

**Andrei Dicu and Sorin Dumitrescu. 2019. Bomba atomică ruso-americană, hrănită din uraniul românesc [Russian-American Atomic Bombs, Fed by Romanian Uranium]. *Taifasuri* 748.**

**<http://taifasuri.ro/index.php/taifasuri/mozaic/17838-bomba-atomica-ruso-americana-hranita-din-uraniul-romanesc-nr748-sapt19-25-sept-2019>**

Aurul și metalele prețioase din Munții Apuseni au făcut deliciul multor subiecte de presă. Există, însă, un zăcământ incomparabil mai valoros și “mai” strategic decât aurul sau cuprul. Uraniul, un metal extrem de prețios, mai ales în producerea bombelor atomice, ne-a stat în palmă, până când, ca de obicei, au venit alții să se hrănească din valorile noastre.

La început a fost Hitler...

Primul care a scris despre acest subiect a fost Ioan Costea, un moț care, inginer silvic fiind, a lucrat în pădurile și în pășunile a șase comune (Horea, Albac, Scărișoara, Beliș, Vadu Moșilor și Gârda), unde, printre altele, a scormonit rămășițele rezistenței anticomuniste a legionarilor și a partizanilor care au luptat împotriva noii orânduiri. Tot căutând prin munți după informații care să arate că rușii au început exploatarea uraniului românesc imediat după 23 august 1944, oricum măcar înainte de 1949, când a fost detonată prima bombă nucleară sovietică, nu mică i-a fost mirarea să descopere că, de fapt, Hitler a fost primul care a început exploatarea uraniului, în Munții Apuseni. [...] **Și aceste exploatări au fost taman în Munții Apuseni, mai exact în Biharia, la Ștei-Băița. Se pare că zăcămintele de uraniu de aici au fost descoperite de aviatorii nemți care, prin 1938–1939, survolând perimetrul, au observat o scădere de presiune și o dezvoltare bizară a filmelor, fapt care i-a determinat pe germani să facă o cercetare geologică a zonei, cu aparatură modernă, astfel că au instalat 40 de sonde în acea arie.**

Gold and precious metals in the Apuseni Mountains have been the subject of much media coverage. But there is an incomparably more valuable and strategic deposit than gold or copper. Uranium, an extremely precious metal, especially in the production of atomic bombs, sat in the palm of our hands until, as usual, others came to feed on our resources.

First it was Hitler...

The first to write on this subject was Ioan Costea, a Moor who, being a forestry engineer, worked in the forests and pastures of six communes (Horea, Albac, Scărișoara, Beliș, Vadu Moșilor and Gârda), where, among other things, he excavated the remains of the anti-communist resistance of the legionaries and partisans who fought against the new order. While searching the mountains for information showing that the Russians had started exploiting Romanian uranium immediately after 23 August 1944, at least before 1949, when the first Soviet nuclear bomb was detonated, he was not a little surprised to discover that it was in fact Hitler who was the first to start exploiting uranium in the Apuseni Mountains. [...] **And those mines were in the Apuseni Mountains, in Biharia, at Ștei-Băița. It seems that the uranium deposits here were discovered by German aviators who, around 1938–1939, flying over the perimeter, noticed a drop in pressure and a bizarre development of the films, which led the Germans to carry out a geological survey of the area with modern equipment, so they installed 40 probes in the area.**

“Un praf de pușcă mai scump ca aurul”

Mulți dintre localnici povesteau că au luat parte la aceste măsurători, de la care s-au obținut informații că aparatura și hărțile erau nemțești și că, odată ajunși în zona Biharia, toate aparatele s-au ars din pricina concentrației mari de uraniu. Ce exploatau nemții? După mărturia unui sătean, “un fel de praf de pușcă, probabil mai scump ca aurul, iar o mână cu praf de pușcă de Băița făcea cât patru mâini cu aur”. **Uraniul care a fost obținut din acele exploatări a fost ambalat în caserole de plumb, pentru a preveni iradierea, care au fost transportate la Brad. Acolo erau preluate de serviciul SS și expediate la laboratoarele din Germania.** Pentru a înlesni transportul la scară industrială, nemții au construit tronsoane noi ale drumului Avram Iancu-Bulzești-Baia de Criș și au finalizat o parte a căii ferate Brad–Deva, o megastructură dotată cu viaducte și cu tunele impecabile. După invazia sovietică, lucrurile s-au schimbat. În august 1949, când a fost detonată, oficial, prima bombă atomică rusească, întreprinderea Sovrom, sovieto-română, Rom-Kuartit a început exploatarea uraniului. Potrivit istoricului Dan Silviu Boerescu, spionajul și prospecțiunile rușilor au început înainte de 23 august 1944 și au fost urmate de exploatările din zona Băița-Arieșeni, Vidra și probabil din Valea Ierii, iar cel puțin o parte din uraniu provenit din Munții Apuseni a fost folosit la fabricarea primei bombe atomice sovietice. [...]

“Gunpowder more expensive than gold”

Many of the locals told how they had taken part in these measurements, from which information was obtained that the equipment and maps were German and that, once they arrived in the Biharia area, all the equipment had burned up because of the high concentration of uranium. What were the Germans exploiting? According to one villager, “a kind of gunpowder, probably more expensive than gold, and a handful of Biita gunpowder was as much as four hands of gold.” **The uranium that was obtained from those mines was packed in lead casseroles to prevent irradiation, which were transported to Brad. There they were picked up by the SS service and shipped to laboratories in Germany.** To facilitate transport on an industrial scale, the Germans built new sections of the Avram Iancu-Bulzești-Baia de Criș road and completed part of the Brad–Deva railway, a megastructure with viaducts and impeccable tunnels. After the Soviet invasion, things changed. In August 1949, when the first Russian atomic bomb was officially detonated, the Soviet-Romanian enterprise Sovrom, Rom-Kuartit, began mining uranium. According to historian Dan Silviu Boerescu, Russian spying and prospecting began before 23 August 1944 and was followed by mining in the Băița-Arieșeni, Vidra and probably in the Ierii Valley, and at least some of the uranium from the Apuseni Mountains was used to make the first Soviet atomic bomb. [...]



Pavel Sudoplatov, unul dintre adjuncții lui Beria (fost lider comunist care a intrat în conflict cu Stalin și a fost asasinat) și un fel de Himmler al rușilor, a scris în cartea sa, “Misiuni speciale”, că liderul sovietic era la fel de ahtiat ca și Hitler în privința construirii bombei atomice. KGB-ul a aflat despre exploatarea uraniului din Țara Moților de la comuniștii evrei care prestaseră muncă silnică, sub supravegherea trupelor germane aflate în România. Sudoplatov vorbește despre munții noștri, dar și despre exploatările care au avut loc la Bukovo, în Bulgaria. Se pare că după ce Germania a pierdut războiul, echipele de misiuni speciale rusești și americane, antrenate în tot ceea ce înseamnă uraniu și intitulate ALSOS, au găsit la naziști cantități uriașe de “combustibil”, care era deja apt pentru utilizare.

Pavel Sudoplatov, one of Beria’s deputies (a former Communist leader who clashed with Stalin and was assassinated) and a sort of Himmler of the Russians, wrote in his book, *Special Missions*, that the Soviet leader was as eager as Hitler to build the atomic bomb. The KGB had learned about uranium mining in the Mote Country from Jewish Communists who had been doing forced labour under the supervision of German troops in Romania. Sudoplatov talks about our mountains, but also about mining in Bukovo in Bulgaria. It seems that after Germany lost the war, Russian and American special mission teams, trained in all things uranium and called ALSOS, found huge quantities of “fuel” with the Nazis, which was already fit for use.

**Gheorghe Banciu, Ovidiu Banciu, Liviu Suciu, and Constantin Cosma. 2012. Mining Activities in the Superior Basin of Crișul Negru River. *Ecoterra—Journal of Environmental Research and Protection* 33:1–6.**

**Short history of mining activities in the area.** From the subsoil of this region man has exploited many mineral resources such as: gold, silver, iron, copper, lead, zinc, molybdenum, bismuth, wolfram, nickel, cobalt, pyrite, limestone, marble, building face stones and uranium since the Middle Ages. In the beginning, gold and silver has been extracted by the local population. Around 1600, iron compounds have been also extracted, and after 1700, mining activities have increased including the exploitation of lead and zinc. In 1880, 7000 kg of copper, 1567 kg of silver, 5300 kg of lead have been extracted from Băița-Bihor area. Around 1890, important molybdenum and bismuth ores have been identified. During the First World War, the extraction of molybdenum has been taken over by a German company as this compound was used in for making cannons. Since 1935, the molybdenum mine was exploited by different Romanian companies. The most intense mining activities concerning non-ferrous mineral resources extraction have been carried out from 1960 until around the early 1990s[...]

**Uranium ore mining (1949–1999).** Uranium ore geological prospection has been carried out independently in three phases by Romanian geologists (in 1930s), German teams (1943–1944) and by the Soviets (1945–1960), the last two phases being determined by the geopolitical situation of our country at that time. From the Romanian scholars who brought their contribution to the identification of the presence of uranium ores in this region, we can mention professor of geology Popescu-Voinesti, and geologist Dan Giusca who identified and collected uranium bearing minerals from this region, but were not successful in delimiting the exact location of the ore.

[See also: Adina Popescu and Iulian Ghervas. 2009. *Copiii Uraniului [Children of Uranium]*. Libria Film. <https://www.youtube.com/watch?v=oqb7GjleO4E>]



Figure D.110: Modern aerial photos of an open-pit mine at Băița-Plai, Romania, from which uranium was extracted by the Germans during World War II and by the Soviets after the war [Google Earth, courtesy of Gernot Eilers].



DECLASSIFIED  
Authority NND 9117

WAR DEPARTMENT  
CLASSIFIED MESSAGE CENTER  
INCOMING CLASSIFIED MESSAGE

**TOP SECRET**

TOP SECRET PIE  
PRIORITY  
PARAPHRASE NOT REQUIRED PER EXCEPTION PARAGRAPH 44g AR 38

From: US Military Attache, Bern, Switzerland  
 To: War Department  
 Nr: 58 9 September 1945  
 Msg 58 TOPSECRET sgd Legge. To MILID Wash DC

Horia Hulubei internationally known physicist and until recently rector of University of Bucharest taken by Russians to Moscow source states Hulubei working on atomic bomb. Source Sec of Roumanian Legation eval B2. More complete report follows.

End

ACTION: Gen Bissell  
 INFO: Gen Arnold  
 Gen Hull  
 Gen Groves  
 C of S

Dis checking + may become  
 is checking also regarding report  
 no record of  
 this physicist  
 RER

CM-IN-7799 (10 Sep 45) DTG: 091330 blw

14 September 1945

The following information was received from MIS -

HULUBEI, Horia

Rumanian scientiest - field, Chemistry

Discovered a new element "Moldavium"  
 Studied and did research work in Paris.  
 Appointed Dean of Bucharest University in 1941.  
 In 1944 visited as president of board of Resitza Works (armaments)  
 President of Finnish-Rumanian Society  
 Has the following decorations -  
     Crown of Rumania  
     German Eagle with stars

Reported to be pro-Nazi

NARA RG 77, Entry UD-22A,  
Box 160, Folder Apr 45—Dec. '45

Figure D.111: Horia Hulubei was a Romanian nuclear scientist who worked in the Soviet nuclear weapons program after the war. During the war he and Romania supported the Third Reich— what exactly did he work on during that time? Did the Resitza Works do any nuclear-related work? [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 160, Folder APR 45–Dec. '45]

**Uranium and thorium removed from Germany by the United States and Soviet Union  
[translated and adapted from Nagel 2016, pp. 543–547]****Taken by United States**

Garmisch: uranium

Haigerloch: 1.5 tons uranium metal

Oelen (Belgium): 80 tons uranium ore

Stadtilm: 10 tons uranium oxide

Stassfurt (Kalischacht): uranium ore for Auer 1100–1200 tons

WiFo Leopoldshall (near Calbe): ?? tons uranium ore

Toulouse: 30 tons uranium ore

U-234 submarine: 560 kg uranium oxide (enriched?)

**Announced total taken by United States:**

**Approximately 1200 tons uranium, mostly unprocessed ore**

**Taken by Soviet Union**

Berlin (Auer): uranium oxide

Berlin (KWI Ph): 250 kg uranium metal, 3 tons uranium oxide

Berlin (Schering): 1500 kg thorium oxalate, 50 kg thorotrast

Berlin (Toran): 30 kg mesothorium

Berlin-Grunau (Auer/Degussa): 100 kg uranium products

Goldberg (Mecklenburg): 70 tons? uranium compounds, stored by Roges in Hoffmann and Malzew warehouse

Johanngeorgenstadt (mine): uranium oxide

Kummersdorf (Gottow): 3.5 tons uranium oxide

Landsberg/Warthe: uranium oxide

Neustadt-Glewe (Mecklenburg): 100 tons uranium oxide, stored by Roges in Hoffmann and Molzen warehouse

Oranienburg (Auer): 100 tons uranium oxide, Monazit 1340 tons

Radebeul (Heyden): 300 kg thorium products, 100 kg monazite sand

Schneeberg (mine): uranium oxide

Wien: 560 kg U-Metall 24 kg uranium oxide

Zeuthen/Miersdorf (Reichspost): APS uranium oxide

**Announced total taken by Soviet Union**

**Approximately 300 tons uranium**

**(not counting vastly more which was extracted from the mines 1945–1989)**

**Approximately 1340 tons of thorium, mostly unprocessed ore**

[These estimates are based on numbers in various individual reports that have been released by the United States and Russia. There may well have been significant amounts of uranium or thorium that were not covered in those reports but that were removed by the United States, Russia, United Kingdom, or France. It is also possible that Germany concealed or disposed of significant amounts, or sent them to other countries.

Some of the seized uranium is still being analyzed. See for example ACS 2021.]



DECLASSIFIED  
Authority NND 917017

NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder  
32.42.B Germ Captured Materials Uran

STANDARD FORM NO. 64  
**TOP SECRET**  
Office Memorandum  
THIS DOCUMENT CONSISTS OF... PAGE(S)  
NO. 3 OF 4 COPIES SERIES A  
UNITED STATES GOVERNMENT

TO : Major General L. R. Groves  
FROM : Captain A. E. Britt  
SUBJECT: Captured Material

DATE:  
9 May 1945

The following material in the amounts as indicated below, has been captured in the European Theatre of Operations:-

- 1108 tons - in the form of oxide, sodium uranite, and other unidentified compounds of Uranium
- 141 tons - Sodium salt and oxide not yet under our control
- 4 1/2 tons - Metal
- 31 1/2 tons - Heavy water

Further details on the above are indicated on the attached work sheet.

CABLE INFORMATION ON MATERIAL				
DATE	DISPOSITION			
	AMOUNT	TYPE	LOCATION	
1/3 17 APRIL	✓ 2 TONS substantial	oxide Beryllium	STADTILM 50°47'N 11°05'E ✓	FURMAN ARRANGED SHIPMENT (shipped to Heidelberg for further shipment) FURMAN ARRANGED SHIPMENT.
1/3 22 APRIL	✓ 1100 TONS	800 TONS sodium uranate 125 tons, varying unrecoverable and FeU <sub>2</sub> O <sub>7</sub> uranium	COLOGN, near Stassfurt ✓ 51°51'N 11°35'E	shipped to Hildesheim, later to be shipped to U.K. 1st shipment left Hildesheim by train on 7 May. <i>3 special trains</i>
1/3 24 April	✓ 6 TONS	?	Riedel De Haen ✓	Picking up.
1/3 2 MAY	35 tons 30 or more tons.	D <sub>2</sub> O	HARTZ Mts ✗	Secured.
1/3 7 May	✓ 4 1/2 TONS 1 1/2 TONS	metal in cubes 2" x 2" D <sub>2</sub> O	PARIS PARIS	OAK RIDGE OAK RIDGE
1/3 8 May	81 TONS 60 TONS	Sodium salt oxide	NEUSTADT CLAUDE " from Berlin	not yet picked up " <i>did not get</i>

Figure D.112: A. E. Britt to Leslie R. Groves. 9 May 1945. SUBJECT: Captured Material [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.42.B Germ Captured Materials Uran].



DECLASSIFIED  
Authority NAWD 917017

NARA RG 77, Entry UD-22A,  
Box 163, Folder Australia

I. I.

BASIC MATERIALS KNOWN TO HAVE BEEN ACQUIRED BY GERMANY DURING THE WAR.

Country of Origin.	Crude Sodium Uranate ~ 50% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Refined Products ~ 80% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Ore Concentrates 60% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Crude Ore 10% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Residues. 1% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Metal.	Total as equivalent U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Grand Total as equivalent U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Belgium.	992	458	-	-	-	-	862	
Czechoslovakia.	-	49	48	20	3000	-	100	962
Germany.	-	-	0.5	-	-	-	0.25	
TOTAL	992	507	48.5	20	3000			

TABLE II.

STATUS AND LOCATION OF ABOVE MATERIALS (OR THEIR PRODUCTS) AT 1st JUNE 1945.

Status.	Firm.	Town.	Crude Sodium Uranate ~ 50% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Refined Products ~ 80% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Ore Concentrates 60% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Crude Ore 10% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Residues 1% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Metal.	Total as equivalent U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Grand Total as equivalent U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
CATEGORY 1. Material in British and U.S. zones of occupation in Germany.	W. de Boer & Co.	Wittlingen.	-	1.1	-	-	-	-	1	
	Buchler & Co.	Brunswick.	1	-	15	-	-	-	9½	25
	Krupps.	Essen.	-	18	-	-	-	-	14½	
CATEGORY 2. Material in Russian zones of occupation or Russian spheres of influence in Germany, Austria and Czechoslovakia.	Norddeutsche Lederwerk.	Neustadt-Glewe.	-	133	-	-	-	-	196	
	Chem. Werk.	Treibach.	-	-	15	-	-	-	9	
	Mine works.	St. Joachimstal.	-	-	3	20	3000	-	33½	162
	Hereswaffenamt.	Berlin.	-	11.5	-	-	-	-	9	
	K.W.I. für Physik.	Berlin.	-	-	-	-	-	3	3	
Stahlwerk Röchling	Berlin.	-	-	-	-	-	-	-		
CATEGORY 3. Material seized and removed by British and U.S. Forces.	Union Miniere.	Oelen.	91 <sup>x</sup>	-	-	-	-	-	45	
	Wirtschaftliche Forschungsgesellschaft.	Stassfurt.	864	233	-	-	-	-	618	
	Radium Chemie.	Frankfurt a/M.	11	-	0.5	-	-	-	6	681
	Riedel u Halm.	Hannover.	-	6	-	-	-	-	5	
	K.W.I. für Physik.	Stadtilm.	-	8	-	-	-	-	6	
-ditto-	Haigerloch.	-	-	-	-	-	1.5	1½		
CATEGORY 4. Material believed destroyed by bombing 12.43 and 3.45.	AuerGesellschaft.	Berlin.	-	78	15	-	-	-	71½	71
CATEGORY 5. Material sought but not found.	Deutsche Gold u Silberscheidanstalt.	Frankfurt a/M.	25	0(14) <sup>x</sup>	-	-	-	-	12(24)	12(24)
TOTAL			992	490	48.5	20	3000	4.5		951

<sup>x</sup> Actually the equivalent in refined products was seized.

<sup>x</sup> It is convenient here to assume that the whole of the 14 tons of refined products held by this firm were used for making the 8 tons of compressed oxide blocks and 4½ tons metals known to have been made for K.W.I. für Physik.

Figure D.113: Table I: Basic Materials Known to Have Been Acquired by Germany During the War. Table II: Status and Location of Above Materials (or Their Products) at 1st June 1945 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 163, Folder Australia].







NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169,

Folder 32.32. Germ. Incl. TA

DECLASSIFIED  
Authority NND 9/10/17

SECRET

THIS DOCUMENT CONSISTS OF 1 PAGE(S)  
NO. 3 OF 2 COPIES, SERIES A...

11 April 1946

Subject: Professor Smyth and Uranium Oxide in Germany  
To: Lt. Col. E. P. Dean, Office of Military Attache, American  
Embassy, London, England

1. Reference is made to letter on above subject dated 15 March 1946.

2. Dr. C. P. Smyth was interviewed by Mr. Lowenhaupt of this office at Princeton, New Jersey, on 2 April 1946. Dr. Smyth after consulting his records stated that he had observed uranium in tonnage lots at the following places in Germany:

a. Three to five tons at (Bad Tolz) in the custody of Dr. Fritz Rehbein. *Sent to U.S.*

b. Approximately six tons at Riedel de Haen, A. G. in (Seelze bei Hannover.)

c. A large amount at (Stassfurt) which Dr. Smyth had observed the British removing. *Sent to U.S.*

d. Three tons of raw concentrated ore and four tons of ammonium uranate of Katanga origin at the (Büchler Chemische Fabrik) in Boersum between Braunschweig and the Hartz, near the northern edge of the Hartz.

e. An undetermined amount at the Auergesellschaft plant at (Treibach) near Klagenfirth. (Hearsey)

3. Although at the time he was unable to uncover any hidden caches, Dr. Smyth stated that he suspected the presence of fair amounts of uranium at:

a. (Kirchner's Physikalische Institute von Köln at Kochelberg 2, Garmisch Partenkirchen.) *Sent to U.S.*

b. (Zweite Physikalische Institute Wien at Thumersbach across Lake Szell from Szell am Zee.) *Russians got while in Vienna*

4. Dr. Smyth further stated that the presence of uranium in the above places had been reported by him to the military authorities of the Alsos Mission, and that it had been their responsibility to remove the uranium.

W. R. SHULER,  
Colonel, Corps of Engineers.

Figure D.115: W. R. Shuler to E. P. Dean. 11 April 1946. Subject: Professor Smyth and Uranium Oxide in Germany. This highly incomplete list illustrates the variety of places that processed, stored, and used uranium during the war, as well as the various Allied groups that stumbled across some of those after the war [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.32. Germ. Ind. TA].



**NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.32 Germ. Ind. TA**

Note the Russian took 73 tons U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> in May. They did not wait til 6 Aug. 1946.  
 Also Dave Gattiker remembers Goudsmit telling him that the Russians got 50 more tons from somewhere east of Berlin. This is unverified.  
 uranate and 4000 kg sodium uranate  
 Div. to yield 4800 kg uranium

6 Sept 46 TOP SECRET

URANIUM SALTS IN GERMANY

A report prepared by Gattiker dated 5th June 1945 on the status and location of basic materials acquired by Germany during the war, indicated that a stock of some 15 tons of ore concentrate was still held by Buchler and Co., at Brunswick. A request was therefore sent to Econ. Div. C.C.G. that this material should be located and shipped to the U.K. Further searches were also undertaken at Krupps, de Boer of Hamburg, de Boer of Wittingen, and AuerGesellschaft, Berlin, following on information received at various times.

The operation was given the code name of "Operation Flit".

Reports from the Econ. Div. indicated that the following were found.

CODE	PLACE	NATURE	QUANTITY Kg. net approx.
FLIT A	Buchler & Co	Ammonium uranate	2800
B	"	Sodium uranate	32000
C	"	Uranates - half products damaged by bombing	15000
D	"	Uranium ores	9700
M	de Boer, Wittingen	sodium uranate.	550
N	"	potassium uranate	50
O	de Boer Hamburg	"Uranium oxide orange"	450
R	Auer	Uranium oxide	370
X	Krupps	Uranium oxide	1100
Total net weight =			33220 Kg
			= 73070 lbs approx.

Of the above, C, was estimated to yield 2000 Kg ammonium uranate and 4000 Kg sodium uranate, D was estimated by Econ. Div. to yield 4800 Kg uranium and X may include a quantity of impurities of uranium carbide. It is considered that 4800 Kg U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> is meant for D. Krupps have been reported at various times to have had a much larger stock of uranium oxide but they say that it was destroyed by bombing and dumped on a heap at Borbeck.

DECLASSIFIED  
 Authority NND 917017

Figure D.116: Uranium Salts in Germany. 6 September 1946 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.32. Germ. Ind. TA].



DECLASSIFIED  
Authority AND 914017

NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.32 Germ. Ind. TA

TOP SECRET

-2-

Air transport of the material in the above table was arranged to Basingbourne aerodrome, whence the material was taken by road to Harwell.

Much of the material was badly packed in barrels not sufficiently strong for the weight of material they contained. Hence many burst or were broken during the several handlings they received. Repacking at Basingbourne has probably resulted in the mixing of some of the lots.

The net and gross weights and identifying letters are not clearly marked on all the packages. An approximate estimate has been made of the net quantities held at Harwell as follows:

CODE	NUMBER OF PACKAGES	NET CONTENTS lbs.
A/B	114	15,000
C	75	34,800
D	54	19,800
M	11	1,400
N	1	100
O	7	1,300
R	2	800
X	23	2,300
TOTAL =		75,500 lbs.
		= 33.7 tons

In view of the fact that these figures are estimated from a visual inspection only, the agreement with the Econ. Div. report of 73,070 lbs. is considered reasonable.

It is estimated that the 75,500 lbs represents approximately an amount of 45,500 lbs. or 20 tons of  $U_3O_8$ , of which 18 tons came from Buchler and Co. According to Gattiker's table an amount of 25 tons was outstanding between de Boer of Wittingen, Buchler and Krupps, of which 14½ tons was credited to Krupps. It is known that Krupps did not receive the full quantity which they were empowered to order but the bulk of their supply according to records came from de Boer of Hamburg. Since Buchler was one of the three firms authorised to handle uranium, it is probable that later they were handling the Krupp order, particularly as Krupp wanted the uranium as  $U_3O_8$  while the de Boer stocks seem to have been sodium and potassium salts. On the other hand the Buchler stocks may have belonged to Auer or to Chemische Fabrik Grunau or to Hoffman and Molken, all of whom were subject to

Figure D.117: Uranium Salts in Germany. 6 September 1946 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.32. Germ. Ind. TA].



DECLASSIFIED  
Authority AND 917017

NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.32 Germ. Ind. TA

TOP SECRET

-3-

bombing and who sent their stocks away for safe storing. It is believed that the latter two firms stored their stocks at Neustadt-Glewe. Whatever the explanation of Buchler's excess stock it is certain that they were very unwilling to disclose its presence.

Gattiker's report further suggests that 71 tons  $U_3O_8$  equivalent were held by Auer-Gesellschaft at Oranienburg and Berlin. A recent interrogation of Dr. Ihwe of Auer yielded the information that about 23 tons  $U_3O_8$  equivalent were at Oranienburg in May 1945, and that some 50 tons belonging to the H.W.A. were stored in the Berlin factory. This latter was removed by the Russians in May 1945. Gattiker's report credits the H.W.A. with 9 tons  $U_3O_8$  hence there is an amount of  $(71+9) - (23+50) = 7$  tons unaccounted for. This maybe part of Buchler's stock.

The Oranienburg works have apparently been completely stripped by the Russians, even to the extent of removing the entire wreckage from the part of the factory which housed the uranium salts. A small quantity of only 800 lbs.  $U_3O_8$  has been discovered at the Berlin works and evacuated as Flit R.

The U.S. authorities have also located a quantity of approximately 7-9 tons of ammonium uranate and yellow oxide at Degussa, Frankfurt-a-Maine. They propose to evacuate this material to the U.K. to be added to the stocks at Harwell. The total stock comprising the Colon material formerly at Broome Manor, Operation Flit material and the Degussa stock will then be evacuated together to the U.S. With respect to this lot, Gattiker's report states Degussa should have a stock of 25 tons of crude sodium uranate (50%  $U_3O_8$  equivalent) and possibly 14 tons of refined products, which latter he assumes to have been used to make compressed oxide blocks and metal for the K.W.I fuer Physik. When Degussa was visited by an Alsos party in May-June 1945 no stocks were found. He also assumes that the crude salt stocks had been evacuated to Buchler or to the evacuation works of Auer. Thus the present find represents approximately either one half or one quarter of the possible Degussa stocks depending on whether the refined products are assumed to have been used to supply the K.W.I. fuer Physik demand or not.

A further quantity of between 200 and 1000 lbs of probably  $U_3O_8$  is held at Halstead Place and is to be removed to Harwell at some future date. This material probably came either from Krupp's Widia Fabrik or else from Gebruder Borchers at Goslar, who were cooperating with Krupps in the production of uranium carbide and metal.

#### SUMMARY AND CONCLUSION

A quantity of approximately 75,500 lbs. of Uranium oxide and salts has been removed from the British zone of Germany to Harwell. This is equivalent to approximately 20 tons  $U_3O_8$ . It is recommended that the bulk of the material be repacked in secure containers, and weighed, before shipping to the U.S. A further 7-9 tons from the U.S. zone is being added to this quantity making a total of some 26 tons  $U_3O_8$  equivalent, or approximately 34 tons of various products.

6th September 1946.

A.O.B.

Figure D.118: Uranium Salts in Germany. 6 September 1946 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.32. Germ. Ind. TA].



DECLASSIFIED  
Authority AND 514017

**WAR DEPARTMENT  
CLASSIFIED MESSAGE CENTER  
OUTGOING CLASSIFIED MESSAGE**

*Shuler*

**TOP SECRET**

TOP SECRET  
PARAPHRASE NOT REQUIRED. HANDLE AS TOP SECRET CORRESPONDENCE  
PER PARAS 511 and 60a, AP 380-5

P&O 000.9 TS (12 Sept 46)  
Politico-Military Survey  
Section Plans and Policy  
Group Plans and Operations  
Div WDGS Col Greasley 2531

14 September 1946

CG USFET Frankfurt Germany

Number WAR 80408

From WDGPO personal for McNarney

Understood here that approximately 7 to 9 tons ammonium salt of uranium and uranium oxide now located at plant of Degussa (Deutschen Gold Und Silber Scheideanstalt) at 251 Gutleitstrasse Frankfurt AM Main. Manhattan District desires to obtain this material for use in the Manhattan project, less an amount not to exceed 400 pounds which may be retained to fill existing contracts. Are there any substantial objections to removing all but 400 pounds from present location? Your views desired to assist in appraising matter here.

End

ORIGINATOR: Gen Norstad

DISTRIBUTION: Gen Groves, CSA

CM-OUT-80408

(Sept 46)

DTG 141934Z

fd

TOP SECRET

COPY NO.

*tc 9*  
*dh*

THE MAKING OF AN EXACT COPY OF THIS MESSAGE IS FORBIDDEN

NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 160,  
Folder 205.4 Cables Outgoing, Top Secret

Figure D.119: Lauris Norstad. 14 September 1946 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 160, Folder 205.4 Cables Outgoing, Top Secret].



