

6. Verschiedene Eigenschaften von UF_6 .

Der Umgang mit UF_6 bereitet große Schwierigkeiten. Die störendste Eigenschaft ist seine ganz extreme Wasserempfindlichkeit. Wird UF_6 in ein evakuiertes Glasrohr eingesublimiert und abgeschmolzen, so genügt die an der Glaswand haftende Wasserhaut, um mehrere Gramm UF_6 in drei bis vier Wochen bei Zimmertemperatur vollkommen zu zersetzen. Die Kettenreaktion der Zersetzung lautet nach Ruff und Heinzelmann $UF_6 + 2H_2O = UO_2F_2 + 4HF$, und anschließend $SiO_2 + 4HF = SiF_4 + 2H_2O$.

Auch bei Verwendung von Quarz, das die Wasserhaut weniger festhält, ist man vor Überraschungen nicht sicher. So wurde ein Quarzgefäß, an dem sich eine ausgezogene Spitze befand (zum Öffnen im Vakuum durch Einschlagen der Spitze), innerhalb etwa 14 Tagen durchgefressen. Es drang Luft ein und damit Feuchtigkeit und die Substanz war zersetzt, bevor sie ungefüllt werden konnte. Nach Beseitigen der Wasserhaut (Ausheizen im Hochvakuum) ließ es sich dagegen ermöglichen, die Substanz in gleichem Glas, in Jenaer Geräteglas oder in Quarzglas praktisch unzersetzt

-14-

Nickeldraht von $0,5 \text{ mm}$ ϕ , der mit 3 Amp. geheizt wurde. Der UF_6 -Vorrat befand sich auf $35 - 38^\circ \text{ C}$, alle übrigen Teile auf höherer Temperatur, der UF_6 -Gasdruck war also um 250 mm . Während des Betriebs entstand dauernd eine geringe Menge Gas, das oben im Trennrohr angereichert wurde und mit einer Gasschleuse von Zeit zu Zeit abgezogen wurde. Die Untersuchung ergab, daß es sich dabei um SiF_4 handelt. UF_6 greift vermutlich mit der Zeit auch SiO_2 etwas an. Im Mittel über 42 Tage entstand täglich $2,2 \text{ cm}^3$ Gas von Atmosphärendruck. An der Wand schlug sich in geringer Menge ein weißes Pulver nieder, dessen chemische Natur noch nicht untersucht ist. Am 28.11. wurde am oberen Ende UF_6 abgezogen und soll auf seine Isotopenzusammensetzung untersucht werden. Nach dieser Erfahrung scheint der Betrieb eines Trennrohres durchaus möglich. Unter Berücksichtigung der hier mitgeteilten Konstanten und Erfahrungen muß ein leistungsfähiges Trennrohr jedoch anders dimensioniert werden als das bisherige Versuchstrennrohr.

Institut für Physik am

Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung

Heidelberg

13. Dezember 1940

Figure D.128: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-28].

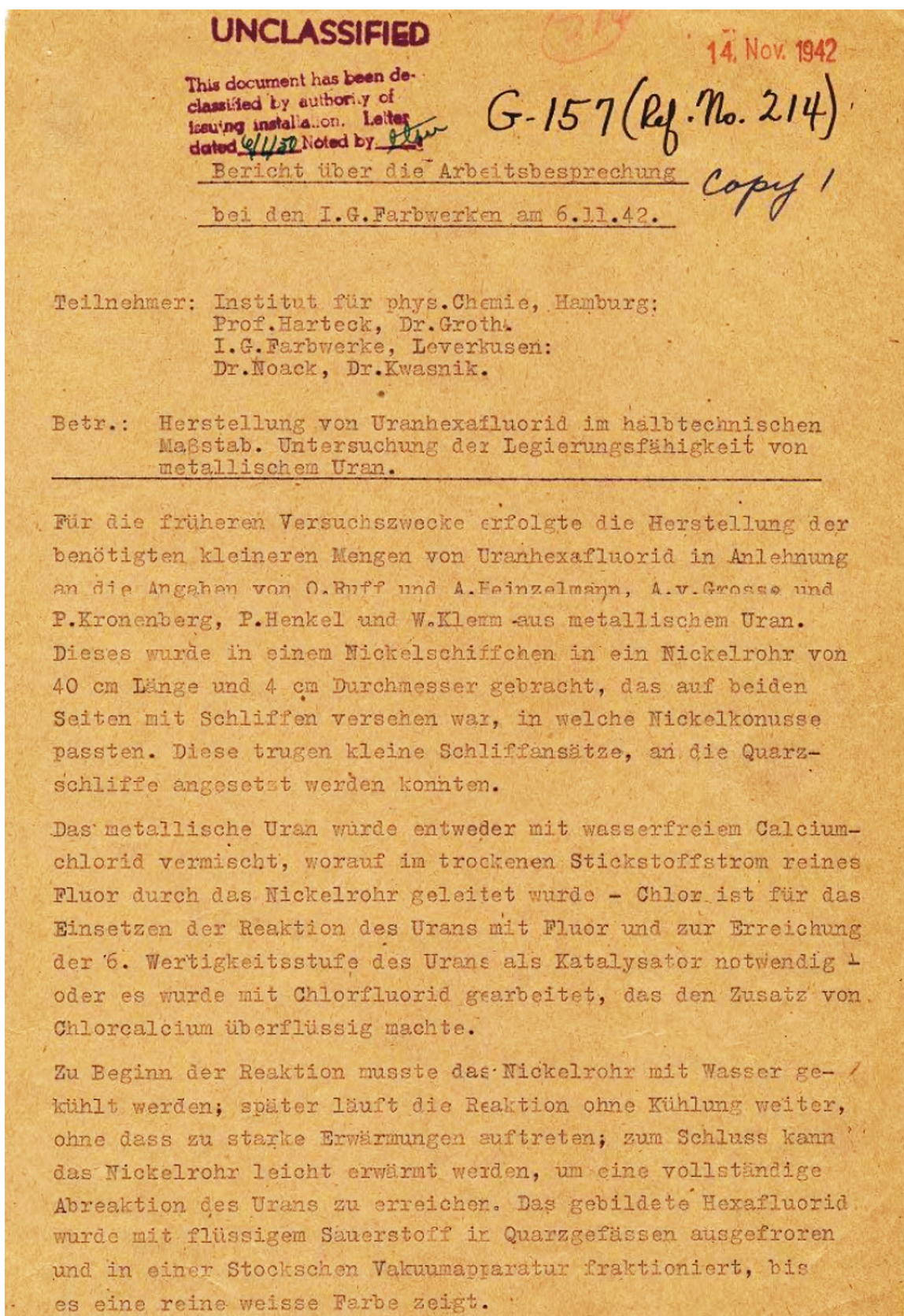


Figure D.129: Production and testing of uranium hexafluoride in 1942 [G-157].

- 2 -

In der gleichen Laboratoriumsapparatur wurden seit Anfang dieses Jahres kleinere Mengen, von Hexafluorid ausgehend, von Uranoxyd hergestellt (Patent Groth und Kwasnik J 72863 IV b/12 i vom 6.8.42); es zeigte sich, dass bei diesen Verfahren die Anwesenheit von Chlor nicht notwendig war, wenn die Versuchstemperatur etwa 350° C betrug; diese Temperatur erwies sich als notwendig, um eine Ausbeute von mehr als 75 % zu erzielen.

Inzwischen wurde dieses von Uranoxyd ausgehende Verfahren von Dr. Kwasnik in halbertechnischem Maßstab weiter ausgebildet. In einem nach Art eines Drehofens ausgebildeten, schräggestellten Nickelrohr wird das durch eine Schleuse am unteren Ende zugeführte Uranoxyd langsam zum oberen Ende befördert, während gleichzeitig ein Fluorstrom durch das Rohr geleitet wird, das auf einer Temperatur von etwa 650° C gehalten wird. Das gebildete Hexafluorid wird in zwei Vorratsgefäßen, die nach Füllung ausgewechselt werden können, mit fester Kohlensäure ausgefroren. Die Ausbeute beträgt etwa 98 %; die anfallenden Verunreinigungen können am unteren Ende durch eine zweite Schleuse entnommen werden.

Nach dieser Methode können augenblicklich pro Stunde etwa 1/2 kg Uranhexafluorid hergestellt werden; sie hat den weiteren Vorteil, dass nicht im Ueberschuss von Fluor gearbeitet werden muss, da die Reaktionsprodukte genügend lange mit dem Fluorstrom in Berührung stehen. Dadurch wird erreicht, dass für alle augenblicklich vorauszusehenden Anforderungen die Fluorproduktion in Leverkusen ausreichend ist. In dieser Hinsicht ist als besonders günstig der Umstand zu erwähnen, dass vor wenigen Monaten in Leverkusen eine neue Elektrolyseanlage für Fluor mit einer Kapazität von 2500 Amp. in Betrieb genommen wurde.

Die analytischen und spektralphotometrischen Prüfungen auf den Reinheitsgrad der nach dieser Methode hergestellten

- 4 -

Dr. Kwasnik hat eine Apparatur durchkonstruiert, die den zu erwartenden erhöhten Anforderungen genügt und gleichzeitig einige Verbesserungen vorsieht. Sie besteht aus zwei nach Art von Drehöfen konstruierten je etwa 1 m langen Nickelrohren, die untereinander in Verbindung stehen, und von denen das eine aufwärts, das andere abwärts gerichtet ist. Im ersten Rohr läuft die eigentliche Reaktion ab, im zweiten wird das gesinterte Material durch eine geeignete Vorrichtung zerkleinert, sodass eine vollkommene Abreaktion gesichert ist. Mit dieser Konstruktion wird sich leicht eine Tagesproduktion von 20 kg Uranhexafluorid erreichen lassen.

Der Preis pro kg nicht sublimierten Produktes wird auf RM 22.--, der des unsublierten Produktes auf RM 51.-- veranschlagt. Wie die Besprechung ergab, können die Mehrkosten von RM 29.-- pro kg durch das Abblasen erspart werden.

Auf Vorschlag von Dr. Kwasnik wird erwogen, nicht vom Uranoxyd, sondern direkt vom uranhaltigen Erz (Scheiderz, Uranerzschlich), wie es in Joachimsthal gewonnen wird, auszugehen. Es ergibt sich dadurch die Möglichkeit, die bisher äusserst schwierige und kostspielige Verarbeitung auf Radium stark zu vereinfachen, da das gesamte Uran als flüchtige Fluorverbindung entweicht und im Rückstand das nicht flüchtige wasserlösliche Radiumfluorid stark angereichert zurückbleibt und ohne Schwierigkeiten weiter verarbeitet werden kann. Ganz allgemein dürfte die Fluorierung, evtl. mit nachträglicher fraktionierter Destillation oder Sublimation, die sicherste Methode zur Herstellung von vollkommen reinem Uran sein.

Ein ausführlicher Bericht über die bisherigen Arbeiten wird demnächst von Dr. Kwasnik eingehen.

Die erstmalige Ausführung dieser chemisch schwierigen Methoden und ihre Übertragung in technische Maßstäbe mit Hilfe völlig

- 3 -

Produkte ergaben, dass sie ohne Umsublimation verwendet werden können. Allerdings wurde in Hamburg festgestellt, dass in den UF_6 -Kristallen grosse Mengen von Gasen (Fluor, Sauerstoff, Stickstoff) adsorbiert sind, die vor der Verwendung des Hexafluorids in der Zentrifuge entfernt werden müssen. Um diese Forderung zu erfüllen, wurden zwei Massnahmen beschlossen: 1.) Das Produkt wird in der noch zu besprechenden grösseren Apparatur als fester kristalliner Block ausgefroren, sodass schon bei der Kondensation nur geringe Gasmengen adsorbiert werden können; 2.) sowohl vor dem Transport in Leverkusen als auch nach dem Eintreffen in der Versuchsstation werden die Vorratsbehälter auf eine Temperatur von über 60° C gebracht, wodurch das Hexafluorid einen Dampfdruck von über einer Atmosphäre erhält und seinen Schmelzpunkt überschreitet; dann wird ein am oberen Ende des Gefässes angebrachtes, gleichzeitig als Verschluss dienendes Membranventil geöffnet und ein in Versuchen noch festzustellender kleiner Bruchteil des Hexafluorids abgelassen. Es ist mit Sicherheit anzunehmen, dass dadurch alle störenden Gase entfernt werden. Für diesen Zweck ist am Aufstellungsort der Ultrazentrifugen ein kleines Fluorlaboratorium vorzusehen, für dessen Ausgestaltung (Abzüge, Ventilation, Schornstein) Vorschläge gemacht werden.

Die Leitungen sowohl für Fluor als auch für Hexafluorid bei der Herstellung und bei der späteren Verwendung können aus Eisen hergestellt werden. Auch für die Transportgefässe ist Eisen vorgesehen; die Verschlussventile können aus Messing hergestellt und sollen unter Verwendung von Tombakfederungskörpern in der Werkstatt des Instituts für physikalische Chemie in Hamburg in Arbeit genommen werden. Als Verbindung zwischen Transportgefässen und Ventilen werden am Aussenrand weichgelötete Konusse oder Flansche vorgeschlagen.

- 5 -

neuartiger Einrichtungen sind von den Herren Dr. Noack und Dr. Kwasnik in ebenso vollkommener wie entgegenkommender Weise gelöst worden - eine Tatsache, die dadurch, dass die Versuche bisher ohne die geringsten grösseren Schwierigkeiten verliefen, leicht unberücksichtigt bleibt. Von Prof. Harteck wurde angeregt, dem Laboratorium von Dr. Noack auch die Versuche zur Herstellung von Uranlegierungen zu übertragen, die zur Vermeidung der Korrosion bei höheren Temperaturen notwendig sind. Als geeignete Legierungsbestandteile kommen Nickel, Chrom und Silicium in Betracht, die entweder als gasförmige Verbindungen oder in Form geschmolzener Salze in Berührung mit hochoberhitztem metallischem Uran gebracht werden sollen, sodass sich durch Diffusion bzw. Austausch der Metalle eine legierte Oberflächenschicht bildet.

Zur Fortführung der Versuche werden benötigt:

50 kg Uranoxyd schnellstmöglich,
250 kg Uranoxyd bis Mitte Dezember,
ca. 10 kg uranhaltiges Erz (Scheiderz, Uranerzschlich) schnellstmöglich,
Metallisches Uran in Plattenform zur Herstellung von Proben für Legierungsversuche.

Figure D.130: Production and testing of uranium hexafluoride in 1942 [G-157].

Robert E. Work. 18 September 1945. Preliminary Interrogation Report. Prof. Dr. Ulrich Hoffmann. [AFHRA folder 506.619C 18–26 Sep 1945, IRIS 207503; AFHRA folder 506.619B 1 Jan 1945–1 Jan 1947, IRIS 207490; AFHRA A5183 frames 0346, 0609]

e. Education: PhD in chemistry from University of Berlin in 1926. Instructor at University of Berlin until 1936. Called to University of Rostock in 1936 where he became full professor in 1937. In April 1942 he was called to University of Vienna as Director of the Institute for Inorganic and Analytic Chemistry. [...]

3. GENERAL INFORMATION: Dr. Hoffmann's research in the field of air interest was only in the development of the atomic bomb. Claims to have improved method of obtaining FLUOR [\[fluorine\]](#), which is necessary to obtain UF₆ [\[uranium hexafluoride\]](#), one of the basic ingredients of the atomic bomb.

[\[See document photos on p. 3509.\]](#)

[Why was the Luftwaffe funding Dr. Ulrich Hoffmann in Austria to improve the production of uranium hexafluoride to create atomic bombs?](#)

[Where are the reports on Hoffmann's interrogations, wartime work, and postwar work?\]](#)

THIS PAGE IS DECLASSIFIED IAW EO 13526

AFHRA folder
506.619C
18-26 Sep 1945,
IRIS 207503

AFHRA folder
506.619B
1 Jan 1945--
1 Jan 1947,
IRIS 207490

CONFIDENTIAL

AIR DIVISION
HEADQUARTERS, UNITED STATES FORCES IN AUSTRIA
Air Interrogation Unit (USDIQ)
APO 777 US ARMY

PRELIMINARY INTERROGATION REPORT 18 September 1945

PROF. DR. ULRICH HOFFMANN

- PERSONAL HISTORY:
 - Citizenship: German.
 - Present Address: Grand Hotel, Strobl, Vienna Address: Wien, 18 Bezirk, Cottagegasse 39.
 - Date and Place of Birth: 22 January 1903, Munich, Bavaria.
 - Description: Short; blonde but considerably bald; blinking eyes; married.
 - Education: PhD in chemistry from University of Berlin in 1926. Instructor at University of Berlin until 1936. Called to University of Rostock in 1936 where he became full professor in 1937. In April 1942 he was called to University of Vienna as Director of the Institute for Inorganic and Analytic Chemistry.
 - Political Affiliations: In 1933 joined the SA at advice of Berlin faculty and automatically became a Nazi in 1937. Never held office in NSDAP, but was a troop-leader in SA in 1943.
 - Military Service: Gefreiter in German Army from August to November of 1939. Was released for physical disability.
- OCCUPATIONS: Research Scientist, Professor of Chemistry.
- GENERAL INFORMATION: Dr. Hoffmann's research in the field of air interest was only in the development of the atomic bomb. Claims to have improved method of obtaining FLUOR, which is necessary to obtain UF₆, one of the basic ingredients of the atomic bomb. Worked with Dr. Aristid Victor von Groesse (now believed working at the University of Chicago) at Berlin in 1931.
- DISPOSITION: Dr. Hoffmann is under town arrest at Grand Hotel, Strobl until 15 September. His arrest can be extended for further interrogation. He is very willing and cooperative. It is requested that any headquarters interested in further interrogation of this subject forward a brief, outlining information desired to A C of S, A-2, Air Division, United States Forces in Austria.

Robert E. Work
ROBERT E. WORK EAB
Captain Air Corps
Chief Interrogator

Enclosure No 1 to Special Report
3, Air Division, Hq USFA, dtd
25 October 1945

PERSONNEL OF GERMAN AIR RESEARCH INSTITUTE - VIENNA

NAME	DEGREE	NATIONALITY	LAST KNOWN LOCATION	SPECIALTY
BEREIS, RUDOLF *	PhD	Austrian	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on airflow problems
HAIMBERGER, GEORG FREIHERR von *	Ing	Austrian	Nach dem See 49, Traunkirchen, Land Salzburg	Research on wing construction on tailless jet-type planes P-11 and P-13
HEUSCHEL, ARNULF *	PhD	Austrian	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on airflow on various types of flying surfaces
HOFFMANN, ULRICH *	PhD	German	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on method of obtaining FLUOR which is necessary to obtain UF ₆
LIPPISCH, ALEXANDER	Dr	German	Undergoing interrogation in United Kingdom	Aerodynamic research, Director of Institute. Designed Delta tailless aircraft
JAMES, JOSEF L *	PhD	Austrian	Ried am Wolfgang See 50, Land Salzburg	Mathematical research on airflow on various types of flying surfaces
FUCHER, ADOLF *	PhD	Austrian	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on tension in bent surfaces
RINGLER, FRIEDRICH	Dr	German	Undergoing interrogation in United Kingdom	Aerodynamic research - aided Lippisch
SCHWABE	Dr			Aerodynamic research
ZELLNER, HUGO M. *	PhD	Austrian	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on chemical substances to be used in V-weapon rockets
ZEMAN, JARO *	PhD	Austrian	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on 2 and 4 stroke super- charged engine

E: * Denotes preliminary interrogation

Figure D.131: Why was the Luftwaffe funding Dr. Ulrich Hoffmann in Austria to conduct "research... in the development of the atomic bomb..." to develop "improved method of obtaining FLUOR [fluorine], which is necessary to obtain UF₆ [uranium hexafluoride], one of the basic ingredients of the atomic bomb"? Where are the reports on Hoffmann's interrogations, wartime work, and postwar work? [AFHRA folder 506.619C 18-26 Sep 1945, IRIS 207503; AFHRA folder 506.619B 1 Jan 1945-1 Jan 1947, IRIS 207490; AFHRA A5183 frames 0346, 0609]

PW Intelligence Bulletin No 1/34, AFHRA folder 506.61951 Nos. 1/19--1/35 26 Dec 1944--7 Feb 1945, IRIS 207524 THIS PAGE IS DECLASSIFIED IAW EO 13526

6. Light Metal Works, BITTERFELD

(Supplementing PW INTELLIGENCE BULLETIN 1/26 item 12)

PW confirms the location of the Administration bldg of I.G. ~~WERNEN~~, ~~WERN SÜD~~. He states that in addition to the items previously reported as being produced, "CHLORAL" (said to be trade name for a medical preparation), "PRESSIOFF" (bakelite type), "THERM" cleanser, phosphorus and quicksilver were produced. The above production is in bldgs not previously reported.

According to PW the most vulnerable spot of the factory is the power plant located in the S part of the plant area.

A continuous flow of coal for the power plant comes by rail from the soft coal pit "GRUBE THEODOR" at ZSCHERNDORF.

~~SECRET~~
- 9 -

~~SECRET~~

PW Intelligence Bulletin No 1/34

6. Light Metal Works, BITTERFELD (Continued)

WERK WOLFEN covers almost the entire area between WOLFEN and THALHEIM. It is known under the name 'Film' because it houses the AGFA photographic film factory and also plants producing synthetic cotton 'VISTRA' from wood, and gun cotton (Schießbaumwolle).

(Source: Gren Arthur SCHWARZE 2 Coy 219 INF, captured 17 Jan THAMASE?)

~~SECRET~~
- 11 -

Figure D.132: Possible production of uranium hexafluoride in an underground facility at I.G. Farben Bitterfeld. PW Intelligence Bulletin No 1/34, 5 February 1945 [AFHRA folder 506.61951 Nos. 1/19--1/35 26 Dec 1944--7 Feb 1945, IRIS 207524; AFHRA A5185 frames 474-476; also NARA RG 165, Entry NM84-79, Box 1915]. Bitterfeld produced several other potentially nuclear-related materials including heavy water (p. 4086), graphite (p. 4148), aluminum (p. 4166), and calcium (pp. 4171, 4174).

PW Intelligence Bulletin No 1/34, AFHRA folder 506.61951 Nos. 1/19--1/35 26 Dec 1944--7 Feb 1945, IRIS 207524 THIS PAGE IS DECLASSIFIED IAW EO 13526

~~SECRET~~

PW Intelligence Bulletin No 1/34

6. Light Metal Works, BITTERFELD (Continued)

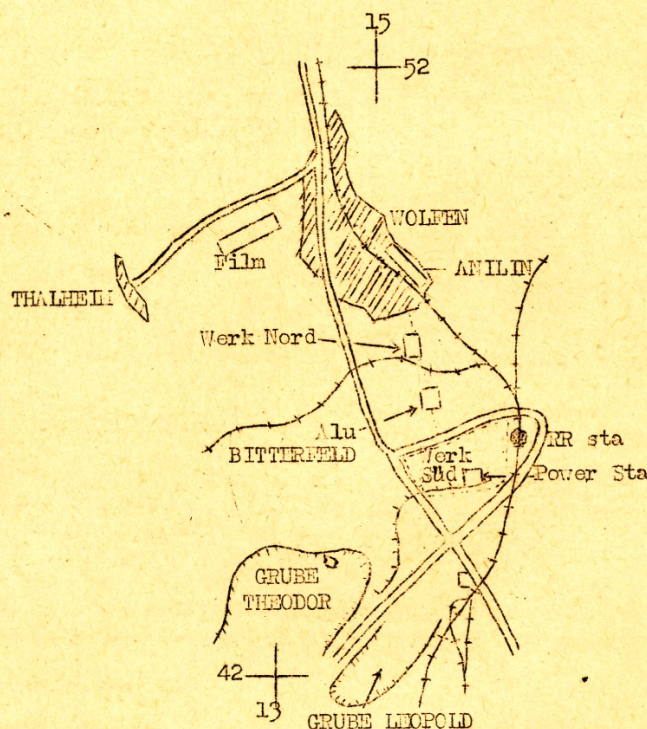
The power station at "GRUBE LEOPOLD" at HOLZWEISSIG (S of BITTERFELD) is said to supply electricity to BITTERFELD and nearby communities.

Both power stations were subjected to air raids but no serious damage was caused up to Sept 44.

Rumor has it that plans were to transfer salvaged machinery from LEUNA into the already prepared bldgs, in E part of WERK SUD complex, (W of BITTERFELD RR station) and to produce on a reduced scale. It was mentioned that soon it would be impossible to carry on production in LEUNA.

W of rd leading from WERK SUD to WERK NORD, and S of RR is an Aluminum plant which was built in 42/43 and started operation summer 43.

WERK NORD is supposed to be mainly a light metal plant, similar to WERK SUD.



Part of the ANILIN Factory in GEMEPPIN is underground (E of RR) and great secrecy is enforced. PW's brother is employed at this factory as a mechanic and claims that this large enterprise produces poison gas which is compressed into steel bottles.

Among other products are paints, HCL (Salzsäure), Nitrogeno (N), (Stickstoff).

Workers suffer much from the gas smell. PW states that the ANILIN WERK is most important to the war-effort.

~~SECRET~~

- 10 -

Figure D.133: Possible production of uranium hexafluoride in an underground facility at I.G. Farben Bitterfeld. PW Intelligence Bulletin No 1/34, 5 February 1945 [AFHRA folder 506.61951 Nos. 1/19--1/35 26 Dec 1944--7 Feb 1945, IRIS 207524; AFHRA A5185 frames 474-476; also NARA RG 165, Entry NM84-79, Box 1915]. Bitterfeld produced several other potentially nuclear-related materials including heavy water (p. 4086), graphite (p. 4148), aluminum (p. 4166), and calcium (pp. 4171, 4174).

D.4.2 Uranium-235 Enrichment via Centrifugation

[Antonin Prandtl (German, 1842–1909) invented centrifuges for separating liquid mixtures in 1864. He, Alexander Prandtl, (German, 1840–1896 and Wilhelm Lefeldt (German, 1836–1913) developed improved liquid centrifuges during the 1870s (pp. 2406–2411).

Georg Bredig (German, 1868–1944, p. 724) invented centrifuges for separated gaseous mixtures no later than 1895. He and Fritz Haber (German, 1868–1934, p. 614) continued to develop gas centrifuges into the early 1900s.]

Georg Bredig. 1895. Ueber den Einfluss der Zentrifugalkraft auf chemische Systeme. *Zeitschrift für Physikalische Chemie A* 17:459. See photo of first page on p. 3513.

Ueber den Einfluss der Zentrifugalkraft auf chemische Systeme.

Von

G. Bredig.

(Mit 3 Figuren im Text.)

Einleitung.

Die Frage, ob durch den Einfluss äusserer Kräfte, wie z. B. durch die Gravitation, sich in einem ursprünglich homogenen Gemenge Konzentrationsverschiedenheiten in der Richtung dieser Kräfte ausbilden, ist bereits im Anfange dieses Jahrhunderts diskutiert worden. So stellte bereits Gay-Lussac¹⁾ in den Kellern der Pariser Sternwarte Versuche darüber an, ob eine Salzlösung in einer vertikalen 2 m langen Säule unter dem Einfluss der Schwerkraft am unteren Ende der Säule eine andere Konzentration annehme, als am oberen Ende. Er erhielt ein negatives Resultat, was nach den neueren Berechnungen von Gouy und Chaperon²⁾ auch verständlich wird, da diese Autoren thermodynamisch den Einfluss der Gravitation auf die Konzentration aus der Änderung der Dichte mit der Konzentration zu berechnen vermögen und denselben so klein finden, dass seine experimentelle Feststellung schwerlich ausführbar ist.

Die Theorie solcher Systeme ist bereits mehrfach, von J. W. Gibbs³⁾, Gouy und Chaperon⁴⁾, P. Duhem⁵⁾, van der Waals⁶⁾ und anderen gegeben worden.

Nun hat aber unlängst Herr Th. des Coudres in einer interessanten Abhandlung⁷⁾ beiläufig darauf hingewiesen, dass man die Betrachtungen über den Einfluss der Schwere auf die Konzentration der Lö-

¹⁾ Ann. chim. phys. 11, 306 (1819). — Vergl. auch Ostwald, Lehrbuch der allg. Chemie 2. Aufl. I, 700. — Beudant, Ann. chim. phys. 8, 15. — Bischof, Lehrbuch der ch. und ph. Geol. II, 1712. — Lieben, Lieb. Ann. 101, 77 (1857).

²⁾ Ann. chim. phys. (6) 12, 384 (1887).

³⁾ Thermodynam. Studien S. 171 ff. Deutsch von Ostwald.

⁴⁾ Siehe oben und Compt. rend. 105, 117.

⁵⁾ Journ. de phys. (2) 8, 391 (1888).

⁶⁾ Diese Zeitschr. 5, 157.

⁷⁾ Wied. Ann. 46, 296; 49, 284; Diese Zeitschr. 12, 143.

Georg Bredig and Fritz Haber. 1904. Prinzipien der Gasscheidung durch Zentrifugalkraft. *Zeitschrift für Angewandte Chemie* 17:452. See photo of first page on p. 3515.

[By the 1930s and early 1940s, gas centrifuges were being produced, improved, and tested by several groups in the German-speaking world. They were demonstrated with various gaseous mixtures for unclassified publications, but they were most seriously pursued for more secretive work on uranium isotope separation.]

Sektion veranlaßten vergleichenden Untersuchungen, welche auch Herr Gulden in seinem Artikel erwähnt, haben wenigstens gezeigt, daß die Hauptpulvermenge, wenn im übrigen keine Fehler gemacht werden, das Resultat kaum beeinflußt. Wie erwähnt, halte ich es trotzdem für zweckmäßig, daß die Hauptpulvermenge festgelegt wird. In diesem Punkte befinde ich mich also auch in Übereinstimmung mit Herrn Gulden; ich halte jedoch die Beweisführung, die er zur Begründung dieser Forderung heranzieht, nicht für richtig, was aber in Anbetracht der Tatsache, daß Herr Gulden kein Chemiker ist, entschuldbar ist.

Zum Schluß möchte ich noch auf eine Tatsache zurückkommen, welche Herr Gulden in seinem Artikel ebenfalls anführt, und welche leicht Anlaß zu Mißverständnissen führen kann. Herr Gulden erwähnt, daß der „Verein deutscher Farbstoff- u. Gerbstoff-Extrakt-Fabrikanten“ kürzlich den Beschluß gefaßt hat, daß die zu gebenden Garantien von Extrakten wesentlich einzuschränken sind, und daß auf Grund von Analysen der Deutschen Versuchsanstalt für Lederindustrie bei flüssigen und teigförmigen Extrakten ein Mindergehalt von 3 % und bei festen Extrakten ein solcher von 4 % nicht zu Reklamationen Veranlassung geben darf, während bei anderen Laboratorien, deren Analysen von dem genannten Verein ebenfalls anerkannt werden, diese Zahlen mit 2, bzw. 3 % festgelegt sind. Es soll an dieser Stelle nicht in eine Erörterung darüber eingegangen werden, daß diese Zahlen ziemlich hoch angenommen worden sind; ich möchte aber hervorheben, daß diese verschiedene Bemessung bei denjenigen, welche den wirklichen Sachverhalt nicht kennen, den Glauben erwecken kann, als ob die Analysen der Versuchsanstalt weniger genau seien. Wie mir von seiten eines Vertreters dieses Vereins auf mein Befragen ausdrücklich versichert worden ist, liegt dem Beschlusse in der obigen Form folgende Tatsache zugrunde: Nach den Erfahrungen des genannten Vereins fallen bei den Analysen von Extrakten durch die Versuchsanstalt die Gerbstoffgehalte häufig um ca. 1 % niedriger aus, als bei einigen anderen Laboratorien. Diese Differenzen sind, wie ich auch an dieser Stelle hervorheben möchte, darin begründet, daß die Versuchsanstalt großen Wert darauf legt, daß zur Analyse nur vollständig klare Filtrate verwendet werden, damit nicht Stoffe, welche unlöslich sind, und in der Lösung in fein verteilter Form sich vorfinden, als gerbende Substanzen bestimmt werden. Auf diese Weise ergeben sich allerdings Gerb-

stoffgehalte, welche mitunter niedriger als die anderer Laboratorien sind. Da die Vorschrift besteht, daß die Lösungen vollständig klar sind, so halte ich in solchen Fällen die niedrigeren für diejenigen, welche den Vereinbarungen entsprechen.

Prinzipien der Gasscheidung durch Zentrifugalkraft.

VON G. BREDIG UND F. HABER.

(Mitgeteilt von F. Haber.)

(Eingeg. d. 8./1. 1904.)

1. Einleitung.

Seit zwei Jahren treten in technischen Zeitschriften Nachrichten über die großen Erfolge auf, welche Herr E. N. Mazza mit einem Apparate erzielt, in welchem er Gase durch Zentrifugalkraft scheidet. Auf die Mängel der bezüglichen Angaben ist wohl im Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung alsbald¹⁾ hingewiesen worden, aber Herr Vittorio Calzavara, der technische Direktor der venetianischen Gas- und Elektrizitätsgesellschaft und Leiter der Zeitschrift „Il Gaz“, hat danach dem Kongreß Deutscher Gas- und Wasserfachmänner in Zürich 1903 einen Bericht vorgelegt, welcher die außerordentlichen Erfolge des Apparates nachdrücklich betont. Der Bericht führt das Zeugnis zweier Gelehrten an, welche die Anreicherung des Sauerstoffes in der mit diesem Apparat zentrifugierten Luft festgestellt haben sollen, und bringt Angaben über eine erstaunliche Kohleersparnis, welche in der Praxis mehrerer bedeutenden Fabriken durch Benutzung der zentrifugierten und dadurch an Sauerstoff angereicherten Luft erzielt worden ist. Die italienische Regierung hat den Apparat prüfen lassen, und das deutsche Patentamt hat das gleiche getan. Herr Calzavara berichtet, daß beide Prüfungen zum Vorteil des Mazzaschen Gasscheiders ausgefallen sind: Das italienische Marineministerium hat einen solchen Apparat gekauft, das deutsche Patentamt ein D. R. P. (139210) darauf erteilt²⁾. Inzwischen haben die Herren G. Claude und E. Demoussy wissenschaftliche Versuche über den Gegenstand gemacht, deren Ergebnis³⁾ durchaus zu Ungunsten der Sache ausgefallen ist. Aber Herr Goffi⁴⁾, der technischer Leiter der italienischen Gasgesellschaft in Turin, tritt demgegenüber mit neuem Nachdruck und

¹⁾ März 1902, 9, 155.

²⁾ Das D. R. P. 139210 handelt nicht im speziellen von der Luftsecheidung.

³⁾ Claude und Demoussy Compt. r. d. Acad. d. sciences vom 27. Juli 1903, 250.

⁴⁾ J. de l'éclairage au gaz 20. Sept. 1903, 290.

Figure D.135: Georg Bredig and Fritz Haber. 1904. Prinzipien der Gasscheidung durch Zentrifugalkraft. *Zeitschrift für Angewandte Chemie* 17:452. First page is shown.

[A research group at Linde Eismaschinen that was led by Helmuth Hausen (German, 1895–1987) and based in the Munich suburb of Höllriegelskreuth presented new work on gas centrifuges at a VDI (Verein Deutscher Ingenieure) German engineering conference in May 1938, which suggests that group began working on gas centrifuges sometime earlier in the 1930s. Although that group expressed concern about limitations on the performance of gas centrifuges in their 1939 journal article (p. 3518), they quickly found solutions to those problems and their work had greatly progressed by their 1942 journal article (p. 3519).]

Helmuth Hausen and R. Schlatterer. 1939. Aussichten der Zerlegung von Gasgemischen durch Zentrifugieren. Z. VDI Beiheft Verfahrenstechnik 1939:1:15–21. See p. 3518.

Aussichten der Zerlegung von Gasgemischen durch Zentrifugieren*)

Prospects for the separation of gas mixtures by centrifugation*)

*) Auszugsweise vorgetragen von *H. Hausen* auf der Tagung des Deutschen Kältevereins im VDI in Frankfurt a. M. am 30. Mai 1938.

*) Excerpt presented by *H. Hausen* at the conference of the VDI German Refrigeration Association in Frankfurt a. M. on 30 May 1938.

Auf Grund einer genauen Theorie werden die Aussichten der Gaszerlegung in einer Zentrifuge untersucht. Die erhaltenen Differentialgleichungen werden durch ein Stufenverfahren gelöst. Nach der Rechnung ist nur in besonders günstigen Fällen und bei sehr kleinen Mengen eine befriedigende Zerlegung zu erwarten. [...]

The prospects of gas separation in a centrifuge are investigated on the basis of a precise theory. The differential equations obtained are solved using a step-by-step method. According to the calculation, a satisfactory separation can only be expected in particularly favorable cases and with very small quantities. [...]

Schon im Jahre 1895 hat *Bredig*³⁾ Wasserstoff und Jodwasserstoff durch Zentrifugieren zu trennen versucht und hierbei in einer Zentrifuge von etwa 42 cm Dmr. bei 2300 U/min nach drei Stunden eine Entmischung um etwa 2,8% beobachtet. Im Jahre 1904 haben *Bredig* und *Haber*⁴⁾ die damals erreichbar scheinende Zerlegungswirkung durch Zentrifugieren theoretisch untersucht und dabei auch den erforderlichen Zeitaufwand abgeschätzt.

As early as 1895, *Bredig*³⁾ tried to separate hydrogen and hydrogen iodide by centrifugation and observed a separation of about 2.8% after three hours in a centrifuge of about 42 cm diameter at 2300 rpm. In 1904, *Bredig* and *Haber*⁴⁾ theoretically investigated the seemingly achievable separation effect by centrifugation and also estimated the time required.

³⁾ *G. Bredig*, Z. physik. Chem. A Bd. 17 (1895) S. 459.

³⁾ *G. Bredig*, Z. physik. Chem. A vol. 17 (1895) p. 459.

⁴⁾ *G. Bredig* u. *F. Haber*, Z. angew. Chem. Bd. 17 (1904) S. 452.

⁴⁾ *G. Bredig* and *F. Haber*, Z. angew. Chem. vol. 17 (1904) p. 452.

[...]

[...]

Ergebnis

Die entwickelte Theorie bestätigt im wesentlichen die Richtigkeit der Berechnungen von *Bredig* und *Haber*⁴), wonach sich in einer Zentrifuge im allgemeinen nur mäßige Anreicherungen erzielen lassen, stets aber nur sehr geringe Gasmengen in der Zeiteinheit zerlegt werden können. Nur in Fällen, wie bei CO₂-H₂- oder Benzol-Luft-Gemischen, in denen der Molekulargewichtsunterschied der Bestandteile groß ist, kann man eine weitergehende Zerlegung erwarten. Bei der höchsten heute erreichten Umfangsgeschwindigkeit von fast 600 m/s läßt sich z. B. Benzol in Luft auf etwa 16% anreichern, wenn der Anfangsgehalt 1% beträgt. Bei weiterer Steigerung der Umfangsgeschwindigkeit würde sich dieser Wert sehr rasch erhöhen, so daß man oberhalb 1000 m/s praktisch reines Benzol gewinnen könnte. Hingegen erscheint selbst bei dieser hohen Umfangsgeschwindigkeit eine Zerlegung von O₂-N₂-Gemischen als praktisch aussichtslos.

Die Hauptschwierigkeit besteht aber darin, daß sich in einer Zentrifuge nur sehr geringe Mengen verarbeiten lassen. Nach der entwickelten Theorie kann durch eine Zentrifuge von 1 m axialer Länge stündliche nur etwa 1 m³ des Gemisches hindurchströmen, wenn nicht die Anreicherung erheblich zurückgehen soll.

Die Wirkung der Zentrifuge steht somit selbst bei der höchsten heute möglichen Umfangsgeschwindigkeit weit hinter der Leistung der bei tiefen Temperaturen arbeitenden Rektifikationseinrichtungen zurück, die nicht nur Gemische mit geringem Molekulargewichtsunterschied der Bestandteile, wie die Luft, bis zu höchster Reinheit zerlegen, sondern auch stündlich Hunderte oder Tausende von Kubikmetern verarbeiten können. Von Sonderfällen abgesehen, ist daher nicht zu erwarten, daß die Zentrifuge sich in der Gaszerlegung ein irgendwie bedeutsames Feld erobern wird.

Result

The theory developed essentially confirms the correctness of the calculations of *Bredig* and *Haber*⁴), according to which only moderate enrichments can generally be achieved in a centrifuge, but only very small quantities of gas can always be separated in the time unit. Only in cases such as CO₂-H₂ or benzene-air mixtures, in which the molecular weight difference of the components is large, can further separation be expected. At the highest peripheral speed of almost 600 m/s achieved today, benzene in air, for example, can be enriched to around 16% if the initial content is 1%. If the circumferential speed is increased further, this value would increase very quickly, so that above 1000 m/s practically pure benzene could be obtained. On the other hand, even at this high peripheral speed, the separation of O₂-N₂ mixtures appears to be practically hopeless.

The main difficulty, however, is that only very small quantities can be processed in a centrifuge. According to the theory developed, only about 1 m³ per hour of the mixture can flow through a centrifuge with an axial length of 1 m if the enrichment is not to be considerably reduced.

Even at the highest peripheral speed possible today, the effect of the centrifuge is therefore far behind the performance of rectification equipment operating at low temperatures, which can not only break down mixtures with a small difference in molecular weight of the components, such as air, to the highest purity, but can also process hundreds or thousands of cubic meters per hour. Apart from special cases, it is therefore unlikely that the centrifuge will conquer any significant field in gas separation.

Aussichten der Zerlegung von Gasgemischen durch Zentrifugieren^{*)}

Von H. Hausen VDI und R. Schlatterer, Hölriegelskreuth bei München

Auf Grund einer genauen Theorie werden die Aussichten der Gaszerlegung in einer Zentrifuge untersucht. Die erhaltenen Differentialgleichungen werden durch ein Stufenverfahren gelöst. Nach der Rechnung ist nur in besonders günstigen Fällen und bei sehr kleinen Mengen eine befriedigende Zerlegung zu erwarten.

Bei der Zerlegung von flüssigen Gemischen hat man durch Anwendung von Zentrifugen, insbesondere der Ultrazentrifugen von *Svedberg*^{1) 2)}, neuerdings bemerkenswerte Ergebnisse erzielt. Nicht nur Emulsionen, sondern auch Lösungen von hochmolekularen und kolloidalen Stoffen lassen sich so weitgehend zerlegen, daß auf diese Weise sehr hohe Molekulargewichte genauer bestimmt werden können als nach den bekannten chemisch-analytischen Verfahren. Da in der Ultrazentrifuge schon Kraftfelder über das millionfache der Erdanziehung erreicht werden, liegt die Vermutung nahe, daß sich solche Kraftfelder auch zur Gaszerlegung eignen, und es ist begreiflich, daß Erfinder den schon alten Gedanken der Zentrifugierung von Gasgemischen immer wieder aufgreifen. Würden die Erwartungen dieser Erfinder sich erfüllen, dann könnte in Zukunft die Zentrifuge einen großen Teil der Aufgaben übernehmen, die bisher der Gaszerlegung bei tiefen Temperaturen vorbehalten war.

Schon im Jahre 1895 hat *Bredig*³⁾ Wasserstoff und Jodwasserstoff durch Zentrifugieren zu trennen versucht und hierbei in einer Zentrifuge von etwa 42 cm Dmr. bei 2300 U/min nach drei Stunden eine Entmischung um etwa 2,8 % beobachtet. Im Jahre 1904 haben *Bredig* und *Haber*⁴⁾ die damals erreichbar scheinende Zerlegungswirkung durch Zentrifugieren theoretisch untersucht und dabei auch den erforderlichen Zeitaufwand abgeschätzt.

Da aber diese Berechnungen den Einfluß der Diffusion nur unvollkommen berücksichtigen und ihre Richtigkeit

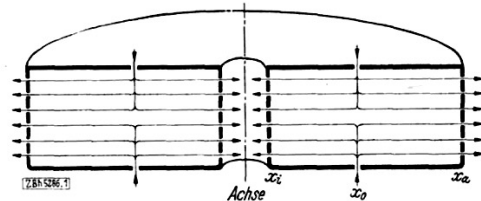


Bild 1. Zerlegen von Gasgemischen in einer Zentrifuge

überdies auf Grund von Versuchen von *Mazza*⁵⁾ angezweifelt wird, soll im nachstehenden eine genauere Theorie entwickelt und damit untersucht werden, wie groß die Aussichten der Gaszerlegung in einer Zentrifuge bei der inzwischen fortgeschrittenen Technik sind. Die zugrunde liegenden Differentialgleichungen sollen durch ein Stufenverfahren gelöst werden, das grundsätzlich jede beliebige Annäherung gestattet.

Anordnung der Zentrifuge

Die Anreicherung und den Zeitaufwand kann man aus der Betrachtung des Beharrungszustandes erhalten, in dem das Gasgemisch in gleichbleibender Menge durch die Zentrifuge hindurchströmt. Bild 1 zeigt im Schnitt die der Berechnung zugrunde gelegte Anordnung. Die starken

^{*)} Auszugsweise vorgetragen von H. Hausen auf der Tagung des Deutschen Kältevereins im VDI in Frankfurt a. M. am 30. Mai 1938.

¹⁾ *T. Svedberg*, Nature Bd. 139 (1937) S. 1051; Naturwiss. Bd. 22 (1934) S. 225.

²⁾ *W. Kell*, Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 115.

³⁾ *G. Bredig*, Z. physik. Chem. A Bd. 17 (1895) S. 459.

⁴⁾ *G. Bredig* u. *F. Haber*, Z. angew. Chem. Bd. 17 (1904) S. 452.

⁵⁾ Vgl. z. B. *J. Rabu*, Sur la séparation des gaz en mélange d'après les procédés brevetés de *E. Mazza*. L'Industrie Chimique Bd. 22 (1935) S. 896. Daß bei der hierin beschriebenen Anordnung von *Mazza* die reine Zentrifugalwirkung über das theoretische Höchstmaß hinaus durch hinzutretende Spannungen wesentlich gesteigert werden kann, ist physikalisch schwer einzusehen. Dies kann auch aus der von *Mazza* hierfür angeführten Arbeit von *R. Vassini* und *A. Brighenti* in Atti del Reale Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti Bd. 63 (1903/04) Teil 2 S. 1287 nach Ansicht der Verfasser nicht entnommen werden.

jeder einzelne der Ausdrücke und damit ux/k unveränderlich sein.

Erhöht man nun den Durchmesser der Zentrifuge und damit x in einem bestimmten Verhältnis, dann muß u im gleichen Verhältnis abnehmen, damit ux/k ungeändert bleibt. Durch den im Verhältnis von x vergrößerten Strömungsquerschnitt kann dann wegen der gleichzeitigen Abnahme von u keine größere Gasmenge hindurchströmen als vorher.

Ändert man hingegen nur den Gesamtdruck P , so nimmt k nach der kinetischen Gastheorie im umgekehrten Verhältnis von P ab. Wegen $x = \text{konst}$ und $ux/k = \text{konst}$ muß dann aber auch u in diesem Verhältnis abnehmen. Die hindurchströmende Gasmenge, die dem Produkt Pu verhältnismäßig ist, kann sich daher auch in diesem Falle nicht ändern. Es läßt sich also weder durch Vergrößerung des Durchmessers noch durch Änderung des Gesamtdruckes eine Erhöhung des Durchsatzes erzielen.

Ergebnis

Die entwickelte Theorie bestätigt im wesentlichen die Richtigkeit der Berechnungen von *Bredig* und *Haber*³⁾, wonach sich in einer Zentrifuge im allgemeinen nur mäßige Anreicherungen erzielen lassen, stets aber nur sehr geringe Gas Mengen in der Zeiteinheit zerlegt werden können. Nur in Fällen, wie bei $\text{CO}_2\text{-H}_2$ - oder Benzol-Luft-Gemischen, in denen der Molekulargewichtsunterschied der

Bestandteile groß ist, kann man eine weitergehende Zerlegung erwarten. Bei der höchsten heute erreichten Umfangsgeschwindigkeit von fast 600 m/s läßt sich z. B. Benzol in Luft auf etwa 16 % anreichern, wenn der Anfangsgehalt 1 % beträgt. Bei weiterer Steigerung der Umfangsgeschwindigkeit würde sich dieser Wert sehr rasch erhöhen, so daß man oberhalb 1000 m/s praktisch reines Benzol gewinnen könnte. Hingegen erscheint selbst bei dieser hohen Umfangsgeschwindigkeit eine Zerlegung von $\text{O}_2\text{-N}_2$ -Gemischen als praktisch aussichtslos.

Die Hauptschwierigkeit besteht aber darin, daß sich in einer Zentrifuge nur sehr geringe Mengen verarbeiten lassen. Nach der entwickelten Theorie kann durch eine Zentrifuge von 1 m axialer Länge stündlich nur etwa 1 m³ des Gemisches hindurchströmen, wenn nicht die Anreicherung erheblich zurückgehen soll.

Die Wirkung der Zentrifuge steht somit selbst bei der höchsten heute möglichen Umfangsgeschwindigkeit weit hinter der Leistung der bei tiefen Temperaturen arbeitenden Rektifikationseinrichtungen zurück, die nicht nur Gemische mit geringem Molekulargewichtsunterschied der Bestandteile, wie die Luft, bis zu höchster Reinheit zerlegen, sondern auch stündlich Hunderte oder Tausende von Kubikmetern verarbeiten können. Von Sonderfällen abgesehen, ist daher nicht zu erwarten, daß die Zentrifuge sich in der Gaszerlegung ein irgendwie bedeutsames Feld erobern wird.

Bh 5286

Zerlegung von Gasgemischen in einer Zentrifuge mit Gegenstromwirkung

Von H. Hausen VDI, Höllriegelskreuth bei München

In einer Zentrifuge mit Gegenstromwirkung läßt sich grundsätzlich ein Gasgemisch beliebig weitgehend zerlegen. Die Vorgänge des Stoffaustausches in derartigen Zentrifugen lassen sich rechnerisch erfassen. Danach zerlegt eine Gegenstromzentrifuge von 2,5 m Höhe im günstigsten Falle eine sehr geringe Luftmenge in 99,7% igen Sauerstoff und 99,7% igen Stickstoff. Schon bei 1 l stündlich zerlegter Luftmenge geht die Reinheit auf 98% zurück. Der äußerst geringen Mengenleistung wegen ist demnach die Gegenstromzentrifuge der Gaszerlegung durch Rektifikation weit unterlegen. Nach Überwindung der technischen Schwierigkeiten wird sie voraussichtlich für die Isotopentrennung und für Laboratoriumszwecke Bedeutung gewinnen.

In einer früheren Arbeit¹⁾ haben R. Schlatterer und der Verfasser gezeigt, daß Gasgemische sich in einer einfachen Zentrifuge nur sehr unvollkommen zerlegen lassen. Die überraschenden Erfolge, die Clusius²⁾ beim Thermodiffusionsverfahren durch Verbindung mit dem Gegenstromprinzip erzielt hat, brachten mich jedoch gegen Ende des Jahres 1938 auf den Gedanken, daß sich auch in einer Zentrifuge die Reinheit der Zerlegungsprodukte beliebig steigern lassen müsse, wenn man die Gegenstromwirkung zu Hilfe nimmt³⁾. Die Richtigkeit dieses Gedankens konnte ich durch noch nicht veröffentlichte theoretische Überlegungen und Berechnungen bestätigen.

Unabhängig hiervon haben neuerdings Martin und Kuhn⁴⁾ eine Theorie der Zentrifugierung von Gasgemischen unter Gegenstromwirkung veröffentlicht. Die Grundgedanken dieser Theorie sind größtenteils ähnlich wie die meiner genannten früheren Berechnungen. In der Art der Durchführung, in der Wahl der als zulässig angesehenen Vernachlässigungen und in den Endgleichungen bestehen jedoch wesentliche Unterschiede. Überdies geht mein Berechnungsverfahren dadurch über die Überlegungen von Martin und Kuhn hinaus, daß es durchweg für beliebige Konzentrationen des Ausgangsgemisches gilt und die verschiedenen Geschwindigkeiten der in der Zentrifuge auf- und absteigenden Gasströme berücksichtigt. Hierdurch läßt sich auch eingehender zeigen, wie die erzielbaren Reinheiten der Enderzeugnisse von der stündlich zerlegten Menge abhängen. Die Grundlagen und Ergebnisse meiner Berechnungen werden im folgenden erörtert.

Anordnung und Wirkung des Gegenstromes in einer Zentrifuge

Bild 1 stellt einen axialen Schnitt durch eine Gaszentrifuge mit Gegenstromwirkung dar. Die an sich beliebige Lage der Achse sei senkrecht angenommen. Das äußerliche Kennzeichen einer Zentrifuge mit Gegenstromwirkung besteht darin, daß die Länge in axialer Richtung groß gegen den äußeren Durchmesser ist. Durch die zylindrische Außenwand vom Halbmesser r_a , die Innenwand vom Halbmesser r_i und durch die obere und untere Stirnwand wird ein ringförmiger Schacht gebildet, in dem das zu zerlegende Gas wie folgt umläuft: In den inneren Teilen des Schachtes strömt das Gas langsam nach oben, in den äußeren Teilen nach unten, so daß

zwei sich berührende Ströme entgegengesetzter Richtung entstehen. Oben und unten kehrt die Stromrichtung um. Die beschriebene Gegenstrombewegung soll so langsam sein, daß sie stets laminar bleibt, damit nirgends Teilchen verschiedener Zusammensetzung durch Turbulenz vermischt werden können. Die verschiedenen Möglichkeiten der Anregung des Gegenstromes werden später besprochen.

Die erhöhte Trennwirkung des Gegenstromes erhellt aus folgender Überlegung. Dreht sich die Zentrifuge mit hoher Drehzahl, dann sucht sich unter der Einwirkung des Zentrifugalfeldes in jeder Höhe der Zentrifuge ein Gleichgewicht einzustellen, bei dem die äußeren Gasteilchen einen etwas höheren Gehalt am schwereren Bestandteil haben als die inneren Teilchen. Der Unterschied des Gehaltes an der Innen- und Außenwand entspricht hierbei etwa der Trennwirkung einer einfachen Zentrifuge¹⁾. Da aber die inneren Teilchen mit dem geringeren Gehalt sich nach oben bewegen und am obersten Ende umkehren, beginnt bald auch der Gehalt im Abwärtsstrom sich von oben her zu verringern. Auch mit diesem Abwärtsstrom suchen sich nun weiterhin aufwärts strömende Teilchen unter der Wirkung der Zentrifugalkraft ins Gleichgewicht zu setzen, so daß auch deren Gehalt geringer wird als nach der ersten Gleichgewichtseinstellung.

Durch den beschriebenen Vorgang wird somit am oberen Ende der Zentrifuge eine sich selbst mehr und mehr verstärkende Abnahme des Gehaltes am schwereren Bestandteil eingeleitet. Umgekehrt tritt am untersten Ende der Zentrifuge unter Vertauschung der Rollen des Auf- und Abwärtsstromes eine wachsende Erhöhung des Gehaltes am schwereren Bestandteil auf. Da diese Änderungen sich allmählich nach den übrigen Teilen der Zentrifuge fortpflanzen, nimmt im Beharrungszustand der Gehalt am schwereren Bestandteil in der ganzen Zentrifuge stetig von unten nach oben ab. Daß dieser Zustand dauernd bestehen kann, zeigt noch genauer folgende Überlegung: Jedes aufwärts strömende Teilchen, das sich in einer bestimmten Höhe mit dem Abwärtsstrom so weit als möglich ins Gleichgewicht gesetzt hat, wird auf seinem weiteren Wege Teilchen des Abwärtsstromes mit immer geringerem Gehalt begegnen. Indem es sich auch mit diesen ins Gleichgewicht zu setzen sucht, muß sein eigener Gehalt am schwereren Bestandteil auf dem Weg nach oben ständig abnehmen. Umgekehrt muß der Gehalt eines Teilchens des Abwärtsstromes auf dem Weg nach unten immer mehr zunehmen. Denn auch ein solches Teilchen begegnet auf seinem Weg Teilchen des Aufwärtsstromes von immer höherem Gehalt und sucht sich mit diesen ins Gleichgewicht zu setzen.

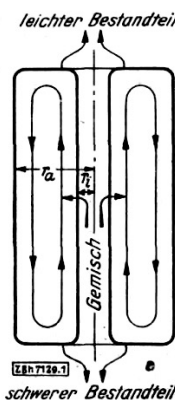


Bild 1. Schnitt durch eine Gegenstrom-Zentrifuge

¹⁾ H. Hausen u. R. Schlatterer: Aussichten der Zerlegung von Gasgemischen durch Zentrifugieren. Z. VDI Beih. Verfahrenstechn. (1939) S. 15/21.

²⁾ K. Clusius u. G. Dickel: Neues Verfahren zur Gasentmischung und Isotopentrennung. Naturwiss. Bd. 26 (1938) S. 546; vgl. a. Naturwiss. Bd. 27 (1939) S. 148/49 u. 487; ferner K. Clusius u. G. Dickel: Das Trennrohr. Z. phys. Chemie (B) Bd. 44 (1939) S. 397/473; K. Clusius: Staubabscheidung durch Thermodiffusion. Z. VDI Beih. Verfahrenstechn. 1941 S. 23/24.

³⁾ Dtsch. Patentanm. Nr. G 100 268 IV b/12 e vom 17. VI. 1939. Martin u. Kuhn (vgl. Fußanm. 4) haben ein ähnliches Patent am 11. Juli 1938 angemeldet. Beide Anmeldungen sind unabhängig voneinander und ohne gegenseitige Kenntnis eingereicht worden.

⁴⁾ H. Martin u. W. Kuhn: Multiplikationsverfahren zur Trennung von Gasgemischen, insbesondere bei Anwendung von Schwerfeldern. Z. phys. Chemie A Bd. 189 (1941) S. 219/316.

Helmuth Hausen. 1942. Zerlegung von Gasgemischen in einer Zentrifuge mit Gegenstromwirkung. Z. VDI Beiheft Verfahrenstechnik 1942:4:93–102. See p. 3519.

Zerlegung von Gasgemischen in einer Zentrifuge mit Gegenstromwirkung

In einer Zentrifuge mit Gegenstromwirkung läßt sich grundsätzlich ein Gasgemisch beliebig weitgehend zerlegen. Die Vorgänge des Stoffaustausches in derartigen Zentrifugen lassen sich rechnerisch erfassen. Danach zerlegt eine Gegenstromzentrifuge von 2,5 m Höhe im günstigsten Falle eine sehr geringe Luftmenge in 99,7% igen Sauerstoff und 99,7% igen Stickstoff. Schon bei 1 l stündlich zerlegter Luftmenge geht die Reinheit auf 98% zurück. Der äußerst geringen Mengenleistung wegen ist demnach die Gegenstromzentrifuge der Gaszerlegung durch Rektifikation weit unterlegen. Nach Überwindung der technischen Schwierigkeiten wird sie voraussichtlich für die Isotopentrennung und für Laboratoriumszwecke Bedeutung gewinnen.

In einer früheren Arbeit¹⁾ haben *R. Schlatterer* und der Verfasser gezeigt, daß Gasgemische sich in einer einfachen Zentrifuge nur sehr unvollkommen zerlegen lassen. Die überraschenden Erfolge, die (*Clusius*²⁾ beim Thermodiffusionsverfahren durch Verbindung mit dem Gegenstromprinzip erzielt hat, brachten mich jedoch gegen Ende des Jahres 1938 auf den Gedanken, daß sich auch in einer Zentrifuge die Reinheit der Zerlegungsprodukte beliebig steigern lassen müsse, wenn man die Gegenstromwirkung zu Hilfe nimmt³⁾. Die Richtigkeit dieses Gedankens konnte ich durch noch nicht veröffentlichte theoretische Überlegungen und Berechnungen bestätigen.

Separation of gas mixtures in a centrifuge with countercurrent action

In principle, a gas mixture can be separated to any extent in a countercurrent centrifuge. The processes of mass transfer in such centrifuges can be calculated. According to this, a countercurrent centrifuge with a height of 2.5 m separates a very small amount of air into 99.7% oxygen and 99.7% nitrogen in the best case. The purity drops to 98% with just 1 liter of air separated per hour. The countercurrent centrifuge is therefore far inferior to gas separation by rectification due to its extremely low output. Once the technical difficulties have been overcome, it will probably gain importance for isotope separation and for laboratory purposes.

In an earlier work¹⁾ *R. Schlatterer* and the author showed that gas mixtures can only be very imperfectly separated in a simple centrifuge. However, the surprising successes achieved by (*Clusius*²⁾ in the thermodiffusion process in combination with the countercurrent principle gave me the idea towards the end of 1938 that the purity of the separation products in a centrifuge should also be able to be increased at will if the countercurrent effect is used³⁾. I was able to confirm the correctness of this idea through theoretical considerations and calculations that had not yet been published.

Unabhängig hiervon haben neuerdings *Martin* und *Kuhn*⁴⁾ eine Theorie der Zentrifugierung von Gasgemischen unter Gegenstromwirkung veröffentlicht. Die Grundgedanken dieser Theorie sind größtenteils ähnlich wie die meiner genannten früheren Berechnungen. In der Art der Durchführung, in der Wahl der als zulässig angesehenen Vernachlässigungen und in den Endgleichungen bestehen jedoch wesentliche Unterschiede. Überdies geht mein Berechnungsverfahren dadurch über die Überlegungen von *Martin* und *Kuhn* hinaus, daß es durchweg für beliebige Konzentrationen des Ausgangsgemisches gilt und die verschiedenen Geschwindigkeiten der in der Zentrifuge auf- und absteigenden Gasströme berücksichtigt. Hierdurch läßt sich auch eingehender zeigen, wie die erzielbaren Reinheiten der Enderzeugnisse von der stündlich zerlegten Menge abhängen. Die Grundlagen und Ergebnisse meiner Berechnungen werden im folgenden erörtert.

¹⁾ *H. Hausen* u. *R. Schlatterer*: Aussichten der Zerlegung von Gasgemischen durch Zentrifugieren. Z. VDI Beih. Verfahrenstechn. (1939) S. 15/21.

²⁾ *K. Clusius* u. *G. Dickel*: [...]

³⁾ Dtsch. Patentanm. [S. 3523–3525...]. *Martin* u. *Kuhn* [S. 3539–3542...]. Beide Anmeldungen sind unabhängig voneinander und ohne gegenseitige Kenntnis eingereicht worden.

⁴⁾ *H. Martin* u. *W. Kuhn*: Multiplikationsverfahren zur Trennung von Gasgemischen, insbesondere bei Anwendung von Schwerefeldern. Z. phys. Chemie A Bd. 189 (1941) S. 219/316.

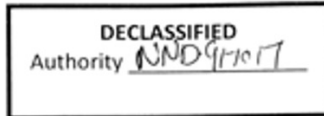
Independently of this, *Martin* and *Kuhn*⁴⁾ have recently published a theory of the centrifugation of gas mixtures under counter-current action. The basic ideas of this theory are largely similar to those of my earlier calculations. However, there are significant differences in the way the calculations are carried out, in the choice of neglect considered permissible and in the final equations. In addition, my calculation method goes beyond the considerations of *Martin* and *Kuhn* in that it is valid for any concentration of the initial mixture and takes into account the different velocities of the gas flows ascending and descending in the centrifuge. This also makes it possible to show in more detail how the achievable purities of the end products depend on the quantity separated per hour. The principles and results of my calculations are discussed below.

¹⁾ *H. Hausen* and *R. Schlatterer*: Aussichten der Zerlegung von Gasgemischen durch Zentrifugieren. Z. VDI Beih. Verfahrenstechn. (1939) pp. 15–21.

²⁾ *K. Clusius* and *G. Dickel*: [...]

³⁾ German patent application [pp. 3523–3525...]. *Martin* u. *Kuhn* [pp. 3539–3542...]. Both applications were filed independently of each other and without mutual knowledge.

⁴⁾ *H. Martin* and *W. Kuhn*: Multiplikationsverfahren zur Trennung von Gasgemischen, insbesondere bei Anwendung von Schwerefeldern. Z. phys. Chemie A vol. 189 (1941) pp. 219–316.



**NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 170, Folder
32.60-1 GERMANY: Summary Reports (1944)**

RESTRICTED

Hausen, H., and Schlatterer, R.
Verfahrenstechnik, Z.V.D.I. Beiheft 1939, 15-21 No. 1.

Presented in abstract at meeting of Deutschen Kaltevereine at
at Frankfurt a. M. May 30, 1938.

Authors reside at Hollrieglskreuth near Munchen. Possibilities
of Separating Gas Mixtures in Centrifuges. Develop theory for
separation in a very simple centrifuge.

Hausen, H.
Verfahrenstechnik, Z.V.D.I. 1942, No. 4, p 93-102

Separation of Gas Mixtures in a Centrifuge with Counter current
action. Develops theory for calculating height of centrifuge
to obtain a desired degree of separation with a given rate of feed
of gas mixture. His examples are to the separation of air which
has been of interest in blowing blast furnaces with higher
concentrations of oxygen than in air. He says one would not separate
air in a centrifuge because of the cheaper distillation process.
Says that O_2-N_2 in centrifuge shows separating factor 30 times that
for thermal diffusion. Quotes Martin and Kuhn as saying that the
centrifuge has a much higher energy efficiency than thermal diffusion.

Figure D.138: Leslie Groves's office at the U.S. Manhattan Project followed the German work on gas centrifuges [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 170, Folder 32.60-1 GERMANY: Summary Reports (1944)].



DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr. 833 487
KLASSE 12e GRUPPE 30e
G 414 W 6/12c

Dr.-Ing. Helmuth Hausen, München-Solln
ist als Erfinder genannt worden

Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.G.,
Höllriegelskreuth bei München

Verfahren und Vorrichtung zur Zerlegung von Gas- und
Flüssigkeitsgemischen in Zentrifugen

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 18. Juni 1939 an
Der Zeitraum vom 8. Mai 1945 bis einschließlich 7. Mai 1950 wird auf die Patentdauer nicht angerechnet
(Ges. v. 15. 7. 51)

Patentanmeldung bekanntgemacht am 26. Juli 1951
Patenterteilung bekanntgemacht am 7. Februar 1952

Es hat bisher nicht an Versuchen gefehlt, Gasgemische durch Zentrifugieren zu zerlegen. Ein brauchbares Ergebnis konnte jedoch mit diesen Verfahren nicht erzielt werden, weil die Trennwirkung der bekannten Zentrifugierverfahren verhältnismäßig gering ist. Auch theoretisch läßt sich nachweisen, daß die Zerlegungswirkung einer nach den bekannten Verfahren betriebenen Zentrifuge selbst bei den höchsten heute möglichen Umfangsgeschwindigkeiten und bei Gemischen mit großen Unterschieden im Molekulargewicht nur sehr gering ist.

bessern, daß die Gase verschiedener Zusammensetzung im Gegenstrom und in ähnlicher Weise wie z. B. bei den bekannten Gaszerlegungsverfahren durch Thermomodifikation im wesentlichen laminar geführt werden. An jeder Berührungsstelle der beiden Gasströme ändert sich ihre Zusammensetzung durch die Zentrifugalwirkung nur wenig. Die Addition dieser kleinen Wirkungen durch das Gegenstromprinzip gestattet aber, ebenso wie bei der Rektifikation, die Zerlegung grundsätzlich bis zu beliebiger Reinheit beider Bestandteile zu treiben.

Im folgenden wird die Arbeitsweise an Hand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Zur Erzeugung des Gegenstromes wird beispielsweise die Schwerkraft benutzt. Am einfachsten läßt sich diese Arbeitsweise in einer sehr hoch gebauten Zentrifuge mit senkrechter Welle verwirklichen, wie sie in Abb. 1 dargestellt ist.

Abb. 1 ist eine schematische Darstellung einer zur Ausführung des Verfahrens geeigneten Zentrifuge. Der mit der Hohlwelle 3 rotierende Zentrifugkörper ist mit 4 bezeichnet. 1 und 2 sind die Stellen, an welchen das zerlegte Gas abgeführt wird, während man das zu trennende Gemisch bei 5 einführt.

Abb. 2 ist ein Schnitt senkrecht zur Rotationsachse einer besonderen Ausführungsform der in Abb. 1 dargestellten Zentrifuge.

Abb. 3 stellt einen Schnitt parallel zur Rotationsachse einer zur Durchführung des Verfahrens geeigneten Zentrifuge dar.

Durch die Wirkung der Zentrifugalkraft tritt in jedem waagerechten Querschnitt eine Zerlegung in dem Sinne ein, daß sich außen der Gehalt an schwereren, innen am leichteren Bestandteil anreichert. Infolge der Schwerkraft haben aber die außen befindlichen schwereren Gase das Bestreben nach abwärts zu sinken, die innen befindlichen leichteren Gase hingegen aufzusteigen, so daß sich neben der durch die Zentrifugalkraft bewirkten Trennung zwei gegeneinandergerichtete senkrechte Konvektionsströme ausbilden. Diese gegenwärtig gerichteten Ströme haben folgende Wirkung: Hat sich im Querschnitt $0-0$ das Zentrifugalgleichgewicht eingestellt, so begegnet das hierdurch etwas leichter gewordene, innen strömende Gas im Querschnitt $b-b$ einem außen nach unten strömenden Gas, das am schwereren Bestandteil noch nicht so stark angereichert ist wie das Gas im äußeren Teil vom Querschnitt $a-a$. Wenn daher in dem höheren Querschnitt wieder angereichertes Zentrifugalgleichgewicht erreicht wird, so muß das aufsteigende, leichtere Gas erneut etwas von dem schwereren Bestandteil abgeben und etwas von dem leichteren Bestandteil aufnehmen. Das innen aufsteigende Gas wird sich also auf seinem Weg nach oben immer mehr an dem leichteren Bestandteil anreichern. Umgekehrt muß aus dem gleichen Grunde das außen nach abwärts sinkende Gas von Querschnitt zu Querschnitt an dem schwereren Bestandteil immer reicher werden. Im Beharrungszustand kann daher an dem oberen Ende der Zentrifuge bei 1 der leichtere

Nach der vorliegenden Erfindung läßt sich aber der an sich kleine, durch Zentrifugalwirkung erzielbare Trenneffekt dadurch zu größerer Wirkung bringen, daß man ihn durch Gegenstromführung der Gase verstärkt. Eine solche Verstärkung durch Gegenstrom ist z. B. bei der Rektifikation bekannt. Die nur geringe Zerlegungswirkung eines einzelnen Rektifikationsbodens wird dadurch vervielfacht, daß man eine große Zahl von solchen Böden übereinander anordnet und Flüssigkeit und Dampf im Gegenstrom führt. Ebenso läßt sich grundsätzlich die Trennwirkung einer Zentrifuge dadurch ver-

Bestandteil, am unteren Ende der Zentrifuge bei 2 der schwerere Bestandteil in um so größerer Reinheit entnommen werden, je höher die Zentrifuge ist. Man wird daher der Zentrifuge eine große axiale Länge im Verhältnis zum Durchmesser geben und für dieses Verhältnis mindestens die Zahl 5 wählen.

Am oberen Ende der Zentrifuge wendet sich ein Teil des nach oben gerichteten Gasstromes um und bewegt sich dann außen wieder nach abwärts. Dieser Umkehr entspricht in einer Rektifikationsstille die Erzeugung von Rücklauf Flüssigkeit aus den aufsteigenden Dämpfen. Ähnliches gilt für die Umkehr der Strömung am unteren Ende. Das unterlegte Gemisch führt man zweckmäßig innen an derjenigen Stelle zu, an der das aufwärts strömende Gas dieselbe Zusammensetzung wie das zerlegte Gas hat.

Zur Erzielung bestimmter Reinheitsgrade der Fraktionen ist es angebracht, die Geschwindigkeit des Auf- und Abwärtsstroms der Gase innerhalb geeigneter Grenzen zu halten, damit die Gase in jedem Querschnitt die richtige Zeit zur Verfügung haben, sich durch Diffusion mehr oder weniger ins Zentrifugalgleichgewicht zu setzen, was, wie alle Diffusionsvorgänge, eine gewisse Zeit beansprucht. Außerdem müssen Wirbel vermieden werden, die einen Teil der erzielten Zerlegung wieder rückgängig machen würden. Die Konvektionsströmung muß also langsam und vollständig laminar erfolgen. Die in Frage kommende Geschwindigkeit des laminaren Gasstromes und die Diffusionsgeschwindigkeit können je nach den besonderen Verhältnissen sehr unterschiedliche Werte haben. Im allgemeinen wird die Diffusionsgeschwindigkeit in der Größenordnung von einigen Millimetern je Sekunde oder Zentimeter je Sekunde liegen, wobei unter Diffusionsgeschwindigkeit der Quotient aus der Diffusionskonstanten D (cm^2/sec) und dem mittleren Diffusionsweg Δx (cm) zu verstehen ist. Hierbei bedeutet Δx die radiale Entfernung zwischen dem Kern der aufsteigenden und dem Kern der absteigenden Strömung. Die Geschwindigkeit des laminaren Gasstromes kann kleiner oder größer als die Diffusionsgeschwindigkeit sein. Steigt die Gasgeschwindigkeit über einen optimalen Wert, der etwa gleich $\frac{D}{\Delta x} \sqrt{2}$ ist, oder sinkt sie unter diesen Wert, so wird die Reinheit der Produkte kleiner. Eine zu hohe Gasgeschwindigkeit wird sich im allgemeinen nicht einstellen, weil der Druck in den äußeren Teilen der Zentrifuge wegen der höheren Dichte nach unten hin in stärkerem Maße zunimmt als in den inneren Teilen, und die so entstehenden Druckunterschiede der beschriebenen Wirkung der Schwerkraft mehr oder weniger entgegenwirken. Wenn aber die Gasgeschwindigkeit ausnahmsweise zu groß wird, namentlich unter Mitwirkung der weiter unten beschriebenen Mittel zur Erzeugung des Gegenstromes, dann läßt sich gemäß der Erfindung eine Herabminderung der Geschwindigkeit z. B. dadurch erreichen, daß man den äußeren Durchmesser der Zentrifuge so klein wählt, daß die Wandreibung den Konvektionsstrom

genügend abbremst. In den meisten Fällen wird es aber erwünscht sein, den Durchmesser größer zu wählen. Dann kann man nötigenfalls die Gasgeschwindigkeit dadurch verringern, daß man z. B. die Welle der Zentrifuge zur Verminderung des Einflusses der Schwerkraft nicht senkrecht, sondern schräg anordnet. Ferner läßt sich der Konvektionsstrom auch durch geeignete Einbauten abbremmen. Als Einbauten kommen z. B. senkrechte radiale Wände in Frage (Abb. 2), die zugleich dafür sorgen, daß die Winkelgeschwindigkeit des Gases nicht hinter der der Zentrifuge zurückbleibt, oder auch waagerechte oder konische Netze, Gaze, Tücher, gelochte Bleche u. dgl., die den Gasdurchtritt nach oben und unten erschweren. Die konische Form (Abb. 3) wird hierbei vorzuziehen sein, da hierdurch zwischen den einzelnen Lagen dieser Stoffe zusätzliche schädliche Konvektionsströme in radialer Richtung vermieden werden können.

Auch Einbauten, die die Gestalt ein- oder mehrgängiger Schraubenflächen haben, erweisen sich als günstig. Sie verringern die Konvektionsgeschwindigkeit nicht nur durch den verengten Querschnitt, sondern auch dadurch, daß ähnlich wie bei der schräg gestellten Zentrifuge nicht die ganze Schwerkraft, sondern nur eine Komponente in der Strömungsrichtung zur Wirkung kommt. Auch wird der Weg des Konvektionsstromes im Vergleich zur Höhe der Zentrifuge verlängert, so daß diese Anordnung einer höheren Zentrifuge mit senkrechter Strömungsrichtung gleichwertig ist. Die Erzeugende der Schraubenfläche kann gerade oder gekrümmt sein und mit der Drehachse einen beliebigen Winkel einschließen. Durch eine von der Achse aus schräg nach unten gerichtete Erzeugende lassen sich etwaige unerwünschte radiale Konvektionsströme vermeiden.

Außer Gewichtsunterschieden können grundsätzlich auch andere Mittel zur Anregung und Aufrechterhaltung oder Unter Umständen auch zur Abbremsung des Gegenstromes herangezogen werden. In diesem Sinne können Temperaturunterschiede wirken, indem man z. B. die Gase im inneren Teil der Zentrifuge beheizt. Es wäre auch denkbar, den Impuls des eintretenden, noch unterlegten Gasgemisches hierzu zu verwenden, was z. B. bei waagerechter Lagerung der Zentrifuge von Bedeutung sein könnte. Grundsätzlich läßt sich der Gegenstrom auch in entgegengesetzter Richtung des Beispiels durchführen, wobei der äußere Gasstrom sich aufwärts, der innere Gasstrom sich abwärts bewegt. In diesem Falle wird der leichtere Bestandteil am unteren, der schwerere Bestandteil am oberen Zentrifugende gewonnen. Erzeugen läßt sich ein solcher umgekehrter Gegenstrom z. B. dadurch, daß man die Zentrifuge außen beheizt und innen kühlt. Vielleicht läßt sich auch schon die Tatsache, daß der Teil des frisch eintretenden Gases, der sofort in die äußeren Teile der Zentrifuge gelangt, sich durch adiabatische Verdichtung erwärmt und dadurch einen Auftrieb nach oben erfährt, unter Umständen zur Anregung des Gegenstromes in der umgekehrten Richtung zu ausnutzen.

kennzeichnet, daß der Gegenstrom mit Hilfe einer in der Zentrifuge aufrechterhaltenen Temperaturdifferenz erzeugt wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch Einbauten zur Abbremsung der Geschwindigkeit des Gegenstromes, die vorzüglich aus radialen senkrechten Wänden oder trichterförmigen Netzen, gelochten Blechen oder Tucheinlagen bestehen.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

Ergebnisse, wie sie sich nach der Erfindung erzielen lassen, werden in nachstehenden Vergleichsbeispiel dargestellt. Zugrunde gelegt wird eine Zentrifuge von 2 m Höhe, deren ringförmiger Zentrifugenraum die lichten Abmessungen von 2 cm für den Durchmesser des inneren Zuführungsroßes und von 6 cm für den Mantel hat. Wenn man eine solche Zentrifuge mit der verhältnismäßig leicht zu erreichenden Umfangsgeschwindigkeit von 300 m/sec rotieren läßt, so können beide Komponenten eines 50/50igen binären Isotopengemisches oder auch eines entsprechenden Gasgemisches ohne Anwendung des erfindungsgemäßen Gegenstromes von 50 auf 51% angereichert werden. Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Gegenstromes dagegen läßt sich eine Anreicherung von 50 auf 76% erreichen.

Läßt man eine solche Zentrifuge mit der höchsten bisher bei Zentrifugen erreichten Umfangsgeschwindigkeit von 600 m/sec rotieren, so wird ohne Anwendung des erfindungsgemäßen Gegenstromes eine Anreicherung der Komponenten bis höchstens 53,4% erreicht. Unter Benutzung des erfindungsgemäßen Gegenstromes dagegen läßt sich eine 99%ige Anreicherung erzielen.

Die vorstehenden Angaben sind das Ergebnis einer Näherungsrechnung. In der Praxis werden die Ergebnisse sowohl beim Arbeiten mit Gegenstrom als auch ohne Gegenstrom voraussichtlich etwas ungünstiger sein.

Das erfindene Verfahren ist nicht nur auf Gasgemische anwendbar, sondern kann in analoger Weise auch zur Trennung schwer zerlegbarer Flüssigkeiten verwendet werden. Es ist zwar bekannt, Emulsionen in Zentrifugen zu trennen; mit einer erfindungsgemäßen Zentrifuge lassen sich dagegen weit höhere Leistungen erzielen, z. B. die Trennung echter Lösungen oder kolloidaler Mischungen, was mit gewöhnlichen Zentrifugen nicht möglich ist.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Zerlegung von Gas- und Flüssigkeitsgemischen in Zentrifugen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kreisstrom als achsparalleler laminarer Gegenstrom geführt wird, wobei Zentrifugen angewendet werden, deren axiale Länge wesentlich größer ist als ihr äußerer Durchmesser und bei denen die Ableitung der Zerlegungsprodukte aus dem Läufer der Zentrifuge an Stellen erfolgt, welche in der Projektion auf die Welle gemessen, weit voneinander entfernt sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstrom durch die Schwerkraft bewirkt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Impuls des in einer anfänglichen Geschwindigkeit eintretenden unzerlegten Gasgemisches zur Anregung und Aufrechterhaltung oder auch zur Abbremsung des Gegenstromes auf den günstigsten Wert herangezogen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch ge-

Einbauten, die die Gestalt ein- oder mehrgängiger Schraubenflächen haben.

7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die auf Aufrechterhaltung eines günstigen Gegenstromes die Rotationsachse schräg gegen die Richtung der Erdbeschleunigung eingestellt wird.

8. Zentrifuge zur Zerlegung von Gasgemischen, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der axialen Länge zum Durchmesser der Zentrifuge größer als 5 ist.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Figure D.139: One of Linde's patents on gas centrifuges, filed by Helmuth Hausen in 1939 [German Patent DE 833,487]. Note the use of countercurrent flow inside the centrifuge to improve the separation efficiency.

Zu der Patentschrift **833 487**
Kl. 12 e Gr. 3 05

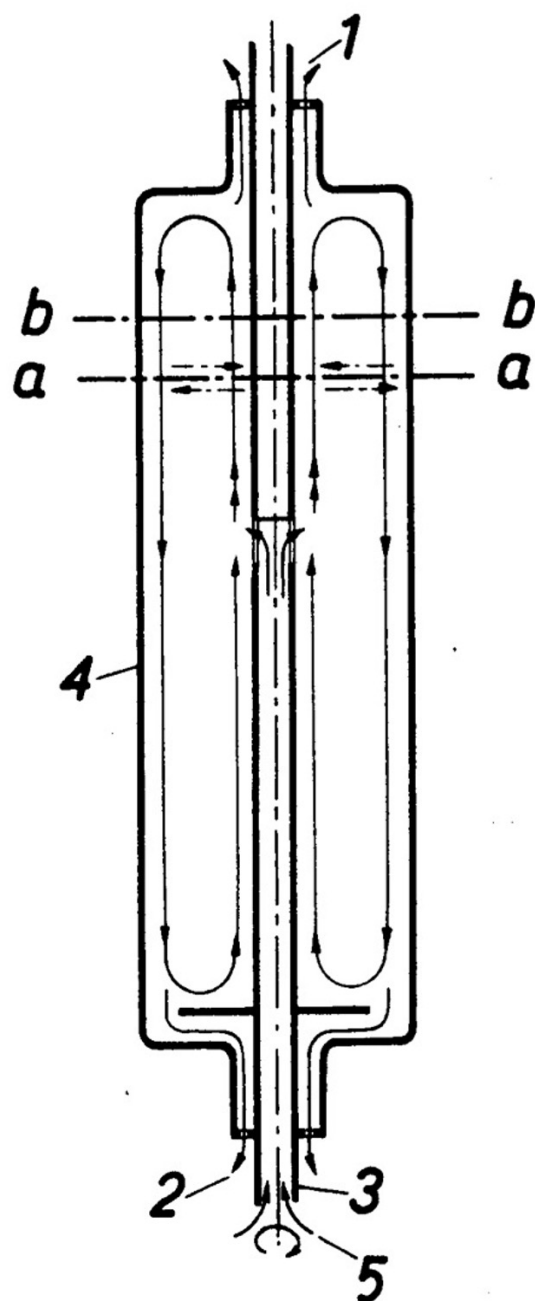
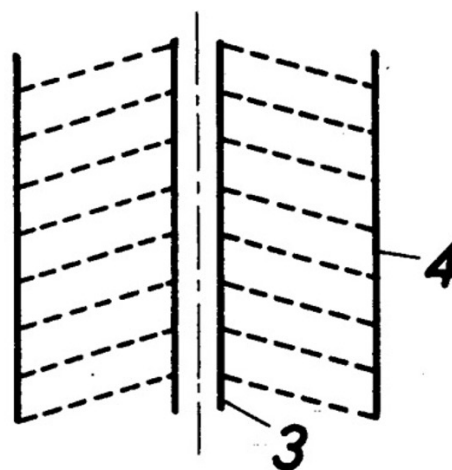
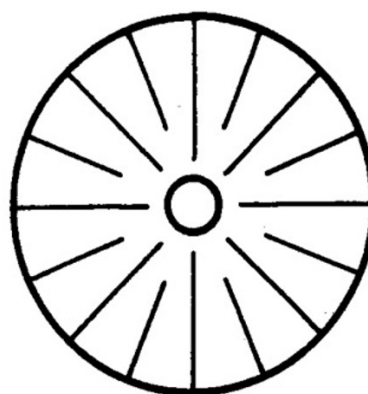
Abb. 1**Abb. 2****Abb. 3**

Figure D.140: One of Linde Eismaschinen's patents on gas centrifuges, filed by Helmuth Hausen in 1939 [German Patent DE 833,487]. Note the use of countercurrent flow inside the centrifuge to improve the separation efficiency.

AUSGEGEBEN AM
14. SEPTEMBER 1953



DEUTSCHES PATENTAMT

PATENTSCHRIFT

№ 872 936

KLASSE 12e GRUPPE 3 05

G 415 IV b/12 e

Dr.-Ing. Hellmuth Hausen, München-Solln und
Dr. Klaus Clusius, München
sind als Erfinder genannt worden

Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A. G.,
Hörlriegelskreuth bei München

Verfahren und Vorrichtung zur Zerlegung von Gasgemischen
in Zentrifugen

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 26. Oktober 1940 an
Der Zeitraum vom 8. Mai 1945 bis einschließlich 7. Mai 1950 wird auf die Patentdauer nicht angerechnet

(Ges. v. 15. 7. 51)

Patentanmeldung bekanntgemacht am 18. Oktober 1951

Patenterteilung bekanntgemacht am 6. August 1953

In der Patentschrift 833 487 ist ein Verfahren zur Zerlegung von flüssigen oder gasförmigen Gemischen durch Zentrifugieren beschrieben, bei dem eine besonders günstige Wirkung dadurch erzielt wird, daß das Gemisch innerhalb der Zentrifuge in einem laminaren Gegenstrom geführt wird. Der laminare Gegenstrom kann auf verschiedene Weise erzeugt werden, z. B. bei senkrecht stehender Zentrifuge durch die Schwerkraft. Er kann dabei durch Heizung verstärkt oder durch Neigung der Zentrifuge geschwächt werden. Der laminare Gegen-

dienen soll, wobei verhältnismäßig geringe Temperaturdifferenzen ausreichend sind, liegt darin, daß bei der Thermoeffusion sehr viel höhere Temperaturdifferenzen erforderlich sind. Bei einem Gas, welches innerhalb eines geschlossenen Raumes sehr erheblichen Temperaturunterschieden, d. h. solchen von mehreren hundert Grad, ausgesetzt ist, tritt eine Wanderung der leichten Moleküle in das Gebiet der hohen Temperaturen und eine Wanderung der schweren Moleküle in das Gebiet der niederen Temperaturen ein.

Entsprechend dem Vorhergesagten soll also eine Zentrifuge, welche nach den Angaben der Patentschrift 833 487 ausgebildet ist, eine zusätzliche Heizung bzw. Kühlung erfahren, so daß Temperaturdifferenzen von mehreren hundert Grad, z. B. von etwa 300°, erzeugt werden. Da in der Zentrifuge die schweren Moleküle entsprechend der Zentrifugalkraft nach außen, die leichten Moleküle dagegen in Richtung der Achse wandern und infolge des laminaren Gegenstroms sich die leichten Moleküle schließlich am oberen Ende der Zentrifuge und die schweren am unteren Ende der Zentrifuge ansammeln, wo sie entnommen werden sollen, so muß bei der erfindungsgemäßen Anwendung der Thermoeffusion auf die Zentrifuge das Temperaturgefälle derart zur Anwendung kommen, daß die Zerlegungskräfte unter dem Einfluß der Fliehkraft und unter dem Einfluß der Thermoeffusion gleichgerichtet sind. Hieraus ergibt sich, daß die Zentrifuge von der Mitte her, d. h. von der Achse aus oder in der Nähe der Achse geheizt werden muß. Eine zusätzliche Kühlung des Außenmantels wird in vielen Fällen zweckmäßig sein, jedoch kann die Kühlung durch die Außenluft unter Umständen schon ausreichend sein. Man kann auch daran denken, um den Außenmantel herum einen Kühlmantel anzubringen, der nicht einmal mit zu rotieren braucht, sondern fest angeordnet sein kann, wenn er dicht genug zum Außenmantel angeordnet ist.

Die Heizung kann z. B. dadurch erzeugt werden, daß die rotierende Achse hohl ausgebildet und von einem heißen Gas durchströmt wird. Man kann auch in der hohlen Achse einen elektrischen Heizkörper unterbringen oder einen solchen Heizkörper auf der Achse anbringen. Eine weitere Möglichkeit besteht z. B. darin, daß man eine Heizspirale auf die rotierende Achse aufwickelt, welche von einem flüssigen oder gasförmigen Heizstoff durchströmt wird.

Die bisherigen rechnerischen Untersuchungen haben ergeben, daß die Geschwindigkeitssteigerung des laminaren Gegenstroms unter dem Einfluß des bei zusätzlicher Thermoeffusion auftretenden Temperaturgefälles in der Regel nicht so stark ist, daß die zulässige Gasgeschwindigkeit überschritten wird. Sollte dies in Ausnahmefällen doch eintreten, so kann eine Hemmung im Sinne der Patentschrift 833 487, z. B. durch gelochte Bleche, Drahtnetze od. dgl. erfolgen.

In der Patentschrift 833 487 ist bereits gesagt worden, daß im Zentrifugenraum unter Umständen

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zentrifuge am Außenmantel oder an Achse und Außenmantel Längsrippen hat, die radial in den Zentrifugenraum gerichtet sind.

strom kann auch durch entsprechende Einbauten bei z. B. horizontaler Anordnung der Zentrifugenachse erzeugt werden.

Bei der Zerlegung von Gasgemischen läßt sich die Zerlegungswirkung einer solchen Zentrifuge dadurch wesentlich steigern, daß zusätzlich die Trennkkräfte der Thermoeffusion angewendet werden. Der Unterschied im Vergleich zu der bereits in der Patentschrift 833 487 beschriebenen Beheizung, welche lediglich zur Erzeugung des laminaren Gegenstroms oder zur Verstärkung desselben

Längsrippen radial angeordnet werden sollen, welche die Richtung und Geschwindigkeit des laminaren Gegenstroms günstig beeinflussen sowie auch die Rotation der Zentrifuge auf den Gasinhalt übertragen sollen.

Im Zusammenhang mit der Erfindung kann diesen Längsrippen die weitere Aufgabe zukommen, von der Achse her auf das Gas die Wärmeübertragung und entsprechend in der Nähe des Außenmantels die Wärmeabfuhr vom Gas auf den Außenmantel zu verbessern. Unzweckmäßig aber wäre es, wenn durchgehende Rippen eine direkte Wärmeleitung zwischen Achse und Außenmantel herstellen würden. Zur Durchführung der Erfindung wird es daher, wenn durchgehende Rippen aus Festigkeitsgründen erforderlich sind, zweckmäßig sein, sie ganz oder teilweise aus solchen Stoffen herzustellen, welche genügend schlechte Wärmeleiter sind.

Die Erfindung ermöglicht eine Steigerung der Leistungsfähigkeit von Gaszentrifugen nach der Patentschrift 833 487 sowohl hinsichtlich des zulässigen Durchsatzes wie hinsichtlich der erzielbaren Trennwirkung, wenn man gleich große Zentrifugen vergleicht. Der Vorteil kann aber auch darin bestehen, daß man eine bestimmte Zerlegungswirkung mit einer kleineren Zentrifuge erreichen kann, als wenn nur die Zentrifugalkraft allein wirksam wäre.

Es wird in manchen Fällen vorteilhaft sein, statt einer verhältnismäßig großen Zentrifuge, mehrere kleinere Zentrifugen zu benutzen, welche derart hintereinandergeschaltet sind, daß das angereicherte Gas in der nächstfolgenden Zentrifuge weiter angereichert wird und das Restgas einer vorhergehenden Zentrifuge nochmals zugeführt wird.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Zerlegung von Gasgemischen in Zentrifugen, in denen ein Kreisstrom als achsparalleler laminarer Gegenstrom geführt wird, wobei Zentrifugen angewendet werden, deren axiale Länge wesentlich größer ist als ihr äußerer Durchmesser und bei denen die Ableitung der Zerlegungsprodukte aus dem Läufer der Zentrifuge an Stellen erfolgt, welche in der Projektion auf die Welle gemessen, weit voneinander entfernt sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Zerlegungskräfte durch ein von der Zentrifugenachse zum Zentrifugenumfang gerichtetes, eine zusätzliche Thermoeffusion bedingendes, etwa mehrere hundert Grad betragendes Temperaturgefälle gesteigert werden.

2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zentrifuge bei oder in der Nähe der Achse beheizt wird.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Außenmantel der Zentrifuge gekühlt wird.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4 mit Längsrippen an der Achse und am Außenmantel, welche miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Rippen entweder durch schlechte Wärmeleiter miteinander verbunden sind oder ganz aus solchem Material bestehen.

Figure D.141: Another Linde Eismaschinen patent on gas centrifuges, filed by Helmuth Hausen and Klaus Clusius in 1940 [German Patent DE 872,936]. Note the use of countercurrent flow inside the centrifuge to improve the separation efficiency.

[There was a large program spread out among several collaborating groups in the Hamburg-Kiel area to design, build, and operate a series of increasingly sophisticated gas centrifuges for uranium enrichment. That work was conducted by physicists and engineers such as Konrad Beyerle (at Anschütz, a gyroscope company in Kiel that already had decades of experience making high-precision rapidly rotating machinery), K. H. Eldau, Wilhelm Groth, Paul Harteck, Johannes Hans Jensen (who later won a Nobel Prize for the nuclear shell model), Werner Kuhn, Detlof Lyons (who also worked for the Reichspost), Hans Martin, Hans Suess, Albert Suhr, and others.

The U.S. Alsos Mission captured several reports written by this Hamburg-Kiel centrifuge program. Note that these reports do not cover the work of other German centrifuge programs and do not even cover all the work of the Hamburg-Kiel program. The extant reports tend to be from the earlier days of the Hamburg-Kiel program, and to focus on fundamental centrifuge design issues, not mass production or operational use of centrifuges. Unless otherwise indicated, text for G-series captured German nuclear reports cited here consists of the English-language abstracts prepared by U.S. scientists who studied the German reports.]

G-82. Wilhelm Groth. Status of Work on Building an Ultracentrifuge. 1941.

Rotor is 40 cm long and 14.5 cm diameter and operates at 50,000 rpm. On the basis of calculations, with a separation factor of 7.4%, the centrifuge would deliver more than 2 kg of hexafluoride which would be enriched more than 7%. Construction of ultracentrifuge still (Dec. 14, 1941) in progress.

G-83. Wilhelm Groth and Hans Suess. Status of Work on Isotope Separation of Preparation 38 (U_3O_8) at the Institute of Physical Chemistry, University of Hamburg. Separation Column Experiment and Construction of Ultracentrifuge. Analysis of Tests. 1941.

Preparation of UF_6 . Corrosion tests showed nickel as only practical construction material, but in separation column the continuous removal of hexafluoride layer from the metal prevented operation of unit at 360°C (temperature of boiling Hg). 3.7 m separation column was built of nickel. Inner (hot) tube outer diameter was 18 mm, 2 mm wall thickness; outer (cold) tube was 28 mm outside diameter. Separation between two tubes was therefore 3 mm. Separators were provided to reduce convection disturbances. Later a 5.7 m column was built. Tests with xenon and with methane to enrich isotope C^{13} were successful but no success in enriching U^{235} (separation effect less than 1%).

Ultracentrifuge is being built. Rotor to be 400 mm long and 115 mm diameter and to run in a vacuum chamber 625 mm long and 150 mm diameter, air or electric motor drive to be used. Speed up to 120,000 rpm. Lubricant developed consisted of a paste made from apiezon grease and sodium fluoride.

Methods used to check U isotopes separation are outlined.

G-95. Johannes Hans Jensen. The Ultracentrifuge Method for Separating Uranium Isotopes. 1941.

Since the thermal diffusion constants of UF_6 are so very small it was decided to investigate the ultracentrifuge methods of separating the isotopes. On the basis of a theoretical analysis, a 2 meter high centrifuge can enrich to double the value 1.5×10^{-2} grams of hexafluoride per day. This centrifuge is to operate with a laminar countercurrent—"a circulation centrifuge."

Suggest centrifuge divided vertically into chambers to prevent back diffusion. A 12 chamber centrifuge would increase the yield 1.44 times the circulation centrifuge but would require a mechanism so complicated as to be impractical.

Theoretical calculations are given for a centrifuge where the centrifugal forces are so great that the pressure differential between inner and outer wall is very large.

G-107. Hans Martin and K. H. Eldau. Appendix to Report of 15 July 1941 on the Construction of an Ultracentrifuge to Separate Isotopes. The Stability of Some Metals to UF_6 Vapor at Room Temperature and at 50°C . 1941.

Corrosion tests of UF_6 on various metals and alloys. Description of special apparatus to avoid contamination. Tests run at 20 and 50°C and at 16 and 55 mm Hg of UF_6 with exposure time varying from 20 to 80 hours. Weight increase of some sample metals in mg/cm^2 . Copper = 0.036; lead = 0.25; dural = 0.03; V2A steel = 0.05. Results for other metals tabulated.

G-145. Wilhelm Groth. Report on Conference with Professor Svedberg and Dr. Pedersen of the Institute of Physical Chemistry at the University of Upsala (Sweden). 1942.

Notes on discussions regarding ultracentrifuges, a series of which were planned for Germany.

1. Description of foundations used at Upsala to avoid transmission of shock and reduce bearing loads.
2. Oil and water piping arrangement. Prefer individual piping to each centrifuge in order not to disturb whole series of centrifuges whenever one unit has to be shut down. Position of pumps etc. Use of hydrogen to keep out air and keep uniform temperature.
3. Use of packings. Bearing tolerances (held to .015 mm).
4. Balancing machines developed in Sweden which easily measure rotor unbalance of 0.5 mg cm.

G-146. Wilhelm Groth. Separation of Uranium Isotopes by the Ultracentrifuge. I. Enrichment of the Xenon Isotope in a Single Stage Ultracentrifuge. 1942.

Detailed description of Beams type centrifuge with a rotor 200 mm long and 128 mm outer diameter (58 mm inner diameter) operating in a 10^{-3} mm Hg vacuum. Description how impurities were removed from Xe before centrifuging. Centrifuge operated at 50,000 rpm and with Xe at an average atomic weight of 131.13 the pressure relationship between axis and periphery of rotor was 10.4:1. Separation of Xe isotopes successful. Data presented in tables of sample separations compare favorably with theoretical values. Enrichment obtained was 0.056–0.093. Photographs of centrifuge are included.

G-147. Wilhelm Groth. Separation of the Uranium Isotopes by the Separation Tube and the Ultracentrifuge. 1942.

Attempts to separate U isotopes in separating columns 3.70 meters and 5.70 meters were unsuccessful. Isotope enrichment was less than 1% whereas 8 and 14% enrichments were expected. Columns were built of Ni with the inner tube heated to between 100 and 360°C and the outer tube kept between 12 and 65°C. This small separation effect was ascribed to a very small thermodiffusion coefficient. Since experiments seem to prove U isotope separation was not possible with separation column, it was decided to try the ultracentrifuge. Ultracentrifuge on Beams principle was built with a rotor 115 mm inner diameter and 400 mm long. Electric drive used with speeds up to 100,000 rpm. Lubricant was paste of apiezo grease and sodium fluoride. Theoretical separation factors of the ultracentrifuge were determined. With ideal conditions should be able to deliver 2 kg UF_6 with the U^{235} enriched 7%.

G-148. Wilhelm Groth and Hans Suess. Status of Work on Separation of Isotopes of Preparation 38. 1942.

General summary of work done to date (Oct. 1942). Method of preparing UF_6 . Corrosion tests with UF_6 . Use of Ni with temperature limits at 360°C in separating columns. (See G-32 and G-83.) Experiments with 3.70 m separating column (18 mm diameter of inner tube, 28 mm diameter outer tube), 3 mm separation with separators to overcome convection (See G-83). Experiments with 5.70 mm separating columns. Separation of U isotopes very small, although tests with Xe and methane (to enrich C^{13}) were successful. This explained by small thermodiffusion coefficient of U. Proposed solution is higher temperature operation of column, but corrosiveness of UF_6 prevents this. Use of ultracentrifuge (See G-147). Proof of separation of U isotopes by measurement of alpha activity with correction for U^{234} .

G-149. Wilhelm Groth and Albert Suhr. Separation of Uranium Isotopes by the Ultracentrifuge. II. Enrichment of Uranium Isotopes U_{234} and U_{235} in a Single Stage Ultracentrifuge. 1942.

Same centrifuge as used in G-146 for Xe now used with UF_6 . Use of apiezo grease and sodium fluoride as seal lubricant. In a series of runs, average enrichment of $U^{234} = 3.6\%$ and $U^{235} = 2.7\%$. In another series of runs the following enrichments were achieved $U^{234} = 3.2\%$, $U^{235} = 2.4\%$, and $U^{234} = 5.2\%$, $U^{235} = 3.9\%$. These values are less than theoretically expected and are probably due to contamination which occurs when the samples are drawn off.

G-158. Paul Harteck and Johannes Hans Jensen. Calculation of the Separation Effect and the Yield of Various Arrangements of Centrifuges in Order to Improve the Efficiency of a Single Centrifuge. 1942.

New design gas centrifuge planned which will be a single unit whose rotor will be divided into chambers. The gas flow will go from the axis of one chamber to the periphery of the next chamber. Furthermore there will be a periodic change of direction in the gas stream flowing through the chambers. Calculations are presented for (1) the separation effect of a simple single chamber centrifuge, (2) the separation effect achieved with a multi-chamber centrifuge with unidirectional gas flow, (3) the separation effect achieved with a multi-chamber centrifuge with oscillating gas flow, (4) calculations evaluating the pressure differences and thermal effects. Short note on possibilities of a double centrifuge.

G-175. Hans Martin. Spontaneous Gas Convection on Conducting Walls in a High Centrifugal Field. 1942.

Small local temperature changes often disturb the separation in an ultracentrifuge; therefore a mathematical analysis is made of the thermal convection processes within the centrifuge. Gas movements in a high centrifugal field occur close to the wall (hot or cold) but not in the gas filled chamber where the strata are quite stable. Calculations for flow due to temperature differential (flow opposite to the gravitational force). Convection speed. Optimum wall separation in the centrifuge. Convection currents in the ultracentrifuge which are caused by temperature variations are proportionally reduced with higher centrifugal fields, lower gas pressures, and with a reduction in the gas volume which comes in contact with heat conducting walls. Relationship between temperature differentials and velocity of flow.

G-215. Wilhelm Groth, Paul Harteck, and Albert Suhr. Separation of Uranium Isotopes by the Ultracentrifuge. III. Enrichment of Xenon and Uranium Isotopes by the Cascade Method. 1943.

Figs. missing. No illustrations of the equipment described. Progress report on work done in 1943. New type bearing developed and new lubrication system. Use of upper and lower capillary tubes permitted continual operation. Rotor divided into 10 chambers with periphery of one chamber connected to the axis of its neighbor (cascade method). Provisions to prevent temperature differentials. Centrifuge operated on two endurance runs of 100 hours each. Enriched 25 g of hexafluoride 3 1/2 to 7% (U^{234}). Theoretical enrichment value = 14%.

G-234. Hans Martin. Chamber Centrifuge with Axial Temperature Gradient. 1943.

The design of a multi-chambered ultracentrifuge for the enrichment of uranium isotopes in UF_6 is detailed. The unit has a counter-current gas flow based on the thermosiphon principle. The rotor itself is a cylinder about 1 meter long, 10 cm radius, rotating at 66,000 rpm. This rotor is divided into 20 chambers. One end of the unit is heated and the other end is cooled at the same rate. Fins are built into the end chambers to improve heat transmission to the rotor in order to ensure a proper temperature gradient through the individual chambers. This gradient is to be maintained in spite of the heat generated by gas friction. The maximum U^{235} enrichment per chamber is expected to be 5.5% and the daily capacity of the centrifuge 50 g UF_6 .

G-276. Detlof Lyons. Theory of Isotope Separation by Ultracentrifuges with Thermal Convection. 1944.

Theoretical equations are derived for gaseous diffusion factors relative to separation of two isotopes and mass-transport through the centrifuge diameter. Thermoconvection is achieved by raising the temperature of an inner cylinder of fluid above that of the outer layer. Equations for computation of optimum values of temperature differences, speed of flow profile, and separation factor are given. A continuous centrifugation process for production purposes is described.

G-330. Konrad Beyerle, Wilhelm Groth, Paul Harteck, et al. Correspondence, Cost Estimates, and Technical Data Concerning the Construction of the Ultracentrifuge by the Anschütz Company. 1944–1945.

Correspondence between Harteck and staff members of the Anschütz Co., cost estimates and reports dated Jan. 1944 to Apr. 1945 are included.

[Includes information on apparently aborted plans to set up multiple centrifuges in Kandern and Freiburg.]

G-331. Konrad Beyerle, Wilhelm Groth, Paul Harteck, et al. Technical Letters Concerning the Ultracentrifuge, Taken from Dr. Groth's File. 1941–1944.

Correspondence between Dr. Groth and K. Beyerle of the Anschütz Co. dated, from 1941 to 1944, makes up most of the file.

G-332. Folder Containing Blueprints for Construction of an Ultracentrifuge.

The 165 blueprints included in this folder are for construction of an ultracentrifuge using the UZ III method of Harteck. A design is included for installation of the gas centrifuge GZA 451 in a building partly underground.

G-333/G-248. Konrad Beyerle. The Gas Centrifuge Setup GZA 451 for the German Federal Research Board. 12 December 1944.

Construction of an improved double ultracentrifuge for isotope separation is considered. An outlet pipe is connected to either top or bottom of each of the two centrifuge cylinders, a pipe connects the opposite sides of the cylinders, and a pipe entering this connecting piece feeds the mixture to be separated into both cylinders. Advantage of this arrangement is that each cylinder is to be provided only with two instead of three pipe connections. Plates with central openings divide the cylinders into a number of chambers. Designs for construction of the centrifuge and all parts are illustrated and described in detail. Advantages and disadvantages of different plans of construction and details of operation are considered.

Report G-248, printed and in more finished form, blueprints of the design, and a report by the Alsos Mission are included in this folder.

G-334. Folder Containing Blueprints for Construction of an Ultracentrifuge.

Seventeen blueprints for construction and operation of an ultracentrifuge using the UZ III method of Harteck, and 5 drawings of pressure-radius curves for different temperatures and rotational speeds of the instrument are included in the folder.

G-335. Folder Containing Drawings, Blueprints and Photographs of the Ultracentrifuge.

Fifteen photographs of the ultracentrifuge setup in Freiburg i/Br., 7 pencil drawings and 8 blueprints for centrifuge construction are included in the folder.

G-336. Folder Containing Blueprints for Construction of an Ultracentrifuge.

Thirteen blueprints and two sketches for construction and operation of the UZ III ultracentrifuge setup are included in this folder.

DECLASSIFIED
Authority NND 917017

NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1
GERMANY: Research--Res. Inst. & other Facilities (1943--Apr. 1945)

~~SECRET~~
HEADQUARTERS
EUROPEAN THEATER OF OPERATIONS
UNITED STATES ARMY
ALSOS MISSION
APO 887

Gen. Res.
by No. 2 of 5 copies.

21 April 1945

SUBJECT: Ultra-centrifuge installation in Celle. 17-20 April 1945.

1. At the TA laboratory at Stadtilm information was obtained that the ultra-centrifuge experiments had been recently evacuated to Celle, near Hannover, at a spinning mill. They had evacuated Freiburg in November.
2. The target was investigated by ALSOS as soon as it was available. The director, Harteck, was not present, he is still at the institute in Hamburg. His right hand man, Dr. W. Groth, was in charge at Celle, together with Dr. Suhr and Dr. Faltings. It was originally set up for eight scientists.
3. The equipment is definitely a small scale set up. If working smoothly it may be capable of producing 50 grams per day of enriched material. The enrichment is at best about 15 per cent, which means that the isotope ratio is 1/120 instead of the original 1/137.
4. The separation is done with gaseous UF_6 . Groth discovered that it is possible to produce this gas directly from the oxide, without having to make the metal first. He has a patent on this. It is produced this way by I. G. Farben in Leverkusen in rather small quantities, perhaps about 30 pounds a month.
5. The oil used in the centrifuge contained powdered sodium fluoride in suspension so as to saturate it against the effect of UF_6 .
6. Groth was very cooperative. He had been strongly anti-Nazi, though formally a party member since 1938, when he was appointed at Hamburg.
7. The correspondence and other papers captured at the place did not give any new information. Most interesting are perhaps the blueprints of the centrifuge.
8. As found at Stadtilm, the centrifuge is built by Anschütz and Co. in Kiel.
9. Some of the correspondence has some interest as confirmation of intelligence obtained before. It is of course gratifying to ALSOS investigators to find how various letters found here dovetail with the correspondence found at Strassburg.
10. The net result is the same as that obtained at other places, namely that the TA effort in Germany is on a very small scale, purely laboratory work, but within view possible large scale developments in the distant future.

-1-
~~SECRET~~

DECLASSIFIED
E.O. 11652, Sec. 3(E) and 5(D) or (E)
Authority NND 750112
By Q/sr NARS, Date 23 FEB 1976

Figure D.142: Alsos Mission. 21 April 1945. SUBJECT: Ultra-centrifuge installation in Celle. 17-20 April 1945 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research--Res. Inst. & other Facilities (1943-Apr. 1945)]

[The work described in some of those captured German reports was then summarized in a U.S. report by the American physicist Jesse Beams, who had tried and failed to build useful uranium gas centrifuges in the United States during the war:]

G-344. Jesse W. Beams. Report on the Use of the Centrifuge Method for the Concentration of U^{235} by the Germans. 9 April 1946.

This brief report is based upon a number of captured German reports and letters sent to me by Colonel Peterson. While this list is apparently not complete, it allows one to get an idea of the progress the Germans were able to make.

Immediately after Bohr and other showed that the isotope 235 of Uranium was responsible for the observed Nuclear Fission, the Germans began an intensive search for a suitable method of concentrating it. Their first step was to produce the UF_6 gas in sufficient quantities for use in the Thermal Diffusion Method of Clusius and Dickel. This production was carried out by the I.G. Farben Company under the direction of Dr. Noack. Experiments performed from 1939 to 1941 with the Thermal Diffusion Method using the gas, UF_6 , were uniformly unsuccessful although in the meantime the necessary properties of UF_6 such as viscosity and vapor pressure were well established.

In the Summer of 1941 Groth, Harteck, and Jensen in Hamburg and Martin and Kuhn in the University of Kiel focused their attention on the Centrifuge Method for concentrating Uranium 235. They first made a study of the theory and concluded that the method had promise. Accordingly in Sept. 1941 the Firm of Anschütz and Co. in Kiel started construction of a gas centrifuge under the direction of Dr. Beyerle, head of their Research Department. The rotor was 40 cm long with an O.D. of 14.5 cm and was driven electrically up to 60,000 r.p.m. Apparently this first centrifuge was patterned somewhat after some of our early (1936–38) published work on isotope separation by centrifuging. With this apparatus Groth obtained separation of the Xenon isotopes in May 1942 and a concentration increase of 3.9% of Uranium 235 in a small sample in August 1942. During 1943 a large number of technical improvements were made in the centrifuge apparatus, and the workers felt that it was trustworthy for long period operation.

At the suggestion of Harteck a continuous method of operation was adopted, called the “Rocking Method” and designated as UZ III. It was assembled and tested in Freiburg by the Firm of Hellige and Co. Two identical centrifuges were used, one for stripping and the other for concentrating the U^{235} . Each centrifuge rotor was divided into 10 chambers in such a way that the periphery of one chamber connected through a baffle system to the axis of the next chamber. The bottom ends of the two rotors were connected together and the gas was made to oscillate or flow back and forth in such a manner as to produce enriched U^{235} at the top of one rotor and the stripped material at the top of the other rotor. The first experiments with this method gave 40% of the theoretical value and in May 1944 Groth in writing to Gerlach said: “The experiments of the last week have produced a separation of 70% of the theoretical value which is more than had been hoped for.” In the meantime Anschütz and Co. had developed a rotor 70 cm long and 15 cm O.D. which weighed 15 kg. Their rotors were made either of an aluminum alloy, “Bondur,” or of steel and had an inside peripheral speed of about 3.9×10^4 cm/sec.

As an alternate to Harteck's "Rocking Method" Martin and Kuhn at Kiel worked out the theory for a so-called "Thermal Siphon Method" which consisted of cooling the outer walls of the centrifuge and heating along the axis. This was supposed to produce circulation in the manner of the Clusius-Dickel experiment, and the enriched fraction would be drawn off at the top of the rotor. The method apparently was never tried although experiments were planned.

From the reports one gathers that as early as 1942 the Germans arrived at the conclusion that the centrifuge method, even though expensive, probably stood the best chance of success of all of the methods for separating U 235. They placed an ever growing emphasis on the problem but it never reached beyond the experimental stage.

It was abundantly clear that the air war was primarily responsible for a production plant not getting much further than the planning stage. The Anschütz Co. was badly bombed in Kiel and development was slowed down by the difficulty of getting materials from Essen, Vienna, etc. At the end of the war they were planning to put a factory underground near Kandern.

In comparing the progress with the Centrifuge Method of separation made by the Germans and by ourselves it is clear that at the end of the war they were far behind where we were in this country at the end of 1943 when support of the centrifuge project was effectively cut off. However, they made some headway both with the theory and experiment.

[Beams's final editorial comments appear to be countered by the facts that:

- German work on gas centrifuges for a variety of applications began sometime before 1895 (p. 3513), many decades before Beams's work.
- Beams's centrifuge experiments were considered but abandoned by the U.S. Manhattan Project because of their poor performance.
- An enormous amount of the German work on gas centrifuges was not mentioned in these captured G-reports and Beams's analysis of them (as illustrated by other documents in this section).
- The German-developed gas centrifuges became the basis of uranium enrichment worldwide after the war, since they were more efficient than any of the uranium enrichment methods (Beams-type centrifuges, calutrons, gaseous thermal diffusion, and liquid thermal diffusion) developed by the Manhattan Project.]

Hans Martin and Werner Kuhn. 1941. Multiplikationsverfahren zur Trennung von Gasgemischen, insbesondere bei Anwendung von Schwerefeldern. *Zeitschrift für Physikalische Chemie A* 189:219–316. See p. 3543.

Es wird ein Multiplikationsverfahren angegeben, mit dessen Hilfe es allgemein möglich ist, in Gasgemischen (Isotopengemischen) auftretende schwache Entmischungseffekte, wie sie beispielsweise bei Einwirkung eines Gravitationsfeldes oder eines Temperaturgefälles beobachtet werden (Einzeleffekte), grundsätzlich beliebig stark zu vervielfachen und damit eine im Einzeleffekt nur unvollkommene Zerlegung eines Gemisches in beliebigem Maße zu vervollständigen. Es ist ein wesentlicher Bestandteil des Verfahrens, daß das Gemisch innerhalb des Hohlraumes, in welchen es eingeschlossen ist, in bestimmter Weise zirkuliert.

Den überwiegenden Raum in der vorliegenden Mitteilung nimmt die Besprechung der Grundlagen eines Gastrennverfahrens (I. bis III. Kapitel) ein, bei welchem der Einzeleffekt (der vervielfacht werden soll) durch ein starkes künstliches Schwerefeld (I. Kapitel) hervorgerufen wird. Das Schwerefeld wird in einem rasch umlaufenden Zentrifugenkörper erzeugt. Es ergibt sich dabei als zufällige Besonderheit dieses Verfahrens, daß außer dem die Gastrennung verursachenden Einzeleffekt auch der für die Multiplikation dieses Effektes erforderliche Gasumlauf durch dasselbe Schwerefeld hervorgebracht werden kann (Thermokonvektion).

A multiplication method is given by means of which it is generally possible to multiply weak demixing effects occurring in gas mixtures (isotope mixtures), such as those observed, for example, under the influence of a gravitational field or a temperature gradient (single effects), to any desired extent and thus to complete a decomposition of a mixture which is only imperfect in the single effect to any desired extent. It is an essential part of the process that the mixture circulates in a certain way within the cavity in which it is enclosed.

Most of the present communication deals with the fundamentals of a gas separation process (Chapters I to III) in which the single effect (which is to be multiplied) is caused by a strong artificial gravitational field (Chapter I). The gravitational field is generated in a rapidly rotating centrifuge body. An incidental feature of this process is that, in addition to the single effect causing the gas separation, the gas circulation required for the multiplication of this effect can also be produced by the same gravitational field (thermoconvection).

Der Frage nach einer zweckmäßigen Erzeugung der Gaszirkulation kommt nur mittelbare Bedeutung zu. Von grundlegender Bedeutung sind demgegenüber die Vorgänge, die sich als Folge dieser Gaszirkulation ergeben. Ihre Verfolgung an Hand des mitgeteilten Zentrifugenverfahrens führt auf ein Multiplikationsprinzip, welches allgemeinerer Anwendung fähig ist. Die Wirkungsweise dieses Prinzips wird daher (im II. und III. Kapitel) besonders eingehend behandelt. Daneben werden auch speziellere Fragestellungen diskutiert, sofern diese einen wesentlichen Beitrag zur Lösung des Problems einer wirksamen Gas-trennung im Schwerfeld darstellen. Hierher gehört außer der schon erwähnten Frage nach der Hervorbringung der Gaszirkulation insbesondere die Diskussion des Einflusses spezieller (zylindersymmetrischer) Hohlraumformen, wie sie durch die Notwendigkeit der Unterbringung des Gasgemisches in einem rasch rotierenden Zentrifugenkörper nahegelegt werden.

Das Multiplikationsprinzip läßt sich auf zweierlei Weise realisieren, und zwar entweder dadurch, daß der Gesamthohlraum durch Zwischenwände, die geeignete Öffnungen für die Gaszirkulation tragen, in eine größere Anzahl von Einzelkammern unterteilt wird (II. Kapitel), oder dadurch, daß dem Hohlraum eine besonders langgestreckte Form erteilt wird (III. Kapitel). Für den Trennvorgang bei jeder dieser Methoden wird eine einfache, durch Übersichtlichkeit ausgezeichnete Theorie entwickelt, aus welcher sich eine Reihe von quantitativen Ergebnissen ableitet, die die Leistungsfähigkeit der Methode hinsichtlich Trenngüte und Mengenumsatz in Abhängigkeit von den Arbeitsbedingungen und Apparatdimensionierungen zu beurteilen gestatten. Die gemeinsamen und unterscheidenden Merkmale der beiden Methoden werden besprochen.

The question of the appropriate generation of gas circulation is only of indirect importance. In contrast, the processes that occur as a result of this gas circulation are of fundamental importance. Tracing them on the basis of the centrifuge process described leads to a multiplication principle which is capable of more general application. The mode of operation of this principle is therefore dealt with in particular detail (in Chapters II and III). In addition, more specific questions are also discussed, provided that they make a significant contribution to solving the problem of effective gas separation in the gravitational field. In addition to the aforementioned question of how gas circulation is brought about, this includes in particular the discussion of the influence of special (cylindrically symmetrical) cavity shapes, as suggested by the need to accommodate the gas mixture in a rapidly rotating centrifuge body.

The multiplication principle can be realized in two ways, either by subdividing the total cavity into a larger number of individual chambers by means of partitions with suitable openings for gas circulation (Chapter II), or by giving the cavity a particularly elongated shape (Chapter III). For the separation process in each of these methods, a simple theory is developed which is characterized by clarity and from which a series of quantitative results are derived which allow the efficiency of the method to be assessed in terms of separation quality and volume conversion as a function of the working conditions and apparatus dimensions. The common and distinguishing features of the two methods are discussed.

Zum Schlusse (IV. Kapitel) werden die gewonnenen Ergebnisse, soweit sie nicht ausdrücklich den besonderen Verhältnissen auf Zentrifugenkörpern Rechnung tragen, auf das CLUSIUSsche Gastrennverfahren, bei welchem der Einzeleffekt durch Thermodiffusion anstatt Gravitationsdiffusion hervorgerufen wird, übertragen. Im Anschluß an eine vergleichende Diskussion, als deren Ergebnis unter anderem namentlich der im Vergleich zum Zentrifugenverfahren äußerst geringe (theoretische) Nutzeffekt des thermischen Verfahrens zu nennen ist, wird an Hand einer Reihe von in Frage kommenden Maßnahmen eingehend untersucht, ob sich der Nutzeffekt des Thermodiffusionsverfahrens unter Umständen erhöhen läßt. Eine solche Möglichkeit besteht grundsätzlich nicht.

Die verschiedenen zum Zwecke der Trennung von Gasgemischen möglichen Kombinationen eines Schwerefeldes mit einem Temperaturgefälle werden diskutiert.

Finally (Chapter IV), the results obtained are transferred to the CLUSIUS gas separation process, in which the individual effect is caused by thermal diffusion instead of gravitational diffusion, insofar as they do not expressly take into account the special conditions on centrifuge bodies. Following a comparative discussion, one of the results of which is the extremely low (theoretical) efficiency of the thermal process compared to the centrifuge process, a series of possible measures are used to examine in detail whether the efficiency of the thermal diffusion process can be increased under certain circumstances. In principle, there is no such possibility.

The various possible combinations of a gravity field with a temperature gradient for the purpose of separating gas mixtures are discussed.

Werner Kuhn and Hans Martin. 1941. Temperaturabhängigkeit der Adsorbierbarkeit als Mittel zur laufenden Fraktionierung oder Konzentrierung von Lösungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie A* 189:317–326. See p. 3544.

In Verallgemeinerung eines bisher in Spezialfällen angewandten Prinzips wird gezeigt: wenn sich in einem homogenen oder heterogenen System unter bestimmten, stationär aufrecht erhaltbaren Bedingungen (Kraftfelder, Temperaturgradienten usw.) ein Zustand herausbildet, bei welchem an den im Abstand $a/2$ (Abb. 1) befindlichen Punkten P_1 und P_2 ein Unterschied $(1 + \delta)$ in der relativen Konzentration eines in dem System vorhandenen Bestandteiles auftritt, so läßt sich der zunächst vorhandene Unterschied durch eine in dem System hervorgerufene und aufrecht gehaltene Bewegung in grundsätzlich beliebigem Maße steigern. Die anzuwendenden Geschwindigkeiten lassen sich in Abhängigkeit von den gewählten Dimensionierungen des Systems sowie in Abhängigkeit von dem im System maßgebenden Diffusionskoeffizienten angeben.

Als Beispiel wird besprochen die Racemattrennung, durchgeführt auf Grund davon, daß der Temperaturkoeffizient der Adsorbierbarkeit der *d*-Form eines aktiven gelösten Stoffes sich von Temperaturkoeffizienten der *l*-Form unterscheidet, falls als Adsorptionsmittel ein optisch aktiver fester Stoff gewählt wird.

Es werden ein Apparat und Versuche beschrieben, bei welchen eine teilweise Spaltung racemischer Mandelsäure unter Verwendung von Wolle als Adsorptionsmittel durchgeführt wird.

Generalizing a principle previously applied in special cases, the following is shown: if a state develops in a homogeneous or heterogeneous system under certain conditions (force fields, temperature gradients, etc.) that can be maintained in a stationary state, in which a difference $(1 + \delta)$ in the relative concentration of a component present in the system occurs at the points P_1 and P_2 located at $a/2$ (Fig. 1), the initially existing difference can be increased to any extent by a movement caused and maintained in the system. The velocities to be applied can be specified as a function of the selected dimensions of the system and as a function of the decisive diffusion coefficient in the system.

As an example, racemate separation is discussed, carried out on the basis that the temperature coefficient of adsorbability of the *d*-form of an active solute differs from temperature coefficients of the *l*-form if an optically active solid is chosen as adsorbent.

An apparatus and experiments are described in which partial cleavage of racemic mandelic acid is carried out using wool as the adsorbent.

Erteilt auf Grund des Ersten Überleitungsgesetzes vom 8. Juli 1949

(VfGBL S. 175)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

AUSGEGEBEN AM
11. MARZ 1954DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr. 906 094

KLASSE 12a GRUPPE 30c

M 4147 IV b 12c

Dr. Werner Kuhn, Basel (Schweiz) und Dr. Hans Martin, Kiel
sind als Erfinder genannt worden

Dr. Hans Martin, Kiel

Vorrichtung und Verfahren zur Trennung von Gasgemischen
durch Anwendung von künstlich erzeugten Schwerfeldern

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 12. Juli 1938 an

Der Zeitraum vom 8. Mai 1945 bis einschließlich 7. Mai 1950 wird auf die Patentdauer nicht angerechnet

(Ges. v. 15. 7. 51)

Patentanmeldung bekanntgemacht am 12. März 1953

Patenterteilung bekanntgemacht am 26. Januar 1954

Es ist bekannt, daß man eine teilweise Trennung von Gas- oder Dampfgemischen, welche sich aus verschiedenen schweren Bestandteilen zusammensetzen, dadurch erreichen kann, daß man das Gasgemisch in einen Hohlkörper bringt und denselben mit hoher Umlaufzahl um eine Achse rotieren läßt. Durch das bei der hohen Umlaufzahl auftretende Schwerfeld wird eine Anreicherung der schweren Bestandteile in den peripheren Teilen, eine verhältnismäßige Anreicherung der leichteren Bestandteile in den der Achse benachbarten Teilen des Hohlkörpers hervorgerufen. Es ist insbesondere bekannt, daß eine solche Trennung nur in recht geringen Ausmaßen erfolgt und daß sie nur dann merkliche Beträge annimmt, wenn das Molekulargewicht

der in dem Gemische vorliegenden Bestandteile große Unterschiede aufweist.

Um auch bei kleinen Unterschieden im Molekulargewicht, wie sie z. B. bei Luft oder bei Isotopengemischen vorliegen, eine weitgehende Trennung herbeizuführen, ist es notwendig, die bei der Zentrifugierung anfallenden Gasfraktionen wiederholt zu zentrifugieren. Es ist dabei nacheinander, anstatt einer einzigen Reihe von Zentrifugen vorzuziehen und diese durch Rohrleitungen derart zu verbinden, daß die zweite Zentrifuge mit der in der ersten anfallenden schweren Fraktion gespeist wird, die dritte Zentrifuge mit der in der zweiten anfallenden noch schwereren Fraktion usw. Auf diese Weise können Fraktionen er-

führt allmählich zu einer Anreicherung des Sauerstoffs in V und einer entsprechenden Verarmung an Sauerstoff in I. Es zeigt sich, daß sich dieser Prozeß so lange fortsetzt, bis im Innenbereich des Hohlkörpers I Luft mit 15% im Außenbereich des Hohlkörpers V Luft mit 25% Sauerstoff vorhanden ist. An den übrigen Stellen des Hohlkörpersystems treten Zwischenfraktionen auf, deren Sauerstoffgehalt zwischen 15 und 25% schwankt.

Dieser Endzustand, der auch bei beliebig langer Fortsetzung des Kreislaufs unverändert bleibt, ist in Fig. 1 für den allgemeinen Fall, daß pro Hohlkörper eine Verschiebung des Prozentgehalts an schwerem Bestandteil um ± 4 Einheiten erzielt wird, durch Eintragung der Zahlen $-5,6, -3,8, -2,0$ usw. gekennzeichnet. In dem betrachteten Beispiel ist also $\delta = 1$, und man liest dann aus Fig. 1 ab, daß beispielsweise in IV an der Außen- und Innenbegrenzung dieses Hohlkörpers im Endzustand Zwischenfraktionen mit $20 + 3 = 23\%$ bzw. $20 + 1 = 21\%$ Sauerstoffgehalt auftreten. Die in den endständigen Hohlkörpern I und V auftretenden schwersten und leichtesten Fraktionen (mit $20 + 5 = 25$ und $20 - 5 = 15\%$ Sauerstoffgehalt) liegen, wie man ebenfalls sofort an der Figur abliest, im Prozentgehalt fünfmal weiter auseinander als die Fraktionen, die man durch Anwendung eines einzigen Hohlkörpers herstellen kann. Der durch einmalige Zentrifugierung erzielbare Trennungsgrad wird also in der beschriebenen Vorrichtung um einen Faktor, der gleich der Anzahl der Hohlräume ist, vervielfacht.

Falls die schwerste und leichteste Gasfraktion laufend während des Betriebes entnommen werden soll, muß an den endständigen Hohlkörpern je eine Ableitung angebracht werden, die es gestattet, die betreffende Fraktion nach einem ruhenden Behälter abzuleiten. In diesem Falle ist es dann zweckmäßig, an einem der Hohlkörper außerdem eine Zuleitung vorzusehen, damit die in dem Hohlkörpersystem befindliche Gasmenge laufend durch frisches, ungetrenntes Gasgemisch von außen ergänzt werden kann. Bei dieser voll kontinuierlichen Arbeitsweise überlagert sich der bereits beschriebenen Kreislaufströmung eine weitere Strömung, deren relativer Anteil mit dem Gasdurchsatz, d. h. mit der Gasmenge, die dem System laufend in der Minute ungetrennt zugeführt und getrennt wieder entnommen wird, anwächst. Der Durchsatz darf (ähnlich wie die Zirkulationsgeschwindigkeit) nicht beliebig gesteigert werden, da sonst die erzielbaren Entmischungsgrade hinter den oben angegebenen zurückbleiben.

Es zeigt sich, daß bei dem betrachteten Beispiel (Zirkulationsgeschwindigkeit 1 l/min) der Durchsatz auf etwa $\frac{1}{2}$ l/min gesteigert werden darf. Wenn also (etwa dem mittleren Hohlkörper III) pro Minute $\frac{1}{2}$ l 20%ige Luft zugeführt wird, so kann aus den Hohlkörpern I und V je $\frac{1}{4}$ l Luft von 15 bzw. 25% Sauerstoffgehalt pro Minute entnommen werden, d. h. die Vorrichtung gestattet es, in 1 Minute $\frac{1}{4}$ l 20%ige Luft in $\frac{1}{4}$ l 15%ige und $\frac{1}{4}$ l 25%ige Luft zu verwandeln.

Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem eingangs angeführten Verfahren bei welchem bei gleicher Anzahl und Dimensionierung der Hohlkörper und bei

gleicher Umlaufzahl in 1 Minute aus 1 l 20%iger Luft neben zahlreichen gesondert aufzubereitenden Zwischenfraktionen nur $\frac{1}{4}$ l 25%ige Luft gewonnen wird, so erkennt man sofort, daß das hier mitgeteilte Verfahren unvergleichlich vorteilhafter arbeitet: Es arbeitet mit einem Minimum an Ausgangsmaterial und liefert in einem Arbeitsgang sofort die stärksten angereicherten bzw. verarmten Fraktionen, ohne es notwendig wäre, Zwischenfraktionen zu entnehmen. Die genannten Vorteile wirken sich um so stärker aus, je zahlreicher die Hohlräume sind, die für die Erzielung eines bestimmten Trennungsgrades in Anwendung genommen werden müssen.

Mit der bisherigen Beschreibung an Hand der Vorrichtung Fig. 1 und des Zahlenbeispiels ist das Hauptkennzeichen des mitzuteilenden Trennverfahrens, nämlich der Kreislauf des Gemisches im Inneren des Hohlkörpersystems, in den wesentlichen Zügen erläutert. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Gemisch dabei im Kreislauf zu halten ist, damit tatsächlich jeweils die günstigste Trennwirkung erzielt wird, wird von Fall zu Fall recht verschieden sein. Das ruht namentlich darauf, daß die durch das Schwerfeld verursachte teilweise Entmischung im Einzelhohlkörper, die zu der Anreicherung des schweren bzw. leichten Gasbestandteils in den äußeren bzw. zentralen Hohlraumbezirken führt, durch Diffusion erfolgt; der Ablauf dieses Diffusionsvorganges erfordert aber einen gewissen Zeitaufwand, dessen Größe von den Abmessungen des Hohlkörpers und von der Diffusionsgeschwindigkeit, also von der speziellen Natur des Gasgemisches und von dessen Druck abhängig ist. Die Zeitdauer des Diffusionsvorganges und die Größe der Hohlkörper bestimmen die zulässige Zirkulationsgeschwindigkeit. Diese wird zweckmäßig so gewählt, daß die Verweilzeit des Gemisches in einem Hohlkörper gerade noch für den Ablauf des Diffusionsvorganges in diesem Hohlkörper ausreichend ist. Wird mit höherer Zirkulationsgeschwindigkeit gearbeitet, so werden die einzelnen Fraktionen zu rasch aus dem Hohlkörper ausgespült, was zur Folge hat, daß die Trennwirkung des einzelnen Hohlkörpers hinter der maximal möglichen Wirkung (Größe δ in Fig. 1) zurückbleibt.

Entsprechend der unterschiedlichen Zirkulationsgeschwindigkeit ist auch der erzielbare Durchsatz durch das Hohlkörpersystem, d. h. die bei kontinuierlicher Arbeitsweise pro Minute in stark angereicherte Fraktionen zerlegbare Gasmenge von Fall zu Fall recht verschieden. Wie das Zahlenbeispiel zeigte, macht der Durchsatz einen bestimmten Bruchteil der Zirkulationsgeschwindigkeit aus, der nacheinander, anstatt gleich der reziproken Anzahl der vorgesehenen Hohlkörper ist. Bei einer gegebenen Vorrichtung kann daher der Durchsatz durch Erhöhung der Zirkulationsgeschwindigkeit erhöht werden. Wird dabei jedoch die vorhin gekennzeichnete Normalschwindigkeit der Zirkulation überschritten, so kann die so erzielbare Umsatzsteigerung, wie gesagt, nur auf Kosten der Trenngüte erkauft werden.

Im Gegensatz zu den vorhin genannten Diffusionsvorgängen im Schwerfeld sind die Diffusionsvorgänge, die durch die verschiedene Zusammensetzung der Gasgemische an den Enden der Hohlkörper verbinden-

halten werden, in welchen der schwere Bestandteil stark angereichert ist. In entsprechender Weise kann selbstverständlich auch der leichte Bestandteil stark angereichert werden, wenn anstatt der schweren immer die leichte Fraktion in die nächstfolgende Zentrifuge übergeleitet wird.

Indessen ist die Ausbeute, die auf solche Weise erzielt wird, recht gering, wie es folgen aus dem Zahlenbeispiel zeigt. Es handelt sich darum, den Sauerstoffgehalt der Luft von 20 auf 25% zu erhöhen. Da bei einmaliger Zentrifugierung (wegen der begrenzten Festigkeit des Materials, aus welchem der rotierende Hohlkörper gefertigt ist) nur Fraktionen erhalten werden können, die im Prozentgehalt um rund zwei Einheiten auseinanderliegen, muß fünfmal hintereinander zentrifugiert werden. Zu diesem Zwecke seien also fünf Zentrifugen vorgesehen. In der ersten Zentrifuge wird die zugeführte Luft hälftig in zwei Fraktionen mit 19 und 21% Sauerstoff zerlegt. Die 21%ige Luft wird in die zweite Zentrifuge geleitet, wo wiederum eine hälftige Zerlegung in Fraktionen mit 20 und 22% Sauerstoff stattfindet usw. Die fünfte Zentrifuge liefert schließlich Luft mit 23 und 25% Sauerstoff. Bei jeder Zentrifugierung geht die Hälfte der jeweils zugeführten Luftfraktionen verlore. Wenn die in der ersten Zentrifuge verarbeitbare Luftmenge beispielsweise gleich 1 l/min ist, so kann dieser Zentrifuge (an 21%iger Luft) nur $\frac{1}{2}$ l/min, der zweiten Zentrifuge nur $\frac{1}{4}$ l/min (an 22%iger Luft), der fünften Zentrifuge schließlich nur noch $\frac{1}{16}$ l/min (an 25%iger Luft) entnommen werden. Der weitaus größte Teil der anfänglich zugeführten Luft wird also in mehr oder weniger wertlose Zwischenfraktionen verwandelt, die entweder verworfen oder in einem umständlichen Verfahren gesondert aufgearbeitet werden müssen.

Im vorliegenden wird nun ein Verfahren mitgeteilt, bei welchem durch eine besondere Art der Führung der Fraktionen bei gleichem Aufwand an rotierenden Hohlkörpern eine erhöhte Ausbeute an hochangereicherten Fraktionen erzielt wird. Das Prinzip wird nachfolgend durch ein Beispiel an Hand von Fig. 1 erläutert. In diesem Beispiel sind wie in dem soeben besprochenen Zahlenbeispiel wiederum fünf Hohlkörper vorgesehen, die mit I bis V bezeichnet sind. Einen jeden dieser Hohlkörper entspricht eine Zentrifuge in dem vorigen Zahlenbeispiel. Da die Hohlkörper in dem jetzt betrachteten Beispiel zu einer Einheit zusammengefaßt, d. h. anstatt auf getrennten Achsen auf ein und dasselbe Drehachse o gelagert sind, ist, wie im voraus bemerkt sei, bedeutsam. Wesentlich ist die Art der Beschreibung der Gasfraktionen, die nun im folgenden beschrieben werden soll.

Wie Fig. 1 erkennen läßt, ist jeder Hohlkörper mit dem jeweils benachbarten bzw. mit den beiden benachbarten Hohlkörpern durch zwei Leitungen verbunden. So sind die Hohlkörper I und II durch die Leitungen s_1 einerseits, i_1, h_1, w_1, h_2 andererseits verbunden; die Hohlkörper II und III sind durch die beiden Leitungen s_2 und i_2, h_2, w_2, h_3 verbunden usw. Die in den einzelnen Hohlkörpern am Außenrand anfallenden schweren Gasfraktionen; die Ausgangspunkte dieser Leitungen sind demgemäß in der aus der Figur ersicht-

lichen Leitungen in diesen Leitungen ausgelöst und unter Umständen, nämlich bei besonders weiten und kurzen Rohrverbindungen, im Sinne eines Rückschlages der bereits erzielten Anreicherungsgrade wirksam werden können, selbstverständlich unerwünscht. Aus diesem Grunde wird die Dimensionierung der Leitungen zweckmäßigerweise so gewählt, daß in den Leitungen der Gastransport infolge Strömung den Transport infolge Diffusion stark überwiegt und auf diese Weise eine Rückdiffusion durch die Leitungen hindurch praktisch ausgeschlossen ist.

Andererseits ist es selbstverständlich notwendig, durch geeignete Anordnung oder Form der Ein- und Ausmündungsöffnungen der Leitungen dafür zu sorgen, daß das in einem Hohlkörper einströmende Gas nicht Gelegenheit hat, diesen sofort durch eine unmittelbare benachbarte Öffnung wieder zu verlassen, ohne zuvor an dem Trennprozeß im Hohlkörper teilgenommen zu haben. In anderen Worten: Es muß dafür gesorgt sein, daß in den Hohlräumen keine toten Winkel auftreten, die von den in die Hohlkörper durchströmenden Gaströmen überhaupt nicht erfaßt werden. Im Falle des Beispiels Fig. 1, bei welchem besonders der Hohlkörper vorgesehen sind, ist dem besagten Punkte in der Weise Rechnung getragen, daß die Einmündungen und Ausmündungen jeweils um 180° auf den Umfang versetzt eingebracht sind (vgl. z. B. Einmündung i_2 und Ausmündung h_2). Falls die Hohlkörper sehr hoch (lang) oder mehrere Öffnungen auf den ganzen Umfang verteilt sind, ist diese Versetzung auf dem Umfang natürlich nicht nötig.

Das Verfahren ist im übrigen, wie im folgenden gezeigt werden soll, der verschiedensten Abwandlungen fähig.

Es wurde bereits erwähnt, daß die Hohlkörper anstatt wie in Fig. 1 zu einer Einheit zusammengefaßt auch selbständig ausgebildet, d. h. auf getrennten Lagern gelagert werden können. In solchem Falle sind dann die verschiedenen Leitungen, die für die beschriebene Überleitung der in den einzelnen Hohlkörper anfallenden Fraktionen bestimmt sind, passend, z. B. in den Zentrifugachsen zu verlegen und durch gasdichte Durchführungen miteinander in Verbindung zu bringen. Hierbei ist dann die Möglichkeit gegeben, die einzelnen Hohlkörper mit unterschiedlichen Umlaufzahlen laufen zu lassen, was z. B. bei unterschiedlichen Außenabmessungen der Hohlkörper von Interesse sein kann. Ob dabei die Drehachse für alle Hohlkörper gemeinsam ist oder nicht, ist für die erzielbare Wirkung selbstverständlich belanglos.

Die für die Förderung des Gases in den einzelnen Hohlkörper verbindenden Leitungen erforderlichen Förderleistungen können ebenfalls sehr verschieden sein. In dem Falle, daß die Hohlkörper einzeln gelagert sind und die Leitungen daher streckenweise außerhalb des rotierenden Systems geführt sind, kann die Gasförderung durch beliebige der bekannten Pump- oder Ventilationsvorrichtungen (Kreislaumpumpen), die in die nicht rotierenden Leitungsabschnitte einzubauen sind, bewerkstelligt werden. In dem Falle, daß die Hohlkörper wie in Fig. 1 ein starres Gaskes bilden und die einzelnen Leitungen nicht nach außen geführt sind, ist es selbstverständlich notwendig, die Fördervorrich-

lichen Weise möglichst weit von der Drehachse entfernt, d. h. auf möglichst großem Radius angeordnet. Die Leitungen $i_1, h_1, w_1, h_2, i_2, h_2, w_2, h_3$ usw. andererseits dienen in entsprechender Weise der Ableitung der in den der Drehachse benachbarten Bezirken der einzelnen Hohlkörper anfallenden leichten Fraktionen; die Ausgangspunkte h_1, h_2, h_3 usw. dieser Leitungen sind demgemäß auf einem möglichst kleinen Radius angeordnet.

Für die Erläuterung der Wirkungsweise der Vorrichtung ist es belanglos, daß die inneren Rohrverbindungen i_1, h_1, w_1, h_2 usw., wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, gegenüber den äußeren s_1, s_2 usw., besonders lang und schleifenförmig gebogen sind. Diese Rohrleitungen stellen nämlich, wie an späterer Stelle erläutert wird, lediglich eine besondere Art einer Fördervorrichtung dar. Die Förderleistung bewirkt, daß das in den Hohlkörpern I bis V befindliche Gasgemisch in der durch Pfeile angedeuteten Weise in Zirkulation gehalten wird.

Die Zirkulation selbst ist wie folgt gekennzeichnet: Das Gemisch strömt aus dem Randbezirk des Hohlkörpers I durch Leitung s_1 in den Hohlkörper II über, aus dem Randbezirk des Hohlkörpers durch s_2 in den Hohlkörper III usw., bis es in den Hohlkörper V gelangt, in welchem es in Richtung auf die Drehachse strömt. Es gelangt dann durch die Leitung h_5, w_5, i_5 wieder in den Hohlkörper IV zurück, aus dem der Drehachse benachbarten Bezirk dieses Hohlkörpers strömt es weiter durch die Leitung h_4, w_4, i_4 nach Hohlkörper III usw., bis es schließlich durch die Leitung i_4 wieder in den Hohlkörper I zurückgelangt, in welchem es nach außen strömt und das in den Hohlkörpern I bis V befindliche Gasgemisch in der durch Pfeile angedeuteten Weise in Zirkulation gehalten wird.

Der soeben beschriebene Kreislauf des Gasgemisches hat zur Folge, daß in den endständigen Hohlkörpern I und V absaß Gasfraktionen auftreten, die in der prozentischen Zusammensetzung stark verschieden sind. Welche Trennungsgrade auf solche Weise erreichbar sind, soll nunmehr durch ein Zahlenbeispiel gezeigt werden.

Es sei wiederum der Fall betrachtet, daß Luft mit 20% Sauerstoffgehalt zentrifugiert werden soll. Die Umlaufzahl der Zentrifuge sowie die geometrischen Abmessungen der einzelnen Hohlkörper I, II, ... seien dieselben wie bei dem eingangs betrachteten Zahlenbeispiel, und zwar Umlaufzahl 3500 U/min, Höhe des Hohlraums 7 cm, größter Radius 10 cm, kleinster Radius 3 cm, Rauminhalt des Hohlkörpers also etwa 2 l. Entsprechend dem früher angewandten Durchsatz von 1 l/min durch den ersten Hohlkörper wird jetzt mit einer Zirkulationsgeschwindigkeit von 1 l/min gearbeitet (bei höherer Strömungsgeschwindigkeit würde die Trennwirkung des einzelnen Hohlkörpers durch die Strömung gestört, d. h. herabgesetzt werden).

Der Trennprozeß beginnt damit, daß in allen Hohlkörpern in den äußeren Bezirken Fraktionen mit 21% in den zentralen Bezirken Fraktionen mit 19% Sauerstoff auftreten. Durch den Durchsatz werden die sauerstoffreichen Fraktionen fortlaufend nach Hohlkörper V, die sauerstoffarmen nach Hohlkörper I geschafft. Dies

ist ein Teil der bekannten Förderleistungen, und zwar namentlich diejenigen, die durch Drehen der Antriebswelle in Betrieb zu setzen sind, durchaus geeignet. Wenn dabei die betreffenden Förderleistungen so angeordnet werden, daß deren Antriebswellen in die Drehachse der Zentrifuge zu liegen kommen, so kann das Drehen der Antriebswelle (relativ zum Zentrifugenkörper) dadurch bewerkstelligt werden, daß auf diese Antriebswellen von außen her, z. B. auf mechanischem oder magnetischem Wege, eine Drehbewegung ausgeübt wird; ein besonderer Antriebs für die Förderleistung auf dem Zentrifugenkörper ist dann nicht erforderlich.

In besonders einfacher Weise läßt sich jedoch der erforderliche Gaskreislauf, wie an Hand des Beispiels Fig. 1 erläutert werden soll, durch eine so genannte Siphonwirkung hervorbringen. Diese wird dadurch hervorgerufen, daß eine zwei Hohlkörper, z. B. I und II, verbindende Leitung i_1, h_1, w_1, h_2 in einem Abschnitt h_1 , in welchem das Gas in zentrifugaler Richtung befördert werden soll, auf relativ tieferer Temperatur, in einem Abschnitt w_1 , in welchem das Gas in zentrifugaler Richtung befördert werden soll, auf relativ höherer Temperatur gehalten wird. Zu diesem Zwecke sind bei dem Zentrifugenkörper Fig. 1 zwei bzw. zwei mal zwei thermisch voneinander abgekottete Temperaturschilde R und W (Kupferelektroden, Flüssigkeitsbehälter od. dgl.) vorgesehen, in welche die Leitungen in der aus der Figur ersichtlichen Weise eingeleitet sind und deren eine, W, durch eine beispielsweise elektrische Heizung bei einer etwas erhöhten Temperatur gehalten wird. Eine solche Vorrichtung wirkt, wenn der Zentrifugenkörper um die Achse O rotiert, als Thermopumpe, die das Gas in der durch Pfeile angedeuteten Richtung in Bewegung setzt. Die Förderleistung kommt dabei dadurch zustande, daß das Gas in dem wärmeren Leitungsabschnitt, z. B. w_1 , eine geringere Dichte annimmt als in dem damit kommunizierenden kälteren Leitungsabschnitt h_1 , was dann weiter zur Folge hat, daß das Gas unter der Wirkung der starken Zentrifugalkräfte einen kräftigen Antriebs in der angegebenen Richtung erfährt. Die Größe der Antriebskraft läßt sich in bekannter Weise ermitteln und damit auch, wenn die Abmessungen der Leitungen gegeben sind, die Fördergeschwindigkeit.

Fig. 1 läßt erkennen, daß die Einschaltung von Förderleistungen allein in diejenigen Leitungen, die für die Überleitung des Gasgemisches von Hohlkörper zu Hohlkörper in der Richtung einer abnehmenden Hohlkörpernummerierung vorgesehen sind, bereits ausreichend ist, um auch den (zur Vollendung des früher beschriebenen Kreislaufs) erforderlichen Gastransport in der Richtung einer ansteigenden Hohlkörpernummerierung hervorzuheben. Das ruht daher, daß die Förderleistungen, die gemäß Fig. 1 eingeschaltet sind, von Hohlkörper V bis Hohlkörper I stufenweise ansteigende Gasdrücke hervorruft, unter deren Wirkung das Gas dann von selbst durch die Leitungen s_1, s_2, \dots von Hohlkörper I nach II, von II nach III usw. wieder zurückströmt. In den Leitungen s_1 bis s_5 sind daher besondere Förderleistungen entbehrlich. Diese Vereinfachungsmöglichkeit ist in gleicher Weise

Figure D.143: Patent on gas centrifuges filed by Werner Kuhn and Hans Martin in 1938 [German Patent DE 906,094].

auch bei anderen Fördervorrichtungen sowie bei ge-
treuer Lagerung der Hohlkörper gegeben.

Da bei Anwendung des Thermoprinzipts gemäß
Fig. 1 der kälteren Temperaturbad K erstens infolge
des nicht ganz zu verändernden Wärmezustands
seitens des wärmeren Temperaturbades W und zweitens
infolge der bei der bekanntlich unter Kompression
erfolgenden Radialströmung des zirkulierenden Gases
in den Leitungsabschnitten R_1, R_2, \dots frei werdenden
Kompressionswärme während des Betriebes der Zentrifuge
dauernd Wärme zugeführt wird, ist es, um die
Temperatur des Kältebades K auf gleichbleibender
Höhe zu halten, notwendig, bei K für eine erhöhte
Wärmeabgabe nach außen zu sorgen. Es wurde ge-
funden, daß dies außer durch die hierfür üblichen
Mittel, wie Anwendung einer Kälteflüssigkeit oder
Oberflächenvergrößerung gegenüber der Vorrichtung
umgebenden Gasatmosphäre, in besond. einfacher
und wirksamer Weise dadurch zu erreichen ist,
daß in das Kältebad K Kanäle eingelegt werden,
wie es schematisch in Fig. 2 dargestellt ist. In einem
solchen Kanal r_1, r_2 dessen Mündungen m_1 und m_2
auf ungleichen Radien liegen, wird bei einer hohen
Umlaufzahl der Vorrichtung infolge der Verschiebung
der Schwerkraft, die auf das in den Kanal-
abschnitten r_1 bzw. r_2 befindliche Gas wirken, eine
Strömung in dem Sinne erzeugt, daß Gas durch m_2
aus der Gasatmosphäre von außen angesaugt und
durch m_1 wieder ausgeschleudert wird. Bei der in
Kanalteil r_2 zentripetal gerichteten Strömung ereignet
sich das bekannte eine Expansion, welche zu einer
Abkühlung des Gases in r_2 oder aber zu einer Abgabe
von Wärme aus dem Temperaturbad an das in r_1 ent-
haltene Gas führt. Das letztere ist dann der Fall, wenn
der Wärmekontakt zwischen Bad und Gas in diesem
Teil des Kanals gut ist. In entsprechender Weise
erfolgt in r_2 eine Kompression und damit eine Er-
wärmung des dort in zentrifugaler Richtung strömen-
den Gases. Dadurch, daß der Wärmeaustausch zwi-
schen Bad K und dem in r_1 strömenden Gas z. B.
durch Anwendung von thermisch isolierenden Kanal-
wänden niedrig gehalten wird, kann eine Abführung
dieser Kompressionswärme an das Bad vermeiden
werden. Es strömt in diesem Falle bei m_1 ein
erwärmtes Gas ab, so daß aus dem Bad K eine
entsprechende Wärmemenge dauernd abgeführt
wird.

Wenn bei der Vorrichtung Fig. 2 anstatt im Kanal-
teil r_2 im Kanalteil r_1 ein Wärmeaustausch zwischen
Gas und Temperaturbad verhindert wird, so erkennt
man, daß anstatt einer Kühlung auf eine Heiz-
wirkung an dem betreffenden Bad erzielt werden kann.
Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Wärme, die
dem Wärmebad W (Fig. 1) dauernd zugeführt werden
muß, um dessen erhöhte Temperatur zu erhalten,
anstatt auf elektrischem auch auf diesem Wege zuzu-
führen.

Es zeigt sich, daß der Erfolg des beschriebenen
Trennverfahrens bereits durch kleine, zwischen den
einzelnen Hohlkörpern oder innerhalb derselben vor-
handenen Temperaturunterschiede in Frage gestellt
werden kann. Solche zeitliche oder örtliche Tempera-
turschwankungen können nämlich zusätzliche Gas-
strömungen verursachen, durch die die beabsichtigten
in störender Weise verändert werden, oder es kann zu
Turbulenz im Innern eines Hohlkörpers und damit zu
einer Vermischung der verschiedenen Gasfraktionen
kommen. Beides wirkt sich natürlich störend auf den
Trennvorgang aus.

Zur Vermeidung solcher Temperaturabweichungen
ist es, wenn die Hohlkörper wie bei der Vorrichtung
Fig. 1 sich unmittelbar berühren, zweckmäßig, einer-
seits für guten Wärmekontakt zwischen den einzelnen
Hohlkörpern, andererseits für gute thermische Iso-
lation des Systems gegenüber der Umgebung zu sorgen.
Die Isolierung gegen die Umgebung kann in wirksamer
Weise durch Umhüllung des rotierenden Systems
mit einem mitrotierenden Mantel erzielt werden.
Eine entsprechende Anordnung ist aus Fig. 1
ersichtlich. Der Mantel M steht mit dem System nur
an zwei nahe der Drehachse gelegenen Stellen in gutem
Wärmekontakt. Die beiden Berührungstellen werden
zweckmäßig mit den beiden benachbarten Tempera-
turbädern K in guten Wärmekontakt gebracht und
durch diese auf übereinstimmender Temperatur ge-
halten. Um die Übereinstimmung der Temperatur
auch bei ständiger von außen kommenden thermischen
Störungen zu erzwingen, ist es unter Umständen
günstig, in den Bädern K zusätzlich eine automatisch
gesteuerte elektrische Heizung vorzusehen, durch
welche die Temperatur auf einer bestimmten Höhe
gehalten wird. Zur Verbesserung der thermischen
Isolation zwischen dem Mantel und den Hohlkörpern
ist es zweckmäßig, den Zwischenraum vollständig
luftleer zu machen.

Im Falle einer räumlich getrennten Anordnung der
einzelnen Hohlkörper würden diese in ähnlicher Weise
einzelnd durch entsprechende Mittel zu schützen sein.
Ein anderes Verfahren zur Herabminderung der be-
sagten thermischen Störungen, durch welches gleich-
zeitig der Energieaufwand für den Antrieb der Zentrifuge
stark ermäßigt wird, besteht darin, daß das
rotierende System, gegebenenfalls einschließlich des
Antriebs, in einem ruhenden Behälter gesetzt wird, der
mit Gas unter stark vermindertem Druck gefüllt oder
vollständig gasleer gepumpt ist. Dabei kann bei ge-
treuer Anordnung der Hohlkörper selbstverständlich
auch für jeden Hohlkörper ein eigener Vakuumbehälter
vorgesehen sein. Bei nicht vollständiger Evakuierung
der Behälter ist es zweckmäßig, als Füllgas ein Gas mit
kleinem Molekulargewicht und großer Wärmeleit-
fähigkeit zu verwenden.

Außer den von außen kommenden Störungen sind
thermische Störungen dadurch zu erwarten, daß das in
dem Hohlkörpersystem zirkulierende Gasgemisch in
den endständigen Hohlkörpern (vgl. Hohlkörper I
und V in Fig. 1) in radialer Richtung befördert wird
und daher wegen der dabei stattfindenden Kompression
bzw. Expansion Wärme an die Hohlkörperwände
abgibt bzw. aus diesen aufnimmt. Dies führt zu einer
Erwärmung bzw. Abkühlung einzelner Wände, was
Störungen der genannten Art zur Folge haben kann.
Um diesen zu begegnen, kann etwa dem Hohlkörper I
in Fig. 1 die in Fig. 3 angedeutete Beschaffenheit ge-
geben werden. Danach wird das Gas aus der Rohr-
leitung r_1 an der der Drehachse benachbarten Stelle e_1
zugeführt, an der im selben Abstand von der Achse
benachbarten Stelle e_2 entnommen, so daß in diesem
Teil des Hohlkörpers I insgesamt kein radial gerichteter
Gasstrom und damit auch keinerlei thermischer
Effekt auftritt. Von e_3 wird das Gas durch die kurze
Rohrleitung b in einen zweiten Teil des Hohlkörpers I
hintergeleitet, in welches es dann zwischen den
beiden planparallel angeordneten Scheiben G_1, G_2 nach
dem Rande des Hohlkörpers strömt. Die Scheiben G_1, G_2
sind aus gut wärmeleitendem Material hergestellt
und stehen mit der ebenfalls gut wärmeleitenden Achse
des Zentrifugalkörpers in gutem Wärmekontakt.
Dadurch wird erreicht, daß die bei der Strömung des
Gases zwischen den Scheiben frei werdende Kom-
pressionswärme nach der Achse abgeleitet und damit
unschädlich gemacht wird. Entsprechendes mit um-
gekehrter Strömungsrichtung und Wärmewirkung
für Hohlkörper V in Fig. 1.

Es hat sich ferner gezeigt, daß die mit den zentri-
fugal und zentripetal gerichteten Gasströmungen ver-
bundenen thermischen Effekte auch in der Weise
unschädlich gemacht werden können, daß ein Hohl-
körper, in welchem die eine Strömungsrichtung auf-
tritt, in unmittelbarer Nähe eines Hohlkörpers, in
welchem die entgegengesetzte Strömungsrichtung auf-
tritt, in solcher Weise angeordnet wird, daß eine mög-
lichst große Trennungswand entsteht, die dem Wärme-
übergang aus dem zentrifugal strömenden in das
zentripetal strömende Gas keinen nennenswerten
Widerstand entgegensetzt. Die Wandoberfläche kann
dabei in der üblichen Weise z. B. dadurch vergrößert
werden, daß auf der Trennungswand Rippen od. dgl.
angebracht werden.

In der bisherigen Beschreibung des Verfahrens
wurde angenommen, daß die in den endständigen
Fraktionen auftretenden schwersten und leichtesten
Fraktionen kontinuierlich während des Betriebes nach
außen abgeleitet werden, während gleichzeitig an
einer mittleren Stelle des Hohlkörpersystems un-
getrenntes Gasgemisch mit derselben Geschwindigkeit
von außen zugeführt wird. Von dieser Arbeitsweise kann,
wie im folgenden gezeigt werden soll, je nach den be-
sonderen Bedürfnissen mehr oder weniger stark ab-
gewichen werden.

Soll beispielsweise die Zuleitung des Frischgases
von außen her vermieden werden, so kann das Hohlkörpersystem
aus einem durch eine Leitung ange-
schlossenen, mitrotierenden kleineren Behälter aus-
gespiert werden, in welchem sich ungetrenntes Ge-
misch in komprimiertem oder kondensiertem Zustand
befindet. Bei solcher Arbeitsweise sind dann insgesamt
nur noch zwei nach außen führende Ableitungen er-
forderlich, und zwar diejenigen, die für die Entnahme
der Trennprodukte aus dem rotierenden System vor-
gesehen sind.

Die Behälter, die für die Aufnahme der Trenn-
produkte bestimmt sind, können außerhalb des ro-
tierenden Systems aufgestellt sein, sie können jedoch
auch so ausgebildet sein, daß sie das rotierende System
teilweise oder ganz einschließen. Im letzteren Falle
gestaltet sich die Gasentnahme besonders einfach,
indem an Stelle der Ableitungen einfache Anstrich-
öffnungen treten können.

In manchen Fällen, und zwar namentlich dann,
wenn nur wenig Ausgangsmaterial zu Verfügung
steht, wird es zweckmäßig sein, das zu trennende Ge-
misch in völlig abgeschlossenem Zustand in dem Hohl-
körpersystem unterzubringen und die Trennprodukte
erst nach der Beendigung des Trennprozesses und
nach dem Auslaufen der Zentrifuge zu entnehmen.
Damit bei einer solchen nicht kontinuierlichen Arbeits-
weise nicht zu viele Zwischenfraktionen anfallen, ist es
zweckmäßig, den endständigen Hohlkörpern einen den
Verhältnissen angepaßten vergrößerten Rauminhalt
zu erteilen.

Im Falle kondensierbarer Stoffe ergibt sich dabei
die Möglichkeit, einen beträchtlichen Teil des Ge-
misches, insbesondere auch die als Endprodukte an-
zusehenden leichtesten und schwersten Fraktionen, in
kondensiertem Zustand unterzubringen bzw. anzu-
reichern. Dieser Fall ist an dem Beispiel Fig. 1 mit
vorgesehen und soll daran erläutert werden. Die
Zellen I und V dieser Figur enthalten eine in radialer
Richtung angelegte Erweiterung a_1 bzw. a_2 von
passender Größe. Wenn ein kondensierbarer Stoff
eingeführt wird in einer Menge, welche mehr als aus-
reichend ist, um das Volumen der in der rotierenden
Vorrichtung vorhandenen Hohlräume mit gesättigtem
Dampf zu erfüllen, so erkennt man, daß sich gerade in
den radialen Erweiterungen der Zellen I und V ein
Kondensat ansammelt. In jenen Teilen ist nämlich
infolge der Wirkung der Zentrifugalkraft der größte
Druck im Dampfraum vorhanden, ein Druck, welcher
bekanntlich nicht größer als der für die betreffende
Temperatur charakteristische Sättigungsdruck sein
kann. Es ist dabei gleichgültig, ob das Stoffgemisch in
diesem Kondensat im flüssigen, gelösten oder adsor-
bierten Zustand vorliegt.

In dem oben besprochenen Falle, daß die in den
endständigen Hohlkörpern anfallenden Trennprodukte
erst nach der Beendigung des Trennvorganges ent-
nommen werden sollen, ist es im allgemeinen not-
wendig, die zu den betreffenden Hohlkörpern führen-
den Leitungen vor dem Auslaufenlassen der Zentrifuge
zu verschließen, damit sich die Fraktionen nicht nach-
träglich vermischen. Zu diesem Zwecke können
in die betreffenden Leitungen Ventile eingebaut wer-
den, welche, solange die Zentrifuge sich noch auf hoher
Umlaufzahl befindet, von außen durch Lösen einer
Arretierung geschlossen werden können. Es hat sich
indessen gezeigt, daß es besonders zweckmäßig ist,
die Öffnung und Schließung dieser Ventile in automatischer
Weise durch die bei hoher Umlaufzahl auftretenden,
bei niedriger Umlaufzahl verschwindenden Zentrifugal-
kräfte zu bewerkstelligen. Eine Vorrichtung, welche
diese Wirkung hervorzubringen gestattet, ist beispiels-
weise in Fig. 4 dargestellt. Zwischen die miteinander
zu verbindenden oder gegeneinander abzuschließenden
Rohrteile R_1, R_2 ist eine Erweiterung F eingeschaltet,
in welche ein Sperrkörper S durch eine Feder F ein-
gepreßt wird. Wenn nun die genannte Vorrichtung in
solcher Weise auf dem Rotationskörper angeordnet
ist, daß die Verschiebung des Sperrkörpers S in einer
Richtung erfolgt, so erkennt man, daß bei hoher Umlaufzahl
des Rotationskörpers und passend gewählter Größe der in

der Feder F vorhandenen Spannung der Sperrkörper S
unter dem Einfluß der dann auf ihn wirkenden Zentrifugal-
kräfte entgegen der Federkraft aus der Rohr-
verengung E herausgedrückt wird, so daß eine Verbin-
dung der beiden Rohrteile R_1 und R_2 zustande
kommt, daß aber diese Verbindung selbsttätig auf-
gehoben wird, sobald am Ende des Versuchs die Um-
drehungsgeschwindigkeit herabgesetzt wird.

Wärmekontakt mit dem umlaufenden Körper
gebracht sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die Hohlkörper einzeln oder ge-
meinsam durch einen mitrotierenden, nur mit der
auf konstanter Temperatur gehaltenen Achse der
Vorrichtung in Wärmekontakt stehenden Mantel
eingeschlossen sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 8, dadurch
gekennzeichnet, daß die Hohlkörper, gegebenen-
falls einschließlich des Antriebs, einzeln oder ge-
meinsam in einem feststehenden, ganz oder teil-
weise luft- bzw. gasfrei gemachten Gehäuse unter-
gebracht sind.

10. Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung nach
Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die
durch die genannten Fördervorrichtungen in den
Hohlkörpern einseitig und in den sie verbindenden
Rohrleitungen andererseits bewirkte Strömungs-
geschwindigkeit so bemessen wird, daß in den
Hohlkörpern die Diffusionswirkungen die durch
die Strömung bewirkte Überleitung des Gases, in
den Rohrleitungen hingegen die Überleitung die
dort stattfindenden Diffusionswirkungen übersteift.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die die Überführung der in den
einzelnen Hohlkörpern anfallenden leichteren bzw.
schwereren Bestandteile in andere Hohlkörper
bewirkende Fördervirkung dadurch hervorgeru-
fen wird, daß eine zwei Hohlkörper verbindende
Rohrleitung in Abschnitten, in welchen das Gas
in zentrifugaler Richtung gefördert wird, auf
relativ tieferer, dagegen in Abschnitten, in welchen
das Gas in zentripetaler Richtung gefördert wird,
auf relativ höherer Temperatur gehalten wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch ge-
kennzeichnet, daß der Umlauf der Gase zwischen
den Hohlkörpern von einer weiteren kontinuier-
lichen Strömung in solcher Weise überlagert wird,
daß einem oder mehreren Hohlkörpern während
des Betriebes von außen oder aus einem mitro-
tierenden Behälter frisches Gas- oder Dampfge-
misch zugeführt wird, während gleichzeitig die leichtesten
und die schwersten Fraktionen des Gasgemisches
aus den endständigen Hohlkörpern durch je eine
nach außen oder nach innen mitrotierenden
Sammelgefäß führende Leitung während des Be-
triebes abgeführt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die sich in den einzelnen Hohl-
körpern ansammelnden Fraktionen bei Beendigung
des Zentrifugierens gegeneinander abgeschlossen
werden.

14. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch ge-
kennzeichnet, daß in das Hohlkörpersystem eine
solche Gasmenge eingeführt wird, daß ein Teil der-
selben sich in kondensiertem Zustande nieder-
schlägt.

15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die mit der Konvektion des
Gases in zentrifugaler und zentripetaler Richtung
verbundenen thermischen Effekte in der Weise un-
schädlich gemacht werden, daß die Begrenzungen
deserter Gasströme in gutem Wärmekontakt
mit temperaturkonstant gehaltenen Teilen des
rotierenden Systems gebracht werden.

16. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die mit der Konvektion des

Gases in zentrifugaler und zentripetaler Richtung
verbundenen thermischen Effekte in der Weise un-
schädlich gemacht werden, daß zwei entgegen-
gesetzte gerichtete Gasströme in guten Wärme-
kontakt miteinander gebracht werden.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Figure D.144: Patent on gas centrifuges filed by Werner Kuhn and Hans Martin in 1938 [German Patent DE 906.094].

Zu der Patentschrift **906 094**
Kl.12e Gr.305

Fig. 1

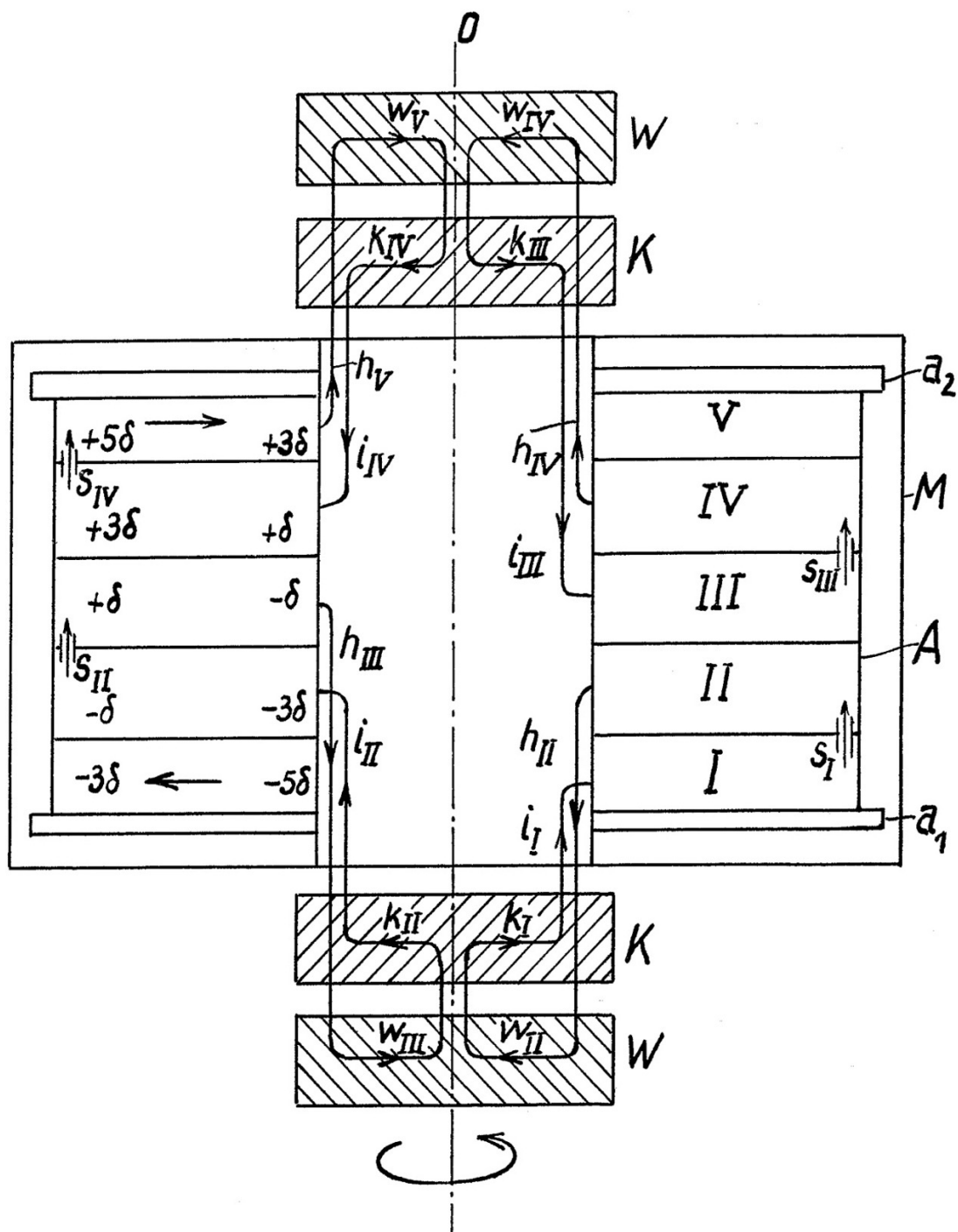


Figure D.145: Patent on gas centrifuges filed by Werner Kuhn and Hans Martin in 1938 [German Patent DE 906,094].

Zu der Patentschrift 906 094
Kl. 12 e Gr. 3 05

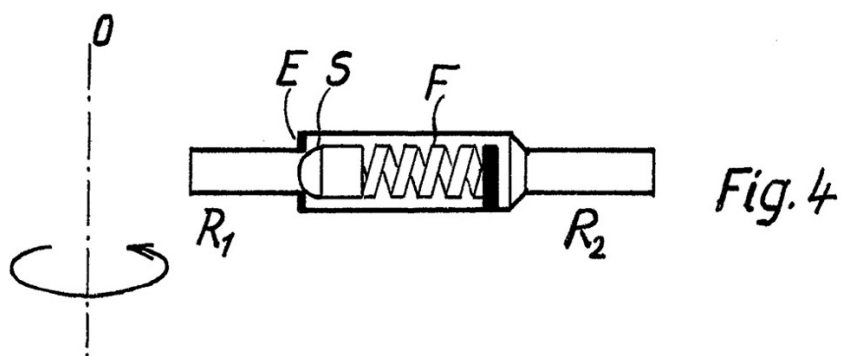
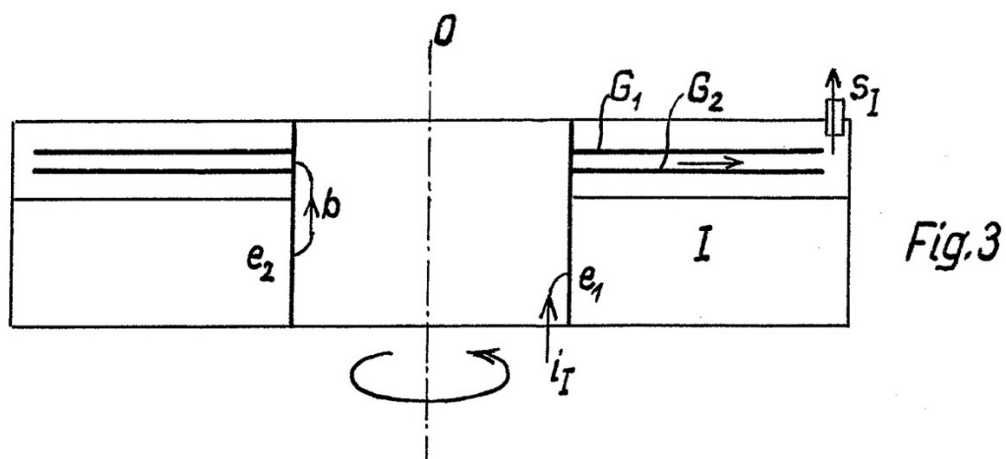
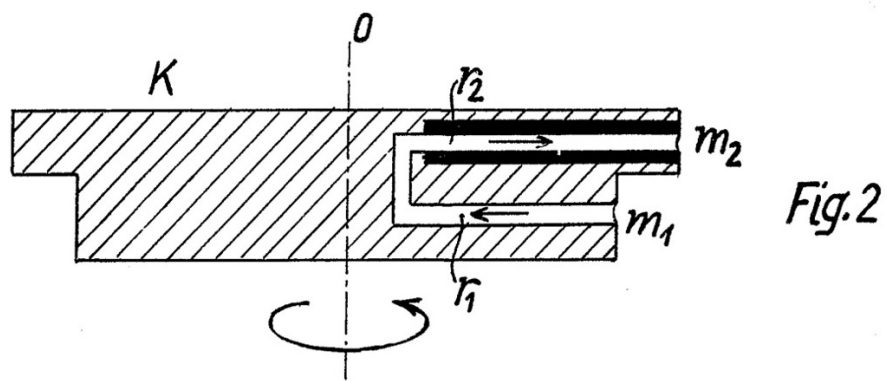


Figure D.146: Patent on gas centrifuges filed by Werner Kuhn and Hans Martin in 1938 [German Patent DE 906,094].

Multiplikationsverfahren zur Trennung von Gasgemischen, insbesondere bei Anwendung von Schwerefeldern.

Von

Hans Martin und Werner Kuhn.

(Mit 16 Abbildungen im Text.)

(Eingegangen am 2. 5. 41.)

Es wird ein Multiplikationsverfahren angegeben, mit dessen Hilfe es allgemein möglich ist, in Gasgemischen (Isotopengemischen) auftretende schwache Entmischungseffekte, wie sie beispielsweise bei Einwirkung eines Gravitationsfeldes oder eines Temperaturgefälles beobachtet werden (Einzeleffekte), grundsätzlich beliebig stark zu vervielfachen und damit eine im Einzeleffekt nur unvollkommene Zerlegung eines Gemisches in beliebigem Maße zu vervollständigen. Es ist ein wesentlicher Bestandteil des Verfahrens, daß das Gemisch innerhalb des Hohlraumes, in welchen es eingeschlossen ist, in bestimmter Weise zirkuliert.

Den überwiegenden Raum in der vorliegenden Mitteilung nimmt die Besprechung der Grundlagen eines Gastrennverfahrens (I. bis III. Kapitel) ein, bei welchem der Einzeleffekt (der vervielfacht werden soll) durch ein starkes künstliches Schwerefeld (I. Kapitel) hervorgerufen wird. Das Schwerefeld wird in einem rasch umlaufenden Zentrifugenkörper erzeugt. Es ergibt sich dabei als zufällige Besonderheit dieses Verfahrens, daß außer dem die Gastrennung verursachenden Einzeleffekt auch der für die Multiplikation dieses Effektes erforderliche Gasumlauf durch dasselbe Schwerefeld hervorgebracht werden kann (Thermokonvektion).

Der Frage nach einer zweckmäßigen Erzeugung der Gaszirkulation kommt nur mittelbare Bedeutung zu. Von grundlegender Bedeutung sind demgegenüber die Vorgänge, die sich als Folge dieser Gaszirkulation ergeben. Ihre Verfolgung an Hand des mitgeteilten Zentrifugenverfahrens führt auf ein Multiplikationsprinzip, welches allgemeinerer Anwendung fähig ist. Die Wirkungsweise dieses Prinzipes wird daher (im II. und III. Kapitel) besonders eingehend behandelt. Daneben werden auch speziellere Fragestellungen diskutiert, sofern diese einen wesentlichen Beitrag zur Lösung des Problems einer wirksamen Gastrennung im Schwerefeld darstellen. Hierher gehört außer der schon erwähnten Frage nach der Hervorbringung der Gaszirkulation insbesondere die Diskussion des Einflusses spezieller (zylindersymmetrischer) Hohlraumformen, wie sie durch die Notwendigkeit der Unterbringung des Gasgemisches in einem rasch rotierenden Zentrifugenkörper nahegelegt werden.

Das Multiplikationsprinzip läßt sich auf zweierlei Weise realisieren, und zwar entweder dadurch, daß der Gesamthohlraum durch Zwischenwände, die geeignete Öffnungen für die Gaszirkulation tragen, in eine größere Anzahl von Einzelkammern unterteilt wird (II. Kapitel), oder dadurch, daß dem Hohlraum eine besonders langgestreckte Form erteilt wird (III. Kapitel). Für den Trennvorgang

Temperaturabhängigkeit der Adsorbierbarkeit als Mittel zur laufenden Fraktionierung oder Konzentrierung von Lösungen.

Von

Werner Kuhn und Hans Martin.

(Mit 2 Abbildungen im Text.)

(Eingegangen am 8. 5. 41.)

In Verallgemeinerung eines bisher in Spezialfällen angewandten Prinzips wird gezeigt: wenn sich in einem homogenen oder heterogenen System unter bestimmten, stationär aufrecht erhaltbaren Bedingungen (Kraftfelder, Temperaturgradienten usw.) ein Zustand herausbildet, bei welchem an den im Abstand $a/2$ (Abb. 1) befindlichen Punkten P_1 und P_2 ein Unterschied $(1 + \delta)$ in der relativen Konzentration eines in dem System vorhandenen Bestandteiles auftritt, so läßt sich der zunächst vorhandene Unterschied durch eine in dem System hervorgerufene und aufrecht gehaltene Bewegung in grundsätzlich beliebigem Maße steigern. Die anzuwendenden Geschwindigkeiten lassen sich in Abhängigkeit von den gewählten Dimensionierungen des Systems sowie in Abhängigkeit von dem im System maßgebenden Diffusionskoeffizienten angeben.

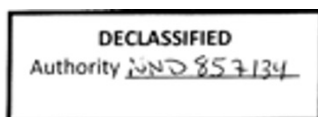
Als Beispiel wird besprochen die Racemattrennung, durchgeführt auf Grund davon, daß der Temperaturkoeffizient der Adsorbierbarkeit der *d*-Form eines aktiven gelösten Stoffes sich vom Temperaturkoeffizienten der *l*-Form unterscheidet, falls als Adsorptionsmittel ein optisch aktiver fester Stoff gewählt wird.

Es werden ein Apparat und Versuche beschrieben, bei welchen eine teilweise Spaltung racemischer Mandelsäure unter Verwendung von Wolle als Adsorptionsmittel durchgeführt wird.

Im Zusammenhange mit Vorbereitungen, welche wir zwecks Trennung von Gasgemischen in künstlichen Schwerfeldern getroffen haben, ergab sich eine theoretische Betrachtung¹⁾, welche sich vom Spezialfalle des Schwerfeldes leicht auf andere Trennungsmethoden übertragen läßt. Gemäß der verallgemeinerten Überlegung ist es sehr allgemein möglich, die Trennung, welche in einem Einzelversuch auftritt und welche zunächst recht klein sein soll, in einfacher Weise zu vervielfältigen.

Im Beispiel der Gaszentrifuge kann das, wie in der soeben zitierten Mitteilung ausführlich auseinandergesetzt ist, dadurch geschehen, daß der Inhalt eines (in diesem Falle sehr lang gestreckten) Zentrifugenhohlraums in passender Weise in Zirkulation versetzt wird.

¹⁾ Vgl. vorstehende Mitteilung.



**NARA RG 226, Entry A1-134, Box 219,
Folder IN AZUSA Nov. '43 Sept. '45**

Form 69 (Revised)

OFFICE OF STRATEGIC SERVICES

OFFICIAL DISPATCH

DATE UNDATED

FROM

BERN SWITZERLAND

1944 OCT 5 9 34

PRIORITY

ROUTINE

DEFERRED

TO

OFFICE OF STRATEGIC SERVICES

IN 21826

DISTRIBUTION

(FOR ACTION)

(FOR INFORMATION)

SHEPARDSON

DIRECTOR, SECRETARIAT, MAGRUDER,
LOVELL.

U. S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE 16-37883-1

RECEIVED IN CODE OR CIPHER

~~SECRET~~

#4795-96. AZUSA. For Dix. With reference to your #2096.

With reference to the above message we shall do all we can to secure more information on this. We will be given considerable assistance when Hoyt reaches here. Hans Martin took over Kuhn's centrifuge projects at the University of Kiel. Kuhn says he believes this work is nearly finished, but no tests have yet been made. In June of this year the Kiel laboratories were still unharmed. Kuhn's centrifuge machine for the separation of isotopes attains a peripheral velocity of approximately 300 meters per second. The resulting heat generated at such a speed was the main problem with which he was confronted. To overcome this difficulty he has encased the centrifuge in hydrogen at a pressure lower than that of the atmosphere which acts as a heat reducing agent.

~~SECRET~~

TOR: 10/4/44 1:35 AM (Delayed by garbled text)

IT IS FORBIDDEN TO COPY OR REPRODUCE THIS CABLE
WITHOUT AUTHORIZATION FROM THE SECRETARIAT

Figure D.149: OSS Bern Switzerland. 4 October 1944 [NARA RG 226, Entry A1-134, Box 219, Folder IN AZUSA Nov. '43 Sept. '45].



NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-2
GERMANY: US Wartime Positive Int. (July-Oct. 44)

STANDARD FORM 64 **SECRET**

H-97

Office Memorandum • UNITED STATES GOVERNMENT

DATE: 10/7/44

TO : Major General L. R. Groves

FROM : Major F. J. Smith

SUBJECT: Status of Centrifuge Work at Kiel University.

Following is answer of *(in Switzerland)* Kuhn to question concerning status of work on centrifuges at Kiel University:

entire ✓

*also
technical
notes*

"Centrifuge projects at the University of Kiel have been taken over by Hans *✓* Martin. No tests have been made as yet but the work is just about through. There had been no damage to the Kiel laboratories as of June of this year. The centrifuge machine for the separation of isotopes reaches a periferal velocity of approximately 300 meters per second. The main problem to be solved in this project was the heat which this speed generated. This problem was met by encasing the centrifuge in hydrogen at a pressure lower than that of the atmosphere which acts as a heat reducing agent."

g

D
SMITH

*File Germany
major Smith
Shurup*

SECRET

Figure D.150: Francis J. Smith to Leslie R. Groves. 7 October 1944. SUBJECT: Status of Centrifuge Work at Kiel University [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-2 GERMANY: US Wartime Positive Int. (July-Oct. 44)].

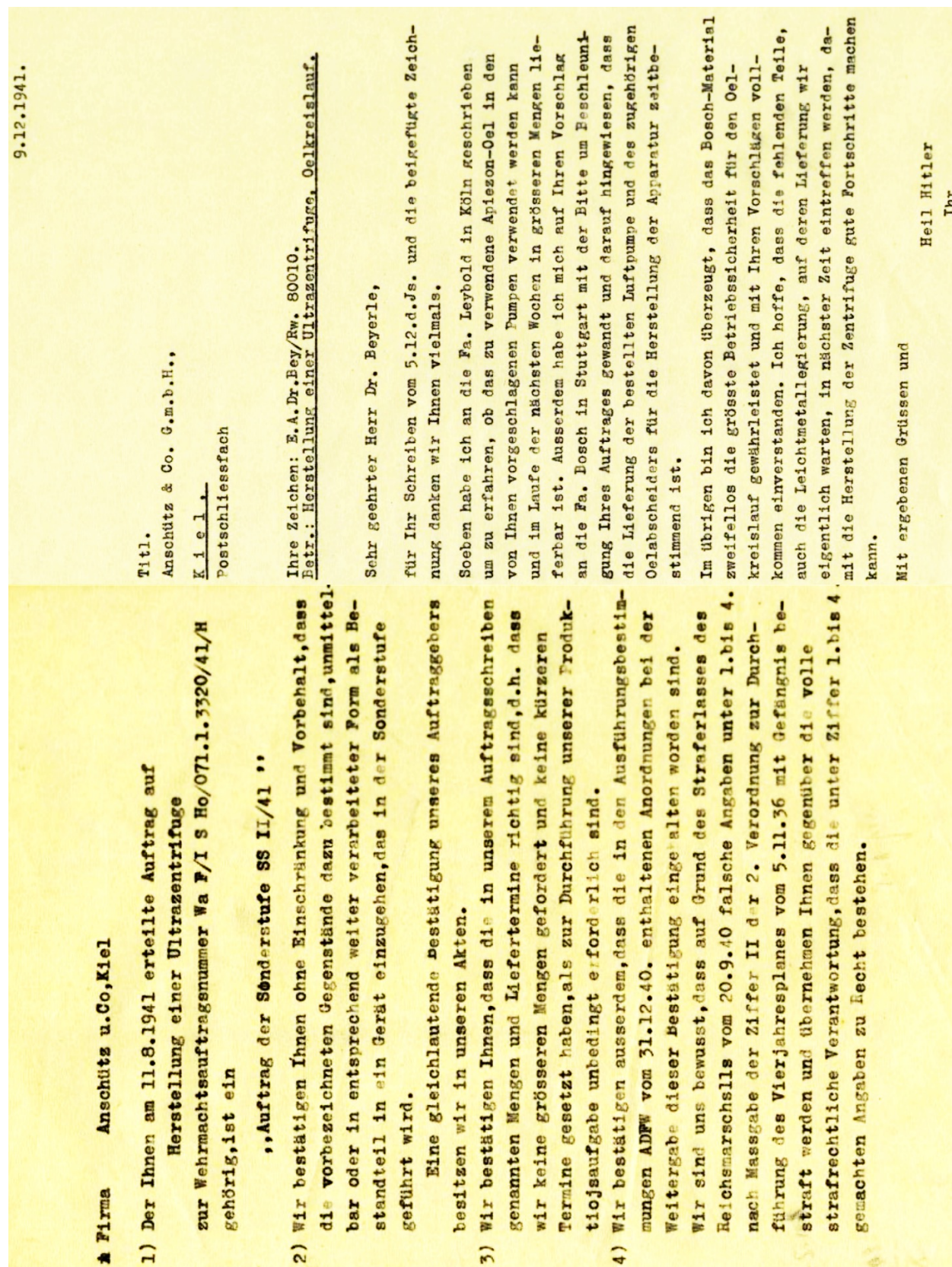


Figure D.151: The Anschütz company in Kiel began working on uranium gas centrifuges no later than 1941 [G-331].

ANSCHÜTZ & CO. G.M.B.H.
KREISELGERÄTE
KIEL-NEUMÜHLEN

BRIEFANSCHRIFT: KIEL, POSTSCHLIESFACH
TELEGRAMMADRESSE: ANSCHÜTZCO-KIEL · FERNRUF: 4000 · POSTScheckkonto: HAMBURG 5854
BANKEN: REICHSBANK-GIROKONTO 811, VEREINSBANK KIEL, WILH. ABLMANN, KIEL

An das
Institut für Physikalische Chemie
der Hansischen Universität
z.Hd. Herrn Dozent Dr.W.Groth,
Jungiusstr. 9,
H a m b u r g 36.

IHRE ZEICHEN
Ihre Nachricht vom
9.12.41.

UNSERE ZEICHEN
E.A.Dr.Bey/Rw.
11.12.1941.

BETREFF
TAG

Herstellung einer Ultrazentrifuge, Oelkreislauf.

Für Ihr Schreiben vom 9.12.41 danken wir Ihnen bestens.

Die Firma Bosch G.m.b.H. teilt uns soeben mit, dass der in unserem Schema 03 21 02 - 1 /Schem.1 bei 3) vorgesehene Einzylinder-Luftpresser nicht geliefert werden kann, dass aber Verdichter der Type SV/DRB 160 R 12 4 Wochen nach Auftragsingang erhältlich seien.

Wir haben unsere frühere Bestellung Nr. 82 11 vom 23.11.41 zurückgezogen und anstelle dessen 2 Stück Verdichter der letztgenannten Type soeben mit der Bitte in Auftrag gegeben, die angegebene Lieferzeit von 4 Wochen einzuhalten. Gleichzeitig haben wir darauf hingewiesen, dass es sich dabei um ein Bauteil handelt, für dessen schnelle Lieferung Sie sich bereits an die Firma Bosch gewandt hatten.

Heil Hitler !
ANSCHÜTZ u. CO. G.m.b.H.
Entwicklungs-Abteilung

i.A. *[Signature]*

13. November 1941.

Betr.: Arbeitsbesprechung zum
Ultrazentrifugenbau in Hamburg
am 12. und 13. November 1941.

Anwesend : Harteck, Jensen, Martin, Groth, Suess, Knauer.

Auf der Sitzung in Berlin-Dahlem am 5. XI. 41 war beschlossen worden, die Kieler und die Hamburger Arbeiten zum Zentrifugenbau zwecks Anreicherung der Isotopen des Präparats 38 nach einem gemeinsamen Plan auszurichten. Zu diesem Zwecke fanden in Hamburg am 12. und 13. November 1941 Arbeitsbesprechungen statt, die zur Beschlussefassung über folgende Punkte führten :

- 1) Die Antriebsvorrichtungen sollen von der Firma Anschütz und Co in Kiel gebaut werden. Die schon vorhandenen Konstruktionspläne sind sowohl für die Hamburger als auch für die Kieler Zwecke verwendbar.
- 2) Es wird vorgeschlagen, in Hamburg mit Zentrifugen ohne Kaskadenanordnung zu arbeiten, die bei gut nachweisbarem Trenneffekt (etwa 10 %) grosse Mengen liefern (einige 100 g pro Tag).
- 3) In Kiel sollen in der Zwischenzeit Rotoren vorbereitet werden, die bei einem Anreicherungsgrad von 50 % bis zu Verdoppelung massiger Mengen (einige g pro Tag) liefern, und bei denen unter Verzicht auf grössere Trennwirkungen die Konstruktion möglichst vereinfacht wird. Diese Rotoren sollen so bemessen sein, dass sie unmittelbar an die vorgesehenen Antriebsvorrichtungen anschlossen werden können.
- 4) Der Antrieb ist anfänglich als Luftturbine vorgesehen. Inzwischen hat die Firma Anschütz bereits mit der Entwicklung des später zu verwendenden elektrischen Antriebs begonnen. Es ist zu hoffen, dass diese Entwicklungsarbeit so beschleunigt werden kann, dass die Kieler Zentrifuge von vornherein elektrisch angetrieben werden wird.
- 5) Der Zentrifugenbau bei der Firma Phylwe, Göttingen soll vorläufig nicht mehr in Betracht gezogen werden.
- 6) Da die Lieferzeiten der Firma Anschütz mit etwa 3 Monaten angegeben werden, hängt die Fertigstellung der Zentrifuge wesentlich von der Liefergeschwindigkeit des Materials für die Rotorenkörper ab. Da anscheinend die Liefertermine der Firma Krupp, Essen, für Spezialstähle ungewöhnlich lang sind, wird die Herstellung aus Leichtmetallen in Betracht gezogen.

Herr Dr. Groth wird in den nächsten Tagen nach Berlin fahren, um die Materialfrage für die Rotoren zu regeln.

Figure D.152: The Anschütz company in Kiel began working on uranium gas centrifuges no later than 1941 [G-331].



AUSGEGEBEN AM
5. NOVEMBER 1951

DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

№ 819 823

KLASSE 82b GRUPPE 10¹⁰

p 38205 III/82b D

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen
ist als Erfinder genannt worden

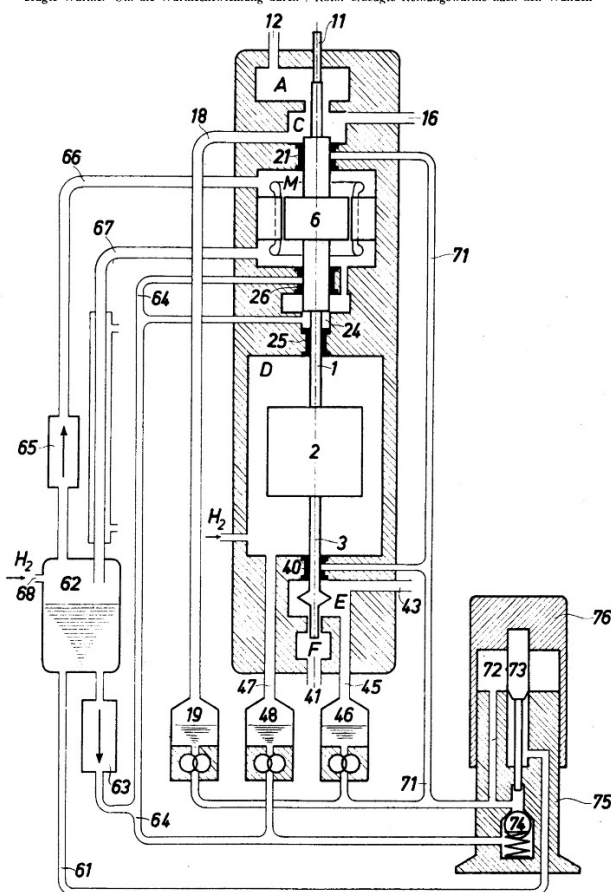
Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen

Wellenlagerung für Gaszentrifugen

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 30. März 1949 an
Patenterteilung bekanntgemacht am 13. September 1951

Sowohl bei der Bestimmung des Molekulargewichtes von Eiweißkörpern, Viren und ähnlicher Großmoleküle durch Beobachtung ihrer Sedimentation in Flüssigkeiten bei Einwirkung starker Zentrifugalfelder als auch bei der Veränderung des Partialdruckverhältnisses von Gasgemischen durch Zentrifugieren ist die thermische Stabilisierung des rotierenden Systems ein wichtiger Teil der apparatebaulichen Aufgabe. In beiden Fällen kommt es nicht nur darauf an, das zu zentrifugierende Gut in gewissen Temperaturgrenzen zu halten, sondern auch darauf, daß die Sedimentation nicht durch Konvektionsströme gestört wird, die von Temperaturunterschieden herrühren. Die Erfüllung dieser Forderungen wird erschwert durch die an schnell rotierenden Körpern durch Lager- und Gasreibung erzeugte Wärme. Um die Wärmeentwicklung durch

Gasreibung möglichst klein zu halten, füllt man den Raum, in dem sich das rotierende System befindet, mit einem unter geringem Druck stehenden Gas möglichst kleiner Zähigkeit und möglichst großer Wärmeleitfähigkeit, vorzugsweise Wasserstoff, oder man evakuiert ihn möglichst vollständig. Der letzte Weg wird weniger gern beschritten, weil die Erzeugung des erforderlichen Hochvakuums mit Umständen verbunden ist und weil man auf diese Weise nicht willkürlich bestimmte Temperaturen einstellen kann. Dies gelingt aber leicht bei Füllung des Rotorraumes mit Wasserstoff von geringem Druck. Dabei stellt sich nach einiger Zeit eine stabile Übertemperatur des Rotors gegenüber den Wandungen des Rotorraumes ein, nämlich diejenige Übertemperatur, bei der durch Wärmeleitung die vom Wasserstoff am Rotor erzeugte Reibungswärme nach den Wänden



Erteilt auf Grund des Ersten Überleitungsgesetzes vom 8. Juli 1949
(WIGBL. S. 175)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AUSGEGEBEN AM
2. APRIL 1951

Erfindung
des Deutschen Patentamts

DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

№ 803 507

KLASSE 47f GRUPPE 26

p 38206 XII/47f D

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen
ist als Erfinder genannt worden

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen

Labyrinthdichtung für Gaszentrifugen

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 30. März 1949 an
Patenterteilung bekanntgemacht am 1. Februar 1951

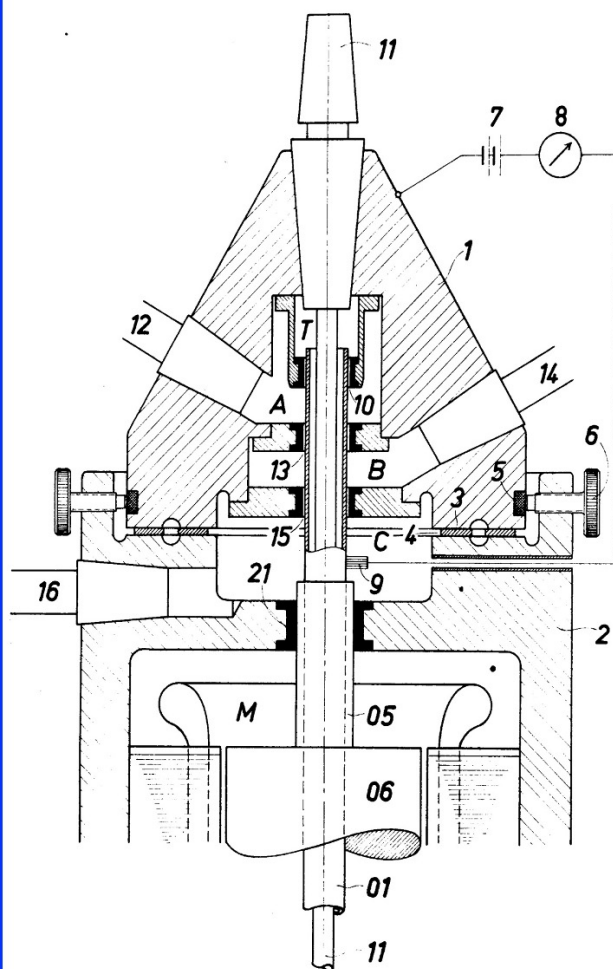


Figure D.153: After the (West) German patent office reopened in 1949, Konrad Beyerle filed a number of patent applications on gas centrifuges and closely related technologies, likely based on his wartime work at Anschütz.

Erteilt auf Grund des Ersten Überleitungsgesetzes vom 8. Juli 1949
(WIGBl. S. 175)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AUSGEGEBEN AM
22. OKTOBER 1951

DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr. 818 023
KLASSE 82b GRUPPE 340
p 38203 III/82b D

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen
ist als Erfinder genannt worden

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen

Verschuß für Trommeln von Gaszentrifugen

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 30. März 1949 an
Patenterteilung bekanntgemacht am 30. August 1951

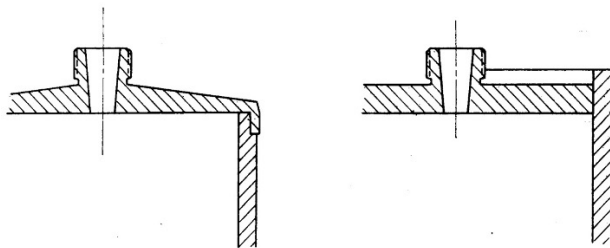


Bild 1

Bild 2

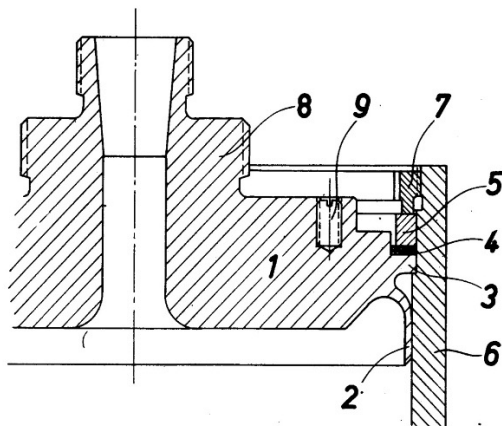


Bild 3

Erteilt auf Grund des Ersten Überleitungsgesetzes vom 8. Juli 1949
(WIGBl. S. 175)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AUSGEGEBEN AM
28. JUNI 1951

DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr. 807 341
KLASSE 47f GRUPPE 2230
p 38204 XII/47f D

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen
ist als Erfinder genannt worden

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen

Fettpresse für Vakuumapparate

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 30. März 1949 an
Patenterteilung bekanntgemacht am 19. April 1951

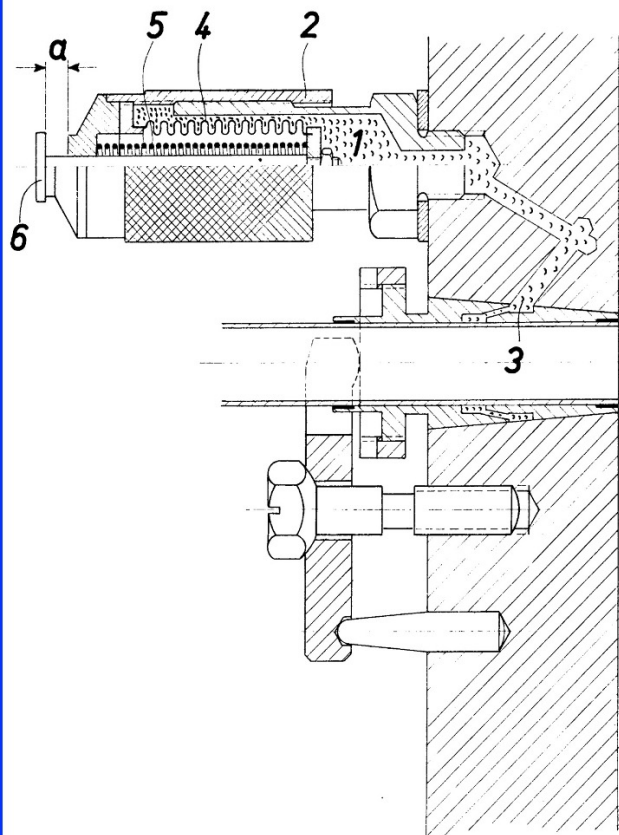


Figure D.154: After the (West) German patent office reopened in 1949, Konrad Beyerle filed a number of patent applications on gas centrifuges and closely related technologies, likely based on his wartime work at Anschütz.



AUSGEGEBEN AM
13. JULI 1953

DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr. 882 770
KLASSE 421 GRUPPE 601
B 2343 IX b / 421

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen
ist als Erfinder genannt worden

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen

**Rotierendes System für Beobachtungszentrifugen
zur Molekulargewichtsbestimmung**

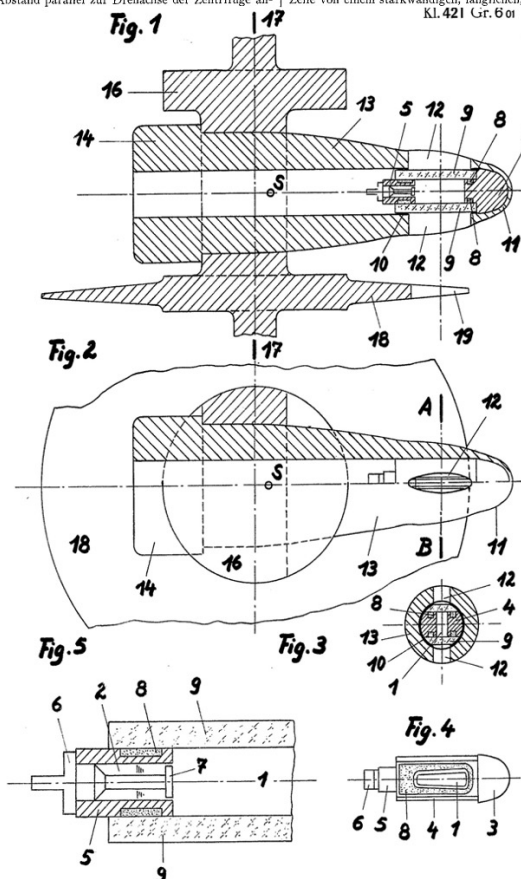
Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 2. März 1950 an
Patentanmeldung bekanntgemacht am 6. November 1952
Patenterteilung bekanntgemacht am 28. Mai 1953

Die Erfindung betrifft ein rotierendes System für Beobachtungszentrifugen zur Bestimmung von Molekulargewichten. Die der Sedimentation großer Moleküle in starken Zentrifugalfeldern zu analytischen Zwecken zukommende Bedeutung führte zur Entwicklung von Zentrifugen, die mit optischen Mitteln zur Beobachtung der Sedimentation ausgestattet sind. Solche Beobachtungszentrifugen erlauben entweder die Geschwindigkeit der Sedimentation oder die sich nach längerer Einwirkung eines bestimmten Zentrifugalfeldes einstellende Konzentrationsverteilung zu messen; demgemäß unterscheidet man dynamische und statische Meßverfahren.

Bei der üblichen Konstruktion des rotierenden Systems sind die inneren Teile der das Präparat enthaltenden Zelle von einer zylindrischen Zellenhülle umgeben, die in einem bestimmten radialen Abstand parallel zur Drehachse der Zentrifuge angeordnet wird. Zwecks Schleuderung schiebt man die Zellenhülle in eine Bohrung in der Nähe des Umfanges eines scheibenförmigen Rotors aus möglichst festem Werkstoff.

Für wissenschaftliche Zwecke wird ein Trennvermögen verlangt, bei dem die Masse der bisher verwendeten Zellen Zentrifugalkräfte hervorruft, die die Rotoren der bekannten Geräte bis an die Grenze der Festigkeit beansprucht. Dabei sind gelegentliche Rotorbrüche unvermeidlich, was das Arbeiten mit den Geräten gefährlich und kostspielig macht. Was durch Wahl bester Werkstoffe für die hoch beanspruchten Teile gegen diese Gefahren unternommen werden konnte, ist längst geschehen. Fortschritte sind also nur noch durch Verbesserungen der Formgebung denkbar und durch das hier beschriebene rotierende System in der Tat möglich.

Erfindungsgemäß wird die Zentrifugalkraft der Zelle von einem starkwandigen, länglichen, röhren-



AUSGEGEBEN AM
23. JULI 1953

DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr. 884 026
KLASSE 82b GRUPPE 1
B 8588 III / 82b

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen
ist als Erfinder genannt worden

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen

Radialrohrzentrifuge

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 5. August 1950 an
Patentanmeldung bekanntgemacht am 2. Oktober 1952
Patenterteilung bekanntgemacht am 11. Juni 1953

Die Erfindung betrifft eine Radialrohrzentrifuge. Für präparative Arbeiten mit höchsten Normalbeschleunigungen verwendet man bisher die sogenannten Schrägröhrzentrifugen. Der Läufer dieser Zentrifugen hat äußerlich die Gestalt eines abgestumpften Kreiskegels und wird am äußeren Umfang mit einer größeren Zahl von schrägen Bohrungen ausgestattet. Er rotiert um seine Figurenache. Die mechanische Festigkeit dieses Läufers erreicht nach praktischen Erfahrungen ein Maximum im Verhältnis zum Fassungsvermögen dann, wenn man eine größere Zahl von Bohrungen, mindestens 8 bis 12 Stück, am Umfang anordnet. Besteht der Wunsch, auf höchste Normalbeschleunigungen zu kommen, so könnte man den Schrägröhrläufer ähnlich verkleinern. Dabei würde man aber zu so kleinen Zellen gelangen, daß die Unterteilung der gesamten Stoffmenge für die praktische Handhabung infolge immer größer werdender prozentualer Stoffverluste nachteilig wird. Auch die Handhabung der vielen kleinen Zellen ist mühsam.

Schließlich müssen bei einer Schrägröhrzentrifuge sehr große Materialmassen des Läufers an der Rotation teilnehmen, die für die Aufnahme der Zentrifugalkräfte des Präparates selbst nicht unmittelbar beitragen und zusätzliche Gefahren für die Umgebung mit sich bringen bzw. kostspieligere Schutzvorrichtungen erfordern.

Demgegenüber kennzeichnet sich die Radialrohrzentrifuge gemäß der Erfindung darin, daß der den Stoff aufnehmende Körper als ein an einem Ende geschlossenes Hohlrohr ausgebildet ist, das, mit seiner Achse senkrecht zur Rotationsachse der Zentrifuge stehend, so in den rotierenden Träger eingeschoben ist, daß es durch die Zentrifugalkräfte

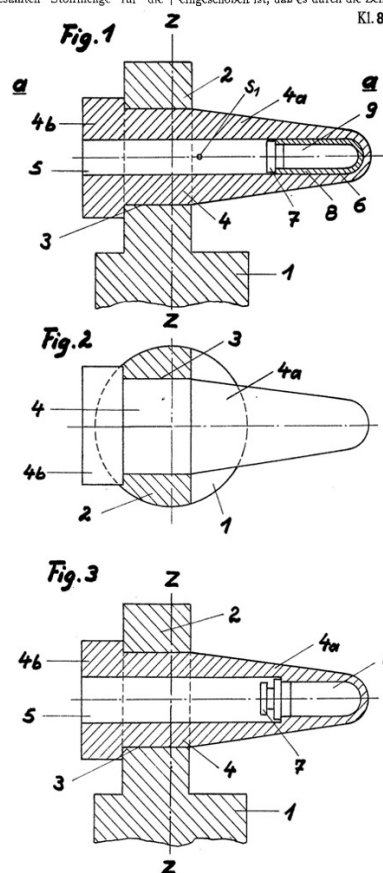


Figure D.155: After the (West) German patent office reopened in 1949, Konrad Beyerle filed a number of patent applications on gas centrifuges and closely related technologies, likely based on his wartime work at Anschütz.



AUSGEGEBEN AM
27. JULI 1953

DEUTSCHES PATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr. 884 475
KLASSE 82b GRUPPE 16
B 16615 III/82b

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen
ist als Erfinder genannt worden

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen

Temperieranlage für Ultrazentrifugen

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 7. September 1951 an
Patentanmeldung bekanntgemacht am 6. November 1952
Patenterteilung bekanntgemacht am 11. Juni 1953

Die Erfindung betrifft eine Temperieranlage für Ultrazentrifugen. Eine bei allen bekannten Konstruktionen von Ultrazentrifugen bisher nur mangelhaft gelöste Aufgabe besteht darin, den Läufer während des Betriebes auf einer bestimmten Temperatur zu halten. Grundsätzlich kann dies auf zweierlei Weise erfolgen, und zwar durch das Wärmeträgheitsverfahren oder durch das Über-temperaturverfahren. Das erste besteht darin, die Läuferkammer, das ist der Raum, in dem der Läufer rotiert, so weit wie möglich zu evakuieren, um auf diese Weise alle Gasreibung, aber auch jeden Wärmeaustausch mit der Umgebung bis auf die bei den fraglichen Temperaturen vernachlässigbare Wärmestrahlung, fortzuschaffen. Der Läufer behält bei diesem Verfahren dank seiner Wärme-trägheit die Anfangstemperatur bei. Das zweite Verfahren besteht darin, zwischen dem Läufer und der ihn umgebenden ruhenden Wand eine Gas-atmosphäre bestimmter Zusammensetzung und bestimmtem Druck zu schaffen und der umgebenden Wand zwangsläufig eine Temperatur zu erteilen, die so weit unter der Temperatur des Läufers liegt, daß durch Wärmeleitung der Gasatmosphäre gerade so viel Wärme vom Läufer zur umgebenden Wand übertragen wird, wie durch Gasreibung am Läufer entsteht. Der Läufer behält also bei diesem Verfahren seine Temperatur dank des Temperatur-unterschiedes gegen die Umgebung, das ist die Über-temperatur, bei.

Die Erfindung betrifft eine nach dem zuletzt genannten Über-temperaturverfahren arbeitende Temperieranlage für Ultrazentrifugen. Gemäß der Erfindung wird die Läuferkammer hinsichtlich der

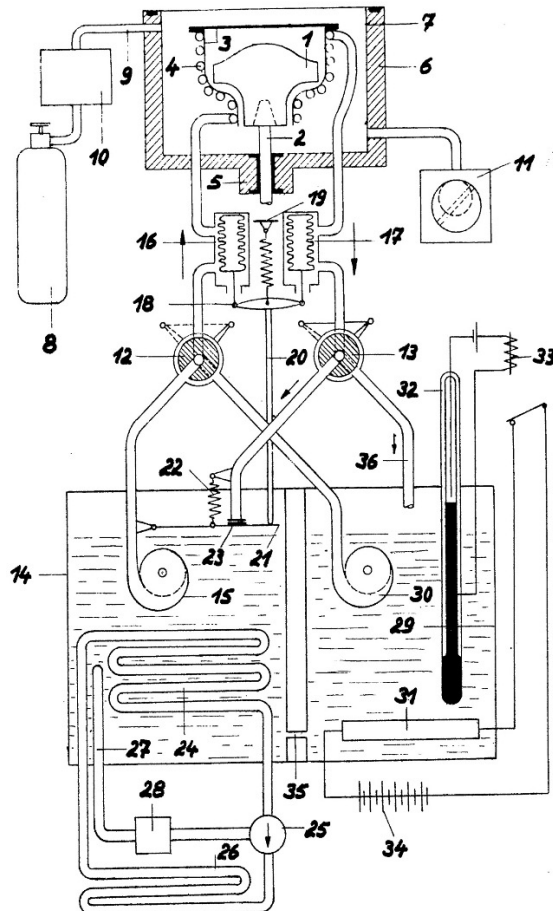


Figure D.156: After the (West) German patent office reopened in 1949, Konrad Beyerle filed a number of patent applications on gas centrifuges and closely related technologies, likely based on his wartime work at Anschütz.

DEUTSCHES PATENTAMT



AUSLEGESCHRIFT 1 014 348

B 1071 IX/41
ANMELDETAG: 8. JANUAR 1952
BEKANNTMACHUNG
DER ANMELDUNG
UND AUSGABE DER
AUSLEGESCHRIFT: 22. AUGUST 1957

Radialrohrzentrifuge

Anmelder:

Anschütz & Co. G.m.b.H.,
Kiel-Wik, Mecklenburger Str. 32/36

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen,
ist als Erfinder genannt worden

2

gegenüberliegenden Einsatzstücke können durch ein mit Durchbrechungen versehenes Rohrstück miteinander verbunden sein.

Das in Richtung auf die Rotationsachse gelegene Einsatzstück kann auch am inneren Ende des Verschlusskörpers für die Zelle ausgebildet sein. Ferner kann in diesem Einsatzstück ein Ventil vorgesehen werden, welches sich bei der Rotation durch die Zentrifugalkraft selbsttätig öffnet.

Mit den Mitteln der Erfindung kann in der Zelle eine Anreicherung der schweren Korpuskeln an dem am Boden der Zelle angeordneten Einsatz und eine Anreicherung der leichten Korpuskeln an dem in Richtung auf die Rotationsachse gelegenen Einsatzstück erreicht werden. Durch das Herausnehmen der Einsatzstücke mit den durch diese gebildeten Präparatkammern ist die Möglichkeit gegeben, das sedimentierte Präparat nach Beendigung des Rotationsvorganges gut aus der Zelle herauszunehmen, um es weiterhin zu untersuchen.

Unter schweren und leichten Teilchen werden im Rahmen der Erfindung Partikel verstanden, die schwerer bzw. leichter sind als das Lösungsmittel, in welchem sie sich befinden.

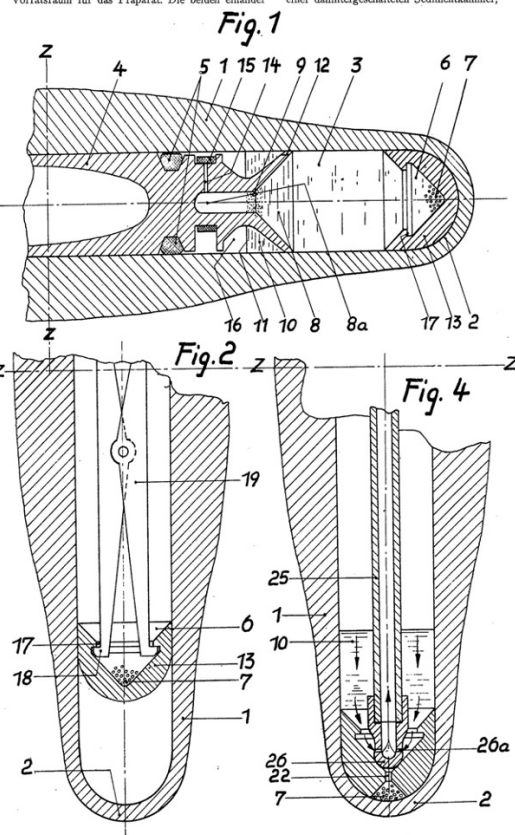
Die Verwendung eines am Boden der Zelle eingesetzten Einsatzstückes ergibt den Vorteil eines besonders bequemen Abpipettierens der Präparatlösung. Auch können spezielle präparative Techniken durch die erfindungsgemäße Lösung durchgeführt werden.

Die Erfindung ist in mehreren Ausführungsbeispielen in den Zeichnungen jeweils im Längsschnitt durch eine Zelle dargestellt. Es zeigt

Fig. 1 die Anordnung zweier Sedimentsammler für schwere und leichte Korpuskeln,

Fig. 2 das Herausnehmen des äußeren Sedimentsammlers durch eine Zange,

Fig. 3 die Anordnung eines Sedimentsammlers mit einer dahintergeschalteten Sedimentkammer,



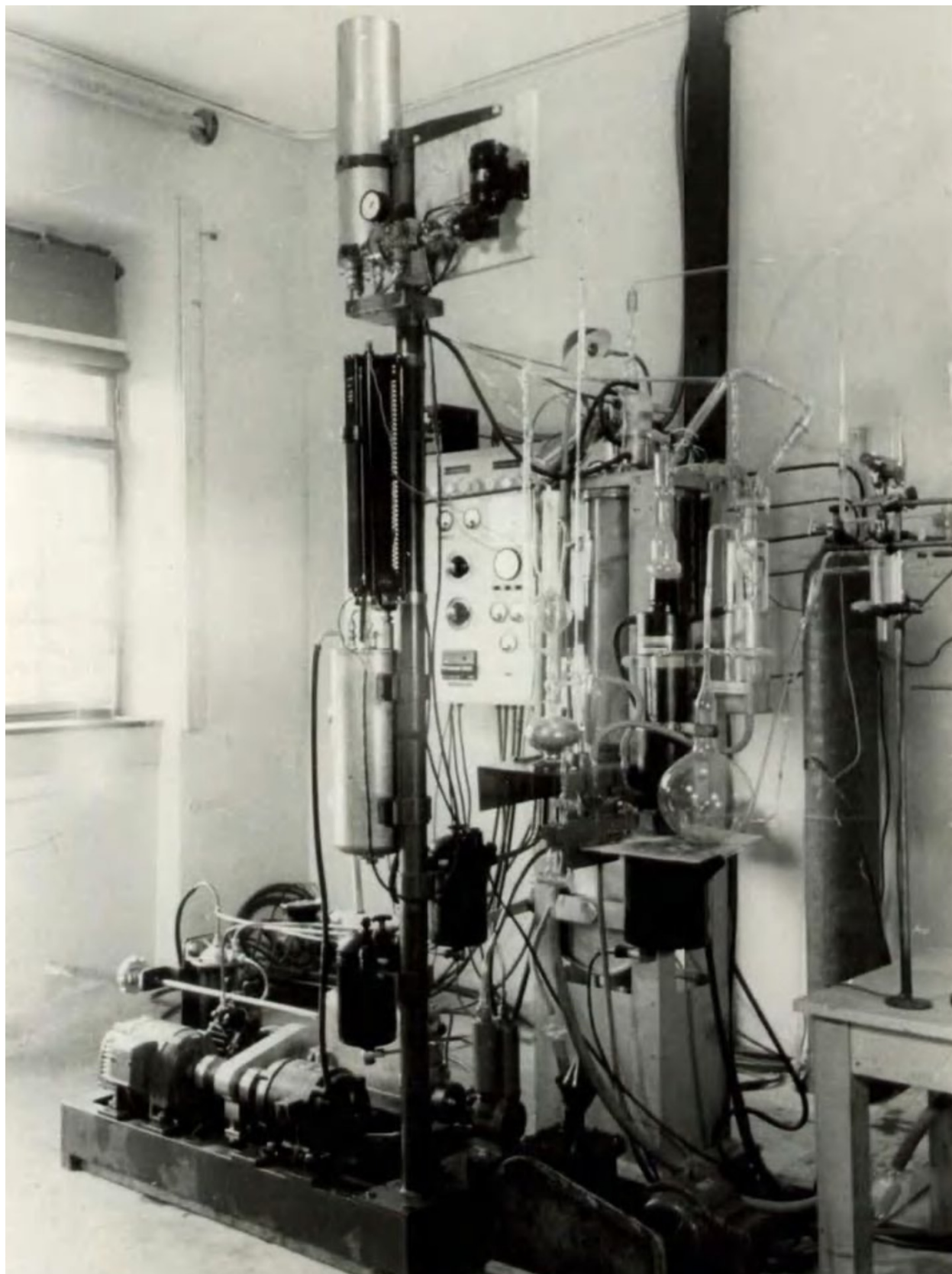


Figure D.157: Two small prototype uranium gas centrifuges manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].

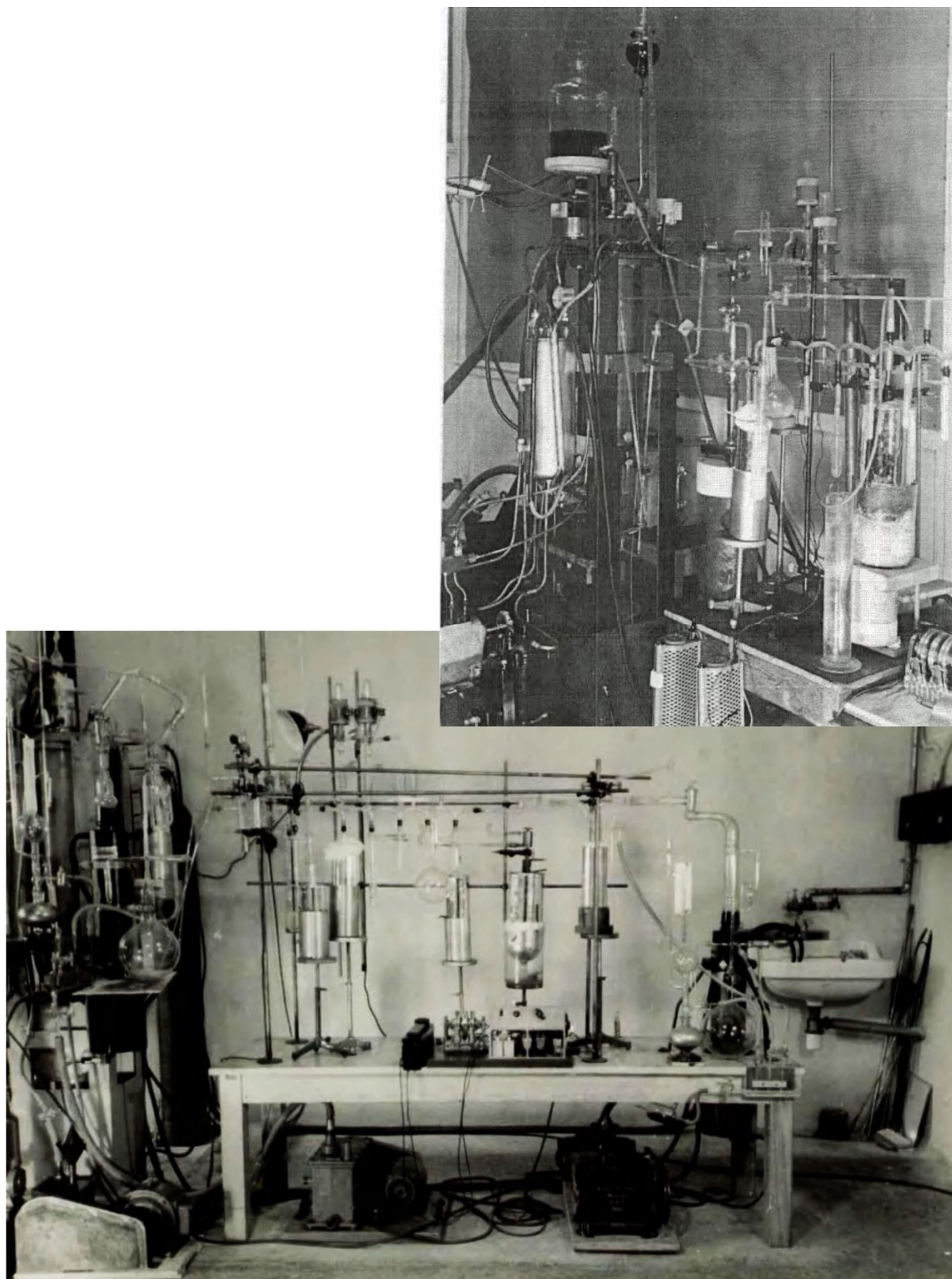


Figure D.158: Systems for collecting and analyzing different fractions produced by uranium gas centrifuges from Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].

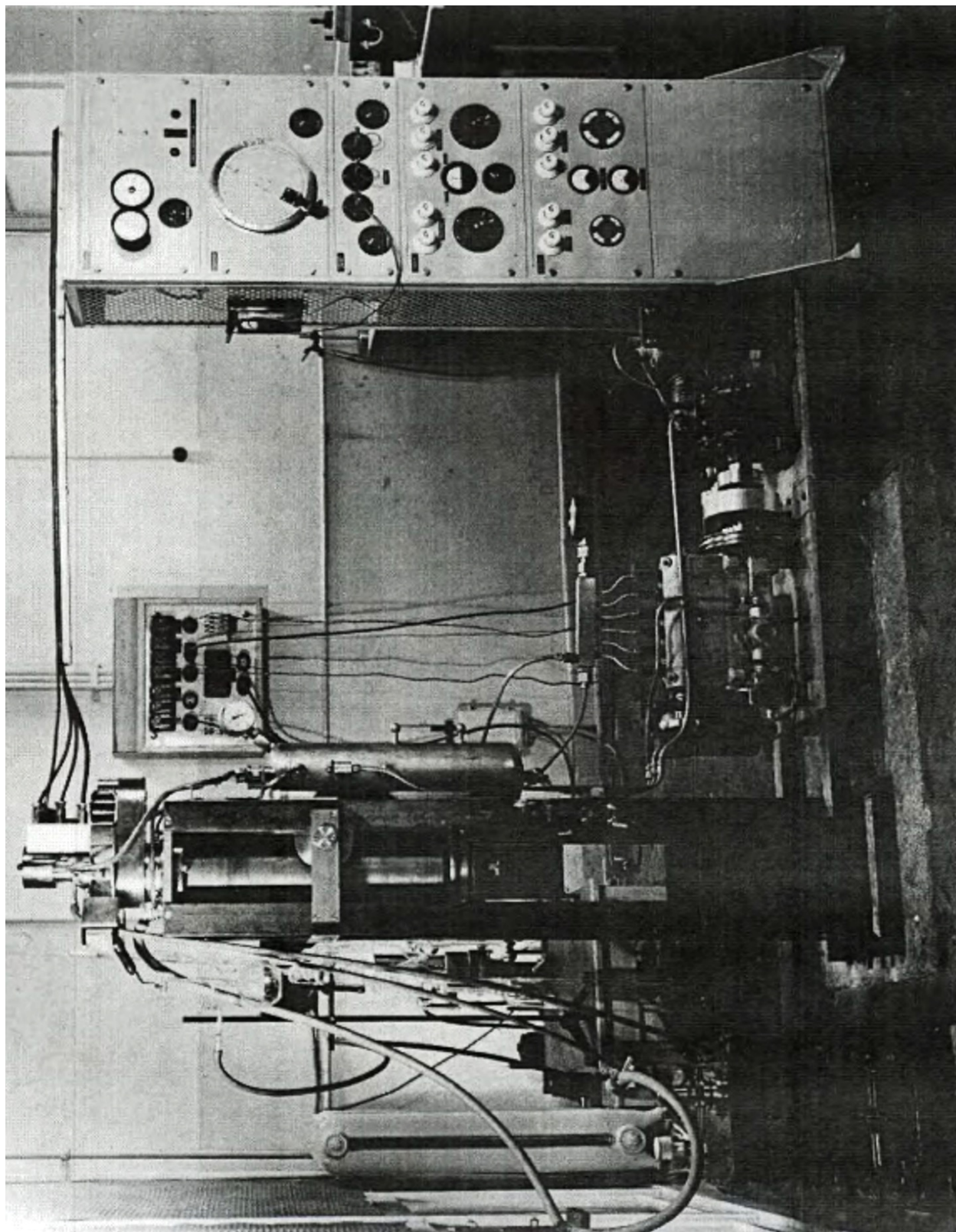


Figure D.159: Large uranium gas centrifuge and control panel manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].

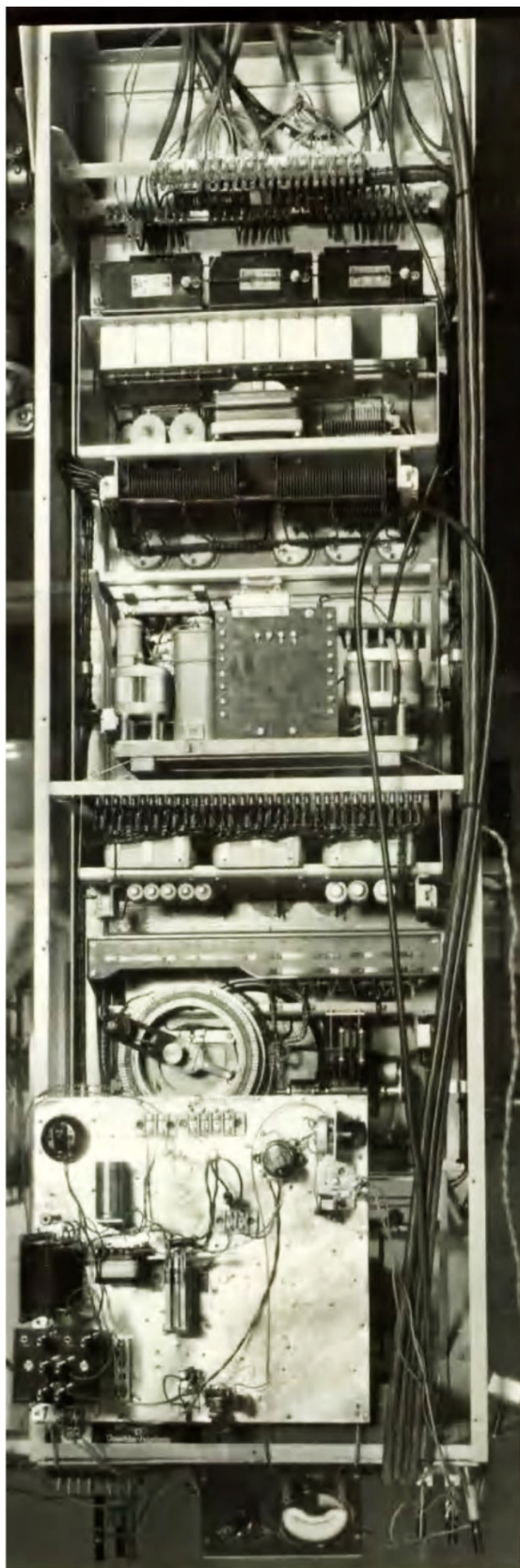
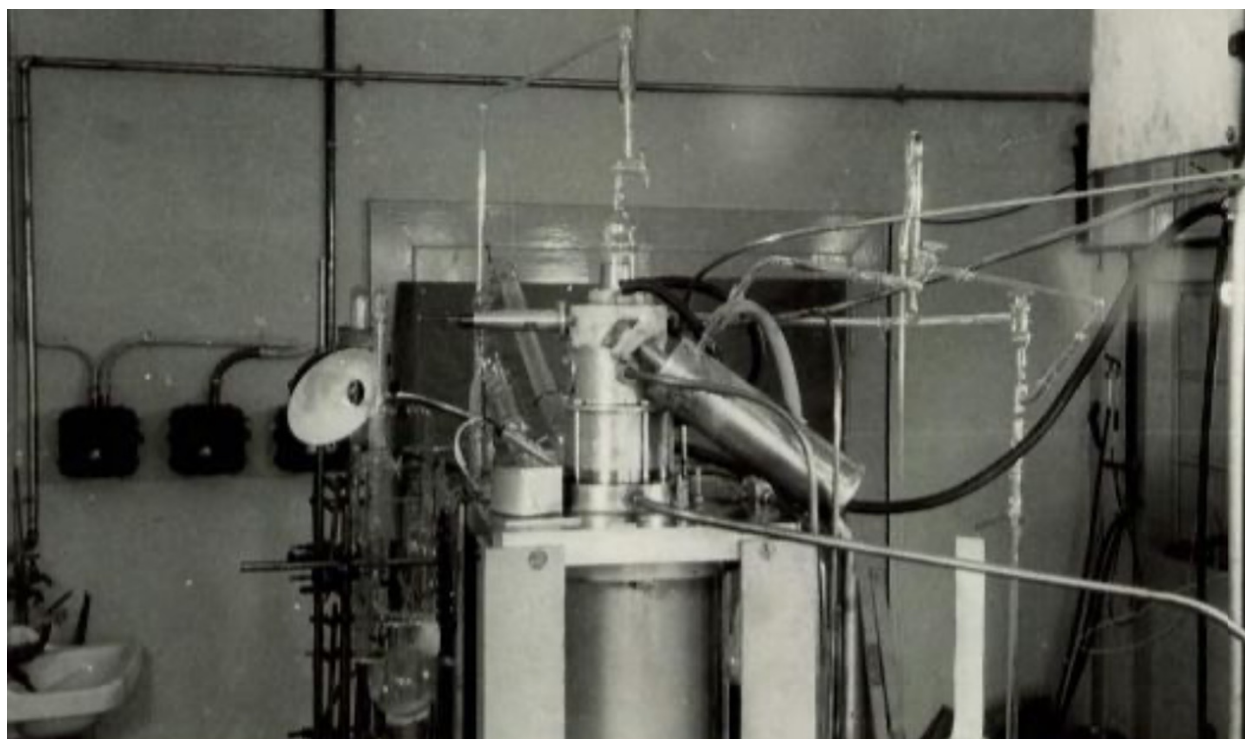
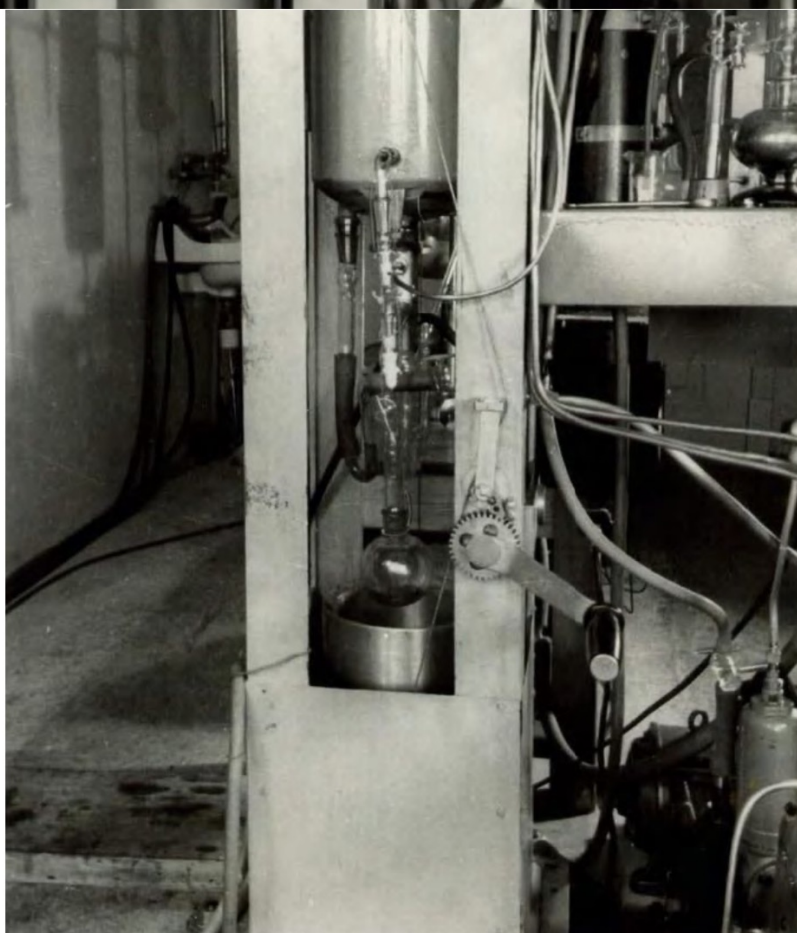


Figure D.160: Interior of the control panel for the large uranium gas centrifuge manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].



**Top of
centrifuge**



**Bottom of
centrifuge**

Figure D.161: Top and bottom of a large uranium gas centrifuge manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].

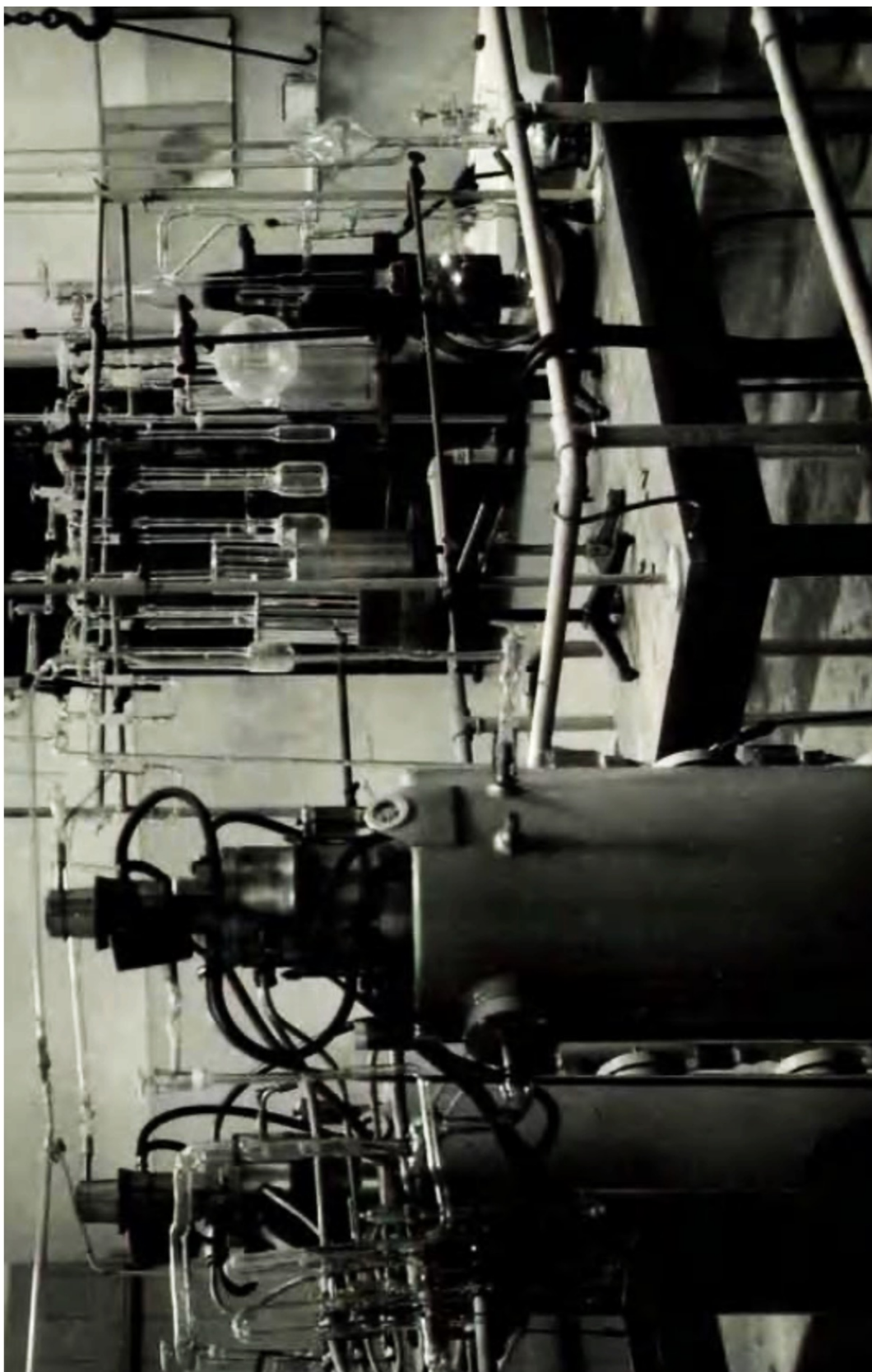


Figure D.162: Two large uranium gas centrifuges manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].



NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.22-1
 GERMANY—Research—TA—(1943--June 1946)

28596

Card & File

COPY NO. 66 *P.*

Perm.

DmH

CONFIDENTIAL

C.I.C. 75/295

10 September 1945

COMBINED INTELLIGENCE COMMITTEE

COMBINED INTELLIGENCE OBJECTIVES SUBCOMMITTEE

EVALUATION REPORT 318 (13th August 1945)

FRITZ HELDIGE & CO.
 FREIBURG - BREISGAU
 MANUFACTURERS OF ULTRAZENTRIFUGE

Source: JOLLES, Friedrich Wolfgang (44, non Aryan, never in Party)
 Stecklenbergerstr. 34
 Thals/Harz
 Source was drafted for service with the Wirtschaftsgruppe
 Feinmechanik & Optik, working for the civilian sector of the Group.

1. Fritz Hellig & Co., were the makers of an ULTRAZENTRIFUGE (ultra-centrifuge) which was designed to be used in the manufacture of a new explosive ten million times more destructive and powerful than any heretofore known.
2. The raw material used was pitchblende. The end product was a liquid which had to be charged in order to become an explosive.
3. Only a few grams of the liquid had been produced by the spring of this year, which explains why the new explosive was never used against the Allies.
4. In November 1944, the plant, originally located in a suburb of Freiburg/Breisgau, was completely bombed out. According to a Pruefungsbericht which Jolles saw, the plant was evacuated to Kandern, south of Freiburg, where the Ultra-centrifuge was set up in a little house about 300 meters from the main factory building.
5. Betriebsleiter FRITZENSCHAFT, who may be located in the suburb of Freiburg where the plant was originally located, or at Kandern, knows everything about the Ultracentrifuge and the new product.
6. Source also stated that the new explosive had important peacetime uses, since a quantity about the size of a match box contained enough energy to drive a motor car for twenty years.
7. Source believed that the new explosive was in some way related to the splitting of the atom.

CARDED

E.L. Deuss H.R. Habicht
 CIOS Team VII
 9th U.S. Army

Figure D.163: CIOS ER 318 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.22-1 GERMANY—Research—TA—(1943–June 1946)].

[Whereas conventional histories only acknowledge the existence of one wartime uranium gas centrifuge program conducted by Beyerle, Groth, Harteck, and collaborators in the Hamburg/Kiel area, there is evidence demonstrating that additional centrifuge programs existed.

For example, Günter Nagel found German documentation of a previously unknown but apparently quite significant uranium gas centrifuge program that was conducted for at least three or four years under the Army Ordnance Office [Karlsch and Petermann 2007, pp. 249–251]:]

Schumann und Diebner waren sich offenkundig schon früh darüber im Klaren, dass die Isotopentrennung eines der zentralen Probleme des Uranprogramms ist. Deshalb wurden auch Kräfte des II. PI dafür herangezogen. **So legten Werner Holtz und Werner Schwietzke Anfang 1942 ein zwei Seiten umfassendes Dokument “Ultrazentrifuge zur Trennung von Gasgemischen (Vorbericht)” vor. [...]**

Auf die Beteiligung von Holtz und Schwietzke an der Entwicklung einer Ultrazentrifuge wies auch Dr. Herbert Kunz hin. [...]

Einen weiteren Beleg für die Beteiligung von Holtz und Schwietzke an der Zentrifugenenwicklung lieferte Frau Ursula Schulze, die zu ihrer Flucht 1945 in die “neue Verlagerungsstelle des II. Physikalischen Instituts” im Schloss Zandt bei Cham im Bayerischen Wald berichtete: **“Auch Holtz und Schwietzke waren dort angelangt. Dann mussten wir alle schriftlichen Unterlagen der Kernzentrifugenforschung, an der auch Ortwin [Schulze] bei Schwietzke mitgearbeitet hatte, verbrennen. Dabei wussten wir noch nicht, dass Schwietzke Duplikate besaß, was ihn durch unsere Hilfe nach Australien weiterhalf.”**

Schumann and Diebner were obviously already aware that isotope separation is one of the central problems of the uranium program. For this reason, resources of the Second Physics Institute were used for this. **Thus in early 1942, Werner Holtz and Werner Schwietzke presented a two-page document entitled “Ultracentrifuge for the Separation of Gas Mixtures (Preliminary Report).” [...]**

The involvement of Holtz and Schwietzke in the development of an ultracentrifuge was also emphasized by Dr. Ing. Herbert Kunz. [...]

Further evidence of the involvement of Holtz and Schwietzke in centrifuge development was provided by Ms. Ursula Schulze, who reported on her escape in 1945 to the “new relocation office of the Second Physics Institute” in Zandt Castle near Cham in the Bavarian Forest: **“Holtz and Schwietzke had arrived there, too, and then we had to burn all the written records of the nuclear centrifuge research, on which also Ortwin [Schulze] had worked with Schwietzke. We did not yet know that Schwietzke possessed duplicates, which helped him in Australia.”**

[In the National Archives of Australia, Gernot Eilers found postwar documentation on Werner Schwietzke and his gas centrifuge designs, from the time period during which he emigrated to Australia.]

File on Werner Schwietzke. 1947–1951. National Archives of Australia. Series number MT105/8, control symbol 1/6/3094, barcode 934755. Note: pages are numbered in reverse order in red pencil in upper right corner. <https://recordsearch.naa.gov.au/SearchNRRetrieve/NAAMedia/ShowImage.aspx?B=934755&T=PDF>

[p. 41] Schwietzke was checked closely on his party activities. [...] I enquired from Czerny on his political past and was informed I could be sure he had not dabbled in politics any more than was necessary by his profession. Czerny did not hesitate to say he could vouch for him. This was also the opinion I formed. Schwietzke is the type who is interested in academic not political problems.

As requested I attempted to get details of the laboratory centrifuge.