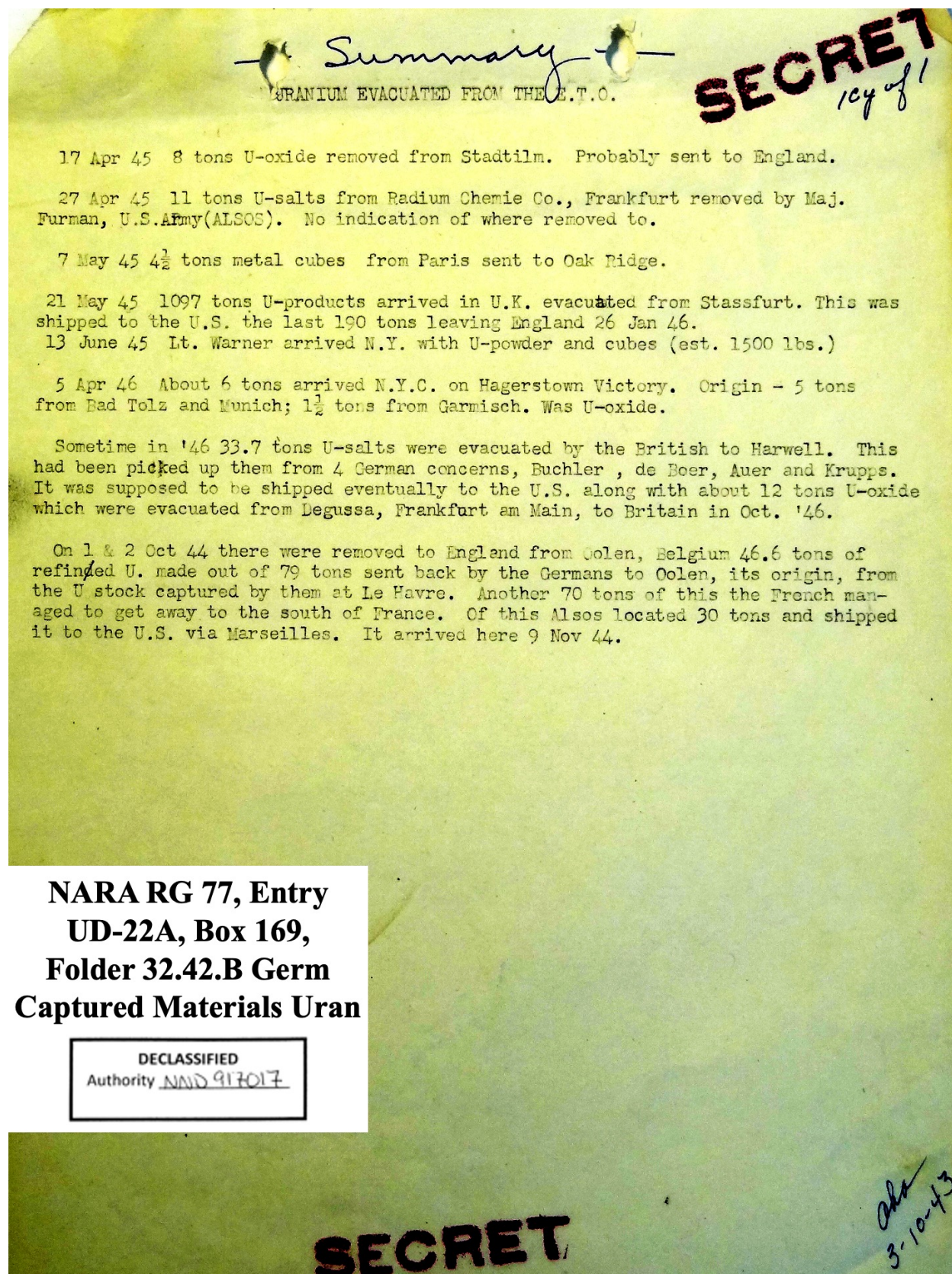


Figure D.120: Uranium Evacuated from the E.T.O. Undated but probably Oct.–Dec. 1946 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 169, Folder 32.42.B Germ Captured Materials Uran].

Michael Howard. 2010 *Otherwise Occupied*, pp. 156–158.

[September 1946, British-occupied zone of Germany:]

One night I was called in the early hours on one of the two telephones by my bed, and a codeword was muttered conspiratorially in my ear. It meant absolutely nothing to me; I had simply not been briefed in advance. It was the GSO2 at HQ T-Force, and he had no option but to identify himself, and to explain to me ‘in clear’ what the operation consisted of. **There were said to be eleven thousand kilos of highly refined uranium ore lying in a loose pile in the cellars of Krupp’s Widia Works at Essen** (whose main business was in carbide steels). A quadripartite team including four Russians was due to be visiting the site in a couple of days and it was vitally important that there should be no trace of the uranium remaining by the time they arrived, or they would be entitled to make a bid for it. How on earth had it been left sitting there so long?

Nothing for it but to get straight on the phone to Fred Bonney at B Detachment at Heisingen, not five miles from Krupp’s Widia Works, and tell him the story in clear. He set to work immediately, and they rustled up from somewhere enough empty steel three-inch mortar bomb boxes, with a handle at each end, which limited the contents to a weight of this dense material that required no more than two men to lift. The entire heap, every scrap, was boxed and loaded onto a ten-ton Mack truck and delivered to me by early afternoon at Kamen. The springs of the truck bore the gross weight of the uranium plus the mortar-bomb boxes surprisingly well. I collared the Mess corporal, Corporal Weatherall, and told him to draw a Sten gun and a couple of magazines, sit on the load, take it up to the RAF at Bückeberg, ‘...and if any bastard tries to take it away from you, shoot him. And get a receipt.’ Which he did, from a squadron leader, for 11,000 kilos.

**The material was almost certainly ‘yellowcake’, a form of triuranium octoxide[...]**

About six months later a captain in the Special Investigation Branch (SIB) asked to come and see me. The RAF had weighed the bomb boxes for their own purposes before flying them over to England, but the net weight of the contents was never established until the boxes reached their final destination, when it was found to be 6,000 kilos. It was meant to have been 11,000. Where were the missing 5,000 kilos? ‘Search me,’ I said. The SIB spent quite a while nosing round, and the only conclusion they could reach was that there had never been 11,000 kilos at Krupp’s Widia Works in the first place. As there was no weighing equipment accessible to where the material had been dumped, it had been an estimate, and an inaccurate one. Or had someone in Krupp’s been squirreling away a couple of kilos at a time for sixteen months, and had it since crossed the border of Magdeburg **[into the Soviet-occupied zone of Germany]** in quantities which would go in a haversack? It was a conclusion they shied away from. The pile had appeared undisturbed.



[Michael Howard (British, 1926–2018) was an intelligence officer in the British T-Force, which investigated and removed vast amounts of technology from Germany after the war. This incident that he recounted is important because it demonstrated that:

- Nations other than just the United States and the Soviet Union removed tons of uranium from German territory after the war. (In this case it was the United Kingdom, but perhaps France or maybe even other countries did as well.)
- The discovery and removal of this stockpile of uranium does not appear to be mentioned in official documents that have been released. If Howard had not described it in his memoirs before he died, the public would still be entirely unaware of this incident. What other discoveries of uranium or other aspects of the German nuclear program also remain unreleased to the public?
- As late as at least September 1946, there were large stashes of German uranium that had not already been discovered and removed by Allied forces. Perhaps there were other stockpiles of German uranium (e.g., in underground facilities) that Allied forces continued to overlook, and that remain hidden to this day.
- Uranium was at facilities that had not been believed to be part of the German nuclear program. Why was highly refined uranium oxide at Krupp? Did Krupp (which had extensive expertise with metallurgy) play an important role in the German nuclear program, for example by fabricating uranium metal components for reactors or bombs? Or was the uranium simply dumped there as a hiding place near the end of the war?]

**National Intelligence Survey (NIS) 26 (U.S.S.R.), Chapter VII, Section 73 (Atomic Energy). 1955. CIA.** [https://www.cia.gov/readingroom/docs/DOC\\_0000198124.pdf](https://www.cia.gov/readingroom/docs/DOC_0000198124.pdf) <https://www.cia.gov/readingroom/document/0000198124> [This report demonstrates that most of the uranium mined for the postwar Soviet nuclear weapons program came from regions that were under German control during World War II. This report explicitly states that several of those uranium sources were exploited by Germany during the war. There is independent evidence that a number of the other sources listed here were also used by Germany during the war. Thus wartime Germany had access to an enormous amount of uranium from these regions—plus the Congolese high-grade uranium ore that Germany obtained from Belgium. Moe Berg’s notes (pp. 5051–5063) reference a 1951 version of this report that I have not been able to obtain.]

### 1. Uranium Supply

Current internal mining operations provide about one third of the estimated annual uranium production available to the USSR. The remaining two thirds are obtained from Germany, Czechoslovakia, Bulgaria, Romania, Poland, and China. Of these latter sources, Germany and Czechoslovakia are outstanding in that they provide almost 90 per cent of the total produced outside the USSR. [...]

#### a. USSR Sources [...]

#### b. German Sources

(1) Ore deposits—Deposits in the Soviet Zone of Germany are at present the most productive source of uranium being exploited by the Soviets. It is estimated that this source provided about 50 per cent of the estimated total Soviet uranium production in 1954. Uranium mining operations in eastern Germany were begun by the Soviets in October 1946. At first, they were confined to the Erzgebirge, in Saxony, around the towns of Johanngeorgenstadt, Oberschlema, Niederschlema, Schneeberg, Aue, Annaberg, Marienberg, Schwarzenberg, Freiberg, and Dresden. The operations have continually expanded and in 1954 the area around Auerbach, Oelanitz, Bergen, and Schmiedeberg (East Germany) and Thuringia (near Gera, Ronnebourg, and Sorge Settendorf where large quantities of low-grade ore are mined. Prospecting operations have been conducted in all possible areas. Uranium of all qualities has been mined—a fairly large amount of high-grade ore and very great amounts of low-grade ore. The greatest portion of uranium shipped from Germany is in the form of so called high-grade ore with an average U-metal content of about 1.50 per cent (obtained by hand and machine sorting).

Based upon the present extent of operation, it is estimated that uranium production in Germany will continue at the present level for at least three or four more years before gradually declining.

(2) Operations—Soviet uranium mining operations in Germany are under the control of a Soviet-German company called “Wismut S. D. A. G.”. Wismut, formed in June 1947, is headed by MVD Major General Alexei Matveyevich Bogatov. Subordinate units of Wismut are called “Objekts” and, as a rule, are organized for a specific purpose: some are mining combines controlling a number of mine shafts within a local area; some are mine development projects which build facilities, sink new shafts, extend drifts, etc.; some are concentrating plants; some are engaged in making machinery and tools.

Wismut has opened and developed approximately 400 shafts in Germany since operations began in 1946. The individual shafts, or mines, are too numerous to list in this text, but the main mining objects are as follows:

<u>“Objekt”</u>	<u>Headquarters</u>
1	Johanngeorgenstadt
2	Oberschlema
6	Auerbach
7	Bärenstein
9	Aue
90	Gera
96	Dresden

Wismut has mined solely for uranium. Until recently, there was no attempt made to utilize the silver, cobalt, bismuth, nickel, and other ores which were mined along with uranium ore; these other ores were all thrown on huge waste piles.

Mining methods which are fairly standard for working hard rock vein-type deposits are used by Wismut. Some of the ore is suitable for direct shipment to the USSR, but a great deal of the materials is of such low grade that this is impracticable. This latter material must be concentrated to a grade of at least 1 per cent or more uranium metal before being shipped. Wismut has, at present, eight concentrating plants which process low-grade ore. These plants are: Object 31, and Langenfeld; Object 32, at Tannenbergsthal; Factory 95 of Object 96, at Gittersee/Dresden; Factory 96 of Object 96, at Freital/Dresden; Object 98, at Johanngeorgenstadt; Factory 99 of Object 2, at Oberschlema; Object 100, at Aue; and Object 101, at Zwickau/Crossen.

About 150,000 workers are employed by Wismut; at least 90 per cent of them Germans. Because production has increased steadily through the years, it is believed that Wismut is currently producing at its peak. Production will probably continue at the present level for the next three or four years before declining slowly.

### c. Czechoslovakian Sources

(1) Ore deposits—**The uranium deposits in Czechoslovakia are important source of Soviet uranium. The present output is about 10 per cent of the total estimated production by the USSR in 1954.** Unlike East Germany and the other Satellites, mining and supervision is performed by the Czechs. The Soviets are continuing to make great efforts to increase this output and have initiated extensive prospecting and development programs. Prospecting operations have extended throughout Czechoslovakia.

**The Soviets took over the uranium mines in Czechoslovakia before September 1945.** At that time, a secret agreement was made between the Soviet Government and the Czech Prime Minister Fierlinger whereby the Soviet Government would supervise the exploitation of the **Bohemian uranium mines** and take the entire output, returning to Czechoslovakia part or all of the recovered radium. Operations were started in **the old uranium mines of Jachymov, located on the Czech side of the Erzgebirge.** The exploitation was soon extended to the surrounding area and now includes the towns of Vejprty, Abertamy, Potucky, Seify, Bozi Dar, Dürnberg, Maria Sorg, Werlsgrün, and many more. As a result of very intensive exploration programs, new uranium mining areas at Příbram, Horní Slavkov, Mariánské Lázně, Drmoul, Trutnov, and a number of smaller areas have been opened up in Czechoslovakia.

(2) Operations—The uranium mining operations in Czechoslovakia are directly under the control of “The Jachymov Mines National Corporation”. That organization, at least at the higher levels, is jointly administered. The Soviets, however, have virtually complete control of the corporation as most of the Czech officials were chosen on a basis of their cooperation with the USSR and communist

party membership. The individual mining areas are under the control of separate enterprises called "Inspectorates". The following are the known Inspectorates with their area of operation:

Inspectorates I and II are located in the area around Jachymov. These are the second most important producer. The principal mines in Inspectorates I and II are the Bratrstvi, Rovnost 1 and 2, Svornost, Joseph, Elias 1 and 2, Marianska, Eduard, Bohumil, Barbara, Eva, and Klavno.

Inspectorate VI is located at **Horni Slavkov. At present, this Inspectorate is the largest producer in Czechoslovakia.** The principal mines in this inspectorate are Prokop, Barbora, Svatopluk, Lesnice, Zdar Buh, Mines 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, and 19.

Inspectorate K-2 is located at **Pribram. It produced a small amount of ore.**

The Inspectorate X at Trutnov is still in production. Probably mostly low-grade material is handled here from sedimentary deposits.

Other inspectorates about which little is known and which are probably small producers are the Inspectorate at Marianske Lazne and the Inspectorate at Zvolen.

The method of mining and handling the ore in Czechoslovakia is nearly the same as in Germany. Much of the higher grade ore is sent to the Vykmanov and Njedek collection and shipping depot where it is crushed, sampled, blended, and packed for shipment to the USSR. The low-grade ore is sent to concentrating plants located at the Bratrstvi and the Elias mines in Jachymov. All these plants utilize a mechanical concentration method only. At the present time, there appears to be no chemical concentration plant in operation by the Jachymov Mines National Corporation. The mechanical processing method used is similar to that followed by Wismut. The grade of the concentrate is between 1 and 2 per cent uranium metal. As development and production increase, other concentrating plants may be established in the Norni Slavkov and Pribram areas.

It is estimated that between 15,000 and 25,000 persons are engaged in uranium mining operations in Czechoslovakia. A significant portion of the laborers are Czech political prisoners.

#### d. Bulgarian sources

(1) Ore deposits—The uranium deposits in Bulgaria are of minor importance and, in 1954, produced approximately 5 per cent of the estimated total uranium obtained by the USSR in that year. The deposits being exploited at this time are composed mostly of secondary uranium minerals which occur mainly as thin coatings along fissures or are disseminated throughout brecciated zones. A certain amount of deep mining may now be taking place from the primary minerals.

**The most important uranium deposit in Bulgaria is located in the old lead mining area of Goten Peak, near the monastery of Buhovo, northeast of Sofia. In late 1945, the Soviets continued the former German exploitation of this area.** Later exploitation of other areas, such as those in the vicinity of Strelcha and Ihtiman, was begun. Prospecting operations and mining are also underway at a number of other locations.

(2) Operations—The uranium mining operations in Bulgaria are administered by the Soviet-Bulgarian Mining Company. Most of the ore now being produced is low grade and is concentrated before being shipped to the USSR. There is only one well-known ore concentrating plant in Bulgaria which is located at the site of the Buhovo mine. The ore is chemically concentrated, using an acid lead. Some of the ore is reported to be hand-sorted and does not require further concentration before being sent to the USSR, but it is believed that most of it is quite low grade and is first concentrated by the Buhovo plant. The concentrate produced probably contains over 1 per cent

uranium. It is estimated that between 6,000 and 10,000 persons are engaged in uranium mining operations in Bulgaria.

#### e. Polish Sources

(1) Ore deposits—The uranium deposits in Lower Silesia in Poland are of minor importance as a Soviet source of uranium, and constituted approximately 1 per cent of the total produced by the Soviets in 1954.

Soviet uranium mining operations were initiated in Poland in April 1947, but intensive development did not really begin until early 1948. The initial development was in the **Kowary area (the old Schmiedeberg area exploited by the Germans) where uranium was produced before the war**, and activities have spread to areas around Jelena Gora (Hirschberg), Miedzianka (Kupferberg), Kamienna Gora (Landeshut), Walbrzych (Waldenburg), Stronie Slaskie (Seitenberg), etc. Exploration is also underway in other areas, but **Kowary still seems to be the main producing area**.

The uranium deposits in Poland are small fissure veins consisting, in some cases, of martitic iron ore with associated pitchblende. Other veins contain barite and dolomite with some uranium minerals. The extent of the mineralization appears to be somewhat limited but the thoroughness with which the Soviets exploit the deposits, regardless of cost, may produce a small quantity for several years. The quality of the ore produced is not definitely known but is assumed to be the same as that produced in East Germany.

(2) Operations—The Soviet uranium mining operations in Poland are similar to those in East Germany. Concentrating plants are believed to be operating at Miedzianka and Ogorzelec (Dittersbach). The type of process used in these plants is not definitely known, although it is reported that the plant near Ogorzelec uses a mechanical separation process.

The uranium mining operations in Poland are administered by the Lower Silesian Mines, Kowary. This is believed to be a cover organization similar to Wismut, in East Germany, on a much smaller scale. It is estimated that from 6,000 to 10,000 workers are engaged in the uranium mining activities in Poland.

#### f. Romanian Sources

(1) Ore deposits—The uranium deposits of Romania constitute approximately 2 per cent of the total produced by the Soviets in 1954.

Soviet uranium mining operations were initiated in Romania in late 1952. Mining is presently being carried out in the **Baia de Cris/W to Baita region** and probably also at Baia Sprie, Baia Mare, Turnu Severin and the Galati areas.

The uranium deposits in Romania are small fissure veins of polymetallic minerals with associated pitchblende. The quality of the ore produced is not known. Probably some of it is hand sorted to a minimum grade of 1 or 2 per cent uranium before being shipped to the USSR.

(2) Operations—The Soviet uranium mining operations in Romania are probably similar to those in other satellite countries, although no information is available on the existence of any concentration plants.

The uranium mining operations in Romania are administered by the Sovrumquartz Company. This is believed to be a cover organization similar to Wismut, in East Germany. It is estimated that some 10,000 workers are engaged in the uranium mining activities in Romania.

**Alwin Urrf, deputy technical plant manager of the Asse nuclear disposal site in Germany. Hasso Ziegler. Die “Konzertsäle” von Asse sind strahlensicher: Endlagerung radioaktiver Abfallprodukte in 500-Meter tiefen Abbaukammern. *Hannoversche Allgemeine Zeitung*. 29 July 1974.**

Wolfenbüttel.—Zehn starke Scheinwerfer tauchen das Betriebsgelände des vor zehn Jahren stillgelegten Salzbergwerks Asse bei Wolfenbüttel—rund acht Kilometer vor der Grenze zur DDR gelegen—des Nachts in taghelles Licht. Die Polizei fährt das abgelegene Bergwerk zwei- bis dreimal pro Nacht an und kontrolliert, ob es besondere Vorkommnisse gibt. Außerdem steht eine telefonische Direktleitung zur Polizei Wolfenbüttel zur Verfügung, um sofort Alarm schlagen zu können. Die Sicherheitsvorkehrungen dienen dem Schutz vor der “verbannten Materie”, wie die volkstümliche Umschreibung für die radioaktiven Abfälle lautet, die—zentral für die ganze Bundesrepublik—seit 1967 in dem ehemaligen Salzbergwerk in Tiefen bis zu 750 Metern als “Endlagerung” deponiert werden. [...]

Das ehemalige Salzbergwerk Asse bot im übrigen, als es 1965 von der Bundesregierung für 750 000 Mark von den vorherigen Eigentümern gekauft wurde, ideale Voraussetzungen, um die radioaktiven Abfälle aus der ganzen Bundesrepublik für die nächsten Jahrzehnte deponieren zu können. Von 1908 bis zu seiner Stilllegung 1964 waren rund vier Millionen Kubikmeter Salz abgebaut worden, die wiederum rund 130 leergebliebene Abbaukammern hinterließen—in der Größe von durchweg 60 Metern Länge, 40 Metern Breite und 15 Metern Höhe. Knapp die Hälfte dieser leeren, weißglitzernden “Konzertsäle” gelten als geeignet für die Einlagerung radioaktiver Abfälle, ein Volumen mithin von 1,5 Millionen Kubikmetern—genug für Jahrzehnte. [...]

Wolfenbüttel.—Ten powerful headlights illuminate the site of the Asse salt mine near Wolfenbüttel, which was shut down ten years ago, and is located about eight kilometers from the border of East Germany. The police drive to the remote mine two or three times a night and check whether there are any unusual occurrences. In addition, a direct telephone line to the Wolfenbüttel police is available, to be able to respond immediately. The precautionary measures are designed to protect against the “banished matter,” as is the national description of radioactive waste, for which the former salt mine at depths up to 750 meters has been the central “final disposal” for the whole of West Germany since 1967. [...]

The former Salzberg mine Asse, when bought in 1965 by the federal government for 750,000 Deutschmarks from the previous owners, was the ideal requirement for the disposal of radioactive waste from all of West Germany for the next decades. Between 1908 and its closure in 1964, around four million cubic meters of salt had been mined, which in turn left behind around 130 empty mining chambers—in the size of 60 meters long, 40 meters wide, and 15 meters high. Just half of these empty white glittering concert halls are considered suitable for the storage of radioactive waste, a volume of 1.5 million cubic meters—enough for decades. [...]

Für die hochaktiven Abfälle schließlich, die frühestens ab 1976 in der Bundesrepublik anfallen und dann in Asse eingelagert werden sollen (vornehmlich die Rückstände aus wiederaufbereiteten Spaltprodukten, zum Beispiel Brennstäbe), laufen noch umfangreiche Vorarbeiten. Es ist daran gedacht, sie—zuvor zu Glas verschmolzen—in Spezialkammern (Bohrlöcher) in fünfzehnhundert Meter Tiefe zu versenken.

Über die gelegentlich auftauchenden Hiobsbotschaften befragt, die dann und wann über die vermeintlich gefährliche Lagerung der radioaktiven Abfälle auftauchen, konnte Alwin Urff, Bergingenieur und stellvertretender Betriebsleiter in Asse, im übrigen nur den Kopf schütteln: “Hier im Berg kann jedenfalls nichts mehr passieren. Als wir 1967 mit der Einlagerung begannen, hat unsere Gesellschaft als erstes radioaktive Abfälle aus dem letzten Krieg versenkt, jene Uranabfälle, die bei der Vorbereitung der deutschen Atombombe anfielen. Die mußten wir nämlich aus Betonbunkern in der Nähe von München herausholen, wo sie seinerzeit deponiert worden waren, weil man damals ja nicht wußte, wo in drei Teufels Namen man das Zeug denn lassen sollte...”

Extensive preparatory work is still going on for the highly radioactive waste, which will accumulate at the earliest from 1976 onwards in West Germany and be stored in Asse (mainly the residues from reprocessed fission products, for example reactor fuel rods). It is thought to sink them—vitrified beforehand—in special chambers (drill holes) to a depth of fifteen hundred meters.

Asked about the occasional bad news that appears every now and then regarding the supposedly dangerous storage of radioactive waste, Alwin Urff, mining engineer and deputy technical plant manager in Asse, only shook his head: “Here in the mine nothing can happen anyway. When we began storage in 1967, our company first sank radioactive waste from the last war, that uranium waste which arose in the preparation of the German atomic bomb. Specifically we had to get that out of concrete bunkers near Munich, where it had been deposited at the time, because back then one did not know where the devil one should leave the stuff...”

**Rainer Karlsch. 2013. Die Abteilung Atomphysik der PTR in Ronneburg und das deutsche Uranprojekt. *PTB-Mitteilungen* 123:1:73–81.**

Den Fassbegleitkarten dieser ersten, versuchsweisen Einlagerung radioaktiver Abfälle in der Schachanlage Asse II—die vom 4. April bis zum 4. Juli 1967 dauerte und zur Einlagerung von 1722 Fässern in die Kammer 4 auf der 750-m-Sohle führte—ist lediglich zu entnehmen, dass sämtliche Fässer aus Karlsruhe kamen [57].

From the identification cards accompanying this first experimental emplacement of radioactive waste in the Asse II mine—which lasted from 4 April to 4 July 1967 and led to the emplacement of 1722 drums in chamber 4 on the 750 m level—it can only be inferred that all the drums came from Karlsruhe [57].

[57] Mitteilung von Dr. Gernot Eilers vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 8.1.2013

[57] Communication from Dr. Gernot Eilers of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety, 8 January 2013



[As evidence that dangerous radioactive waste could be safely stored in the salt mine, Alwin Urff said that the “radioactive uranium waste” from the “preparation of the German atomic bomb” during the war had been safely stored since 1967. He seemed to be in a position to have detailed and accurate knowledge about that waste, and his statement included several key points:

- Urff’s statement appears to demonstrate that there was a considerable amount of wartime radioactive uranium waste, since it filled multiple concrete bunkers before it was moved to Asse. (What was the actual location of the storage bunkers?) According to Asse’s own records, that particular batch of waste fills 1722 drums.
- Urff’s statement also seems to indicate that the wartime waste was quite radioactive, since he was using it as an example that strongly radioactive modern waste could also be safely stored at Asse. He explicitly called the waste both “radioactive” and “uranium waste.”
- Urff’s statement appears to indicate that all of that particular batch of atomic bomb waste was stored at Asse, which lends strength to his argument about the safety of storage at Asse, and also corresponds to the 1967 date that radioactive waste storage began at Asse. Nonetheless, there is the possibility that he simply meant that his company safely “sank” the bomb waste someplace in 1967, not necessarily all at Asse. Some nuclear waste was even disposed of at sea in the 1960s.
- Contrary to how Urff’s quote was interpreted by many later articles, he did not say that all of the nuclear waste stored in the Asse complex came from the war. 1722 barrels were deposited in April–July 1967, and postwar radioactive waste has been deposited ever since. Erroneously and without any foundation, some later articles attributed over 126,000 barrels of radioactive waste in Asse to the wartime program [e.g., <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2014146/Nazi-nuclear-waste-Hitlers-secret-A-bomb-programme-mine.html>].

Was the waste from a bomb program, or merely a nuclear research program? Large amounts of uranium in various chemical states from the research program were found at locations around Germany and removed by the United States, United Kingdom, and Soviet Union. Why was it so important to bury this particular “radioactive uranium waste”? The waste could have been any (or some combination) of the following:

- Natural (unenriched) uranium in common wartime forms, such as uranium ore, uranium oxide, or uranium metal. That would not be any more radioactive than natural uranium ore from the ground, or any different from all of the uranium materials that were left for Allied forces to find. Moreover, it would be potentially useful material for the postwar nuclear program and not technically waste. Thus this possibility does not seem very likely. However, it may have been desired to simply get rid of any remaining uranium from wartime work, no matter how relatively benign the uranium and the work may have been.
- Chemically toxic and/or corrosive compounds of uranium, such as uranium hexafluoride. But significant quantities of such compounds were stored and found elsewhere in Germany. Why was this waste handled differently, if that is all it was?
- Depleted uranium from which  $^{235}\text{U}$  has been extracted. That would be no more radioactive than natural uranium, which was freely stockpiled at Stassfurt and elsewhere without such

special handling, and would not seem to serve Urff's example that the wartime waste was quite radioactive and yet had been safely "sunk." On the other hand, if the waste were depleted uranium, that would reveal how much enriched uranium had been produced, and it might have been desirable to hide that evidence in order to cover up the traces of an advanced nuclear program.

- Irradiated uranium that had been in a functioning fission reactor or electronuclear breeder. Such irradiated uranium would have been highly radioactive early on, although that radioactivity would fall off over time. Irradiated uranium would best fit the example that Urff was trying to make, although it may or may not have been what he was actually referring to.
- $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  (enriched to any degree),  $^{237}\text{Np}$ , or  $^{239}\text{Pu}$  that was produced but buried to cover up evidence of an advanced nuclear program.

How did Urff know that was indeed "radioactive uranium waste" from the "preparation of the German atomic bomb" during the war? What did he (and others at Asse) do during the war?

In 2013, paragraph 57b of the German Atomic Energy Act was amended to the effect that the radioactive waste stored in the Asse II mine must be retrieved before the mine is decommissioned. The current timetable assumes that retrieval will begin in 2033. Before being prepared for interim and final storage elsewhere, all waste must be examined in order to characterize its composition. If the wartime waste can be distinguished from the later waste, what will be learned from it?]

## D.4 Enrichment of Uranium-235

[Only 0.72% of natural uranium is  $^{235}\text{U}$ , the fissile isotope. In order to achieve high concentrations of  $^{235}\text{U}$  for a fission bomb, it is necessary to enrich or separate  $^{235}\text{U}$  from the other uranium isotopes. Currently available documents demonstrate that during the war, Germany developed several different methods of enrichment at least to the level of successful laboratory prototypes, and quite possibly on a large industrial scale:

**D.4.1. Production of uranium hexafluoride for uranium-235 enrichment.** I.G. Farben and other German-speaking research facilities developed, tested, and mass-produced uranium hexafluoride ( $\text{UF}_6$ ), the preferred uranium compound for use in most enrichment approaches (p. 3478).

**D.4.2. Uranium-235 enrichment via centrifugation.** Konrad Beyerle (German, 1900–1979), Wilhelm Groth (German, 1904–1977), Werner Holtz (German, 1908–?), Werner Schwietzke (German, 1910–1987), and many others worked in teams that developed gas centrifuges to enrich uranium-235. Centrifugation proved so superior to the U.S.’s enrichment methods that the German gas centrifuge designs are now the worldwide standard for uranium enrichment (p. 3494).

**D.4.3. Uranium-235 enrichment via electromagnetic separation.** Manfred von Ardenne (German, 1907–1997), Heinz Ewald (German, 1914–1992), Wolfgang Paul (German, 1913–1993), Wilhelm Walcher (German, 1910–2005), and many others worked in teams that developed electromagnetic separators to enrich  $^{235}\text{U}$  (p. 3554). These electromagnetic separators were comparable to the Manhattan Project’s calutrons. Manfred von Ardenne’s work was well funded during the war, and he became a central figure in the Soviet nuclear weapons program after the war.

**D.4.4. Uranium-235 enrichment via gaseous diffusion.** Gustav Hertz (German, 1887–1975), Erika Cremer (German, 1900–1996), Rudolf Fleischmann (German, 1903–2002), and others developed gaseous diffusion methods suitable for enriching  $^{235}\text{U}$  that were comparable to the Manhattan Project’s gaseous diffusion technology (p. 3618). Hertz’s secret wartime work was deemed so important by the German government that he was allowed to live and work in relative comfort throughout the war despite his Jewish ancestry. After the war, he played a vital role in the Soviet nuclear weapons program. Erich Bagge (German, 1912–1996) invented and successfully demonstrated a unique uranium enrichment device called an isotope sluice, which was essentially an alternative method of gaseous diffusion separation (p. 3651).