The position is that due to bombing no existing centrifuge or drawings are available to Dr. Schwietzke. He does however feel he has the capacity to design a similar machine quite easily. [...]

The Centrifuge was made by PHYWE (Trade name of Physicalische Werkstatte) of Göttingen from sketches and instructions. No special drawings, and unlikely that PHYWE have useful data there he feels. [...]

As soon as the centrifuge details submitted by Dr. Schwietzke are received they will be transmitted to Australia.

H. P. Matthews.

[pp. 20–19, the end of a detailed 14-page paper written by Schwietzke in German after the war giving an apparently selective account of his early centrifuge experiments during the war:]

Da die theoretischen Berechnungen der Spannungsverteilung des mit hoher Geschwindigkeit umlaufenden Rotors nur mit einer gewissen Annäherung vorgenommen werden können, war es empfehlenswert, den genau ausgewuchteten Rotor einen Probelauf unterhalb der als kritisch errechneten Umlaufhöchstgeschwindigkeit von 65 000 U/Min. ausführen zu lassen und durch Präzisionsmessungen nach dem Lauf die evt. auftretenden Veränderungen des Rotors genauestens zu bestimmen. Nach einer beträchtlichen Anzahl von Versuchsreihen über mehrere Stunden bei 60 000 U/Min. konnte eine Verformung des Rotors niemals festgestellt werden, so dass eine ständige Betriebsdrehzahl von 56 000 U/Min. bei den vorgesehenen Versuchen ohne Gefahr gewählt werden konnte.

Diese wenig Platz und Aufwand erfordernde Ultrazentrifuge hat sich in der Praxis ausserordentlich gut bewährt.

Since the theoretical calculations of the stress distribution of the rotor rotating at high speed can only be carried out with a certain approximation, it was recommended that the precisely balanced rotor be subjected to a test run below the maximum rotational speed of 65,000 rpm, which was calculated as critical, and that any changes in the rotor be precisely determined by precision measurements after the run. After a considerable number of test series over several hours at 60,000 rpm a deformation of the rotor never could be detected, so that a constant operating speed of 56,000 rpm could be selected for the intended tests without danger.

This ultracentrifuge, which requires little space and effort, has proven itself extraordinarily good in practice.

[Werner Schwietzke and his uranium gas centrifuges clearly existed, as shown by the German and Australian evidence, yet they had been completely forgotten by history. The fact that Werner Grothmann mentioned the importance of Schwietzke and his wartime work [p. 3743] strongly supports both the authenticity and the usefulness of the Werner Grothmann interview transcript.

In contrast, the fact that Erich Schumann neglected to mention Schwietzke and his centrifuges in his postwar writings, even though most of that work was conducted directly under Schumann, suggests that Schumann deliberately omitted major people and programs from his writings to make the wartime German program appear much smaller and much less advanced than it actually was.

German gas centrifuges were produced by:

- Anschütz in Kiel (pp. 3512–3533), which had decades of experience making advanced gyroscopes (p. 1510).
- PHYWE (Physicalische Werkstatte) in Göttingen (p. 3561), which also made extremely advanced liquid centrifuges for biochemical research (pp. 2409–2411).
- Linde Eismaschinen in Munich (pp. 3516–3525), which had decades of experience with gas handling and rotating compressor machinery.
- Hellige in Freiburg (pp. 3530–3558).
- Hellige in Breslau/Wrocław (p. 4567).
- One or more factories in Switzerland for export to Germany (pp. 3563–3566). This was reported by Constantin Chilowsky (Russian/French/Swiss, 1880–1958), a distinguished scientist with decades of experience working on sonar and a wide variety of other technologies, who said he had personally seen the factory and the uranium centrifuges.
- Quite possibly other locations as well.

How many uranium gas centrifuges were produced by or for Germany during the war? At what sites were they installed and operated? How much enriched uranium did they produce in total, and how highly enriched was it? Can files that would answer these questions be located in various national archives and declassified?

Centrifugation proved so superior to the U.S. Manhattan Project’s enrichment methods that the German gas centrifuge designs are now the worldwide standard for uranium enrichment. The evidence clearly demonstrates that the technology was developed and demonstrated over the course of the war by German scientists and engineers, and spread by German scientists and engineers (as well as the prototypes and documentation they had produced) to other countries after the war. The Soviet Union was one of those countries to which the technology spread (via scientists such as Max Steenbeck and Gernot Zippe), but not the origin of the technology [Helmbold 2016; Kemp 2009, 2012, 2017; NYT 2004-03-23].

Just as most of these German centrifuge programs were kept so quiet during World War II and in all the decades afterward, it is entirely possible that other major wartime programs on advanced nuclear or other technologies are still unknown or poorly understood.]

H. T. Wensel to Robert Furman. 14 March 1944. See document photos on pp. 3564–3566. [NARA RG 227, Microfilm M1392, Bush-Conant File Relating to the Development of the Atomic Bomb, <https://downloads.paperlessarchives.com>, pp. 6084–6089.]

March 14, 1944

MEMORANDUM

TO: Major R. R. Furman

FROM: H. T. Wensel

This memorandum will put on record the information which I gave you orally yesterday.

Dr. H. C. Urey of Columbia University was approached through a Professor Perrin, who was then an exchange Professor in the Chemistry Department at Columbia University, on behalf of one Constantin Chilowsky. Chilowsky was desirous of selling an invention, the exact method never disclosed to us, for accomplishing the same purpose which the Manhattan District is seeking to. Professor Urey indicated that he was not interested in the matter but passed the information on to the OSRD, and I was asked to interview Chilowsky by Dr. Conant to see what I could find out. I used my credentials as a member of the National Bureau of Standards and indicated to Chilowsky and Professor Perrin that I had no other government connection.

Chilowsky was a Swiss and refused to divulge even the approximate nature of his method but, inasmuch as I indicated that the government would be apathetic to the idea until shown that something practical was involved, in order to “sell” me on the importance of the job, he indicated to me that the Germans were actively engaged on the same objective. In particular, he told me he had personally seen in a factory in Switzerland centrifuges which were being produced to be sent to Germany for the Germans’ work on this field.

Chilowsky also told me that he had a moral and financial obligation to offer first crack at his invention to the British group of Halban. It seems that Halban and his group had some part in developing the invention in question. Halban is at present with the British team in Montreal, and it may be that Chilowsky’s whereabouts can be traced through Halban if no other means of approach is available.

[A Swiss factory was producing uranium centrifuges and sending them to Germany, apparently in 1942 or 1943; details are still classified.]

Constantin Chilowsky (Russian/French/Swiss, 1880–1958) was a distinguished scientist with decades of experience working on a wide variety of technologies ranging from sonar to fission reactors:

Constantin Chilowsky [obituary]. *New York Daily News*, 1 July 1958, p. 386.

<https://www.newspapers.com/article/daily-news-death-of-constantin-chilowsky/114034053/>

Technology Mobilization: Hearings Before a Subcommittee of the Committee on Military Affairs. United States Senate. 1942. December 12, 14, 17-19. Washington, DC: U.S.

Government Printing Office. p. 631: Constantin Chilowsky.

<https://books.google.com/books?id=LzoTAAAAIAAJ&pg=PA631>

Thus Chilowsky was a thoroughly qualified and highly reputable source, and he said that he had personally seen the factory and the uranium centrifuges. His story was considered credible and important by French nuclear physicist Francis Perrin and Manhattan Project scientists Harold C. Urey and H. T. Wensel.]

American Documents
DECLASSIFIED
8/20/8
MHC 2/6/89

British Documents
DECLASSIFIED
DCE 8803442A-HS
MHC 2/6/89

NARA RG 227, Microfilm M1392,
Bush-Conant File Relating to the
Development of the Atomic Bomb

Ex-100

SECRET

-35-

March 14, 1944

MEMORANDUM

TO: Major R. H. Furman

FROM: H. T. Wensel

This memorandum will put on record the information which I gave you orally yesterday.

Dr. H. C. Urey of Columbia University was approached through a Professor Perrin, who was then an exchange Professor in the Chemistry Department at Columbia University, on behalf of one Constantin Chilowsky. Chilowsky was desirous of selling an invention, the exact method never disclosed to us, for accomplishing the same purpose which the Manhattan District is seeking to. Professor Urey indicated that he was not interested in the matter but passed the information on to the OSRD, and I was asked to interview Chilowsky by Dr. Conant to see what I could find out. I used my credentials as a member of the National Bureau of Standards and indicated to Chilowsky and Professor Perrin that I had no other government connection.

Chilowsky was a Swiss and refused to divulge even the approximate nature of his method but, inasmuch as I indicated that the government would be apathetic to the idea until shown that something practical was involved, in order to "sell" me on the importance of the job, he indicated to me that the Germans were actively engaged on the same objective. In particular, he told me he had personally seen in a factory in Switzerland centrifuges which were being produced to be sent to Germany for the Germans' work on this field.

Chilowsky also told me that he had a moral and financial obligation to offer first crack at his invention to the British group of Halban. It seems that Halban and his group had some part in developing the invention in question. Halban is at present with the British team in Montreal, and it may be that Chilowsky's whereabouts can be traced through Halban if no other means of approach is available.

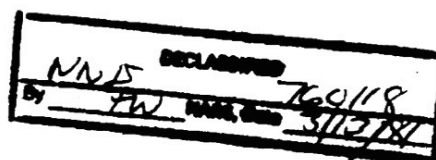


Figure D.164: A Swiss factory was producing uranium centrifuges and sending them to Germany, apparently in 1942; details are still classified. [H. T. Wensel to Robert Furman, 14 March 1944. NARA RG 227, Microfilm M1392, Bush-Conant File Relating to the Development of the Atomic Bomb, <https://downloads.paperlessarchives.com>, pp. 6084-6089.]

British Documents

DECLASSIFIED
DOE 8803942A-HS
BY MHC DATE 2/6/89

American Documents

DECLASSIFIED
812018
BY MHC DATE 2/6/89

NARA RG 227, Microfilm M1392,
Bush-Conant File Relating to the
Development of the Atomic Bomb

Major R. R. Furman

-2-

March 14, 1944

SECRET

Subsequent to this, we received a cable from England asking information about a patent which Chilowsky was supposed to have filed in this country under a given serial number. The enclosed letter, which I wrote to the English group, will explain our lack of success in identifying the patent application in question.

H. T. W.

Enclosure

HTW:bpc

Figure D.165: A Swiss factory was producing uranium centrifuges and sending them to Germany, apparently in 1942; details are still classified. [H. T. Wensel to Robert Furman, 14 March 1944. NARA RG 227, Microfilm M1392, Bush-Conant File Relating to the Development of the Atomic Bomb, <https://downloads.paperlessarchives.com>, pp. 6084-6089.]

British Documents

DECLASSIFIED
DOE 8803942A-HS
By MHC DATE 2/6/89

①

American Documents

DECLASSIFIED
812018
By MHC DATE 2/6/89

NARA RG 227, Microfilm M1392,
Bush-Conant File Relating to the
Development of the Atomic Bomb

1/2/5RD

ACCESS RESTRICTED

The item identified below has been withdrawn from this file:

File Designation Eldorado, C.R. & U. Co. DSMDate 23 Oct. '42From U.K. ~~USA~~Subj: B. Prigel & C. Cholewsky

In the review of this file this item was removed because access to it is restricted. Restrictions on records in the National Archives are stated in general and specific record group restriction statements which are available for examination. The item identified above has been withdrawn because it contains:

☒ Security-Classified Information☐ Otherwise Restricted InformationDOE

Authority

1972 (64AEC)

Date

GENERAL SERVICES ADMINISTRATION

GSA Form 7117 (2-72)

Figure D.166: A Swiss factory was producing uranium centrifuges and sending them to Germany, apparently in 1942; details are still classified. [H. T. Wensel to Robert Furman, 14 March 1944. NARA RG 227, Microfilm M1392, Bush-Conant File Relating to the Development of the Atomic Bomb, <https://downloads.paperlessarchives.com>, pp. 6084-6089.]

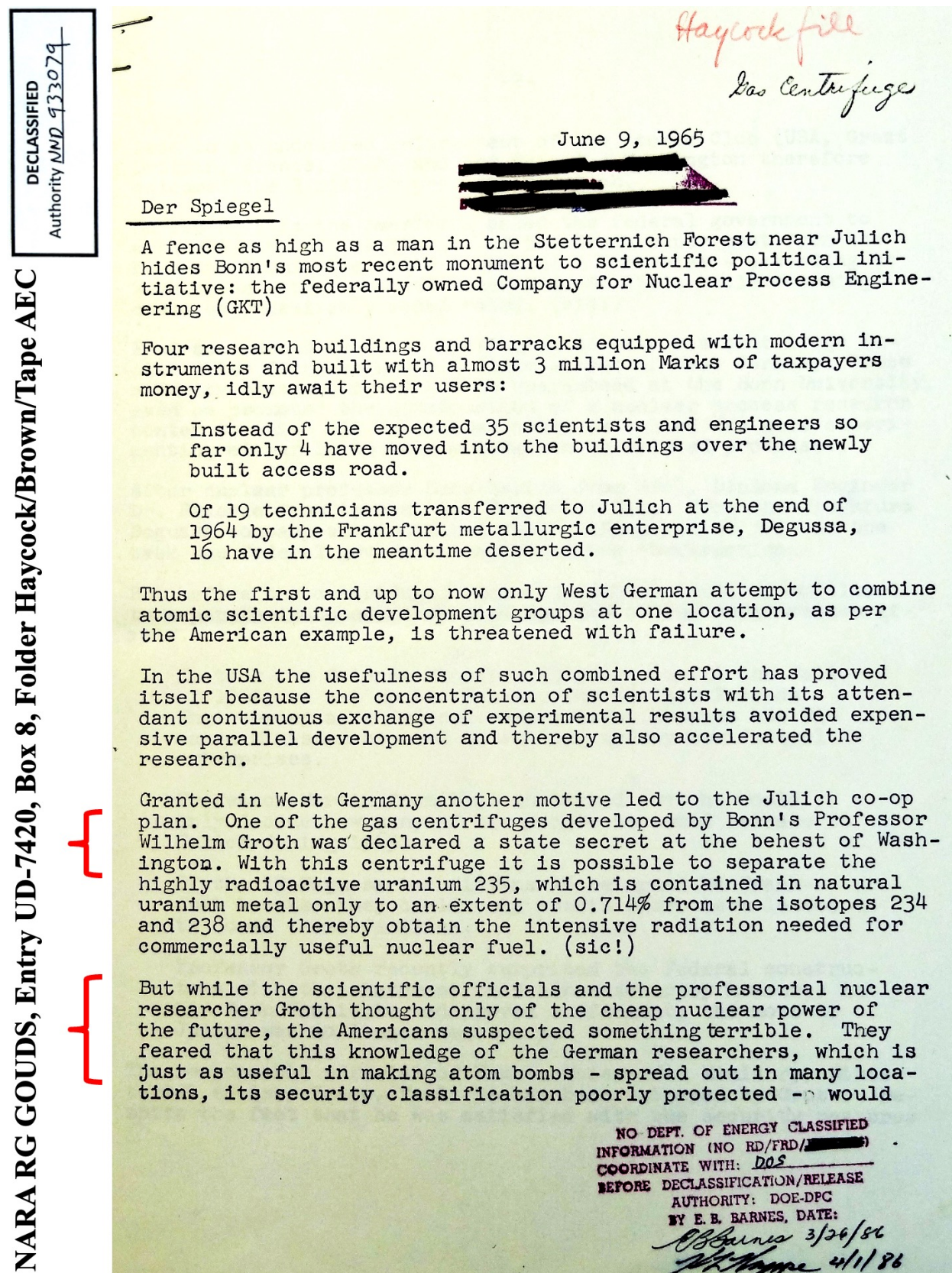


Figure D.167: Samuel Goudsmit's personal copy of an English translation of *Der Spiegel*, 8 June 1965, Kernforschung von hinten [NARA RG GOUDS, Entry UD-7420, Box 8, Folder Haycock/Brown/Tape AEC; <https://www.spiegel.de/politik/von-hinten-a-359489f2-0002-0001-0000-000046272934>]. The uranium gas centrifuges developed by Hans Martin, Wilhelm Groth, Konrad Beyerle, and other German-speaking experts during the war ultimately became the worldwide preferred method of uranium enrichment despite Goudsmit's best efforts to suppress them (p. 3307).

-2-

lead to an undesired enlargement of the Atomic Club (USA, Great Britain, France, USSR, and Red China). Washington therefore welcomed the 3 million project in Julich.

On top of this the Americans asked the federal government to withhold many of the results of the Groth experiment from the European Atomic Community (Euratom). Otherwise - according to Washington - the tempo of General de Gaulle's nuclear arming could be undesirably accelerated. (sic!)

Professor Groth found it flattering to have his centrifuge declared the first scientific state secret of West Germany. Since security measures could not be guaranteed at the Bonn University, even he promoted the construction of a nuclear process research center to which all associates could be called who were experimenting either in isotope separation or related processes.

After nuclear professor Hans Martin from Kiel, Diploma Engineer Dr. Beyerle from Aachen, and Scientist Zippe from the Frankfurt Degussa company all indicated their willingness to join in the task the federal government approved the construction.

But before the centrifugal forces in Julich could be mobilized to separate isotopes, they were applied to the organization itself.

It took the Science Ministry $3\frac{1}{2}$ years, until the Fall of 1964, to set up the Company for Nuclear Process Engineering as a federal corporation, because the Finance Minister opposed to setting up any new federal enterprises.

Professor Martin from Kiel indicated that he would only decide how many of his people he would release to Julich during 1965.

Of the 19 Degussa technicians 16 returned to Frankfurt because they could only obtain short term leases to house their families.

Professor Groth recently surprised the Federal constructors with the statement that since security measures in his Bonn Institute had proved sufficient, the move to Julich was no longer necessary.

The responsible official of Bonn's Scientific Ministry, Ministerial Advisor Haase, feels he has been betrayed by Groth. Despite the fact that he was satisfied with the security measures

-3-

at the University "very early", he (Groth) silently let the construction work continue. According to Haase he even demanded, as late as the middle of last year, that a roomy front office for himself plus seven rooms for his staff be included in the plans.

Binding contracts, with which the Scientific Ministerial-Advisor could still set the independently-minded Professors into motion toward Julich, don't exist.

Diploma Engineer Beyerle, who, as scientific supplier to the Groth group, now too will remain where he is in Aachen, opines that, "People in government often start things from the rear and then afterwards wonder why the front end doesn't fit."

NARA RG GOUDS, Entry UD-7420, Box 8, Folder Haycock/Brown/Tape AEC

DECLASSIFIED

Authority NND 933079

Figure D.168: Samuel Goudsmit's personal copy of an English translation of *Der Spiegel*, 8 June 1965, Kernforschung von hinten [NARA RG GOUDS, Entry UD-7420, Box 8, Folder Haycock/Brown/Tape AEC; <https://www.spiegel.de/politik/von-hinten-a-359489f2-0002-0001-0000-000046272934>]. The uranium gas centrifuges developed by Hans Martin, Wilhelm Groth, Konrad Beyerle, and other German-speaking experts during the war ultimately became the worldwide preferred method of uranium enrichment despite Goudsmit's best efforts to suppress them (p. 3307).

Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316.
[<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]

In November 1946, [long redacted phrase] turned to centrifuge development. [...] It must be noted that a centrifuge for isotope separation had been Steenbeck's idée fixe ever since he came to Sinop. Even before he came to Sinop, he seems to have suggested to the Soviet a centrifuge with extremely long rotors[...]

[See document photos on pp. 3570–3584.

This report comes from the 1957 U.S. interrogation of Gernot Zippe. See p. 3585.

Regarding Max Steenbeck, Gernot Zippe, and other German-speaking scientists who were involved in building uranium gas centrifuges for the postwar Soviet nuclear program, just exactly what involvement or knowledge did they have concerning the wartime German development of uranium gas centrifuges?

For example, from the above passage from this report, it sounds as if Steenbeck already had great confidence in and knowledge about uranium gas centrifuges immediately after the war.]

C00010316

[illegible]

UNCLASSIFIED

**Gernot Zippe. 22 May 1957.
The Problem of Uranium
Isotope Separation by Means
of Ultracentrifuge in the USSR.
CIA Report EG-1802. C00010316.
<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>**

UNCLASSIFIED

REPORT NO. EG-1802
JAN 13 1957
DATE DISTR. 22 MAY 1957
NO. OF PAGES 60
NO. OF ENCLS. LISTED BELOW
SUPPLEMENT TO REPORT NO.

COUNTRY USSR
SUBJECT The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR
PLACE ACQUIRED [REDACTED]
DATE ACQUIRED BY SOURCE Mid-1946 to September 1956
DATE OF INFORMATION 1945 to September 1956

THIS IS UNEVALUATED INFORMATION

SOURCE [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

UNCLASSIFIED

Figure D.169: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]

Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316. <https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf> C00010316


UNCLASSIFIED

02

EX-1502

TABLE OF CONTENTS

<u>TIMETABLE OF HIGHLIGHTS IN CENTRIFUGE DEVELOPMENT</u>	4
<u>INTRODUCTION</u>	5
<u>ORGANIZATION OF SOVIET ATOMIC RESEARCH</u>	6
<u>ORGANIZATION OF THE THEORETICAL DEPARTMENTS IN SIBUR</u>	10
Von Ardenne - Electromagnetic Separation Method	11
Thiessen - Gaseous Diffusion Method	12
Steenbeck Group	13
<u>ORGANIZATION AFTER 1950</u>	14
<u>EARLY NONCENTRIFUGE ACTIVITY OF THE STEENBECK GROUP</u>	15
Troopfehen Methods	15
Radiation Enrichment Measurement Method	16
Centrifuge Enrichment Measurement Method	16
Steenbeck's Consultanship with Ariselmoich	16
<u>CENTRIFUGE DEVELOPMENT WORK IN SIBUR</u>	17
Mechanical Proof of the Centrifuge	17
Isotone Separation by Centrifuges	18
Steenbeck's Separation-Test Centrifuge	18

	UNCLASSIFIED	EQ
		
		ED-1002
<u>The Point-Bearing Centrifuge</u>		24
<u>Small Factory Centrifuge Project</u>		26
Negotiations with Beriya		26
Description of the Long-Rotor Centrifuge		28
Assembly and Test of Long-Tube Centrifuge		31
Operation of Long-Tube Centrifuge		33
<u>CENTRIFUGES AS COMPETITION TO GASEOUS DIFFUSION</u>		34
Transfer to Leningrad		34
Organization in Leningrad		36
Technical Activities in Leningrad		37
Description of the Short-Tube Centrifuge		38
Assembly and Test of Short-Tube Centrifuge		42
Costs		43
Operation of the Short-Tube Centrifuge		43
<u>QUANTITATIVE PERIOD OF THE STEPNIEK GROUP</u>		46
<u>CHRONOLOGY OF STEPNEK'S THEORETICAL WORK</u>		47
<u>ACTIVITIES OF KAMNEV</u>		48
<u>CONJECTURES ON SOVIETS' FUTURE PLANS IN CONNECTION WITH THE CENTRIFUGES</u>		49
<u>SITE LAYOUT OF KINOG PLANT IN LENINGRAD</u>		52
<u>Memorandum for GDS-32</u>		54
<u>BRUPE SUMMARY OF SOVIET PERSONALITIES</u>		59
<u>CODE WORDS</u>		60

TIMETABLE OF HIGHLIGHTS IN CENTRIFUGE DEVELOPMENT

1946	March 1946	Steenbeck group organized in Sinoop.
	November 1946	Centrifuge project initiated in Sinoop by source. Steenbeck leaves for Artselovitch's Laboratory 2 in Moscow.
1947	November 1947	Mechanical return for centrifuge study by source. Steenbeck returns from Laboratory 2 in Moscow to Sinoop.
1948	Spring 1948	Construction of separation apparatus with concrete rotors.
	June 1948	Stendal assigned the design and construction of separation apparatus with point bearing.
1949	March 1949	Stendal assigned the design and construction of separation apparatus with hollow tube and point bearing.
	April 1949	Successful tests with Stendal's and source's centrifuges.
	June 1949	Steenbeck report to Bariza suggesting the use of centrifuge plant as topping for gaseous diffusion plant.
1950	September 1950	Beginning of five-motor low rotor centrifuge for topping plant. "Small factory."
1951	January 1951	Steenbeck group obtains results with a three-motor rotor which they had produced for a five-motor rotor.
		Meeting of Technical Council in Moscow. Steenbeck suggests that centrifuge is ripe for technological application and is rebuked by Malyshev.
		Steenbeck leaves from Khimisson that Soviets have solved problem of gaseous diffusion plant without centrifuge.
		Endurance tests with centrifuge.

September 1951* Steenbek and Schaeffer and best qualified Soviet assistants, together with centrifuge equipment, transferred from Sinoep to Kirov plant in Leningrad.

January 1952* Steenbek transferred to Kirov Plant in Leningrad. Kirov plant group ordered to build two centrifuge batteries of six long-tube units each.

March 1952* Steenbek refuses to work on long-rotor centrifuges and begins work on short-tube centrifuges. Development of scope and molecular pump.

June 1952* Details of long-rotor centrifuge project.

August 1952* Steenbek completes construction of 25-cm centrifuge and obtains satisfactory separation results with low power consumption.

March 1953* Technical Council meeting at which it is intimated that Steenbek group's centrifuge are selected over Kasevich's.

May 1953* Separation tests on 45-cm centrifuge continued by Soviets who plan construction of three more 45-cm centrifuge units. Withdrawal of Steenbek group from work in Kirov Plant. Beginning of quarantine period.

September 1953* Steenbek group transferred from Leningrad to Kirov for work in Physical Institute of the Academy of Sciences. Quarantine period.

26 July 1956 Departure of Steenbek group from Soviet Union. Seizure of 30,000 rubles loan to Steenbek group (20,000 rubles to each of six scientists).

Notes: All dates marked with an asterisk should probably be plus one year, as is indicated from the chronology obtained from [redacted] STIR Report GLB/8056/189, dated 12 October 1976. In source's recollection of events after the beginning of 1951, he seems to have lost a year. Dates in the timetable above and throughout the body of the report, however, have been recorded as source gave them. It is hoped that the discrepancy in chronology can be cleared up in future interrogation of source.

Figure D.170: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]

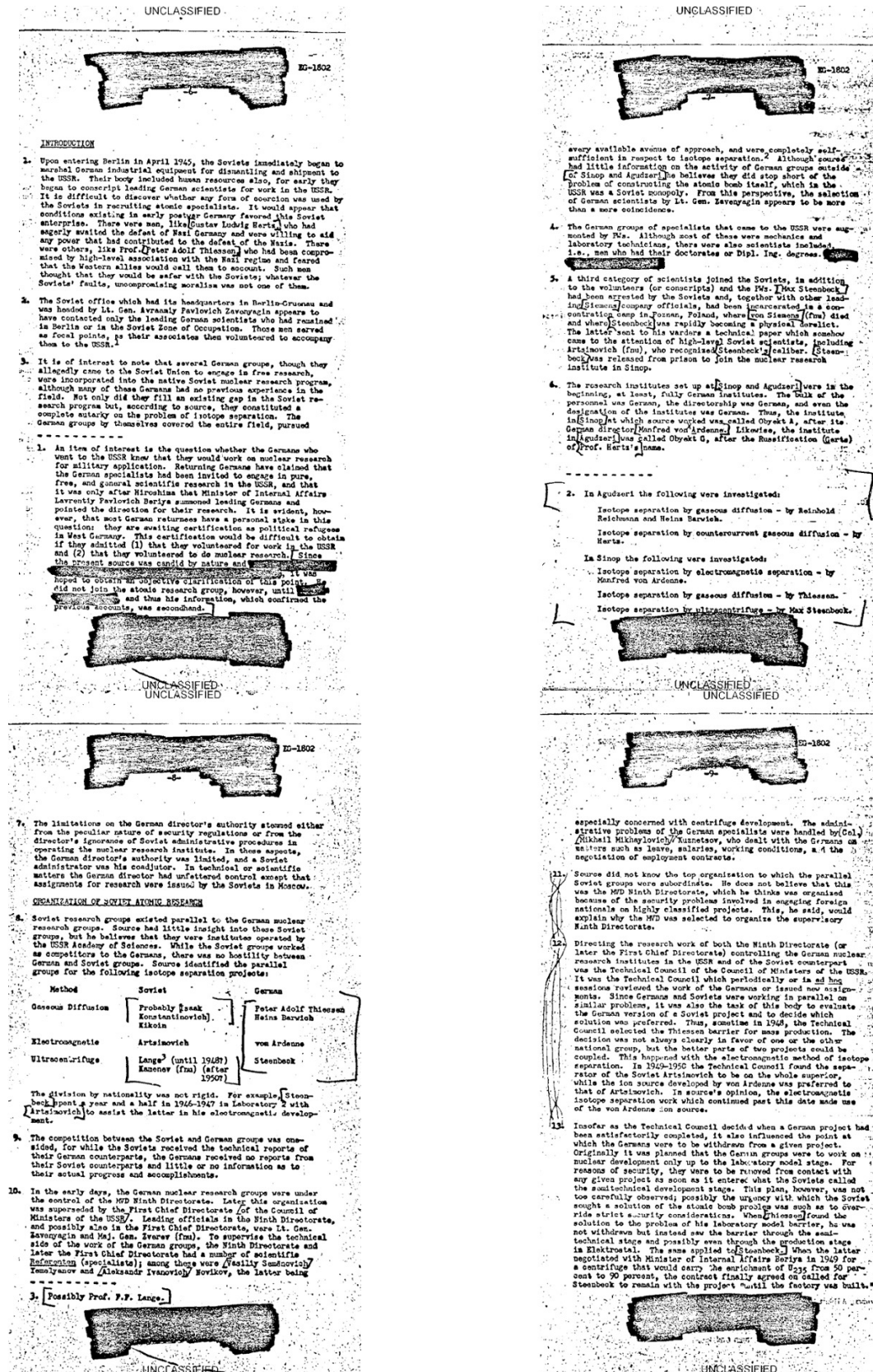


Figure D.171: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf]

Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316. <https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf> C00010316

UNCLASSIFIED

E-1802

-10-

14. Source is convinced that the German atomic research groups in the USSR constituted a very important part of the Soviet nuclear research effort. He does not believe that there was a peripheral role, such as training Soviet scientists or preparing reports leading to other work. The Soviets might eventually turn whenever their own efforts had led to a cul-de-sac. For this reason, he is convinced that the Germans operated with real figures on corrosion and immediate safety problems. For example, the external dimensions of the barrier, the pressure ranges, and the corrosion properties given by [redacted] the Soviets were real ones, and so were the experiments with which [redacted] boreal in his calculations pertaining to the gaseous diffusion cascade. That the Germans were not working in a theoretical vacuum but were in the midst of the actual Soviet problem becomes extremely clear if one attempts to ignore, from the circumstantial surroundings surrounding the assignment to teach about the centrifuge "small factory" in 1944. [redacted] knew that the Soviets were willing to pay any price in order to obtain weapons-grade material, and that their gaseous diffusion plant was not producing U²³⁵, with an enrichment greater than 50 to 60 percent. He refused to negotiate with anyone but Beriya, for he wanted someone close (of a personal nature) which no one in the USSR with whom the Germans had dealt up to that time, i.e., Lt. Gen. Zengenberg or the men of the Technical Council, could give. Beriya summoned Stenbeck and agreed to his demands. This, source repeated time and again, was evidence that the Germans were working not on a problem of secondary importance but were in the midst of the actual Soviet atomic effort, and that the leading Germans, i.e., Thiesen, Stenbeck, Hertz, Barwich and possibly von Ardenne, knew at every stage of the game the exact nature of the Soviet program. There is only one limitation to this categorical statement. All Germans were operating with a specification for a yield of one kilogram of U²³⁵ metal per day. Although the Soviets did not, and could not, operate with an unknown factor on the technical specifications concerning pressure range, corrosion properties, etc., they could and most likely did operate with such a factor in respect to production. Source is convinced that he has seen many papers on gas separation processes, and that this factor, at least in the early period, was less rather than more than one kilogram.

ORGANIZATION OF THE TECHNICAL DEPARTMENTS IN SINGOR

15. The first German group to arrive in Singor was the one headed by [redacted] von Ardenne, with whom [redacted] worked in June 1945. He had been invited by the Soviets to the USSR for consultations, and once there either was not permitted to return or was investigated intently. Von Ardenne had been asked to come to assist in establishing a laboratory where one instructed by von Ardenne to prepare the equipment of the Institute in Berlin-Lichterfelde for shipment to the USSR and to collect whatever he needed for his work under von Ardenne in the USSR. Among the German scientists that joined von Ardenne were Bernhardt, Herbert Reibolds, and Gerhard Jager.

16. Later in 1947, [redacted] arrived with his group which included [redacted] Werner Wittmann, Hans Bartel, and Ludwig Fiehl. Though [redacted] von Ardenne had been asked to come to assist in establishing a laboratory where one instructed by von Ardenne to prepare the equipment of the Institute in Berlin-Lichterfelde for shipment to the USSR and to collect whatever he needed for his work under von Ardenne in the USSR. Among the German scientists that joined von Ardenne were Bernhardt, Herbert Reibolds, and Gerhard Jager.

4. For details, see page 25.
5. Ludwig Albert Wilhelm Fiehl is RDD-359.

UNCLASSIFIED

E-1802

-12-

Thiesen - Gaseous Diffusion Method

In connection with gaseous diffusion isotope separation we encounter the exception to the rule stated earlier as to competition between the Germans in the USSR. [redacted] Reichman (died in 1948) working independently had also chosen this as his topic. Thiesen's barrier was completed sometime around 1947. In the opinion of source, the gaseous diffusion method, especially Thiesen's barrier, was superior to all others. It is the opinion of source, however, that the USSR which yielded satisfactory results. From the Czech Report it was known that this was also the method which was used in the US; the Soviets, who have previously regarded the isotope separation race as open even though they decided upon it to put all available resources into the gaseous diffusion method. Bypassing security principles, they permitted the Germans to continue with the project past the laboratory model stage. After 1949, [redacted] frequently came from Singor to help Thiesen experimentally introduce the barrier in large scale production. Sometime in 1950, the [redacted] group began experimenting on corrosion and desiccation. These experiments were successful. An initial announcement of this success problem encountered in the Soviet's gaseous diffusion cascade in Kefirstadt (Kafk-Ravinsky), N 57-15, 11-60-17. For this purpose, they were supplied with [redacted] as used in the cascade....the pump came from the cascade." Without being able to recall any technical details, source stated that the final report submitted to the [redacted] Ministry was successful. This experiment, according to source, showed "that the cascade could not operate." Source does not know, however, whether this experiment was carried out based on original work of the [redacted] group in Singor or simply a check performed by the [redacted] group experimental findings obtained elsewhere. Source learned nothing on the problem of corrosion. Source learned from [redacted] much about the latter's work, although during the very brief introduction he was unable to discuss [redacted]. [redacted] Barovich collaborated very closely with Thiesen, and very early and for a long time occupied himself with calculations for a gaseous diffusion cascade. Source has only hearsay information about them. Speculations, but he believes that he heard from Barovich or Thiesen that the Soviet cascade operated with a pressure between 10⁻² to two millimeters of mercury.

8. According to source, the decision was made by the Technical Council in 1949 "plus or minus one year." From Fiehl's Report No. E-1758 it is evident that the Thiesen barrier was introduced into Izod 12, Elektrostroi in mid-1953, which seems to indicate that the Technical Council's decision came earlier than 1949.

9. [redacted]

256
327

[illegible]

Figure D.172: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]

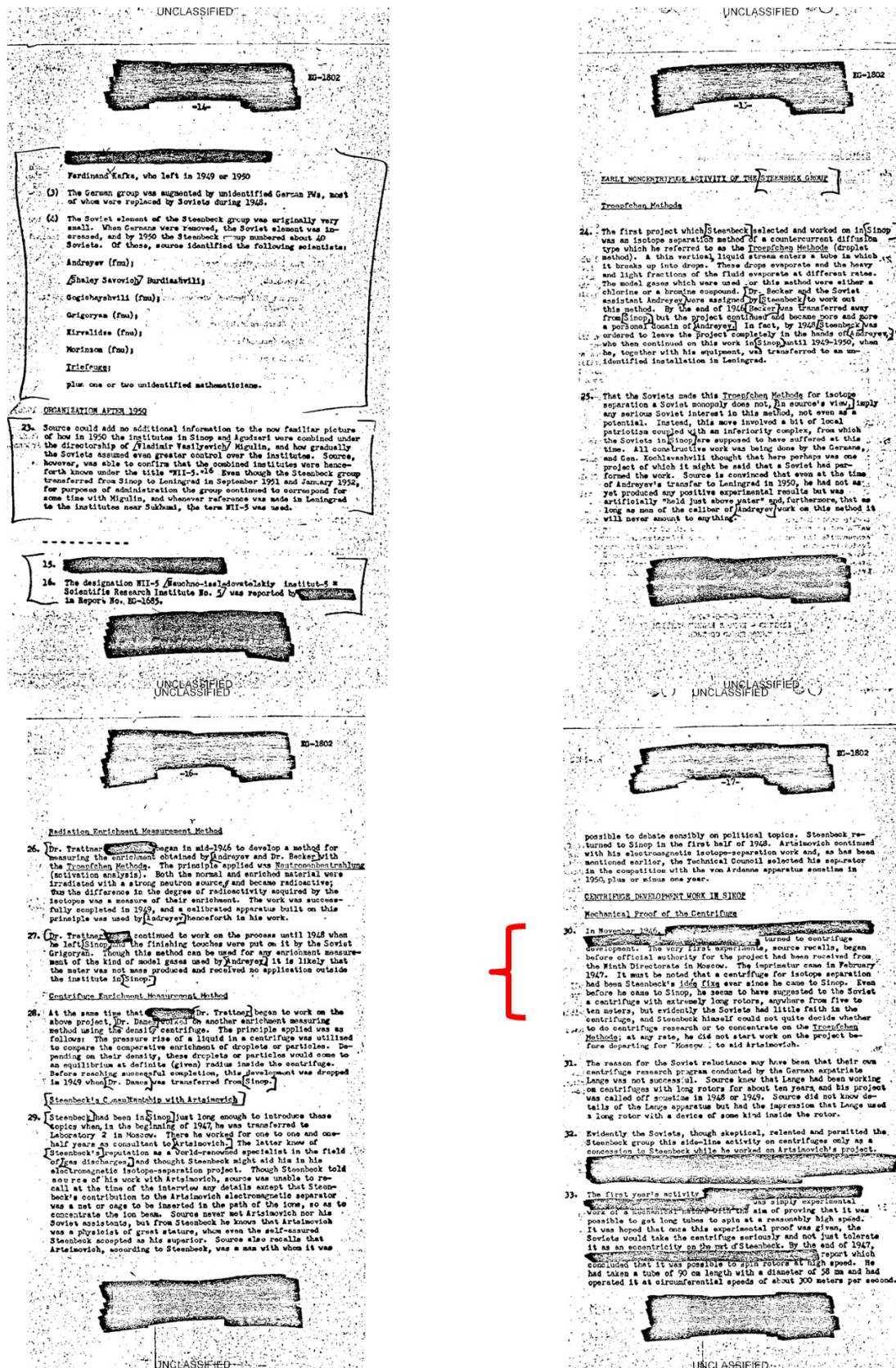


Figure D.173: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf]

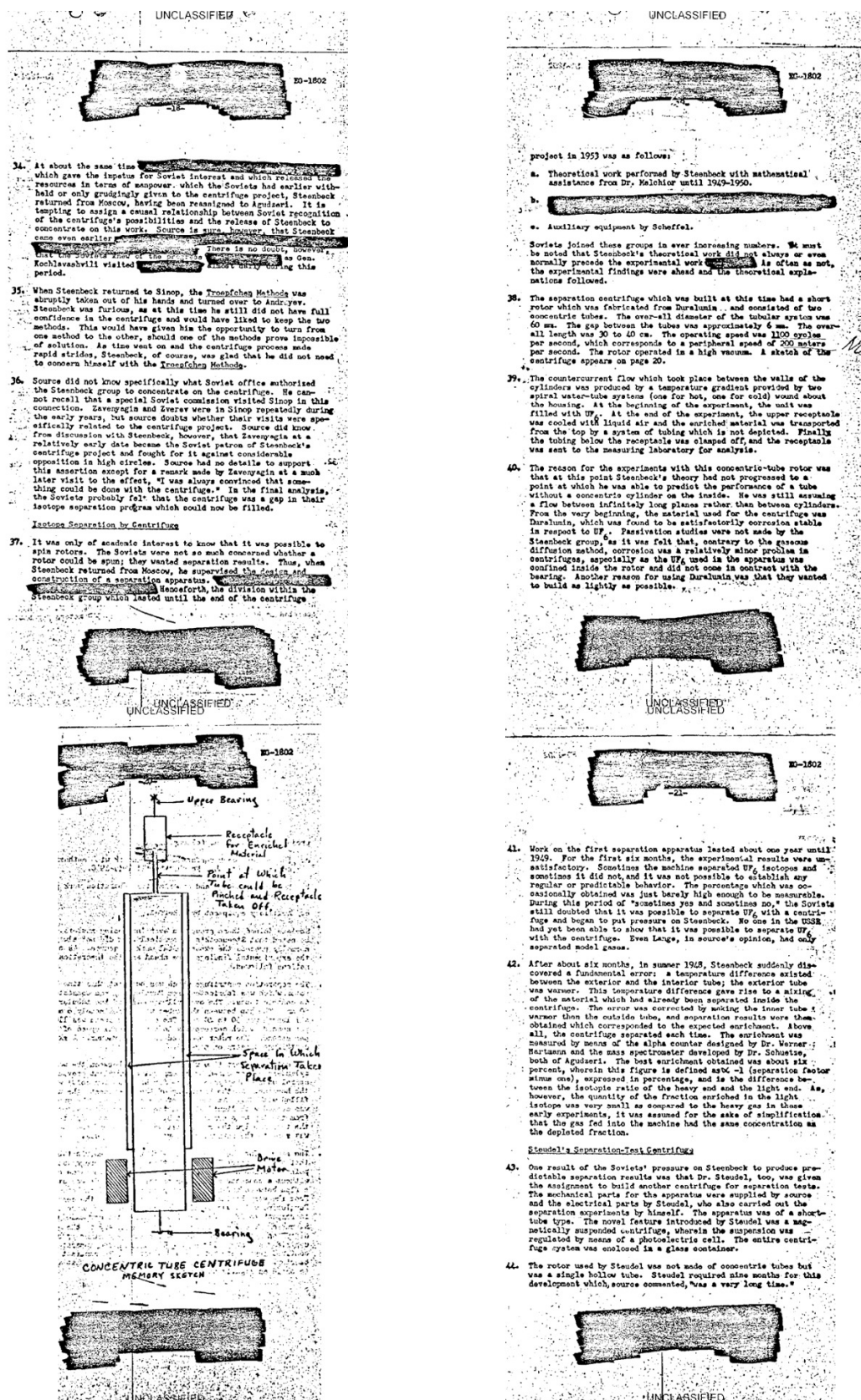


Figure D.174: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf]

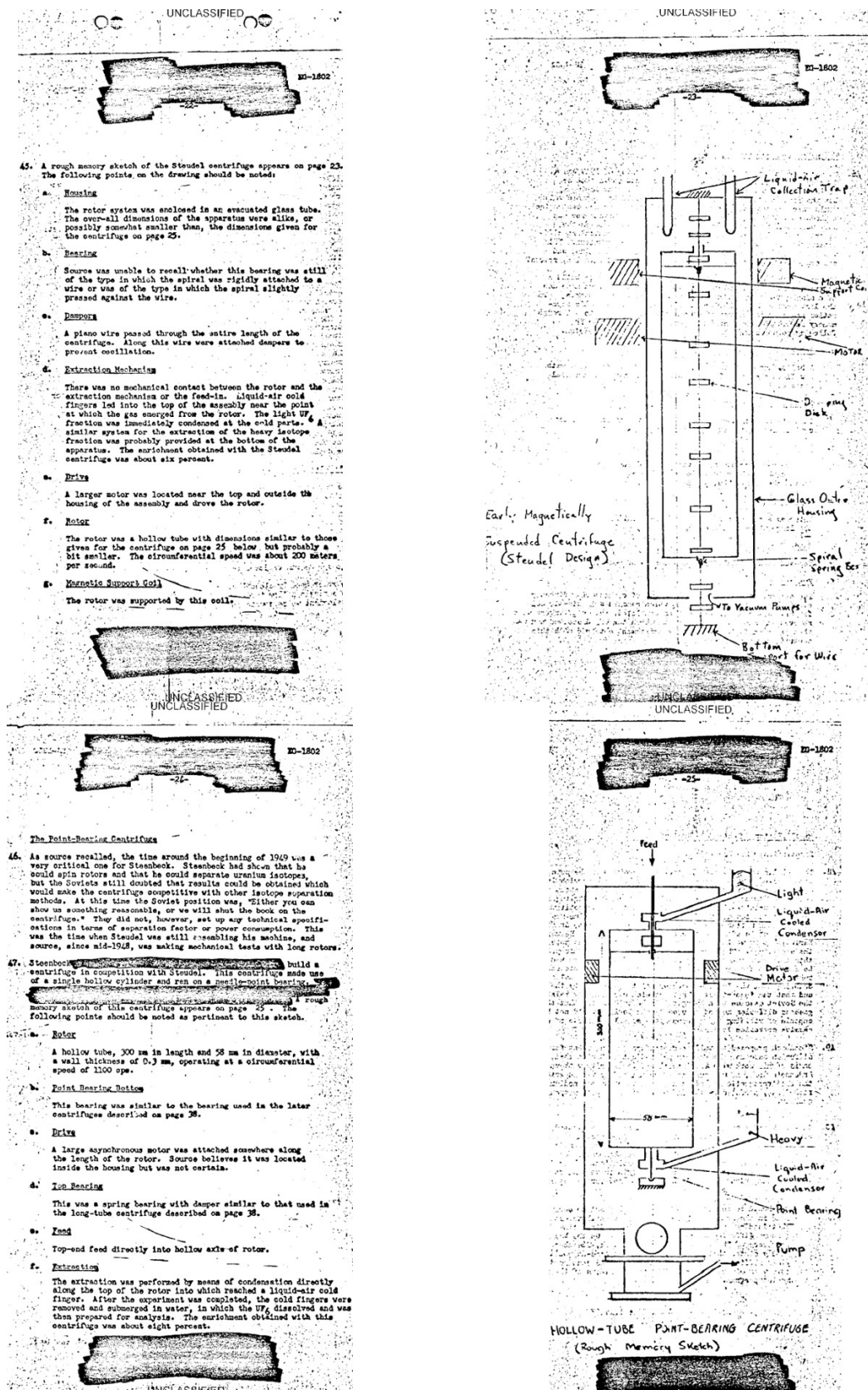


Figure D.175: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf]

UNCLASSIFIED

E-1502

-25-

"Small Factory" Centrifuge Project

Negotiations with Beriya

48. The results obtained with Staudel's apparatus and the point-bearing apparatus were discussed together with Staudel's calculations on losses due to gas leakage at about this time, convinced Steenbeck of the feasibility of using centrifuges as a means of uranium-isotope separation and of its competitive status vis-a-vis gaseous diffusion. He thought that the time was now ripe to push this matter with the Soviets. He, therefore, drafted a report which he addressed directly to L. P. Beriya. He earned Beriya that it would be indefensible to disregard the potential of the centrifuge. The circumstances in the Soviet atomic program at this time were favorable for Steenbeck. From Tishchenko and Barvich he knew that the cascade built on the basis of the Thimison barrier must, at this point, be encountering extremely high costs. Never doubting that the Thimison barrier was the one used by the Soviets and that the theoretical work of Barvich was actually related to the Soviet cascade thus being built, he told Beriya that the gaseous diffusion method as used by the Soviets would not be capable of yielding any weapons-grade material because of excessive corrosion losses.

49. Steenbeck proposed to build a centrifuge topping plant for the diffusion cascade. He further pointed out to Beriya that, on the basis of his work with Aristarkovich and familiarity with von Ardenne's work, he was sure that the centrifuge was superior to the electromagnetic method as an agent to bring the sodium enriched U₂₃₅ produced by the diffusion cascade up to weapons-grade quality.

50. Steenbeck had turned directly to Beriya because he wanted to have concessions of a personal nature and realized that Beriya alone could make them. He gambled that the Soviet preference with the diffusion cascade was such as to make them ready for any concessions in order to get a satisfactory solution. While Steenbeck definitely went over the head of Tishchenko in connection with this topping plant proposal, he did not, however, go against the wishes of the latter.

51. It should be noted that Steenbeck's proposal to Beriya was made in the summer of 1949. It was not until November 1949 that leading Germans were shown, for the first time, the gaseous diffusion cascade in Kazzifratz. On the basis of his knowledge of Tishchenko's and Barvich's work, Steenbeck confidently stated that the Soviet diffusion cascade was not yet yielding sufficiently high enrichment. He was convinced that this work of the Germans reflected the status of the native Soviet program.

UNCLASSIFIED

E-1502

-26-

52. Beriya agreed on all points and, to Steenbeck's surprise, offered to return him his wife and the rest of his family at the same time that his daughter left for Germany.¹⁹

53. In the period that followed, all resources required by Steenbeck were put at his disposal. The best measure of this can be obtained in terms of the man hours made available and the total monetary cost of the project. Whereas earlier Steenbeck received workshop time at the Sigmund Institute only grudgingly (about 500 hours per month), after the Beriya meeting he was given 3,000 hours per month of workshop time and actually used as much as 5,000 hours per month. Also in the period up to September 1951, 7,000,000 rubles were expended on the centrifuge group. It is true that Steenbeck lost all German assistants who worked for him prior to the war, but as mentioned earlier there were no employees by Soviets. The group was organized as follows:

Theory

Steenbeck with two Soviet mathematicians

Separation Tests

Kirvaldis

The centrifuge was turned over to Kirvaldis to determine optimal operating conditions.

54. Starting with tubes of 60 cm, they moved to 90 cm, 1.50 m, and finally three-meter rotors. This was the maximum length with which the operation could be carried out by the Steenbeck group in connection with this project.

Description of the Low-Rotor Centrifuges

55. There is, in the opinion of some, a basic difference in the philosophy of design of long-tube centrifuges as opposed to short-tube ones. The long-tube machine throws a number of critical speeds in coming up to their operating frequency, while the short tube goes through no critical speeds. For this reason, a long rotor cannot be fabricated from one tube but must be made of interconnected short pieces separated by elastic joints. The use of these elastic joints keeps the critical speeds low and permits the rotor to be successfully accelerated through them.

56. The actual contracts were signed in November 1949.

UNCLASSIFIED

UNCLASSIFIED

KD-1802

-27-

wishes of Zavenyagin. The report, although addressed to Beriya, went through the regular channels via the Ninth Directorate, or the First Chief Directorate. Zavenyagin, from the beginning the patron of the centrifuge development, deemed Stenbeck's proposal sufficiently important to forward the matter to Beriya. It was Gen. Kozhevnikov, the government plenipotentiary in Sinoop, and evidently a close friend of Beriya, who advised Stenbeck to turn directly to Beriya.

51. Stenbeck was summoned to Moscow and, after a two month waiting period, was summoned to Beriya in the Kremlin. This meeting took place towards the end of July or the beginning of August 1949. Though source was told of the meeting, he had forgotten many details; thus, he did not recall who was present except for Gen. Kozhevnikov. He stated that if General Zavenyagin and Zavarov were present at the meeting, they were "very small fish" in this assembly of MVD notables. There were no discussions of technical problems; it was clear that decisions relating to the centrifuge had long ago been made by the Soviets and that Stenbeck was called only to get the decisions of the Soviets and to present his personal demands. In this connection Stenbeck had been authorized by his principle German assistants to negotiate on their behalf. Stenbeck offered to build for Beriya a five-stage cascade of centrifuges with rotors of approximately five meters length to enrich the U235 material from 50 percent to 70 percent. This project the Germans called the "small factory." Source did not recall the planned concentration of the waste from this topping plant, but said it would be fed back into the gaseous-diffusion plant at the appropriate point. The Soviets did not set a time limit or any other specific deadline; it is evident that they were not in a hurry. The Kefirstadt cascade was not producing 90 percent U235, and this does not imply that they obtained over 50 percent enrichment. It may be that even 60 percent was sufficient for their needs. The Soviets would have reduced the number of stages of the centrifuge topping plant.

52. In return, Stenbeck wanted to have a concrete commitment on his own and his assistants' return to Germany. Specifically he wanted to have his daughter returned to Germany to assist him. Furthermore, he wanted a definite date for the return of the remainder of his family, and he wanted contracts which clearly stipulated the duration of his assistants' service in the USSR.

53. Early sources had stated 64 percent as final enrichment, but later thought that in 1949 the Soviets still spoke in terms of 90 percent and that 96 percent was a figure that came in conjunction with later work.

UNCLASSIFIED

KD-1802

-28-

57. A rough memory sketch of the long-tube centrifuge is given on page 50. The length of the long rotor was 300 centimeters and its diameter was 58 millimeters. The rotor was driven by a synchronous rotating electromagnetic field which acted on a steel impeller.

58. The rotor itself was made of Duralumin. The rotor rested on a needle bearing, similar to that developed by Beize, which operated entirely within the head vacuum. The bearing was described on page 40, Point 3.

59. The rotor itself operated in a high vacuum of about 10^{-5} millimeters of mercury, provided by a diffusion pump located on the bottom of the machine. The bearing consisted of a damper with a spring-like top cover, which operated within a three-millimeter opening in the top cover of the rotor. A countercurrent flow was obtained by a temperature gradient maintained by an external warm and cold water system.

60. The depleted fraction was recovered near the bottom (warm end), and the enriched fraction from the other end. This material was condensed on copper plates cooled with liquid air and was drawn off into ampoules for enrichment tests. Multiple ampoules were provided which permitted continuous operation.

61. The rotor was made of ten pieces, each 28 cm long. Each elastic joint, or sylphon, was two centimeters long. The rotor was made of extruded Duralumin with a 0.3 mm wall thickness. The sylphon was about 1/8 inch thick. The bearing consisted of a damper with the point of maximum bulge was 75 mm. The rotor's outside diameter was about 58 mm, and it was operated at peripheral speeds of 220 to 230 meters per second. The outer parts of the sylphon were operated at speeds of 340 meters per second. Separation tests were made, however, only at rotor speeds of 220 meters per second.

62. The long rotor was tested for a lifetime operation of 3,000 hours. This was two times the required lifetime fixed by the Soviets. A check was made at 1,000 hours during this test. The wear on the needle of the bottom bearing was a few hundredths of a millimeter during the first 1,000 hours but, after 1,300 hours of operation, further wear was not detected. The wear of the sylphon was Source said that their measurement capability was accurate within a few microns. No wear was detected on the plate of the bottom rotor which was made of the type used for cutting tools (the Soviet term was *shchitil*).

63. The long rotor went through one critical speed per joint; the highest critical speed was about 400 rpm. The critical speeds depended upon the stiffness of the joint and on the mass of the intermediate pieces.

UNCLASSIFIED

Figure D.176: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]



Figure D.177: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]

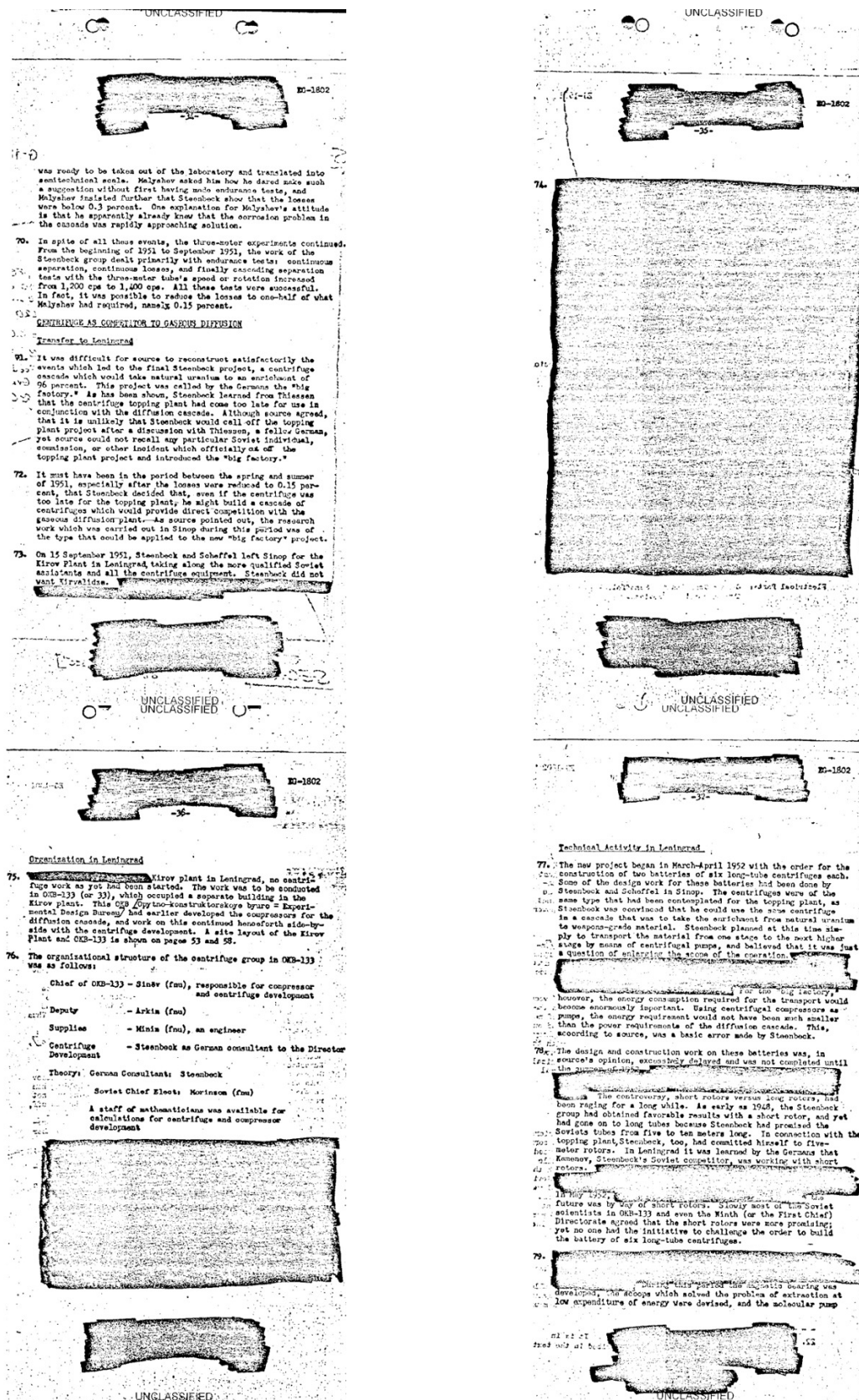


Figure D.178: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]

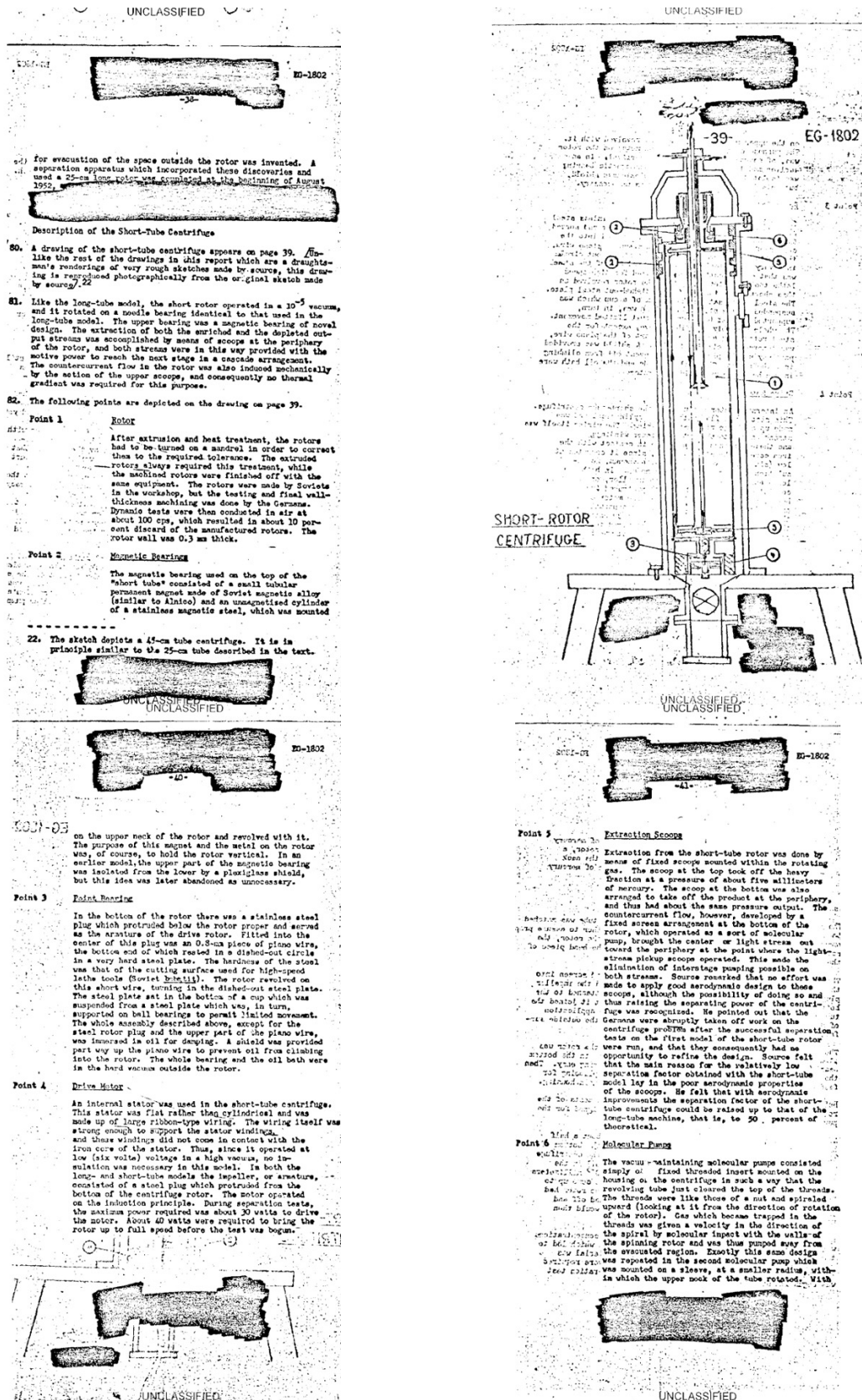


Figure D.179: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf]

[illegible]

UNCLASSIFIED

UNCLASSIFIED

UNCLASSIFIED
UNCLASSIFIED

501-11

EG-1802

notes: $L = K(\alpha - 1)^{\frac{1}{2}} \frac{H}{g}$ IS SEPARATING "POWER"

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

note: L is

SHORT-TUBE CENTRIFUGE

THEORY

CENTER FEED

$$R = 25 \text{ cm}$$

$$J = 58 \text{ mm}$$

$$N_r = 340 \text{ rev/sec}$$

$$(d-1) = 0.2$$

$$(d+1) = 0.14$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

$$L \approx 0.3$$

Figure D.180: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]

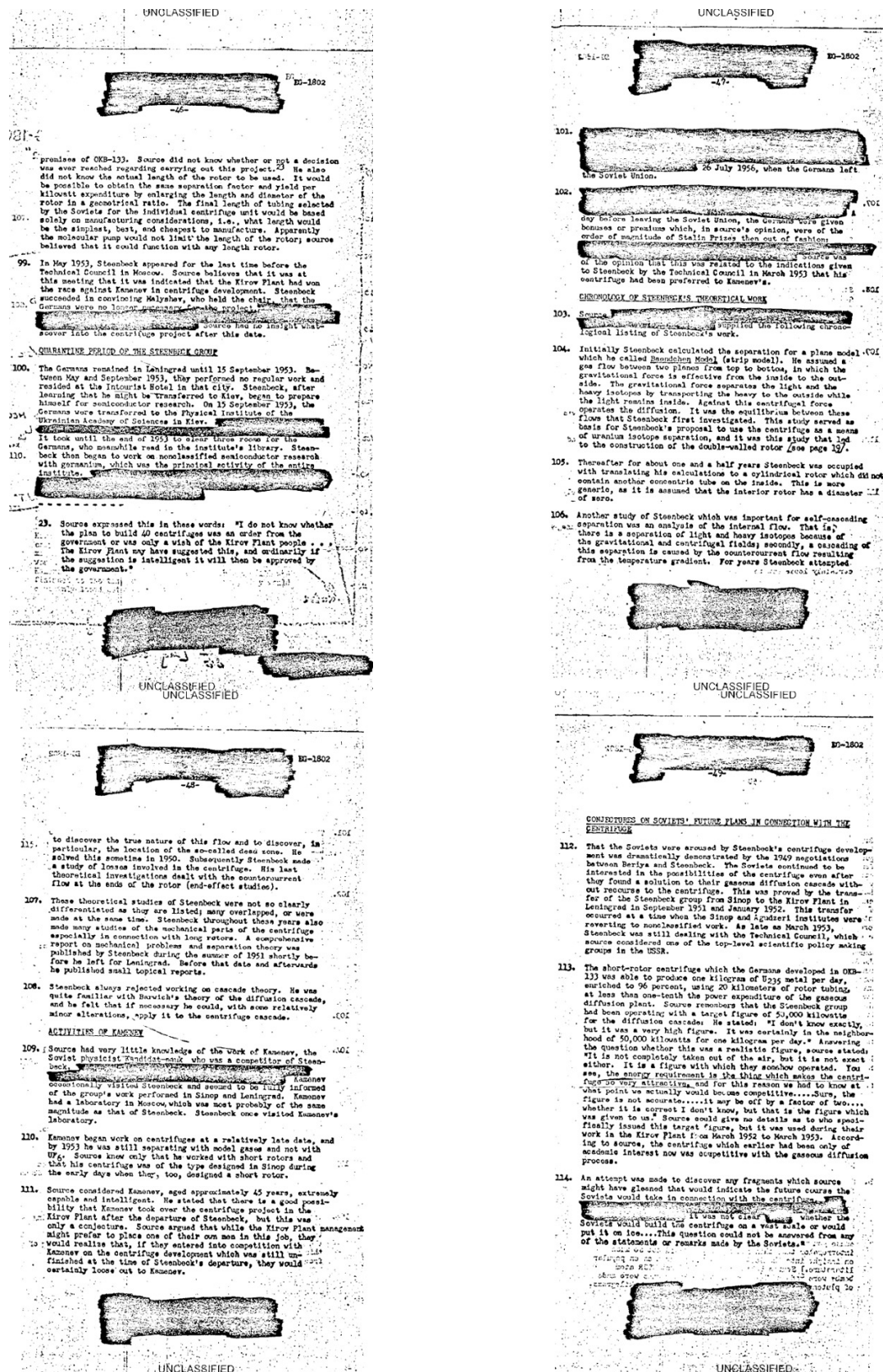


Figure D.181: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf]

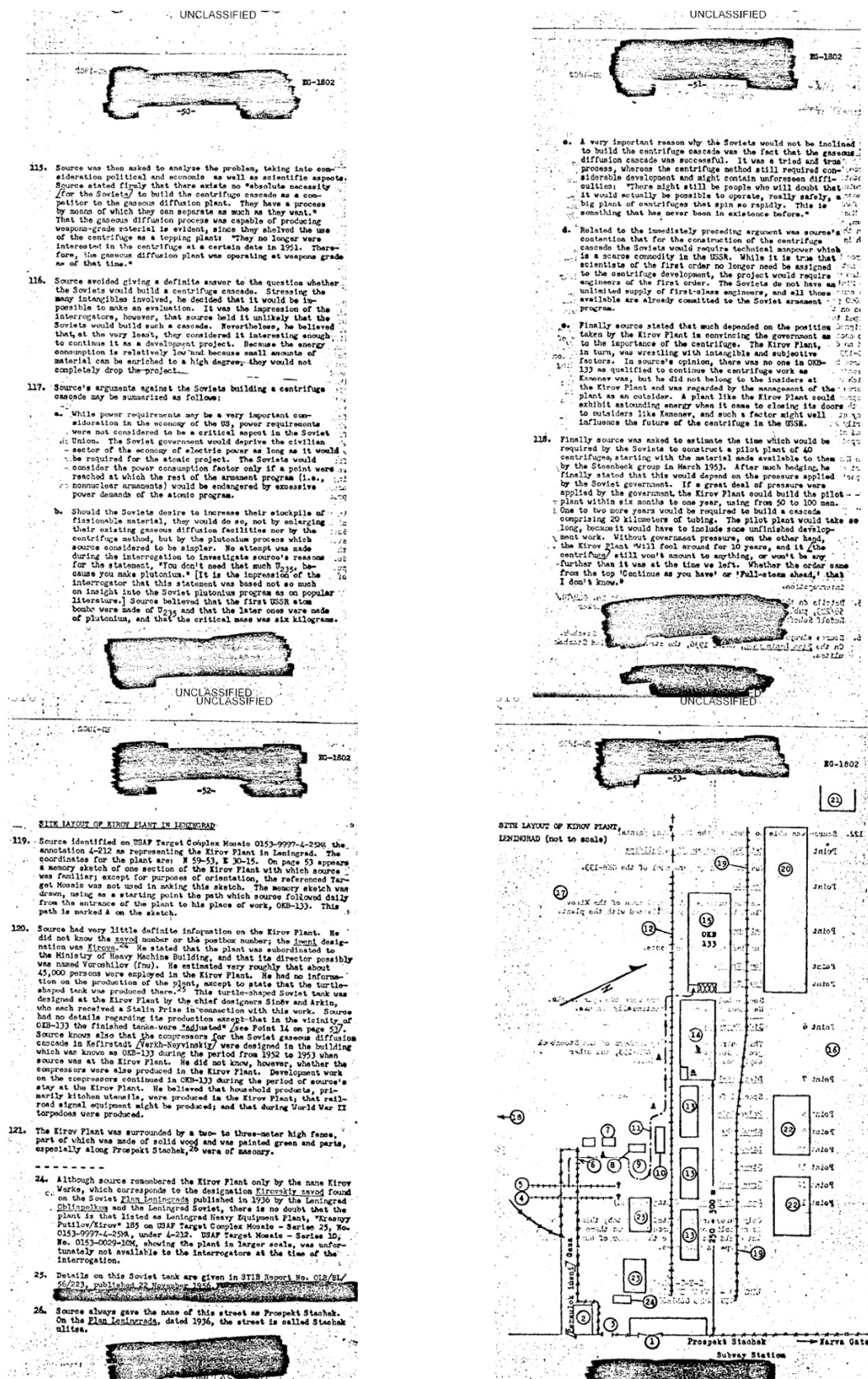


Figure D.182: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf]

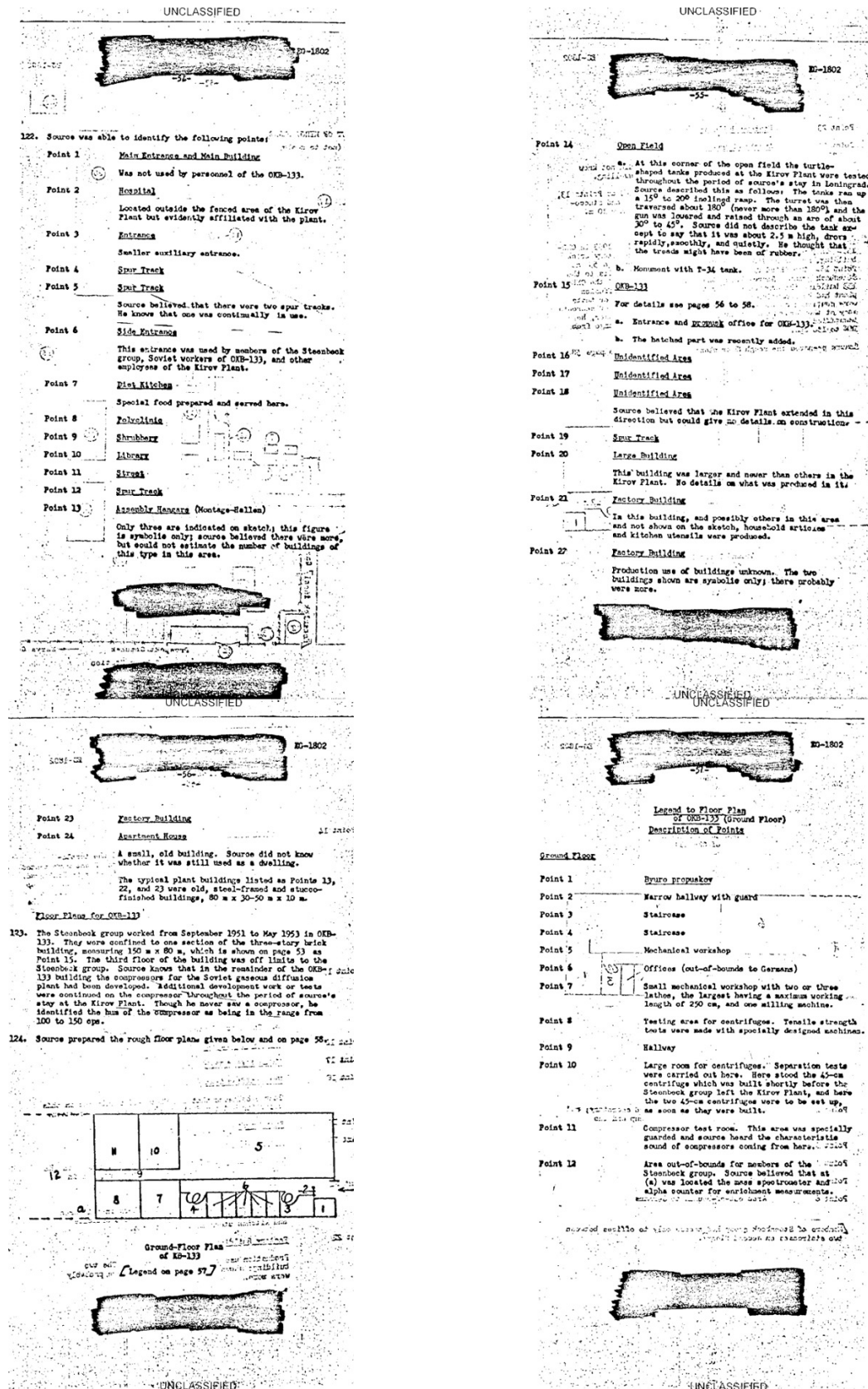


Figure D.183: Gernot Zippe. 22 May 1957. The Problem of Uranium Isotope Separation by Means of Ultracentrifuge in the USSR. CIA Report EG-1802. C00010316 [<https://irp.fas.org/cia/product/zippe.pdf>]

R. Scott Kemp. 2009. Gas Centrifuge Theory and Development: A Review of U.S. Programs. *Science and Global Security* 17:1–19.

When the Manhattan Project began, centrifuges of this kind were considered as a candidate technology for concentrating uranium-235 for the first nuclear weapon. [Jesse] Beams was asked to oversee the centrifuge project and led a design team at the University of Virginia. The Westinghouse Research Laboratory was charged with building the first production machines, and testing was done at the Standard Oil Development Company in Bayway, New Jersey. The team at the University of Virginia designed a supercritical machine, 7.35 in diameter and 136 in long, which operated at 270 m/s in a four-stream mode. Westinghouse built a slightly smaller version, 7.2 in diameter by 132 in long, as well as a subcritical machine, 7.2 in diameter by 42 in long. Separation tests began with the subcritical unit in August 1943 and continued for 93 of 99 days before the oil gland developed a leak and caused the centrifuge to crash at 215 m/s in December of 1943. The program was terminated by enrichment-project manager Harold Urey a few weeks later in favor of gaseous diffusion. [...]

In December 1951, the Committee on Isotope Separation of the Division of Research strongly advised against a post-war centrifuge revival, noting that centrifuges could not compete economically with existing gaseous diffusion technology. That would change in 1953 when German groups led by Wilhelm Groth and Konrad Beyerle, and a Dutch group led by Jacob Kistemaker, began asserting that their centrifuges would soon be more economical than American-style diffusion. Fearing a loss of their uranium-enrichment monopoly, the U.S. Atomic Energy Commission decided to revive centrifuge research in September 1954. But the revival was desultory: No machines were built because the AEC was confident that it would have full access to German technology, which was at that time the most advanced in the West. [...]

In the summer of 1956, the Soviet Union began repatriating captive German scientists who had been working on uranium enrichment at Institutes A and G at Sukhumi on the Black Sea. Oswald Francis (“Mike”) Schuette of the U.S. Office of Naval Intelligence had the task of interrogating the returning Germans. By chance, one of his subjects was the Austrian scientist Gernot Zippe, who wound up in Germany only because he could not afford rail fare back to his native Austria. Zippe had become a flight instructor for the Luftwaffe after he finished his Ph.D. He was captured by Soviet forces and sent to the Krasnogorsk detention camp, but when the Soviets learned of his technical background he was transferred to Institute A, where he was put in charge of mechanical developments for the Soviet centrifuge program.

Schutte’s report of Zippe’s activities attracted the interest of the Intelligence Division of the U.S. Atomic Energy Commission. They arranged to bring Zippe to the United States in 1957 under a false passport and the assumed name of “Dr. Schubert.” AEC scientists and intelligence officials interrogated Zippe in an all-day session at the Shoreham Hotel in Washington, D.C. This was followed by a more collegial debriefing several days later at the University of Virginia. Zippe revealed that he and the Soviets had worked out a completely novel design that did away with the thrust bearings and oil glands that had been so problematic in the U.S. centrifuge. The AEC arranged to have Zippe return to the United States on contract to the University of Virginia, where he would replicate the Soviet machine in exchange for a \$10,000 salary. In August 1958, Zippe returned to Virginia, and less than a year later he produced a working replica of the Soviet machine.

Karl Cohen, whose theoretical contributions appear later in this article, was asked to assess Zippe's work for the Atomic Energy Commission. He was so impressed that he advised the commission to expand its centrifuge efforts in the direction of the Soviet design. By April 1960 the Division of Research approved a program to be housed at the Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant under the management of Union Carbide Corporation, Nuclear Division. **Work was begun 1 November 1960, and included the construction of a cascade based on the Soviet design,** as well as improvements to centrifuge theory, and a continuation of the study on novel materials. [...]

In the late 1970s, the U.S. Department of Energy predicted that the demand for nuclear power, and thus enriched uranium, would grow dramatically in the coming decade. Saddled with only aging gaseous-diffusion plants, the DOE proposed a commercial-scale centrifuge facility to meet future enrichment demand. In 1977, Congress authorized an 8.8 million SWU/yr plant at Portsmouth, Ohio. The first stages of the plant were based on Set III centrifuges, 24 in diameter, 40 feet long, at 200 SWU/yr per machine. In time, however, it became apparent that the demand for enriched uranium had not increased as predicted; competing lifetime-extension programs on sunk-cost gaseous diffusion plants obviated the need for a new plant; and **claims of economic mismanagement plagued the centrifuge program. The entire centrifuge effort was cancelled on June 5, 1985. Only 3000 machines had been installed at the Portsmouth facility at a total cost of \$2.6 billion.**

Despite War, Paying Russia For Uranium. *New York Times*. 15 June 2023, p. A1.

The United States' reliance on nuclear power is primed to grow as the country aims to decrease reliance on fossil fuels. But no American-owned company enriches uranium. The United States once dominated the market, until a swirl of historical factors, including an enriched-uranium-buying deal between Russia and the United States designed to promote Russia's peaceful nuclear program after the Soviet Union's collapse, enabled Russia to corner half the global market. **The United States ceased enriching uranium entirely.** [...]

Roughly a third of enriched uranium used in the United States is now imported from Russia, the world's cheapest producer ⁸. Most of the rest is imported from Europe ⁹. A final, smaller portion is produced by a British-Dutch-German consortium operating in the United States ¹⁰. [...]

In the 1950s, as the nuclear era began in earnest, Piketon became the site of one of two enormous enrichment facilities in the Ohio River Valley region, where a process called gaseous diffusion was used.

Meanwhile, **the Soviet Union developed centrifuges in a secret program, relying on a team of German physicists and engineers captured toward the end of World War II. Its centrifuges proved to be 20 times as energy efficient as gaseous diffusion.** By the end of the Cold War, the United States and Russia had roughly equal enrichment capacities, but huge differences in the cost of production.

In 1993, Washington and Moscow signed an agreement, dubbed Megatons to Megawatts, in which the United States purchased and imported much of Russia's enormous glut of weapons-grade uranium, which it then downgraded to use in power plants. This provided the U.S. with cheap fuel and Moscow with cash, and was seen as a de-escalatory gesture.

But it also destroyed the profitability of **America's inefficient enrichment facilities, which were eventually shuttered. Then, instead of investing in upgraded centrifuges in the United States, successive administrations kept buying from Russia.**

⁸[From Rosatom, using German-developed centrifuges.]

⁹[From Urenco, using German-developed centrifuges. See <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Urenco-expands-enrichment-capacity>]

¹⁰[Urenco again, using German-developed centrifuges. See <https://urencousa.com/about/our-history>]

D.4.3 Uranium-235 Enrichment via Electromagnetic Separation

[German reports captured by the U.S. Alsos Mission also show that there was extensive work throughout the war on electromagnetic systems for uranium enrichment (similar to the U.S. calutrons at Oak Ridge). That work was conducted by physicists and engineers such as Manfred von Ardenne, Heinz Ewald, Richard Herzog, Hans Kopfermann, and Wilhelm Walcher. Unless otherwise noted, text for G-series captured German nuclear reports cited here consists of the English-language abstracts prepared by American scientists who studied the German reports.]

G-375. Richard Herzog. Report on the Status of the Work Towards Construction of a Large New Mass Spectrometer. 1943. Vienna.

Construction principles are outlined as they were patented in 1943 and details of the design are described. The manifold ways of focusing (direction focusing in both planes, energy focusing over great regions, radiation focusing of the ion source and the acceleration field) assure great intensity of the mass spectrometer even with great resolution, such intensities as are needed for separation of isotopes. The instrument will enable scientists to detect and determine smallest quantities of elements produced by nuclear reactions and relative abundance of isotopes.

G-256. Mass Spectrograph Construction Planned by the German Post Office Department Research Institution. [Über den Aufbau eines Massenspektrographen bei der Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost.] 1944.