**D.4.5. Uranium-235 enrichment via photochemical processes.** Stanisław Mrozowski (Polish, 1902–1999), K. Zuber (Swiss, 19??–19??), Werner Kuhn, Hans Martin, K. H. Eldau, Paul Harteck, and others developed photochemical methods of isotope separation, demonstrated them with elements such as mercury, and worked to apply them to uranium (p. 3664). It is currently unclear how far that work progressed during the war, but it became the basis of postwar laser isotope separation. (Section C.3 covers early work toward lasers in the German-speaking world).

**D.4.6. Possible locations of uranium enrichment facilities.** If Germany scaled up any of these proven enrichment methods in order to produce uranium-235 for nuclear weapons, it would have distributed that production capability among a number of small underground locations for protection against Allied bombing. The leading industrialist Adolf Schneider actually confirmed in 1944 that Germany was doing precisely that (p. 4400). Archival documents mention dozens of highly suspicious sites that might have been used for that purpose and that still have not been properly investigated (p. 3670).]

#### D.4.1 Production of Uranium Hexafluoride for Uranium-235 Enrichment

[Usually uranium is converted into the gaseous compound uranium hexafluoride ( $\text{UF}_6$ ) for enrichment. (Uranium tetrachloride,  $\text{UCl}_4$ , is generally preferred for electromagnetic separation.)  $\text{UF}_6$  is highly corrosive to most materials except nickel. German reports captured by the U.S. Alsos Mission demonstrate that at least as early as 1940, the German program was fully aware of this information and capable of producing  $\text{UF}_6$ , and that much of that production capability was at I.G. Farben. Unless otherwise noted, 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-32. Wilhelm Groth and Paul Harteck. Corrosion Experiments on Two Alloys (Steel and Light Metal Alloys) with  $\text{UF}_6$ . 12 May 1940. [See p. 3480.]**

Investigations were undertaken in a quartz vessel with very pure  $\text{UF}_6$ . 10 grams of  $\text{UF}_6$  was sublimed into the vessel and the samples were exposed for 14 hours at  $100^\circ\text{C}$ . [...] Same test setup but at  $350^\circ\text{C}$ . [...] Corrosion of steel is excessive. Light metal, however, can be used in installations operating below  $250^\circ\text{C}$ . For high temperature use nickel is the only suitable material.

**G-33. Wilhelm Groth and Paul Harteck. Status of Work on Separating  $^{235}\text{U}$  und  $^{238}\text{U}$ . Stand der Arbeiten zur Trennung der Isotope  $^{235}\text{U}$  und  $^{238}\text{U}$ . 1940. [See pp. 3481–3483.]**

Corrosion tests were made with  $\text{UF}_6$  at 100 and  $150^\circ\text{C}$  on monel, nickel, brass, copper, aluminum, silver, iron, and various commercial alloys. Results tabulated. Nickel only material suitable for high temperature use. On the basis of tests made with xenon the U isotopes can quite probably be separated by thermal diffusion using a double jacketed tube with a separating length of 10 m.

Developed method for checking concentration of  $^{235}\text{U}$ . When  $^{235}\text{U}$  is enriched,  $^{234}\text{U}$  is also enriched. The alpha emission of  $^{234}\text{U}$  is therefore a measure of  $^{235}\text{U}$  concentration.

**FIAT 1171. *An Instrument for the Measurement of the Radio-Active Content of Moving Gases.***

**G-28. Rudolf Fleischmann. Some Constants and Properties of  $\text{UF}_6$ . Ueber einige Konstanten und Eigenschaften von  $\text{UF}_6$ . 1940. [See pp. 3484–3487.]**

$\text{UF}_6$ , the only U compound which is gaseous at room temperature, is of essential importance for isotope separation. Unfortunately there is no complete theory of the separation process, from which the separation can be calculated from measurable constants of the substance to be separated. The theories of Waldmann and of Furry, Jones, and Onsager deal with the plane case but are qualitatively applicable to the cylindrical case. They permit the calculation of the proper size of the apparatus, when a few constants of the gas employed in the separation are known, particularly the coefficient of viscosity  $\eta$ , the density  $\rho$ , and the vapor pressure  $p$  as a function of the temperature. [These quantities were measured and reported.] Investigations with  $\text{UF}_6$  are complicated by its affinity for water and its corrosive properties, but operation of a small experimental system shows that separation can probably be carried out nevertheless.

**G-157. Paul Harteck and Wilhelm Groth (Institut für Phys. Chemie, Hamburg); Erich Noack and Walter Kwasnik (I.G. Farben Leverkusen). Herstellung von Uranhexafluorid im Halbtechnischen Masstab. Untersuchung der Legierungsfähigkeit von metallischem Uran. 11 June 1942. [See pp. 3488–3489.]**

Description of usual laboratory method of making  $\text{UF}_6$  from metallic U using Cl as catalyst. Kwasnik developed process whereby uranium oxide is carried through a rotating inclined nickel tube heated to  $650^\circ\text{C}$  through which a stream of fluorine gas is passed. The  $\text{UF}_6$  thus formed is frozen by  $\text{CO}_2$  in containers. About 500 grams  $\text{UF}_6$  thus produced per hour. The  $\text{UF}_6$  to be frozen in large crystalline block to reduce amount of adsorption of other gases. Method of transport and handling of  $\text{UF}_6$ . Projected improvements of Kwasnik process. Possibility of using U ores directly instead of first purifying U. Costs 22–51 RM/kg. Experiments planned with U alloys of nickel, silicon, and chromium.



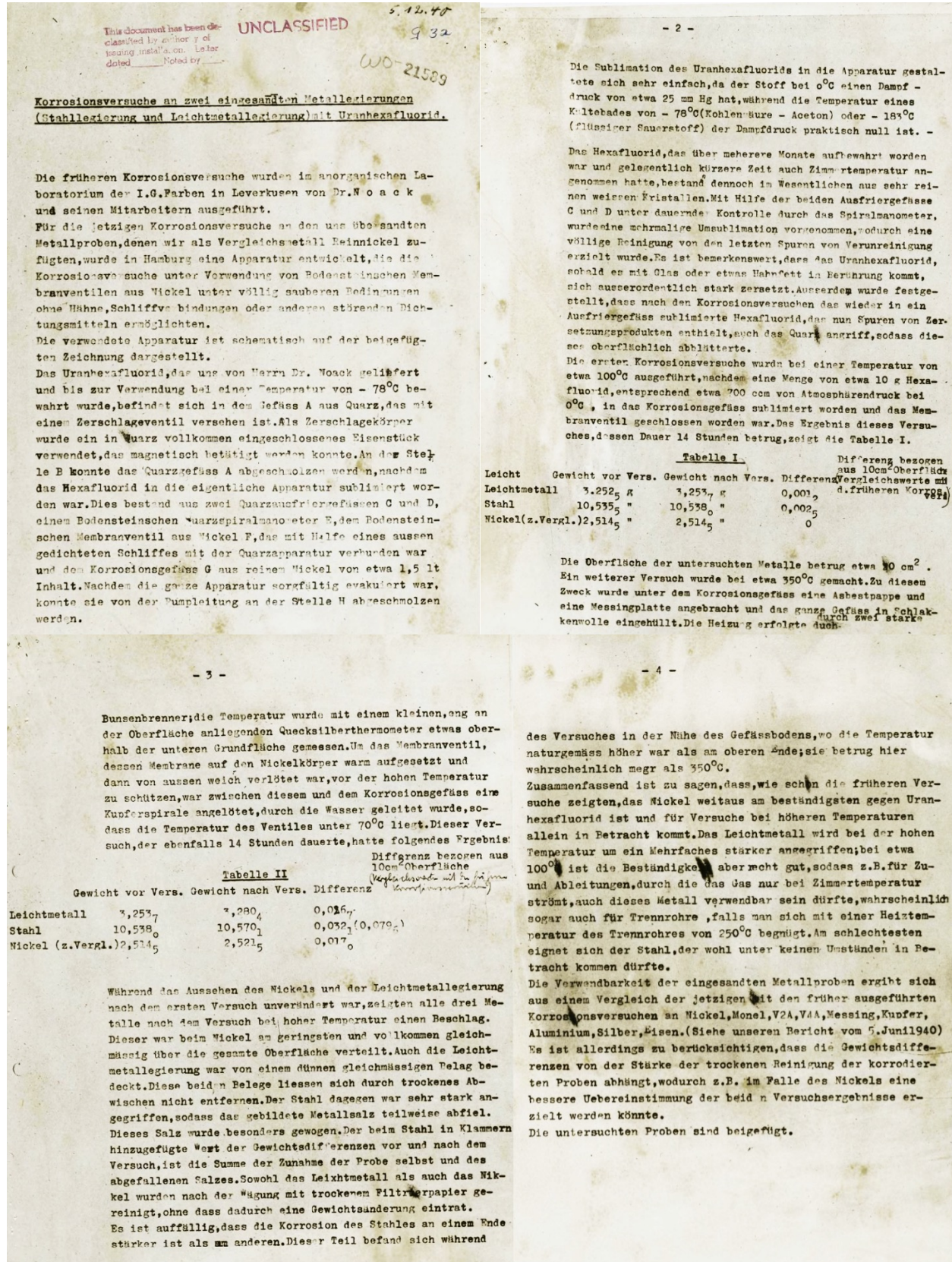


Figure D.121: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-32].



~~SECRET~~ 5.6.40  
UNCLASSIFIED

G-33 (Ref. No. 196)  
Copy 1

Stand der Arbeiten zur Trennung der Isotope <sup>235</sup>U und <sup>238</sup>U.  
von W. G r o t h und P. H a r t e c k in Hamburg.  
wo-21590

Die Vorarbeiten zur Trennung der Uranisotope <sup>235</sup>U und <sup>238</sup>U sind in zwei Richtungen aufgenommen worden. Die eine betraf das Aufsuchen eines Stoffes, der vom Uranhexafluorid nur mässig angegriffen wird; das zweite Problem bestand in der weiteren Ausarbeitung des Trennrohrverfahrens von Clusius und Dickel für die speziellen Erfordernisse, die bei der Trennung der Uranisotope im gasförmigen Uranhexafluorid auftreten.

**I. Korrosionsversuche.**

Diese Frage wurde durch die freundliche Mitarbeit der I.G. Farben Industrie A.G., insbesondere der Herren Dr. Noack und Dr. Kwasnick gelöst. Es wurde das Verhalten der folgenden Metalle gegen Uranhexafluorid untersucht: Monel, Nickel, Silverin, V2A, V4A, Messing, Kupfer, Aluminium, Silber und Eisen. Die Oberfläche der untersuchten Proben betrug 10 cm<sup>2</sup>. Die Korrosionsversuche wurden bei 100°C, 150°C und neuerdings auch bei 360°C durchgeführt, ohne dass mit steigender Temperatur eine wesentliche Korrosionszunahme festgestellt werden konnte. Die Ergebnisse der Versuche sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

~~SECRET~~  
UNCLASSIFIED

~~SECRET~~

Verhalten von verschiedenen Metallen gegenüber Uranhexafluorid.

Prüfzeit : 1 Stunde  
Temperatur: 100°  
Oberfläche der Proben: 10 cm<sup>2</sup>.

Untersuchtes Material	Aussehen der Proben	Gewichtsänderung
Monel	blank, kaum verändert	+ 0,0034 g
Nickel	" " "	+ 0,0052 g
V2A	" " "	+ 0,0072 g
V4A	" " "	+ 0,0056 g
Messing	geringer weissler Belag	+ 0,0088 g
Kupfer	teils blank, teils mit schwarzem Belag bedeckt	+ 0,0126 g
Aluminium	teilweise korrodiert	+ 0,0112 g
Silber	graugrüner festhaftender Belag	+ 0,0312 g
Eisen	sehr stark korrodiert und mit dickem Belag belegt	+ 0,7508 g

Prüfzeit : 1 Stunde  
Temperatur: 150°  
Oberfläche der Proben: 10 cm<sup>2</sup>.

Untersuchtes Material	Aussehen der Proben	Gewichtsänderung
Monel	blank, kaum verändert	+ 0,0032 g
Nickel	" " "	+ 0,0046 g
V2A	" " "	+ 0,0052 g
V4A	" " "	+ 0,0044 g
Messing	geringer Belag	+ 0,0086 g
Kupfer	geringer Belag	+ 0,0112 g
Aluminium	teilweise korrodiert	+ 0,0198 g
Silber	graugrüner festhaftender Belag	+ 0,0306 g
Eisen	sehr stark korrodiert und mit dickem Belag bedeckt	+ 0,1540 g

3. ~~SECRET~~

Verhalten von verschiedenen Metallen gegenüber Uranhexafluorid .

Prüfzeit : 7 Tage  
Temperatur : 150°  
Oberfläche der Proben: 10 cm<sup>2</sup>

Untersuchtes Material	Aussehen der Proben	Gewichtsänderung
Nickel	blank	+ 0,0104
Silverin Probe 1	fast blank	+ 0,0102
Silverin Probe 2	fast blank	+ 0,0139
Silverin Probe 3	fast blank	+ 0,0112
V4A	fast blank, jedoch mehr angegriffen als Silverin	+ 0,0219
V2A	schwarzgrauer Überzug	+ 0,0260
Monel	grauer Überzug	+ 0,0303

Prüfzeit : 7 Tage  
Temperatur : 360°  
Oberfläche der Proben: 10 cm<sup>2</sup>.

Untersuchtes Material:	Aussehen der Proben:	Gewichtsänderung: Probe 1:    Probe 2:
Nickel	grüner, festhaftender Belag. An feuchter Luft blättert der Belag in kurzer Zeit ab.	+ 0,0036    + 0,0008
Silverin	graugrüner, dicker, schlecht haftender Belag.	- 0,0918    - 0,0900
Monel	graugrüner, dicker, schlecht haftender Belag.	- 0,0812    - 0,0905.

Figure D.122: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-33].



4. ~~SECRET~~

Die Gewichtsänderungen sind so zustande gekommen, dass der schlechthafte Belag, der sich in allen Fällen bei der Einwirkung des Hexafluorids auf Metallen bildet, entfernt wurde, sodass die Gewichtszunahme ein Mass für die Angreifbarkeit des Metalles durch Uranhexafluorid ist.

Von den untersuchten Metallen erwies sich das Nickel, vor allem in den Dauerversuchen über 7 Tage bei 360°C, der in Aussicht genommene Versuchstemperatur, als allen Metallen weitaus überlegen. Es wird vom Uranhexafluorid oberflächlich leicht angegriffen. Dabei entsteht ein grüner, festhaftender Belag, der das Nickel vor weiterer Korrosion schützt. Es ist deshalb anzunehmen, dass reines Nickel auch bei Dauerversuchen beständig sein wird, sodass die Materialfrage für die Versuchsanordnung damit gelöst zu sein scheint.

Zwei Trennröhre aus reinem Nickel von 2m bzw. 8m Länge sind seit längerer Zeit in Auftrag gegeben, aber infolge der Schwierigkeit der Materialbeschaffung nach wie vor in Arbeit. Als Ein- und Auslassventile sind Bodensteinsche Membranventile aus reinem Nickel vorgesehen.

II. Ausarbeitung des Trennröhre-führens von Clusius und Dinkel.

Trennröhreversuche sind, ausser von Clusius und Dinkel<sup>1)</sup>, von Fleischmann in Heidelberg<sup>2)</sup>, in den Vereinigten Staaten<sup>3)</sup> und von uns in Hamburg<sup>4)</sup> durchgeführt worden. Für unsere Arbeitrichtung ist charakteristisch, dass wir als Analysemethode zum Nachweis der Verschiebung des Isotopenverhältnisses die Wärmeleitfähigkeitsmethode entwickelt und so weit verfeinert haben, dass bei Proben von 1 ccm bei Atmosphärendruck eine Verschiebung des Atomgewichtes um 0,01 % leicht nachgewiesen werden kann.<sup>4)</sup>

-5-

Wir benutzten im Zusammenhang mit den vorliegenden Aufgaben als Versuchsgas im wesentlichen Xenon. Das Xenon besitzt die folgenden 9 Isotope: 124 (0,094%), 126 (0,088%), 128 (1,91%), 129 (26,23%), 130 (4,06%), 131 (21,18%), 132 (26,98%), 134 (10,55%), 136 (8,95%), und kommt mit seinem mittleren Atomgewicht von 131,3 dem Uranhexafluorid (Atomgewicht 349 bzw. 352) relativ nahe. Die Erfahrung<sup>5)</sup> dagegen, die von anderen Autoren und von uns an leichteren Gasen (Krypton, Metan, Stickstoff, Neon usw.) gemacht wurden, können unter grösseren Vorbehalten auf das Uranhexafluorid übertragen werden.

Zur Zeit sind für die Trennung in der Gasphase 2 Arten von Trennröhren in Verwendung. Die einen, wozu auch die ersten von Clusius und Dinkel angegebenen gehören, besitzen einen in einem vertikalen Glasrohr zentrisch gespannten, elektrisch geheizten Draht, wobei das Glasrohr meistens aussen wassergekühlt wird. Der Durchmesser des Drahtes beträgt wenige 1/10mm, der des Glasrohres, je nach der veränderten Drahttemperatur und der Dichte des untersuchten Gases, zwischen 5 und 20mm. Die zweite Art der Trennröhre besteht aus 2 konzentrischen Röhren aus Glas oder Metall, von denen das eine entweder durch einen axial ausgespannten Draht, durch eine Leuchtgasflamme oder - wie es bei unseren Versuchen, bei denen das innere Rohr geheizt wurde, der Fall war - durch den Dampf einer siedenden Flüssigkeit geheizt werden kann. Im letzten Fall ist eine weitgehende Temperaturkonstanz gewährleistet. Das Aussenrohr wurde bei unseren Versuchen teils luft-, teils wassergekühlt. Bei allen Trennröhren ist es bekanntlich günstig, in Abständen von 15 bis 20cm Strömungswiderstände einzubauen, die eine zu weite Ausbreitung von unerwünschten (turbulenten) Strömungsformen verhindern sollen.

4. ~~SECRET~~ 68

Trennversuche mit Xenon.

T <sub>max</sub>	373	419	633	633
T <sub>min</sub>	313	333	403	293
T <sub>mitt.</sub>	343	376	518	463
ΔT = T <sub>max</sub> - T <sub>min</sub>	60	86	230	340
ΔT × T <sub>mitt.</sub> <sup>+</sup>	20000	32400	119000	158000
ΔT × T <sub>mitt.</sub> <sup>+</sup>	0175	0228	0444	0732
A.G. leicht	0'06	0'09	0'48	0'56
- A.G. norm.				
(ΔT × T <sub>max</sub> ) : Δ A.G.	~ 66	~ 72	~ 54	~ 56
(ΔT × T <sub>min</sub> ) : Δ A.G.	~ 58	~ 50	~ 19	~ 13

*Wichtig, wenn möglich*

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

*13. Atomgewichte des Xenonisotops.*

124 (0,094%)  
 126 0,088 %  
 128 1,91 %  
 129 26,23 %  
 130 4,06 %  
 131 21,18 %  
 132 26,98 %  
 134 10,55 %  
 136 8,95 %

6-19  
11-8  
20-5  
3-4  
3-12

- 6 -

4) Unseren ersten Trennversuche führten wir mit zwei Drahtgeheizten Anordnungen von 2 m und 5,5 m Länge aus. Die Drahtdurchmesser waren 0,2 mm, die Glasrohre hatten einen inneren Durchmesser von 5 mm. Wir gingen dann zu Trennröhren über, die aus zwei konzentrischen Glasröhren bestehen und verwendeten Apparaturen von 2 m und 8 m Länge. Der äussere Durchmesser der inneren Rohre betrug 17 mm, der lichte Durchmesser der äusseren Rohre 23 mm, sodass ein Wandabstand von 3 mm entstand, alle 15 cm wurden Glascheibchen eingebaut, die gleichzeitig als Strömungswiderstände und zur Zentrierung der Rohre dienten. Die Heizung erfolgte in diesem Falle entweder mit Wasserdampf oder mit dem Dampf von siedendem Tetrachloräthan (Siedepunkt 146°C). Ausserdem haben wir eine Versuchsanordnung aus zwei konzentrischen Eisenröhren aufgestellt, deren Formen der bestellten Nickelapparatur gleicht. Die Höhe der Eisenapparatur beträgt allerdings nur 2 m, während die der endgültigen Nickelapparatur etwa 8 m betragen soll. (Eine Skizze der Eisenapparatur liegt bei.) Die Heizung erfolgte in diesem Falle durch den Dampf von siedendem Quecksilber (360°C). Das äussere Rohr wurde teils luftgekühlt, wobei es sich auf etwa 130°C erwärmte, teils durch eine Wasserkühlung auf 20°C gehalten.

Die durchgeführten Versuche ermöglichen es, die einzelnen interessierenden Grössen, wie Wirkungsgrad, Trenndauer und getrennte Menge in Abhängigkeit von der Rohrlänge, dem Temperaturunterschied und der Art der Trennröhre (Draht- oder Dampfheizung) anzugeben. Wir möchten vorwegnehmen, dass unsere Ergebnisse in einigen Punkten von denen von Clusius und Dinkel abweichen, möchten jedoch darauf hinweisen, dass Neon und Xenon ein verschiedenes Verhalten zeigen, falls die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen eine wesentliche Rolle spielen - eine Frage, die zur Zeit noch nicht

Figure D.123: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-33].



~~SECRET~~ 60

- 7 -

geklärt ist.

Beim Vergleich der draht- und dampfgeheizten Trennröhre ist zu berücksichtigen, dass die Drahttemperatur bei Verwendung von Wolframdraht 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 Rohrdurchmesser 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

- 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.

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. Onsager, Phys. Rev. 52, 1083, 1939  
A. K. Brewer u. A. Bramley, Phys. Rev. 52, 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)

~~SECRET~~ 68

- 8 -

Versuchen bei 100°C und bei 146°C infolge der Kleinheit der Effekte nur schlecht messbar; 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 <sup>kein linear</sup> 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. Uranium gibt in seiner Arbeit bei leidlicher Lage den Effekt als proportional  $\frac{\Delta T}{T_{mittel}}$  an, was offenbar beim Xenon nicht der Fall ist.*

~~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<sup>235</sup>, dessen Anreicherung interessiert, trägt, wie aus der in der Tabelle angegebenen Häufigkeit und Halbwertszeit hervorgeht, nur wenig zur Gesamt- $\alpha$ -Aktivität bei. Eine Veränderung der  $\alpha$ -Aktivität durch geringe Anreicherung von U<sup>235</sup> wird daher mit einfachen Mitteln nicht nachgewiesen werden können. Es wird jedoch bei der Anreicherung von U<sup>235</sup> zwangsläufig auch das Isotop U<sup>234</sup> und zwar in etwas stärkerem Masse angereichert. Das U<sup>234</sup> trägt - als Folgeprodukt mit U<sup>238</sup> im radioaktiven Gleichgewicht stehend - trotz seines geringen mengenmässigen Anteiles im natürlichen Uran zur Gesamt- $\alpha$ -Aktivität ebensoviel bei wie das U<sup>238</sup>. Wird z.B. das U<sup>234</sup> um 10% angereichert, dann steigt hierdurch die Gesamt- $\alpha$ -Aktivität um 5%. Man hat dann zu erwarten, dass das U<sup>235</sup> um mindestens 7% angereichert wurde.

Tabelle.

	Konzentration	Halbwertszeit
U <sup>238</sup>	0,99	4,46 · 10 <sup>9</sup> a
U <sup>235</sup>	7,2 · 10 <sup>-3</sup>	7,13 · 10 <sup>8</sup> a
U <sup>234</sup>	6,1 · 10 <sup>-5</sup>	2,7 · 10 <sup>5</sup> a

Die Gesamt- $\alpha$ -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.

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



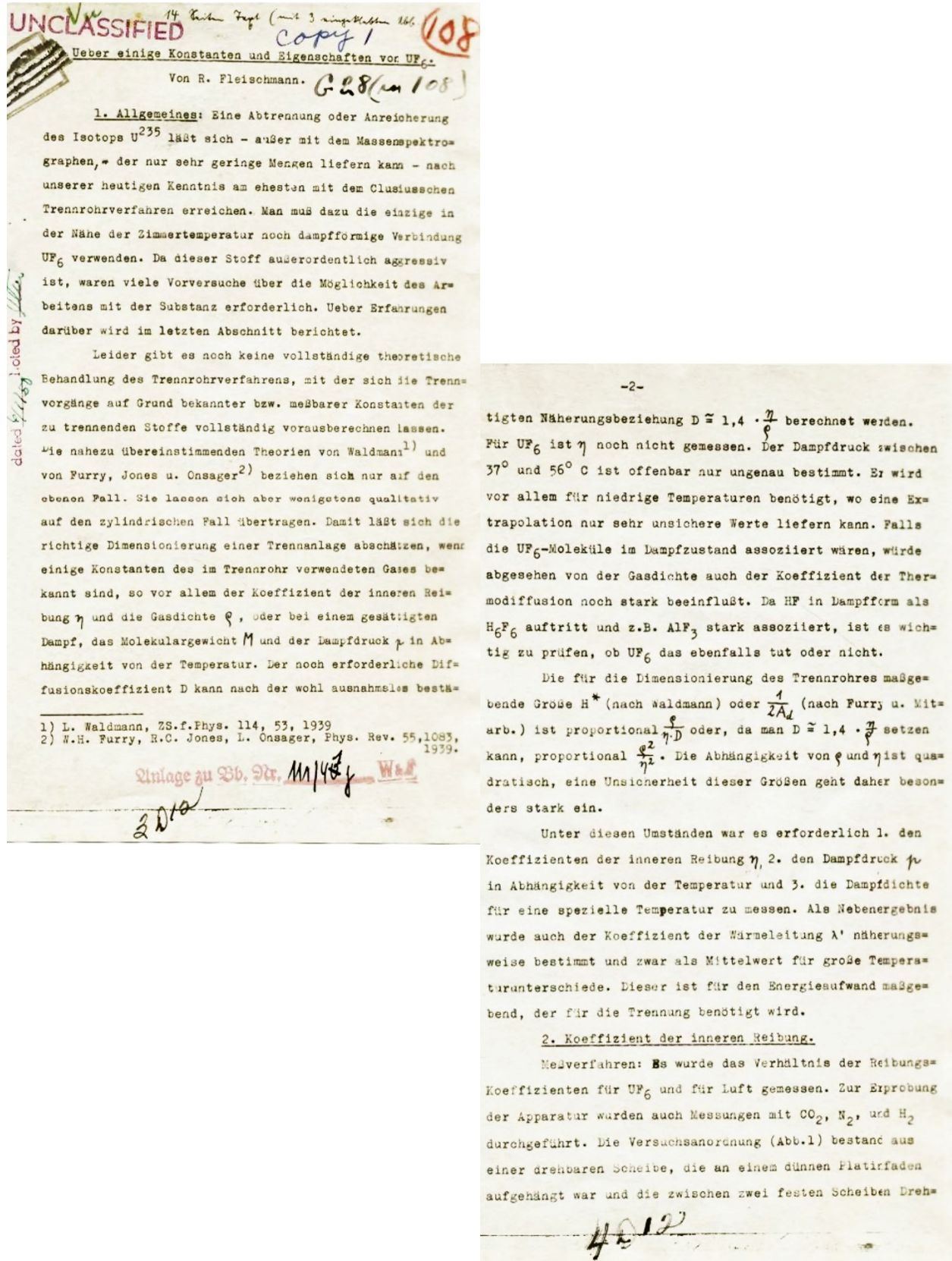


Figure D.125: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-28].



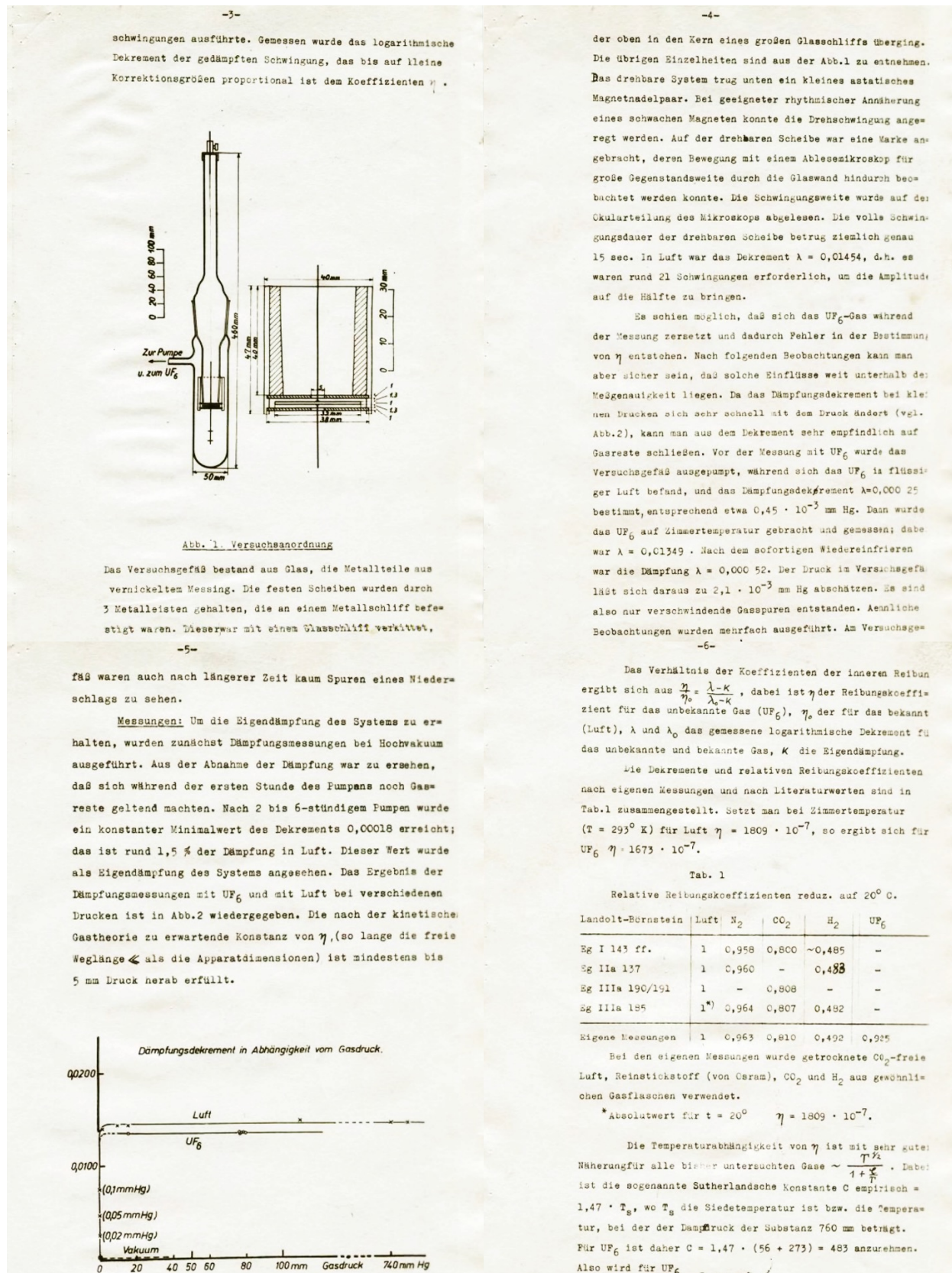


Figure D.126: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-28].