Construction is planned of a mass spectrograph equipped with a single lens and with the electric field installed between the pole faces of the magnets. With improved lens correction a very high resolving power is provided and high intensity of beam if the diaphragm is wide open. The instrument is planned to serve as a precision tool for determination of mass defects when the spectrometer slit is narrowed or for isotope separation when the slit is widened. The mass scale is planned to be $M/M-8\%$. Magnet and magnet corrections needed are described in detail.

G-196. Wilhelm Walcher. Report on the Status of Mass Spectroscope Work at Kiel. The Effect of Space Charge on Focussing Properties of Magnetic Sector Fields. 1942.

Mass spectrograph built in Kiel to separate U isotopes. On the basis of tests made with Ag, can expect daily separation of from 2 to 6×10^{-8} moles of U^{235} . Mathematical determination of the effect of electrostatic repulsion of the particles on the cross section of an ion beam.

G-291. Wilhelm Walcher. Report on Investigations of Ion Sources for High Power Installations. 12 October 1944.

Requirements for an ion source best suited for use with high power installations are postulated and a table is given that compares capacity and current characteristics of 8 known ion sources. Experiments are described investigating electron-optical beam characteristics of the pendulum ion source of Heil and of a magnetron ion source, the resulting characteristics of the ion currents are illustrated.

Wilhelm Walcher. 1943. Über die Verwendungsmöglichkeiten von Glühanoden zur massenspektroskopischen Isotopentrennung. [About the Possible uses of Anodes for Mass Spectroscopic Isotope Separation.] *Zeitschrift für Physik* 121:604–613.

Aus der Kenntnis des Emissionsvorganges der Kunsman-Koch-Anode wird geschlossen, daß Elemente mit einer Ionisierungsarbeit, die kleiner als die Austrittsarbeit der Trägersubstanz (Wolfram mit adsorbiertem Sauerstoff, maximal etwa 9 eV) ist, in einer solchen Anode in Ionenform erzeugt werden können. Es zeigt sich jedoch, daß diese Möglichkeit außer bei den Alkalien nur bei der In-, Ga-, Tl-Gruppe besteht, während z. B. die Erdalkalien für eine Ionisierung nach dieser Methode ungeeignet sind. Gründe hierfür werden angegeben. — Die Ausbeute der Alkalianoden wird zu fast 100% des auf der inneren Oberfläche des W-Pulvers adsorbierten Alkalimetalls gefunden, und zwar ist die in Amperestunden gemessene Kapazität konstant und weitgehend unabhängig vom Emissionsstrom, der bei einer Rubidiumanode bis zu 0,7 mA/cm² dauernd gesteigert werden kann. Die Ausbeute einer Indiumanode hingegen beträgt nur etwa 5%. — Es wird gezeigt, daß sich die Anoden regenerieren lassen.

From the knowledge of the emission process of the Kunsman-Koch anode it is concluded that elements with an ionization energy which is smaller than the output energy of the carrier substance (tungsten with adsorbed oxygen, maximum about 9 eV) can be produced in such an anode in ion form. However, it has been shown that this possibility exists only for the in-, Ga-, Tl-group except for the alkalis, whereas the alkaline earths are unsuitable for ionization according to this method. Reasons for this are given.—The yield of the alkali anodes is found to almost 100% of the alkali metal adsorbed on the inner surface of the W powder, namely the capacity measured in ampere hours is constant and largely independent of the emission current, which can be continuously increased up to 0.7 mA/cm² with a rubidium anode. The yield of an indium anode on the other hand is only about 5%.—It is shown that the anodes can be regenerated.

Wilhelm Walcher. 1943. Der Einfluß der Raumladung auf die Abbildungseigenschaften magnetischer Sektorfelder. [The Influence of Space Charge on the Resolving Power of Sector-Shaped Magnetic Fields.] *Zeitschrift für Physik* 121:719–728.

Es wird gezeigt, daß ein Bündel geladener Teilchen, das auf eine Brennnlinie zielt, trotz des abstoßenden Einflusses der Raumladung in einer anderen Brennnlinie fokussiert werden kann. Die Fokussierungsbedingungen werden für den feldfreien Raum und für magnetische Sektorfelder angegeben, die Erweiterung der Theorie auf allgemeine Sektorfelder an einem Beispiel besprochen. Folgerungen für den Bau von Massenspektrographen, insbesondere solchen für Isotopentrennung, werden gezogen.

It is shown that a bundle of charged particles aiming at a focal line can be focused in another focal line despite the repulsive influence of space charge. The focusing conditions are given for the field-free space and for magnetic sector fields, the extension of the theory to general sector fields is discussed with an example. Conclusions for the construction of mass spectrographs, especially those for isotope separation, are drawn.

BIOS 1487. *Chemical Laboratory Instrumentation in Germany*. pp. 5–15.

The estimation of stable isotopes for most of the research teams in Germany using them was done on a mass spectrometer designed and made by Dr. W. Paul of the Second Physics Institute Göttingen. A second similar instrument was made at Göttingen for Professor Heisenberg's Institute but was only completed late in the War and was not much used. [...]

The results given by Dr. Paul in his description of the instrument (loc. cit) showed that **its resolution was just sufficient to bring the deflection to zero between the two thallium isotopes of mass 203 and 205**, whilst its sensitivity could be made sufficient to demonstrate the existence of the radio active potassium isotope K^{40} which is present in the proportion of 0.012%[...] The results of measurements of the relative concentration of the isotopes of rubidium, thallium, potassium, neon, silver and nitrogen are given **showing an accuracy of 1% or better**.

The instrument was operated by Dr. Paul during our visit. It was clear from this demonstration that the resolving power was as good as was claimed—the isotopes of mercury masses 198–202, from the diffusion pump used to evacuate the apparatus, being shown readily, whilst the sensitivity was ample to show the presence of the rare neon isotope.

[...] It is the more remarkable that apparently **most of the workers in Germany doing work with stable isotopes during the War, relied on this instrument for their analyses.**

1994. Obituaries: Wolfgang Paul. *Physics Today* 47:7:76.

[<https://pubs.aip.org/physicstoday/article/47/7/76/407994/Wolfgang-Paul>]

[...] After two years with the Technische Hochschule Munich, he went in 1934 to the Technische Hochschule Berlin, where **he joined Hans Kopfermann's research group** and earned the diploma (1937) and doctorate (1939) degrees. In 1937 he moved with that team and set out to participate in pioneering studies at the universities of Kiel and later Göttingen on the hyperfine structure of atomic spectra and—**with Wilhelm Walcher—on mass spectrometry**. In 1944 he became a faculty member at Göttingen, where **he worked with the legendary 6-MeV betatron**, the first of its kind on the European continent.

[Wolfgang Paul (German, 1913–1993) won a Nobel Prize in Physics in 1989 for his experimental physics work on the electromagnetic manipulation and trapping of ions, of which the invention described in BIOS 1487 was just one example. Wolfgang Paul should not be confused with Wolfgang Pauli (Austrian, 1900–1958), who won a Nobel Prize in Physics in 1945 for his work on theoretical physics.

Paul's mass spectrometer from BIOS 1487 (or similar instruments) would have been ideal for monitoring the progress of uranium isotope enrichment by providing a rapid and reliable analysis of the uranium isotope ratios at various points in the enrichment process. If the instrument could readily separate isotopes of thallium or mercury with slightly different masses around 200, it could distinguish between uranium isotopes of masses 235 and 238.

Please see figures of Paul's mass spectrometer from BIOS 1487 on the following pages.

In fact, if this design were scaled up, given some modifications, and mass-produced, those mass-produced versions could have been used like calutrons to actually enrich significant amounts of weapons-grade uranium.

From publicly available references, it is unclear just how much nuclear-weapons-related work Wolfgang Paul may have done during the war.]

PAUL MASS SPECTROMETER

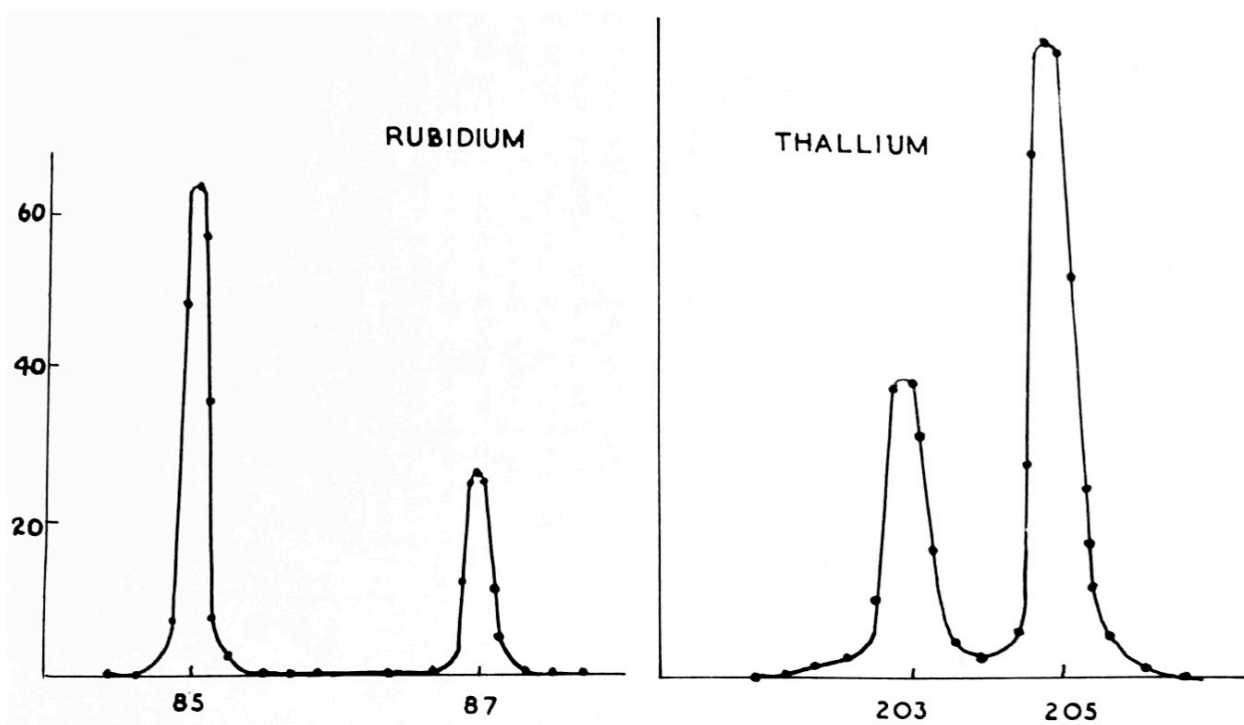
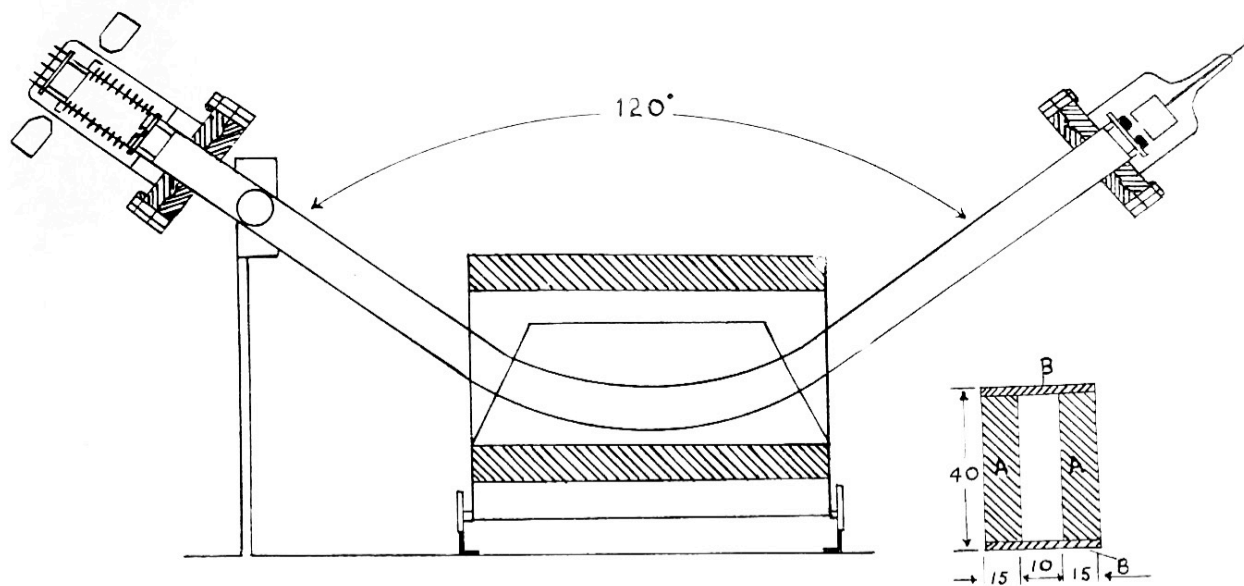


Figure D.184: Wolfgang Paul's electromagnetic mass spectrometer for separating/analyzing isotope mixtures [BIOS 1487].



Figure D.185: Wolfgang Paul's electromagnetic mass spectrometer for separating/analyzing isotope mixtures [BIOS 1487].

Kurt Diebner. Listing of nuclear research commissions enclosed with a letter to the president of the Reich Research Council. 18 April 1944. [English translation in Hentschel and Hentschel 1996, pp. 322–324; German in Nagel 2016, pp. 512–513]

No.	Topic	Person Responsible	Priority Level	Secrecy Specification
[...]				
11.	Isotope separation	Inst. for Phys. Chemistry at Hamburg Univ., Prof. Harteck	SS, for special purposes DE	Secret, partly top secret
12.	Isotope separation	Inst. for Phys. Chemistry and Electrochemistry, Kiel, Lec. Dr. Martin	SS	Secret, partly top secret
13.	”	KWI for Chemistry, Berlin, Dr. Klemm	SS, for special purposes DE	Secret
[...]				
15.	Preparation of gaseous uranium compounds for isotope separation	Danzig Polytechnic, Prof. Albers	SS	Secret
16.	”	Chem. Inst. at Bonn Univ., Prof. Schmitz-Dumont	SS	Secret
17.	Construction and development of a mass spectrograph	II. Phys. Inst. at Göttingen Univ., Prof. Kopfermann	SS	Open, partly secret
18.	Development of a mass spectrograph	Deutsche Reichspost, Ministerial Councillor Gerwig	SS	Open, partly secret
19.	Manufacture of an isotope sluice	Bamag-Meguini Co., Berlin	DE	Secret

[...]

G-139. Heinz Ewald. Eine neue Methode zur Magnetischen Isotopentrennung. [A New Method of Magnetic Isotope Separation.] 3 March 1942.

Reviews use of mass spectrograph to separate isotopes. Limitations of methods used heretofore. Principle of new separation method. Ions of homogeneous energy enter slit B' at angle E into homogeneous magnetic field with limits bb , cc . Field strength is so regulated that the heavy masses M_2 just leave the magnetic whereas the light masses M_1 cannot quite leave the magnetic field and are bent back toward b . Various applications of this principle are illustrated and discussed: (1) Annular magnetic field with ion source in the center. (2) Linear arrangement with rectangular magnetic field. (3) Annular magnetic field with ion source on the outside and target for heavy particles in the center. Calculations are included to demonstrate practicability of this method.

[See pp. 3597–3604. Ewald's design is closely related to Manfred von Ardenne's design below, and both were apparently part of the same project.]

Manfred von Ardenne. Über einen neuen magnetischen Isotopentrenner für hohen Massentransport. April 1942. [From Moscow archive, courtesy of Rainer Karlsch]

[See pp. 3605–3626. In this report, Manfred von Ardenne gave a detailed design for the electromagnetic isotope separator concept that was described in Ewald's report. In particular, he showed how to use a large number of ion beams with only one set of magnets, thereby greatly increasing the production rate of U-235. Von Ardenne's report even included a photograph of a prototype that he had built for experiments (p. 3624).]

Samuel A. Goudsmit. 16 June 1945. SUBJECT: Baron von Ardenne's Isotope Separation. [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.22-1 GERMANY—Research—TA—(1943–June 1946)]

1. Among the Reichsforschungsrat papers, we have found the research report of the work which von Ardenne did for the Reichspost. The report is dated April 1942 and describes a magnetic isotope separator in detail. It was sent to the RFR by Esau.

2. Attached is also an interesting commentary by von Ardenne himself. In this, he states that isotope separation is essential to decrease the amount of uranium necessary for the uranium machine. He claims that indications regarding developments, especially in the U.S.A., which aim at a decrease of the uranium quantity in the U-machine, have recently seeped through. Further down, he claims that the method invented by him is new and that, by keeping the development work very secret, an important advantage can be gained over the high level of experimental nuclear physics in the U.S.A.

[For much more information on Manfred von Ardenne's calutron-like electromagnetic isotope separators, see the following pages, as well as pp. 4221–4222.]

DECLASSIFIED
Authority NND 917012

**NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.22-1
GERMANY—Research—TA—(1943--June 1946)**

SECRET

Cop. No. 1 of 4 Copies

HEADQUARTERS
EUROPEAN THEATER OF OPERATIONS
UNITED STATES ARMY
ALSOS MISSION
APO 887

16 June 1945

SUBJECT: Baron von Ardenne's Isotope Separation

1. Among the Reichsforschungsrat papers, we have found the research report of the work which von Ardenne did for the Reichspost. The report is dated April 1942 and describes a magnetic isotope separator in detail. It was sent to the RFR by Esau.

2. Attached is also an interesting commentary by von Ardenne himself. In this, he states that isotope separation is essential to decrease the amount of uranium necessary for the uranium machine. He claims that indications regarding developments, especially in the U.S.A., which aim at a decrease of the uranium quantity in the U-machine, have recently seeped through. Further down, he claims that the method invented by him is new and that, by keeping the development work very secret, an important advantage can be gained over the high level of experimental nuclear physics in the U.S.A.

S. A. Goudsmit
S. A. GOUDSMIT
Scientific Chief

Figure D.186: Samuel A. Goudsmit. 16 June 1945. SUBJECT: Baron von Ardenne's Isotope Separation. [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.22-1 GERMANY—Research—TA—(1943–June 1946)].

G-139 (Ref. No. 57)
duplicate copy 1 (57)
UNCLASSIFIED

Eine neue Methode zur magnetischen Isotopentrennung.
von Heinz Ewald.

This document has been declassified by author 711 issuing institution 1514 dated 11/12/2003

I. Die bisherige Entwicklung der massenspektrographischen Isotopentrennung.

Massenspektrographen sind ihrer ersten Bestimmung nach für die genaue Messung von Isotopengewichten und von relativen Häufigkeiten gebaut worden und hierfür im Verlaufe der nun zwei Jahrzehnte dauernden Entwicklung zu hoher Vollkommenheit gebracht.

Der Gedanke ihrer Verwendung für das Problem der Trennung von Isotopen in wägbaren Mengen ist sehr naheliegend und in einer ganzen Reihe von Arbeiten praktisch erprobt. So ist versucht worden, die bekannten Spektrographentypen mit geringen zweckentsprechenden Abänderungen hierfür zu verwenden. Wegen des geringen Massentransportes in diesen Apparaten konnten jedoch von vornherein auf diesem Wege nur sehr geringe Gewichtsmengen getrennter Isotope erhofft werden. Praktisch sind dann auch nicht mehr als einige 10^{-5} g erzielt worden.¹⁾

Die Gründe für diese Begrenzung der Ausbeute sind prinzipieller Natur. Die Schwierigkeiten sind kurz folgende:

1) (a) M. Morand, Ann. de physique (10) 7, 103, 1927. (10^{-5} g Li)
(b) K.P. Jakowlew, Z. Phys. 64, 378, 1930 (Ne-Trennung in einer Aston-Apparatur, 10^{-7} – 10^{-8} g).
(c) M.L. Cliphant, E.S. Shire, B.M. Crowther, Proc. Roy. Soc. Lond. 146, 922, 1934. (Li⁶ und Li⁷, Grössenordnung 10^{-7} g).
(d) E.L. Yates, Proc. Roy. Soc. Lond., 168, 148, 1938. ($3 \cdot 10^{-5}$ g Li⁷, $2 \cdot 10^{-6}$ g B¹⁰ und B¹¹ und einige 10^{-6} g C¹²).
(e) A.O. Nier, E.T. Booth, J.R. Dunning, A.V. Groves, Phys. Rev. 57, 546, 1940. (Minige 10^{-7} g U²³⁸).
(f) Dieselben, Phys. Rev. 57, 748, 1940. ($4 \cdot 10^{-6}$ g U²³⁸).
(g) K.H. Kingdon, H.C. Pollock, E.T. Booth, J.R. Dunning, Phys. Rev. 57, 749, 1940. ($1,6 \cdot 10^{-6}$ g U²³⁸).

- 2 -

Allen üblichen Massenspektrographen gemeinsam ist die Verwendung eines eng gebündelten Ionenstrahles, der nach Durchtritt durch einen relativ engen Eintrittspalt durch eine in Einzelfall verschiedene Feldanordnung in ein "Massenspektrum" zerlegt wird. Das zur Trennung benachbarter Masseneinheiten notwendige Auflösungsvermögen verbietet es, dass die Breite des Eintrittspaltes grössenordnungsmässig Millimeter übersteigt. Hieraus folgt von vornherein eine sehr unerwünschte Begrenzung des Ionenstromes.

Bei dem Versuch, die Stromdichte und damit den Massentransport in dem notwendigerweise so engen Ionenbündel möglichst gross zu machen, steht man bald an praktischen Grenzen. Die Ionen emittierende Zone der Quelle kann bei den üblichen Spektrographen nicht wesentlich grösser als die Fläche des Eintrittspaltes sein. Die starke Raumladung in der Ionenquelle selber, also dort wo die Ionen ihre relativ geringste Geschwindigkeit haben und am längsten verweilen, hindert eine entsprechende Steigerung der Massendichte der Quelle. Als weitere Folge der auftretenden Raumladungen macht sich bei steigender Stromdichte die elektrostatische Abtossung der Ionen im Strahlengang in zunehmendem Masse störend bemerkbar. Dadurch kann die Fokussierung bzw. die Auflösung so verschlechtert werden, dass eine hinreichende Trennung nicht mehr gelingt.

In der Erkenntnis, dass die Raumladungen in erster Linie die Ausbeuten begrenzen, suchte man nach Anordnungen, die einmal die Verwendung ausgedehnterer Ionenquellen gestatten und weiter auf die bisherige enge Bündelung der Ionen im Strahlengang verzichten können. Dieses Ziel verfolgten die Arbeiten von Smythe-Ramhaug-West u.s. und von Walcher¹⁾

1) (a) W.R. Smythe, L.H. Ramhaug, S.W. West, Phys. Rev. 45, 724, 1934 (10^{-5} g K³⁹ und 10^{-6} g Li).
(b) L.H. Ramhaug, Phys. Rev. 49, 882, 1936.
(c) L.H. Ramhaug, L.R. Hafstad, Phys. Rev. 50, 681, 1936. ($2 \cdot 10^{-5}$ g Li⁶ und $2 \cdot 10^{-4}$ g Li⁷).
(d) W.R. Smythe, A. Hemmendinger, Phys. Rev. 51, 146, 178, 1937. ($1,7 \cdot 10^{-6}$ g K³⁹/h).
(e) A. Hemmendinger, W.R. Smythe, Phys. Rev. 51, 1052, 1937. ($2 \cdot 10^{-5}$ g Hb).
(f) W. Walcher, Z. Phys. 100, 376, 1938 ($6 \cdot 10^{-6}$ g/h Hb⁸⁵ und $2 \cdot 10^{-6}$ g/h Hb⁸⁷).

- 3 -

zum Teil mit recht gutem Erfolg. Ein wesentliches Kennzeichen dieser Arbeiten ist, dass man bei ihnen mit parallelen Ionenstrahlen arbeitet, die von bereits relativ ausgedehnten Ionenquellen ausgehen. Für diesen Sonderfall können Feldanordnungen angegeben werden, bei denen sich trotz ausgedehnter Ionenquelle eine Fokussierung und gerade genügende Auflösung in ein Massenspektrum erreichen lassen. Als Masse für die Ausdehnung einer Ionenquelle soll die Grösse der Ionen emittierenden Fläche angesehen werden.

In den Arbeiten der Amerikaner wird eine lange spaltförmige Ionenquelle in neuer Anordnung verwendet. Der Spalt von einigen 20 cm Länge und auch einigen Millimetern Breite kann bei einer solchen Ausdehnung unter Berücksichtigung der Grösse des notwendigen Trennmagneten nur noch parallel zum Polschuhepalt des Magneten angeordnet sein und nicht mehr senkrecht. Durch eine besondere Formgebung der Polschuhe hat es sich ermöglichen lassen, dass die parallelen Ionenstrahlen trotz der Ausdehnung der Quelle zu einem Massenspektrum fokussiert werden. Statt des bisher nötigen, eng gebündelten Ionenstrahles ist dort eine Möglichkeit gefunden, einen ebenen, flächenhaft verteilten Ionenstrahl grösserer Ausdehnung zu verwenden.

Bei diesen Arbeiten wurde der praktisch erreichbare Massentransport zwar um mehrere Zehnerpotenzen gesteigert, blieb aber doch in der Grössenordnung von Milligrammen. Die Gründe sind wieder in einer Raumladungsbegrenzung der Ionausbeute und des Auflösungsvermögens zu suchen.

- 4 -

Fig. 1. Prinzip der Trennung.

gebenen Richtung ϵ durch einen Spalt E' in ein homogenes Magnetfeld mit den Begrenzungen bb und cc ein; die Kraftlinien dieses Magnetfeldes verlaufen senkrecht zur Zeichenebene. Die Feldstärke wird so einreguliert, dass die schwerere der zu trennenden Massen, M_2 , das Magnetfeld auf der anderen Seite, an der Trenngrenze c , gerade etwa streifend verlässt, während die leichtere Masse M_1 gerade nicht austreten kann und zur Eintrittsbegrenzung b zurückgebogen wird. Die so getrennten Massen M_1 und M_2 werden dann auf den Auffängern a_1 und a_2 aufgefangen.

Eine solche Anordnung hat gegenüber den bisherigen Massenspektrographen folgende Besonderheit: die Massendispersion am Auffängerort ist hier keine stetige Funktion der Massenskala, sondern weist (bei fester elektrischer Beschleunigungsspannung und Magnetfeldstärke) im Intervall zwischen den Massenzahlen M_1 und M_2 eine Unstetigkeitsstelle auf. Je nach der Anordnung der Auffänger kann die Dispersion an dieser Stelle der Massenskala beliebig gross gemacht werden. Die Vorstellung der Massendispersion ist auch für diese Unstetigkeitsstelle gerechtfertigt, wenn man sich die zwei Auffänger a_1 und a_2 als Teile eines geeignet geformten, gemeinsamen Auffängers denkt. Voraussetzungen für ein genügendes Auflösungsvermögen einer solchen Trennanordnung sind homogene Anfangsenergie und einheitliche Anfangsrichtung der Ionen und - im allgemeinen - ein enger Eintrittspalt E' .

II. Prinzip einer neuen magnetischen Isotopentrennung.

Die vorliegende Arbeit dient der Beschreibung eines neuartigen magnetischen Apparates zur Isotopentrennung, der durch die Besonderheit und Einfachheit seiner geometrischen Anordnung wesentlich von den bisherigen Ausführungen abweicht.

Für das Problem der Trennung zweier Isotope oder zweier Gruppen von leichteren und schwereren Isotopen kann man auf eine Zerlegung des Ionenstrahles in ein Massenspektrum und auch auf eine Fokussierung im üblichen Sinne verzichten, wenn man die in Fig. 1 dargestellte einfache Trennmöglichkeit verwendet. Ionen homogener Energie treten unter einer vorge-

Figure D.187: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].

- 5 -

Ein optisches Analogon für dieses Trennprinzip ist vielleicht in der Erscheinung der Totalreflexion beim Übergang von Lichtstrahlen von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium zu sehen. Das Magnetfeld vertritt dabei die Rolle der Grenzschicht zwischen den beiden Medien, die bei bestimmter, konstanter Einfallerichtung der Strahlen die schwerere Masse bzw. die grössere Wellenlänge gerade hindurchtreten lässt, während die leichtere Masse bzw. die kleinere Wellenlänge total reflektiert wird.

III. Die drei Ausführungsformen mit beliebiger "Spaltbreite" und entsprechend ausgedehnter Ionenquelle.

Die Frage, ob sich für dieses Trennprinzip eine spezielle geometrische Anordnung - geeignete Wahl der Polschuhform und des Eintrittswinkels - finden lässt, die auch bei beliebig weitem Eintrittspalt noch genügende Auflösung ergibt und die Verwendung einer langen, schlitzförmigen Ionenquelle (ähnlich wie bei Smythe-Rumbaugh-West) gestattet, ist, wie eingangs betont, ausschlaggebend für eine genügende Herabsetzung der Raumladungsdichten und damit für die praktische Verwendbarkeit der Methode. Eine solche Anordnung lässt sich in der Tat leicht angeben: Als Polschuhbegrenzungen werden zwei konzentrische Kreise gewählt, bei senkrechtem Eintritt der Ionenstrahlen in die eine kreisförmige Begrenzung. In diesem durch Fig. 2 (S.6) schematisch dargestellten Fall ist also ein ringförmiges Magnetfeld und eine radiale Anfangsrichtung der Ionen gegeben. Die ganze Anordnung ist vollkommen rotationsymmetrisch. Eine grosse runde Ionenquelle sendet von ihrer Peripherie (zylindrischer Austrittsschlitz, Kreis mit Radius $r_d = MD$) aus Ionen homogener Energie radial in einer Ebene (Zeichenebene) nach allen Seiten. Diese Strahlen treten also auch senkrecht in die Magnetfeldbegrenzung b (Kreis mit Radius $r_b = MB$) ein. Eingezeichnet ist z.B. der Verlauf der Strahlen MB und PQ . Bei richtig eingestellten Feldstärken tritt also die schwerere der zu trennenden Massen gerade etwa tangential aus der anderen Begrenzung des Magnettringes (Trenngrenze c, Kreis mit Radius $r_c = MC$) aus und wird auf dem Auffänger a_2 (Kreis mit Radius $r_a = MA$) aufgefangen. Die leichtere Masse wird dagegen zur Seite der Ionenquelle zurückgebogen und dort auf dem Auffänger a_1 (Radius identisch mit dem der Ionenquelle) abgeschieden.

- 7 -

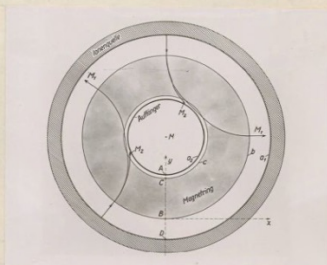


Fig. 4. Anordnung mit ringförmigem Magnetfeld, Aussenionenquelle und Innenauffänger für die schwere Masse.

Aus dem Beispiel Fig. 2 ergeben sich die zwei anderen geometrisch möglichen Fälle, wenn wir die Schnittpunkte D, B, C und A der vier konzentrischen Begrenzungskreise mit der y -Achse festhalten, ihren gemeinsamen Mittelpunkt M aber auf der y -Achse wandern lassen. Wenn M gegen $-\infty$ rückt, erhalten wir den in Fig. 3 dargestellten Grenzfall eines sehr langen geraden (rechteckigen) Polschuhs, auf dessen einer Seite sich die Ionenquelle sowie der Auffänger a_1 für die leichtere Masse und auf der anderen Seite der Auffänger a_2 für die schwerere Masse befindet.

Wenn dagegen in Fig. 2 M auf den positiven Teil der y -Achse über den Punkt A hinaus verschoben wird, so erhalten wir den Fall Fig. 4, dass die Ionenquelle ausserhalb des Ringmagnetfeldes liegt und die Ionen radial nach innen sendet. Der Auffänger für die schwerere Masse befindet sich dann im Innern, und die Feldstärken werden in diesem Fall so eingestellt, dass die schwerere Masse gerade streifend auf dem Auffänger auftrifft, während die leichtere daran vorbeigebogen wird.

- 6 -

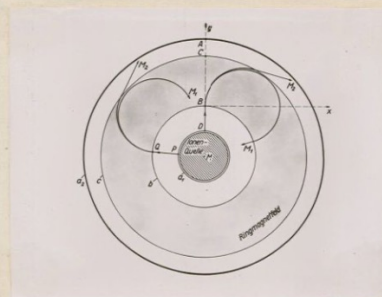


Fig. 2. Anordnung mit ringförmigem Magnetfeld, Innenionenquelle und Aussen-auffänger für die schwere Masse

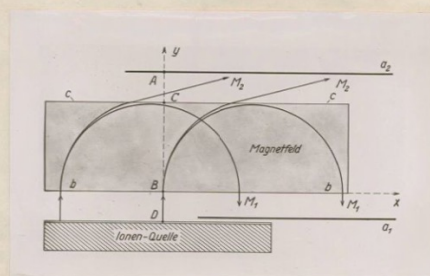


Fig. 3. Lineare Ausführung mit langen, rechteckigen Polschuh, Grenzfall des Ringmagnetes.

- 8 -

Alle drei Möglichkeiten sind auch praktisch ausführbar, ihre Trenneigenschaften sollen daher untersucht und miteinander verglichen werden.

IV. Berechnung des Auflösungsvermögens.

Wichtig ist zunächst eine Berechnung des zu erwartenden Auflösungsvermögens. Dieses sollte theoretisch beliebig gross sein, wenn es praktisch möglich wäre, die Forderung einer radialen Anfangsrichtung der Ionen beliebig gut zu erfüllen (Voraussetzung dabei sind allerdings Ionen hinreichend homogener Energie und die noch besonders zu prüfende Annahme, dass das Streufeld an beiden Seiten des Ringmagnetfeldes keine wesentliche Störung auf das Auflösungsvermögen ausübt). Die vorhandene Maxwell-Geschwindigkeit der Ionen und eventuell auch geringe Inhomogenitäten in der Raumladungsdichte der Ionenquelle können aber zu relativ kleinen Geschwindigkeitskomponenten quer zur radialen Richtung, d.h. in Richtung der Peripherie der Ionenquelle Anlass geben.

In den Figuren 5 (Ionenquelle innen) und 6 (Ionenquelle aussen) wird der Verlauf der Ionenstrahlen im Ringmagnetfeld daher dargestellt unter der Annahme, dass kleine Winkelabweichungen der maximalen Grösse $\pm \alpha$ von der im Idealfall geforderten radialen Anfangsrichtung der Ionen zugelassen sind. Sei ein bei B senkrecht zur Magnetfeldbegrenzung, d.h. radial eintretender Strahl, weiter seien s_I und s_{II} die Grenzstrahlen des durch B gehenden Büschels, deren Winkelabweichung von s laut Voraussetzung $\pm \alpha$ beträgt. Der weitere Verlauf dieser Strahlen im Magnetfeld wird für zwei verschiedene Massen M_1 und M_2 durch die Kreise k_I , k_{II} und K_I , K_{II} gegeben. Wenn wir fordern, dass die beiden Massen im Sinne des angegebenen Trennprinzips an der Trenngrenze c gerade vollständig getrennt werden sollen, stellen wir damit ganz bestimmte geometrische Bedingungen: die inneren Grenzkreise k_{II} und K_I überschneiden sich in einem auf dem Trennkreis c liegenden

1) Genau genommen ist im Falle der Aussenionenquelle (Figuren 4 und 6) der Innenauffänger für die schwerere Masse die wahre Trenngrenze. Da die folgende Rechnung nicht unnötig kompliziert zu machen, wird daher vereinfachend angenommen, wie auch aus Fig. 6 ersichtlich ist, dass der Innenauffänger a_2 praktisch den gleichen Durchmesser habe wie die innere Magnetringbegrenzung c .

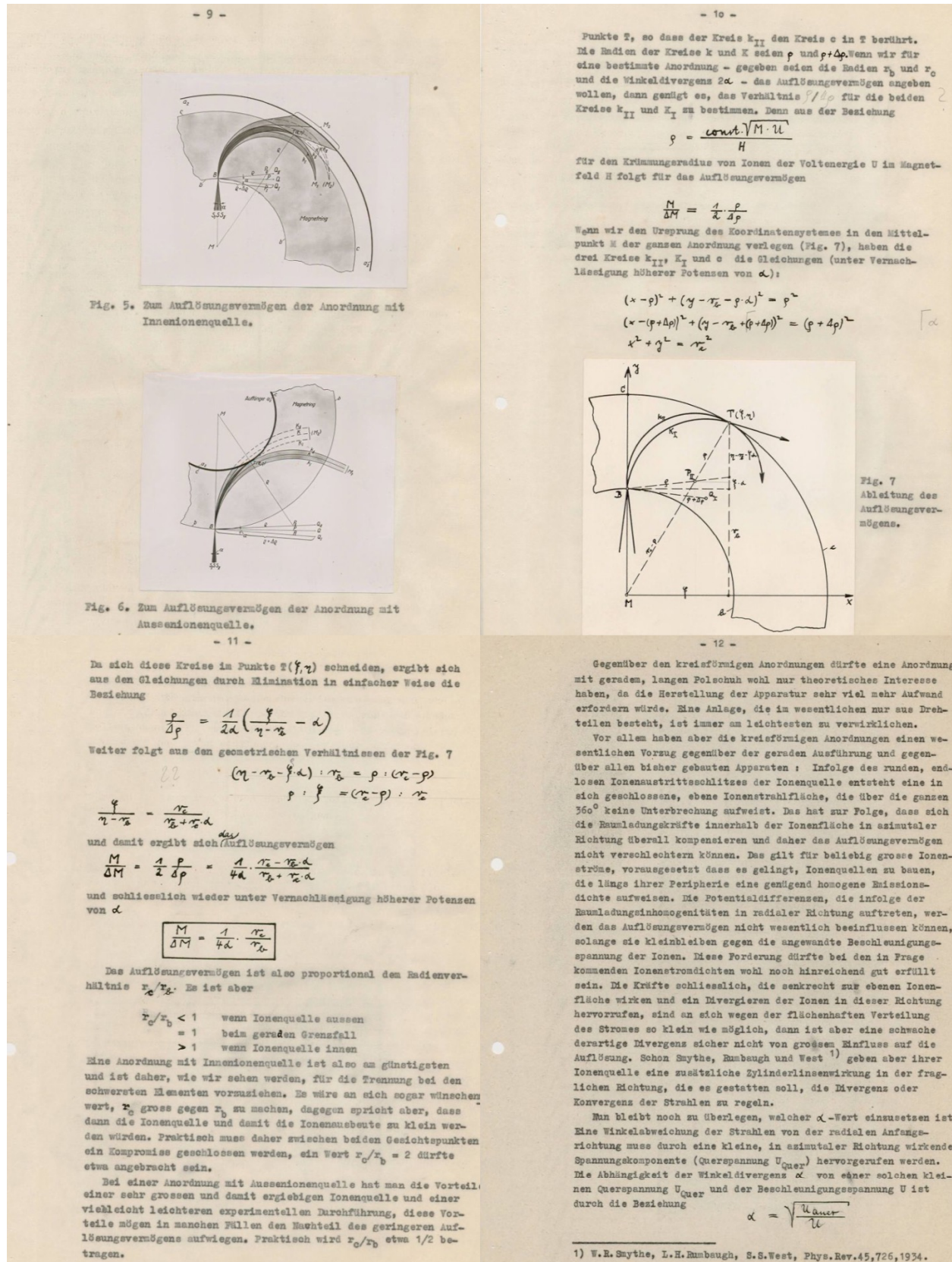


Figure D.189: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].

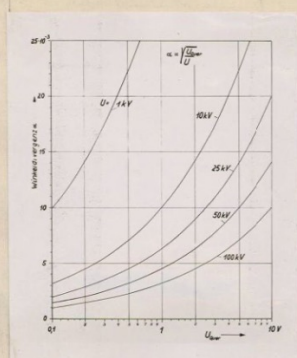


Fig. 8.
Die Abhängigkeit der Winkeldivergenz α von der Querspannung U_{Quer} und der Beschleunigungsspannung U als Parameter.

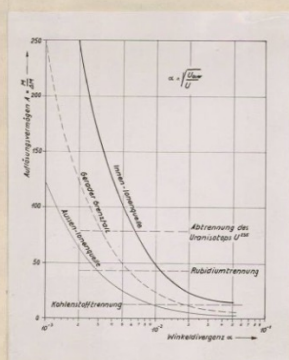


Fig. 9.
Das Auflösungsvermögen in Abhängigkeit von der Winkeldivergenz α für die drei Ausführungsformen $r_c/r_b = 2, 1$ und $1/2$.

V. Zusammenfassung.

Es wird eine neue Methode der magnetischen Isotopentrennung vorgeschlagen, die auf folgenden Prinzip beruht: Ionen homogener Energie treten unter bestimmter Richtung in ein homogenes Magnetfeld ein, dessen Feldstärke so abgestimmt wird, dass die schwerere der zu trennenden Massen auf der anderen Seite des Magnetfeldes gerade etwa streifend austritt, während die leichtere Masse gerade nicht austreten kann und zur Eintrittsseite zurückgebogen wird. Dieses Trennprinzip gibt bei Verwendung eines ringförmigen Magnetfeldes und eines dazu konzentrisch angeordneten, zylinderringförmigen Austrittsschlittes der Ionenquelle folgende vorteilhafte Eigenschaften: Wie bei allen bisherigen Anordnungen mehr oder weniger kritischen Raumladungstörungen, die Benutzbare und Auflösungsvermögen begrenzen, sind hier weitgehend beseitigt. Die Ionenanode dürfte infolge der sehr ausgedehnten Ionenquelle und der flächenhaften Verteilung des Ionenstromes bzw. der Raumladung, gemessen an der Größe der Apparatur und des notwendigen Magnetfeldes, ein Optimum sein. Die rotationsymmetrische Anordnung bedingt, dass sich bei homogener Emissionseichte der Ionenquelle die in azimuthaler Richtung wirkenden Raumladungskräfte überall kompensieren und daher auch bei höherer Ionenstromdichte das Auflösungsvermögen nicht verschlechtern können. Wie aus einer Berechnung des Auflösungsvermögens sich ergebenden Werte sind sehr günstig und dürften für die meisten praktisch vorkommenden Fälle eine sichere Trennung ergeben. Unter Umständen mag sogar die Trennung der Uranisotope 234 und 235 auf diese Weise möglich werden.

Herrn Prof. Dr. J. Mattauch, meinem Lehrer in der Massenspektrographie, möchte ich für sein förderndes und stets hilfreiches Interesse an dieser Untersuchung meinen herzlichsten Dank sagen, desgleichen Herrn Dr. A. Klein für zahlreiche anregende Diskussionen. Herrn H. v. Ardenne bin ich für Diskussionen über die praktische Durchführbarkeit der Methode sehr verpflichtet.

Berlin-Dahlem, den 3. 3. 42.

Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie.

- 14 -

gegeben und in Fig. 8 für die hier in Betracht kommenden Zahlenwerte von U und U_{Quer} graphisch dargestellt.

U_{Quer} kann sich aus zwei verschiedenen Anteilen zusammensetzen. Der eine ist auf die Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilung der Ionen in der Ionenquelle zurückzuführen und leicht zahlenmäßig angebar. Die mittlere Temperaturvoltgeschwindigkeit beträgt für eine Ionenquellentemperatur von 2000° nur $0,17$ Volt. Eine Zahl dieser Größenordnung wäre also für diesen Anteil einzusetzen. Ein anderer Anteil kann durch kleine azimutale Raumladungsinhomogenitäten in der Ionenquelle zustandekommen und sich dem ersteren überlagern. Seine Größe wird sehr von der praktisch erreichbaren Güte der Ionenquelle abhängen, es mag aber angenommen werden, dass es gelingt, ihn unter 1 Volt zu halten. Damit würde sich etwa eine Querspannung von 1 Volt ergeben, dem entspräche nach Fig. 8 bei $U = 50$ kV z.B. ein $\alpha = 5 \cdot 10^{-3}$.

In Fig. 9 wird eine graphische Darstellung für die Zahlenwerte des Auflösungsvermögens in Abhängigkeit von der Winkeldivergenz α gegeben, für den geraden Grenzfall und für die Beispiele $r_c/r_b = 2$ und $1/2$. Aus den Figuren 8 und 9 kann man ersehen, dass beispielsweise das für die Abtrennung des Uranisotops 235 etwa erforderliche Auflösungsvermögen 80 bei $U = 100$ kV eine Querspannung bis zu 4 Volt zulassen würde (Innenionenquelle). Bei $U_{\text{Quer}} = 1$ Volt wird man also eine sehr sichere Trennung bekommen. Wenn man aber, was durchaus möglich ist, für U_{Quer} einen kleineren Wert, z.B. etwa $0,2$ Volt anzusetzen hätte, dann würde unter den gleichen Bedingungen das Auflösungsvermögen 250 übersteigen, und damit wäre unter Umständen die Möglichkeit gegeben, U^{234} und U^{235} zu trennen. Der Vollständigkeit halber soll noch der Einfluss einer kleinen Inhomogenität ΔU der Ionenenergie U auf das Auflösungsvermögen angegeben werden; das reziproke Auflösungsvermögen ist dann

$$\frac{\Delta M}{M} = 4\alpha \frac{r_c}{r_b} + \frac{\Delta U}{U}$$

Da es aber möglich sein sollte, diese Inhomogenität unter 1% zu halten, können wir dieses Zusatzglied vernachlässigen.

Figure D.190: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].

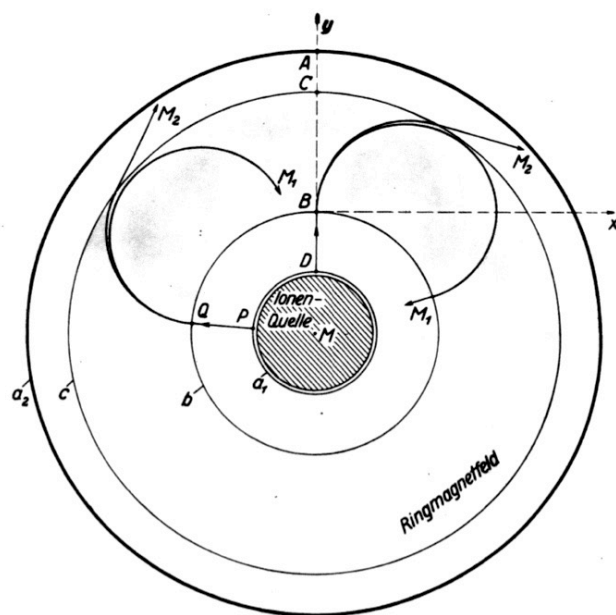


Fig. 2. Anordnung mit ringförmigem Magnetfeld, Innenionenquelle und Aussenauffänger für die schwere Masse.

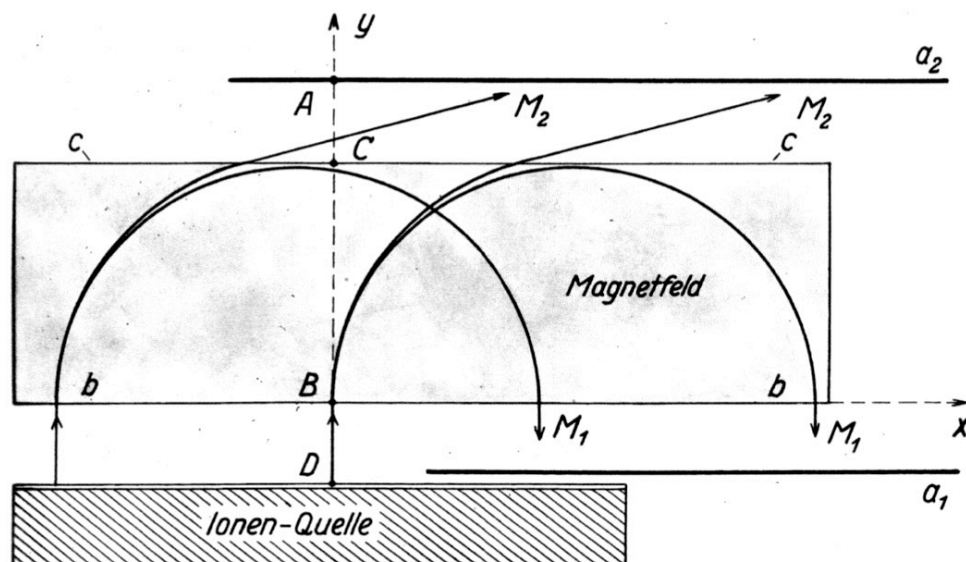


Fig. 3. Lineare Ausführung mit langem, rechteckigem Polschuh, Grenzfall des Ringmagneten.

Figure D.191: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].

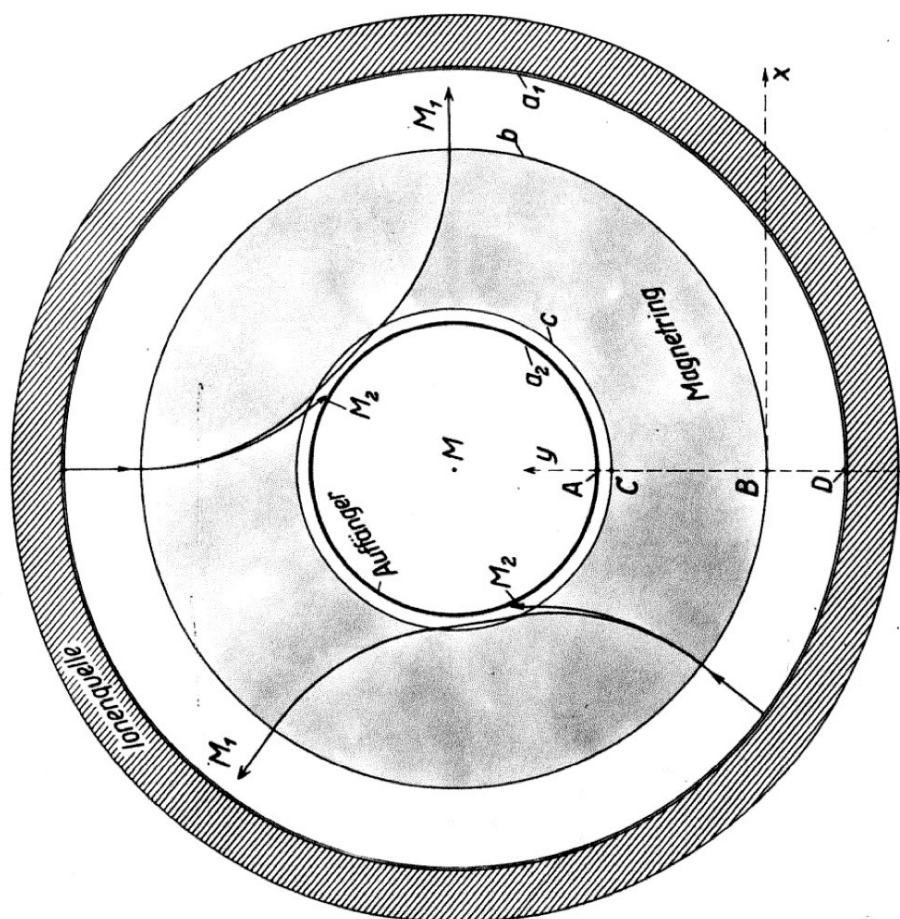


Fig. 4. Anordnung mit ringförmigem Magnetfeld, Aussen-
ionenquelle und Innenaufnehmer für die schwere Masse.

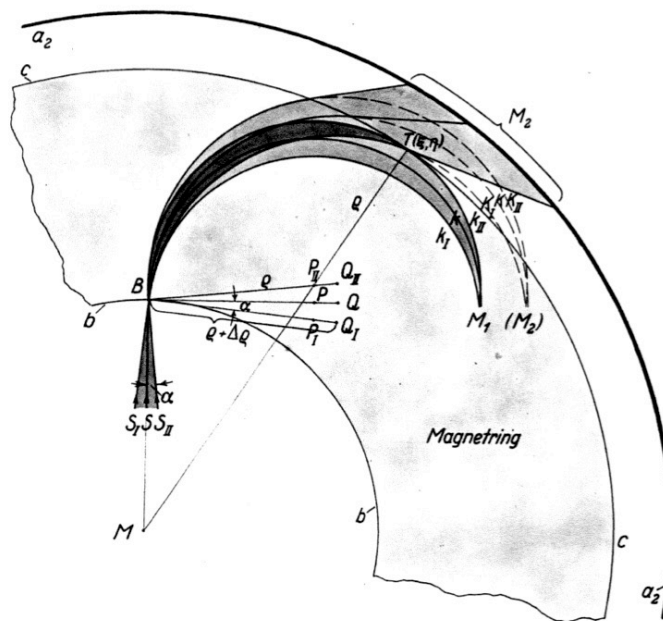


Fig. 5. Zum Auflösungsvermögen der Anordnung mit Innenionenquelle.

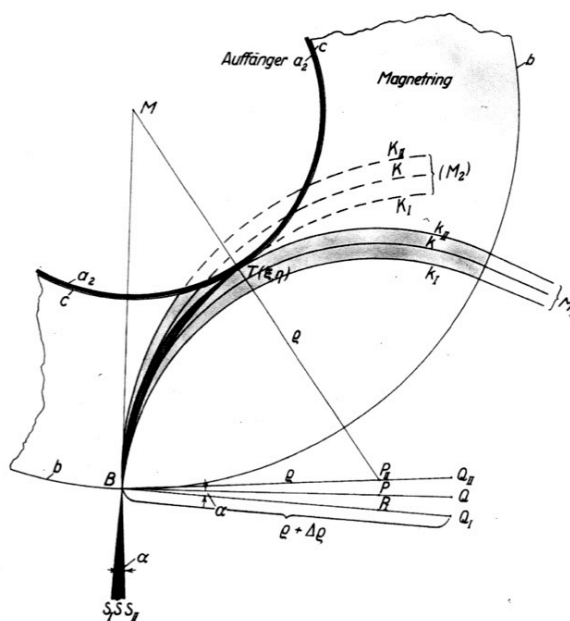


Fig. 6. Zum Auflösungsvermögen der Anordnung mit Aussenionenquelle.

Figure D.193: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].

für den Krümmungsradius von Ionen der Voltenergie U im Magnetfeld H folgt für das Auflösungsvermögen

$$\frac{M}{\Delta M} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{\Delta \rho}$$

Wenn wir den Ursprung des Koordinatensystemes in den Mittelpunkt M der ganzen Anordnung verlegen (Fig. 7), haben die drei Kreise k_{II} , k_I und c die Gleichungen (unter Vernachlässigung höherer Potenzen von α):

$$(x - \rho)^2 + (y - r_c - \rho \cdot \alpha)^2 = \rho^2$$

$$(x - (\rho + \Delta \rho))^2 + (y - r_c + (\rho + \Delta \rho))^2 = (\rho + \Delta \rho)^2$$

$$x^2 + y^2 = r_c^2$$

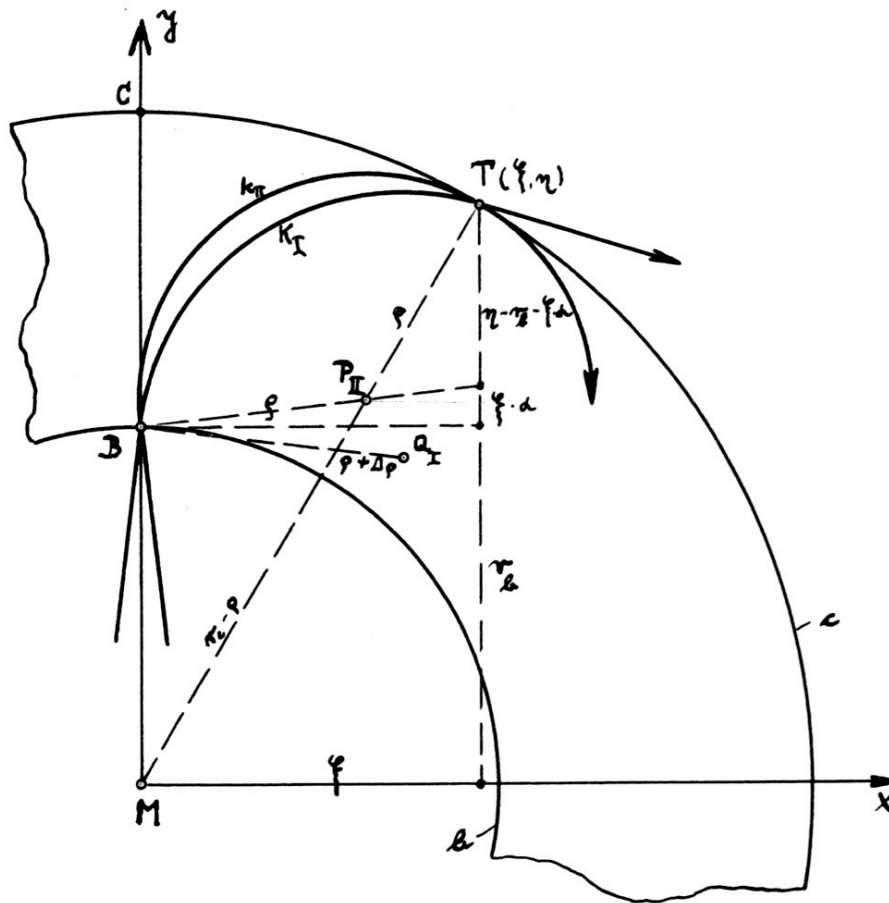


Fig. 7
Ableitung des
Auflösungsver-
mögens.

- 1 -

I. Der Einfluss von Ionengeschwindigkeitsverteilung
und relativer Häufigkeit auf das Auflösungsvermögen.

Wird bei den beiden in Teil I^{*)} besprochenen Ausführungsformen mit ringförmigem Magnetfeld nach H. Ewald oder bei der graden Form des Isotopentrenners vom Verfasser die Ionenquelle so ausgeführt, dass die Emissionsdichte überall konstant ist, so besteht die bemerkenswerte Eigenschaft, dass die Trennung in erster Näherung unabhängig vom Raumladungseinfluss ist. Dies liegt darin, dass im Fall eines Emissionsfächers unendlicher Ausdehnung die schädlichen Raumladungseinflüsse benachbarter Teilchen sich in der Fächerebene gegenseitig aufheben. Lokale Unterschiede der Ionenemissionsdichte, die praktisch nur schwer ganz zu vermeiden sein werden, können einen merklichen Beitrag zur Querspannung U_{Quer} liefern. Die Grösse dieses Beitrages ist schwer abzuschätzen. Sie wird sehr von der Güte der Ionenquelle abhängen. Nachdem grundsätzlich der Einfluss von Emissionsdichte-Unterschieden durch Herabsetzung der Emissionsdichte selbst ausgeschaltet werden kann, hat man es in der Hand durch Schliessung eines Kompromisses ihn in erträglichen Grenzen zu halten.

Aus dem oben Gesagten ergibt sich folgende Zusammensetzung der Querspannung

$$U_{\text{Quer}} = U_m \cdot k_1 \cdot k_2$$

U_m ist hierbei die mittlere Voltgeschwindigkeit der thermischen Ionen, für die wir bei einer Ionenquellentemperatur von 1000

+) H.Ewald, Über eine neue Methode zur magnetischen Isotopentrennung. Gleichzeitige Mitteilung des Kaiser Wilhelm-Institutes für Chemie, Berlin-Dahlem.

Figure D.195: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

- 33 -

Bildunterschriften.

- Fig. 1. Die Abhängigkeit des Faktors k_2 von der relativen Häufigkeit für konstanten Reinheitsgrad des abgetrennten seltenen Isotops ($R_{M_2} = 80 \%$).
- Fig. 2. Einfluss des Streufeldes an der Trenngrenze auf die Teilchenbahnen für zwei Eintrittshöhen z im Emissionsfächer.
- Fig. 3. Wirkung der sammelnden Zylinderlinse beim Strahleintritt in das Trennmagnetfeld (schematisch)
- Fig. 4. Raumladungsstörung und Ionenoptik des magnetischen Isotopentrenners.
- Fig. 5. Die für den Ionenstrom massgebenden Größen beim magnetischen Isotopentrenner.
- Fig. 6. Änderung der ionenoptischen Daten bei verschiedenen Anordnungen.
- Fig. 7. Darstellung zur Berechnung des Raumladungseinflusses auf Gegenstands- und Bildseite des magnetischen Isotopentrenners reduziert auf gleiche Voltgeschwindigkeit vor und hinter der Linse.
- Fig. 8. Zur Berechnung des durch die Raumladung begrenzten Massentransportes beim magnetischen Isotopentrenner.
- Fig. 9. Zur Abschätzung des Ionisierungswirkungsgrades beim magnetischen Isotopentrenner.
- Fig. 10. Zur Abschätzung des Energieverbrauchs beim magnetischen Isotopentrenner.
- Fig. 11. Zum Projekt eines magnetischen Isotopentrenners mit linearer Ausführung und starker Abbremsung beider Massen.

Figure D.196: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

- Fig. 12. Zur Rückgewinnung der Beschleunigungsarbeit nach erfolgter Trennung.
- Fig. 13. Nomogramm über die Beziehung zwischen Beschleunigungsspannung, Magnetfeldstärke und Krümmungsradius für verschiedene Massenzahlen.
- Fig. 14. Zunahme der erlaubten Winkeldivergenz mit abnehmendem Radienverhältnis bei konstanter Magnetfeldstärke und Beschleunigungsspannung.
- Fig. 15. Nomogramm über die Beziehung zwischen Auflösungsvermögen, Radienverhältnis der Magnetfeldbegrenzungen und Winkeldivergenz für die drei Ausführungsformen des magnetischen Isotopentrenners.
- Fig. 16. Die Konstruktion einer im Bau befindlichen Versuchsanlage mit Aussenionenquelle.
- Fig. 17. Ansicht des fertigen Magneten der Versuchsanlage.
- Fig. 18. Zum Projekt einer grösseren Anlage mit Uran-Innenionenquelle.
- Fig. 19. Erstes Vorhaben (v.Ardenne) eines linearen magnetischen Isotopentrenners mit ausgedehnter Ionenquelle und Trennung durch Auffänger.

Die Abhängigkeit des Faktors k_2 von der relativen Häufigkeit für konstanten Reinheitsgrad des abgetrennten seltenen Isotops ($R_{M_2} = 80\%$)

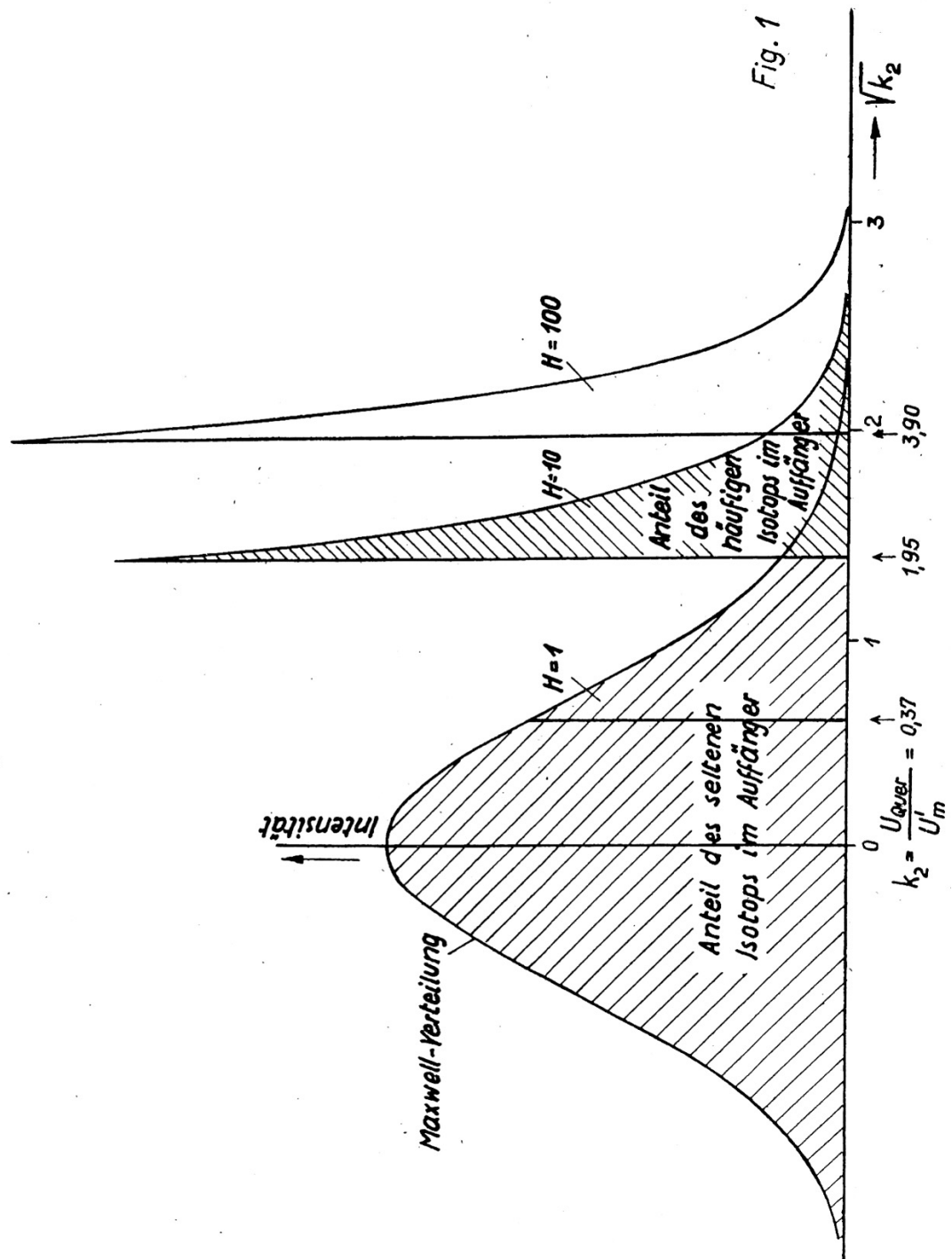


Figure D.198: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

*Einfluss des Streufeldes an der
Trenngrenze auf die Teilchenbahnen
für zwei Eintrittshöhen z im Emissions-
fächer*

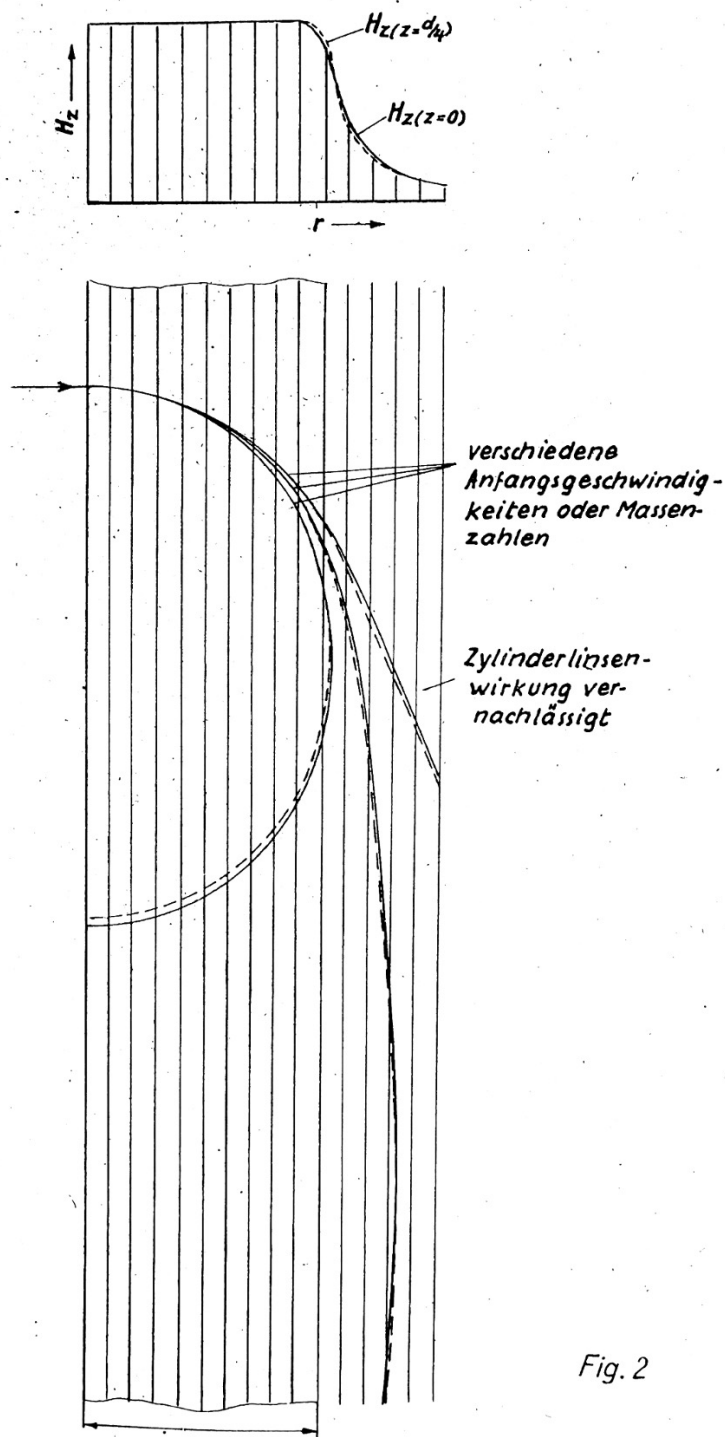


Fig. 2

Figure D.199: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

*Wirkung der sammelnden Zylinder-
linse beim Strahleintritt in das
Trennmagnetfeld (schematisch)*

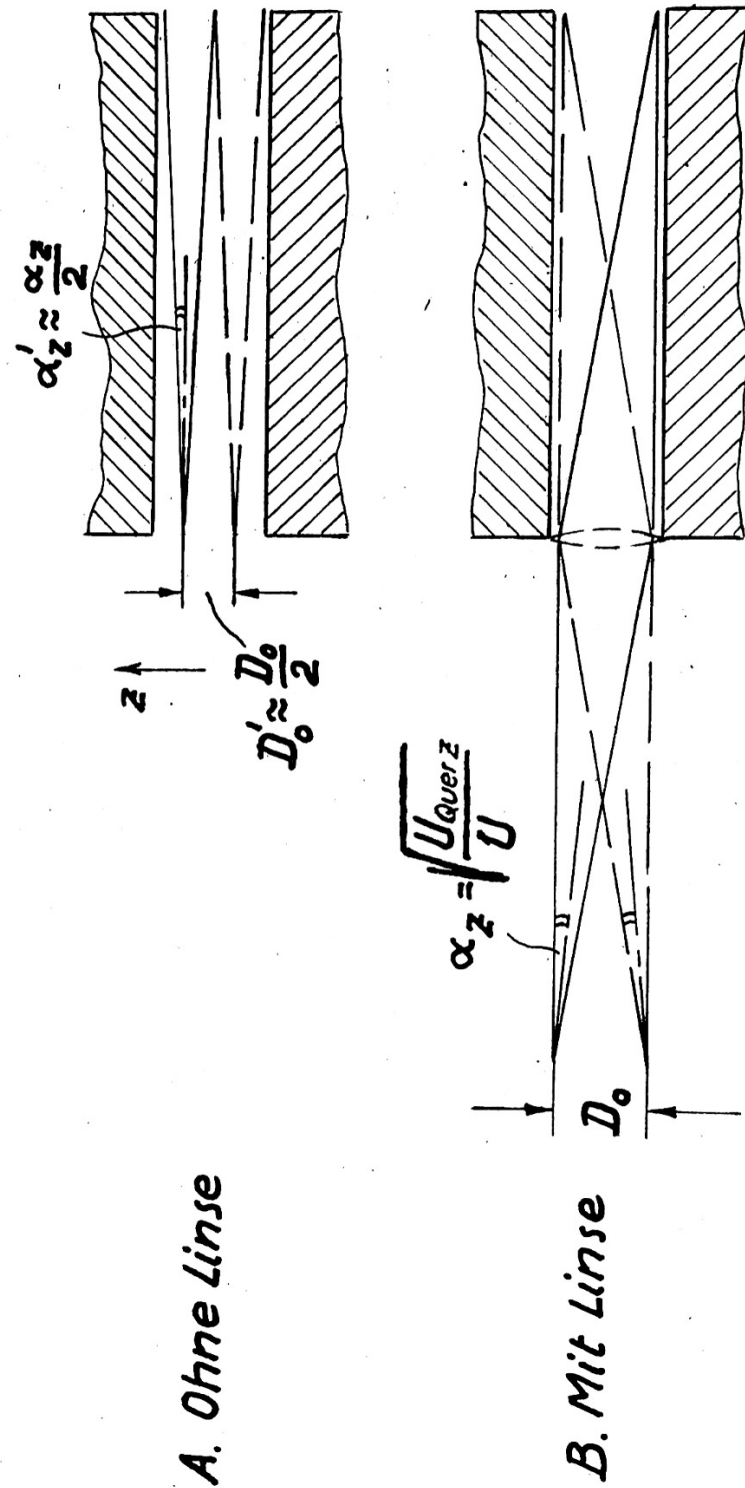


Fig. 3

Figure D.200: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

Raumladungsstörung und Ionenoptik des magnetischen Isotopentrenners

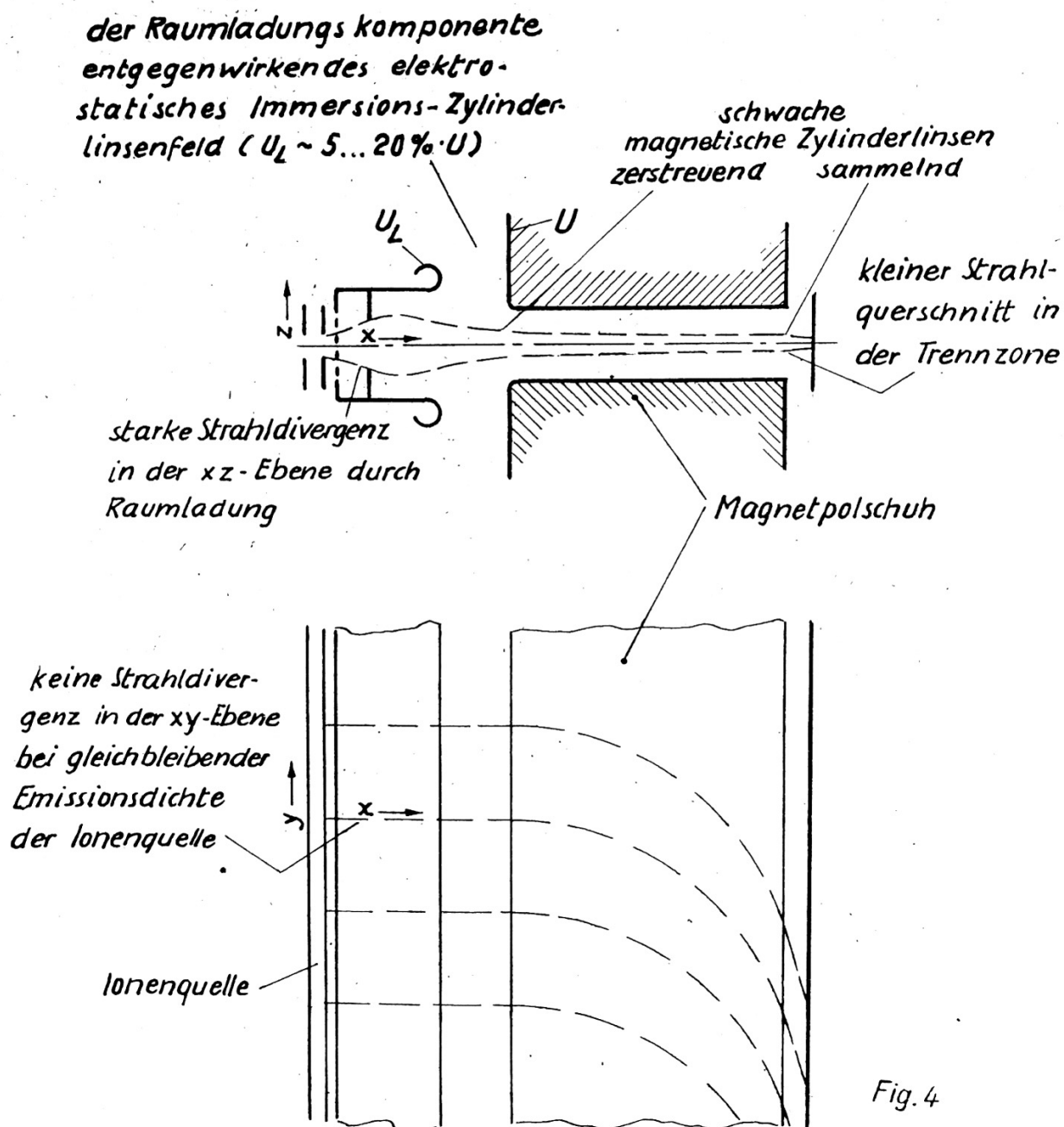
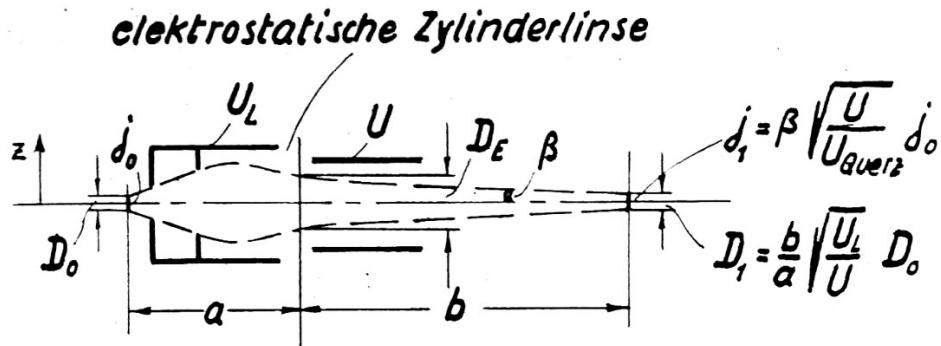


Figure D.201: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

Die für den Ionenstrom massgebenden Grössen beim magnetischen Isotopentrenner



$$I_1 = D_1 j_1 l = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{U}{U_{\text{Querz}}}} \cdot \frac{1}{b} \cdot D_1 D_E l j_0$$

I_1 = Ionenstromstärke

j_0 = Stromdichte der Ionenquelle

j_1 = Stromdichte am Abbildungsort

D_0 = Höhe des Ionenquellenspaltes

D_1 = Höhe des Ionenstromfächers am Abbildungsort

D_E = Eintrittshöhe am Anfang des Trennmagnetfeldes

l = Länge des Ionenquellenspaltes

β = bildseitiger Aperturwinkel

U_L = Linsenspannung

U = Beschleunigungsspannung

U_{Querz} = resultierende Querspannung in z-Richtung

Fig. 5

Figure D.202: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

Änderung der ionenoptischen Daten bei verschiedenen Anordnungen

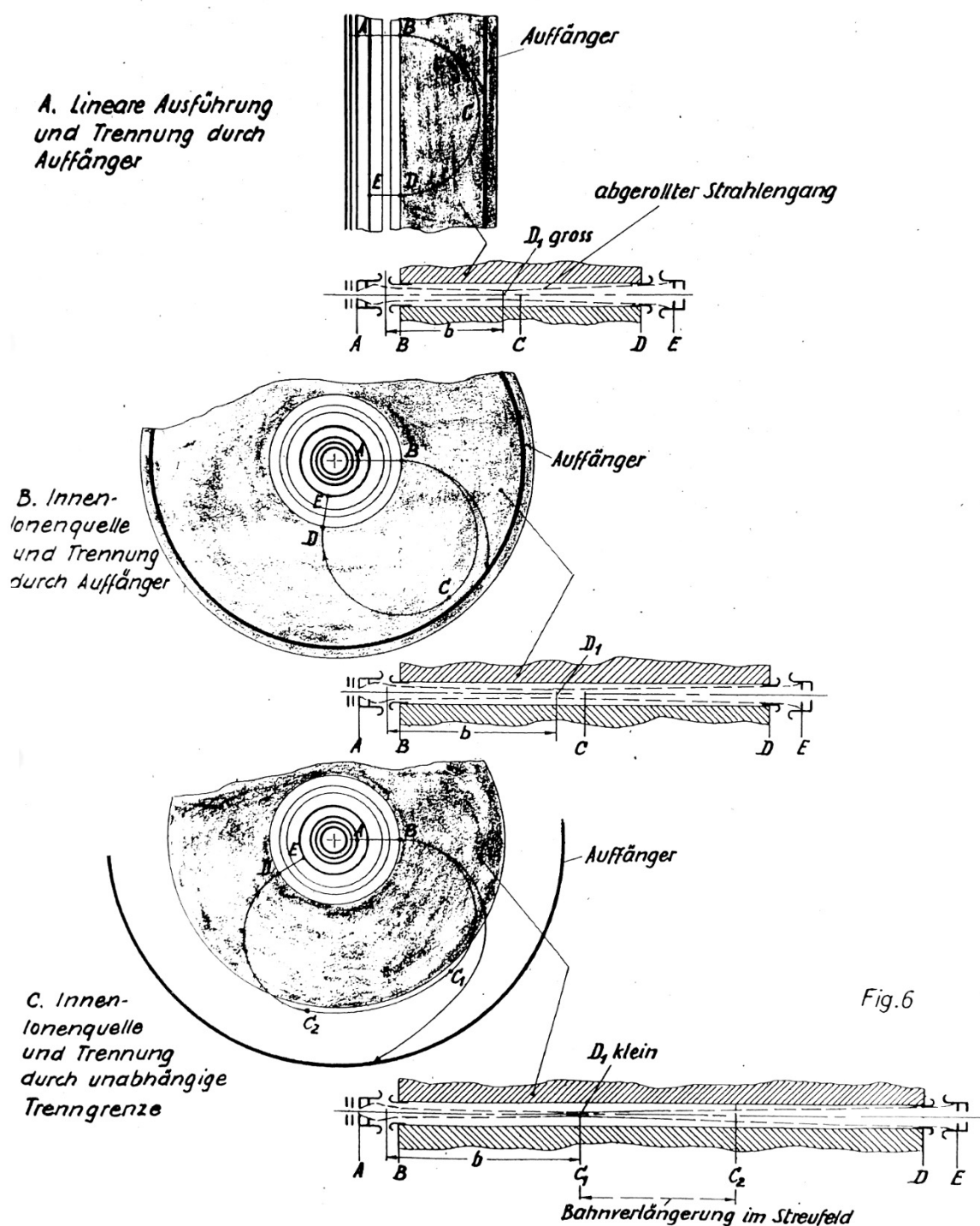


Figure D.203: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

Darstellung zur Berechnung des Raumladungseinflusses auf Gegenstands- und Bildseite des magnetischen Isotopentrenners reduziert auf gleiche Voltgeschwindigkeit vor und hinter der Linse

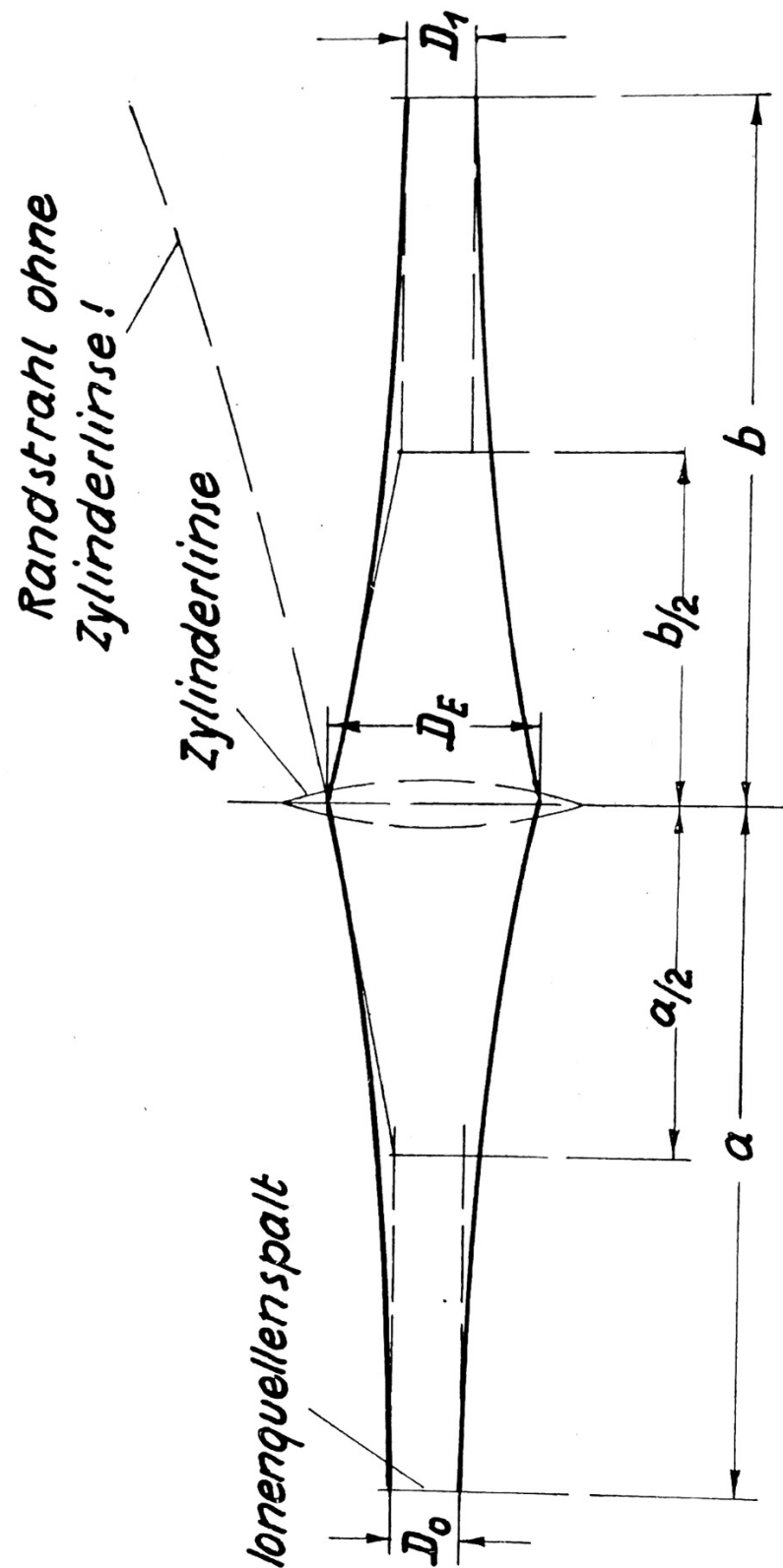


Figure D.204: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

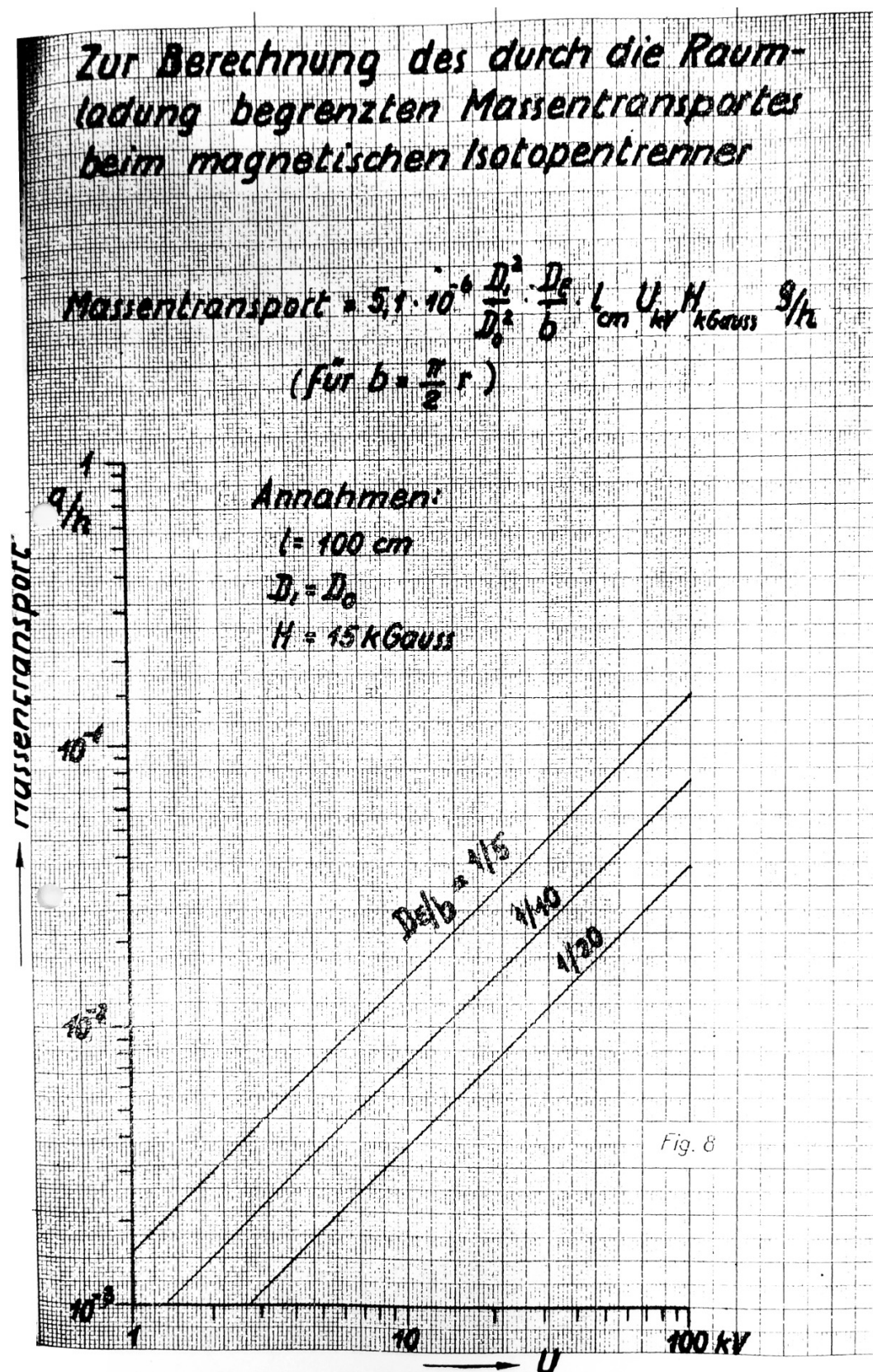


Figure D.205: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

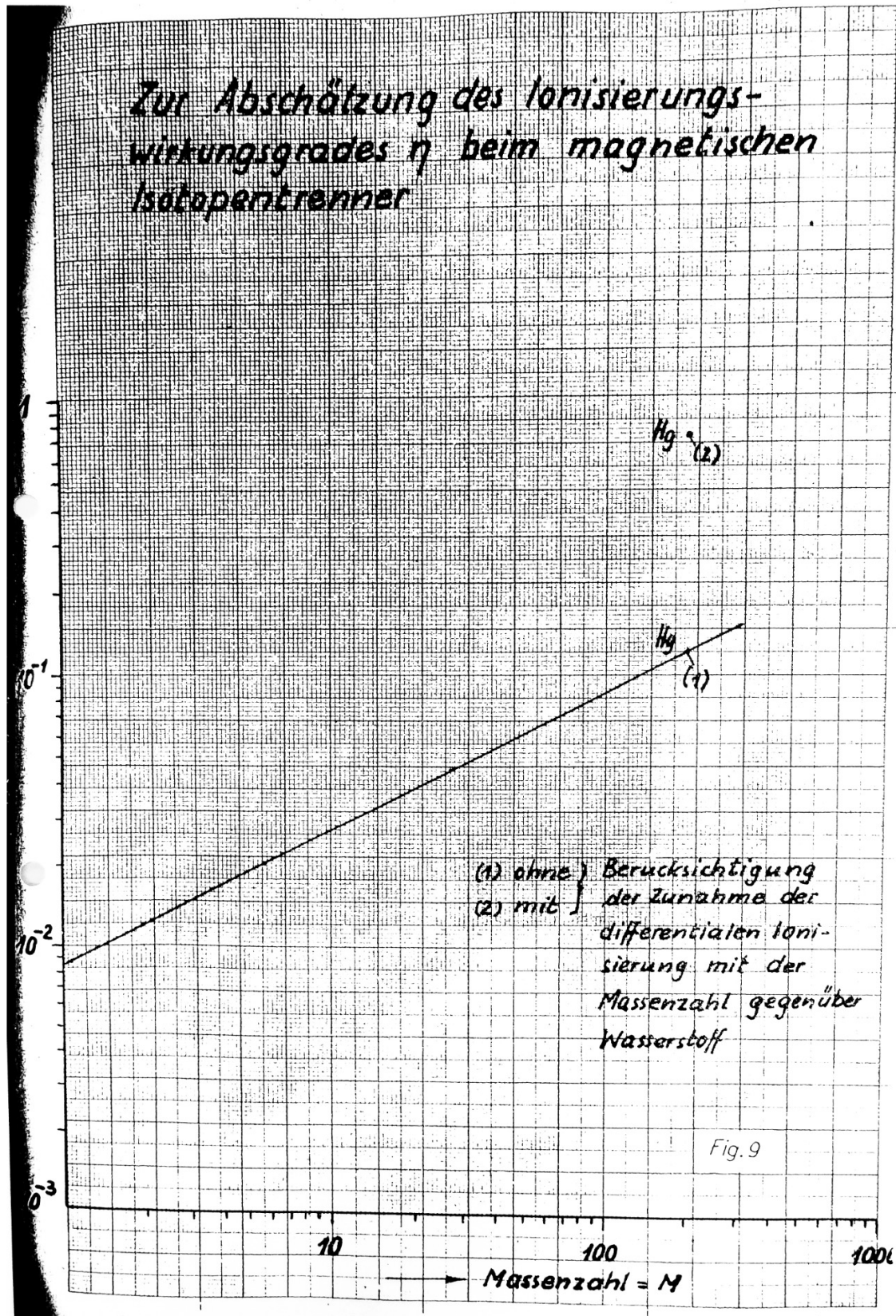


Figure D.206: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

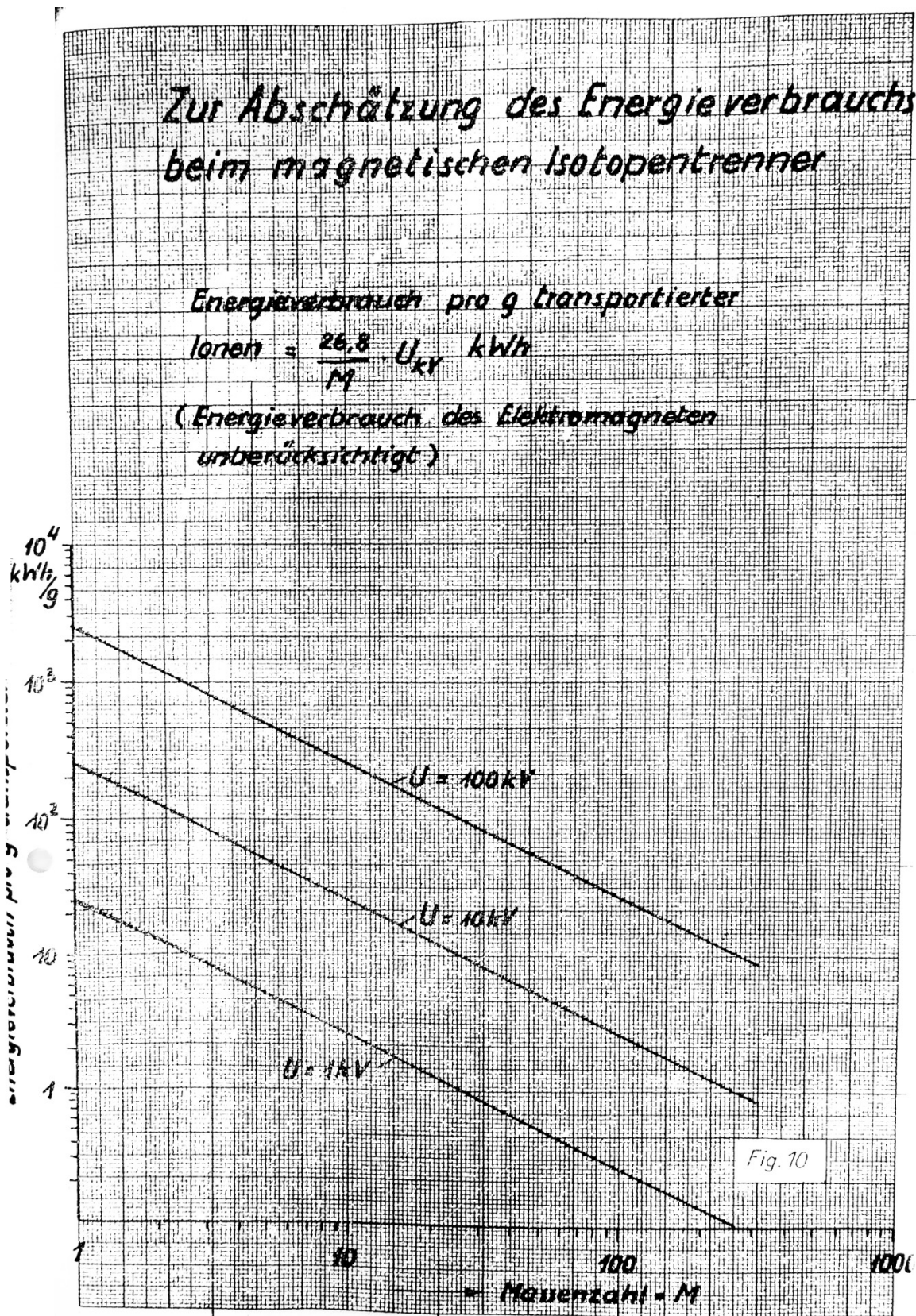


Figure D.207: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

*Zum Projekt eines Isotopentrenners mit linearer
Ausführung und starker Abbremsung beider Massen*

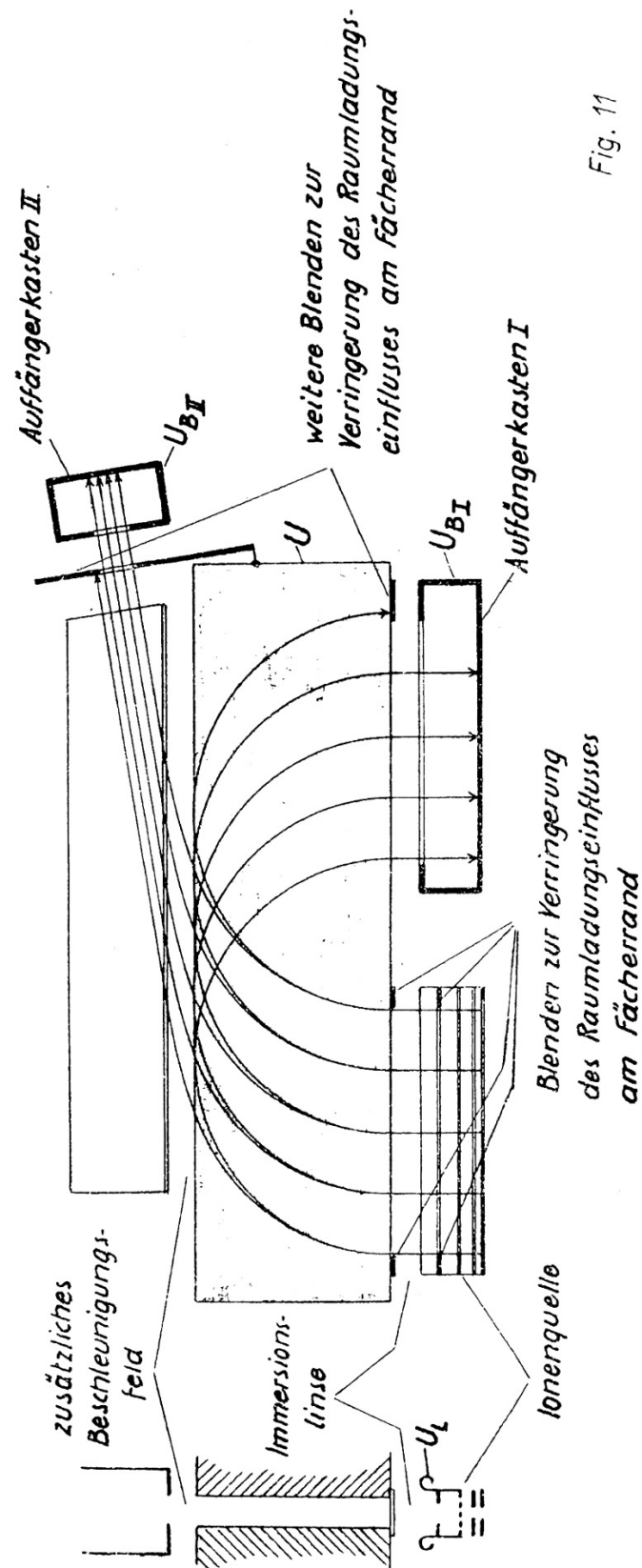


Figure D.208: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

Zur Rückgewinnung der Beschleunigungsarbeit nach erfolgter Trennung

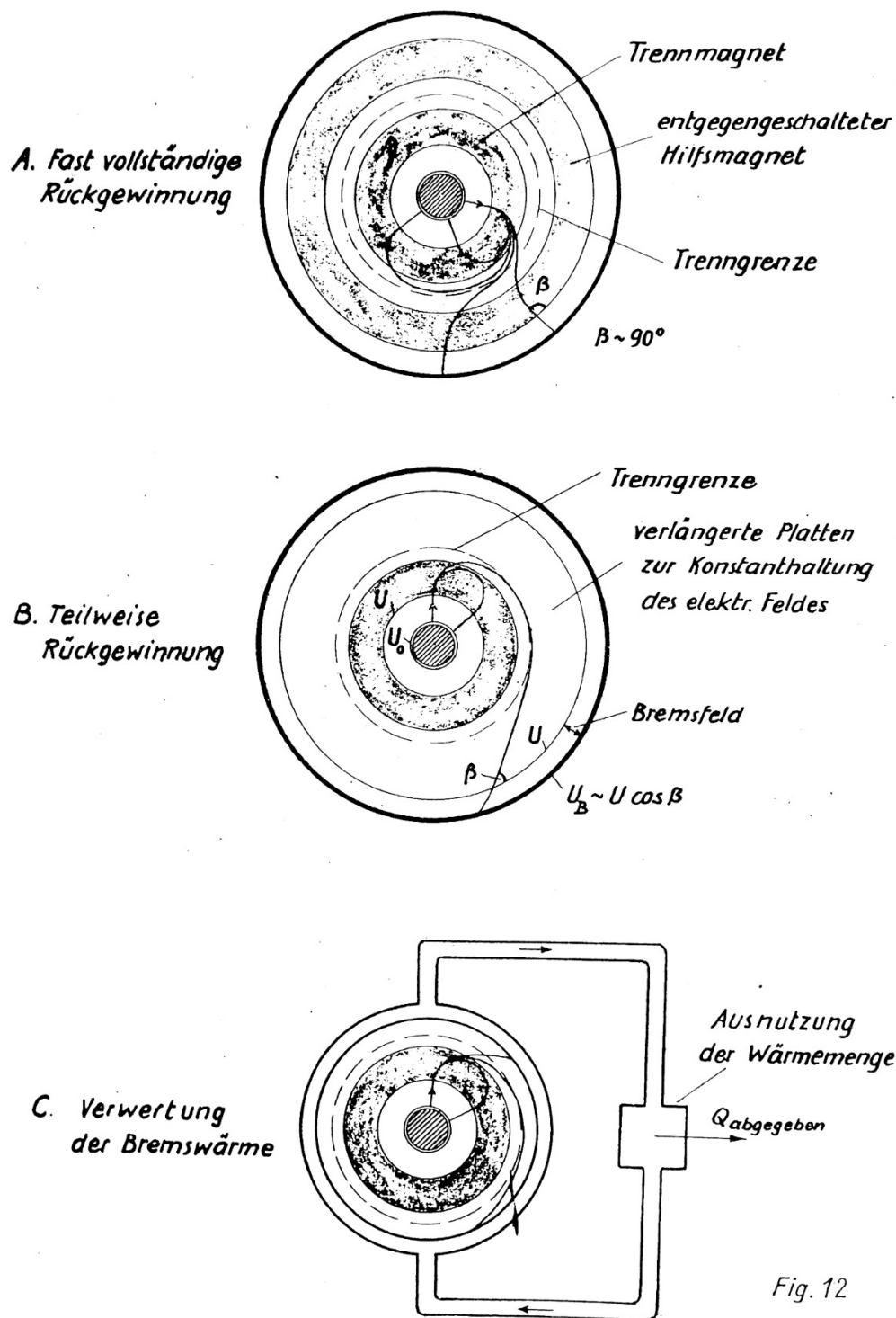


Figure D.209: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

***Nomogramm über die Beziehung
zwischen Beschleunigungsspannung,
magnet. Feldstärke und Krümmungs-
radius für verschiedene Massenzahlen***

$$\frac{r_{cm}}{\sqrt{M}} = 4,6 \cdot \frac{\sqrt{U_{kV}}}{H_{kGauss}}$$

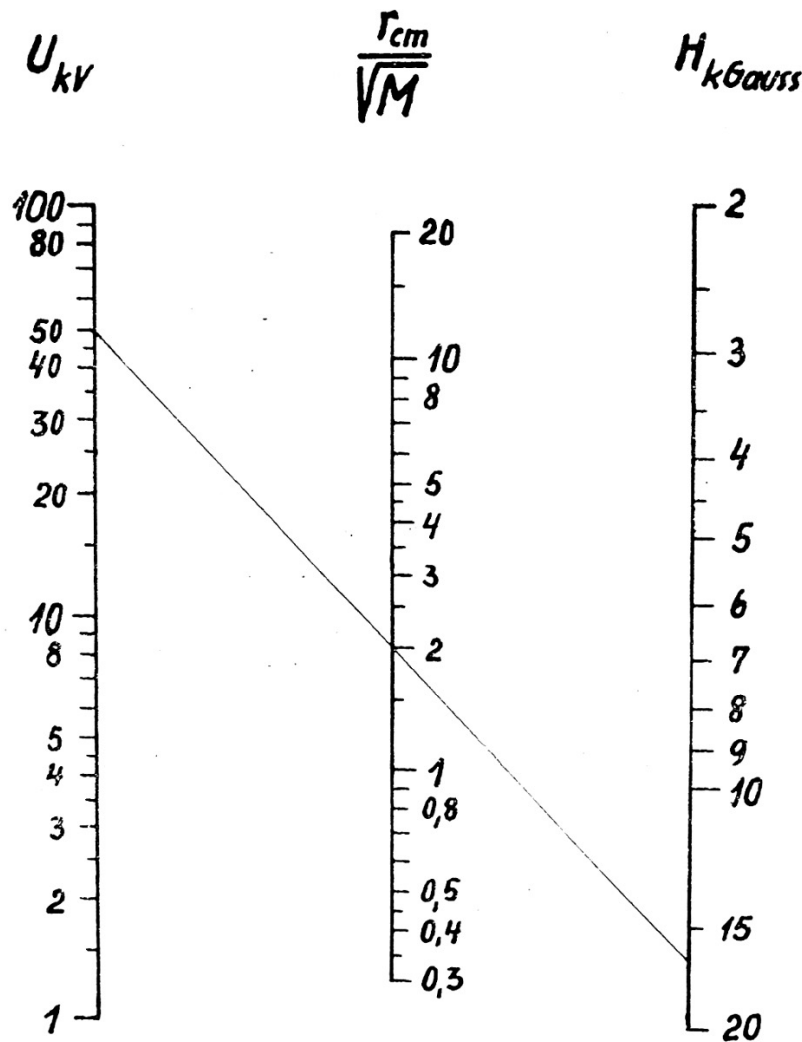


Fig.13

Figure D.210: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

*Zunahme der erlaubten Winkeldivergenz
mit abnehmendem Radienverhältnis bei
konstanter Magnetfeldstärke und Beschleunigungsspannung*

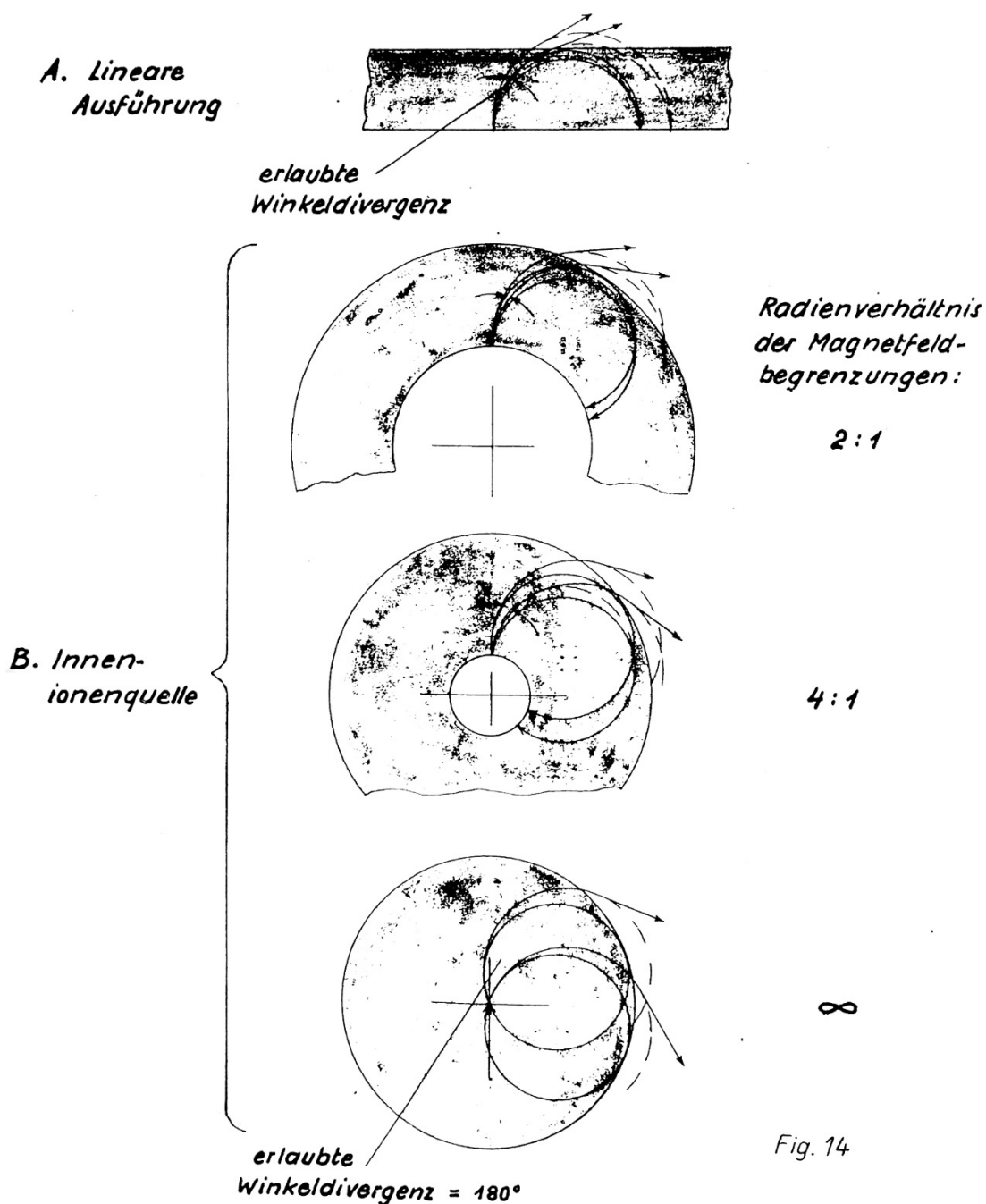


Figure D.211: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

Nomogramm über die Beziehung zwischen Auflösungsvermögen A , Radienverhältnis δ der Magnetfeldbegrenzungen und Winkeldivergenz α für die drei Ausführungsformen des magnetischen Isotopentrenners

$$A = \frac{\delta}{4 \cdot \sin \alpha}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{U_{\text{Quer}}}{U}}$$

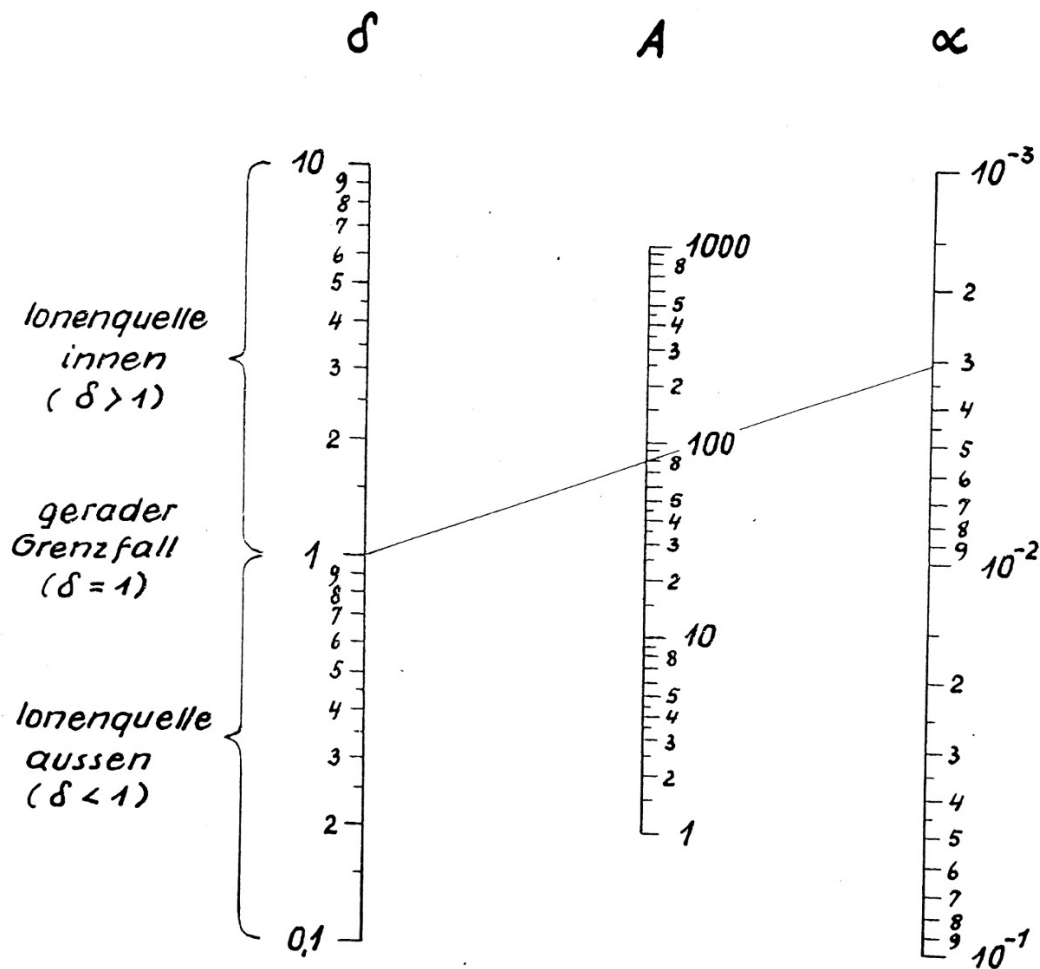


Fig. 15

Figure D.212: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

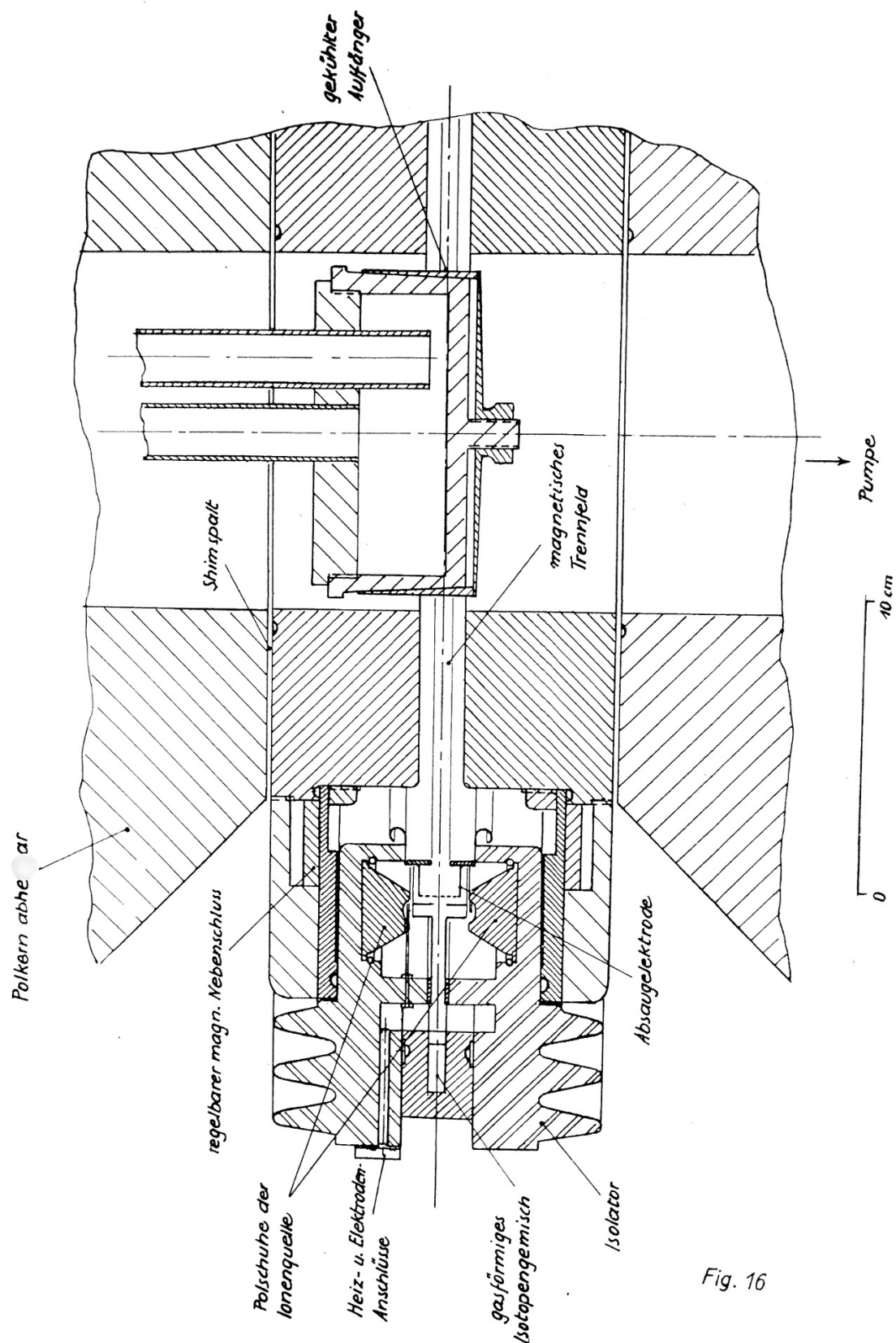


Fig. 16

Figure D.213: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

*Fig. 17*

Figure D.214: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

Zum Projekt einer größeren Anlage
mit Ura.-Innenionenquelle

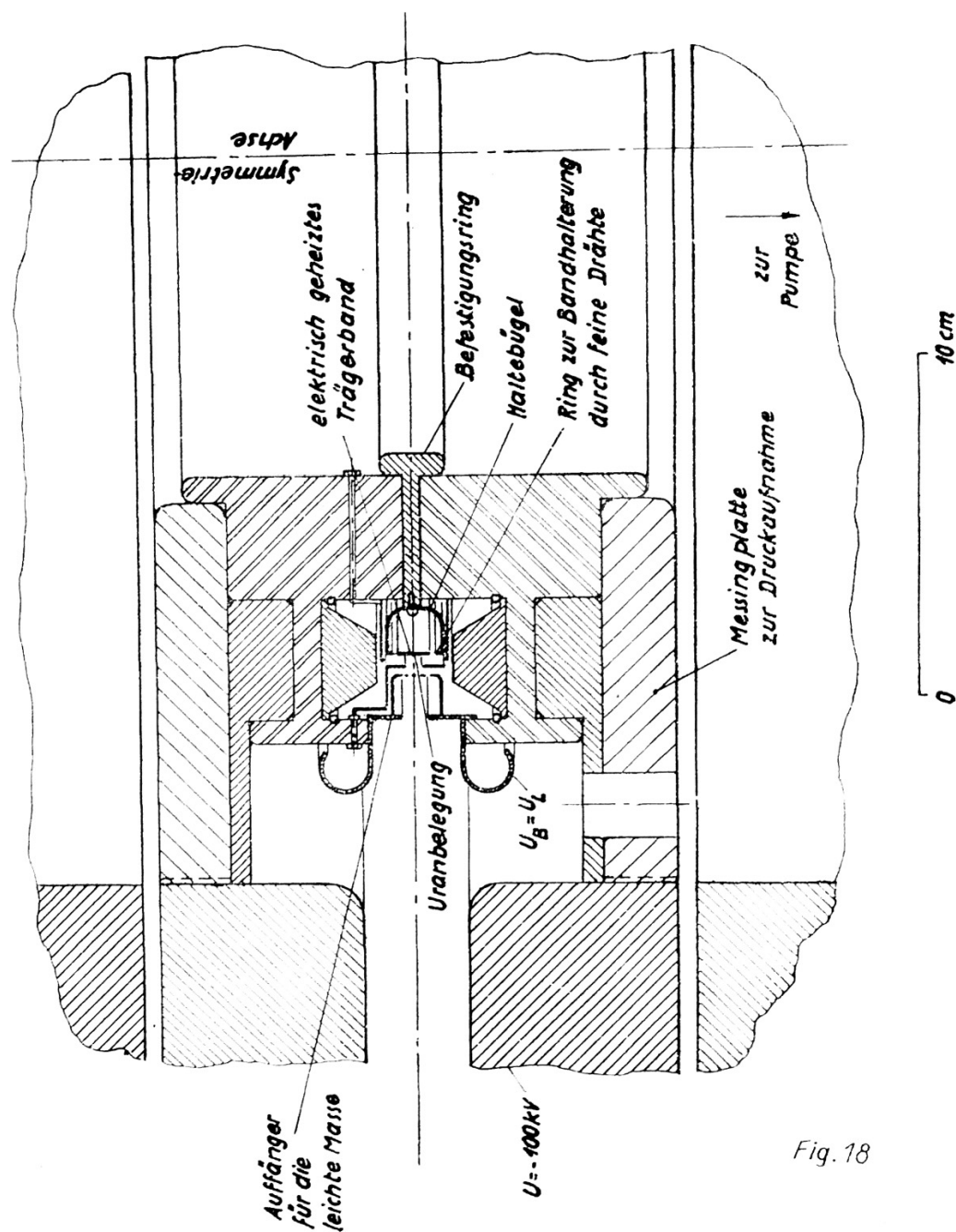


Fig. 18

Figure D.215: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

Erstes Vorhaben eines linearen magnetischen Isotopentrenners mit ausgedehnter Ionenquelle und Trennung durch Auffänger

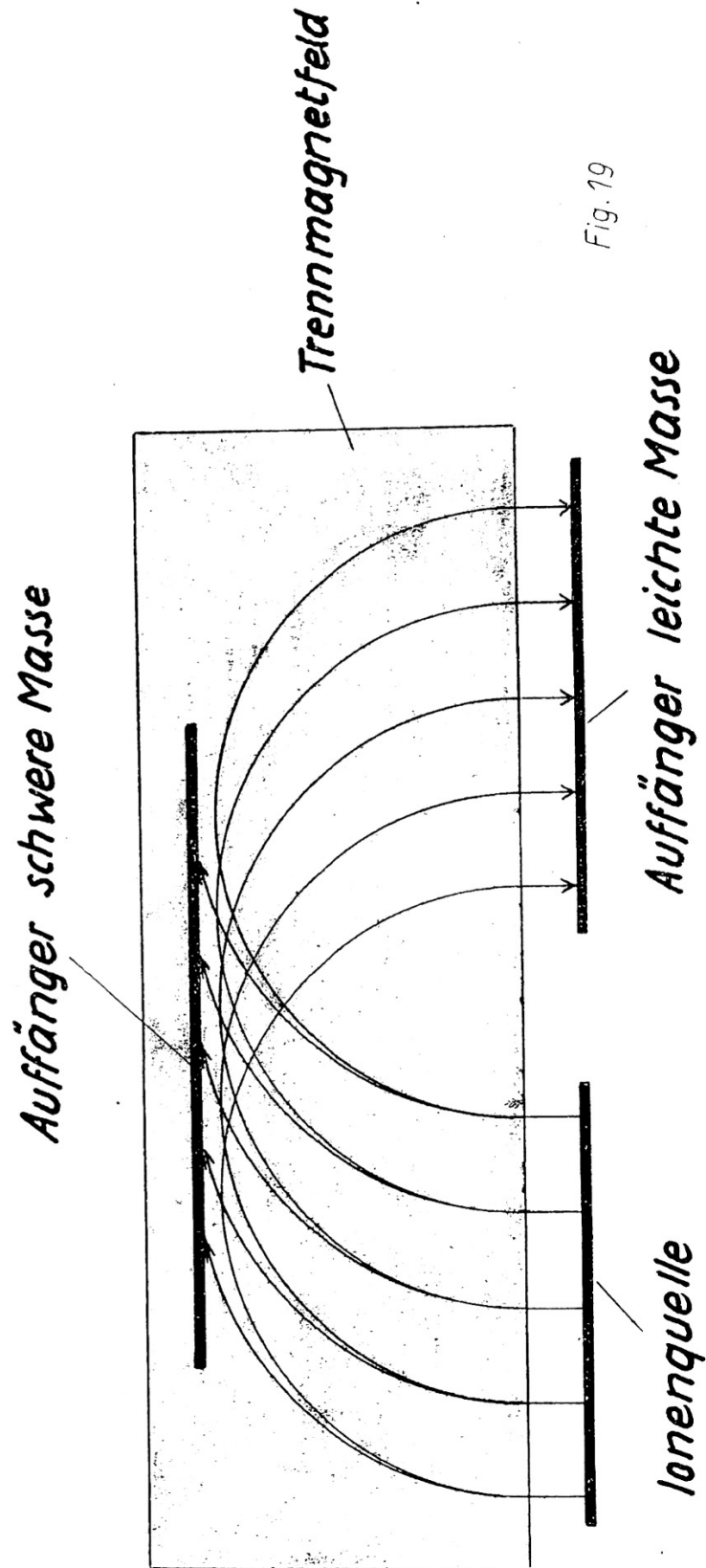


Fig. 19

Figure D.216: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

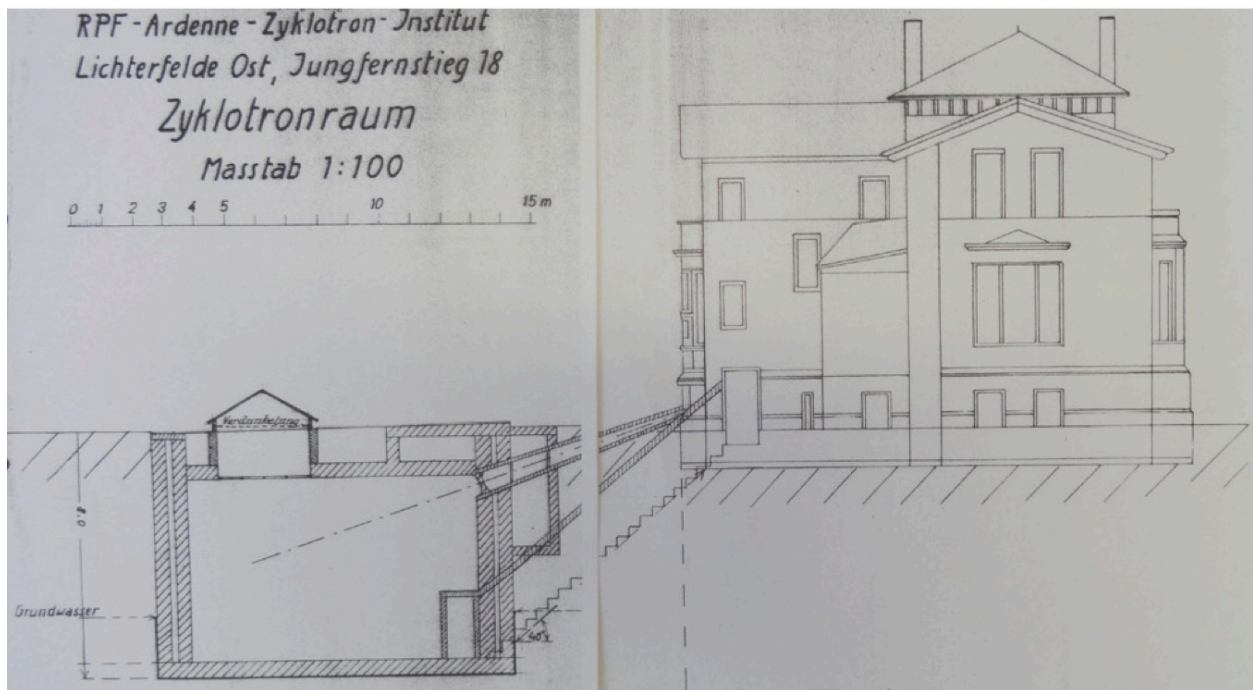


Figure D.217: The former Manfred von Ardenne mansion. A large cyclotron was located under the garage at the left, accessible by a tunnel from the house.

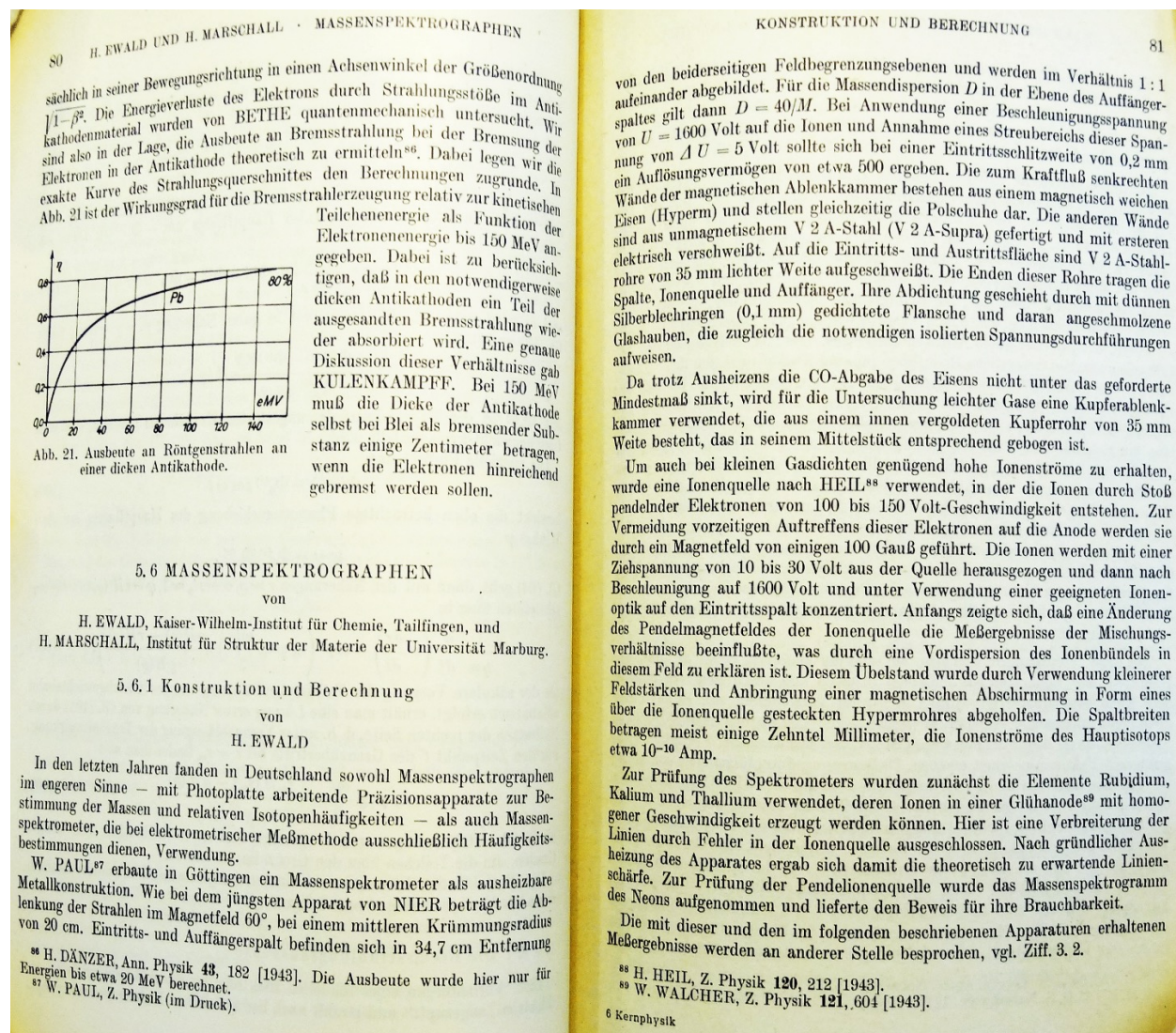


Figure D.218: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: *Nuclear Physics and Cosmic Rays* Vol. II, pp. 80–10].

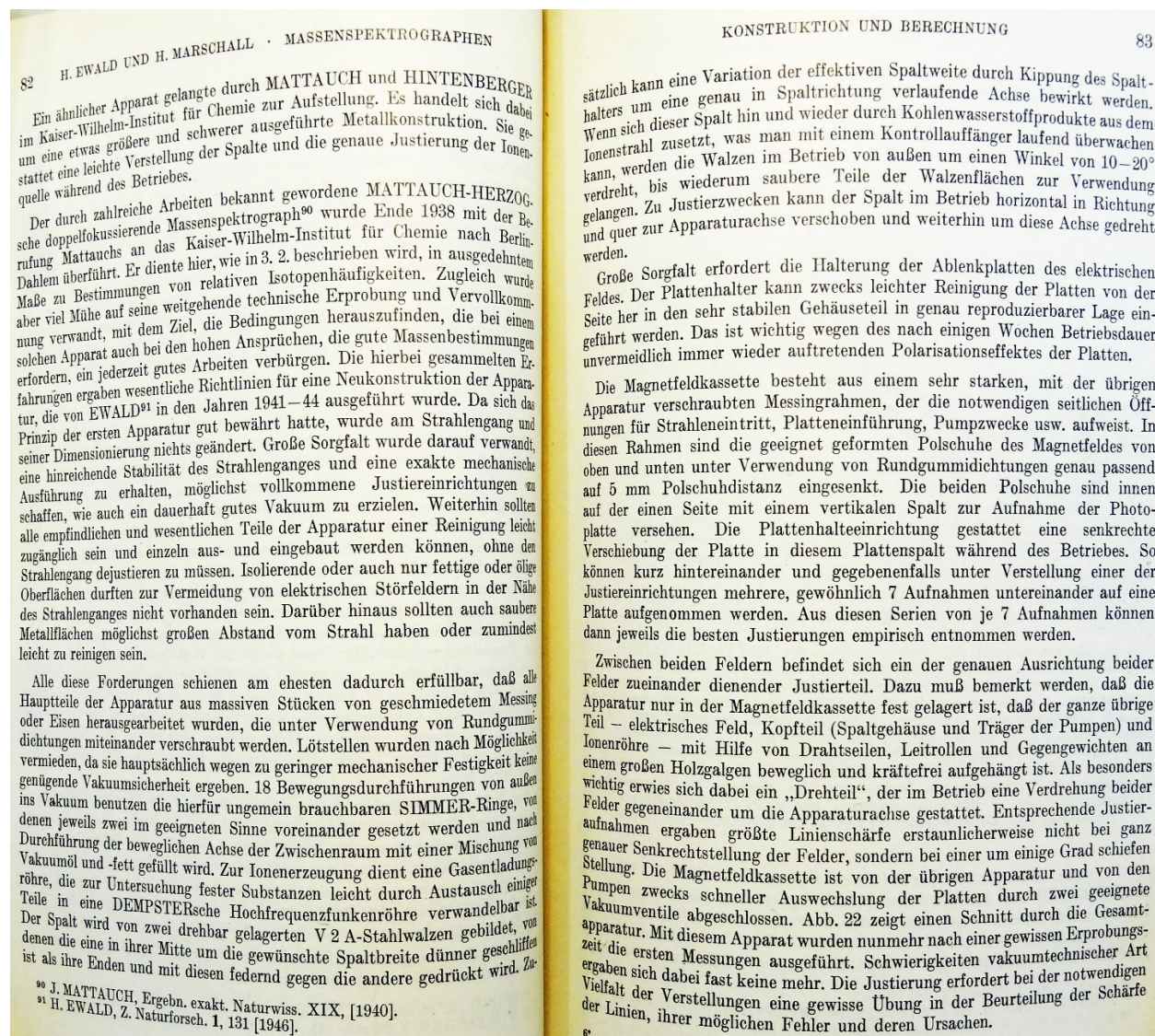


Figure D.219: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: *Nuclear Physics and Cosmic Rays* Vol. II, pp. 80–10].

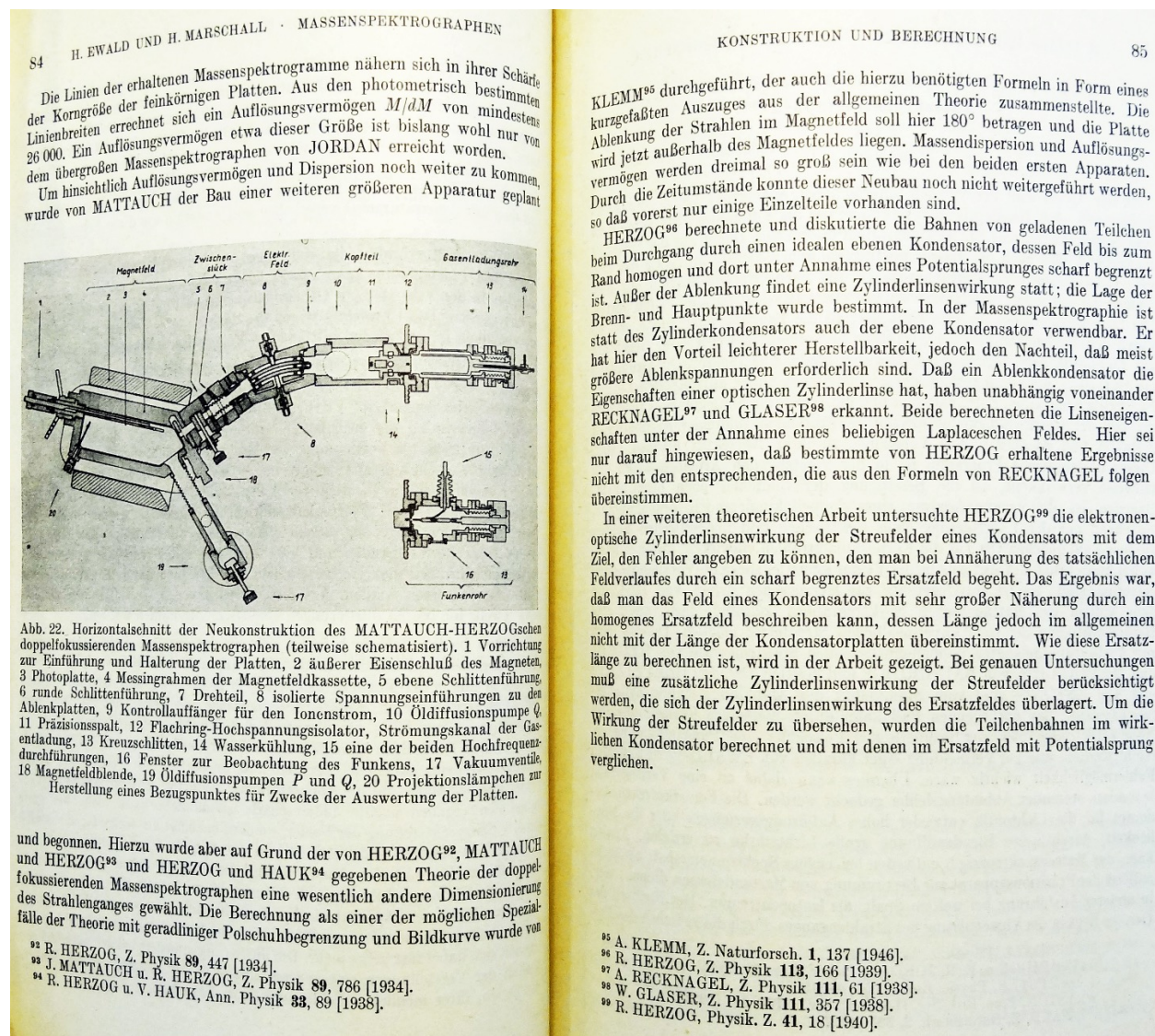


Figure D.220: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].

86 H. EWALD UND H. MARSHALL · MASSENSPEKTROGRAPHEN

5.6.2 Gaußsche Dioptrik und Bildfehlertheorie eines Massenspektrographen¹⁰⁰

von
H. MARSHALL

In der Arbeit wird der Versuch unternommen, analog zur Licht- und Elektrooptik eine Ionenoptik zu begründen, die als Fundament für zukünftige massenspektrographische Entwicklungsarbeit dienen soll. Dabei war der Gedanke maßgebend, daß auch die massenspektrographischen Geräte im Laufe der Zeit eine Entwicklung bereits erfahren haben und noch erfahren dürften, die derjenigen der optischen Spektralapparate in vieler Hinsicht parallel laufen dürfte. Die Lage ist allerdings insofern einfacher, als die Beugungsphänomene, welche durch den Wellencharakter der Strahlung hervorgerufen werden, im Gegensatz zur Lichtoptik ganz zurücktreten. Dagegen bleibt eine theoretische Grundlage zur Lichtoptik ganz zurücktreten. Dagegen bleibt eine theoretische Grundlage auszuarbeiten, die alle innerhalb der geometrischen Optik auftretenden Linsenfehler (wie Aberration, Astigmatismus und dgl.) sowie als Analogon zur Chromasie die von der Geschwindigkeitsdispersion herrührenden Bildfehler zu übersehen gestattet und darüber hinaus Vorschläge zu ihrer Korrektur machen kann. Dieses umfangreiche Programm ist in der vorstehenden Arbeit insofern nur teilweise verwirklicht, als die Beseitigung der Bildfehler noch offen bleibt. Dagegen ist die genaue Analyse eines doppelfokussierenden Ablenkorgans, bestehend aus der Überlagerung eines elektrischen und magnetischen Feldes, die beide am gleichen Ort auf die Korpuskularstrahlen einwirken, durchgeführt, wobei hinsichtlich des Aufbaus beider Felder keinerlei spezielle Voraussetzungen getroffen sind. So ist im Gegensatz zur Herzogischen Arbeit von 1934, die dem Aufbau des Mattauchschen Spektrographen zugrunde liegt, auch eine Berücksichtigung der stets unvermeidlichen Streufelder möglich. Die bis jetzt zur Ausführung gelangten doppelfokussierenden Spektralgeräte von HERZOG und MATTAUCH⁹², von BAINBRIDGE und JORDAN¹⁰¹, von DEMPSTER¹⁰² und von ASTON¹⁰³ sind vom Standpunkt der Abbildungstechnik Zylinderlinsensysteme. Im vorliegenden Fall kann durch besondere Formgebung der Ablenkelektroden bzw. der magnetischen Polschuhe eine Punktabbildung erreicht werden, was zur Vermeidung einer kürzlich von EWALD^{103a} diskutierten Fehlermöglichkeit wichtig wäre. Überdies kann dabei an eine Verringerung besonders störender Abbildungsfehler gedacht werden. Die Fehlerkorrektur bedeutet für die Lichtoptik entweder hohes Auflösungsvermögen oder die Möglichkeit, durch weite Blendenöffnung große Lichtstärke zu erzielen. Analog kann der Massenspektrograph entweder bei engem Spektrometerspalt als hochauflösender Präzisionsapparat zur Bestimmung von Massendefekten dienen, oder, in anderer Ausführung bei weitem Spalt, als Isotopentrenner. Der Nachteil des Gerätes liegt in der Vignettierung des Strahlenganges durch die zwischen den Pol-

¹⁰⁰ H. MARSHALL, Physik. Z. 45, 1 [1944].
¹⁰¹ T. BAINBRIDGE u. E. B. JORDAN, Physic. Rev. 50, 282 [1936].
¹⁰² A. J. DEMPSTER, Physic. Rev. (2) 51, 67 [1937].
¹⁰³ F. W. ASTON, Proc. Roy. Soc. [London], Ser. A 163, 391 [1937].
^{103a} H. EWALD, Z. Naturforsch. 2, 384 [1947].

GAUSS'SCHE DIOPTRIK UND BILDFEHLERTHEORIE 87

schuhen befindlichen Kondensatorplatten, so daß man nur einen beschränkten Massenbereich (in praxi etwa $\Delta M/M = \pm 8\%$) auf die Photoplate bekommt.

Da das Umlenkfeld einen niedrigeren Symmetriegrad aufweist als die rotations-symmetrischen Abbildungssysteme, treten auch Abbildungsfehler niedrigerer Ordnung auf: an Stelle der Abbildungsfehler dritter Ordnung im Falle drehsymmetrischer Abbildungsorgane, treten hier Abbildungsfehler zweiter Ordnung. Dies erfordert einmal die Durchführung einer neuen Systematik und Terminologie der Bildfehler, und es bedingt andererseits eine schlechtere Abbildungsqualität, als man sie von Abbildungen durch rotationssymmetrische Linsen gewohnt ist, sofern es nicht gelingt, eine Korrektur dieser Fehler vorzunehmen.

5.6.2.1 Die Durchführung des Programms

Abb. 23 zeigt in zwei schematisierten Teilbildern die Polschuhe und die Elektrodenanordnung des Umlenkfeldes. Bei dem praktisch ausgeführten Gerät

Abb. 23. Das elektromagnetische Umlenkfeld und seine Zuordnung zu den Koordinaten u, v, w . Die linke Abbildung zeigt die Anordnung der Polschuhe des Umlenk-magneten, während in der rechten eine Elektrodenanordnung zur Erzeugung des elektrischen Radialfeldes dargestellt ist. Die Definition der Räume I, II und III geht aus beiden Figuren hervor.

befinden sich die Ablenkelektroden zwischen den Polschuhen. Die Ionenquelle mit dem Spektrometerspalt befindet sich im Raum I (Gegenstandsraum), während im Raum III (Bildraum) die photographische Platte bzw. der Faraday-Käfig als Auffänger für die Ionenstrahlen angebracht ist. Beide Räume sind bis auf die in der Nähe der beiden Trennebenen zum Umlenkraum auftretenden Streufelder feldfrei. Die Zuordnung der rechtwinkligen Koordinaten u, v, w zu dem Umlenkfeld ist aus Abb. 23 ersichtlich. Die Korpuskeln bewegen sich auf ihrem Weg vom Gegenstandsraum über den Umlenkraum zum Bildraum in der Nähe der w -Achse, die im Umlenkraum mit dem Kreisbogen $R = \text{const.}$ identisch ist. Offenbar ist die w -Achse eine Symmetrieachse des Umlenkfeldes;

Figure D.221: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: *Nuclear Physics and Cosmic Rays* Vol. II, pp. 80–10].

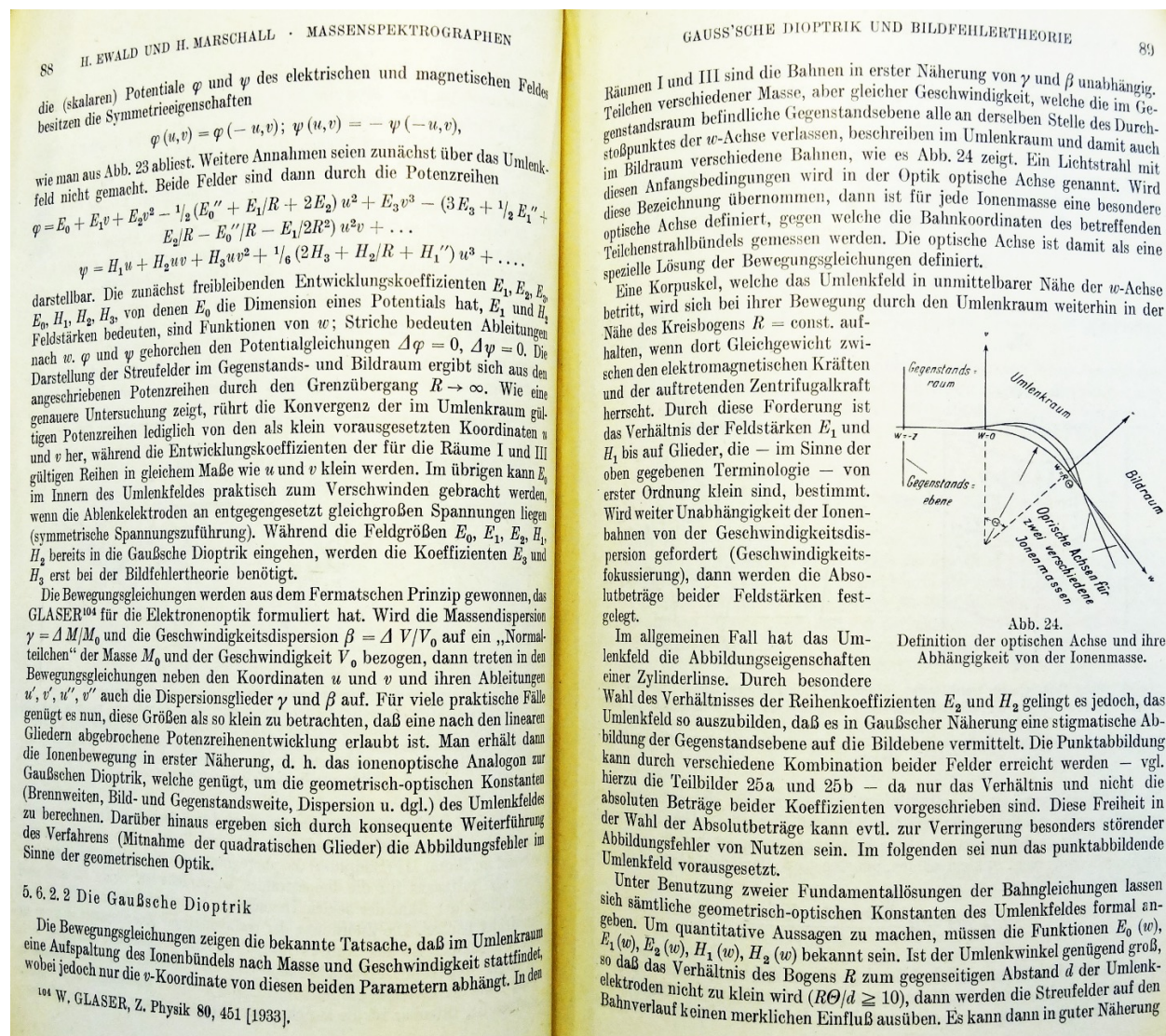
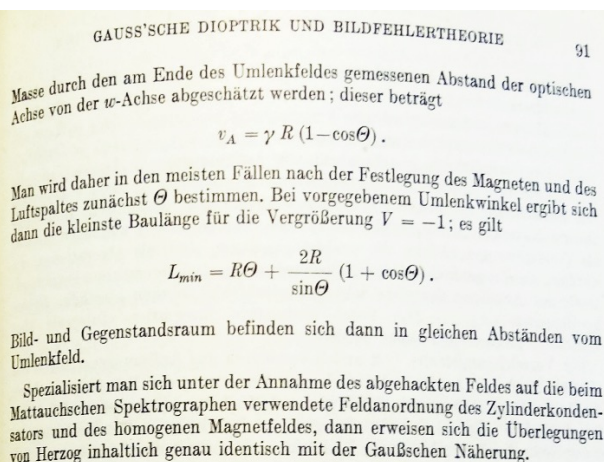
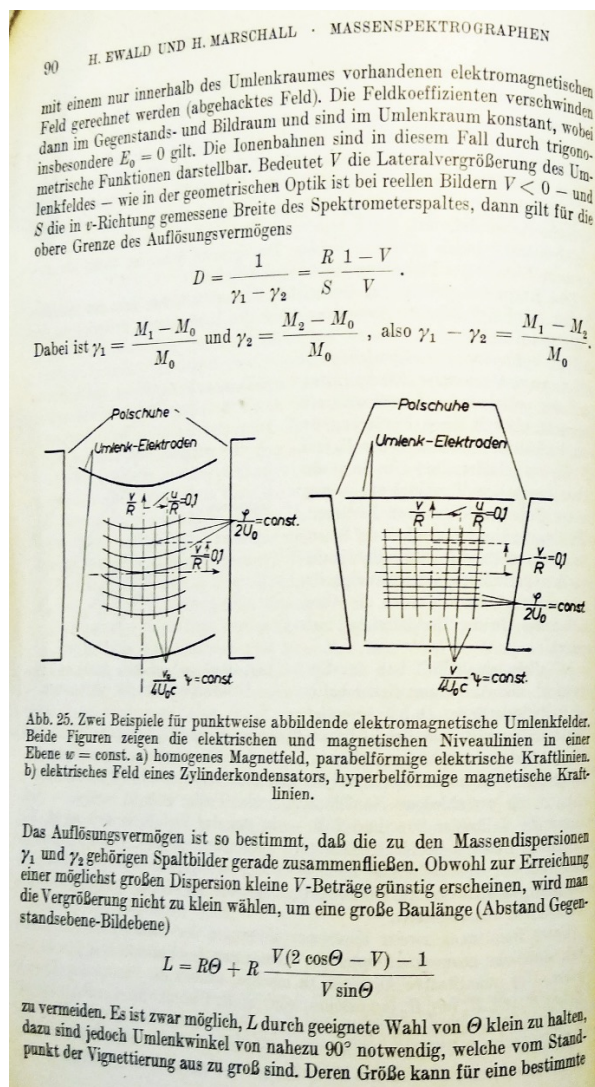


Figure D.222: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].



5.6.2.3 Die Abbildungsfehler des Umlenkfeldes

Werden die Bewegungsgleichungen bis zu einschließlich Gliedern zweiter Ordnung entwickelt, dann treten an Stelle der den Gaußschen Strahlengang beherrschenden Differentialgleichungen korrigierte Gleichungen, deren Lösung nach der Methode der Störungsrechnung erfolgt. Als Resultat erhält man Abweichungen vom Gaußschen Strahlengang, nämlich die Abbildungsfehler des Umlenkfeldes. Da nun auch die im Rahmen der Gaußschen Dioptrik definierten optischen Achsen Lösungen der Bewegungsgleichungen sind, wird durch die Störungsrechnung auch deren Verlauf korrigiert. Es ist daher zwischen den eigentlichen Abbildungsfehlern, d. h. den Verzerrungen und der Unschärfe der zu verschiedenen Massen gehörenden Spaltbilder und den Achsenfehlern zu unterscheiden.

Obwohl eine genaue Durchrechnung der Bildfehler eine Kenntnis der Streufelder voraussetzt, seien diese in der vorstehenden gekürzten Darstellung nicht berücksichtigt, da eine einfache Überlegung zeigt, daß eine gute Abschätzung der Fehler auch unter der Annahme des abgehackten Umlenkfeldes möglich ist.

a) Die Bildfehler der optischen Achse. Wegen der Symmetrieeigenschaften des Umlenkfeldes bezüglich der v - w -Ebene, in welcher die optischen Achsen verlaufen, treten nur Abweichungen in v -Richtung auf. Ist η_A die in der Bildebene gemessene Koordinate der zu γ gehörenden optischen Achse, dann sind für diese Abweichungen $\Delta \eta_A$ zu erwarten, die proportional zu η_A^2 , γ^2 und $\eta_A \gamma$ sind. Da außerdem die Geschwindigkeitsfokussierung in zweiter Näherung nicht mehr erfüllt ist, treten weitere Korrekturglieder auf, welche mit β^2 , $\beta \eta_A$ und $\beta \gamma$ anwachsen. Die Einzelfehler der optischen Achse lauten nun:

Figure D.223: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].

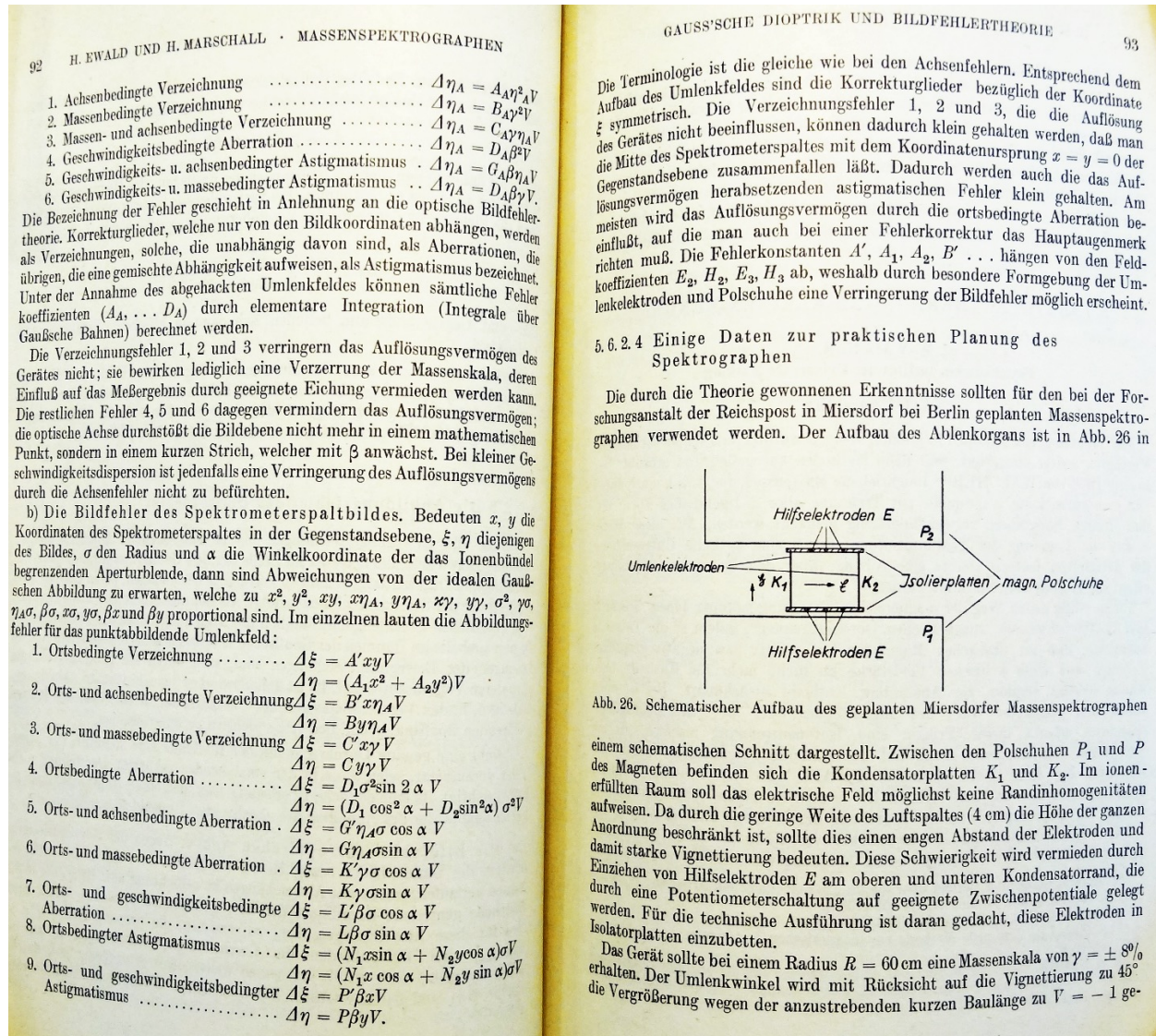


Figure D.224: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: *Nuclear Physics and Cosmic Rays* Vol. II, pp. 80–10].

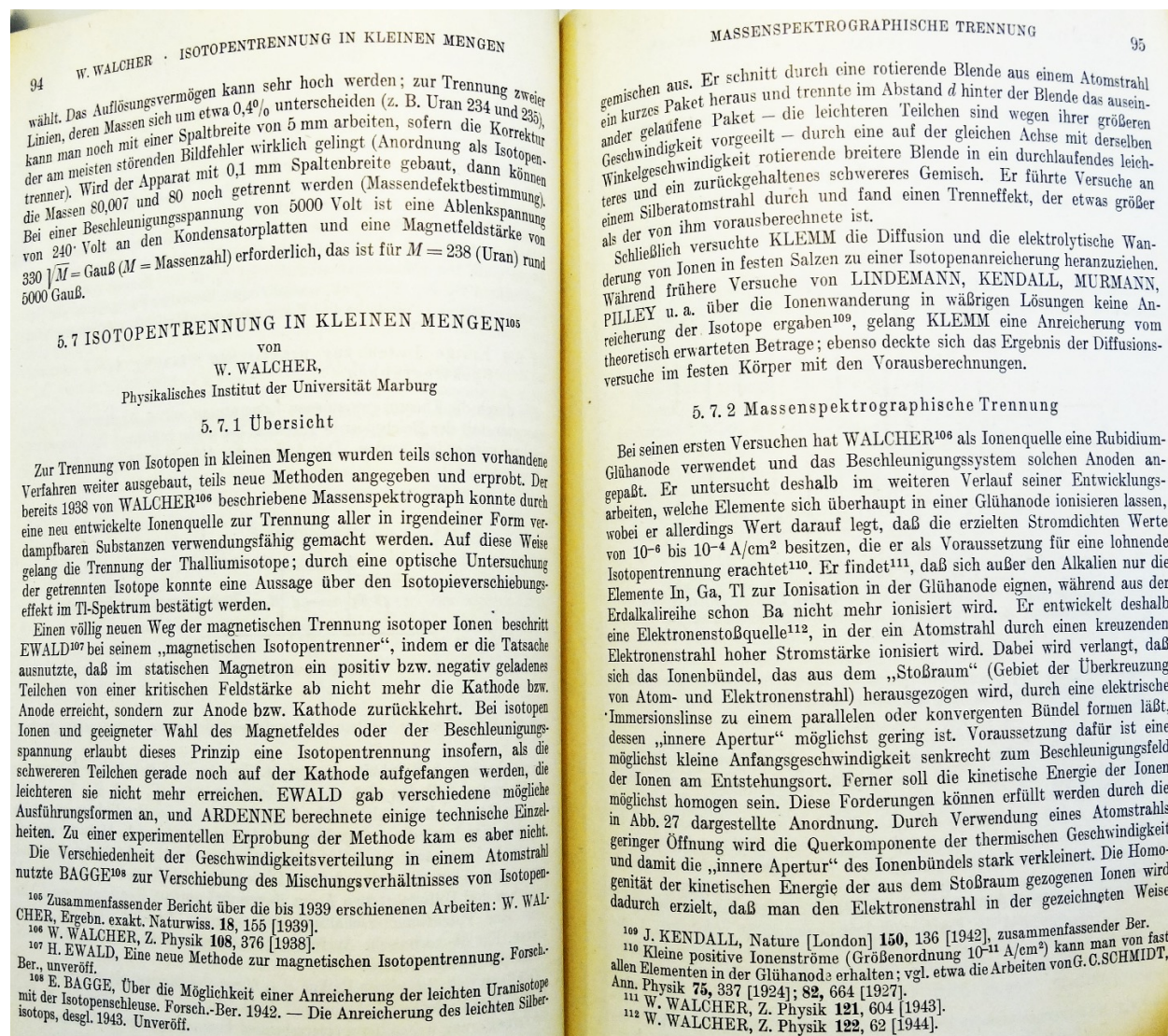


Figure D.225: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: *Nuclear Physics and Cosmic Rays* Vol. II, pp. 80–10].