-7-

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

Weiter lassen sich nach bekannten Beziehungen<sup>1)</sup> berechnen die freie Weglänge

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

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 Clusiusches Trennrohr die zu flüssige oder feste untersuchende Substanz am unteren Ende und füllt außerdem Heliumgas ein, so schiebt sich bei geheiztem Draht das Helium über den Dampf. Wird das Trennrohr so dimensioniert, daß seine Länge erheblich größer ist als die Länge der Uebergangszone, 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 Uebergangszone ganz in das Trennrohr verschoben ist, zeigt das Manometer

-8-

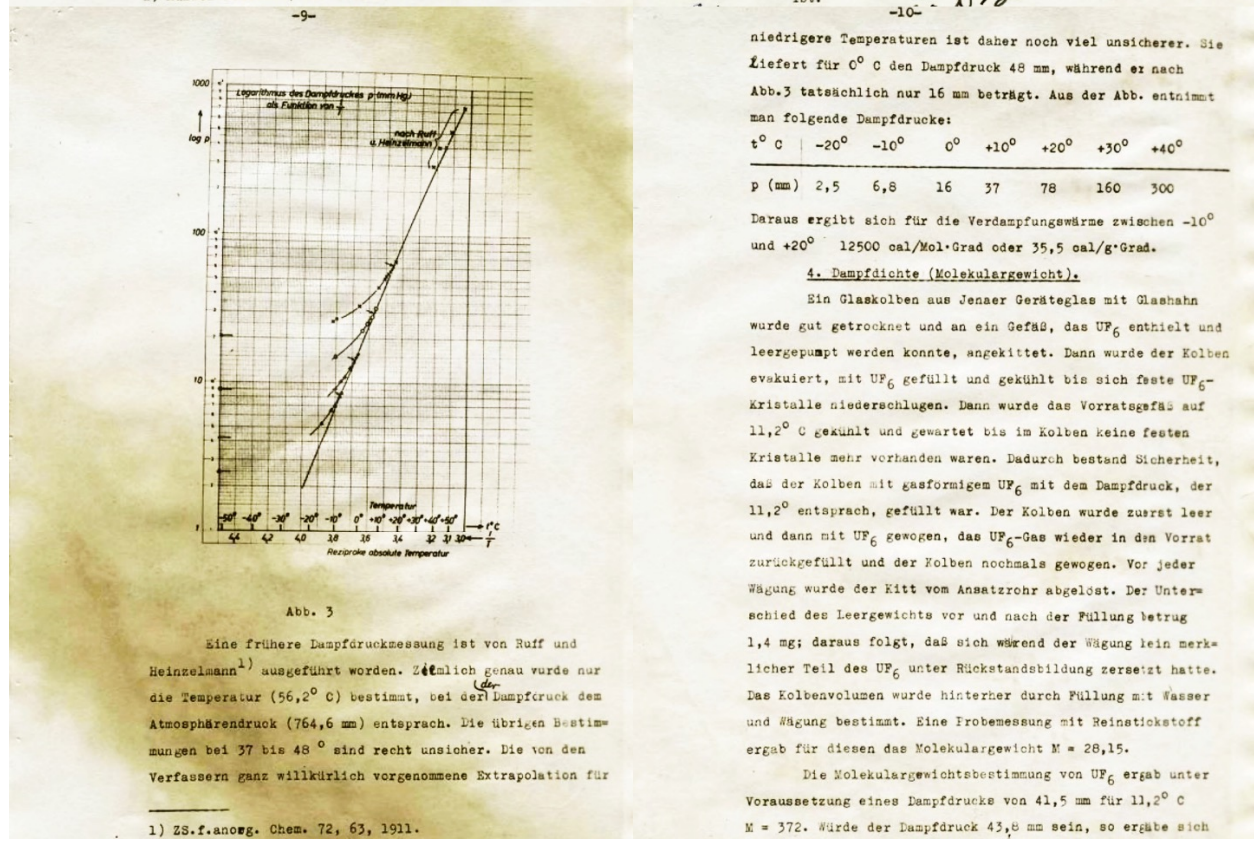
meter den Dampfdruck an. Bei weiterer Steigerung der Temperatur verschiebt sich die Uebergangszone im Trennrohr nach oben und drückt dabei das Helium weiter zusammen. Das Volumen der oberen Ansätze (Manometer u.s.w.) soll möglichst klein sein, damit ein möglichst großer Druckbereich mit einer einzigen 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, bezw. wievielfachen des ursprünglichen He-Druckes die Uebergangszone sich in der Nähe des unteren und des oberen Trennrohrendes befindet.

Die örtliche Lage der Uebergangszone 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 UF<sub>6</sub>-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 UF<sub>6</sub> 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 Uebergangszone (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  $\ln p = \frac{A}{T} + B$ , wo B meist ein kleiner Betrag ist.

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



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

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



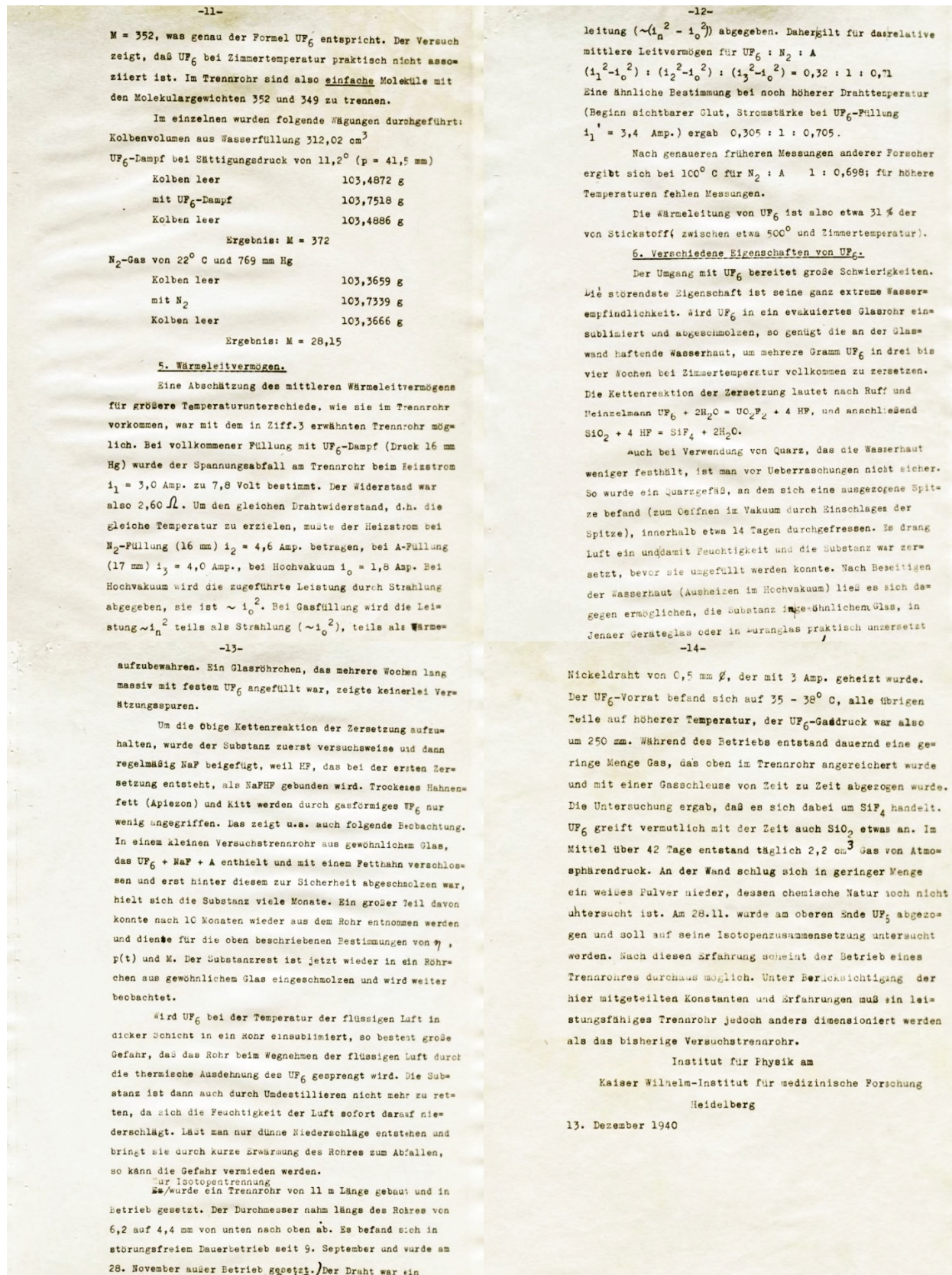


Figure D.128: Production and testing of uranium hexafluoride in 1940 [G-28].



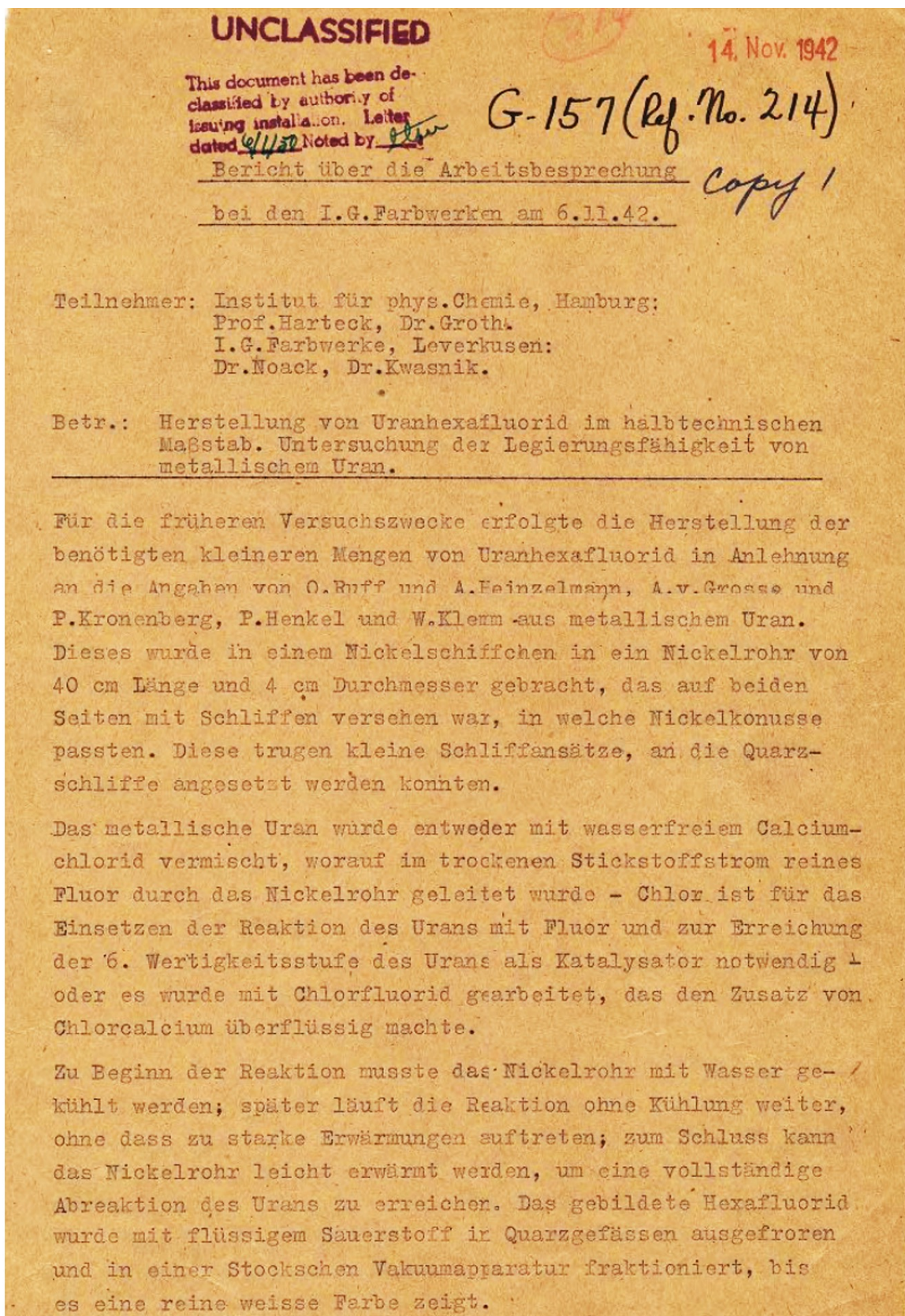


Figure D.129: Production and testing of uranium hexafluoride in 1942 [G-157].



- 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 diesem 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 halbtechnischem 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 vorauszu sehenden 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 unsubstanziierten 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 Uebertragung 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<sub>6</sub> - 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 abgeblasen. 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 weichgelotete 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 hocherhitztem metallischem Uran gebracht werden sollen, sodass sich durch Diffusion bzw. Austausch der Metallionen 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 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 UF<sub>6</sub> [uranium hexafluoride], one of the basic ingredients of the atomic bomb.

[See document photos on p. 3491.

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?]



AFHRA A5183 frame 0609

THIS PAGE IS DECLASSIFIED IAW EO 13526

AFHRA A5183 frame 0346

AIR DIVISION  
HEADQUARTERS, UNITED STATES FORCES IN AUSTRIA  
Air Interrogation Unit (USDIU)  
AF 477 US ARMY

PRELIMINARY INTERROGATION REPORT

18 September 1945

PROF. DR. ULRICH HOFFMANN

1. PERSONAL HISTORY:

- a. Citizenship: German.
- b. Present Address: Grand Hotel, Strobl, Vienna. address: Wien, 18 Bezirk, Cottagegasse 39.
- c. Date and Place of Birth: 22 January 1903, Munich, Bavaria.
- d. Description: Short; blonde but considerably bald; blinking eyes; married.
- 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.

- f. 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.
- g. Military Service: Gefreiter in German Army from August to November of 1939. Was released for physical disability.

2. OCCUPATIONS: Research Scientist. Professor of 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, which is necessary to obtain UF6, one of the basic ingredients of the atomic bomb. Worked with Dr. Aristid Victor von Grosse (now believed working at the University of Chicago) at Berlin in 1931.

4. 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
REBEIS, RUDOLF *	PhD	Austrian	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on airflow problems
HAINBERGER, GEORG FEINERER von *	Ing	Austrian	Nach dem See 49, Traunkirchen, Land Salzburg	Research on wing construction on tailless jet-type planes F-11 and F-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 UF6
LIPPISCH, ALEXANDER	Dr	German	Undergoing interrogation in United Kingdom	Aerodynamic research, Director of Institute. Designed Delta tailless aircraft
MES, 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	German	Undergoing interrogation in United Kingdom	Aerodynamic research
ZELLNER, HUGO H. *	PhD	Austrian	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on chemical substances to be used in V-weapon rockets
ZEMAI, JARO *	PhD	Austrian	Grand Hotel, Strobl, Land Salzburg	Research on 2 and 4 stroke super- charged engine

\* Denotes preliminary interrogation

CONFIDENTIAL

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 A5183 frames 0346, 0609]

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

6. Light Metal Works, BITTERFELD  
(Supplementing PW INTELLIGENCE CD BULLETIN 1/26 item 12)

PW confirms the location of the Administration bldg of I.G. FARBEN, WERK SÜD. He states that in addition to the items previously reported as being produced, "CHLORAL" (said to be trade name for a medical preparation), "PRESSTOFF" (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 IEB, captured 17 Jan THIMMISE?)

~~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. 4050), graphite (p. 4110), aluminum (p. 4128), and calcium (pp. 4133, 4136).



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

~~SECRET~~

PW Intelligence Bulletin No 1/34

6. Light Metal Works, BITTERFELD (Continued)

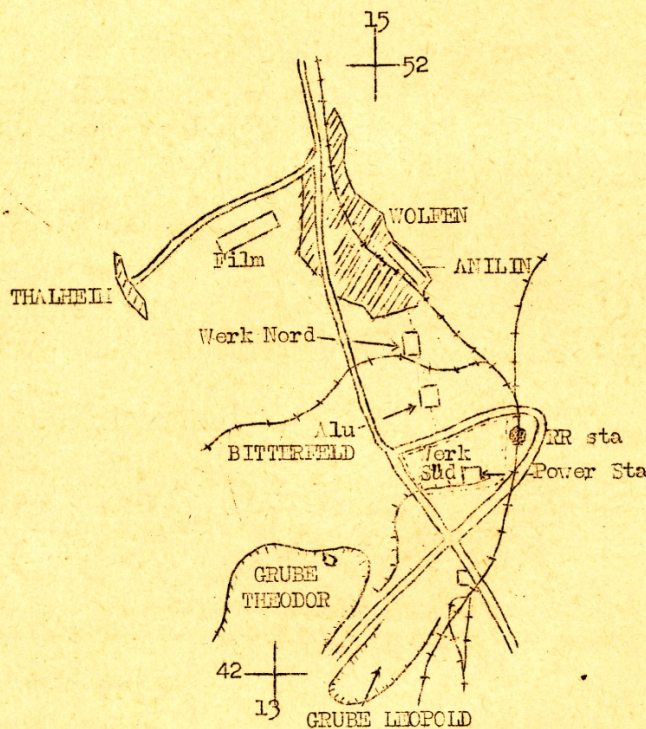
The power station at "GRUBE LEOPOLD" at HOLZWEISSIG (S of BITTERFELD) is said to supply electricity to BITTERFELD and nearby communities.

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 GEMEPP 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. 4050), graphite (p. 4110), aluminum (p. 4128), and calcium (pp. 4133, 4136).

#### 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. 2394–2399).

Georg Bredig (German, 1868–1944, p. 718) invented centrifuges for separated gaseous mixtures no later than 1895. He and Fritz Haber (German, 1868–1934, p. 608) 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. 3495.**



# 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-Lussac<sup>1)</sup> 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 Chaperon<sup>2)</sup> 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. Gibbs<sup>3)</sup>, Gouy und Chaperon<sup>4)</sup>, P. Duhem<sup>5)</sup>, van der Waals<sup>6)</sup> und anderen gegeben worden.

Nun hat aber unlängst Herr Th. des Coudres in einer interessanten Abhandlung<sup>7)</sup> beiläufig darauf hingewiesen, dass man die Betrachtungen über den Einfluss der Schwere auf die Konzentration der Lö-

<sup>1)</sup> 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).

<sup>2)</sup> Ann. chim. phys. (6) **12**, 384 (1887).

<sup>3)</sup> Thermodynam. Studien S. 171 ff. Deutsch von Ostwald.

<sup>4)</sup> Siehe oben und Compt. rend. **105**, 117.

<sup>5)</sup> Journ. de phys. (2) **8**, 391 (1888).

<sup>6)</sup> Diese Zeitschr. **5**, 157.

<sup>7)</sup> 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. 3497.

[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.)

### I. 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 alsbald<sup>1)</sup> 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 erteilt<sup>2)</sup>. Inzwischen haben die Herren G. Claude und E. Demoussy wissenschaftliche Versuche über den Gegenstand gemacht, deren Ergebnis<sup>3)</sup> durchaus zu Ungunsten der Sache ausgefallen ist. Aber Herr Goffi<sup>4)</sup>, der technischer Leiter der italienischen Gasgesellschaft in Turin, tritt demgegenüber mit neuem Nachdruck und

<sup>1)</sup> März 1902, 9, 155.

<sup>2)</sup> Das D. R. P. 139210 handelt nicht im speziellen von der Luftsecheidung.

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

<sup>4)</sup> 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. 3500), they quickly found solutions to those problems and their work had greatly progressed by their 1942 journal article (p. 3501).]

**Helmuth Hausen and R. Schlatterer. 1939. Aussichten der Zerlegung von Gasgemischen durch Zentrifugieren. Z. VDI Beiheft Verfahrenstechnik 1939:1:15–21. See p. 3500.**

Aussichten der Zerlegung von Gasgemischen durch Zentrifugieren\*)

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

Schon im Jahre 1895 hat *Bredig*<sup>3)</sup> 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*<sup>4)</sup> die damals erreichbar scheinende Zerlegungswirkung durch Zentrifugieren theoretisch untersucht und dabei auch den erforderlichen Zeitaufwand abgeschätzt.

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

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

[...]

Prospects for the separation of gas mixtures by centrifugation\*)

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

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. [...]

As early as 1895, *Bredig*<sup>3)</sup> 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*<sup>4)</sup> theoretically investigated the seemingly achievable separation effect by centrifugation and also estimated the time required.

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

<sup>4)</sup> *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*<sup>4</sup>), 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 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>- 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 O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-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 m<sup>3</sup> 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*<sup>4</sup>), 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 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 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 m<sup>3</sup> 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<sup>1)</sup>

Von H. Hausen VDI und R. Schlatterer, Höllriegelskreuth 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*<sup>1) 2)</sup>, 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*<sup>3)</sup> 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*<sup>4)</sup> 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

<sup>1)</sup> Auszugsweise vorgetragen von H. Hausen auf der Tagung des Deutschen Kältevereins im VDI in Frankfurt a. M. am 30. Mai 1938.

<sup>2)</sup> *T. Svedberg*, Nature Bd. 139 (1937) S. 1051; Naturwiss. Bd. 22 (1934) S. 225.

<sup>3)</sup> *W. Keil*, Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 115.

<sup>4)</sup> *G. Bredig*, Z. physik. Chem. A Bd. 17 (1895) S. 459.

<sup>5)</sup> *G. Bredig* u. *F. Haber*, Z. angew. Chem. Bd. 17 (1904) S. 452.

jeder einzelne der Ausdrücke und damit  $u x/k$  unveränderlich sein.

Erhöht man nun den Durchmesser der Zentrifuge und damit  $x$  in einem bestimmten Verhältnis, dann muß  $u$  im gleichen Verhältnis abnehmen, damit  $u x/k$  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  $u x/k = \text{konst}$  muß dann aber auch  $u$  in diesem Verhältnis abnehmen. Die hindurchströmende Gasmenge, die dem Produkt  $P u$  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*<sup>4)</sup>, 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

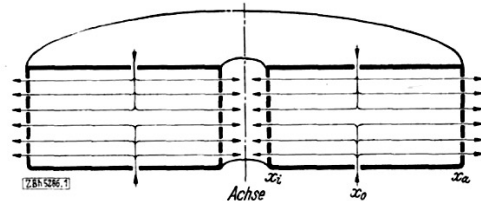


Bild 1. Zerlegen von Gasgemischen in einer Zentrifuge

überdies auf Grund von Versuchen von *Mazza*<sup>5)</sup> 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

<sup>5)</sup> 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.

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 m<sup>3</sup> 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 Arbeit<sup>1)</sup> haben R. Schlatterer und der Verfasser gezeigt, daß Gasgemische sich in einer einfachen Zentrifuge nur sehr unvollkommen zerlegen lassen. Die überraschenden Erfolge, die Clusius<sup>2)</sup> 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 nimmt<sup>3)</sup>. Die Richtigkeit dieses Gedankens konnte ich durch noch nicht veröffentlichte theoretische Überlegungen und Berechnungen bestätigen.

Unabhängig hiervon haben neuerdings Martin und Kuhn<sup>4)</sup> 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 vermisch 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 an schwereren Bestandteil haben als die inneren Teilchen. Der Unterschied des Gehaltes an der Innen- und Außenwand entspricht hierbei etwa der Trennwirkung einer einfachen Zentrifuge<sup>1)</sup>. 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.

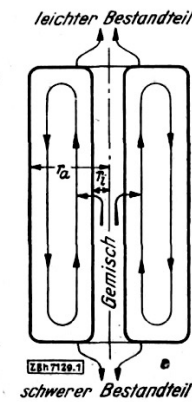


Bild 1. Schnitt durch eine Gegenstrom-Zentrifuge

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 Abwärtsstroms mit immer geringerem Gehalt begegnen. Indem es sich auch mit diesen ins Gleichgewicht zu setzen sucht, muß sein eigener Gehalt an 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.

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

<sup>2)</sup> 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.

<sup>3)</sup> 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.

<sup>4)</sup> 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.

**Helmuth Hausen. 1942. Zerlegung von Gasgemischen in einer Zentrifuge mit Gegenstromwirkung. Z. VDI Beiheft Verfahrenstechnik 1942:4:93–102. See p. 3501.**

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 Arbeit<sup>1)</sup> haben *R. Schlatterer* und der Verfasser gezeigt, daß Gasgemische sich in einer einfachen Zentrifuge nur sehr unvollkommen zerlegen lassen. Die überraschenden Erfolge, die (*Clusius*<sup>2)</sup> 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 nimmt<sup>3)</sup>. 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 work<sup>1)</sup> *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*<sup>2)</sup> 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 used<sup>3)</sup>. 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*<sup>4)</sup> 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.

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

<sup>2)</sup> *K. Clusius* u. *G. Dickel*: [...]

<sup>3)</sup> Dtsch. Patentanm. [S. 3505–3507...]. *Martin* u. *Kuhn* [S. 3521–3524...]. Beide Anmeldungen sind unabhängig voneinander und ohne gegenseitige Kenntnis eingereicht worden.

<sup>4)</sup> *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.

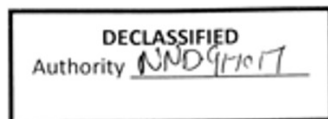
Independently of this, *Martin* and *Kuhn*<sup>4)</sup> have recently published a theory of the centrifugation of gas mixtures under counter-current action. The basic ideas of this theory are largely similar to those of my earlier calculations. However, there are significant differences in the way the 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.

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

<sup>2)</sup> *K. Clusius* and *G. Dickel*: [...]

<sup>3)</sup> German patent application [pp. 3505–3507...]. *Martin* u. *Kuhn* [pp. 3521–3524...]. Both applications were filed independently of each other and without mutual knowledge.

<sup>4)</sup> *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 Frankfort 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)].





AUSGEGEBEN AM 10. MARZ 1952

DEUTSCHES PATENTAMT PATENTSCHRIFT

№ 833 487 KLASSE 12e GRUPPE 3 06 G 414 V b / 12 c

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.

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.

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.

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.

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.

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 Rektifikations-säule 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 unterlegte 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 Millimeter je Sekunde oder Zentimeter je Sekunde liegen, wobei unter Diffusionsgeschwindigkeit der Quotient aus der Diffusionskonstante D (cm²/sec) und dem mittleren Diffusionsweg Ax (cm) zu verstehen ist. Hierbei bedeutet Ax 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 Gaseschwindigkeit über einen optimalen Wert, der etwa gleich  $\frac{D}{Ax} \sqrt{2}$  ist, oder sinkt sie unter diesen Wert, so wird die Reinheit der Produkte kleiner. Eine zu hohe Gaseschwindigkeit läßt 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 Geschwindigkeit 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 abbremsen. In den meisten Fällen wird es aber erwünscht sein, den Durchmesser größer zu wählen. Dann kann man nötigenfalls die Gaseschwindigkeit 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 abbremsen. Als Einbauten kommen z. B. senkrechte radiale Wände in Frage (Abb. 2), die zugleich dafür sorgen, daß die Winkelgeschwindigkeit des Gases nicht hinter 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 Schraubflächen 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 Schraubfläche 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 Zentrifugeneinde 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 mit auszunutzen.

kenntzeichnet, 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 nachstehendem Vergleichsbeispiel dargestellt. Zugrunde gelegt wird eine Zentrifuge von 2 m Höhe, deren ringförmiger Zentrifugerraum die lichten Abmessungen von 2 cm für den Durchmesser des inneren Zuführungsrohres 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:

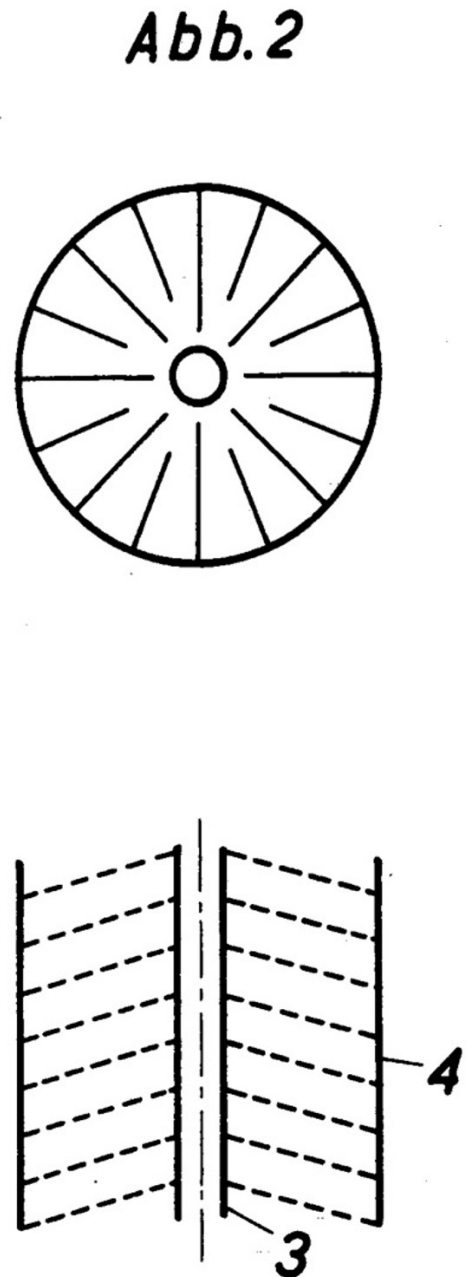
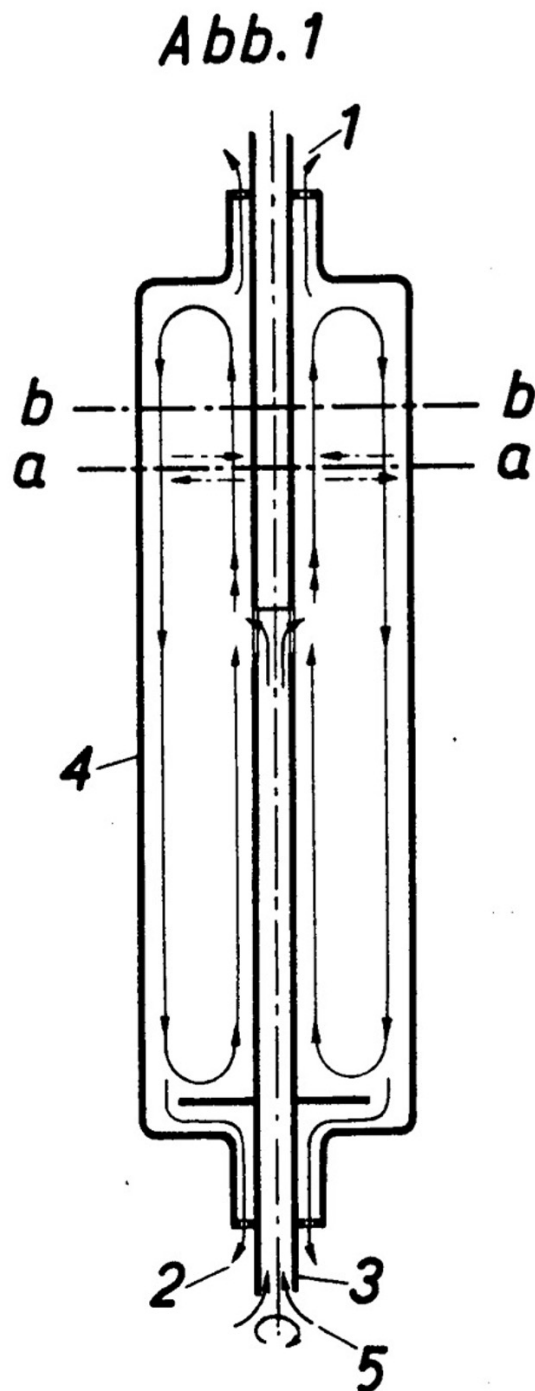
- 1. Verfahren zur Zerlegung von Gas- und Flüssigkeitsgemischen in Zentrifugen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kreisstrom als achsparalleler laminarer Gegenstrom geführt wird, wobei Zentrifugen angewendet werden, deren axiale Länge wesentlich größer ist als ihr äußerer Durchmesser und bei denen die Ableitung der Zerlegungsprodukte aus dem Laufer 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 mit einer anfänglichen Geschwindigkeit eintretenden unterlegten 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 Schraubflächen haben. 7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufrechterhaltung einer günstigsten Geschwindigkeit des 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 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.

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



**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

Nr. 872 936

KLASSE 12e GRUPPE 3 06

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.,  
Höllriegelskreuth 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-

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 Trennkräfte der Thermodiffusion 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

dienen soll, wobei verhältnismäßig geringe Temperaturdifferenzen ausreichend sind, liegt darin, daß bei der Thermodiffusion 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 Thermodiffusion auf die Zentrifuge das Temperaturgefälle derart zur Anwendung kommen, daß die Zerlegungskräfte unter dem Einfluß der Fliehkraft und unter dem Einfluß der Thermodiffusion 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 Thermodiffusion 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.

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 Thermodiffusion 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 Helmut 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  $360^\circ C$  (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  $\text{UF}_6$  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  $1.5 \times 10^{-2}$  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  $\text{UF}_6$  Vapor at Room Temperature and at  $50^\circ\text{C}$ . 1941.**

Corrosion tests of  $\text{UF}_6$  on various metals and alloys. Description of special apparatus to avoid contamination. Tests run at 20 and  $50^\circ\text{C}$  and at 16 and 55 mm Hg of  $\text{UF}_6$  with exposure time varying from 20 to 80 hours. Weight increase of some sample metals in  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . 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<sub>6</sub> with the U<sup>235</sup> 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<sub>6</sub>. Corrosion tests with UF<sub>6</sub>. 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<sup>13</sup>) were successful. This explained by small thermodiffusion coefficient of U. Proposed solution is higher temperature operation of column, but corrosiveness of UF<sub>6</sub> prevents this. Use of ultracentrifuge (See G-147). Proof of separation of U isotopes by measurement of alpha activity with correction for U<sup>234</sup>.



**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  $3\frac{1}{2}$  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.  
Copy 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<sup>235</sup> 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<sub>6</sub> 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<sub>6</sub>, were uniformly unsuccessful although in the meantime the necessary properties of UF<sub>6</sub> 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  $3.9 \times 10^4$  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. 3495), 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. 3525.**

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 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 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. 3526.**

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 1954

DEUTSCHES PATENTAMT

PATENTSCHRIFT

Nr. 906 094

KLASSE 12e GRUPPE 306

M 447 IVb 12e

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 1933

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 schwereren Bestandteile in den peripheren Teilen, eine verhältnismäßige Anreicherung der leichteren Bestandteile in den der Achse benachbarten Teilen des Hohlkörpers hervorgerufen. Es ist indessen bekannt, daß eine solche Trennung nur in recht geringem Ausmaße 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 nabeliegend, 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-

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 das folgende einfache 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 Luftmenge verloren. Wenn die in der ersten Zentrifuge verarbeitete Luftmenge beispielsweise gleich 1 l/min ist, so kann dieser Zentrifuge (an 21%iger Luft) nur 1/2 l/min, der zweiten Zentrifuge nur 1/4 l/min (an 22%iger Luft), der fünften Zentrifuge schließlich nur noch 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 I bis V bezeichnet sind. Einen jeden dieser Hohlkörper erreicht eine Zentrifuge in dem vorigen Zahlenbeispiel, daß die Hohlkörper in dem jetzt beschriebenen Beispiel zu einer Einheit zusammengefaßt, d. h. anstatt auf getrennten Achsen auf ein und derselben Drehabse o gelangt sind, ist wie im voraus bemerkt sei, bekannt. Wichtig ist die Art der beschriebenen Gasfraktionen, die nun im folgenden beschrieben werden soll.

Wie Fig. 1 erkennen läßt, ist jeder Hohlkörper mit dem jeweils benachbarten bzw. mit dem beiden benachbarten Hohlkörpern durch zwei Leitungen verbunden. So sind die Hohlkörper I und II durch die Leitungen s<sub>1</sub> einerseits, i<sub>1</sub>-h<sub>1</sub>-s<sub>2</sub>-h<sub>2</sub> andererseits verbunden; die Hohlkörper II und III sind durch die beiden Leitungen s<sub>2</sub> und i<sub>2</sub>-h<sub>2</sub>-s<sub>3</sub>-h<sub>3</sub> 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 Weise möglichst weit von der Drehabse entfernt, d. h. auf möglichst großem Radius angeordnet. Die Leitungen i<sub>1</sub>-h<sub>1</sub>-s<sub>2</sub>-h<sub>2</sub>, i<sub>2</sub>-h<sub>2</sub>-s<sub>3</sub>-h<sub>3</sub>, usw., andererseits dienen in entsprechender Weise der Ableitung der in den der Drehabse benachbarten Bezirken der einzelnen Hohlkörper anfallenden leichten Fraktionen; die Ausgangspunkte h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub>, 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<sub>1</sub>-h<sub>1</sub>-s<sub>2</sub>-h<sub>2</sub> usw., wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, gegenüber den äußeren s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub> 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 Fördervorrichtung 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 Randbeizirk des Hohlkörpers I durch Leitung s<sub>1</sub> in den Hohlkörper II über, aus dem Randbeizirk des Hohlkörpers durch s<sub>2</sub> in den Hohlkörper III usw., bis es in den Hohlkörper V gelangt, in welchem es in Richtung auf die Drehabse strömt. Es gelangt dann durch die Leitung h<sub>4</sub>-s<sub>4</sub>-i<sub>4</sub>-h<sub>4</sub> wieder in den Hohlkörper IV zurück, aus dem die Drehabse benachbarten Bezirk dieses Hohlkörpers strömt es weiter durch die Leitung h<sub>3</sub>-s<sub>3</sub>-i<sub>3</sub>-h<sub>3</sub> nach Hohlkörper III usw., bis es schließlich durch die Leitung i<sub>1</sub> wieder in den Hohlkörper I zurückgelangt, in welchem es nach außen strömt und dann den Kreislauf durch das ganze Hohlkörpersystem von neuem beginnt.

Der soeben beschriebene Kreislauf des Gasgemisches hat zur Folge, daß in den endständigen Hohlkörpern I und V alsbald Gasfraktionen auftreten, die in 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 35 000 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 I jetzt mit einer Zirkulationsgeschwindigkeit von 1 l/min gearbeitet (bei höherer Strömungsgeschwindigkeit würde die Trennungswirkung 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 Kreislauf werden die sauerstoffreichen Fraktionen fortlaufend nach Hohlkörper V, die sauerstoffarmen nach Hohlkörper I geschafft. Dies

Umständen, nämlich bei besonders weiten und kurzen Rohrverbindungen, im Sinne eines Rücklaufes der Fraktionen, selbstverständlich unerwünscht. Aus diesem Grunde wird die Dimensionierung der Leitungen zweckmäßigerweise so gewählt, daß in den Leitungen der Gastransport infolge Strömung des Transport in eine Rückdiffusion durch die Leitungen hindurch praktisch ausgeschlossen ist.

Andererseits ist es selbstverständlich notwendig, die Ausmündungsöffnungen der Leitungen dafür zu sorgen, daß das in einen 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 besorgt sein, daß in den Hohlräumen keine tote Winkel aufzutreten, die von den die Hohlkörper durchsetzenden Gastströmen 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° an dem Umfang versetzt angebracht sind (vgl. z. B. Einmündung i<sub>2</sub> und Ausmündung h<sub>2</sub>). 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 solchen Falle sind die verschiedenen Leitungen, die für die beschriebene Überleitung der Fraktionen in den einzelnen Hohlkörpern anfallenden Fraktionen bestimmt sind, passend, z. B. in den Zentrifugachsen zu verlegen und durch gasdichte Durchführungen miteinander in Verbindung zu bringen. Hierbei ist es 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 Drehabse für alle Hohlkörper gemeinsam ist oder nicht, ist für die erzielbare Wirkung selbstverständlich belanglos.

Die für die Förderung des Gases in den einzelnen Hohlkörpern verbindenden Leitungen erforderlichen Fördervorrichtungen können ebenfalls sehr verschieden sein. In dem Falle, daß die Hohlkörper einzeln gelagert sind, ist die Förderung dabei streckenweise außerhalb der Fördervorrichtungen, die gemäß Fig. 1 eingeschaltet sind, von Hohlkörper V bis Hohlkörper I stufenweise ansteigende Gasströme hervorzuufen, unter deren Wirkung das Gas dann von selbst durch Leitungen i<sub>1</sub> bis i<sub>5</sub> von Hohlkörper I nach, von II nach III usw. wieder zurückströmt. In den Leitungen s<sub>1</sub> bis s<sub>5</sub> sind daher besondere Fördervorrichtungen entbehrllich. Diese Vereinfachungsmöglichkeit ist in gleicher Weise

gleicher Umlaufzahl in 1 Minute aus 1 l 20%iger Luft neben zahlreichen gesondert aufzubereitenden Zwischenfraktionen nur 1/2 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 stark angereicherten bzw. verarmten Fraktionen, ohne das 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 wesentlichsten Zügen erläutert. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Gemisch dabei in Kreislauf zu halten ist, damit tatsächlich jeweils die günstigste Trennungswirkung erzielt wird, wird von Fall zu Fall recht verschieden sein. Das ruht namentlich da-  
daher, daß die durch das Schwerfeld verursachte teilweise Entmischung im Einzelhohlkörper, die zu der Anreicherung des schweren bzw. leichten Gasbestand-  
teils in den äußeren bzw. zentralen Hohlraumbezirken führt, durch Diffusion erfolgt; der Ablauf dieses Diffusionsvorganges erfordert aber einen gewissen Zeit-  
aufwand, 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 Dif-  
fusionsvorganges und die Größe der Hohlkörper be-  
stimmen 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 Zirkulations-  
geschwindigkeit 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  $\delta$  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 zahlenmäßig annähernd 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 Normgeschwindigkeit der Zirkulation überschritten, so kann die erzielbare Umsatzsteigerung, wie gesagt, nur auf Kosten der Trenergie erkauft werden.

Im Gegensatz zu den vorhin genannten Diffusionsvorgängen sind Schwerefeld- und Diffusionsvorgänge, die durch die verschiedenen Zusammensetzungen des Gas-  
gemische an den Enden der die Hohlkörper verbinden-

ungen in das rotierende System selber einzubauen. Hierfür ist ein Teil der bekannten Fördervorrichtungen, und zwar namentlich diejenigen, die durch Drehen einer Antriebswelle in Betrieb zu setzen sind, durchaus geeignet. Wenn dabei die betreffenden Fördervorrichtungen so angeordnet werden, daß deren Antriebswellen in die Drehabse der Zentrifuge zu liegen kommen, so kann das Drehen der Antriebswellen (relativ zum Zentrifugenkörper) dadurch bewerkstelligt werden, daß diese Antriebswellen von außen her, z. B. auf mechanischem oder magnetischem Wege, eine Drehbewegung ausgeübt wird; ein besonderer Antriebs für die Fördervorrichtung 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 sog. Thermosiphonwirkung hervorbringen. Diese wird dadurch herbeigeführt, daß eine zwei Hohlkörper, z. B. I und II, verbindende Leitung i<sub>1</sub>-h<sub>1</sub>-s<sub>2</sub>-h<sub>2</sub> in einem Abschnitt h<sub>1</sub>, in welchem das Gas in zentraler 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 abisolierte Temperaturbäder K und W (Kupferblöcke, Flüssigkeitsbehälter od. dgl.) vorgesehen, in welche die Leitungen in der aus der Figur ersichtlichen Weise eingesetzt sind und deren eines, 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 Förderwirkung kommt dabei dadurch zustande, daß das Gas in dem wärmeren Leitungsbereich h<sub>1</sub>, zu dem geringere Dichte annimmt als in dem damit kommunizierenden kälteren Leitungsbereich i<sub>1</sub>, was dann weiter zur Folge hat, daß das Gas unter der Wirkung der starken Zentrifugalkräfte einen kritischen Antriebsdruck übersteigt und sich in bekannter Weise erhebt und damit auch, wenn die Abmessungen der Leitungen gegeben sind, die Fördergeschwindigkeit.

Fig. 1 läßt erkennen, daß die Einschaltung von Fördervorrichtungen 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 hervorzu bringen. Das ruht daher, daß die Fördervorrichtungen, die gemäß Fig. 1 eingeschaltet sind, von Hohlkörper V bis Hohlkörper I stufenweise ansteigende Gasströme hervorruufen, unter deren Wirkung das Gas dann von selbst durch Leitungen i<sub>1</sub> bis i<sub>5</sub> von Hohlkörper I nach, von II nach III usw. wieder zurückströmt. In den Leitungen s<sub>1</sub> bis s<sub>5</sub> sind daher besondere Fördervorrichtungen entbehrllich. 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 getrennter Lagerung der Hohlkörper gegeben.

Da bei Anwendung des Thermoprinzips gemäß Fig. 1 dem kälteren Temperaturbad K erstens infolge eines nicht ganz so verändernden Wärmezustroms seitens des wärmeren Temperaturbades W und zweitens infolge der bei bekanntlich unter Kompression erfolgenden Radialströmung des zirkulierenden Gases in den Leitungsabschnitten  $K_1, K_2, \dots$  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 gefunden, daß dies außer durch die hierfür üblichen Mittel, wie Anwendung einer Kühlflüssigkeit oder Oberflächenvergrößerung gegenüber der die Vorrichtung umgebenden Gasatmosphäre, in besonders einfacher und wirksamer Weise dadurch zu erreichen ist, daß in das Kältebad K Kanäle eingeleitet 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 Kanalabschnitten  $r_1$  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 abgeführt wird. Bei der in dem Kanalteil  $r_2$  zentrifugal gerichteten Strömung erleidet das Gas bekanntlich eine Expansion, welche zu einer Abkühlung des Gases in  $r_2$  oder aber zu einer Abgabe von Wärme aus dem Temperaturbad an das in  $r_1$  enthaltene 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  $r_1$  eine Kompression und damit eine Erwärmung des dort in zentrifugaler Richtung strömenden Gases. Dadurch, daß der Wärmeaustausch zwischen Bad K und dem in  $r_1$  strömenden Gas z. B. durch Anwendung von thermisch isolierenden Kanälen niedrig gehalten wird, kann eine Abführung dieser Kompressionswärme an das Bad vermieden werden. Es strömt in diesem Falle bei  $m_2$  ein erwärmtes Gas ab, so daß aus dem Bad K eine entsprechende Wärmeenergie dauernd abgeführt wird.

Wenn bei der Vorrichtung Fig. 2 anstatt im Kanalteil  $r_2$  im Kanalteil  $r_1$  ein Wärmeaustausch zwischen Gas und Temperaturbad verhindert wird, so erkennt man, daß anstatt einer Kühlung auch eine Heizwirkung 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 zuzuführen.

Es zeigt sich, daß der Erfolg des beschriebenen Trennverfahrens bereits durch kleine, zwischen den einzelnen Hohlkörpern oder innerhalb derselben vorhandenen Temperaturunterschiede in Frage gestellt werden kann. Solche zeitliche oder örtliche Temperaturschwankungen können nämlich zusätzliche Gas-

strömungen verursachen, durch die die beabsichtigten in strömender Weise abgeben werden, oder es kann zu Turbulenz im Inneren eines Hohlkörpers und damit zu einer Vermischung der verschiedenen Gasfraktionen kommen. Beides wirkt sich natürlich störend auf den Trennvorgang aus.

Zur Vermeidung solcher Temperaturschwankungen ist es, wenn die Hohlkörper wie bei der Vorrichtung Fig. 1 sich unmittelbar berühren, zweckmäßig, einerseits für guten Wärmekontakt zwischen den einzelnen Hohlkörpern, andererseits für gute thermische Isolation 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 so weit nahe der Drehachse geeigneten Stellen in gutem Wärmekontakt. Die beiden Beringstellungen werden zweckmäßig mit den beiden benachbarten Temperaturbädern K in guten Wärmekontakt gebracht und durch diese auf übereinstimmender Temperatur gehalten. Um die Übereinstimmung der Temperatur auch bei stärkeren 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 einzeln durch entsprechende Mittel zu schützen sein.

Ein anderes Verfahren zur Herabminderung der besagten thermischen Störungen, durch welches gleichzeitig der Energieaufwand für den Antrieb der Zentrifuge stark ermäßigt wird, besteht darin, daß das rotierende System, gegebenenfalls einschließlich des Antriebs, in einem röhrenförmigen Behälter gesetzt wird, der mit Gas unter stark vermindertem Druck gefüllt oder vollständig gasleer gepumpt ist. Dabei kann bei getrennter Anordnung der Hohlkörper selbstverständlich auch für jeden Hohlkörper ein eigener Vakuumbehälter vorgesehen sein. Bei nicht räumlich getrennten Behältern ist es zweckmäßig, als Füllgas ein Gas mit kleinem Molekulargewicht und großer Wärmeleitfähigkeit zu verwenden.

Außer den von außen kommenden Störungen sind thermische Störungen dadurch zu erwarten, daß in dem Hohlkörpersystem zirkulierende Gasgemisch in den endständigen Hohlkörper (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 gegeben werden. Danach wird das Gas aus der Rohrleitung  $r_1$  an der der Drehachse benachbarten Stelle  $e_1$  Wärmekontakt mit dem umlaufenden Körper gebracht sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlkörper einzeln oder gemeinsam 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, gegebenenfalls einschließlich des Antriebs, einzeln oder gemeinsam in einem feststehenden, ganz oder teilweise luft- bzw. gasfrei gemachten Gehäuse untergebracht sind.

10. Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die genannten Fördervorrichtungen in den Hohlkörpern einströmenden und in den sie verbindenden Rohrleitungen andererseits bewirkte Strömungsgeschwindigkeit 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 gekennzeichnet, daß die die Überführung der in den einzelnen Hohlkörpern anfallenden leichteren bzw. schwereren Bestandteile in andere Hohlkörper bewirkende Federwirkung, dadurch hervorgerufen 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 zentrifugaler Richtung gefördert wird, auf relativ höherer Temperatur gehalten wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Umlauf der Gase zwischen den Hohlkörpern von einer weiteren kontinuierlichen Strömung in solcher Weise überlagert wird, daß ein oder mehrere Hohlkörper während des Betriebes von außen oder aus einem mitrotierenden Behälter frisches Gas- oder Dampfgemisch 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 Betriebes abgeführt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die sich in den einzelnen Hohlkörpern ansammelnden Fraktionen bei Beendigung des Zentrifugierens gegeneinander abgeschlossen werden.

14. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß in das Hohlkörpersystem eine solche Gasmenge eingeführt wird, daß ein Teil derselben sich in kondensiertem Zustande niederschlägt.

15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die mit der Konvektion des Gases in zentrifugaler und zentrifugaler Richtung verbundenen thermischen Effekte in der Weise unschädlich gemacht werden, daß die Begrenzungen

zugeführt, an der im selben Abstand von der Achse befindlichen 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  $e_2$  wird das Gas durch die kurze Rohrleitung  $b$  in einen zweiten Teil des Hohlkörpers I hinübergeleitet, 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 Kompressionswärme nach der Achse abgeleitet und damit unschädlich gemacht wird. Entsprechendes mit umgekehrter Strömungsrichtung und Wärmewirkung gilt für Hohlkörper V in Fig. 1.

Es hat sich ferner gezeigt, daß die mit den zentrifugal und zentrifugal gerichteten Gasströmungen verbundenen thermischen Effekte auch in der Weise unschädlich gemacht werden können, daß ein Hohlkörper, in welchem die eine Strömungsrichtung auftritt, in unmittelbarer Nähe eines Hohlkörpers, in welchem die entgegengesetzte Strömungsrichtung auftritt, in solcher Weise angeordnet wird, daß eine mögliche starke Trennungswand entsteht, die dem Wärmeübergang aus dem zentrifugal strömenden in das zentrifugal strömende Gas keinen messenswerten 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 Hohlkörpern auftretenden schwersten und leichtesten Fraktionen kontinuierlich während des Betriebes nach außen abgeleitet werden, während gleichzeitig an einer mittleren Stelle des Hohlkörpersystems ungetrenntes Gemisch mit derselben Geschwindigkeit von außen abgeführt wird. Von dieser Arbeitsweise kann, wie im folgenden gezeigt werden soll, je nach den besonderen Bedürfnissen mehr oder weniger stark abgewichen werden.

Soll beispielsweise die Zuleitung des Frischgases von außen her vermieden werden, so kann das Hohlkörpersystem auch von einem durch eine Leitung angegeschlossen, mitrotierenden kleineren Behälter aus gespeist werden, in welchem sich ungetrenntes Gemisch in komprimiertem oder kondensiertem Zustand befindet. Bei solcher Arbeitsweise sind dann insgesamt nur noch zwei nach außen führende Ableitungen erforderlich, und zwar diejenigen, die für die Entnahme der Trennprodukte aus dem rotierenden System vorgesehen sind.

Die Behälter, die für die Aufnahme der Trennprodukte bestimmt sind, können außerhalb des rotierenden 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 Austrittsöffnungen treten können.

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

Im Falle kondensierbarer Stoffe ergibt sich dabei die Möglichkeit, einen beträchtlichen Teil des Gemisches, insbesondere auch die als Endprodukte anzusehenden leichtesten und schwersten Fraktionen, in kondensiertem Zustand unterzubringen bzw. anzureichern. Dieser Fall ist in 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 ausreichend 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 abscheiden wird. In jenen Teilen ist nämlich infolge der Wirkung der Zentrifugalkraft der größte Druck im Dampfstrom 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 adsorbierten Zustand vorliegt.

In dem oben besprochenen Falle, daß die in den endständigen Hohlkörpern anfallenden Trennprodukte erst nach der Beendigung des Trennvorganges entnommen werden sollen, ist es im allgemeinen notwendig, die zu den betreffenden Hohlkörpern führenden Leitungen vor dem Auslaufen der Zentrifuge zu verschließen, damit sich die Fraktionen nicht nachträglich vermischen. Zu diesem Zwecke können in die betreffenden Leitungen Ventile eingebaut werden, welche, solange die Zentrifuge sich noch im hohen Umlaufzahl befindet, von außen durch Lösen einer Arretierung geschlossen werden können. Es hat sich indes 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 Zentrifugalkräfte zu bewerkstelligen. Eine Vorrichtung, welche diese Wirkung hervorbringen gestattet, ist beispielsweise in Fig. 4 dargestellt. Zwischen die miteinander zu verbindenden oder gegeneinander abzuschließenden Rohrteile  $R_1, R_2$  ist eine Erweiterung F eingeschaltet, in welcher ein Sperrkörper S durch eine Feder F eingepreßt wird. Wenn nun die genannte Vorrichtung in solcher Weise auf dem Rotationskörper angeordnet ist, daß die Verschiebung des Sperrkörpers S in einer in bezug auf die Drehachse O radialen 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 dem auf ihn wirkenden Zentrifugalkräfte entgegen der Federkraft aus der Rohrverengung E herausgedrückt wird, so daß eine Verbindung der beiden Rohrteile  $R_1$  und  $R_2$  zustande kommt, daß aber diese Verbindung selbsttätig aufgehoben wird, sobald am Ende des Versuchs die Umdrehungsgeschwindigkeit herabgesetzt wird.

**PATENTANSPRÜCHE:**

1. Vorrichtung zum Trennen von Gas- und Dampfgemischen unter Anwendung von Schwerefeldern, die durch eine hohe Umdrehungszahl der Hohlkörper hervorgerufen werden, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere auf einer gemeinsamen oder auf verschiedenen Achsen angeordnete, z. B. fünf Hohlkörper (I bis V), welche durch Leitungen, in denen Fördervorrichtungen angeordnet sind, derart miteinander verbunden sind, daß von jedem der Hohlkörper (II bis V), von einer der Drehachsen benachbarten Stelle die betreffenden Diffusionswirkungen ausgehend, nach dem in der Reihenfolge jeweils unmittelbar vorausgehenden Hohlkörper, ferner von jedem der Hohlkörper (I, II, III usw., ausgenommen Hohlkörper V), von einer am äußeren Rande des betreffenden Hohlkörpers befindlichen Stelle ausgehend, nach dem in der Reihenfolge jeweils nächsten Hohlkörper je eine Leitung geführt ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an den Hohlkörpern eine Zuleitung für die Zuführung von frischem Gemisch und je eine Ableitung an den beiden endständigen Hohlkörpern angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß an der zur Aufnahme des schwersten bzw. leichtesten Gasanteiles bestimmten Hohlkörpern eine Erweiterung ( $a_1$  bzw.  $a_2$ ) in radialer Richtung angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in die Hohlkörper verbindenden Rohrleitungen Ventile eingebaut sind, welche durch die Zentrifugalkräfte betätigt werden.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß von den die Hohlkörper verbindenden Rohrleitungen nur diejenigen, die das Gemisch im Sinne einer ansteigenden Hohlkörpernummerierung fördern, mit Fördervorrichtungen versehen sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Fördervorrichtung Thermopumpen vorgesehen sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmeabgabe nach außen durch in den umlaufenden Körper eingelegte, beidseitig nach außen hin offene Kanäle erfolgt, deren Eintritts- und Austrittsöffnungen im ungleichen Abstand von der Drehachse liegen und deren nach der Drehachse hin und von dieser weg führende Teilabschnitte in verschiedenen guten

Wärmekontakt mit dem umlaufenden Körper gebracht sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlkörper einzeln oder gemeinsam 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, gegebenenfalls einschließlich des Antriebs, einzeln oder gemeinsam in einem feststehenden, ganz oder teilweise luft- bzw. gasfrei gemachten Gehäuse untergebracht sind.

10. Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die genannten Fördervorrichtungen in den Hohlkörpern einströmenden und in den sie verbindenden Rohrleitungen andererseits bewirkte Strömungsgeschwindigkeit 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 gekennzeichnet, daß die die Überführung der in den einzelnen Hohlkörpern anfallenden leichteren bzw. schwereren Bestandteile in andere Hohlkörper bewirkende Federwirkung, dadurch hervorgerufen 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 zentrifugaler Richtung gefördert wird, auf relativ höherer Temperatur gehalten wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Umlauf der Gase zwischen den Hohlkörpern von einer weiteren kontinuierlichen Strömung in solcher Weise überlagert wird, daß ein oder mehrere Hohlkörper während des Betriebes von außen oder aus einem mitrotierenden Behälter frisches Gas- oder Dampfgemisch 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 Betriebes abgeführt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die sich in den einzelnen Hohlkörpern ansammelnden Fraktionen bei Beendigung des Zentrifugierens gegeneinander abgeschlossen werden.

14. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß in das Hohlkörpersystem eine solche Gasmenge eingeführt wird, daß ein Teil derselben sich in kondensiertem Zustande niederschlägt.

15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die mit der Konvektion des Gases in zentrifugaler und zentrifugaler Richtung verbundenen thermischen Effekte in der Weise unschädlich gemacht werden, daß die Begrenzungen

desagter Gasströme in gutem Wärmekontakt mit temperaturkonstant gehaltenen Teilen des rotierenden Systems gebracht werden.

16. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die mit der Konvektion des

Gases in zentrifugaler und zentrifugaler Richtung verbundenen thermischen Effekte in der Weise unschädlich gemacht werden, daß zwei entgegengesetzt gerichtete Gasströme in gutem Wärmekontakt miteinander gebracht werden.

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

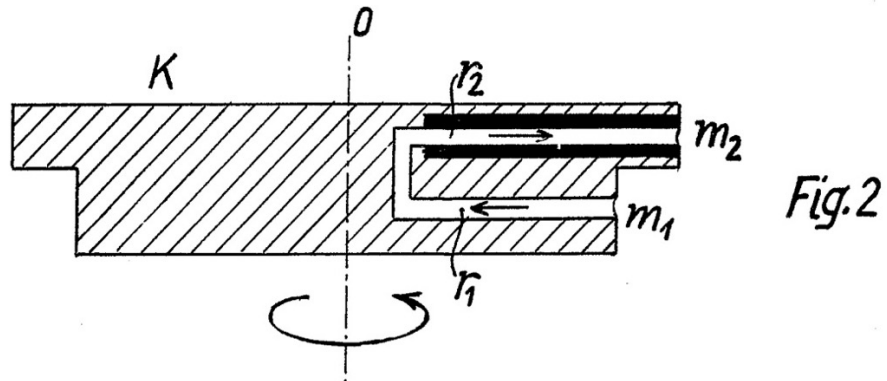


Fig. 2

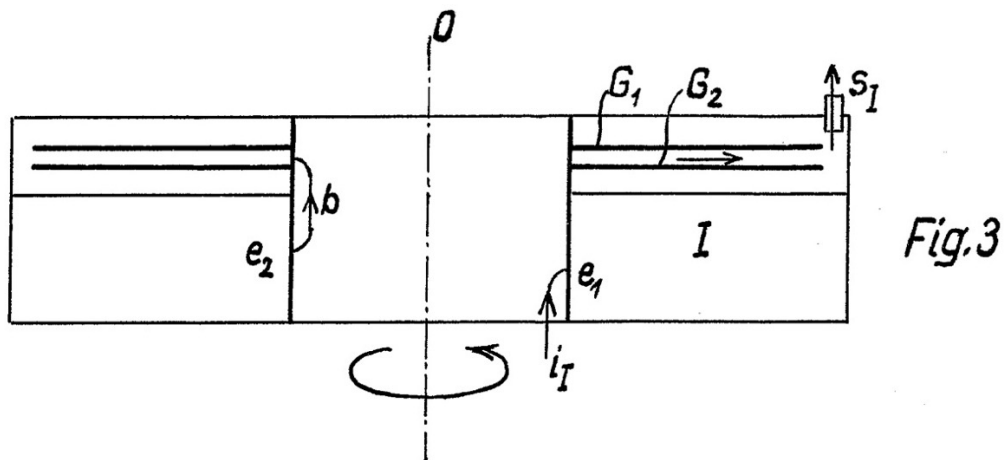


Fig. 3

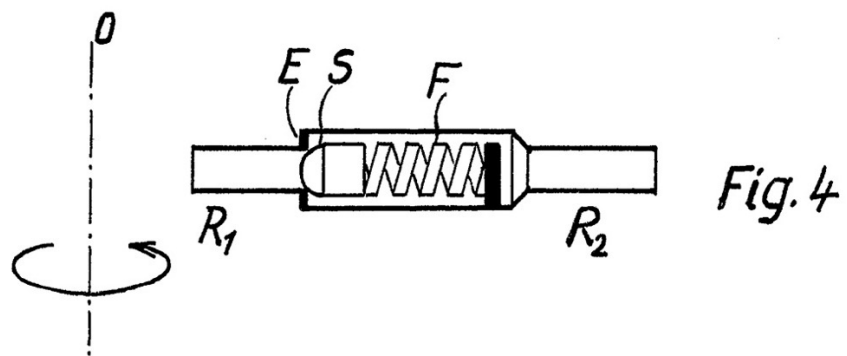


Fig. 4

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 Betrachtung<sup>1)</sup>, 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.