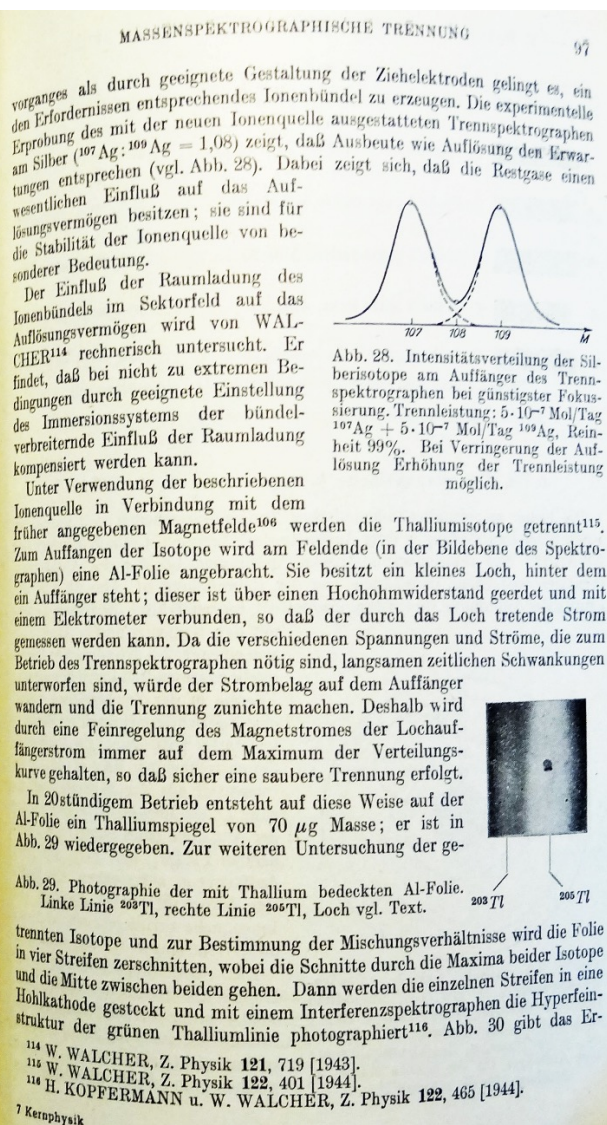
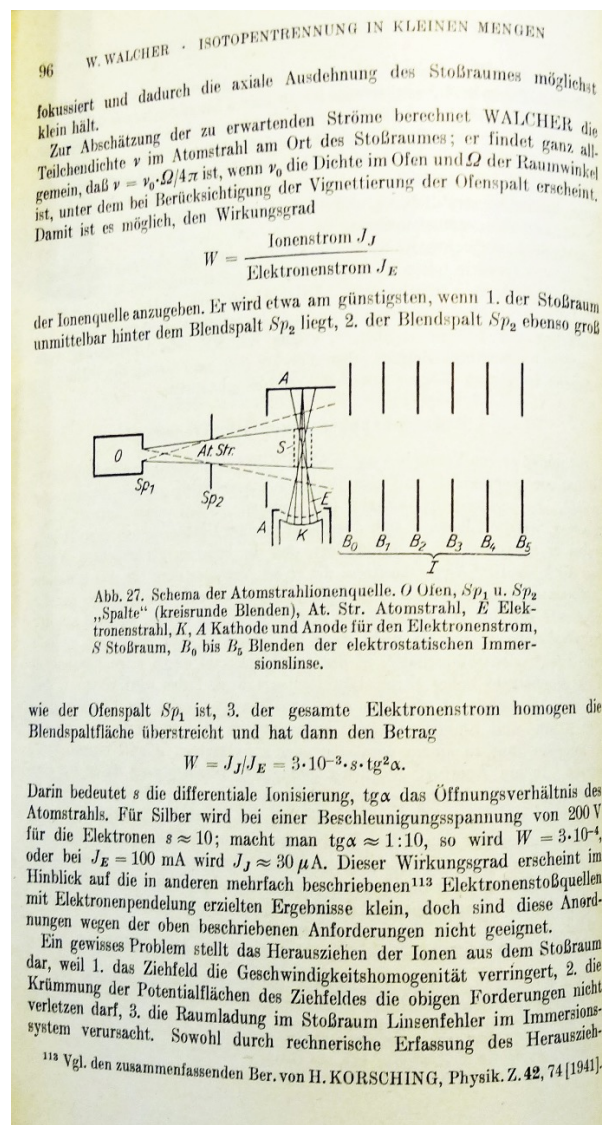


Figure D.226: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].

98 W. WALCHER · ISOTOPENTRENNUNG IN KLEINEN MENGEN

gebnis wieder. Es zeigt, daß die bisher nicht ganz sichere Zuordnung der Hyperfeinstruktur-Komponenten zu den Thalliumisotopen richtig war.

A	Natürliches Gemisch	29% ^{203}Tl , 71% ^{205}Tl
B	Probe 1 ganz rechts in Abb. 29	56% ^{203}Tl , 44% ^{205}Tl
C	Probe 2 Mitte rechts, Abb. 29	50% ^{203}Tl , 50% ^{205}Tl
D	Probe 3 Mitte links, Abb. 29	10% ^{203}Tl , 90% ^{205}Tl
E	Probe 4 ganz links in Abb. 29	4% ^{203}Tl , 96% ^{205}Tl

Proben 1 bis 4 sind durch Zerschneiden der Al-Folie entstanden.

Abb. 30. Interferometeraufnahmen verschiedener Thalliumgemische

5.7.3 Der magnetische Isotopentrenner von EWALD

Die bisher angewandten magnetischen Zerlegungsmethoden sind durch den Einfluß der Raumladung in ihrer Ausbeute stark begrenzt. Deshalb überlegt sich EWALD¹⁰⁷ eine rotationssymmetrische Anordnung, bei der das Auflösungsvermögen weitgehend unabhängig von der Raumladung ist. Abb. 31 gibt das Prinzip der Anordnung. In ein Ringmagnetfeld, begrenzt durch die Kreise b und c

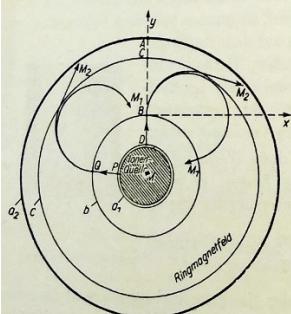


Abb. 31. Schematische Darstellung des Isotopentrenners nach EWALD. Magnetfeld innerhalb des Ringes zwischen b und c senkrecht zur Zeichenebene. M_2 schwere, M_1 leichte Masse, a_1 Beschleunigungsnetz und Auffänger für die leichte Masse, a_2 Auffänger für die schwere Masse.

mit den Radien r_b und r_c , treten die von einer großen zylindrischen Ionenquelle ausgesandten Ionen homogener Energie in der Zeichenebene radial ein. Bei richtig eingestellter Magnetfeldstärke tritt dann die schwerere der zu trennenden Massen (M_2) etwa tangential aus der äußeren Begrenzung C des Magnetringes aus (unter der Annahme eines scharf abschneidenden Feldes!) und wird auf dem Auffänger a_2 aufgefangen. Die leichtere Masse (M_1) wird dagegen zur Ionenquelle zurückgebogen und auf dieser (Auffänger a_1) abgeschieden.

Das Auflösungsvermögen der Ewaldschen Anordnung ergibt sich, wieder unter Vernachlässigung des Streufeldes, aus Abb. 32. Die Ionen laufen nicht alle radial, sondern weichen von dieser Richtung um

einen Winkel $\pm \alpha$ ab, der im wesentlichen durch Querkomponenten am Entstehungsort bedingt ist und im Falle thermischer Geschwindigkeitsverteilung die Größenordnung

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{kT}{eU}}$$

besitzt (U = Beschleunigungsspannung). Alle durch den Punkt B gehenden Teilchen liegen daher innerhalb des durch k_I, k_{II} für die leichten, K_I, K_{II} für die schweren Ionen begrenzten Bündels. Vollständige Trennung beider Bündel wird

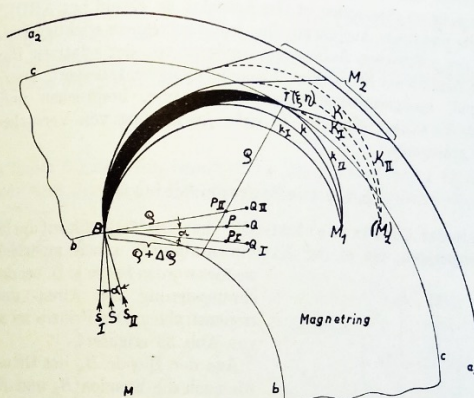


Abb. 32. Zum Auflösungsvermögen des Isotopentrenners. k_{II}, k_I leichtes Bündel, K_{II}, K_I schweres Bündel. B Divergenzpunkt für die Betrachtung des Auflösungsvermögens. S_{II}, S, S_I kommen von verschiedenen Punkten der Ionenquelle.

gerade noch erzielt, wenn vom leichten Bündel die Bahn k_{II} , vom schweren K_I die Magnetfeldgrenze c tangiert. Aus dieser Bedingung folgt durch eine einfache geometrische Betrachtung für die Differenz zweier gerade noch trennbarer Massen:

$$\frac{\Delta M}{M} = 4 \frac{r_b}{r_c} + \frac{\Delta U}{U}$$

Das zweite Glied in dieser Gleichung berücksichtigt eine Inhomogenität ΔU der Energie U . Es wäre also am günstigsten, das Radienverhältnis r_c/r_b möglichst groß zu machen. Kleines r_b beschränkt aber die Ionenquelle auf einen zu kleinen Raum und setzt damit die Raumladung in der Quelle unnötig hinauf; großes r_c vergrößert die Polschuhfläche quadratisch und steigert den aufzuwendenden magnetischen Kraftfluß. Ewald schlägt als Kompromiß $r_c/r_b = 2$ vor.

Der große Vorzug der Anordnung besteht darin, daß infolge ihrer Axialsymmetrie eine in sich geschlossene, ebenfalls axialsymmetrische Ionenfläche entsteht, in der sich die Raumladungskräfte in azimuthaler Richtung überall kompensieren und in axialer Richtung klein sind wegen der geringen Höhe der „Ionen Scheibe“ (letztere, um nicht zu große Polschuhabstände und damit Magnetleistungen zu erhalten). Voraussetzung dafür ist allerdings eine in azimuthaler Richtung homogene Emission der Ionenquelle.

Außer der beschriebenen Anordnung hat EWALD auch eine solche mit Außenionenquelle und eine andere mit $r_b = r_c = \infty$ diskutiert. Er gelangt jedoch zu dem Schluß, daß für die Trennung schwerer Isotope die Apparatur mit Innenionenquelle am günstigsten ist. Im Anschluß an Ewald hat ARDENNE¹¹⁷ einige für die praktische Ausführung des Isotopentrenners wichtige Daten (Abhängigkeit des praktischen Auflösungsvermögens von der relativen Häufigkeit der Isotope, Einfluß des Streufeldes, Ionenoptik, Massentransport, Ionisierungsgrad, Energieaufwand) abgeschätzt, bzw. besprochen und einige konstruktive Vorschläge gemacht. Zu einer Ausführung von Versuchen ist es nicht mehr gekommen.

¹¹⁷ M. V. ARDENNE, Sonderber. Mitt. Forsch.-Anst. dtsh. Reichspost.

Helmut J. Fischer. 1988. *Hitlers Apparat: Namen, Ämter, Kompetenzen: Eine Strukturanalyse des 3. Reiches*. Kiel: Arndt. pp. 133–134.

Die Reichspost hatte von jeher technische Aufgaben zu bewältigen und stützte sich daher auf umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Fernmeldetechnik und anderer für das Postwesen nützlichen Techniken. Dafür gab es in Darmstadt ausgedehnte Laboratorien neben dem Reichspostzentralamt in Berlin-Tempelhof, dessen Präsident Prof. Gladenbeck war.

Diesen vorgegebenen Rahmen sprengte der ehrgeizige Reichspostminister Ohnesorge. Er hatte einst bei Lenard Physik studiert und interessierte sich allgemeiner für wehrwissenschaftliche Probleme und schaltete zu ihrer Bearbeitung Mitarbeiter und Einrichtungen der Reichspost ein. Reichspost-Forschungsanstalten entstanden in der Nachbarschaft von Berlin in Kleinmachnow und in Miersdorf. Sie betrieben naturwissenschaftliche Grundlagenforschung, und das Institut in Miersdorf unter Dr. Banneitz befaßte sich sogar ernsthaft mit Kernphysik, wobei die Herstellung einer Atom-bombe angestrebt wurde. Überdies spannte Ohnesorge, der über genügend Geldmittel verfügen konnte und auf die Hilfe des Reichsforschungsrates nicht angewiesen war, auch Hochschulinstitute (wie etwa in Heidelberg) und zudem den tüchtigen Privatforscher Manfred von Ardenne mit seinem eigenen Laboratorium in Berlin-Lichterfelde für seine Forschungsziele ein. Sowohl in Miersdorf als auch im Institut Ardenne's begann der Bau je einer 60-Millionen-Volt-Zyklotron-Anlage und von Hochspannungsgeräten, die mit einer Million Volt arbeiten.

The Reichspost has always had to cope with technical tasks and therefore relied on extensive research and development work in the field of telecommunications technology and other technologies useful for the postal system. To this end, Darmstadt had extensive laboratories alongside the Reichspost central office in Berlin-Tempelhof, whose president was Prof. Gladenbeck.

The ambitious Reichspost Minister Ohnesorge went beyond this rigid framework. He had once studied physics with Lenard and was more interested in military science problems in general and called in employees and institutions of the Reichspost to deal with them. Reichspost research institutes were established in the vicinity of Berlin in Kleinmachnow and in Miersdorf. They carried out basic scientific research, and the institute in Miersdorf under Dr. Banneitz was even seriously concerned with nuclear physics, with the aim of producing an atomic bomb. In addition, Ohnesorge, who had sufficient funds at his disposal and was not dependent on the help of the Reich Research Council, also employed university institutes (such as Heidelberg) and the capable private researcher Manfred von Ardenne with his own laboratory in Berlin-Lichterfelde for his research goals. Both in Miersdorf and at Ardenne's Institute, construction began on 60 million volt cyclotron facilities and on high-voltage equipment operating at one million volts.

Ohnesorge hatte den Ehrgeiz, die Ergebnisse seiner "postalen Forschung" bei Hitler selbst vorzutragen. Deshalb verbot der Minister seinen Wissenschaftlern die Fühlungnahme mit Fachkollegen außerhalb des Postbereichs. So liefen die Bemühungen von Ohnesorge um eine Atombombe streng getrennt von den Arbeiten an einer "Uranbombe", die unter der Obhut des Reichsforschungsrates und der Heereswaffenamtes in einer Reihe von Forschungsstätten in Deutschland betrieben wurden.

Die Post-Forschung erreichte auf ihrem Weg zu einer Atombombe ansehnliche Teilerfolge. So konnte insbesondere v. Ardenne bis Kriegsende eine Musteranlage errichten, in der eine der Hauptschwierigkeiten bei der Kernenergie-Gewinnung, die Trennung der Isotopen bei den Uran-Atomen, zufriedenstellend gelöst war.

Als Ohnesorge erstmals bei Hitler über eine Atombombe Vortrag hielt, hatte er das Pech, daß Hitler bereits vom Heereswaffenamt auf die Idee einer Uranbombe aufmerksam gemacht worden war und bezüglich einer Verwirklichung der Idee die erste Enttäuschung hinter sich hatte. Trotzdem ließ Hitler Ohnesorge am Bau einer Uranbombe weiterarbeiten und wohl auch gelegentlich darüber berichten, obwohl Hitler nicht daran glaubte, eine Atombombe noch vor Kriegsende nutzen oder gar zu Erringung des Endsieges einsetzen zu können.

Ohnesorge had the ambition to present the results of his "postal-only research" to Hitler himself. For this reason, the minister banned his scientists from contacting colleagues outside the postal service. Thus the efforts of Ohnesorge for an atomic bomb were strictly separated from the work on a "uranium bomb," which was carried out under the care of the Reich Research Council and the Army Ordnance Office in a number of research facilities in Germany.

On its way to an atomic bomb, the postal research achieved considerable partial successes. Thus von Ardenne in particular was able to erect a model plant by the end of the war in which one of the main difficulties in obtaining nuclear energy, the separation of the isotopes of uranium atoms, was satisfactorily solved.

When Ohnesorge first spoke to Hitler about an atomic bomb, he was unlucky that Hitler had already been made aware of the idea of a uranium bomb by the Army Ordnance Office and that he had been disappointed with the realization of the idea. Nevertheless, Hitler had Ohnesorge continue to work on the construction of a uranium bomb and probably also reported on it occasionally, although Hitler did not believe that he would be able to use an atomic bomb before the end of the war or even use it to achieve the final victory.

Boris Chertok. 2005–2012. *Rockets and People*. 4 vols.

Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

[https://www.nasa.gov/connect/ebooks/rockets_people_vol1_detail.html]

[Vol. 1, pp. 217–218:] The Smersh military intelligence representative posed the following question to us at a meeting: “The Germans have issued leaflets that say that we will not take Berlin, and that we will receive such a blow that there won’t be any bones to gather. The Führer has a secret weapon in store so that the Red Army will be completely annihilated on German soil. What could that weapon be?”

Indeed, what could it be? If it were the V-2, then no matter how many of them Hitler had “in store,” this weapon would not bother the Red Army. This much was clear to us. Chemical weapons? using them in any form on German soil would now be more dangerous to the Germans than to us.

We decided that this was pure propaganda. And it turned out we were right. In the United States, Germany, and the USSR, a new, top-secret weapon really was being developed—an atomic weapon. But even we, who had access to top-secret materials, knew virtually nothing about it until 6 August 1945, when the atomic bomb was dropped on Hiroshima.

Back then, we did not know that just a stone’s throw away, a group of specialists from Kurchatov’s team was already preparing to search for German atomic secrets. This team had the highest authority, for at that time the main chief of our atomic operations was Lavrentiy Beriia himself, and other related special committees were being directed by powerful organizers such as Vannikov and Malyshev. We did not know that in addition to the allied armies heading toward our troops from the west, there were also special missions being sent out to seize German rocket technology and rocket specialists, search for nuclear physicists, and seize everything that had been done in Germany on the new scientific frontiers—first and foremost in the fields of guided missiles, nuclear fission, and radar.

[Vol. 1, pp. 231–233:] When asked who was considered the most prominent among the specialists in the field of vacuum tubes, Wilki responded, “Germany is proud of Professor Manfred von Ardenne. This is a man with big ideas. He was a great engineer and visionary.”

“Why do you say ‘was’?”

“The past two years he was working on some new idea—a new secret weapon. We don’t know anything about it. I think it is at the Postal Ministry or the Kaiser Wilhelm Institute.

[Comments added by Chertok in the 1990s:] We were very familiar with the name Manfred von Ardenne from prewar literature on vacuum tubes. Much later we found out that he had been in Dahlem collaborating with German physicists who were working on the atomic bomb. The U.S., British, and Soviet intelligence services were hunting for a lot more information about Ardenne and his activities. When the Americans took prisoner practically the entire German elite involved in work on the atomic bomb, von Ardenne was not among them. He turned up in the Soviet Union and worked very productively for many years at the Sukhumi Institute of the Ministry of Medium Machine-Building. He was treated respectfully and high government awards were conferred on him.

[Vol. 1, pp. 247–250:] If the Germans had managed to create an atomic bomb before the Americans and then put two or three bombs into two or three of the many hundreds of A-4 rockets launched at Britain, the world today might look completely different. [...]

In August 1945, when we were in Thuringia, we heard on the radio about the dropping of atomic bombs on Hiroshima and Nagasaki. We first of all tried to understand what they were talking about.

There were no Soviet specialists among us at that time who had the slightest involvement in atomic research. Nevertheless, our knowledge of physics helped us, in a group discussion, to assume that the Americans had succeeded in creating a bomb by converting part of the mass of a substance into energy, in accordance with Einstein's famous formula: $E = mc^2$. There and then, we started to question Helmut Gröttrup about what had been known in Peenemünde regarding German work on the creation of an atomic bomb. To what extent were the German directors of the long-range missile program—in particular Dornberger, von Braun, or their closest assistants—familiar with the possibilities of creating an atomic bomb? Long conversations with Gröttrup enabled us to understand that work on some sort of super-powerful explosive had been conducted in Germany. Gröttrup was well acquainted with the names Heisenberg and von Ardenne, which I mentioned as possible scientists who could have been working on an atomic bomb. Moreover, he said that in the summer of 1943 the Peenemünde directors had, under great secrecy, talked about some new powerful explosive. For the specialists at Peenemünde this was very important. They understood that the ordinary TNT used in A-4 warheads—in quantities of 700–800 kilograms per warhead—would produce an effect no greater than a conventional 1,000 kilogram bomb dropped from an airplane.

British and American aviation had already dropped countless such bombs on German cities. Nevertheless, Germany had continued to fight and had even expanded its development of new weapons. Gröttrup recalled that he had heard about the new explosive when von Braun had been sent to Berlin to consult with the infantry command about the prospects of increasing the power of missile warheads.

Upon his return, von Braun did not say with whom he had met in Berlin. Gröttrup, smiling, recalled that it had been nice to hear from his boss that the theoretical physicists, despite the very interesting problem they were working on, had absolutely no engineering experience—in contrast to the missile specialists, they could not imagine how they needed to organize their work in order to transition from naked theory to “living” objects.

[Vol. 1, pp. 305–306:] We did not manage to pick up Baron Wernher von Braun through Operation Ost, and I think that this was good both for us and for him. Despite all of his capabilities, what he achieved in the United States would have been impossible for him to achieve in the Soviet Union. It is true, another prominent scientist, professor, doctor, and also baron, Manfred von Ardenne, who had worked in the Soviet Union from 1945 to 1955 at the Electrophysics Institute in Sukhumi, was awarded the title Hero of Socialist Labor for his participation in the creation of the Soviet atomic bomb. It should be noted, however, that von Ardenne had not been a member of the Nazi Party, and he had not created weapons of mass destruction under the Nazis.

Philip Morrison to Robert Furman. The German Reichspost and Nuclear Research. 24 April 1944. [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 170, Folder 32.60-1 GERMANY: Summary Reports (1944)]

We now have three independent pieces of evidence that the Reichspost is interested in neutron research or wishes us to think that:

- 1) Several years ago M. von Ardenne thanked the Reichspost minister, a man named Ohnesorge, for supporting the entrance of von Ardenne's laboratory into work in nuclear physics.
- 2) In October 1943 (*Naturwissenschaften*, 31, p. 507) a man, otherwise unknown to us, named D. Lyons, published a mathematical letter on the slowing down of neutrons in homogeneous mixtures. The material of the letter is rather similar to much work done in the early days of this project and also in the published sources. Lyons rather ostentatiously signs his letter as coming from the Office for Special Physical Questions of the Research Division of the German Reichspost (Amt für physikalische Sonderfragen der Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost) located in Berlin-Tempelhof.
- 3) The information from Swiss sources which you showed us this week mentioned that S. Flügge has left Hahn to go to work for the Reichspost.

It will be clear to you that there is something rather odd in this affair of the Reichspost's becoming interested in a field so very far from the radio and telephone research they have carried out in the past. It is equally strange that we learn about it in such a direct way as from Lyons' note, but confirm it in the rather indirect way of (1) and (3) above. I would suggest that you formulate inquiries about the activity of the Reichspost in the Tempelhof laboratories to whoever will know most about that outfit.

[\[Detlof Lyons was a real researcher in the Reichspost-funded nuclear research program.\]](#)

Robert R. Furman. 10 November 1944. [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 167, Folder 32.12-1 GERMANY: Personnel (Mar 43–Dec 44)]

[...] [Von Ardenne is financed by Nazis. He claims he is inventing a super weapon.](#) Swiss [\[Paul Scherrer, a vocal backbiter\]](#) have dim view of his ability.

OSS London. 9 June 1944. Report No. SUN-90. Report from Switzerland. [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-1 GERMANY: US Wartime Positive Int. (July 42–June 44)] [\[See photograph on p. 3643.\]](#)

[...] [The Reichs Postal Administration under the direction of Pose have installed three new high tension laboratories of which the location is not known. Professors Fluegge and von Ardenne are in charge.](#) [...]

FA 002/0362. Letter from Rudolf Fleischmann to Fritz Kirchner. 18 August 1943. Archive of Deutsches Museum Munich.

The Strassburg high-tension generator is the only one in Germany or occupied countries of 1.5 million volts except the Reichspost's in Zeuthen-Miersdorf.



NARA RG 77, Entry UD-22A, Box Box 171, Folder
32.7003-1 GERMANY: US Wartime Positive Int. (July 42-June 44)

SECRET
Report No. SUN-90
Report from Switzerland

O S S L O N D O N

<u>Distribution:</u> G-2 ETOUSA MI6	Information Date : not given Report Date : June 7, 1944 Dissemination Date: June 9, 1944 Value : B-0 Source : OSS-Unison
---	--

GERMANY - POLITICAL

Scientific Research

Source recently had an interview with Professor Gentner who is working on cyclotron at the Kaiser Wilhelm Institute in Heidelberg with Professor Bothe.

Gentner stated that the K.W. Institute at Dahlen, Berlin was damaged but the laboratories are still working under the direction of Professor Hahn. The Institutes at Cologne, Leipzig and Munich were also seriously damaged, but every K.W. Institute now has reserve laboratories in the country, for instance the Heisenberg Institute at Bisingen with cyclotron using 100 cylinder (sic ? million) volts.

Retzler and Maurer have joined Jolliot and are working with cyclotron in Paris.

The Reichs Postal Administration under the direction of Pose have installed three new high tension laboratories of which the location is not known. Professors Fluegge and von Ardenne are in charge.

It is proposed that the Nils Bor Institute of Copenhagen be transferred to Germany. If this move takes place Heisenberg has refused to take charge.

GF:dr

SECRET

Figure D.228: "The Reichs Postal Administration under the direction of Pose have installed three new high tension laboratories of which the location is not known. Professors Fluegge and von Ardenne are in charge." Were these three calutron-based enrichment facilities? [OSS London. 9 June 1944. Report No. SUN-90. Report from Switzerland. NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-1 GERMANY: US Wartime Positive Int. (July 42-June 44)]

DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946. TNA FO 1031/59.

TOP SECRET 10A 2042

OFFICE OF MILITARY GOVERNMENT FOR GERMANY (US)
Field Information Agency, Technical
APO 742

2 August 1946

DI 092.-76 FIAT

SUBJECT: Periodic Intelligence Report 1.

TO : Chief FIAT (US), thru Chief FIAT (US), Berlin Office.

This report deals exclusively with Manfred von ARDENNE, Any information about other matters which came to hand during this investigation was not included in the report.

1. ARDENNE's laboratory in and near his former home address: 19, Jungfernstieg, LICHTERFELDE. The part of the house used as a laboratory is now being used as kitchen by ARC who have taken over the building. The big bunker in the garden which housed most of the laboratory and equipment is completely empty and half filled with water.

a. The Electronic Microscope. The most important part of the information on this instrument is contained in ARDENNE's book "Elektronen-Mikroskopie" (Springer, 1940). Latest developments, extending the resolving power as far as 1.5mm use of highly symmetrical lenses made of Cobalt steel, and use of an atmosphere (1 mm hg) of hydrogen for cooling the object to be examined, were described in a number of articles published in various scientific periodicals in 1944. I do not remember the names of these periodicals. The energy of the electrons varied from 60,000 to 80,000 volts; a new instrument for more than 2,000,000 volts was nearly finished. Research was undertaken on carbon remains of various steels for KRUPP and on variety of Organic substances.
(W 3, 6/7/46)

b. Van de Graaff Generator (Zeitschrift fuer Physik 121,236). It was run at normal pressure, up to slightly over a 1 MV. It was used for inventing a new procedure to determine the concentration of carbon in steel (Zeitschrift fuer Physik 122,740)
(W 3, 6/7/46)

c. Cyclotron was still being constructed. The plan was designed by Prof HOUTERMANS (Now in GOETTINGEN), the high frequency generator furnished by Dr. HOLLMANN (now in Thuringia), but destroyed in an air-raid.
(W 3, 6/7/46)

d. According to another source "ARDENNE's cyclotron did not get very far".
(W 3, 6/7/46)

d. Isotope separator using ions of 10,000 V and a circular magnetic field which let the heavier isotope hit a target film and bent the lighter one back (differences of curves). The ion source was still under construction. Apparatus devised by Prof HOUTERMAN
(W 3, 6/7/46)

Another source tells about a brass reception ring instead of target film and says about 224 U235 were obtained.
(W 3, 4/7/46)

TOP SECRET

Figure D.229: DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946 [TNA FO 1031/59]

DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946. TNA FO 1031/59.

TOP SECRET

e. Mass spectrometers based on the type described by Nier in Rev. Sci. Instr. 11, 212 using ions of 1,000 V. The main differences from the model were the following: an ion source for solid materials deposited on a tungsten strip that could be heated high enough for the evaporation of almost any substance; the entire vacuum tube after the manner of spark plugs. The target currents were automatically recorded on a linearized mass scale, the magnetizing current being gradually changed according to an appropriate time law. A new instrument using 20,000 V ions is planned at the present time. Description of the apparatus and analyses made up to masses of around 120 is contained in a paper sent to the Zeitschrift fuer Physik in about Jan. 1945.
(W 3, 6/7/46)

f. Ultra short wave experiments were undertaken in what source calls a branch establishment at DASSOW near Luebeck with Dr Eduard von WINTERFELD.
(W 3, 6/7/46)

g. In 1943 ARDENNE and HOLLMANN are reported to have worked on anti-radar devices. The idea apparently was to create a neutral field around an object with the aid of short waves.

h. After 1943 ARDENNE worked on isotope separation of Uranium with Dr BORN from AUER Gesellschaft and source who is still available. This was done on the lines of work of Prof LAWRENCE.

i. Source describes ARDENNE rather as a measuring technician.
(R1, 4/7/46)

j. There were three electronic microscopes available:
Siemens (VEBORGES-RUSSKA) magnetic
AEG (BRUECHER-BAMSAUER) electrostatic
ARDENNE magnetic

k. WESTPHAL and von LAUE should know all about this side of ARDENNE's work and capabilities, and perhaps GEHRTS.

l. Source thinks of ARDENNE also as a measuring technician and believes that his contributions consisted mostly in improvements.
(P 2, 9/7/46)

m. Completely unreliable source described the following: ARDENNE made experiments with an atom gun (Atomkanone). About Christmas 1944, successful experiments were conducted in Pomerania with V-1 and atomic warheads, radio directed. The ensuing crafter was 2 km in diameter. Because the time for developments were too short nothing more came of it. Source has heard this from a man who participated in experiments but inconsiderately died in winter of 1945. It has not been possible to verify this statement from any other source although rumours to this effect, although with different names, have been persistent.
(SZ 5, 30/5/46)

n. In a letter from Feb. 46, ARDENNE writes: Compared to LICHTERFELDE the institute here is rather increased. the spectroscope has been somewhat improved here or rather been newly constructed for much higher measuring exactness (20,000 V anode tension). Major BOUTSCHBRUGEWITSCH is my personal Russian co-worker.
(W 3, 6/74/46)

TOP SECRET

Figure D.230: DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946 [TNA FO 1031/59]

DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946. TNA FO 1031/59.

TOP SECRET

2. The following are known to have worked with ARDENNE either in his laboratory or in liaison. These contacted have been marked with asterisk before names.

NAME - ADDRESS	FIELD
W BISTER, 40 Beerenstr. Berlin-Zehlendorf	worked with ARDENNES form 1940-1945. Took part in short wave experiments, conducted in steeple of DREIFALTIGKEITS-church at LANKWITZ. (W 3, 6/7/46)
Dr. BORN from AUER Gesellschaft formerly KWI BERLIN-BUCH 1st floor.	neutron generator, uranium preparation (same method as HENFORD) (R 1, 4/7/46)
Christian GUTZMER, Straussberg Stadt Jungfernstr 15. Can be produced.	Electrone microscope, was with ARDENNE until winter 1944. (W 1, 4/7/46) (R 1, 4/7/46)
*HARTMANN, SUEDEDE, Friedrichstr 18	ARDENNE's sister, very reticent, in possession of letters and perhaps pictures. (EJB, 28/6/46)
HERTZ	Also believed in connection with ARDENNE is another former secretary the daughter of Prof HERTZ. She used to live at Prof SPRANGER's house, Fahrbeckstr 12 but was forced to evacuate the house by US authorities. (British source 30/7/46)
*HOFMANN, BERLIN W Keithstr 8, Quergebäude, 4 E left.	Bookkeeper, in possession of letters. (SZ 2, 1/7/46)
HOLLMANN, Georgenthal in Thuringia near Gotha.	VANDEGRAAFF generator, short waves reported not interested in work for the Russians. (W 1, 4/7/46)(SZ 2, 1/7/46)
Prof HOUTERMANS, now Göttingen	designed cyclotron and isotope separator. (W 3, 6/7/46)
Frl. HUNGER, now with Special Investigations, Public Safety, 12 Rothenburgstr Berlin-Steglitz.	worked with electrone microscope department of AEG (with whom ARDENNE also worked) (W 3, 6/7/46)
Paule KNAEPS, Belgian, ANVERS, rue Lechaert	cook, secretary (W 2, 5/7/46)
Kurt MARTIN, 30 Theoder Fritsch-allee, Berlin-Schlehtensee	Laboratory assistant BERNHARD. Van de Graaff Generator. (W 3, 6/7/46)
Elga METZELTIN, Zehlendorf Mitte, Seehofstr 22.	speaks Russian, worked as medical assistant in Berlin Charite until a few weeks ago, pianist. Relation to ARDENNE unclear. According to one source in constant contact with ARDENNE Unknown to former co-worker of ARDENNE (SZ 4, 6/7/46)

TOP SECRET

Figure D.231: DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946 [TNA FO 1031/59]

DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946. TNA FO 1031/59.

TOP SECRET

Frl. SCHLEGEIMILCH, Berlin-
Nicolasee, Prinz Friedrich
Leopoldstr. 2.

Medical assistant, worked on electrones,
with ARDENNE until 1943.
(W1, 4/7/46)

Rosemarie STREISAND, & Eislebenerator is reported to know something about
electrone microscope work.
(W 3, 6/7/46)

Dr. STROHAECKER, GAISLINGEN-
STEIGE.

electrone microscope. With ARDENNE
from Dec. 1944 to May 1945.
(W 1, 4/7/46)

*Wolfgang WEITSCH, 28 Beethstr
Lichterfelde-Ost

mass spectrometer, Oct 1943 to May
1945.
(W1, 4/7/46)

Eduard von WINTERFELD lived at
15 Duerenstr., Falkensee near
Berlin.

Ultra short wave, had experimental
station at DASSOW near Luebeck.
(W 2, 5/7/46)

The patent lawyers of ARDENNE are still in BERLIN according to Herr
HOFMANN. No names have as yet been ascertained.

(SZ 2, 1/7/46)

3. The following are reported to be with ARDENNE. These with relatives
still available here have been marked with " in front of their names.

Rena (RENATE) von ARDENNE

A sister, BDM Bannfuherein left with
her brother. She is reported to have
written to Edith THERMANN (?) that they
hoped to be back by the end of 1947.

Alexander BERGENGRUEN

(CIC Int rep. 25/6/46, Edith BILZ)
father-in-law of ARDENNE. Co-partner with
ARDENNE in the firm ARDENNE KRISTALL, 21
Mittelstr. Berlin-Lichterfelde-Ost.
Sold cathode ray tubes, BRAUN tubes and
photocells. Is reported to have a
PW son somewhere. He is father or
brother of famous German writer
BERGENGRUEN.

(W1, 4/7/46) W4, 30/7-46)

Herr BERNHARD

Wife and three children. BERNHARD
was the constructor of ARDENNE'S van de
Graaf generator.

(R1, 4/7/46) W1, 4/7/46)

*Siegfried KLEIN

mechanic, worked on cyclotron. His
parents are still here: Stubenrauchstr
5-7.

(W1,

Gerda von LANGSDORF

(W1, 4/7/46) (W2, 5/7/46) (W1 4/7/46)

Herr LORENZ

Wife, two children and sister. He is
described as general handmaid for all
mechanical work and a very able man.

TOP SECRET

Figure D.232: DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946 [TNA FO 1031/59]

DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946. TNA FO 1031/59.

Dr. MENKE

of Prof NOACK's Biological Institute.
(W3, 6/7/46)

Herr REIBEDANZ

Wife, two children and sister. He is described as constructor of Van de Graaf generator and has also worked on electron microscope and cyclotron.
(W1, 4/7/46) (W3, 6/7/46) (R1, 4/7/46)

"RICHTER

Toolmaker. Had his firm at STEGLITZ, Schildhernstr. 77. First is dissolved. RICHTER's sister Frau SCHNEEMANN lives 96 Argentinische Allee. Worked on cyclotron.

(R1, 4/7/46) (W1, 4/7/46)
(FJB, 30/7/46)

SILLE

technician, electro-installations.
(W1, 4/7/46)

BUNDCHIKOWSKY

former nursemaid of ARDENNE.

(phonetic spelling)

SUCHLAND

(W1, 4/7/46)

secretary

New secretary, name unknown
to source

W1, 4/7/46)

THERMANN

a friend of Rena (Renate) von ARDENNE.
(W 2, 5/7/56)

This information is considered doubtful in view of the following report: A female cousin of ARDENNE who left with him was flown back to BERLIN around Christmas 1945. She met Edith THERMANN, and gave her a letter from Rena (Renate) von ARDENNE.

(CIC Int Rep 25/6/46) on Edith BILZ

According to one report the group with ARDENNE is 130 people strong.
(SZ 6.6/746)

There are reported to be 18 children in the group in Russia.
(W1, 4/7/46)

ARDENNE's secretary who was here in Aug 1945 mentioned that he would rather return barefooted to GERMANY if he could.

a. Herr HOFMANN gets mail about every three weeks. He receives his mail from an office in GRUENAU and sends the answers the same way. Originally a secretary of ARDENNE delivered these letters but it is now done through Russians. Some of the letters are censored by blacking out. Extract from one of the letters:

We arrived first at a place, some 40km (about 24 miles) from MOSCOW. The place is known under the name "Silverweeds". We remained there for about four weeks and then continued our trip to the Caucasus and Black Sea. Here we have a very nice household and two Russian girls who do everything for us they can. We live directly at the sea. Our laboratory is about 100m from the house. It was completely empty when we arrived. All apparatus and instruments were brought here

Figure D.233: DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946 [TNA FO 1031/59]

DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946. TNA FO 1031/59.

TOP SECRET

but many pieces were badly damaged. It is so hot that one can hardly put a foot down on a stone floor during the day. There are plenty of palms, oranges and dates. It is incredibly beautiful.

(These contents are given from memory only) (SZ 2, 1/7/46)

b. RICHTER's sister Mrs. SCHEUNEMANN also gets letters about every three weeks. (FIAT, 3/7/46)

c. ARDENNE's sister Mrs. HARTMANN also gets letters about every three weeks. She is also reported to have pictures of the place where ARDENNE lives.

(W 2,5/7/46)

d. One source had a letter from ARDENNE in February of which the following extracts may be of interest:

compared to LICHTERFELDE the institute here is rather increased. The spectroscope has been somewhat improved here or rather newly constructed for much higher measuring exactness (20000 V anode tension) Major BOUTSCH-BRUGEWITSCH is my person Russian co-worker..... In the long run we and our work have good prospects in this country.

(W2, 5/7/46)

e. ARDENNE is known to be working together with other German scientists at the Chemical and ATOM research station at SUCHUM KALE, a place situated in the Eastern shore of the BLACK Sea.

(ASIA, 1:4,000,000 South Russia, 2nd edition, sheet 20 VI J)

Brit source, 27/7/46)

f. From a letter from Mrs. von ARDENNE the following information is of interest: Due to a scarcity in houses the Russians ordered wooden houses for all the scientists in the project. These houses were ordered from a firm in PRAGUE and should be ready for delivery about this time.

(SZ 5, 30/5/46)

This information was passed on to proper agencies.

F. J. BIERMANN
1st Lt. MI
Chief Scientific Section

TOP SECRET

Figure D.234: DI 092.-76 FIAT. Subject: Periodic Intelligence Report 1. 2 August 1946 [TNA FO 1031/59]

FA 002/0362. Letter from Major Calvert to Samuel Goudsmit. 8 December 1944. Archive of Deutsches Museum Munich.

[...] A prisoner of war has been located that served as an apprentice with the "Reichspost" in the field of telegraphy. While the prisoner of war is only seventeen years old, he has proven to be very intelligent, fully cooperative, and his statements can be considered reliable. Moreover, he is the son of a Berlin post office employee. In his first interview he made the following statement:

Berlin-Teltow, Mawlower Chaussee (GSGS 4480/3,R6) on open field next to new houses on south side of road, approximately opposite Moltkestrasse. PW states that the building was damaged by air-raid in 43, and about June 43 most of the establishment was transferred to Zeuthen near Berlin. PW went there once to install alarm wires around X-ray tubes (in his own words), which were supposed to be used for experiments in splitting the atom. If the tubes got overheated, the wire was supposed to melt and thus actuate the alarm.

Monthly Intelligence Summary. January 1945. [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 168, Folder 202.3-1 LONDON OFFICE: Combined Intell Rpts.]

II INFORMATION ON POSSIBLE T A SITES

4. Zeuthen:

Information was received from German P/W, who is a former employee of the Reichspost, that there is a high tension apparatus located in the village of Zeuthen near Berlin. P/W stated that he had heard that T A work was in progress at this location. Aerial photos of Zeuthen were obtained and the P/W pinpointed the building to which he referred. The work going on at this building, according to P/W is under the direction of the Reichspost. This information is corroborated to some extent by information previously reported by Dr. S. A. Goudsmit as a result of his Eindhoven investigation.

U.S. Army Air Forces General Henry H. Arnold. 1949. *Global Mission*. New York: Harper. pp. 491, 534. [See also AFHRA 43811 electronic pp. 1080–1081.]

In May, 1943, we received information from Zurich that Professor Max Planck, at the Kaiser Wilhelm Institute, in collaboration with Dr. Otto Hahn, was working on the splitting of the uranium atom. Also that other German scientists were on the threshold of solving this great and dangerous secret.

The Germans were supposed to have perfected an electric machine which would make it possible to complete the development of the atomic bomb. I was then asked to have our bombers in England make special missions against the various branches of the Kaiser Wilhelm Institute in Berlin. Prior to that, the British had destroyed a plant at Norway where the Germans had been experimenting with other phases of this project. [...]

When it came to establishing the Target Folders that would give us the size, location, general characteristics, special distinguishing marks, the type of construction, and other details necessary for bombing operations against a target like the complexes of the I. G. Farben Company, or the Krupp Works—such data did not exist in the United States. Accordingly, the Air Force had no recourse but to go to other sources for its information.

[“An electric machine which would make it possible to complete the development of the atomic bomb” sounds like an electromagnetic separator. Arnold said it was somewhere in the Berlin area and was bombed. The Kaiser Wilhelm Institute is not known to have had such a machine, but the Reichspost did—is that what Arnold meant?]

D.4.4 Uranium-235 Enrichment via Gaseous Diffusion

[Gustav Hertz (German, 1887–1975) developed gaseous diffusion methods of separating isotopes, starting sometime before 1923. See pp. 3653–3663. By 1932 he was achieving and publishing good results demonstrating separation of isotopes other than uranium. Did Hertz or others seriously pursue uranium enrichment via gaseous diffusion in Germany during the Third Reich? He worked at Siemens (one of the two largest German electrical equipment companies) throughout the Third Reich; exactly what he did is unclear, but his work was so important to the government that he was not harmed even though he was partially Jewish. At the end of the war, Stalin was so impressed by whatever he knew of Hertz’s wartime work that he offered Hertz his own lab in the Soviet Union, where he then developed gaseous diffusion uranium enrichment methods for the postwar Soviet nuclear weapons program (pp. 3664–3672). Hertz’s gaseous diffusion methods were also implemented by scientists at Oak Ridge as one of the main uranium enrichment methods in the United States during and after the war.

In 1927, Erika Cremer (German, 1900–1996) completed her Ph.D. research on (chemical) chain reactions under Max Bodenstein (p. 542). Building upon the pioneering work by Hertz, she began developing improved methods of gaseous diffusion enrichment and gas chromatography in the late 1930s and continued throughout World War II (p. 3674). She worked directly with Otto Hahn and Siegfried Flügge, among others. It seems likely that her work involved gaseous diffusion methods of separating uranium isotopes for the German nuclear program, though little documentation is currently publicly available. Cremer continued to work on gas chromatography after the war, and is best known for her postwar demonstrations and publications on gas chromatography, including those with her student Fritz Prior (Austrian, 1921–1996) [Bobleter 1997].

Hubert Krüger (German, 18??–19??, p. 3663), Rudolf Fleischmann (German, 1903–2002, p. 3673), and others also worked on gaseous diffusion enrichment.

Beginning in 1940, Auergesellschaft [probably Nikolaus Riehl (German, 1901–1990)] patented an industrial-scale uranium enrichment process that appears to have combined aspects of gaseous thermal diffusion and the PUREX process. See pp. 3675–3680. These patent documents prove that Auergesellschaft was involved not only in refining uranium from ore, but also in separating uranium isotopes. They also demonstrate that from the beginning of the war, Germany was interested in developing industrial-scale uranium enrichment, not merely small-scale laboratory experiments.

During the war, Erich Bagge (German, 1912–1996) led a team that invented, built, and demonstrated the “isotope sluice,” an alternative form of gaseous diffusion enrichment. See pp. 3685–3696.

Based upon the successful laboratory demonstrations by Gustav Hertz, Erika Cremer, Hubert Krüger, Rudolf Fleischmann, Auergesellschaft, Bagge, and others, did Germany indeed build and operate large-scale gaseous diffusion plants for enriching uranium during the war?]

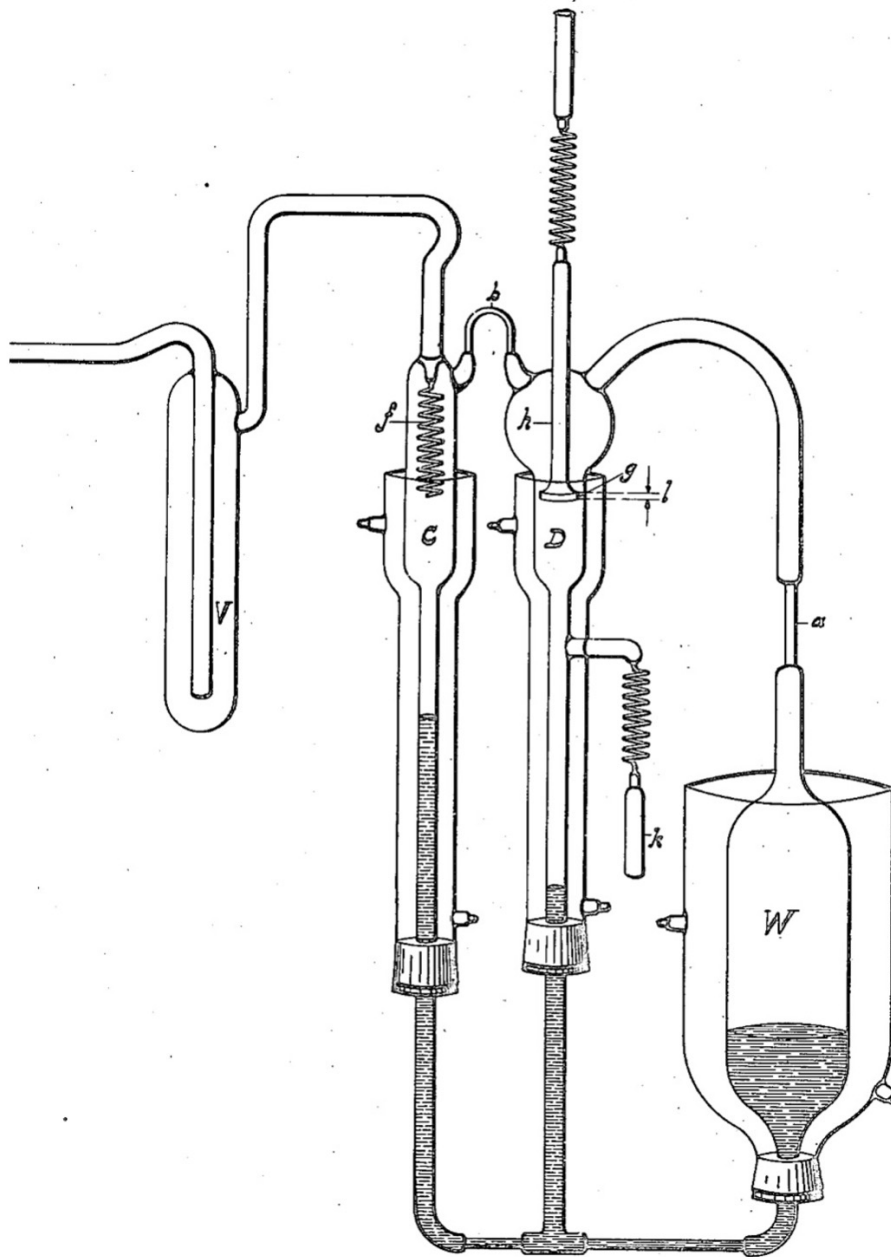
March 11, 1924.

G. L. HERTZ

1,486,521

METHOD OF SEPARATING GASES FROM A MIXTURE THEREOF

Filed April 17, 1923



Inventor
Gustav Ludwig Hertz

Attorneys
E. F. & J. F. Brundage

Figure D.235: One of Gustav Hertz's first patents on gaseous diffusion for enrichment, filed in 1923 [U.S. Patent 1,486,521. Method of Separating Gases from a Mixture Thereof].

Patented Mar. 11, 1924.

1,486,521

UNITED STATES PATENT OFFICE.

GUSTAV LUDWIG HERTZ, OF EINDHOVEN, NETHERLANDS, ASSIGNOR TO NAAMLOOZE
VENNOOTSCHAP PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, OF EINDHOVEN, NETHER-
LANDS.

METHOD OF SEPARATING GASES FROM MIXTURES THEREOF.

Application filed April 17, 1923. Serial No. 632,798.

To all whom it may concern:

Be it known that I, Dr. GUSTAV LUDWIG HERTZ, a subject of the Republic of Germany, residing at Eindhoven, in the Province of North-Brabant, in the Kingdom of the Netherlands, have invented certain new and useful Improved Methods of Separating Gases from a Mixture Thereof, of which the following is a specification.

This invention relates to an improved method of separating gases from a mixture thereof.

It is known that gases can be separated from a gas mixture by passing the gases through solid screens or through capillary. The method of separating gases according to this invention is based on an entirely new principle.

The method according to the invention is characterised in that a gas mixture is made to diffuse into a gaseous fluid flowing with a predetermined velocity. Preferably the velocity of the gaseous fluid will be regulable and the nature of this fluid will be chosen such that it can be separated from the gas to be isolated or from each of the gases to be isolated. Owing to the different diffusion-coefficients of the different components of the gas mixture the concentration of each of these components in the current of gaseous fluid will have quite a different course. There will be points where the concentration of a certain component, which for instance is most diffusible of all, is relatively high with regard to the concentration of the other less diffusible components.

When removing the gas fraction at such a point a mixture of the flowing gaseous fluid with said component may be obtained in an almost pure condition. By then separating the gaseous fluid from said fraction by a condensation process or a chemical process or in any other suitable manner, the component separated from the primary gas mixture is obtained in an almost pure condition.

At other points in the current of gaseous fluid, the concentration of a second gas component will have increased, which permits of leading away from this point a gas mixture, enriched in the latter component.

The exact course of the method depends on (1) the velocity of the current along that portion of the path where the diffusing process principally takes place (this path

may be referred to as "diffusion path"), and (2) the length of this path and (3) the angle made by the latter with the direction of the current of the gaseous fluid.

The current velocity to be chosen of the gaseous fluid depends on the composition of the gas mixture and on the desired results. In order to obtain the maximum output it is advisable to design the apparatus so that it permits of working with the maximum current velocity of the gaseous fluid. In the case of diffusion taking place against the flow of gas, this implies as short a diffusion path as possible.

In carrying out the invention a vessel may be used, connected to inlet- and outlet-tubes for the stream of gaseous fluid, for the gas mixture to be separated and for the gases which have diffused apart from each other, while moreover an arrangement can be provided for separating the gaseous fluid from the components of the gas mixture. In addition the apparatus may be provided with means for adjusting the current velocity or the length of the diffusion path or both, which like the arrangement for separating the flowing gaseous fluid from the gas components and other auxiliary arrangements, will be obvious to those skilled in the art.

By arranging the inlet- and outlet-tubes in relation to each other in such a way that the gas component to be separated must diffuse against the current, it is possible to choose the conditions so that only this component is able to do so, the others on the contrary, being led astray by the current to a condenser with which the apparatus, if desired, is provided, while the component which diffused out is led away from a point of great concentration and then liberated from the gaseous fluid.

The drawing diagrammatically represents an apparatus for use in carrying out the invention and in which the gases to be separated are made to diffuse into water vapour.

Referring to the drawing the apparatus consists essentially of three parts: a water vessel W, a diffusion vessel D and a condensation vessel C, which vessels may be in communication as indicated in the drawing. The three vessels, W, D and C are surrounded by waterjackets by means of which their temperature may be exactly adjusted. The temperature in W should be higher than in

Figure D.236: One of Gustav Hertz's first patents on gaseous diffusion for enrichment, filed in 1923 [U.S. Patent 1,486,521. Method of Separating Gases from a Mixture Thereof].

1,486,521

1,486,521

D and C. The vapour which is developed in W flows through a capillary a into the upper spherical part of D at a current velocity which is dependent on the temperatures in W. The temperatures in D and C are regulated so that a portion of the vapour is condensed at a portion of the C. In D an inverted funnel-shaped tube h is so opened out that between the wall of the funnel and the wall of D a narrow space l of length l remains, through which space the vapour will flow. The path l is that which has been termed the diffusion path. By making the tube h slidable in a vertical direction the length of the diffusion path may be varied within certain limits, for example, if the tube h is slid upwards the way l is shortened, as is enlarged lower part of the tube h , remains partly in the upper spherical part of D.

Now a gas mixture of which the total pressure is not greater than the vapour pressure of the water in W, on entering through said tube h in the vessel D will partly diffuse against the stream of water

separated from at least one of said components and in removing at least one of the components of the mixture diffused in said streaming gaseous fluid together with part of the latter from places where the concentration of said components to be collected is relatively high with regard to the concentration of the other components and separating the gaseous fluid from the collected components beyond the place where diffusion has taken place.

4. A method of separating the components of the gas-mixture by diffusion, consisting in allowing a gas-mixture to diffuse into a gaseous fluid flowing with a regulable velocity and in removing at least one of the components of the mixture diffused in said streaming gaseous fluid together with part of the latter from places where the concentration of said components to be collected is relatively high with regard to the concentration of the other components.

5. A method of separating the components of the gas-mixture by diffusion consisting in allowing a gas-mixture to diffuse into a gaseous fluid flowing with a regulable velocity and which fluid can be separated from at least one of said components and in removing at least one of the components of the mixture diffused in said streaming gaseous fluid together with part of the latter from places where the concentration of said components to be collected is relatively high with regard to the concentration of the other components.

6. A method of separating the components of a gas-mixture by diffusion consisting in allowing a gas-mixture to diffuse into a gaseous fluid flowing with a regulable velocity and which fluid can be separated from at least one of said components and in removing at least one of the components of the mixture diffused in said streaming gaseous fluid together with part of the latter.

ter from places where the concentration of said components to be collected is relatively high with regard to the concentration of the other components and separating the gaseous fluid from the collected components beyond the place where diffusion has taken place.

7. A method of separating the components of a gas-mixture by diffusion consisting in allowing a gas-mixture to diffuse

SECRET

Figure D.237: One of Gustav Hertz's first patents on gaseous diffusion for enrichment, filed in 1923 [U.S. Patent 1,486,521. Method of Separating Gases from a Mixture Thereof].

Patented June 17, 1924.

1,498,097

UNITED STATES PATENT OFFICE.

GUSTAV LUDWIG HERTZ, OF EINDHOVEN, NETHERLANDS, ASSIGNOR TO NAAMLOOZE VENNOOTSCHAP PHILIPS' GLOEIAMPENFABRIEKEN, OF EINDHOVEN, NETHERLANDS.

APPARATUS FOR SEPARATING GASES FROM A MIXTURE THEREOF.

Application filed April 17, 1923. Serial No. 632,787.

To all whom it may concern:

Be it known that I, Dr. GUSTAV LUDWIG HERTZ, a subject of the Republic of Germany, residing at Eindhoven, in the Province of North Brabant, in the Kingdom of the Netherlands, have invented certain new and useful Improvements in or Relating to an Apparatus for Separating Gases from a Mixture Thereof, of which the following is a specification.

This invention relates to an apparatus for separating gases from a mixture thereof. It is known that gases can be separated from a gas mixture by passing the gases through a suitable screen or through capillary means. The apparatus for separating gases according to this invention is based on the appliance of an entirely new principle. According to the latter a gas mixture is made to diffuse into a gaseous fluid flowing with a predetermined velocity. Preferably the velocity of the gaseous fluid will be regulated and the nature of this fluid will be such that it can be separated from the gas to be isolated or from each of the gases to be isolated. Owing to the different diffusion-coefficients of the different components of the gas mixture the concentration of each of these components in the current of auxiliary gas will have quite a different course.

There will be points where the concentration of a certain component which for instance is most diffusible of all, is relatively high with regard to the concentration of the other less diffusible components. When removing the gas fraction at such a point a mixture of the flowing gaseous fluid with said component may be obtained in an almost pure condition. By then separating the auxiliary gas from said fraction by a condensation process or a chemical process or in any other suitable manner, the component separated from the primary gas mixture is obtained in an almost pure condition.

In other points of the current of gaseous fluid, the concentration of a second gas component will have increased, which permits of leading away from this point a gas mixture, enriched in the latter component. The exact course of the method depends on (1) the velocity of the current along that portion of the path where the diffusing process principally takes place (this path may be referred to as the "diffusion path"), and (2) the length of this path and (3) the angle made by the latter with the direction of the current of the gaseous fluid. The current velocity to be chosen of the gaseous fluid depends on the composition of the gas mixture and on the desired results. In order to obtain the maximum output it is advisable to design the apparatus so that it permits of working with the maximum current velocity of the auxiliary gas. In the case of diffusion taking place against the flow of gas, this implies as short a diffusion path as possible.

The apparatus according to the invention may contain a vessel, connected to inlet- and outlet-devices for the stream of gaseous fluid, for the gas mixture to be separated from each other, while moreover an arrangement can be provided for separating the streaming gaseous fluid from the components of the gas mixture. In addition the apparatus may be provided with means for adjusting the current velocity or the length of the diffusion path or both, which like the arrangement for separating the flowing gaseous fluid from the gas components and other auxiliary arrangements, will be obvious to those skilled in the art.

By arranging the inlet- and outlet-tubes in relation to each other in such a way that the gas component to be separated must diffuse against the current, it is possible to choose the conditions so that only this component is able to do so, the others on the contrary, being led astray by the current to a condenser with which the apparatus, if desired, is provided, while the component which has diffused out is led away from a point of great concentration and then liberated from the auxiliary gas.

The drawing diagrammatically represents an apparatus according to the invention and in which the gases to be separated are made to diffuse into water vapour.

Referring to the drawing the apparatus consists essentially of three parts: a water vessel W, a diffusion vessel D and a condensation vessel C, which vessels may be in communication as indicated in the drawing. The three vessels W, D and C are sur-

1,498,097

a

rounded by water-jackets by means of which their temperature may be exactly adjusted. The temperature in W should be higher than in D and C. The vapour which is developed in W flows through a capillary *a* into the upper spherical part of D at a current velocity which is dependent on the temperature in W. The temperatures in D and C are regulated so that a portion of the vapour is condensed in D and a portion in C. In D an inverted funnel-shaped tube *h* is so opened out that between the wall of the funnel and the wall of D a narrow space *g* of length *l* remains, through which the vapour will flow. The path *l* is that which has been termed the diffusion path. By making the tube *h* slidable in a vertical direction the length of the diffusion path may be varied within certain limits.

Now a gas mixture of which the total pressure is not greater than the vapour pressure of the water in W, on entering through said tube *h* in the vessel D will partly diffuse against the stream of water vapour, and so arrive in the upper part of D and with the water vapour which is flowing through a tube *b*, also in C. The composition of this part depends on the diffusion constants of the components of the mixture. Leading therefore through *h* a mixture of two gases with different diffusion constants, for instance a mixture of helium and neon, and choosing properly the velocity of the water vapour, only the gas with the greater diffusion-constant (helium) will be able to diffuse against the water vapour, whereas the neon stays almost wholly behind. By these means an almost complete separation of the gases can be effected. The helium which has arrived in C, flows with a portion of the water vapour through a very narrow capillary *f* into an exhausted space V, where the water vapour may be frozen, for instance by means of liquid air, and after that into a vessel, where the separated gas is collected in an almost pure condition. The capillary serves to afford the required resistance to the current which, in consequence of the great difference of pressure in C and V, would otherwise obtain too great a velocity and thus unfavourably influence the diffusion process. The other component (neon) may be led away by means of a separate outlet-tube *k* and separated from the water vapour in the same manner as the first component. The inlet-tube *h* and the outlet-tube *k* are likewise provided with capillaries. If the component separated near *k* appears to be insufficiently pure, it may be caused to flow once more through *h* by the aid of a circulation-device and subjected to the diffusion-process until said component has obtained the desired purity.

The whole apparatus with exception of the vessel V is placed in an enclosure, in which vessel V is placed in an enclosure, in which

the temperature is kept somewhat higher than in the water vessel. The form and the relative position of the different parts of the apparatus may be varied in numerous ways, and also the method of regulating the current velocity or the length of the diffusion path. It is not necessary that the current of auxiliary gas and the streaming gas mixture should meet each other in the manner described above. This it is not necessary that one of the components should diffuse against the stream of auxiliary gas forming an angle of 180° there-with for with much smaller angles very favourable results may also be obtained. Neither is it essential that the diffusion path should have the form of a narrow slit. It should even be possible to allow the diffusion to take place in the wall of a porous body.

Instead of water vapour any other suitable gaseous fluid can be used provided that it can be separated from the gases to be collected.

In many cases it will be desirable or necessary to place several apparatus in a cascade-like series in order to collect the desired gas at the end of the series in a sufficiently pure condition.

It is remarked that the method for separating gases from a mixture by diffusion is described in my co-pending application Serial Number 632,798, filed April 17, 1923.

What I claim is:

1. Apparatus for separating the components of a gas mixture comprising in combination a vessel, devices for feeding a streaming gaseous fluid to said vessel, devices for feeding a gas mixture to be diffused to said vessel, outlet devices comprising outlet paths to conduct the gases diffusing away from each other, the outlet paths beginning at places where the concentration of the gas-components to be collected is relatively higher than that of the other components.

2. In an apparatus for separating the components of a gas mixture in combination a vessel, devices for feeding a streaming gaseous fluid to said vessel, devices for feeding a gas mixture to be diffused to said vessel, outlet devices comprising outlet paths to conduct the gases diffusing away from each other, the outlet paths beginning at each other, the outlet paths beginning at places where the concentration of the gas-components to be collected is relatively higher than that of the other components, and means for separating the streaming gaseous fluid from the collected components beyond the place where the diffusion has taken place.

3. In an apparatus for separating the components of a gas mixture in combination a vessel, devices for feeding a streaming gaseous fluid to said vessel, devices for feeding a gas mixture to be diffused to said vessel, outlet devices comprising outlet paths to conduct the gases diffusing away from each other, the outlet paths beginning at places where the concentration of the gas-components to be collected is relatively higher than that of the other components, and means for separating the streaming gaseous fluid from the collected components beyond the place where the diffusion has taken place.

4. In an apparatus for separating the components of a gas mixture in combination a vessel, devices for feeding a streaming gaseous fluid to said vessel, devices for feeding a gas mixture to be diffused to said vessel,

1,498,097

3

3 sel, outlet devices comprising outlet paths
to conduct the gases diffused away from
each other, the outlet paths beginning at
places where the concentration of the gas
6 components to be collected is relatively
higher than that of the other components
and means for regulating the current veloc-
ity of the streaming gaseous fluid.

4. In an apparatus for separating the
10 components of a gas mixture in combination
a vessel, devices for feeding a streaming
gaseous fluid to said vessel, devices for feed-
ing a gas mixture to be diffused to said ves-
sel, outlet devices comprising outlet paths to
15 conduct the gases diffused away from each
other, the outlet paths beginning at places
where the concentration of the gas compo-
nents to be collected is relatively higher
than that of the other components, and
20 means for regulating the length of the dif-
fusion path.

5. In an apparatus for separating the
components of a gas mixture in combination
a vessel, devices for feeding a streaming
25 gaseous fluid to said vessel, devices for feed-
ing a gas mixture to be diffused to said ves-
sel, outlet devices comprising outlet paths
to conduct the gases diffused away from
each other, the outlet paths beginning at
30 places where the concentration of the gas
components to be collected is relatively
higher than that of the other components,
means for regulating the current velocity of
the streaming fluid and means for regulat-
35 ing the length of the diffusion path.

6. In an apparatus for separating the
components of a gas mixture in combina-
tion a vessel, devices for feeding a stream-
ing gaseous fluid to said vessel, devices for
40 feeding a gas mixture to be diffused to said
vessel, outlet devices comprising outlet paths
to conduct the gases diffused away from
each other, the outlet paths beginning at
45 places where the concentration of the gas
components to be collected is relatively
higher than that of the other components
means for separating the streaming gaseous
fluid from the collected components beyond
50 the place where diffusion has taken place
and means for regulating the current veloc-
ity of the streaming gaseous fluid.

7. In an apparatus for separating the
components of a gas mixture in combination
a vessel, devices for feeding a streaming
55 gaseous fluid to said vessel, devices for feed-
ing a gas mixture to be diffused to said ves-
sel, outlet devices comprising outlet paths
to conduct the gases diffused away from
each other, the outlet paths beginning at
60 places where the concentration of the gas
components to be collected is relatively
higher than that of the other components,
means for separating the streaming gaseous
fluid from the collected components beyond
65 the place where the diffusion has taken

place and means for regulating the length
of the diffusion path.

8. In an apparatus for separating the
components of a gas mixture in combination
a vessel, devices for feeding a streaming
70 gaseous fluid to said vessel, devices for feed-
ing a gas mixture to be diffused to said ves-
sel, outlet devices comprising outlet paths
to conduct the gases diffused away from
each other, the outlet paths beginning at
75 places where the concentration of the gas
components to be collected is relatively
higher than that of the other components
means for separating the streaming gaseous
fluid from the collected components be-
80 yond the place where diffusion has taken
place means for regulating the current ve-
locity of the streaming gaseous fluid and
means for regulating the length of the dif-
85 fusion path.

9. In an apparatus for separating the
components of a gas mixture in combina-
tion a vessel, devices for feeding a stream-
ing gaseous fluid to said vessel, devices for
90 feeding a gas mixture to be diffused to said
vessel, outlet devices comprising outlet
paths to conduct the gases diffused away
from each other, the outlet paths beginning
at places where the concentration of the gas
95 components to be collected is relatively
higher than that of the other components,
the feeding- and outlet-devices being ar-
ranged in such relative position that at least
one of the gas components to be collected
100 must diffuse against the stream of gaseous
fluid.

10. In an apparatus for separating the
components of a gas mixture in combina-
tion a vessel, devices for feeding a stream-
ing gaseous fluid to said vessel, devices for
105 feeding a gas mixture to be diffused to said
vessel, outlet devices comprising outlet
paths to conduct the gases diffused away
from each other, the outlet paths beginning
at places where the concentration of the gas
110 components to be collected is relatively
higher than that of the other components,
the feeding- and outlet-devices being ar-
ranged in such relative position that at least
one of the gas components to be collected
115 must diffuse against the stream of gaseous
fluid and means for separating the stream-
ing gaseous fluid from the collecting com-
ponents beyond the place where the diffusion
120 has taken place.

11. In an apparatus for separating the
components of a gas mixture in combina-
tion a vessel, devices for feeding a stream-
ing gaseous fluid to said vessel, devices for
125 feeding a gas mixture to be diffused to said
vessel, outlet devices comprising outlet
paths to conduct the gases diffused away
from each other, the outlet paths be-
ginning at places where the concentration
of the gas components to be collected is

1,498,097

4

relatively higher than that of the other
components, the feeding- and outlet-de-
vices being arranged in such relative po-
sition that at least one of the gas com-
5 ponents to be collected must diffuse against
the stream of gaseous fluid and means for
regulating the current velocity of the
streaming gaseous fluid.

12. In an apparatus for separating the
10 components of a gas mixture in combina-
tion a vessel, devices for feeding a stream-
ing gaseous fluid to said vessel, devices for
feeding a gas mixture to be diffused to said
vessel, outlet devices comprising outlet
15 paths to conduct the gases diffused away
from each other, the outlet paths beginning
at places where the concentration of the
gas components to be collected is relatively
higher than that of the other components,
20 the feeding- and outlet-devices being ar-
ranged in such relative position that at
least one of the gas components to be col-
lected must diffuse against the stream of
gaseous fluid means for separating the
25 streaming gaseous fluid from the collected
components beyond the place where the dif-
fusion has taken place and means for regu-

lating the current velocity of the streaming
gaseous fluid.

13. In an apparatus for separating the
components of a gas mixture in combina-
tion a vessel, devices for feeding a stream-
ing gaseous fluid to said vessel, devices for
35 feeding a gas mixture to be diffused to said
vessel, outlet devices comprising outlet
paths to conduct the gases diffused away
from each other, the outlet paths begin-
ning at places where the concentration of
40 the gas components to be collected is rela-
tively higher than that of the other com-
ponents, the feeding- and outlet-devices be-
ing arranged in such relative position that
at least one of the gas components to be
45 collected must diffuse against the stream
of gaseous fluid, means for separating the
streaming gaseous fluid from the collected
components beyond the place where the
diffusion has taken place, means for regu-
lating the current velocity of the stream-
ing gaseous fluid and means for a diffusion
50 path for said mixture as short as is prac-
tically possible.

Dr. GUSTAV LUDWIG HERTZ.

In testimony whereof I affix my signature.

Figure D.239: Another of Gustav Hertz's first patents on gaseous diffusion for enrichment, filed in 1923 [U.S. Patent 1,498,097. Apparatus for Separating Gases from a Mixture Thereof].



Figure D.240: One of Gustav Hertz's patents showing that many gaseous diffusion units could be used in series to achieve high-quality enrichment [Austrian Patent AT 107,571. Verfahren zur ununterbrochenen Trennung eines Gasgemisches].

element 2 kommt. Durch die Entmischung in Element e entstehen wiederum zwei Fraktionen, von denen die eine durch die Röhre 3 zum Entmischungselement b und die andere durch die Röhre 1 zum Entmischungselement d geführt wird. In dieser Weise wird jede Fraktion, nachdem sie aus einem gewissen Entmischungselement einem vorigen bzw. folgenden Entmischungselement zugeführt worden ist, wieder zum Teil zum ersten genannten Entmischungselement zurückgeführt. Hinter der Pumpe 9 ist in der Röhre 1 eine U-Röhre 10 zwischengeschaltet, die mittels flüssiger Luft gekühlt sein kann, um das zu trennende Gasgemisch von Unreinigkeiten zu befreien, die von der Pumpe herrühren.

Um nun mit Hilfe dieser Vorrichtung ein bestimmtes Gasgemisch zu trennen, wird eine gewisse Menge dieses Gemisches in die Vorrichtung, z. B. in das erste Entmischungselement, eingeführt. Zu diesem Zwecke wird die Vorrichtung erst möglichst stark entleert, worauf das Gasgemisch zugelassen wird, bis ein bestimmter Druck, z. B. von 0,5 mm Quecksilbersäule, erreicht ist. Darauf wird die Vorrichtung in Betrieb gesetzt, bis in der Verteilung des teilweise getrennten Gasgemisches auf die verschiedenen Entmischungselemente ein Gleichgewichtszustand entstanden ist. In den besonders zu diesem Zwecke vorgesehenen Gefäßen 12 und 11, die mit dem ersten bzw. letzten Entmischungselement verbunden sind, befinden sich dann Fraktionen, die an bestimmten Komponenten verarmt bzw. bereichert sind. Im Falle einer Trennung eines Gemisches von zwei Gasen wird sich eine Fraktion, die reich an der einen Komponente oder sogar praktisch frei von der andern Komponente sein kann, im Gefäß 11 und eine Fraktion, die reich an der andern Komponente ist, im Gefäß 12 ansammeln. Wenn man z. B. ein Gemisch von Helium und Neon trennen will, so wird mit Rücksicht auf den Umstand, daß Helium die größere Diffusionskonstante hat, dieses Gas mehr nach links als nach rechts strömen, bis der Gleichgewichtszustand erreicht ist. Man wird dann im Gefäß 12 ein heliumreiches Gemisch antreffen.

Die Anzahl von Entmischungselementen, die man gebrauchen muß, hängt natürlich von dem angestrebten Grad der Trennung und bei einer Trennung mittels Diffusion auch von dem Verhältnis der Diffusionskonstanten der zu trennenden Gase ab. Ist der Gleichgewichtszustand erreicht, so wird die von einem Entmischungselement einem zweiten Entmischungselement zugeführte Gasmenge der von dem zweiten Entmischungselement dem ersten zugeführten Gasmenge vollkommen gleich sein.

Der Vorrichtung kann aber in ununterbrochenen Betrieb ein Gasgemisch zugeführt und an ihr eine oder mehrere Fraktionen, z. B. die sich im Gefäß 12 ansammelnde Fraktion, entzogen werden. Man erhält dann einen stationären Zustand, in dem nun aber nicht, wie oben beschrieben wurde, die von einem Entmischungselement einem zweiten Entmischungselement zugeführte Gasmenge vollkommen gleich der von dem zweiten Entmischungselement dem ersten zugeführten Gasmenge ist. Die Gasmenge, die in der Richtung des Gefäßes 12 strömt, wo Gasentziehung an der Vorrichtung stattfindet, wird nun größer sein als die in umgekehrter Richtung strömende Gasmenge, u. zw. wird dieser Unterschied durch die Gasmenge ausgeglichen, die dem Gefäß 12 entzogen wird. Um aber eine gehörige Trennung zu erzielen, muß die in der Zeitinheit bei 12 entzogene Gasmenge in bezug auf die in einer gleichen Zeit von einem Entmischungselement zum nächsten strömenden Menge klein sein. Wird diese Bedingung nicht erfüllt, so erhält man zwar eine größere Ausbeute, aber die Trennung wird schlechter. Es ist also vorteilhaft, auch falls einem der Gefäße 11 oder 12 Gas entzogen wird, das Verfahren derart auszuführen, daß die von einem Entmischungselement einem zweiten Entmischungselement zugeführte Gasmenge nahezu gleich der von dem zweiten Entmischungselement dem ersten zugeführten Gasmenge ist.

Die Zusammensetzung des durch die poröse Wand hindurch diffundierenden Gasgemisches wird auf der Oberfläche der porösen Wand nicht dieselbe sein. Der Teil der porösen Wand, der zuerst mit dem zu trennenden Gasgemisch in Berührung kommt, in diesem Falle der untere Teil der porösen Wand, wird ein Gemisch durchlassen, das in bezug auf das ankommende Gemisch reicher an der Komponente mit der größten Diffusionskonstante sein wird. Berücksichtigt man z. B. ein Gemisch von Helium und Neon, so wird der untere Teil der porösen Wand ein heliumreicheres Gemisch durchlassen; dadurch kann es aber vorkommen, daß das Gemisch, das sich in der Röhre 1 in der Höhe des oberen Teiles der porösen Wand befindet, derart verarmt an Helium ist, daß das an dieser Stelle durchgelassene Gemisch ebenso reich oder sogar ärmer an Helium ist als das von der Pumpe 9 zugeführte Gemisch. An dieser Stelle der porösen Wand hat also die Trennung keine Nutzwirkung mehr. Um diesen Uebelstand zu beheben, empfiehlt es sich, durch die poröse Wand nur einen kleinen Teil des Gasgemisches abzusaugen und das übrige größtenteils durch eine zweite poröse Wand zu demselben Entmischungselement zurückzuführen. Dies wird an der Hand von Fig. 2 näher erklärt werden.

In Fig. 2 bezeichnen a' , b' , c' , d' und e' die fünf Entmischungselemente. Im Entmischungselement e' ist 13 die Röhre, durch welche die Pumpe 14 das zu trennende Gasgemisch, z. B. Helium-Neon, zuführt. In dieser Röhre 13 befindet sich die poröse Röhre 16; ferner ist die Röhre 13 durch eine enge Röhre 17 mit einer Röhre 18 verbunden, in der sich eine zweite poröse Röhre 19 befindet. Diese Röhre 19 geht in einen nicht porösen Teil 20 über und ist durch Einschnürung in der Röhre 18 befestigt. Mittels der Pumpen 15, 14 und 21 werden nun Fraktionen des von der Röhre 13 zugeführten Gasgemisches abgesaugt. Es kann nun aber so eingerichtet werden, daß z. B. durch die poröse Wand 16 ein Sechstel, durch die poröse Wand 19 vier Sechstel und durch die Röhre 18 ein Sechstel abgesaugt werden. Die durch die poröse Wand 19 abgesaugte Fraktion wird nun durch die Röhre 20 wieder dem Entmischungselement e'

selbst zugeführt. Damit diese Fraktion viermal so groß als jede der Fraktionen sei, die durch die poröse Wand 16 und durch die Röhre 18 abgesaugt werden, ist es nötig, daß der Widerstand der porösen Wand 16 und der Röhre 18 je viermal so groß als jener der porösen Wand 19 sei. Am ersten und am letzten Element sind zwei Gefäße 22 und 23 angebracht, in denen sich die heliumreichste bzw. neonreichste Fraktionen ansammeln. Es hat sich herausgestellt, daß mit dem Verfahren gemäß der Erfindung, selbst in Gemischen von Gasen, die bisher schwer zu trennen waren, eine sehr weitgehende Trennung erzielt werden kann. Es ist sogar möglich, mit diesem Verfahren Isotopen, z. B. die Isotopen von Neon, voneinander zu trennen. Obwohl in den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen die entmischten Fraktionen den unmittelbaren neben dem entmischenden Element liegenden Entmischungselementen zugeführt werden, so können 10 die Fraktionen auch weiter entfernt liegenden Elementen zugeführt werden.

PATENT-ANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur ununterbrochenen Trennung eines Gasgemisches, in welchem eine Reihe von Entmischungselementen gegebenenfalls auch mehrmals verwendet wird, deren jedes für sich instande ist eine teilweise Entmischung in zwei oder mehr Fraktionen herbeizuführen, dadurch gekennzeichnet, daß diese Fraktionen, je nach ihrer Zusammensetzung, zwei oder mehr Entmischungselementen auf beiden 15 Seiten oder auch dem betreffenden Entmischungselement selbst, derart zugeführt werden, daß die von einem Elemente einem zweiten Entmischungselemente zugeführte Gasmenge nahezu gleich der von dem zweiten Entmischungselemente dem ersten Elemente zugeführten Gasmenge, oder die den Entmischungselementen auf einer Seite eines bestimmten Entmischungselementes zugeführte Gasmenge nahezu gleich 20 der den Entmischungselementen auf der andern Seite zugeführten Gasmenge ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Widerstand des Weges des ersten Entmischungselementes zum zweiten dem Widerstand des Weges des zweiten Entmischungselementes zum ersten nahezu gleich ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Widerstand des einen Weges praktisch von einer porösen Wand bedingt wird, während der Widerstand des andern Weges durch eine 25 geeignete Wahl des Durchmessers oder der Länge der zu diesem Zwecke verwendeten Röhre dem Widerstand des ersten Weges ungefähr gleich gemacht wird.

Figure D.241: One of Gustav Hertz's patents showing that many gaseous diffusion units could be used in series to achieve high-quality enrichment [Austrian Patent AT 107,571. Verfahren zur ununterbrochenen Trennung eines Gasgemisches].

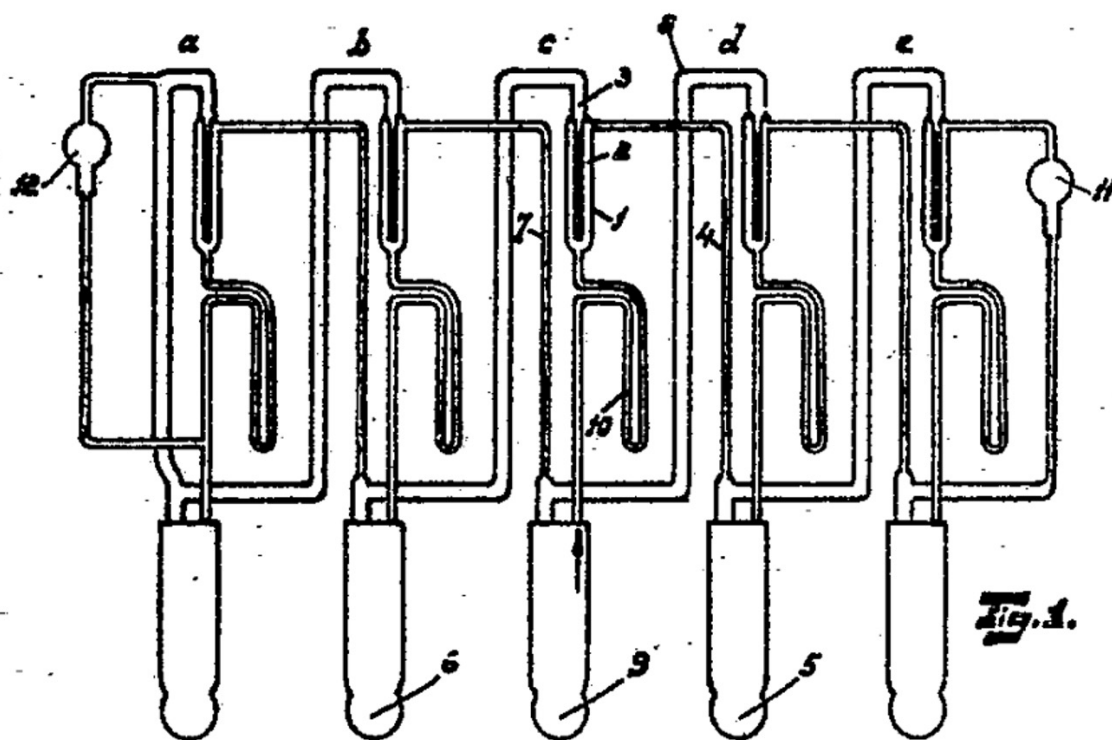
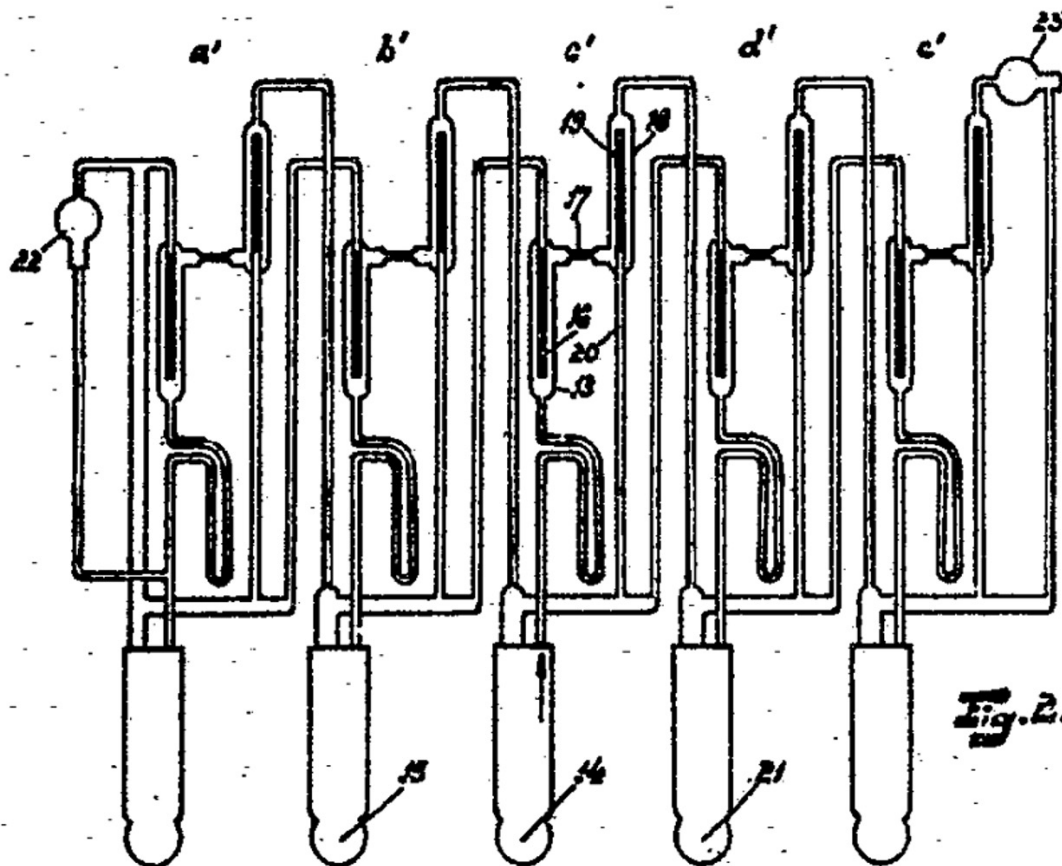


Figure D.242: One of Gustav Hertz's patents showing that many gaseous diffusion units could be used in series to achieve high-quality enrichment [Austrian Patent AT 107,571. Verfahren zur ununterbrochenen Trennung eines Gasgemisches].

DECLASSIFIED
 Authority AND 917017

SECRET

Metallurgical Laboratory
P.O. BOX 5207
 CHICAGO 80, ILLINOIS

MUC-5KA-445

This document consists of 1 pages and 0 figures
 No. 1 of 6 copies, Series A

BUTTERFIELD 4300

January 27, 1944

Brig. Gen. L. R. Groves
 P.O. Box 2610
 Washington, D.C.

Dear Gen. Groves:

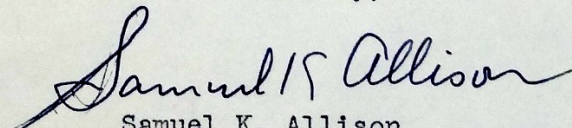
Major Furman has told us that in connection with the work we are doing for him we should cover possible enemy activities in every phase of our project, that is, the X-10, Y-12, and K-25 processes.

We have dismissed as too improbable to require investigation the possibility that the enemy may be engaged in the Y-12 process on a scale of military importance. We believe, however, that due to the fact that the enemy was considerably in advance of us in certain work of the K-25 type before the war, there is a high probability that if he is doing anything of military interest in our field, he is operating along this line.

In order to suggest to Major Furman appropriate leads for investigation, we would like to request that Dr. Karl Cohen of the Columbia group be authorized to visit us and discuss various methods of accomplishing our result by K-25 processes. Dr. Cohen in his work for Dr. Urey has had wide experience in investigating several kinds of such processes, some of which have been dropped as not promising but may have been developed by the enemy.

Would it be possible for you to authorize such a visit in the near future?

Yours sincerely,


 Samuel K. Allison

dj

CC Compton
 Morrison
 Vernon

This document contains information affecting the national defense of the United States within the meaning of the Espionage Act, U. S. C. 50; 31 and 32. Its transmission or the revelation of its contents in any manner to an unauthorized person is prohibited by law.

SECRET

NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 170, Folder 32.60-1 GERMANY: Summary Reports (1944)

Figure D.243: Samuel K. Allison to Leslie R. Groves. 27 January 1944. "[D]ue to the fact that the enemy was considerably in advance of us in certain work of the K-25 [gaseous diffusion enrichment] type before the war, there is a high probability that if he is doing anything of military interest in our field, he is operating along this line." [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 170, Folder 32.60-1 GERMANY: Summary Reports (1944)]

Gustav Hertz. 1932. Ein Verfahren zur Trennung von gasförmigen Isotopengemischen und seiner Anwendung auf die Isotopen des Neons. [Process for the separation of gaseous mixtures of isotopes and its application to the isotopes of neon.] *Zeitschrift für Physik* 79:108–131, 700.

Das Verfahren benutzt die Diffusion durch eine poröse Wand ins Vakuum. Es ermöglicht die gleichzeitige Wirksamkeit einer großen Zahl von Diffusionszellen und damit eine weitgehende Entmischung eines Isotopengemisches in einem einzigen Arbeitsgang. Die ausgeführte Apparatur, welche 24 Pumpen und 48 Tonrohre enthält, ergibt bei einmaliger Anwendung auf die Isotopen des Neons in wenigen Stunden eine Änderung des Isotopenverhältnisses um nahezu den Faktor 8. Durch wiederholte Anwendung ist eine weitergehende Trennung möglich. Es werden Massenspektrogramme und optische Spektren von Neon-Isotopengemischen verschiedener Zusammensetzung reproduziert.

The process uses diffusion through a porous wall into a vacuum. It allows the simultaneous effectiveness of a large number of diffusion cells and thus extensive segregation of a mixture of isotopes in a single operation. The executed apparatus, which contains 24 pumps and 48 clay tubes, when applied once to the isotopes of neon, results in a change in the isotopic ratio by a factor of nearly 8 in a few hours. More extensive separation is possible by repeated application. Mass spectrograms and optical spectra of neon isotope mixtures of various compositions are reproduced.

Gustav Hertz. 1932. Ein Verfahren zur Trennung von gasförmigen Isotopengemischen. [A process for the separation of gaseous isotope mixtures.] *Naturwissenschaften* 20:493–494.

Gustav Hertz. 1933. Reindarstellung des schweren Wasserstoffisotops durch Diffusion. [Manufacture of Pure Heavy Hydrogen Isotope by Diffusion.] *Naturwissenschaften* 21:884–885.

H. Harmsen, Gustav Hertz, and Werner Schütze. 1934. Weitere Versuche zur Isotopentrennung. [Further experiments on isotope separation.] *Zeitschrift für Physik* 90:703–711.

Die Leistungsfähigkeit der früher beschriebenen Apparatur zur Trennung von gasförmigen Isotopengemischen ist durch Verdoppelung der Zahl der Trennungsglieder sowie durch Benutzung größerer Pumpen bei einem Teil der Trennungsglieder so weit erhöht worden, daß bereits durch einmalige Anwendung des Verfahrens aus normalem Neon das Isotop 22 praktisch rein hergestellt werden kann. Auch das schwere Wasserstoffisotop läßt sich mit Hilfe der Apparatur in großer Reinheit darstellen. Ausgehend von einem Wasserstoff, welcher etwa 1^o/_{oo} des schweren Isotops enthält, ergibt sich in 8 Stunden 1 cm³ spektralreiner schwerer Wasserstoff von Atmosphärendruck.

The efficiency of the previously described apparatus for the separation of gaseous isotopic mixtures has been increased by doubling the number of separation elements and by using larger pumps for some of the separation elements to such an extent that the isotope 22 can be produced practically pure from normal neon just by using the process once. The heavy hydrogen isotope can also be produced in great purity with the aid of the apparatus. Starting from a hydrogen containing about 1^o/_{oo} of the heavy isotope, 1 cm³ of spectrally pure heavy hydrogen of atmospheric pressure is obtained in 8 hours.

Gustav Hertz. 1934. Ein Verfahren zur Trennung von Isotopengemischen durch Diffusion in strömendem Quecksilberdampf. [Process for the separation of isotope mixtures by diffusion in flowing mercury vapour.] *Zeitschrift für Physik* 91:810–815.]

Das früher angegebene Verfahren zur Trennung von Isotopengemischen wird dadurch verbessert, daß an Stelle der Diffusion durch eine poröse Wand die Diffusion in strömendem Quecksilberdampf zur Trennung verwandt wird. Hierzu wird eine Diffusionspumpe besonderer Bauart benutzt, welche die Eigenschaft hat, aus einem Gasgemisch bevorzugt die schneller diffundierenden Bestandteile zu pumpen. Aus zwölf solchen Pumpen wird eine Apparatur zusammengesetzt, welche für die Neonisotopen eine Änderung des Isotopenverhältnisses um etwa den Faktor 10 ergibt.

The method described earlier for separating isotope mixtures is improved by using diffusion in flowing mercury vapor instead of diffusion through a porous wall. For this purpose, a diffusion pump of special design is used, which has the property of preferentially pumping the more rapidly diffusing components out of a gas mixture. An apparatus is assembled from twelve such pumps, which results in a change of the isotope ratio for the neon isotopes by a factor of about 10.

Hubert Krüger. 1939. Über die Anreicherung des N¹⁵-Isotops und einige spektroskopische Untersuchungen am N¹⁵. [About the Enrichment of the N¹⁵ Isotope and Some Spectroscopic Investigations of N¹⁵.] *Zeitschrift für Physik* 111:467–474.

Mit einer 42 gliedrigen Hertzschen Isotopentrennungsapparatur konnten Anreicherungen des N¹⁵-Isotops von N¹⁴:N¹⁵=4:1 erreicht werden.

With a 42-stage Hertz isotope separation apparatus, enrichments of the N¹⁵ isotope of N¹⁴:N¹⁵=4:1 could be achieved.

Pavel V. Oleynikov. 2000. German Scientists in the Soviet Atomic Project. *Nonproliferation Review* 7:2:1–30.

Gustav Hertz was probably the most eminent scientist among all the Germans who went to work in the Soviet Union. He received the Nobel Prize in physics in 1925 for his work with James Franck demonstrating the quantized nature of atomic excitation potentials. In 1932, he conducted the first experiments into separation of neon isotopes by the diffusion method. **At the time of his transfer to the Soviet Union, he was the head of Siemens Research Laboratory.** [...]

Hertz arrived at Sukhumi together with von Ardenne and was given a separate institute—Institute “G” at Agudzery. [...] **The topics assigned to Institute “G” were:**¹¹⁴

- **separation of isotopes by diffusion in a flow of inert gas (leader—Gustav Hertz);**
- **development of a condensation pump (leader—Muellenpford); and**
- **development of a theory of stability and control of a diffusion cascade (leader—Heinz Barwich).**

[...] German scientists substantially contributed to the Soviet’s efforts to design a membrane for gaseous diffusion technology. In early 1946, Laboratory No. 2 (now the Kurchatov Institute) issued a classified request for a proposal to design a flat membrane.¹⁷⁵ Fifteen organizations submitted their designs. The Moscow Combine of Hard Alloys (MKTS) won the competition. In their design, nickel powder was poured into a mold atop a vibrating table. After some vibration to compact the powder and level its surface, the tray was baked in an oven until the powder was partially melted and formed a ceramic-like porous plate. After the addition of some strengthening elements, the plate was turned into a membrane ready for use. After tests, however, it was found that nearly 10 percent of all pores in such a membrane would let any molecule go through (i.e., were too big to perform the separation function), and that the operating pressure of such membranes was 20 to 30 millimeters (mm) of mercury (Hg) column, a feature that would lead to large losses of electric power, a waste of compressor power, and extremely high requirements on the air-tightness of the machinery.

German groups in Institutes “A” and “G” joined the competition some time in 1947 and started to work on designs for tubular membranes that were expected to be more efficient. Peter Thiessen’s group in Institute “A” focused on a lattice-type filter: a nickel lattice with 10,000 holes per square centimeter was covered by fine-grain nickel carbonyl and baked in an oven. Afterwards, the mesh was bent and welded into tubes. It was discovered that Soviet industry at the time was unable to duct nickel wire finely enough to make the required lattice. For some time the necessary wire and the lattice were ordered from Berlin.¹⁷⁶ Although Peter Thiessen later received a Stalin Prize for his work in the area of gaseous diffusion, it is unlikely that he personally invented the membrane. Rudenko and Kruglov mention that a Dr. [Werner] Schütze received a Stalin Prize in 1948 for design of a diffusion membrane.¹⁷⁷

Both German and Russian sources state that Thiessen’s design had an unpredictable nature and was more appropriate for a lab bench than mass production; Zavenyagin derided his process as “artisanship.”¹⁷⁸ Nickel carbonyl powder was manually sprayed on flat lattices and then these were pressed by rolls. Given the huge surface area of diffusion membranes, manual spraying was a real drawback. The need to do it manually disappeared only in 1952 when a way to automate this tedious process was found.¹⁷⁹

The German group in Institute “G” was headed by a former pharmacist, Reinhold Reichmann. He was working on a mouthpiece type of membrane that could be extruded and would require no welding. Reichmann first experimented with copper and silver, then with nickel. Reichmann’s solution clearly had its roots in his previous occupation—he mixed nickel with dimethylgloxin and then with a mild pain killer, clove pinks oil.¹⁸⁰ The mixture was then extruded and baked. Reichmann died soon after his discovery, and a Stalin Prize was awarded to him posthumously in 1948.¹⁸¹

Both types of tubular filters developed by the German teams, after tests in Laboratory No. 2, were approved for use in second-generation diffusion machines.¹⁸² It was decided to send Thiessen’s group to Plant No. 12 in Elektrostal, and Reichmann’s group (headed then by V.N. Yeremin and his wife) to the MKTS. Beginning in 1949, these two plants started to manufacture all filters for diffusion machines.

The new filters could be used at pressures up to 50 mm of Hg column. This meant that—without any changes in the gaseous diffusion plant’s design—its capacity could be increased by a factor of 2 or 2.5, provided its compressors could work at higher pressures. Tubular filters were first used in the second-generation diffusion machines that formed the basis of the second diffusion plant, the D-3 plant at Sverdlovsk-44.¹⁸³ In 1953, Zavenyagin decided that the production of diffusion filters should be transferred to the Sverdlovsk-44 site in the Urals.¹⁸⁴ [...]

At the NKVD’s instruction, in late 1945 Hertz and his colleagues in Institute “G” started development of a control theory for diffusion cascades. Cascades connect a large number of individual diffusion stages in which the isotope of interest is gradually separated from the initial feed gas. Hertz and Barwich were calculating requirements for pumps in the diffusion cascades, and also acceptable losses of uranium hexafluoride due to corrosion in the cascades. Also, from theoretical calculations they determined percolation (i.e., a statistical description of a particle’s path through a filter) in a membrane and the diameter of pores in a filter. In 1946, Barwich worked out a theory of natural stability of separation cascades that led to a reduction in the number of compressors in the design of the enrichment plant and a reduction in the time the material stayed inside the plant. [...]

In 1948, the first gaseous diffusion plant in the USSR, D-1, was put into operation. It contained 6,200 diffusion machines installed in 56 enrichment cascades.¹⁸⁵ The D-1 plant had problems.¹⁸⁶ Ball-bearings in compressors were made too precisely, without proper tolerances for thermal expansion, and quickly failed. Infusions of uranium hexafluoride into the plant were not leading to any product at the output. The situation was catastrophic. Among the luminaries brought in to help solve the problem in October 1948 were Gustav Hertz, Heinz Barwich, and Peter Thiessen.¹⁸⁷ Because they did not know the official name of the secret facility, the trio christened it “Kefirstadt” (now Sverdlovsk-44 or Novouralsk) after the “kefir” milk drink that they were given there every day for more than a month.¹⁸⁸

The D-1 plant’s greatest problem was corrosion. In the presence of water, uranium hexafluoride turned into tetrafluoride and stuck to the surfaces of the cascades as a powder. To fix this, all workshops were put under air hoods where they were supplied with dehumidified air. Also, nearly 5,000 leaky compressors were replaced in the plant. Peter Thiessen, with his co-worker from Sukhumi Prof. Karzhavin, proposed using a heated fluorine-air mixture to passivate (i.e., give a protective coating to) all internal surfaces of the cascades to reduce future corrosion by tetrafluoride.¹⁸⁹ [...]

The first awards for uranium enrichment technologies were presented in 1951 after the successful tests of a nuclear bomb containing uranium (the earlier Soviet test in 1949 involved a plutonium bomb).¹⁹¹ Thiessen was awarded a first class Stalin Prize, while Hertz, Barwich, and their Russian colleague Krutkow received a second class award.¹⁹²

¹¹⁴ Kruglov, *Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR*, pp. 165–166. [...]

¹⁷⁵ N.M. Sinjov, *Obogaschjonny uran dlja atomnogo oruzhija i energetiki* (*Enriched Uranium for Atomic Weapons and Energy Production*) (Moscow: TsNIIAtominform, 1991), pp. 39–40.

¹⁷⁶ Russian respect for Germany and its industry was well-founded. Even in times of war Germany was able to produce products much superior to anything in the Soviet Union. See, for example, B. Chertok, *Rakety I Ljudi*, where he mentions that the Germans had used nearly 80 metals and alloys in their V-2 rocket, while Soviet industry was capable of producing less than 40.

¹⁷⁷ Rudenko, “Yaderny Plagiat,” p.10; Kruglov, *Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR*, p.167.

¹⁷⁸ Barwich, *Das rote Atom*, p. 147.

¹⁷⁹ Mikhailov and Petrosjants, *Sozdaniye pervoi sovetskoi atomnoi bomby*, p. 331.

¹⁸⁰ Clove pinks oil was used as a mild pain killer by dentists. It relieves pain when it evaporates.

¹⁸¹ Albrecht, Heinemann-Grueder, and Wellmann, *Die Spezialisten*, p. 67.

¹⁸² Amazingly, there was strong opposition to this decision. The Gorkiy machine plant that won the contract to manufacture the first-generation machines with flat filters was against the idea, while the design bureau from the Elektrosila plant in Leningrad, which was still trying to promote its designs, wanted to adopt the new technology. In his book, Sinjov openly speaks of “revenge by Gorkiy people.” Even huge projects do not kill envy in people! See Sinjov, *Obogaschjonny uran dlja atomnogo oruzhija i energetiki*, p. 42.

¹⁸³ Sverdlovsk-44 is now also known as Novouralsk. *Ibid.*, pp. 43–44.

¹⁸⁴ Kruglov, *Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR*, p. 175.

¹⁸⁵ *Ibid.*, p. 185.

¹⁸⁶ *Ibid.*

¹⁸⁷ Barwich, *Das rote Atom*, p. 103

¹⁸⁸ Klaus Thiessen, telephone conversation with author, July 9, 1999.

¹⁸⁹ Kruglov, *Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR*, p. 186. [...]

¹⁹¹ V. Zhuchikhin, *Vtoraja atomnaja* (*The Second Atomic Bomb*) (Snezhinsk, Russia: RFNC-VNIIEF, 1995), p. 110.

¹⁹² Albrecht, Heinemann-Grueder, and Wellmann, *Die Spezialisten*, pp. 74–75.

Moe Berg. 1952. Handwritten notes. [Princeton University Library, Special Collections, Moe Berg Papers (C1413), Box 20, Folder 3—Loose Notes: Central Intelligence Agency.] [See photos on pp. 5098–5109.]

3. Industrial contrib. without [\[outside\]](#) USSR

- most nickel wire mesh for use as a barrier backing for the gaseous diffusion plant by East German factories—altho reports: such prod. in Moscow area
- Re nickel wire for these screens, as well as looms for it, are also prod's of East German firms.
- apparently only EMIL JAEGER firm NEUSTADT/ORLA capable of making looms of the quality req'd in prod. of fine nickel wire mesh.

[...] by mid-1948, USSR had started prod. of the fine nickel wire mesh needed as backing for their barrier. This wire mesh is extremely difficult to produce, + only a few firms in the Soviet zone of Germany + apparently none in USSR, could make this product.

[\[Leftover wartime factories in Neustadt an der Orla, East Germany, were perfectly set up to make high-quality nickel membrane filters for gaseous diffusion uranium enrichment plants.\]](#)

[See pp. 3668–3672, 5098, 5101–5103. Manufacturing the filters was so difficult that even years after the war, Soviet plants could not make comparable items.\]](#)

[What exactly did these German factories do during the war? Did wartime Germany build gaseous diffusion uranium enrichment plants?](#)

[See also reports on large-scale production of nickel in Germany during the war \(p. 4176\).\]](#)

Ein Riese mit Fingerspitzengefühl: Drahtwebstuhl läuft in der Ausstellung “Aufbau West” auf Zollern [A Giant with Flair: Wire Loom Runs in the Exhibition “Development West” at Zollern]. LWL. 22 December 2005.

https://www.lwl.org/pressemitteilungen/nr_mitteilung.php?urlID=15584

Teilweise demontiert und durch die DDR-Regierung enteignet, stand die Maschinenfabrik Emil Jäger im thüringischen Neustadt/Orla in der Nachkriegszeit faktisch vor dem Aus. Der Firmenchef floh 1948 in den Westen, um hier sein Familienunternehmen wieder aufzubauen. Eine solide Grundlage für den Neubeginn war nicht nur die Tatsache, dass ihm viele Fachkräfte aus Thüringen folgten, sondern vielmehr der glückliche Umstand, dass Jäger schon während des Krieges Sicherheitsverfilmungen seiner Maschinenpläne anfertigen lassen hatte. Neben dem Wissen im Kopf waren diese rund 1.500 Kleinbildaufnahmen das Fundament für den Neubeginn.

Für einen erfolgreichen Start im Westen sorgte 1948 das Angebot der “Westfälischen Union”: Jäger sollte die Maschinen für die Neueinrichtung einer Drahtweberei in Hamm bauen. Das damals führende Unternehmen der deutschen Drahtindustrie stellte dafür Platz auf dem werkseigenen Gelände, Maschinen sowie Geld zur Verfügung. Am 1. Juli 1949 war der erste Drahtwebstuhl fertig. [...]

Platzmangel in Hamm sowie ein günstiges Angebot brachten Emil Jäger 1952 schließlich dazu, seinen Betrieb nach Münster zu verlagern. Hier nahm er in den zerstörten Hallen der ehemaligen Flugzeugfabrik Hansen die Produktion wieder auf und die Erfolgsgeschichte des Unternehmens ging weiter: Die 500. Maschine wurde im Mai 1956 fertiggestellt, die 1000. folgte im Frühjahr 1961. In den 1960er Jahren avancierte Emil Jäger bereits zum größten Hersteller der Welt.

Partially dismantled and expropriated by the GDR government, the Emil Jäger machine factory in Neustadt/Orla in Thuringia was effectively on the brink of extinction in the post-war period. The company boss fled to the West in 1948 to rebuild his family business here. A solid foundation for the new start was not only the fact that many skilled workers from Thuringia followed him, but rather the fortunate circumstance that Jäger had already had safety films made of his machine plans during the war. In addition to the knowledge in his head, these approximately 1,500 35mm photographs were the foundation for the new start.

In 1948, an offer from “Westfälische Union” ensured a successful start in the West: Jäger was to build the machines for the new establishment of a wire weaving mill in Hamm. The leading company in the German wire industry at the time provided space on its own premises, machines and money. On 1 July 1949, the first wire loom was ready. [...]

A lack of space in Hamm and a favorable offer finally led Emil Jäger to relocate his business to Münster in 1952. Here he resumed production in the destroyed halls of the former Hansen aircraft factory, and the company’s success story continued: the 500th machine was completed in May 1956, followed by the 1000th in spring 1961. By the 1960s, Emil Jäger had already advanced to become the world’s largest manufacturer.

INTELEX 21

Approved For Release 2002/01/04 : CIA-RDP83-00415R008800240005-3

69263
#8
OCD

CLASSIFICATION TOP SECRET/CONTROL - U.S. ORIGINALLY ONLY

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

REPORT NO. [REDACTED] 25X1A

CD NO.

INFORMATION REPORT

COUNTRY Germany (Russian Zone)

DATE DISTR. 30 August 1951

SUBJECT Reed Manufacture at the Metallweberei, Neustadt/Orla (VVB Tewa)

NO. OF PAGES 3

25X1C

PLACE ACQUIRED [REDACTED]

NO. OF ENCLS. (LISTED BELOW)

DATE OF INFO. [REDACTED]

SUPPLEMENT TO REPORT NO. [REDACTED] 25X1A

[REDACTED]

25X1A 1. [REDACTED] the following seven steps as the essential ones in reed manufacture:

- Calculating and setting the binding machines.
- Cleaning the reed material.
- Binding.
- Coiling and inserting the springs.
- Fixing and soldering the binding-wire and half-round wire.
- Grinding.
- Checking the spacing of the lamellae bands, and for the presence of tin between the lamellae.

2. As of mid-June 1951 there was no one at the Metallweberei Neustadt/Orla (VVB Tewa) who could perform the calculating and setting processes expertly or who could service the machines, nor was there anyone in the Drahtwebstuhlbau, Neustadt, who could do so. This situation has not yet been felt because the machines are still running on the calculations and settings made before the recent loss of qualified personnel. But real difficulty will begin when the settings must be changed for reeds of different caliber. As things now stand, there seem to be only two possibilities left to continue production: either to set the machines by trial and error, which is time-consuming and produces uncertain results, or to find an engineer who could work out a method.

3. The cleaning of the reed material is not a difficult operation and is carried out by grinders or spring workers, as they are available for this work.

25X1A

CLASSIFICATION TOP SECRET/CONTROL - U.S. ORIGINALLY ONLY

Approved For Release 2002/01/04 : CIA-RDP83-00415R008800240005-3

Figure D.244: Leftover wartime factories in Neustadt an der Orla, East Germany, were perfectly set up to make high-quality nickel membrane filters for gaseous diffusion uranium enrichment plants. Did those factories produce such filters for German enrichment plants during the war?

Approved For Release 2001/03/23 : CIA-RDP83-00415R011000030025-8 OCW

INTELLIGENCE 21

FORM NO. 51-AAA
FEB 1952

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

CLASSIFICATION SECRET/CONTROL - U.S. OFFICIALS ONLY
SECURITY INFORMATION

25X1A

INFORMATION REPORT

REPORT NO. [REDACTED] ✓
CD NO.

COUNTRY Germany (Russian Zone) DATE DISTR. 9 April 1952

SUBJECT 25X1A WMW Drahtwebstuhlbau, Neustadt/Orla: Delivery of New-Type Looms for Fine Nickel Wire Screen to Tewa-Neustadt; Development of New Loom NO. OF PAGES 2

DATE OF INFO. [REDACTED] NO. OF ENCLS. (LISTED BELOW) 25X1A

PLACE ACQUIRED [REDACTED] 25X1X SUPPLEMENT REPORT NO. [REDACTED]

DO NOT CIRCULATE

1. In December 1951, the WMW Drahtwebstuhlbau, Neustadt/Orla, formerly Emil Jaeger, delivered an unspecified number of DFL (Doppelt-Fein-Leicht) looms to Tewa Metallweberei Neustadt/Orla (Tewa-Neustadt).* About mid-January 1952, two of these looms were in operation. Tewa-Neustadt will put the other new looms into operation gradually.
2. The new Jaeger looms are heavier than the old-type (Eilhauer) looms.** They are believed to last longer and to perform more accurate weaving than the old looms. They also differ from the old looms in that a change has been made in the governors for the guiding of the meshes (Regulatoren fuer die Steuerung der Maschen). The governors used formerly were spring governors with threads on the countershaft of the warp roller (Federregulatoren mit Gewinde an der Vorlegswelle der Zettelwalze). This type of governor was introduced by Eilhauer. The new looms have brake governors (Bremsregulatoren), model DFM.
3. Jaeger now has under construction (January 1952) a series of twenty-five looms of the same type as those delivered to Tewa. Construction of these looms has just begun. They are being manufactured on Russian orders for delivery to Russia. [REDACTED], paragraph 5).
4. In addition to the new-type looms mentioned above, by the end of 1951, Jaeger completed the construction of a new loom model which is to be tested at Tewa-Neustadt. The following points are considered its main improvements over the old models:
 - a. whereas the old models used harnesses (Geschirre) suspended on rolls and guided from below by a draw gear (Zugvorrichtung), the new model has its harnesses fixed in guide rails (Fuehrungsschienen) on both sides of the loom; the harnesses are steered from below by push and pull rods (Stosstangen).

CLASSIFICATION SECRET/CONTROL - U.S. OFFICIALS ONLY

STATE	X	NAVY	X	NSRB		DISTRIBUTION								
ARMY	X	AIR	X	FBI		AEC	EW	OSI	NET	BY				

Approved For Release 2001/03/23 : CIA-RDP83-00415R011000030025-8

Figure D.245: Leftover wartime factories in Neustadt an der Orla, East Germany, were perfectly set up to make high-quality nickel membrane filters for gaseous diffusion uranium enrichment plants. Did those factories produce such filters for German enrichment plants during the war?

Approved For Release 2001/03/23 : CIA-RDP83-00415R011000030026-7

FORM NO. 51-AAA
FEB 1952

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

CLASSIFICATION SECRET/CONTROL - U.S. OFFICIALS ONLY
SECURITY INFORMATION

25X1A

INFORMATION REPORT

REPORT NO. [REDACTED]
CD NO. [REDACTED]

COUNTRY Germany (Russian Zone) **DO NOT CIRCULATE** **DATE DISTR.** 9 April 1952

SUBJECT Tewa-Neustadt: Production of Fine Nickel Wire Screen
25X1A **NO. OF PAGES** 2

DATE OF INFO. [REDACTED] **NO. OF ENCLS. (LISTED BELOW)** 25X1A

PLACE ACQUIRED [REDACTED] **SUPPLEMENT TO REPORT NO.** [REDACTED]

[REDACTED]

- In January 1952, the Tewa Metallweberei Neustadt (Tewa-Neustadt), had a total of 64 looms in operation. Most of them were engaged in the production of nickel screen number 231. Unspecified numbers of them were also engaged in the production of:
 - nickel screen number 300
 - phosphor-bronze screen number 270 (English-inch system)
 - phosphor-bronze screen number 270 (French-inch system).

One loom was engaged in the production of perlon mesh to be used as parachute material. Perlon mesh production had begun in December 1951.
- Production of phosphor-bronze screen at Tewa-Neustadt will be discontinued as soon as the wire now on the looms is completed into screen. From then on, the plant will produce fine nickel wire screen exclusively.
- Two of an unspecified number of new looms, which the WGW Drahtwebstuhlbau Neustadt (formerly Emil Jaeger) delivered to Tewa-Neustadt a short time ago, are in operation. The other looms delivered by Jaeger will be put into operation later.
- The production plan for fine nickel wire screen in 1952 calls for the operation of a total of 80 looms at Tewa-Neustadt. This figure includes twelve DFL looms obtained from Tewa-Raguhn shortly before the end of 1951 and the looms obtained from Jaeger. It is expected that two DFL looms belonging to Pabst und Kilian, Raguhn, will be transferred to Tewa-Neustadt in the near future.
- Thirty expert women weavers were sent from Tewa-Raguhn to Neustadt in December 1951 to train Neustadt women in the art of fine weaving. The Raguhn women will stay in Neustadt until April 1952.

CLASSIFICATION SECRET/CONTROL - U.S. OFFICIALS ONLY

STATE	X	NAVY	X	NSRB		DISTRIBUTION			
ARMY	X	AIR	X	FBI		AEC	EW	OSI/NEI	BY

Approved For Release 2001/03/23 : CIA-RDP83-00415R011000030026-7

Figure D.246: Leftover wartime factories in Neustadt an der Orla, East Germany, were perfectly set up to make high-quality nickel membrane filters for gaseous diffusion uranium enrichment plants. Did those factories produce such filters for German enrichment plants during the war?

oed

Approved For Release 2002/08/15 : CIA-RDP83-00415R012000160002-8

INTELLOFAX 29

FEB 1952

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

CLASSIFICATION 25X1C

SECRET/CONTROL - U.S. ☐ OFFICIALS ONLY
SECURITY INFORMATION

INFORMATION REPORT

REPORT NO. ☐

CD NO. 25X1A

COUNTRY Germany (Russian Zone)

DATE DISTR. 24 July 1952

SUBJECT Development of a New-Type Reed at Tewa-Neustadt

NO. OF PAGES 1

DATE OF INFO. 25X1A

PLACE ACQUIRED ☐

REFERENCE COPY

DO NOT CIRCULATE

NO. OF ENCLS. LISTED BELOW

SUPPLEMENT TO REPORT NO. 25X1X

1. Engineer Heinz Schmidt, head of the Tewa-Neustadt reed plant, has developed a new-type reed with the outstanding advantage that it can be made without soldering the band steel lamellae to the reed frames (Bundschienen). This is done by putting small pieces of lamellae band steel between the upper and lower ends of each two successive reed lamellae, in order to keep them equidistant, and by screwing all reed lamellae tightly together with the aid of four screws 25 to 30 millimeters long which are applied at the upper and lower parts of both reed ends. A reed of this type with a length of 50 centimeters was made at the Zeiss plant in Jens, under Schmidt's supervision.
2. This reed has been on trial at the Tewa-Neustadt weaving plant for the last two months, making nickel wire screen No. 231 and results have been excellent. The screen made with this reed did not have one single wide space (Gasse) and also otherwise lived up to the specifications for nickel wire screen produced for the Russians.
3. It is, however, doubtful whether the same excellent results can be obtained by reeds of this type which are longer than 50 centimeters. This is the crucial question since the nickel wire screen for the Russians must be one or one and two-tenths meters wide. Upon Schmidt's request, the Zeiss plant started at the beginning of April 1952 to make a reed of the same type with a length of one meter.

25X1A

CLASSIFICATION

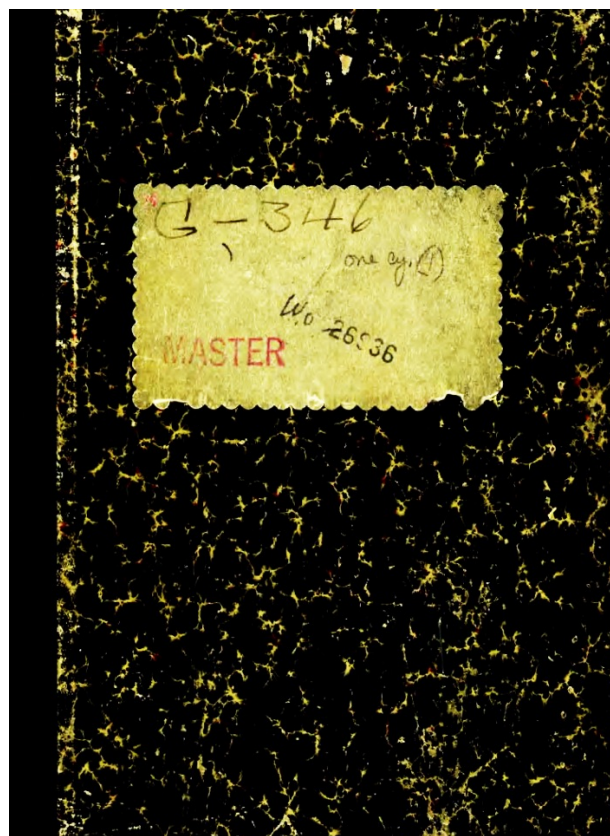
SECRET/CONTROL U.S. ☐ OFFICIALS ONLY

25X1C

STATE	<input checked="" type="checkbox"/>	NAVY	<input checked="" type="checkbox"/>	NSRB					
ARMY	<input checked="" type="checkbox"/>	AIR	<input checked="" type="checkbox"/>	FBI					

Approved For Release 2002/08/15 : CIA-RDP83-00415R012000160002-8

Figure D.247: Leftover wartime factories in Neustadt an der Orla, East Germany, were perfectly set up to make high-quality nickel membrane filters for gaseous diffusion uranium enrichment plants. Did those factories produce such filters for German enrichment plants during the war?



Please assign the G number to the notebook entitled, "Notebook Containing Gaseous Diffusion Data and Results of Meetings on Nuclear Physics". Route to (1) Clinton Laboratories for their information and return, and (2) Col. Cook for their information and return.

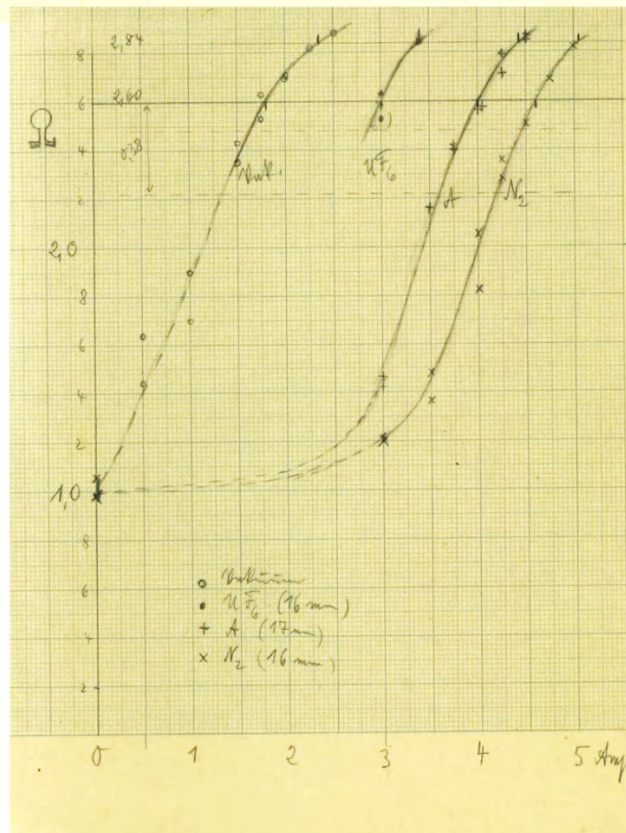
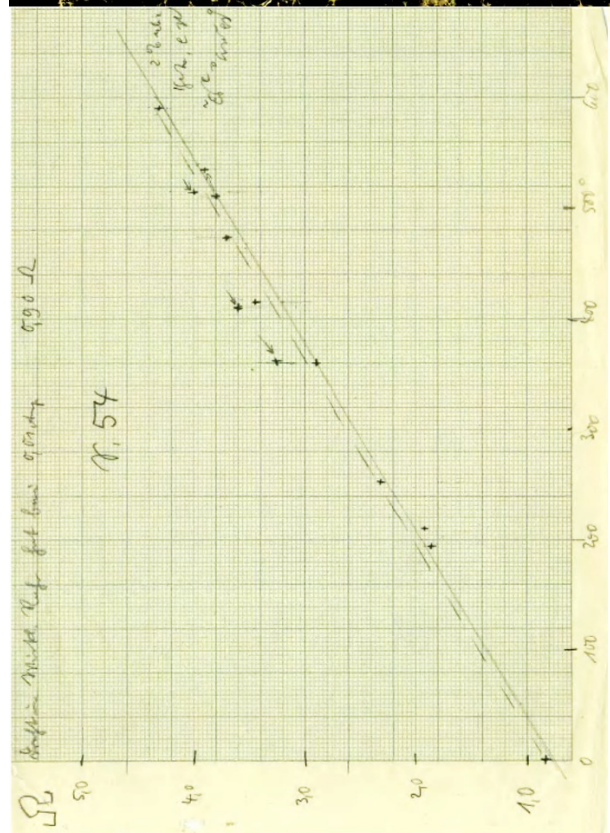


Figure D.248: Rudolf Fleischmann. 1940–1941. Notebook containing detailed notes on gaseous diffusion experiments, gaseous diffusion enrichment data, and results of meetings on nuclear physics [G-346].

Erika Cremer (1900–1996)
did her Ph.D. research on
(chemical) chain reactions,
pioneered gas
chromatography,
and worked on
isotope separation
during World War II.

Were her methods
implemented on
a larger scale for the
enrichment of uranium
via gaseous diffusion
during the war?

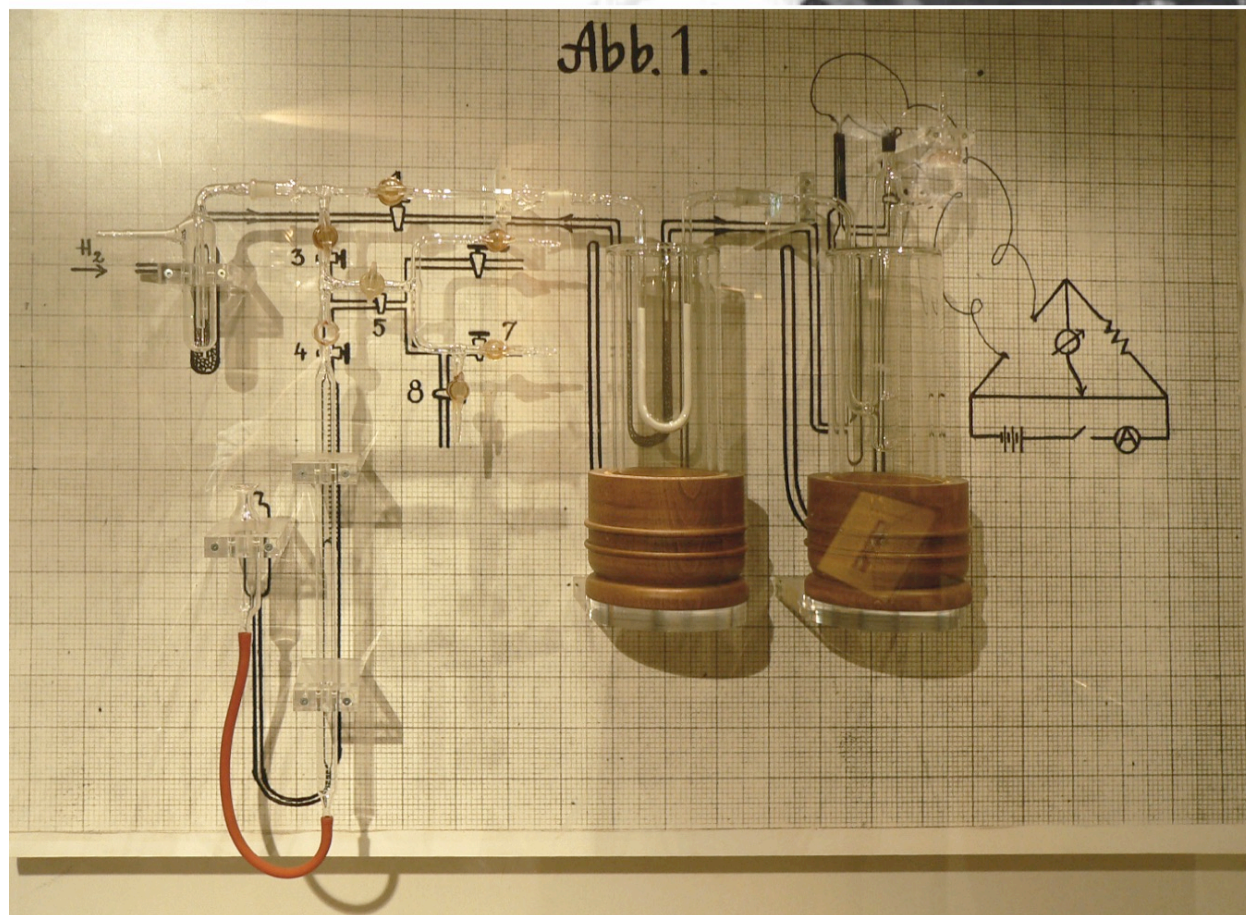


Figure D.249: Erika Cremer did her Ph.D. research on (chemical) chain reactions, collaborated with Otto Hahn and Siegfried Flügge, pioneered gas chromatography, and worked on isotope separation during World War II. Were her methods implemented on a larger scale for the enrichment of uranium via gaseous diffusion?

ÉTAT FRANÇAIS.

MINISTÈRE DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE ET DES COMMUNICATIONS.

SERVICE DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE.

BREVET D'INVENTION.

Gr. 14. — Cl. 6.

N° 881.316

Procédé de séparation, par diffusion, de substances difficilement séparables.

Société dite : AUERGESSELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT résidant en Allemagne.

Demandé le 16 avril 1942, à 16^h 40^m, à Paris.

Délivré le 22 janvier 1943. — Publié le 31 avril 1943.

(Demande de brevet déposée en Allemagne le 31 septembre 1940. — Déclaration du déposant.)

On sait que les éléments chimiques ne possèdent une vitesse de diffusion plus grande qu'un atome moins léger. On a donc fait diffuser à travers des membranes poreuses les espèces d'atomes étudiées en essayant de réaliser leur séparation par ce moyen. La majorité de ces essais n'ont toutefois pas réussi. Il a été trouvé, ces dernières années, un procédé par lequel on peut, dans de nombreux cas, exécuter une séparation d'isotopes avec une pleine réussite tout au moins pour des isotopes gazeux. Il s'agit du procédé par « thermo-diffusion » indiqué par Clusius. Mais le procédé en question, aussi bien que tous les autres procédés qui produisent pour le moins une certaine ségrégation des isotopes, se limitent généralement à des corps gazeux. Un inconvénient plus grave encore des procédés indiqués jusqu'à présent réside dans la grande complexité, le prix élevé et le manque de robustesse des appareils qui nécessitent leur mise en œuvre. A cela s'ajoute la très grande dépense d'énergie nécessaire pour la séparation d'une certaine quantité de matière, dans tous ces procédés. Dans quelques cas particuliers, on réussit à séparer jusqu'à un certain degré des paires d'isotopes déterminées, sans franchir le cadre d'un procédé de laboratoire, mais les

On sait que les éléments chimiques ne possèdent une vitesse de diffusion plus grande qu'un atome moins léger. On a donc fait diffuser à travers des membranes poreuses les espèces d'atomes étudiées en essayant de réaliser leur séparation par ce moyen. La majorité de ces essais n'ont toutefois pas réussi. Il a été trouvé, ces dernières années, un procédé par lequel on peut, dans de nombreux cas, exécuter une séparation d'isotopes avec une pleine réussite tout au moins pour des isotopes gazeux. Il s'agit du procédé par « thermo-diffusion » indiqué par Clusius. Mais le procédé en question, aussi bien que tous les autres procédés qui produisent pour le moins une certaine ségrégation des isotopes, se limitent généralement à des corps gazeux. Un inconvénient plus grave encore des procédés indiqués jusqu'à présent réside dans la grande complexité, le prix élevé et le manque de robustesse des appareils qui nécessitent leur mise en œuvre. A cela s'ajoute la très grande dépense d'énergie nécessaire pour la séparation d'une certaine quantité de matière, dans tous ces procédés. Dans quelques cas particuliers, on réussit à séparer jusqu'à un certain degré des paires d'isotopes déterminées, sans franchir le cadre d'un procédé de laboratoire, mais les

[881.316]

procédés employés jusqu'à présent n'ont aucune chance d'être appliqués à l'échelle industrielle.

La présente invention concerne un procédé de séparation d'isotopes, exempt de tous les inconvénients caractéristiques des méthodes employées jusqu'à ce jour et qui, pour la première fois, permet de réaliser une séparation d'isotopes sur le plan industriel. Comme il s'agit ici d'un nouveau procédé physico-chimique de séparation, il est également applicable à la ségrégation d'autres substances difficilement séparables telles que, par exemple, les paires d'éléments formant des mélanges azéotropiques. En outre, le procédé n'est pas applicable uniquement aux gaz, mais encore particulièrement à des substances en solution. C'est la précision qu'il convient d'apprécier l'importance particulière du nouveau procédé, car la séparation de substances dissoutes a une importance industrielle beaucoup plus grande que la séparation des sels corps gazeux. En effet, les métaux normalement à l'état gazeux, tout au moins aux températures utilisables au laboratoire et en description.

La description qui va suivre, en regard du dessin annexé, donné à titre d'exemple non limitatif, fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée, les particularités qui ressortent tant du dessin que du texte faisant, bien entendu, partie de celle-ci.

On décrira tout d'abord la forme de réalisation du procédé objet de l'invention qui est destinée à la séparation de substances à l'état dissous.

La fig. 1 sert à expliquer le procédé. Un cylindre 1, par exemple en tôle, est rempli d'une masse poreuse 2, telle que du sable, de la terre d'infusoires ou une masse céramique cohérente. La masse poreuse (telle que le sable) est noyée dans la solution des isotopes à séparer. A l'extrémité inférieure du cylindre, on évapore le solvant par la chaleur par ventilation ou par le vide, en prenant soin que l'évaporation soit suffisamment lente pour que le sel dissous ne risque pas de cristalliser. Par le haut, on verse du solvant frais goutte à goutte,

en quantité égale à ce qui s'en évapore dans le bas. Il se passe alors le phénomène suivant : la solution se concentre au voisinage de la surface inférieure dans la mesure même où le solvant est évaporé à l'extrémité inférieure. Il se produit, par suite, une baisse de concentration de bas en haut et la matière dissoute commence à se diffuser de bas en haut. On a donc affaire ici à deux courants de sens contraires, l'un de ces courants est constitué par l'écoulement du solvant à travers la masse en direction descendant, l'autre est un courant de diffusion, en sens contraire, de la matière dissoute. Les atomes ou les ions ou molécules en solution, diffusent donc d'une manière ininterrompue de bas en haut, mais sans changer de place, car leur diffusion est continuellement compensée par le courant liquide s'écoulant à sa rencontre. (On pourrait illustrer les conditions régnant ici par l'exemple de l'écoulement dans une cage rotative ; on sait que l'écoulement continuuellement sans changer de place, car la cage tourne en sens contraire). Grâce à la disposition adoptée, une diffusion ininterrompue et durable des isotopes s'établit de bas en haut et, par ce moyen, il se produit automatiquement une ségrégation du fait que la partie basse de la solution s'enrichit peu à peu en isotope le plus lourd, la partie haute devenant plus riche en isotope le plus léger. Si l'on voulait entreprendre les méthodes usuelles de séparation, par exemple dans le genre de la cristallisation fractionnée, on serait conduit à employer des quantités de liquide exagérées et à surveiller et à préparer un très grand nombre de charges individuelles. Rien de tout cela n'est nécessaire pour le présent procédé. Tout le travail consiste à faire évaporer le solvant à l'extrémité inférieure de la colonne et à le faire retomber goutte à goutte à l'extrémité supérieure. Bien entendu, le dispositif doit comporter des appareils d'extraction, par exemple des tubulures d'aspiration qui permettent de prélever la solution de la colonne. Une telle colonne peut rester en service des mois, voire des années, sans nécessiter de frais importants en personnel de surveillance.

Figure D.250: Beginning in 1940, Auergesellschaft (probably Nikolaus Riehl) filed patents on an industrial-scale uranium enrichment process that combined aspects of gaseous thermal diffusion and what later became known as the PUREX process.

En choisissant un grand diamètre de colonne, on peut aussi soumettre au processus de la séparation de grandes quantités de matières. C'est sur ce point précisément que le rendement du présent procédé s'avère être d'un ordre de grandeur bien supérieur à celui des méthodes proposées jusqu'à présent et dont l'application ne permettait, dans le cas le plus favorable, que de séparer de minimes quantités abominables d'isotopes, tandis que d'après le nouveau procédé, il est possible de traiter de nombreux kilogrammes et même plusieurs tonnes de substance à séparer.

Le procédé qui vient d'être décrit assure encore un autre progrès. La vitesse de diffusion de substances dissoutes dans les solvants usuels est très faible. Il s'ensuit que la diffusion se développe avec une extrême lenteur du bord intérieur au bord supérieur de la colonne, de sorte que l'on n'ose appliquer qu'un très faible contre-courant du solvant et que tout le processus de la séparation se déroule sans doute d'une manière très simple et facile à surveiller, mais lente. C'est pourquoi l'invention comprend encore un autre perfectionnement d'après lequel on n'opère pas la diffusion à l'intérieur d'un seul corps poreux, mais une colonne se compose de plusieurs cellules élémentaires comme on le voit sur les fig. 2 et 3, les cellules étant séparées les unes des autres par des membranes minces diffusantes 2 qui remplacent la masse poreuse. Les cellules elles-mêmes, c'est-à-dire les espaces compris entre les membranes, ne contiennent dans cette disposition aucune espèce de matière poreuse mais sont simplement remplies de la solution. On choisit les membranes diffusantes de telle sorte qu'une diffusion rapide soit possible d'une cellule à l'autre. On prend soin d'assurer le meilleur mélange possible de la solution à l'intérieur d'une cellule, soit au moyen de malaxeurs ou mélangeurs usuels, soit en utilisant la pesanteur. Il n'existe donc pratiquement pas de différences de concentration au sein d'une même cellule, mais de telles différences existent indubitablement entre deux cellules voisines, en raison des membranes diffusantes intercalées entre elles. Comme membranes de diffusion, on peut utiliser les filtres de dialyse, les filtres à membranes, les filtres de cellulose et les couches filtrantes minces analogues. Si la couche filtrante possède une perméabilité suffisante pour donner lieu à un passage hydrodynamique du liquide, on peut laisser également le solvant s'écouler au fur et à mesure de haut en bas comme dans le procédé illustré par la fig. 1. Le solvant est alors évaporé dans la cellule inférieure, par exemple de la manière représentée sur les fig. 3 et 4, où l'évaporation s'effectue à la surface du liquide de la cellule la plus basse. Le solvant perdu par évaporation est ramené dans la cellule supérieure par écoulement, déversement ou redistillation. Si, au contraire, les membranes offrent une trop grande résistance hydrodynamique au passage du solvant et que celui-ci ne puisse, par suite, pas traverser les membranes avec une vitesse suffisante, le passage peut s'effectuer par des tuyaux 4 qui contournent les membranes (fig. 4). La vitesse de passage doit donc être approximativement égale à la vitesse de diffusion moyenne de la matière dissoute. Il se produit dans ce cas une chute de concentration qui, comme les calculs l'ont montré, a une allure exponentielle dès qu'un régime stationnaire s'est établi. Dans l'hypothèse d'une vitesse de passage constante, un tel régime stationnaire se produit au bout d'un certain temps. On constate de plus l'établissement d'un état stationnaire en ce qui concerne la proportion d'isotopes dans les différentes régions de la colonne, en ce sens que les isotopes plus légers se concentrent dans la cellule supérieure et les plus lourds dans la cellule inférieure. Dans le cas où l'on n'oblige pas le solvant à traverser la membrane, mais où on lui fait contourner la membrane par des tuyaux (voir fig. 4), il n'est pas nécessaire de faire progresser la diffusion de bas en haut et le courant liquide de traversée, de haut en bas, peut au contraire choisir n'importe quelle position, même par exemple horizontale, de la colonne. On peut également concevoir la disposition sous une forme telle que le liquide soit conduit de bas en haut (par exemple en utilisant des tubes communicants) et que la diffusion se produise de

haut en bas. Dans ce dernier cas, le contenu de la cellule le plus concentré se trouve en haut, le moins concentré, en bas. Ce dispositif présente l'avantage que la concentration à l'intérieur de chaque cellule est déjà un peu plus forte au bord supérieur de la cellule qu'au bord inférieur. La solution plus concentrée et, par suite, la plus dense, tombe donc d'elle-même au fond sous l'action de la pesanteur, de sorte qu'il se produit automatiquement par ce moyen une égalisation de la concentration à l'intérieur d'une cellule (sans dispositif agitateur).

La fig. 5 montre un mode de réalisation technique particulièrement approprié du procédé ci-dessus décrit. Les cellules 1 sont ici constituées par des caissons plats (en tôle, verre ou matière synthétique), qui sont juxtaposés par étages en s'appuyant par leurs larges faces les uns contre les autres. Les caissons sont remplis de solution. Les faces larges présentent de grandes ouvertures 3, disposées de telle sorte que les ouvertures d'un caisson se trouvent vis-à-vis de celles du caisson voisin. Une membrane 2 est serrée entre chaque caisson et le caisson suivant. La matière en solution peut donc diffuser à travers cette membrane d'un caisson à l'autre. On fait couler goutte à goutte le solvant dans le dernier caisson à gauche et l'on soustrait au dernier caisson à droite la même quantité de solvant, par unité de temps par vaporisation ou évaporation. La solution s'écoule lentement de gauche à droite par les canaux de trop plein d'un caisson au suivant. A la longue la concentration dans le dernier caisson à droite devient supérieure à celle qui régnait dans le caisson précédent et ainsi de suite. En conséquence, le dernier caisson à gauche accuse la concentration la plus faible. Il en résulte une diffusion de la matière dissoute à travers les membranes, de droite à gauche, c'est-à-dire en sens contraire de l'écoulement de la solution. Les cellules individuelles (caissons) sont ici d'un accès commode, de sorte que l'on peut remuer le liquide au moyen d'un agitateur en forme de peigne à mouvement de va-et-vient qui plonge dans toutes les cellules.

Le procédé s'est révélé convenir en pratique, pour la séparation d'isotopes et même

pour des isotopes dans lesquels la différence relative des poids atomiques est très faible.

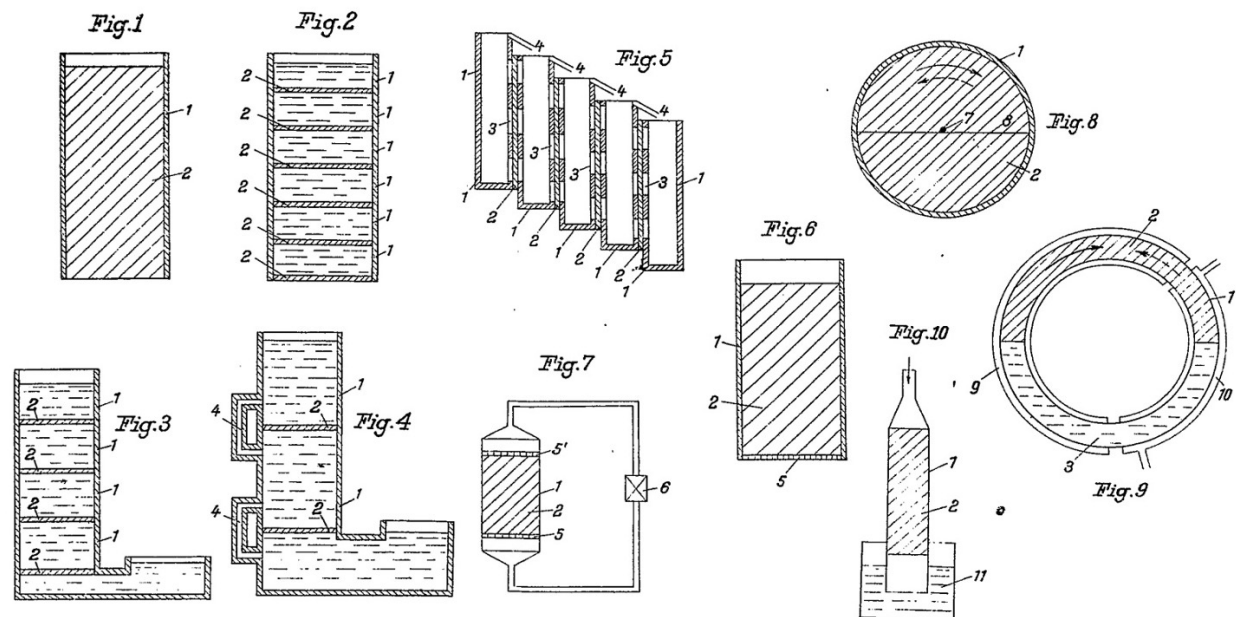
Le procédé s'est révélé efficace pour des paires d'isotopes dont la séparation était radicalement impossible jusqu'à présent et pour lesquels tous les essais antérieurs n'avaient pas permis d'obtenir la moindre ségrégation, par exemple la paire des isotopes thorium X et mésothorium.

Le procédé de séparation selon l'invention n'est pas limité aux seuls isotopes, mais il peut également être appliqué à la séparation d'autres substances difficiles à séparer. En plus des différences de poids moléculaire ou de poids atomique, certaines substances présentent encore d'autres différences entre les espèces d'atomes à séparer, par exemple des différences dans le degré d'hydratation, le diamètre, la forme des molécules, etc. Il peut arriver, pour cette raison, lors de la séparation de paires d'éléments non isotopes, que ce ne soit pas la substance de moindre poids moléculaire qui diffuse le plus rapidement, mais que, au contraire, ce soit la substance à poids moléculaire plus élevé qui se propage plus rapidement de cellule en cellule, par exemple en raison d'une plus mince enveloppe d'hydratation ou de solvation dont la molécule (ou l'ion ou l'atome) est environnée. Il est parfois avantageux, pour des paires d'éléments non isotopes, de choisir une membrane de densité telle que les dimensions de ses pores soient de l'ordre de grandeur des molécules ou ne dépassent pas trop les dimensions moléculaires. Dans ce cas, à la différence des vitesses de diffusion proprement dites, s'ajoute un certain effet de filtration ou de dialyse, effet de tamis, qui influence encore la séparation. De plus, la demande s'est établie que pour accroître l'effet séparateur selon le présent procédé, il y a intérêt à ajouter suivant les circonstances un électrolyte étranger ou une autre matière additionnelle en solution. On influe ainsi favorablement tant sur la vitesse de diffusion que sur l'action séparatrice dans de nombreux cas. Indépendamment de cela, l'addition d'un électrolyte étranger est absolument indispensable lorsqu'on veut réaliser non plus une diffusion atomique ou molé-

Figure D.251: Beginning in 1940, Auergesellschaft (probably Nikolaus Riehl) filed patents on an industrial-scale uranium enrichment process that combined aspects of gaseous thermal diffusion and what later became known as the PUREX process.

<p>la masse poreuse dont le but consiste uni- quement, comme précédemment, à éviter des courants de convection au sein du liquide et 5 désigne une couche semi-per- méable, c'est-à-dire une couche qui n'est traversée que par le solvant et non par la matière en solution. Le liquide est soumis à une pression de passage à travers la masse, de haut en bas, et son remplissage s'effectue par le haut. La matière dissoute, par contre, ne peut pas traverser la paroi semi-per- méable et il se produit à nouveau une chute de concentration en sens contraire à celui du courant de solvant.</p> <p>Conformément à la fig. 7, on peut aussi provoquer la circulation complètement au- tomatique du liquide au moyen d'une pompe et prévoir deux parois semi-per- méables au lieu d'une, à savoir une paroi inférieure 5 et une paroi supérieure 5'. La matière dissoute est pour ainsi dire empi- sonnée par ces deux parois semi-perméables, cependant que le liquide, refoulé par la pompe 6 pénètre dans l'appareil en traver- sant la paroi semi-perméable 5' et en res- sort à travers la paroi semi-perméable 5. Il s'établit de nouveau une diffusion conti- nuelle de la matière dissoute en sens con- traire à celui qui prend le courant de solvant.</p> <p>Le procédé est applicable non seulement à des matières dissoutes, mais encore à des corps gazeux ou à l'état de vapeur, à condi- tion d'apporter des modifications impor- tantes à l'appareillage. La fig. 8 représente un exemple de l'application de l'invention à un gaz. Un cylindre plat 1 étanche au gaz et complètement fermé, peut tourner autour de son axe 7; il est rempli d'une substance poreuse 2. La moitié inférieure du cylindre et avec elle la moitié du corps poreux est remplie de liquide jusqu'au plan médian 8. La moitié supérieure est remplie du mélange gazeux qu'il s'agit de séparer. Si l'on fait tourner le cylindre, avec la matière poreuse qu'il contient, dans le sens de la flèche représentée en traits pleins, le corps poreux plonge à droite dans le liquide tan- dis qu'il en émerge à gauche. Le gaz qui se trouve dans les pores de la matière poreuse est ainsi chassé de droite à gauche suivant la flèche figurée en traits pointillés. Il en résulte ainsi une petite chute de concen-</p>	<p>tration (chute de densité) du gaz en direc- tion de la flèche figurée en pointillés. Le gaz diffuse ainsi de droite à gauche mais la également de telle sorte qu'il ne se produit pas une raréfaction du gaz et que les molé- cules ne changent pas de place (de même que dans le cas de l'écuréul tournant dans sa cage, comme indiqué plus haut). Au lieu du corps poreux, on pourrait naturellement choisir des systèmes capillaires ou d'autres dispositifs qui empêchent la convection du gaz.</p> <p>Étant donné que, dans le procédé qui vient d'être décrit, le choix de liquides liquide, de même que le choix de matières poreuses convenables ou de systèmes capil- laires adéquats impliquent des difficultés techniques considérables, il est possible de perfectionner le procédé objet de l'inven- tion de la manière illustrée sur la fig. 9.</p> <p>La partie supérieure d'un tube fermé 1 courbé en forme de tore ou d'anneau et étanche au gaz est remplie d'une matière poreuse 2 dans laquelle se trouve le gaz à séparer. La moitié inférieure est remplie d'un liquide que l'on peut faire bouillir au moyen de sources de chaleur usuelles.</p> <p>La moitié gauche du tube est chauffée 30 par exemple par le corps de chauffe 9 qui entoure le tube annulaire. Le côté droit est refroidi au moyen d'un courant d'eau, par exemple à l'aide d'un réfrigé- rateur du genre Liebig 10. Il en résulte 35 que le liquide distille continuellement à travers le corps poreux de gauche à droite.</p> <p>Un courant de vapeur prend donc naissance dans le sens de la flèche en traits pleins. Ce courant de vapeur provoque un déplacem- ent de concentration ou un déplacement partiel de la pression dans le gaz qu'il s'agit de séparer. La pression partielle du gaz s'affaiblit dans le sens de la flèche en traits pointillés, c'est-à-dire de droite à gauche.</p> <p>45 Il se produit ainsi également une diffusion du gaz de droite à gauche à travers le cou- rant de vapeur qui se déplace en sens contraire. On retrouve ici en principe les mêmes conditions que pour l'exemple de réalisation de la fig. 8, avec cette différence 50 toutefois que la vapeur assume ici le rôle de la matière poreuse. Dans ce cas, le gaz</p>	<p>diffuse à travers la vapeur. Le corps poreux 2 n'a plus ici pour fonction que celle d'em- pêcher les courants de convection. Dans ce dispositif, les constituants les plus lourds du gaz se rassemblent de nouveau du côté droit et les constituants les plus légers du côté gauche de l'appareil. Il va de soi que la solubilité du gaz dans le liquide doit être aussi faible que possible.</p> <p>La fig. 10 représente une autre variante, appropriée au point de vue industriel, de la dernière disposition décrite. Au lieu d'un système annulaire à l'intérieur duquel la vapeur doit circuler, on utilise un tube droit 1 qui est, comme précédemment, rempli d'une masse poreuse 2 en vue d'em- pêcher les mouvements de convection. Le tube et avec lui les pores de la matière poreuse contiennent le gaz à séparer. Un courant de vapeur d'eau, par exemple la vapeur d'échappement provenant d'une usine pénètre dans le tube par le haut sui- vant la flèche. Le tube plonge à sa base dans un réservoir d'eau 11 dans lequel la vapeur d'eau se condense. Une chute de pression partielle du gaz à séparer se produit égale- ment de bas en haut dans l'appareil, suivant la flèche. Le gaz diffuse donc continuel- lement de bas en haut à travers la vapeur d'eau qui vient à sa rencontre. Il faut évi- demment prévoir encore dans ces dispositifs une enveloppe de chauffage du tube qui sert à éviter que la condensation de la vapeur d'eau ne se produise déjà dans la partie supérieure du tube, mais qui la laisse se pro- duire à l'extrémité inférieure.</p> <p>Le corps poreux peut naturellement être remplacé par des disques perforés ou fendus ou par des tuyères montées en série. L'es- pace dans lequel le processus de séparation doit s'accomplir peut alors être divisé en plusieurs cellules de façon semblable à la disposition décrite en regard de la fig. 2, les différentes cellules étant séparées les unes des autres par des disques perforés, des tuyères ou encore par des plaques poreuses.</p> <p>Il va de soi que sans sortir du cadre de l'invention on pourra apporter des modi- fications aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits.</p>	<p>résumé : 1° Procédé de séparation d'isotopes ou</p>
--	--	---	--

Figure D.252: Beginning in 1940, Auergesellschaft (probably Nikolaus Riehl) filed patents on an industrial-scale uranium enrichment process that combined aspects of gaseous thermal diffusion and what later became known as the PUREX process.



- 4° Variantes de l'appareil spécifié sous 2° selon lesquelles :
- a. La colonne de matières poreuses est fermée à l'une de ses extrémités par une membrane semi-perméable ;
- b. La colonne est limitée à chacune de ses extrémités par une membrane semi-perméable et une pompe refoule vers l'extrémité d'entrée le solvant qui est évacué par l'autre extrémité de la colonne ;
- 5° Appareil permettant la mise en œuvre du procédé spécifié sous 1° et comportant un cylindre creux horizontal fermé de toutes parts, susceptible de tourner autour de son axe et dont le volume intérieur est rempli d'une matière poreuse, la moitié supérieure du cylindre contenant le mélange gazeux à séparer, tandis que sa moitié inférieure est remplie d'un liquide de barrage.
- 6° Appareil permettant la mise en œuvre du procédé spécifié sous 1°, constitué par un tube annulaire fermé à ses extrémités et ayant un axe horizontal, tube rempli dans sa moitié inférieure d'un liquide de barrage et, dans sa moitié supérieure, du mélange gazeux à séparer qui peut être occlus dans un corps poreux, une partie du tube annulaire contenant le liquide étant pourvue d'un dispositif de chauffage et l'autre partie, d'un système réfrigérant.
- 7° Appareil permettant la mise en œuvre du procédé spécifié sous 1°, caractérisé par un cylindre vertical rempli d'une substance poreuse contenant elle-même le mélange gazeux à séparer, cylindre chauffé par l'extérieur et dont l'extrémité inférieure plonge dans un liquide d'arrêt, son extrémité supérieure étant raccordée à une conduite d'admission de vapeur.

Société dite :

AUERGESSELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT.

Par procuration :

J. CASANOVA (Cabinet AMMERSAUD jeune).

de mélanges de matières difficilement séparables, caractérisé par le fait que le mélange de matières est réparti sous forme de solution ou de gaz dans un corps intermédiaire, par exemple un solvant, une vapeur ou un corps poreux et est placé dans un réservoir de manière à ne pas pouvoir s'en échapper et que le corps intermédiaire précité est aménagé d'un côté dans l'espace fermé, le cas échéant, par un liquide de barrage et en est évacué de l'autre côté, de telle sorte qu'il se produit une chute de concentration du mélange de matières qui est dirigée en sens contraire au mouvement du corps intermédiaire ;

2° Appareil permettant la mise en œuvre du procédé spécifié sous 1°, caractérisé par le fait que la solution du mélange de matières se trouve à l'intérieur d'une colonne de matière poreuse entourée d'une enveloppe fixe et qu'il est prévu des moyens susceptibles d'évaporer le solvant à une extrémité de la colonne et de ramener la même quantité de solvant à l'autre extrémité de cette colonne ;

3° Appareil permettant la mise en œuvre du procédé spécifié sous 1°, caractérisé par le fait que la solution du mélange de matières à séparer est placée dans plusieurs cellules séparées les unes des autres par des membranes et l'on prévoit des moyens pour évaporer le solvant de la dernière cellule et pour en ramener la même quantité dans la première cellule, appareil pouvant être sentier, en outre les particularités suivantes prises séparément ou en combinaison :

a. Les cellules connectées les unes à la suite des autres communiquent entre elles par des tuyauteries de dérivation ou de trop-plein ;

b. La série des cellules se compose de bassins étagés les uns par rapport aux autres, dont les parois adjacentes sont perforées et séparées entre elles par des membranes.

Figure D.253: Beginning in 1940, Auergesellschaft (probably Nikolaus Riehl) filed patents on an industrial-scale uranium enrichment process that combined aspects of gaseous thermal diffusion and what later became known as the PUREX process.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

MINISTÈRE DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE.

SERVICE DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE.

1^{re} ADDITION

AU BREVET D'INVENTION

N° 881.316

Gr. 14. — Cl. 6.

N° 53.405

BREVET DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

N° 53.405

Procédé de séparation, par diffusion, de matières difficilement séparables.

Société dite : AUERGESSELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT résidant en Allemagne.

(Brevet principal pris le 16 avril 1949.)

Demandée le 17 avril 1942, à 14^h 40^m, à Paris.

Délivrée le 4 juin 1945. — Publiée le 10 janvier 1946.

(Demande de brevet additionnel déposée en Allemagne le 17 avril 1941. — Déclaration du déposant.)

à illustrer un premier exemple de réalisation.

Dans une enveloppe tubulaire cylindrique 4 fermée aux deux bouts, un deuxième tube 2 peut monter et descendre à la manière d'un piston. Le tube 2 est subdivisé par plusieurs membranes poreuses 3 en compartiments distincts. La tige de commande 4 sert à imprimer au tube 2 un mouvement de va-et-vient vertical dans l'enveloppe tubulaire 4.

Quant la tige de commande et le tube 2 avec les membranes qui y sont disposées, se déplacent vers le haut, par exemple, l'air est obligé de pénétrer de l'espace supérieur 5 dans la cellule voisine (cellule 6), par diffusion à travers les membranes. Il en résulte une surpression dans la cellule 6, de sorte qu'une nouvelle phase de diffusion se produit à travers la membrane suivante, dans la cellule 7 et ainsi de suite jusqu'à ce que la pression se soit à nouveau égalisée dans toutes les cellules et qu'il ne se trouve plus de traces d'air dans l'espace 5. Dans cet état, la membrane située le plus haut s'applique contre le couvercle de fermeture inférieur 10 de l'enveloppe tubulaire 4.

Dans le brevet principal, il a été décrit notamment un procédé de séparation de mélanges gazeux difficilement séparables, selon lequel on provoque une diffusion continue du mélange gazeux d'une cellule dans l'autre, à travers des parois poreuses; dans ce but, à l'une des extrémités de la série de cellules, les cellules peuvent plonger successivement dans un liquide, tandis qu'elles sont soulevées hors de ce liquide à l'autre extrémité. Par ce moyen, il se produit une chute de pression du gaz le long de la série de cellules, ce qui provoque une diffusion permanente dans une direction. La présente addition concerne un autre mode de réalisation de cette invention, qui offre d'importantes avantages au point de vue de l'appareillage, notamment de la facilité de réalisation et de la sécurité de service de l'installation.

La description qui va suivre, en regard du dessin annexé, donné à titre d'exemple non limitatif, fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée, les particularités qui ressortent tant du dessin que du texte faisant bien entendu, partie de celle-ci.

La fig. 1 est une coupe schématique servant

à illustrer un premier exemple de réalisation.

Dans une enveloppe tubulaire cylindrique 4 fermée aux deux bouts, un deuxième tube 2 peut monter et descendre à la manière d'un piston. Le tube 2 est subdivisé par plusieurs membranes poreuses 3 en compartiments distincts. La tige de commande 4 sert à imprimer au tube 2 un mouvement de va-et-vient vertical dans l'enveloppe tubulaire 4.

Quant la tige de commande et le tube 2 avec les membranes qui y sont disposées, se déplacent vers le haut, par exemple, l'air est obligé de pénétrer de l'espace supérieur 5 dans la cellule voisine (cellule 6), par diffusion à travers les membranes. Il en résulte une surpression dans la cellule 6, de sorte qu'une nouvelle phase de diffusion se produit à travers la membrane suivante, dans la cellule 7 et ainsi de suite jusqu'à ce que la pression se soit à nouveau égalisée dans toutes les cellules et qu'il ne se trouve plus de traces d'air dans l'espace 5. Dans cet état, la membrane située le plus haut s'applique contre le couvercle de fermeture inférieur 10 de l'enveloppe tubulaire 4.

Figure D.254: Beginning in 1940, Auergesellschaft (probably Nikolaus Riehl) filed patents on an industrial-scale uranium enrichment process that combined aspects of gaseous thermal diffusion and what later became known as the PUREX process.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

MINISTÈRE DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE.

SERVICE DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE.

2^e ADDITION

AU BREVET D'INVENTION

N° 881.316

Gr. 14. — Cl. 6.

N° 53.635

Procédé de séparation, par diffusion, de substances difficilement séparables.

Société dite : AUERGESSELLSCHAFT AKTIENGESSELLSCHAFT résidant en Allemagne.
(Brevet principal pris le 16 avril 1942.)Demandée le 25 avril 1944, à 16^h 41^m, à Paris.
Délivrée le 18 février 1946. — Publiée le 21 juin 1946.1^{re} addition n° 53.405.

Le brevet principal concerne un procédé selon lequel on fait diffuser une substance dissoute on une paire d'éléments en dissolution à travers des masses ou des membranes poreuses, mais en évitant un équilibre complet de la concentration de cette solution par le fait que l'on entretient un courant du solvant en sens contraire de celui de la diffusion. Par ce moyen on parvient à séparer les uns des autres les constituants dissous, d'une manière particulièrement favorable, qui n'était pas réalisable par la méthode de diffusion ordinaire. Afin d'entretenir le contre-courant du solvant, dont il vient d'être question, il faut verser continuellement du solvant frais à l'extrémité réceptrice ou à l'entrée du dispositif tandis que, à son autre extrémité, le solvant est constamment vaporisé, c'est-à-dire que la solution doit être reconcentrée. Cette vaporisation continue du solvant à une extrémité de l'appareil soulève des difficultés. Si l'on chauffe d'une manière quelconque la solution à cette extrémité de l'appareil, il se produit facilement, à cause du chauffage, des détériorations des membranes de diffusion employées. De plus, le chauffage donne lieu à des réactions indésirables entre, d'une part, le

solvant ou les substances dissoutes et, d'autre part, les parois de l'appareil. Si l'on chauffe donc la solution de la manière habituelle, on est très limité dans le choix de la matière constitutive pour l'appareil, parce qu'il existe relativement peu de matériaux de construction qui gardent leur résistance à la majorité des réactifs, par exemple à la température d'ébullition de l'eau. Mais les membranes qui entrent en ligne de compte pour ce procédé, notamment celles constituées par de la cellulose régénérée, sont particulièrement sensibles à un chauffage. Or, de telles couches délicates, en cellulose ou analogues, se sont précisément comportées d'une façon très avantageuse pour le procédé en question.

Selon la présente invention, on remédie à cette difficulté par le fait que dans la partie de l'appareil conforme au brevet principal, dans laquelle doit s'effectuer la vaporisation du liquide, on introduit à une certaine distance du fond du récipient, un corps de verre creux à parois doubles, entre lesquelles règne le vide, corps dans l'intérieur duquel le liquide est chauffé d'une manière connue, par exemple au moyen d'un thermo-plongeur. Le corps creux

[53.635/881.316]

peut être cylindrique et comporter à son extrémité inférieure, des pieds qui le maintiennent écarté du fond du récipient, dans lequel se trouve la solution à vaporiser.

On obtient par ce moyen qu'une fraction de la solution à vaporiser peut être chauffée jusqu'au point d'ébullition et, par suite, rapidement vaporisée, mais que les autres parties de la solution qui sont en contact avec les parois de l'appareil et avec les membranes de diffusion, restent froides. Le liquide vaporisé peut alors être reconduit à l'entrée de l'appareil, le cas échéant, à travers un réfrigérant.

La description qui va suivre, en regard du 15 dessin annexé, donne à titre d'exemple non limitatif, fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée, les particularités qui ressortent tant du dessin que du texte faisant, bien entendu, partie de ladite invention.

Le dessin représente, à titre d'exemple pratique, la manière d'appliquer le perfectionnement ci-dessus décrit à l'appareil objet du brevet principal. Il montre la forme de réalisation d'appareil correspondant à la fig. 5 du brevet 25 principal, dans laquelle l'ensemble du dispositif de diffusion se compose d'une série de cellules, séparées les unes des autres par des membranes diffusantes 2. Dans la dernière cellule doit s'opérer continuellement une vaporisation du solvant. La première cellule doit recevoir continuellement la même quantité de liquide solvant.

Le courant de liquide va donc de la première à la dernière cellule, le courant de diffusion passe en sens contraire.

Sur le dessin, les cellules sont désignées par la référence 1. Les membranes de diffusion 2

sont serrées entre les parois des cellules 1 qui sont appliquées l'une contre la suivante et pourvues d'ouvertures 3. Dans la dernière cellule à droite se trouve, au sein du liquide, le tube 12, à vide entre ses parois, qui est maintenu écarté du fond du récipient 1, par exemple au moyen de pieds de support 13. Un corps de chauffe 14, avantageusement constitué par un thermo-plongeur ordinaire, est immergé à l'intérieur du tube 12 dans le liquide entouré par ce tube 12 et il provoque sa vaporisation. Les vapeurs sont emmenées par une conduite latérale 15, vers un réfrigérant 16 où elles se condensent et d'où le produit de cette condensation est ramené à la première cellule.

résumé :

1° Appareil permettant la mise en œuvre du procédé de séparation d'isotopes ou de mélanges de matières difficilement séparables 55 spécifiés dans le brevet principal, appareil dans la dernière cellule duquel (dans le sens du courant de solvant) est introduit, à une certaine distance du fond, un corps de verre creux entre les parois doubles duquel règne le vide 60 et à l'intérieur duquel le liquide est chauffé et vaporisé d'une manière connue en soi, par exemple au moyen d'un thermo-plongeur; 2° Forme de réalisation de l'appareil 65 cité sous 1°, dans laquelle on prévoit des moyens pour réintégrer dans le circuit le liquide vaporisé.

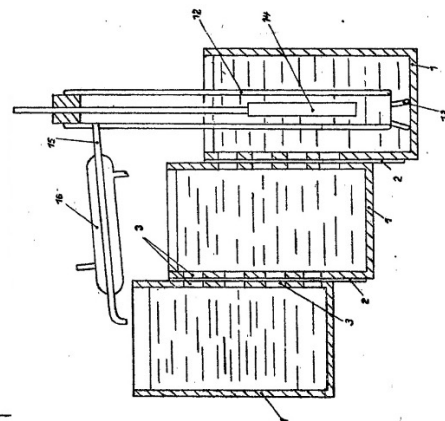


Figure D.255: Beginning in 1940, Auergesellschaft (probably Nikolaus Riehl) filed patents on an industrial-scale uranium enrichment process that combined aspects of gaseous thermal diffusion and what later became known as the PUREX process.