<sup>1)</sup> Vgl. vorstehende Mitteilung.



DECLASSIFIED  
Authority AND 857134

**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	<i>Azusa file</i>	PRIORITY
FROM	BERN SWITZERLAND		ROUTINE
TO	OFFICE OF STRATEGIC SERVICES		DEFERRED
DISTRIBUTION			III 21826
(FOR ACTION)	SHEPARDSON	(FOR INFORMATION)	DIRECTOR, SECRETARIAT, MAGRUDER, LOVELL.

1944 OCT 5 9 34

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 periferal 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].



DECLASSIFIED  
Authority *NND 917017*

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  
Tach.  
noise.*

"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)].



9.12.1941.

**\* Firma    Anschütz u.Co.,Kiel**

1) Der Ihnen am 11.8.1941 erteilte Auftrag auf Herstellung einer Ultrazentrifuge zur Wehrmachtauftragsnummer Wa F/I S Ho/071.1.3320/41/H gehörig, ist ein

,,Auftrag der Sonderstufe SS II/41 ,,

2) Wir bestätigen Ihnen ohne Einschränkung und Vorbehalt, dass die vorbezeichneten Gegenstände dazu bestimmt sind, unmittelbar oder in entsprechender weiter verarbeiteter Form als Bestandteil in ein Gerät einzugehen, das in der Sonderstufe geführt wird.

Eine gleichlautende Bestätigung unseres Auftraggebers besitzen wir in unseren Akten.

3) Wir bestätigen Ihnen, dass die in unserem Auftragschreiben genannten Mengen und Liefertermine richtig sind, d.h. dass wir keine grösseren Mengen gefordert und keine kürzeren Termine gesetzt haben, als zur Durchführung unserer Produktionssaufgabe unbedingt erforderlich sind.

4) Wir bestätigen ausserdem, dass die in den Ausführungsbestimmungen ADFW vom 31.12.40. enthaltenen Anordnungen bei der Weitergabe dieser Bestätigung eingehalten worden sind. Wir sind uns bewusst, dass auf Grund des Straferlasses des Reichsmarschalls vom 20.9.40 falsche Angaben unter 1. bis 4. nach Massgabe der Ziffer II der 2. Verordnung zur Durchführung des Vierjahresplanes vom 5.11.36 mit Gefängnis bestraft werden und übernehmen Ihnen gegenüber die volle strafrechtliche Verantwortung, dass die unter Ziffer 1. bis 4. gemachten Angaben zu Recht bestehen.

Heil Hitler  
Ihr

Mit ergebenen Grüssen und

kann.

mit die Herstellung der Zentrifuge gute Fortschritte machen

eigentlich warten, in nächster Zeit eintreffen werden, da-

auch die Leichtmetallegering, auf deren Lieferung wir

kommen einverstanden. Ich hoffe, dass die fehlenden Teile,

kreislauf gewährleistet und mit Ihren Vorschlägen voll-

zweifellos die grösste Betriebssicherheit für den Oel-

Im übrigen bin ich davon überzeugt, dass das Bosch-Material

stimmend ist.

Oelabscheiders für die Herstellung der Apparatur zeitbe-

die Lieferung der bestellten Luftpumpe und des zugehörigen

Ihres Auftrages gewandt und darauf hingewiesen, dass

an die Fa. Bosch in Stuttgart mit der Bitte um Beschleunig-

ferbar ist. Ausserdem habe ich mich auf Ihren Vorschlag

und im Laufe der nächsten Wochen in grösseren Mengen lie-

von Ihnen vorgeschlagenen Pumpen verwendet werden kann

um zu erfahren, ob das zu verwendene Apiezon-Oel in den

Soeben habe ich an die Fa. Leybold in Köln geschrieben

nung danken wir Ihnen vielmals.

für Ihr Schreiben vom 5.12.d.Js. und die beigefugte Zeich-

Sehr geehrter Herr Dr. Beyerle,

Ihre Zeichen: E.A.Dr.Bey/Rw. 80010.

Betr.: Herstellung einer Ultrazentrifuge, Oelkreislauf.

K i e l

Postschliessfach

Anschütz & Co. G.m.b.H.,

Titl.

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









AUSGEBEN AM  
5. NOVEMBER 1951

DEUTSCHES PATENTAMT  
PATENTSCHRIFT

Nr. 819 823

KLASSE 82b GRUPPE 10<sup>10</sup>

p 38205 III/82 b D

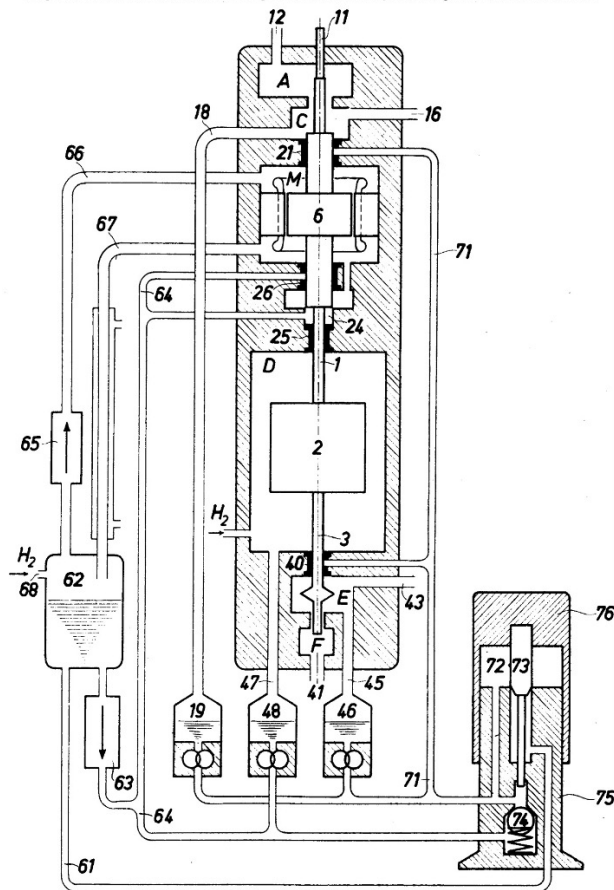
Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen  
ist als Erfinder genannt worden

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 apparatbaulichen 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



AUSGEBEN AM  
2. APRIL 1951

Eigentum  
des Deutschen Patentamts

DEUTSCHES PATENTAMT  
PATENTSCHRIFT

Nr. 803 507

KLASSE 47f GRUPPE 26

p 38206 XII/47 f 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

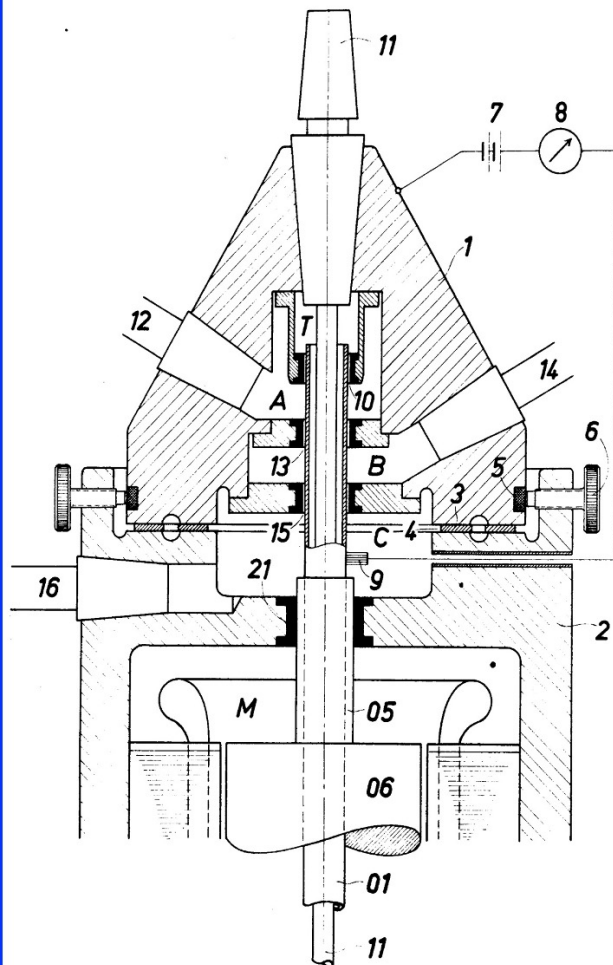


Figure D.153: After the (West) German patent office reopened in 1949, Konrad Beyerle filed a number of patent applications on gas centrifuges and closely related technologies, likely based on his wartime work at Anschütz.



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

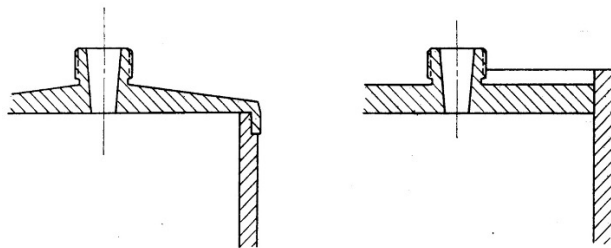


Bild 1

Bild 2

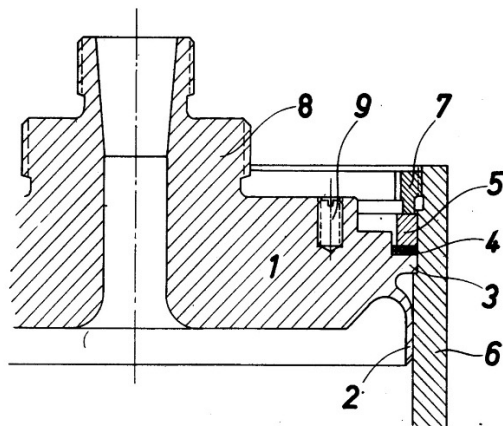


Bild 3

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

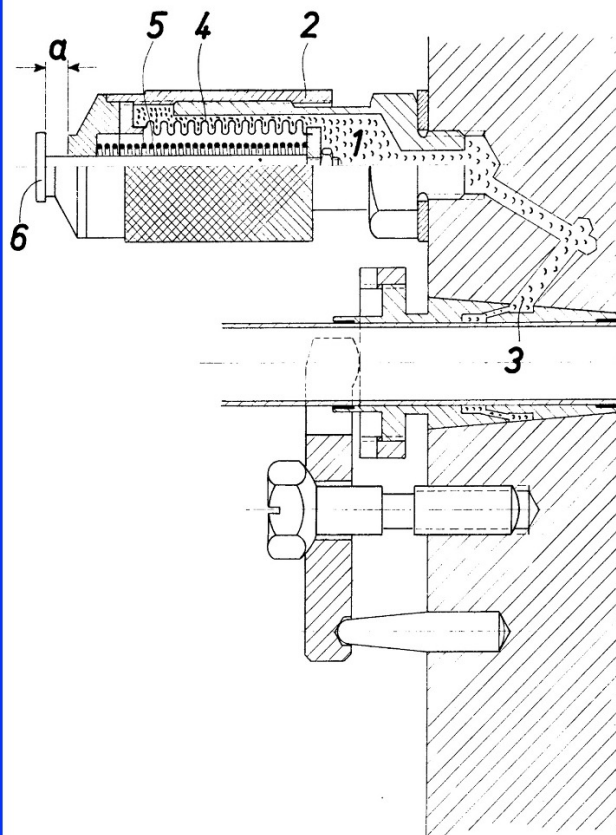


Figure D.154: After the (West) German patent office reopened in 1949, Konrad Beyerle filed a number of patent applications on gas centrifuges and closely related technologies, likely based on his wartime work at Anschütz.



AUSGEGEBEN AM 13. JULI 1953

DEUTSCHES PATENTAMT PATENTSCHRIFT

№ 882 770 KLASSE 421 GRUPPE 601

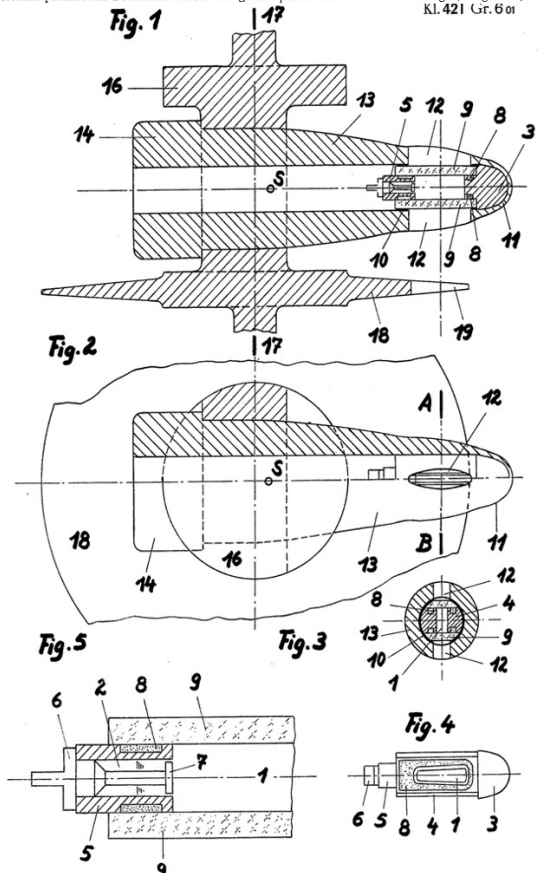
Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen ist als Erfinder genannt worden

Rotierendes System für Beobachtungszentrifugen zur Molekulargewichtsbestimmung

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 2. März 1950 an

Die Erfindung betrifft ein rotierendes System für Beobachtungszentrifugen zur Bestimmung von Molekulargewichten. Die der Sedimentation aus-

geordnet wird. Zwecks Schländerung schiebt man die Zellenhülle in eine Bohrung in der Nähe des



AUSGEGEBEN AM 23. JULI 1953

DEUTSCHES PATENTAMT PATENTSCHRIFT

№ 884 026 KLASSE 82b GRUPPE 1

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

Radialrohrzentrifuge

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 5. August 1950 an

Die Erfindung betrifft eine Radialrohrzentrifuge. Für präparative Arbeiten mit höchsten Normal-

praktische Handhabung infolge immer größer werdender prozentualer Stoffverluste nachteilig

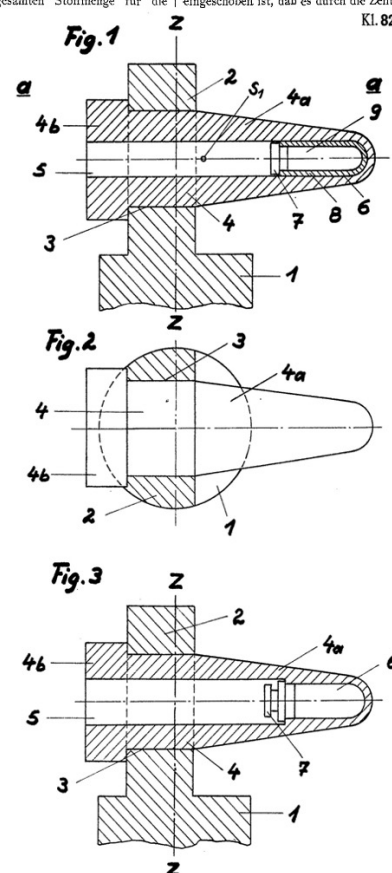


Figure D.155: After the (West) German patent office reopened in 1949, Konrad Beyerle filed a number of patent applications on gas centrifuges and closely related technologies, likely based on his wartime work at Anschütz.





AUSGEBEN AM  
27. JULI 1953

DEUTSCHES PATENTAMT  
PATENTSCHRIFT

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

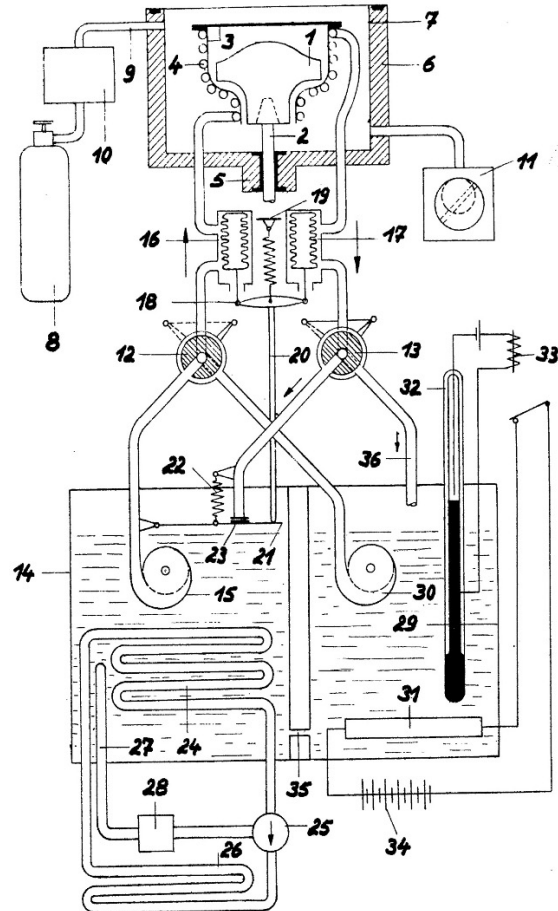
Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen  
ist als Erfinder genannt worden

Dr.-Ing. Konrad Beyerle, Göttingen

Temperieranlage für Ultrazentrifugen

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 7. September 1951 an  
Patentmeldung 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-  
5 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-  
15 trägheit die Anfangstemperatur bei. Das zweite Verfahren besteht darin, zwischen dem Läufer und der ihn umgebenden ruhenden Wand eine Gasatmosphäre 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-  
25 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



1  
Die Erfindung betrifft eine Radialrohrzentrifuge. Sie gehört zu der Gruppe von Radialrohrzentrifugen, die mit einer das Präparat aufnehmenden becherförmigen Zelle ausgestattet sind, deren Inneres durch einen Verschlusskörper abgeschlossen werden kann. Diese Zellen stehen senkrecht zur Rotationsachse. In das Innere wird das zu zentrifugierende Präparat eingesetzt.  
Es sind Zentrifugenröhrchen bekannt, die an ihrem einen Ende durch ein Verschlusglied verschließbar sind, wobei das zu zentrifugierende Präparat sich in einem Röhrchen vor dem Abschlußglied ansammelt. Weiterhin kennt man Zentrifugenröhrchen, in die ein Einsatzkörper zum Sammeln des zu gewinnenden Präparates eingesetzt ist. Der Einsatz hängt an einem Halter, mit welchem er aus dem Röhrchen herausnehmbar ist. Eine derartige Anordnung gestattet nicht das Verschließen des Röhrchens an dem dem Einsatz entgegengesetzten Ende. Außerdem besteht die Gefahr, daß der Halter für den Einsatz durch die Zentrifugalkräfte bei den hohen Tourenzahlen nach außen gedrückt wird.  
Die Erfindung verwendet eine um die Rotationsachse umlaufende, becherförmige Zelle mit einem Verschlusskörper am Boden. Am Boden ist ein herausnehmbarer Einsatz in Form eines Napfes eingebracht, der zur Aufnahme des Sedimentes dient. Der Einsatz trägt auf der Innenseite Rasten als Ansätze für die Enden einer zum Einsetzen und Herausnehmen des Einsatzes dienenden Zange. Das Einsatzstück kann auch zwei Höhlungen tragen, die durch einen axialen kurzen Kanal miteinander verbunden sind. Die dem Boden der Zelle zugekehrte Höhlung des Einsatzstückes kann durch eine aufsetzbare Kappe bzw. eine aufschraubbare Haube besonders abgeschlossen sein. Es können mehrere napfförmig gestaltete Einsatzstücke mit je einem axialen kurzen Kanal im Boden der Zelle in radialer Richtung hintereinander eingesetzt sein, so daß in den einzelnen Einsätzen Sedimente mit verschiedenen Zusammensetzungen sich anreichern können. Die verschiedenen, in radialer Richtung hintereinanderliegenden Einsatzstücke können durch gegenseitiges Verschrauben auch zu einem einzigen Aggregat vermist sein. Dann können die Einsätze gemeinsam aus der Zelle herausgenommen werden.  
Erfindungsgemäß kann neben einem napfförmigen Einsatz zum Sammeln des Sedimentes am Boden der Zelle in einem Abstand von dieser nach der Rotationsachse zu ein weiterer gegensätzlich gerichteter napfförmiger Einsatz mit Sammelkammer vorgesehen sein. Von dieser Sammelkammer führt dann ein Gasausgleichskanal zu dem dieses Einsatzstück umgebenden Vorratsraum für das Präparat. Die beiden einander

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 dem durch diese gebildeten Präparatskammer 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 Präparatportion. Auch können spezielle präparative Techniken durch die erfindungsgemäße Lösung durchgeführt werden.  
Die Erfindung ist in mehreren Ausführungsbeispielen in den Zeichnungen jeweils in 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,

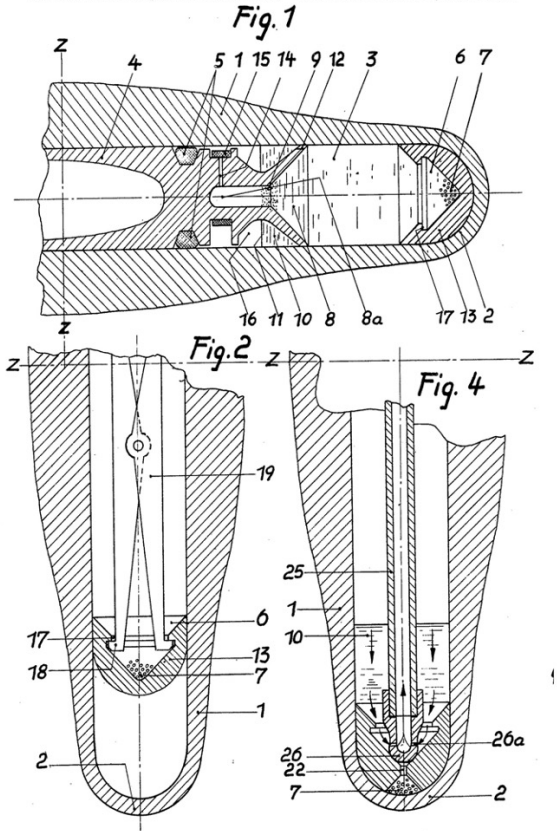


Figure D.156: After the (West) German patent office reopened in 1949, Konrad Beyerle filed a number of patent applications on gas centrifuges and closely related technologies, likely based on his wartime work at Anschütz.

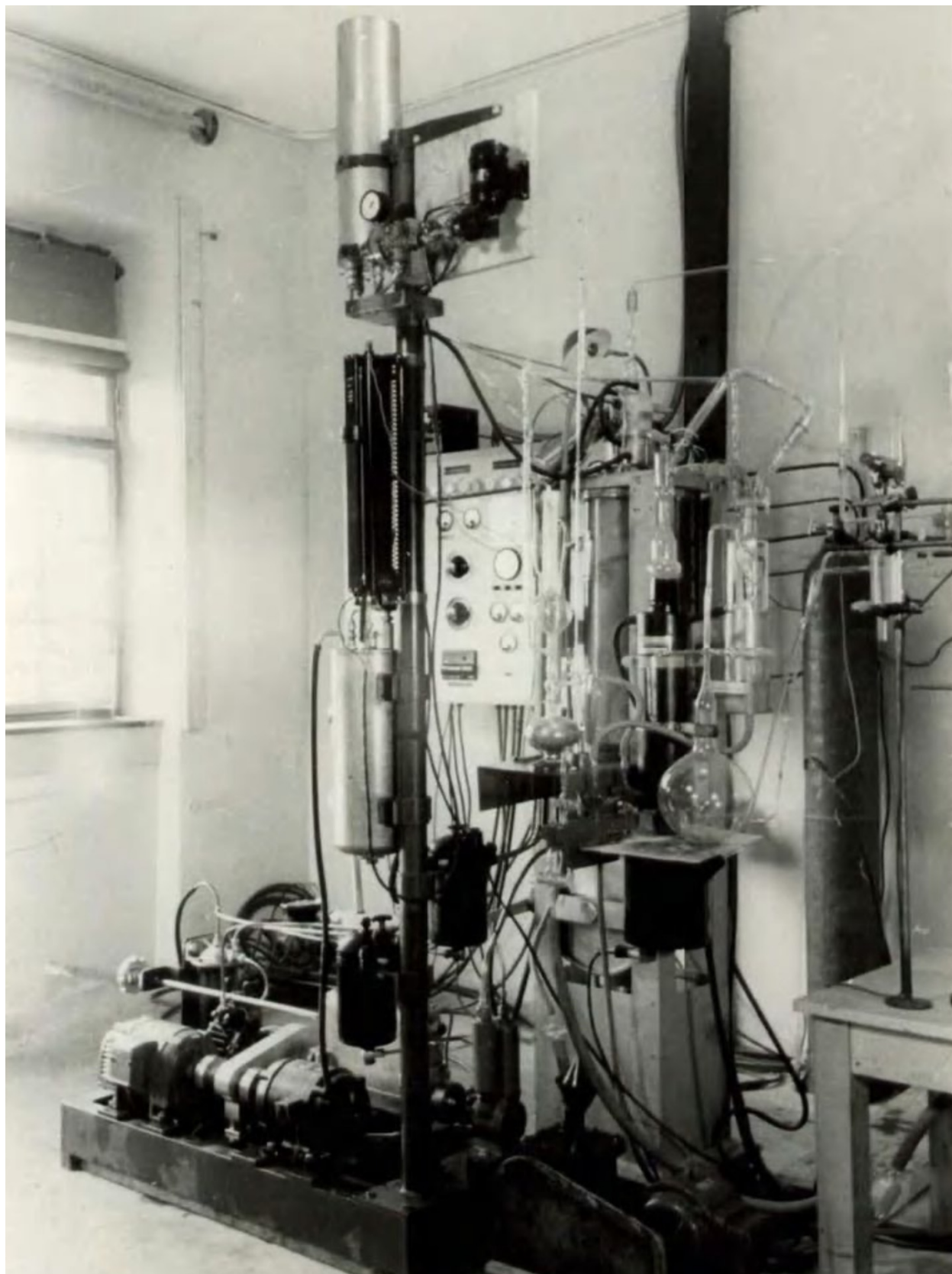


Figure D.157: Two small prototype uranium gas centrifuges manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].



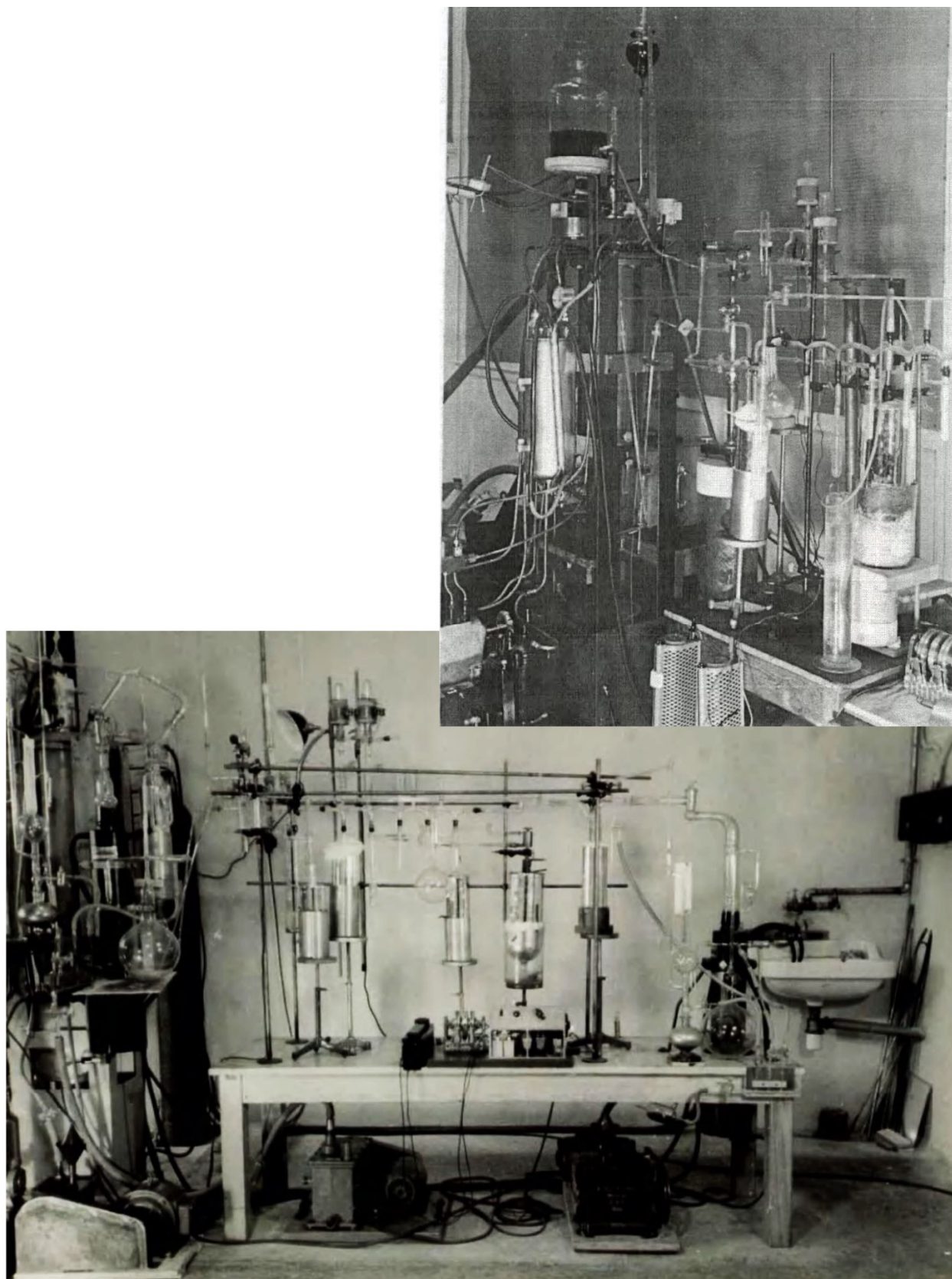


Figure D.158: Systems for collecting and analyzing different fractions produced by uranium gas centrifuges from Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].

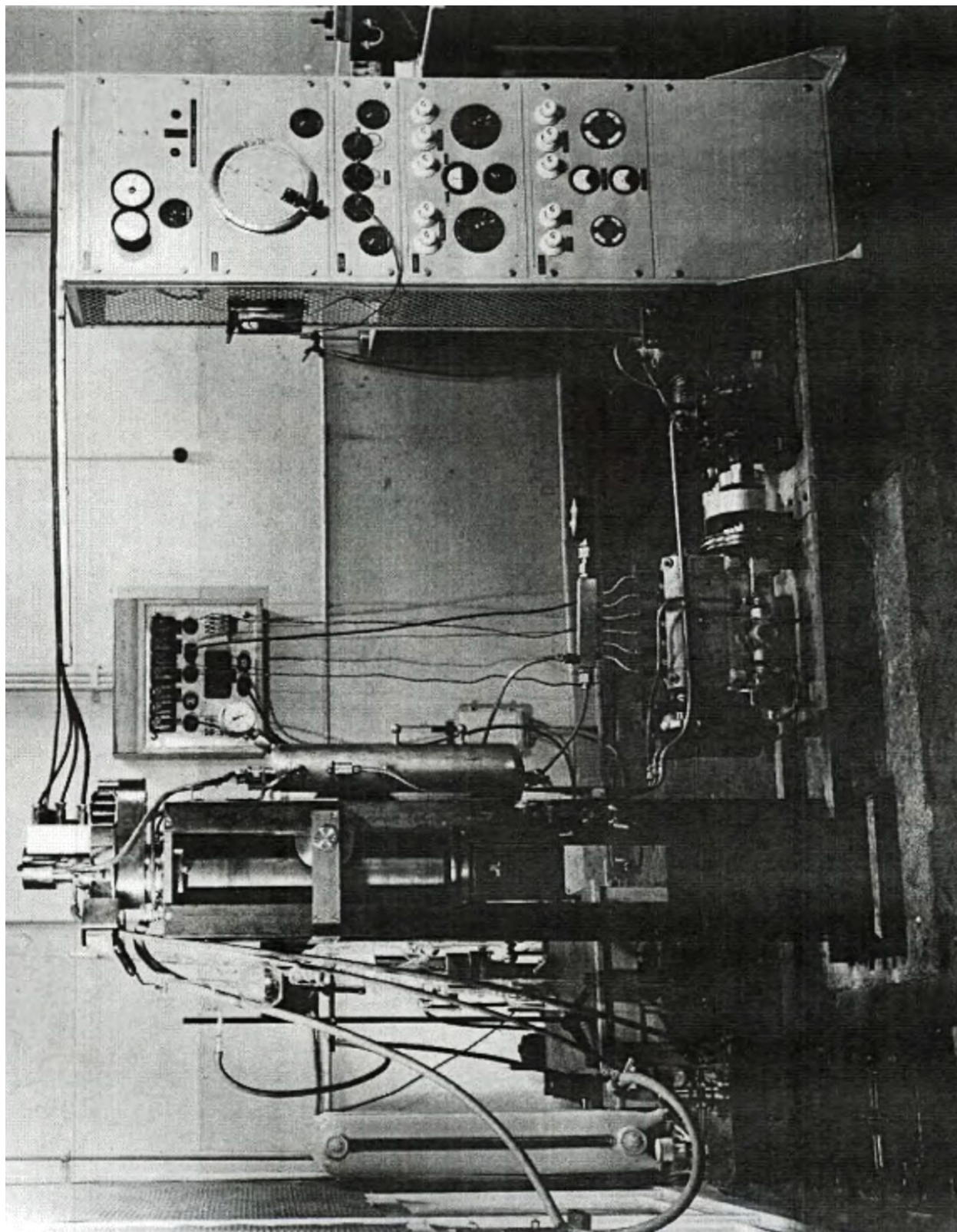


Figure D.159: Large uranium gas centrifuge and control panel manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].



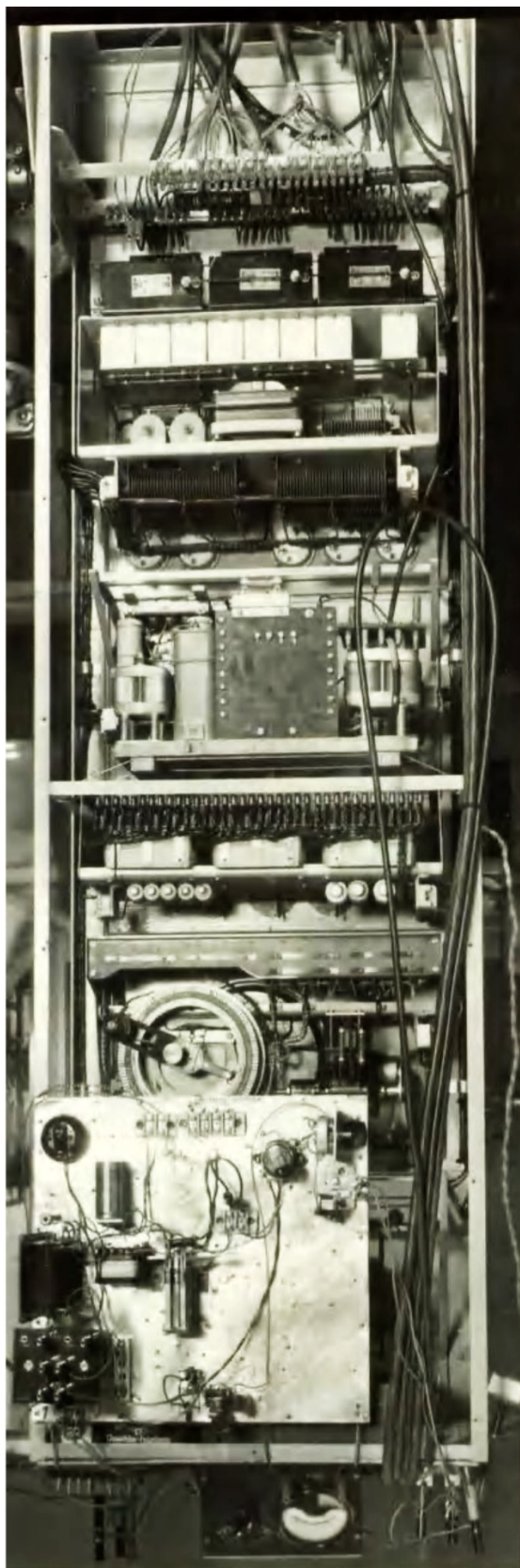
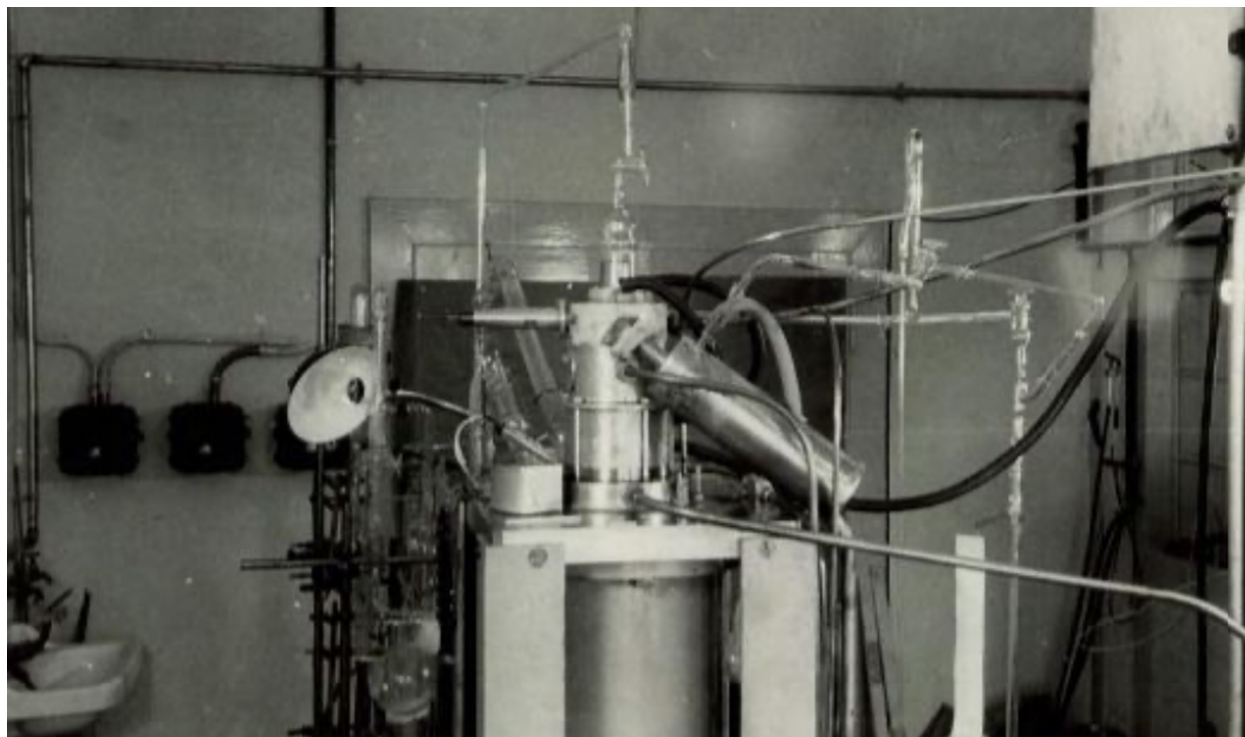
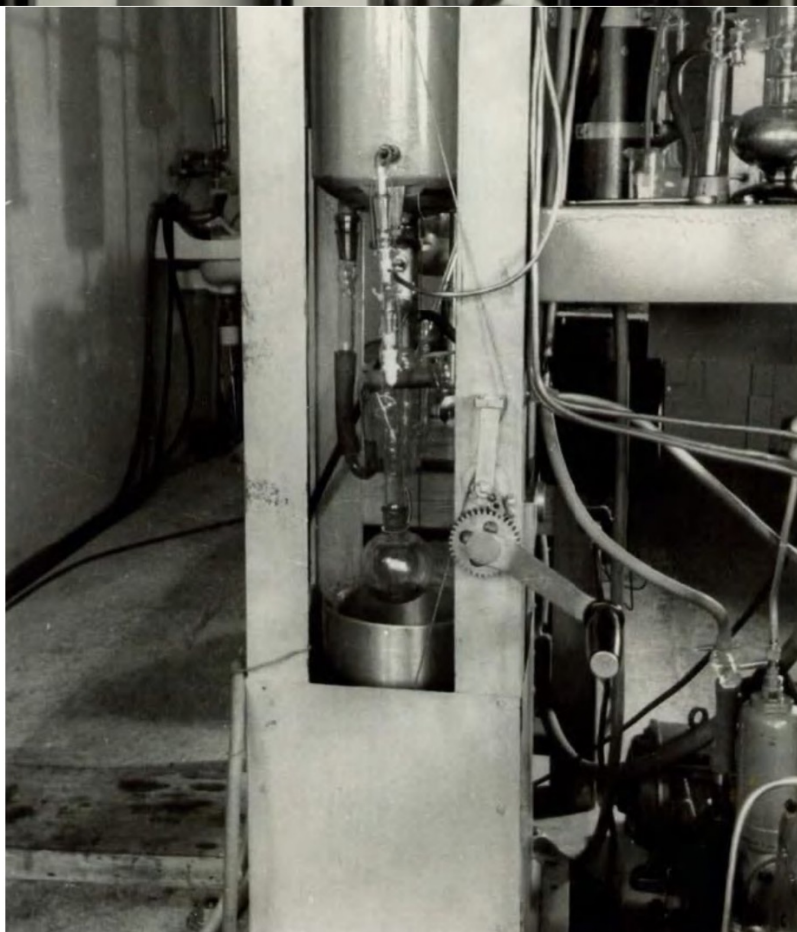


Figure D.160: Interior of the control panel for the large uranium gas centrifuge manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].



**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].



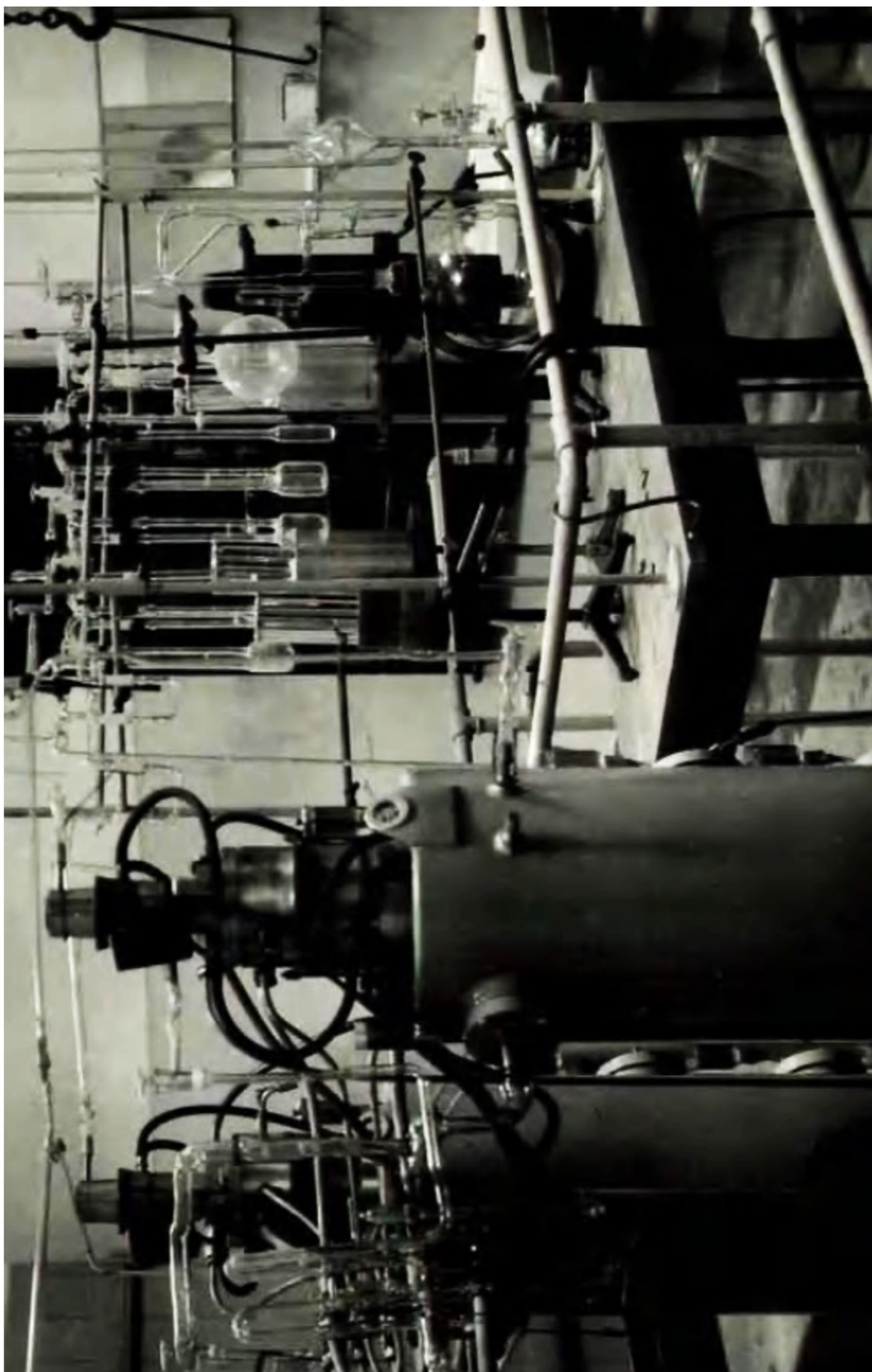


Figure D.162: Two large uranium gas centrifuges manufactured by Hellige in Freiburg, circa 1943 [Deutsches Museum Archive FA 002/811].



DECLASSIFIED  
Authority *NND 917017*

*DMH* *28596* *Card of Jolles*  
 CONFIDENTIAL COPY NO. 66 *P.*  
 C.I.C. 75/295 *Perm.*  
 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 Helliger & 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

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

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 Zentrifugeneentwicklung 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 PHYNE 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.

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.

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

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. 3709] 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. 3494–3515), which had decades of experience making advanced gyroscopes (p. 1500).
- PHYWE (Physicalische Werkstatte) in Göttingen (p. 3543), which also made extremely advanced liquid centrifuges for biochemical research (pp. 2397–2399).
- Linde Eismaschinen in Munich (pp. 3498–3507), which had decades of experience with gas handling and rotating compressor machinery.
- Hellige in Freiburg (pp. 3512–3540).
- Hellige in Breslau/Wrocław (p. 4522).
- One or more factories in Switzerland for export to Germany (pp. 3545–3548). 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. 3546–3548. [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.]



*Eopin*

American Documents  
DECLASSIFIED  
8/20/8  
BY MHC

**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.

British Documents  
DECLASSIFIED  
DCE 8803942A-HS  
BY MHC

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

DECLASSIFIED  
NND 76018  
BY FW MAR 85 3/12/81

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

American Documents

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

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

DECLASSIFIED  
812018  
By MHC Date 2/6/89

**SECRET**

Major R. R. Furman

-2-

March 14, 1944

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



British Documents

American Documents

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

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

DECLASSIFIED  
812018  
By MHC 2/6/89

①

1/2/SRD

ACCESS RESTRICTED

The item identified below has been withdrawn from this file:

File Designation Eldorado, C. R. & U. Co. DSM  
Date 23 Oct. 42  
From U.K.  
Subj: B. Progel & C. Chilowsky

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:

WITHDRAWAL NOTICE

- Security-Classified Information
- Otherwise Restricted Information

DOE  
Authority

1972 (by AEC)  
Date

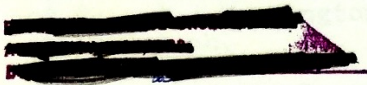
Figure D.166: A Swiss factory was producing uranium centrifuges and sending them to Germany, apparently in 1942; details are still classified. [H. T. Wensel to Robert Furman, 14 March 1944. NARA RG 227, Microfilm M1392, Bush-Conant File Relating to the Development of the Atomic Bomb, <https://downloads.paperlessarchives.com>,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

DECLASSIFIED  
Authority MWD 933079

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

*Haycock file*  
*Gas Centrifuges*

June 9, 1965



Der Spiegel

A fence as high as a man in the Stetternich Forest near Julich hides Bonn's most recent monument to scientific political initiative: the federally owned Company for Nuclear Process Engineering (GKT)

Four research buildings and barracks equipped with modern instruments and built with almost 3 million Marks of taxpayers money, idly await their users:

Instead of the expected 35 scientists and engineers so far only 4 have moved into the buildings over the newly built access road.

Of 19 technicians transferred to Julich at the end of 1964 by the Frankfurt metallurgic enterprise, Degussa, 16 have in the meantime deserted.

Thus the first and up to now only West German attempt to combine atomic scientific development groups at one location, as per the American example, is threatened with failure.

In the USA the usefulness of such combined effort has proved itself because the concentration of scientists with its attendant continuous exchange of experimental results avoided expensive parallel development and thereby also accelerated the research.

Granted in West Germany another motive led to the Julich co-op plan. One of the gas centrifuges developed by Bonn's Professor Wilhelm Groth was declared a state secret at the behest of Washington. With this centrifuge it is possible to separate the highly radioactive uranium 235, which is contained in natural uranium metal only to an extent of 0.714% from the isotopes 234 and 238 and thereby obtain the intensive radiation needed for commercially useful nuclear fuel. (sic!)

But while the scientific officials and the professorial nuclear researcher Groth thought only of the cheap nuclear power of the future, the Americans suspected something terrible. They feared that this knowledge of the German researchers, which is just as useful in making atom bombs - spread out in many locations, its security classification poorly protected - would

NO DEPT. OF ENERGY CLASSIFIED  
INFORMATION (NO RD/FRD/██████)  
COORDINATE WITH: DOS  
BEFORE DECLASSIFICATION/RELEASE  
AUTHORITY: DOE-DPC  
BY E. B. BARNES, DATE:

*E. Barnes 3/26/86*  
*W. Home 4/1/86*

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. 3289).



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

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 Professor 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. 3289).

**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”) Schutte 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** <sup>8</sup>. **Most of the rest is imported from Europe** <sup>9</sup>. **A final, smaller portion is produced by a British-Dutch-German consortium operating in the United States** <sup>10</sup>. [...]

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.**

---

<sup>8</sup>[From Rosatom, using German-developed centrifuges.]

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

<sup>10</sup>[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. cyclotrons 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 Spectroscopy 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  $6 \times 10^{-8}$  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/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup> 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 Brennlinie zielt, trotz des abstoßenden Einflusses der Raumladung in einer anderen Brennlinie 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

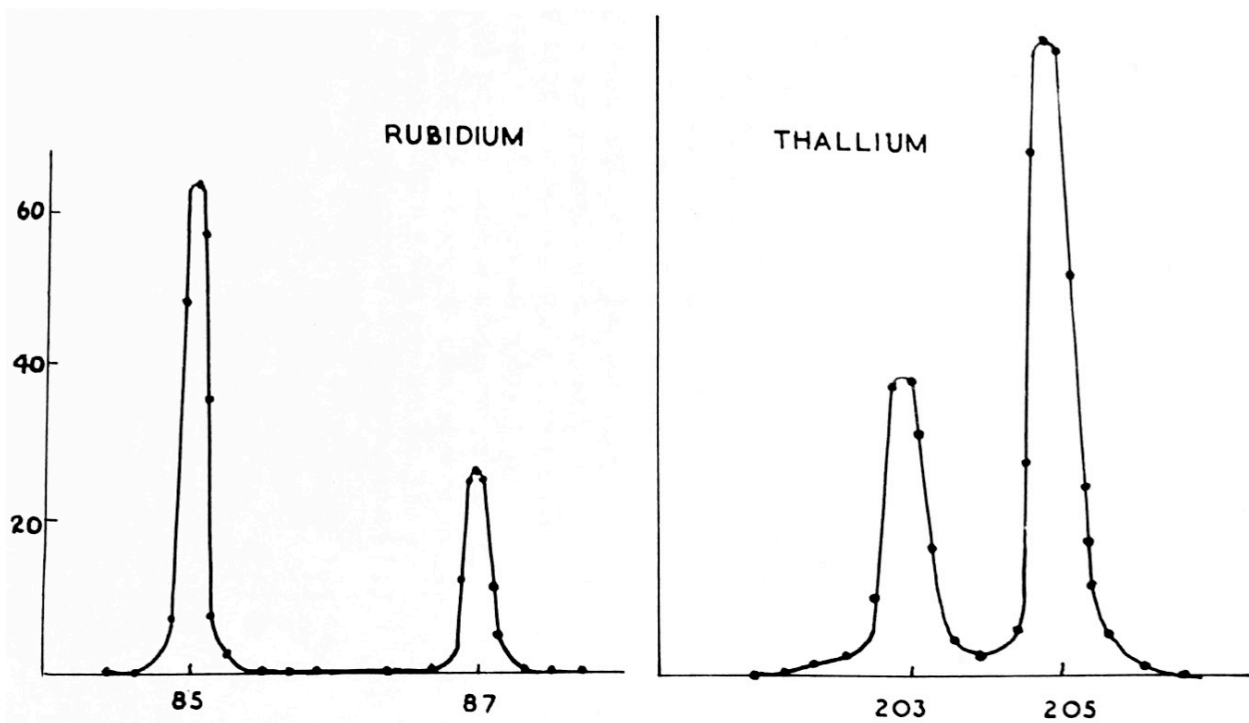
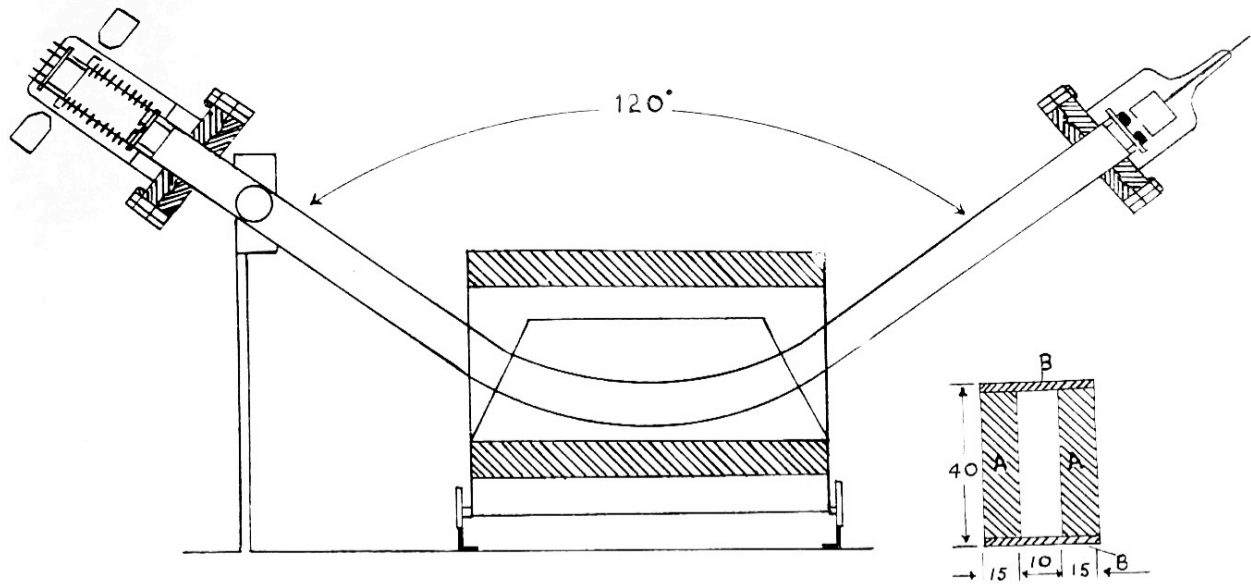


Figure D.169: Wolfgang Paul's electromagnetic mass spectrometer for separating/analyzing isotope mixtures [BIOS 1487].





Figure D.170: 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-Meguín 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. 3563–3570. 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 eine neuen magnetischen Isotopentrenner für hohen Massentransport. April 1942. [From Moscow archive, courtesy of Rainer Karlsch]**

[See pp. 3571–3592. 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. 3590).]

**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. 4183–4184.]



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.171: 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) - 2 -

duplicate copy 1 (57) UNCLASSIFIED

Eine neue Methode zur magnetischen Isotopentrennung.

von Heinz Ewald.

This document has been declassified by author issuing institution. Is. 14/1/2003 dated 14/1/2003

**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 in 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.<sup>1)</sup>

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 U)  
 (b) K.P. Jakowlew, Z. Phys. 64, 376, 1930 (Ne-Trennung in einer Aston-Apparatur,  $10^{-7}$ - $10^{-8}$ g).  
 (c) M.L. Oliphant, E.S. Shive, B.M. Crowther, Proc. Roy. Soc. Lond. 146, 922, 1934. ( $Li^6$  und  $Li^7$ , Größenordnung  $10^{-7}$ g).  
 (d) E.L. Yates, Proc. Roy. Soc. Lond., 168, 148, 1938. ( $3 \cdot 10^{-5}$ g  $Li^7$ ,  $2 \cdot 10^{-6}$ g  $B^{10}$  und  $B^{11}$  und einige  $10^{-6}$ g  $C^{12}$ ).  
 (e) A.O. Nier, E.T. Booth, J.R. Dunning, A.V. Grosche, Phys. Rev. 57, 546, 1940. (Einige  $10^{-7}$ g  $U^{238}$ ).  
 (f) Dieselben, Phys. Rev. 57, 748, 1940. ( $4 \cdot 10^{-6}$ g  $U^{238}$ ).  
 (g) K.H. Kingdon, H.C. Pollock, E.T. Booth, J.R. Dunning, Phys. Rev. 57, 749, 1940. ( $1,8 \cdot 10^{-6}$ g  $U^{238}$ ).

- 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 Mass 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 Polschuhspalt 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 Ionenausbeute und des Auflösungsvermögens zu suchen.

**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 s w e i e r 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-

Allen üblichen Massenspektrographen gemeinsam ist die Verwendung eines eng gebündelten Ionenstrahles, der nach Durchtritt durch einen relativ engen Eintrittsspalt 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 Emissionsdichte 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-Rumbaugh-West u.s. und von Walcher<sup>1)</sup>

1) (a) W.R. Smythe, L.H. Rumbaugh, S.W. West, Phys. Rev. 45, 724, 1934 ( $10^{-5}$ g  $K^{39}$  und  $10^{-6}$ g  $Li$ ).  
 (b) L.H. Rumbaugh, Phys. Rev. 49, 882, 1936.  
 (c) L.H. Rumbaugh, L.R. Hafstad, Phys. Rev. 50, 681, 1936. ( $2 \cdot 10^{-5}$ g  $Li^6$  und  $2 \cdot 10^{-4}$ g  $Li^7$ ).  
 (d) W.R. Smythe, A. Hemmendinger, Phys. Rev. 51, 146, 178, 1937. ( $1,7 \cdot 10^{-4}$ g  $K^{39}$  / h).  
 (e) A. Hemmendinger, W.R. Smythe, Phys. Rev. 51, 1052, 1937. ( $2 \cdot 10^{-3}$ g  $Hb$ ).  
 (f) W. Walcher, Z. Phys. 100, 376, 1938 ( $6 \cdot 10^{-6}$ g/h  $Hb^{85}$  und  $2 \cdot 10^{-6}$ g/h  $Hb^{87}$ ).

- 4 -

Fig. 1. Prinzip der Trennung.

gebenen Richtung  $\epsilon$  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 Eintrittsspalt  $E'$ .

Figure D.172: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].



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 Einfallrichtung 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-Bambaugh-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 Magnetringes (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.

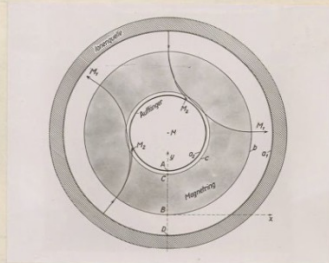


Fig. 4. Anordnung mit ringförmigen Magnetfeld, Aussenionenquelle und Innenauffänger für die schwere Masse.

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) Polschuhes, 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.

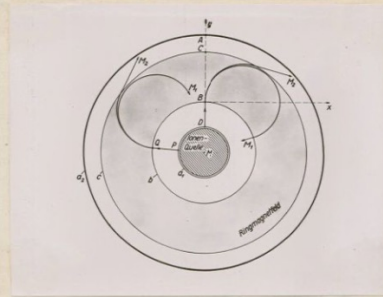


Fig. 2. Anordnung mit ringförmigen Magnetfeld, Innenionenquelle und Aussen-auffänger für die schwere Masse

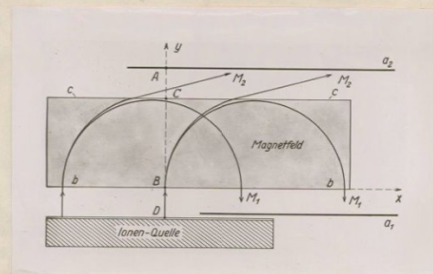


Fig. 3. Lineare Ausführung mit langen, rechteckigen Polschuh, Grenzfall des Ringmagneten.

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  $k$  l e i n e Winkelabweichungen der maximalen Grösse  $\pm \alpha$  von der im Idealfall geforderten radialen Anfangsrichtung der Ionen zugelassen sind.  $s$  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 Biscels, 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  $k_{I, I}$  und  $k_{II, I}$  und  $k_{I, II}$  gegeben.

Wenn wir fordern, dass die beiden Massen im Sinne des angegebenen Trennprinzips an der Trenngrenze  $c$  <sup>1)</sup> gerade vollständig getrennt werden sollen, stellen wir damit ganz bestimmte geometrische Bedingungen: die inneren Grenzkreise  $k_{II, I}$  und  $k_{I, II}$  überschneiden sich in einem auf dem Trennkreis  $c$  liegenden

1) Genaу 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 Magnetringsbegrenzung  $c$ .

Figure D.173: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].



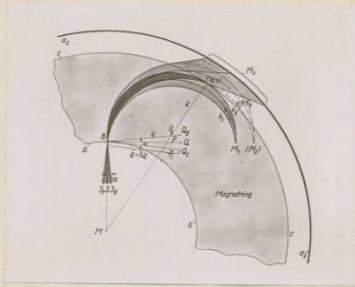


Fig. 5. Zum Auflösungsvermögen der Anordnung mit Innenionenquelle.

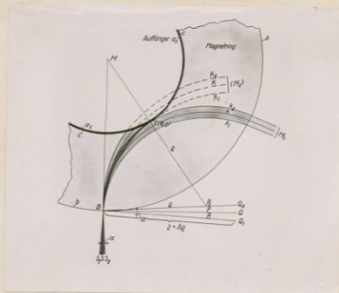


Fig. 6. Zum Auflösungsvermögen der Anordnung mit Außenionenquelle.

Da sich diese Kreise im Punkte  $Z(\xi, \eta)$  schneiden, ergibt sich aus den Gleichungen durch Elimination in einfacher Weise die Beziehung

$$\frac{\rho}{\delta\rho} = \frac{1}{2\alpha} \left( \frac{\xi}{\eta - r_0} - \alpha \right)$$

Weiter folgt aus den geometrischen Verhältnissen der Fig. 7

$$\begin{aligned} (\eta - r_0 - \xi \cdot \alpha) : r_0 &= \rho : (r_0 - \rho) \\ \rho : \xi &= (r_0 - \rho) : r_0 \end{aligned}$$

$$\frac{\xi}{\eta - r_0} = \frac{r_0}{r_0 + \rho \cdot \alpha}$$

und damit ergibt sich (Auflösungsvermögen)

$$\frac{M}{\delta M} = \frac{1}{2} \frac{\rho}{\delta\rho} = \frac{1}{4\alpha} \frac{r_0 - r_0 \cdot \alpha}{r_0 + \rho \cdot \alpha}$$

und schliesslich wieder unter Vernachlässigung höherer Potenzen von  $\alpha$

$$\frac{M}{\delta M} = \frac{1}{4\alpha} \frac{r_0}{r_0}$$

Das Auflösungsvermögen ist also proportional dem Radienverhältnis  $r_0/r_0$ . Es ist aber

$$\begin{aligned} r_0/r_0 &< 1 && \text{wenn Ionenquelle aussen} \\ &= 1 && \text{beim geraden Grenzfall} \\ &> 1 && \text{wenn Ionenquelle innen} \end{aligned}$$

Eine Anordnung mit Innenionenquelle ist also am günstigsten und ist daher, wie wir sehen werden, für die Trennung bei den schwersten Elementen vorzuziehen. Es wäre an sich sogar wünschenswert,  $r_0$  gross gegen  $r_0$  zu machen, dagegen spricht aber, dass dann die Ionenquelle und damit die Ionenausschleube zu klein werden würden. Praktisch muss daher zwischen beiden Gesichtspunkten ein Kompromiss geschlossen werden, ein Wert  $r_0/r_0 = 2$  dürfte etwa angebracht sein.

Bei einer Anordnung mit Außenionenquelle hat man die Vorteile einer sehr grossen und damit ergiebigen Ionenquelle und einer vielleicht leichteren experimentellen Durchführung, diese Vorteile müssen in manchen Fällen den Nachteil des geringeren Auflösungsvermögens aufwiegen. Praktisch wird  $r_0/r_0$  etwa 1/2 betragen.

Punkte  $Z$ , so dass der Kreis  $k_{II}$  den Kreis  $c$  in  $T$  berührt. Die Radien der Kreise  $k$  und  $K$  seien  $\rho$  und  $\rho + \delta\rho$ . Wenn wir für eine bestimmte Anordnung - gegeben seien die Radien  $r_0$  und  $r_0$  und die Winkeldivergenz  $2\alpha$  - das Auflösungsvermögen angeben wollen, dann genügt es, das Verhältnis  $\rho/\delta\rho$  für die beiden Kreise  $k_{II}$  und  $K_I$  zu bestimmen. Denn aus der Beziehung

$$\rho = \frac{\text{const.} \cdot \sqrt{M \cdot U}}{H}$$

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

$$\frac{M}{\delta M} = \frac{1}{2} \frac{\rho}{\delta\rho}$$

Wenn wir den Ursprung des Koordinatensystems 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  $\alpha$ ):

$$(x - \rho)^2 + (y - r_0 - \rho \cdot \alpha)^2 = \rho^2$$

$$(x - (\rho + \delta\rho))^2 + (y - r_0 + (\rho + \delta\rho) \cdot \alpha)^2 = (\rho + \delta\rho)^2$$

$$x^2 + y^2 = r_0^2$$

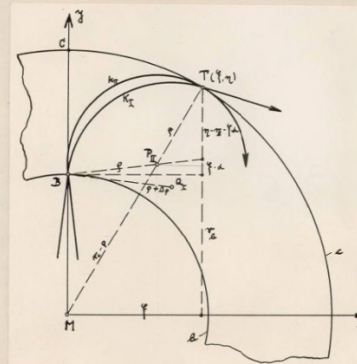


Fig. 7. Ableitung des Auflösungsvermögens.

Gegenüber den kreisförmigen Anordnungen dürfte eine Anordnung mit geradem, langen Polschuh wohl nur theoretisches Interesse haben, da die Herstellung der Apparatur sehr viel mehr Aufwand erfordern würde. Eine Anlage, die im wesentlichen nur aus Drehteilen besteht, ist immer am leichtesten zu verwirklichen.

Vor allem haben aber die kreisförmigen Anordnungen einen wesentlichen Vorzug gegenüber der geraden Ausführung und gegenüber allen bisher gebauten Apparaten: Infolge des runden, endlosen Ionenaustrittsschlitzes der Ionenquelle entsteht eine in sich geschlossene, ebene Ionenstrahlfläche, die über die ganzen  $360^\circ$  keine Unterbrechung aufweist. Das hat zur Folge, dass sich die Raumladungskräfte innerhalb der Ionenfläche in azimuthaler Richtung überall kompensieren und daher das Auflösungsvermögen nicht verschlechtern können. Das gilt für beliebige grosse Ionenströme, vorausgesetzt dass es gelingt, Ionenquellen zu bauen, die längs ihrer Peripherie eine genügend homogene Emissionsdichte aufweisen. Die Potentialdifferenzen, die infolge der Raumladungseinheiten in radialer Richtung auftreten, werden das Auflösungsvermögen nicht wesentlich beeinflussen können, solange sie klein bleiben gegen die angewandte Beschleunigungsspannung der Ionen. Diese Forderung dürfte bei den in Frage kommenden Ionenstromdichten wohl noch hinreichend gut erfüllt sein. Die Kräfte schliesslich, die senkrecht zur ebenen Ionenfläche wirken und ein Divergieren der Ionen in dieser Richtung hervorrufen, sind an sich wegen der flächenhaften Verteilung des Stromes so klein wie möglich, dann ist aber eine schwache derartige Divergenz sicher nicht von grossem Einfluss auf die Auflösung. Schon Smythe, Rumbaugh und West <sup>1)</sup> geben aber ihrer Ionenquelle eine zusätzliche Zylinderlinsenwirkung in der fraglichen Richtung, die es gestattet soll, die Divergenz oder Konvergenz der Strahlen zu regeln.

Nun bleibt noch zu überlegen, welcher  $\alpha$ -Wert einzusetzen ist. Eine Winkeldivergenz der Strahlen von der radialen Anfangsrichtung muss durch eine kleine, in azimuthaler Richtung wirkende Spannungskomponente (Querspannung  $U_{\text{Quer}}$ ) hervorgerufen werden. Die Abhängigkeit der Winkeldivergenz  $\alpha$  von einer solchen kleinen Querspannung  $U_{\text{Quer}}$  und der Beschleunigungsspannung  $U$  ist durch die Beziehung

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

1) W.R.Smythe, L.H.Rumbaugh, S.S.West, Phys.Rev.45,726,1934.

Figure D.174: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].



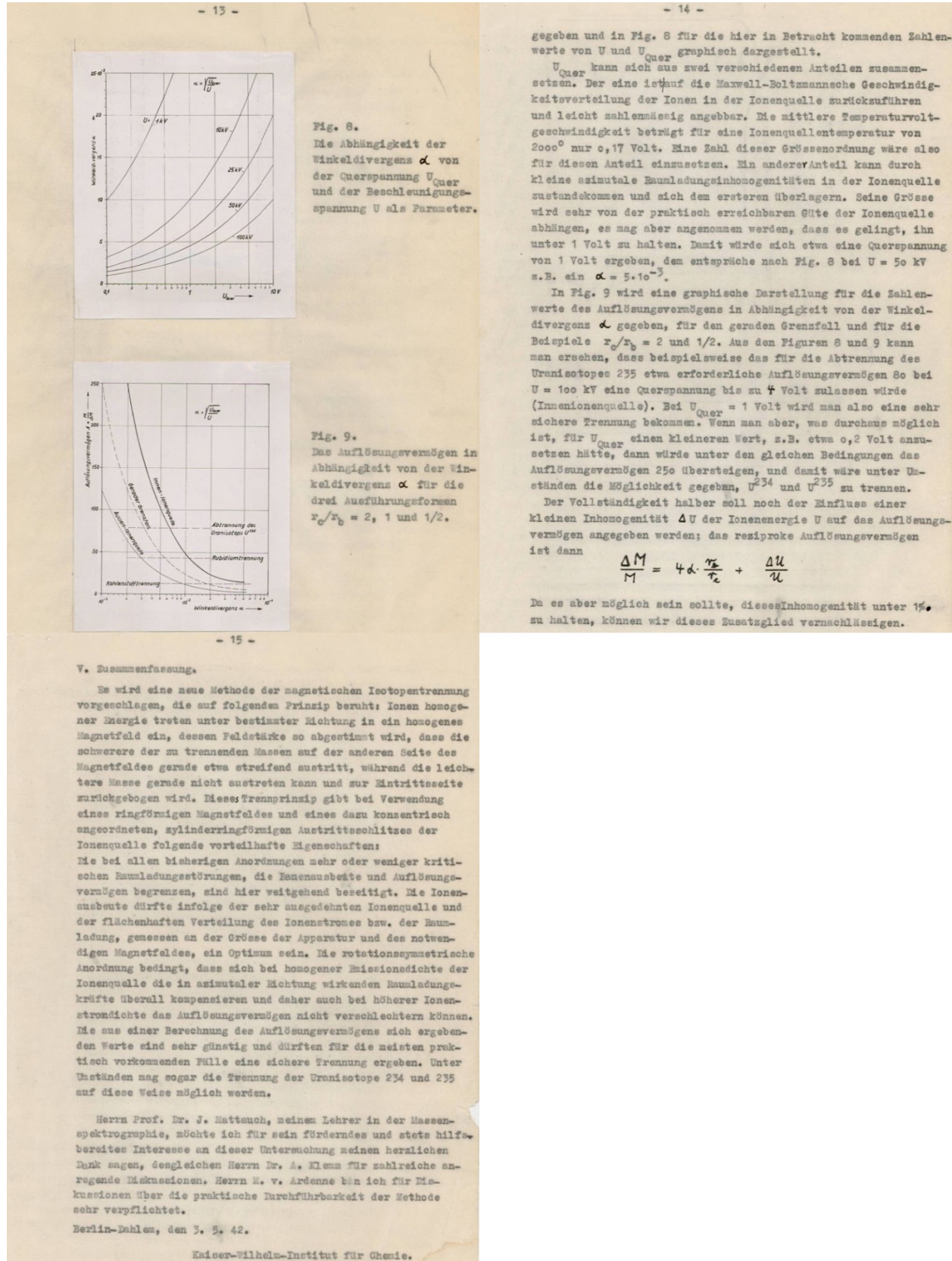


Figure D.175: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].

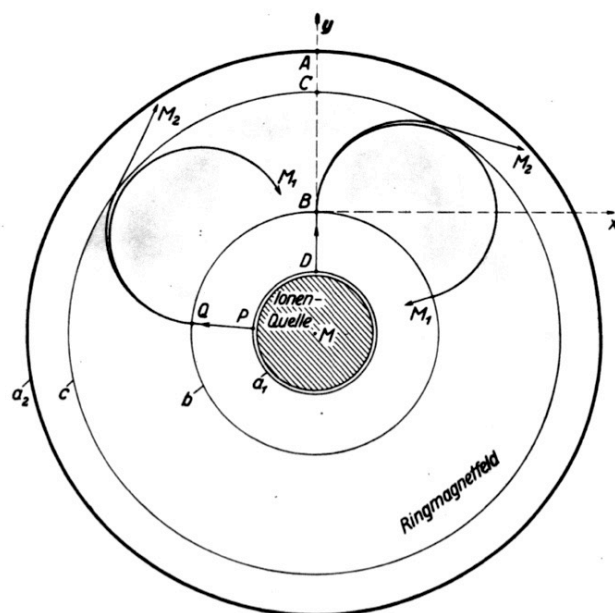


Fig. 2. Anordnung mit ringförmigem Magnetfeld, Innenionenquelle und Aussenauffänger für die schwere Masse.

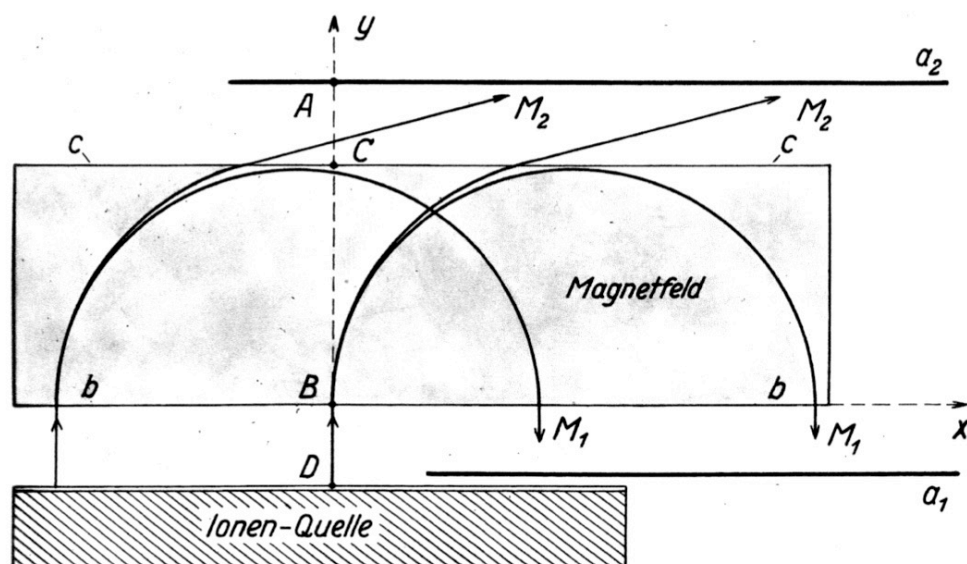


Fig. 3. Lineare Ausführung mit langem, rechteckigem Polschuh, Grenzfall des Ringmagneteten.

Figure D.176: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].



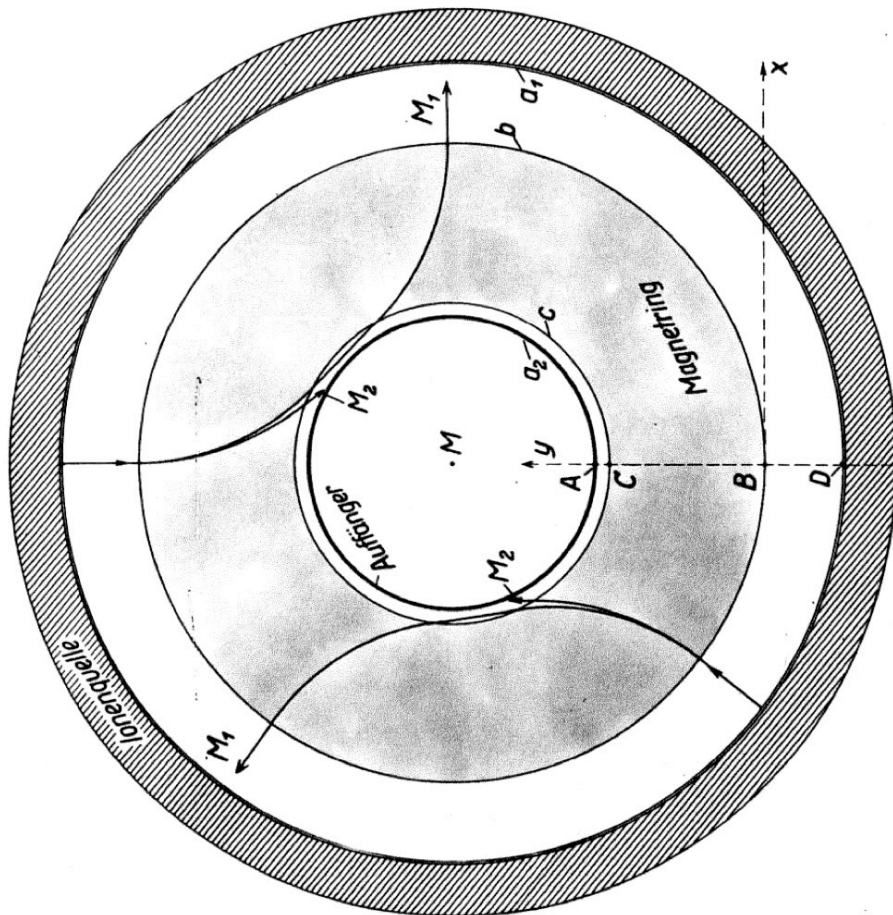


Fig. 4. Anordnung mit ringförmigem Magnetfeld, Aussen-  
ionenquelle und Innenauffänger für die schwere Masse.

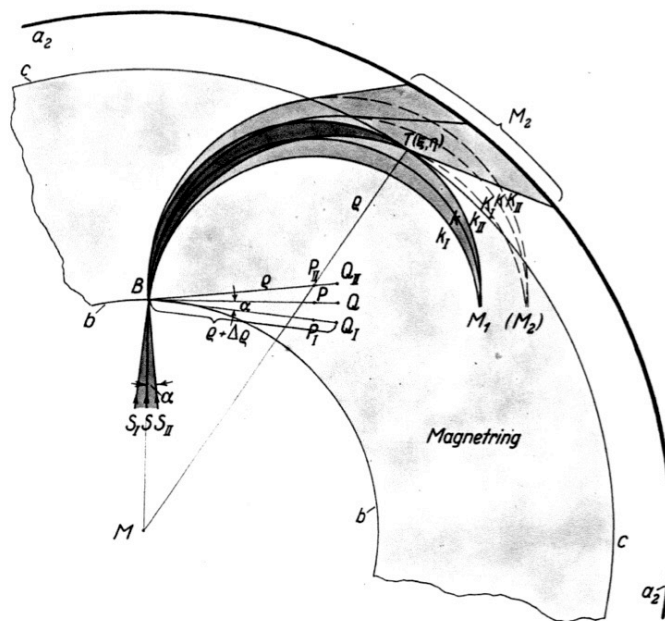


Fig. 5. Zum Auflösungsvermögen der Anordnung mit Innenionenquelle.

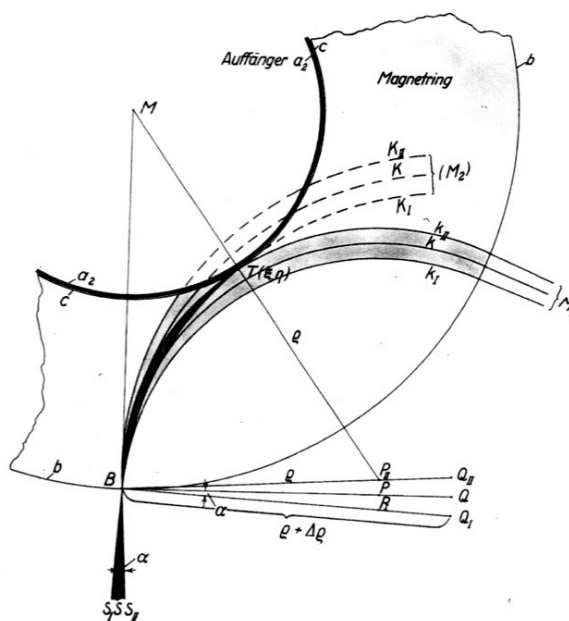


Fig. 6. Zum Auflösungsvermögen der Anordnung mit Aussenionenquelle.

Figure D.178: Heinz Ewald's March 1942 design for an electromagnetic isotope separator [G-139].





- 1 -

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

Wird bei den beiden in Teil I<sup>\*)</sup> 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  $U_{\text{Quer}}$  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.180: 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.]

Bildunterschriften.

- Fig. 1. Die Abhängigkeit des Faktors  $k_2$  von der relativen HHufigkeit 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.181: 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 ( $R_{M_2} = 80\%$ )**

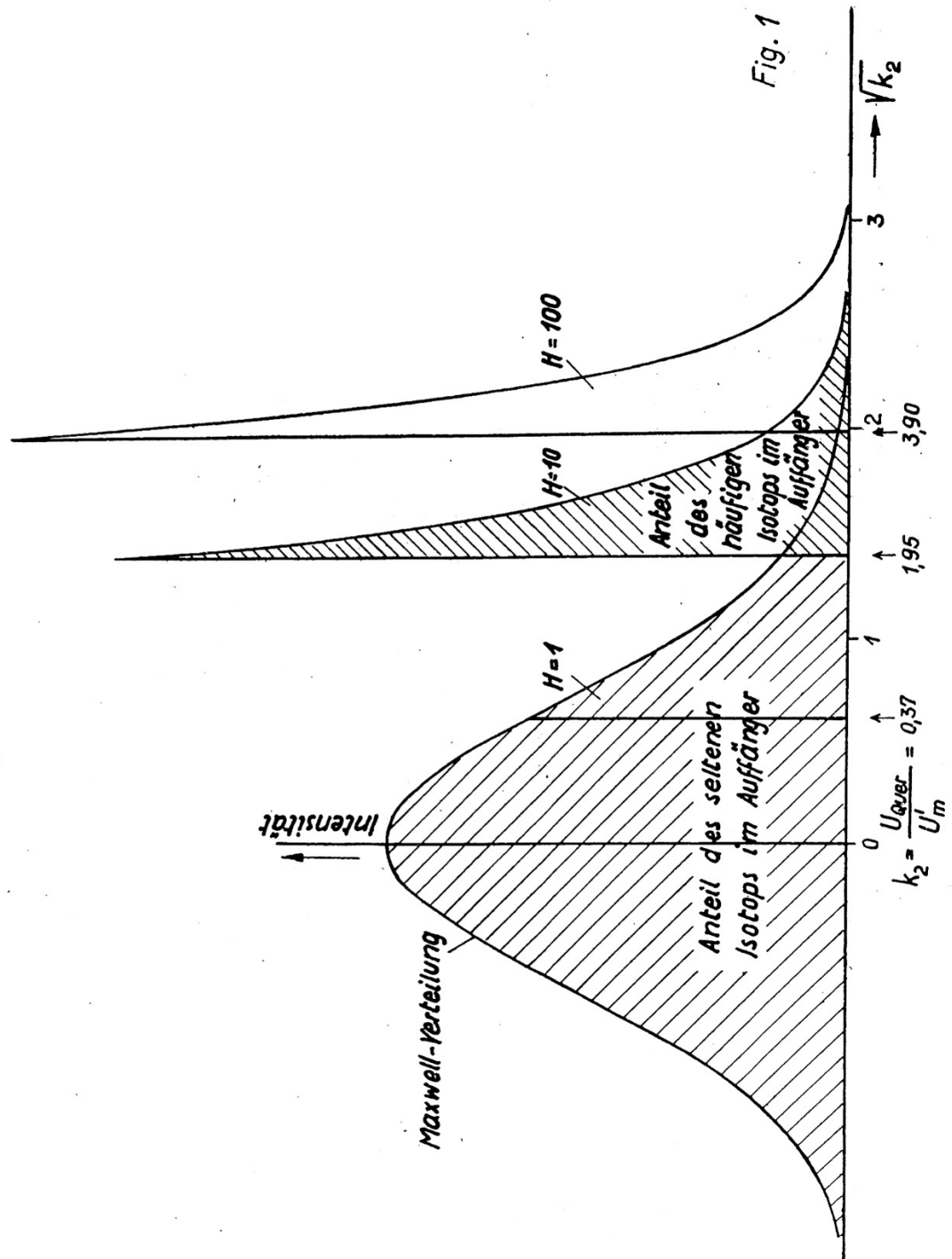


Figure D.183: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

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

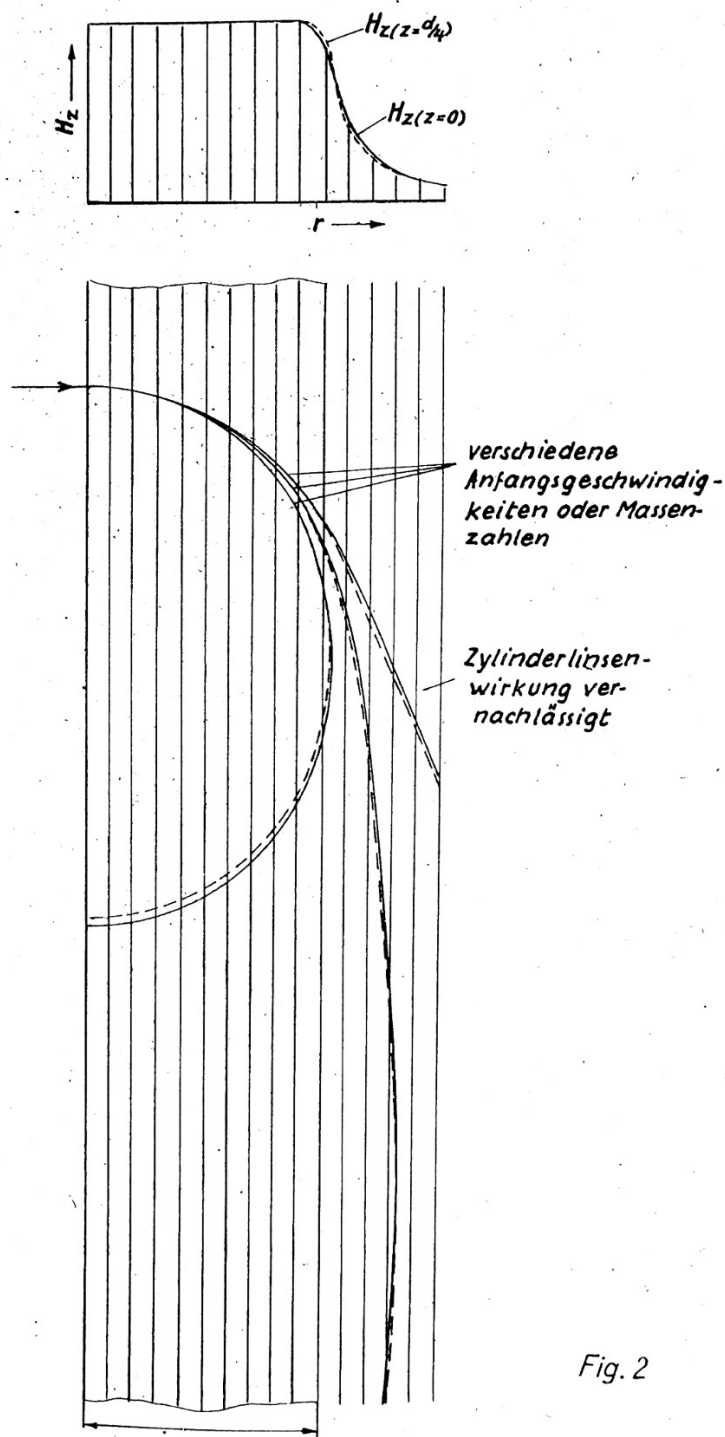


Fig. 2

Figure D.184: 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)*

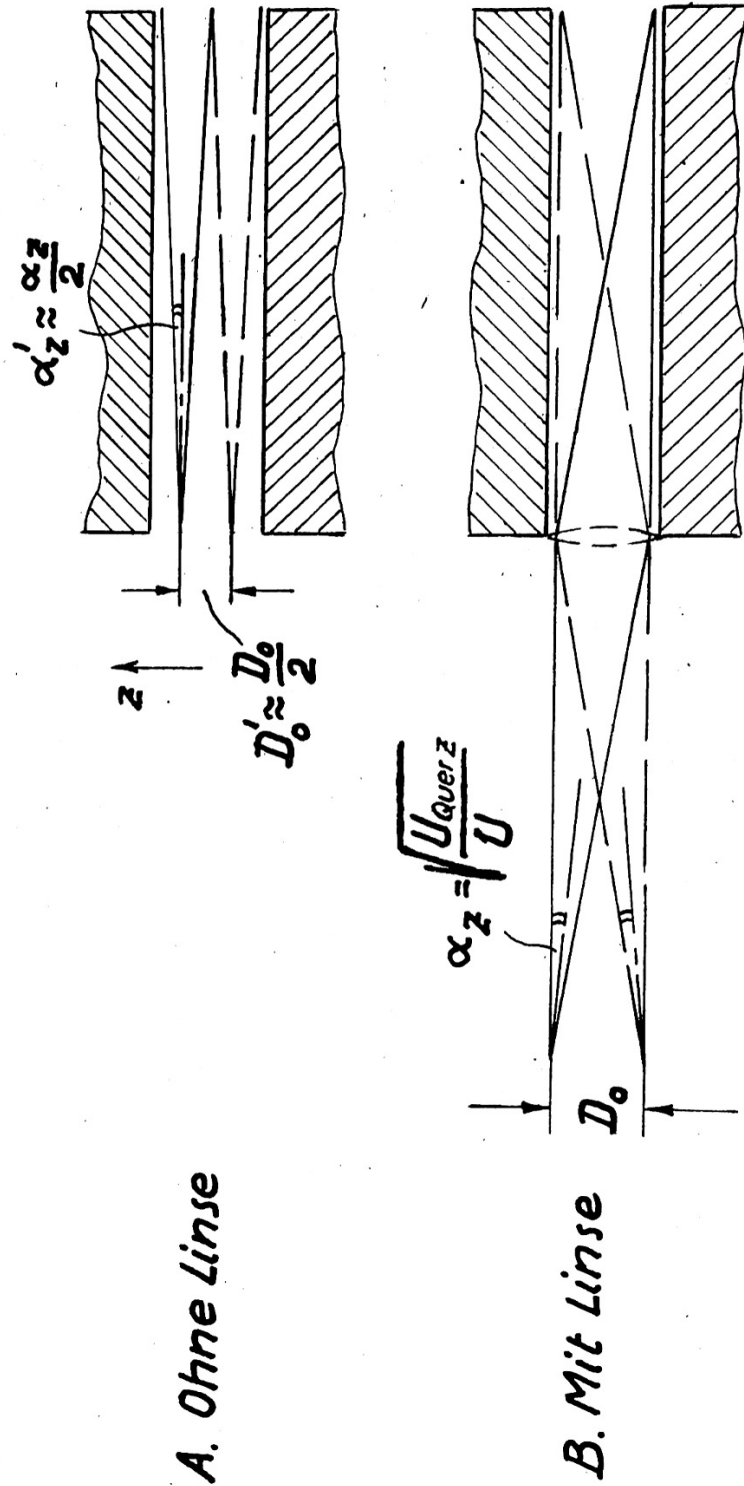


Fig. 3

Figure D.185: 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*

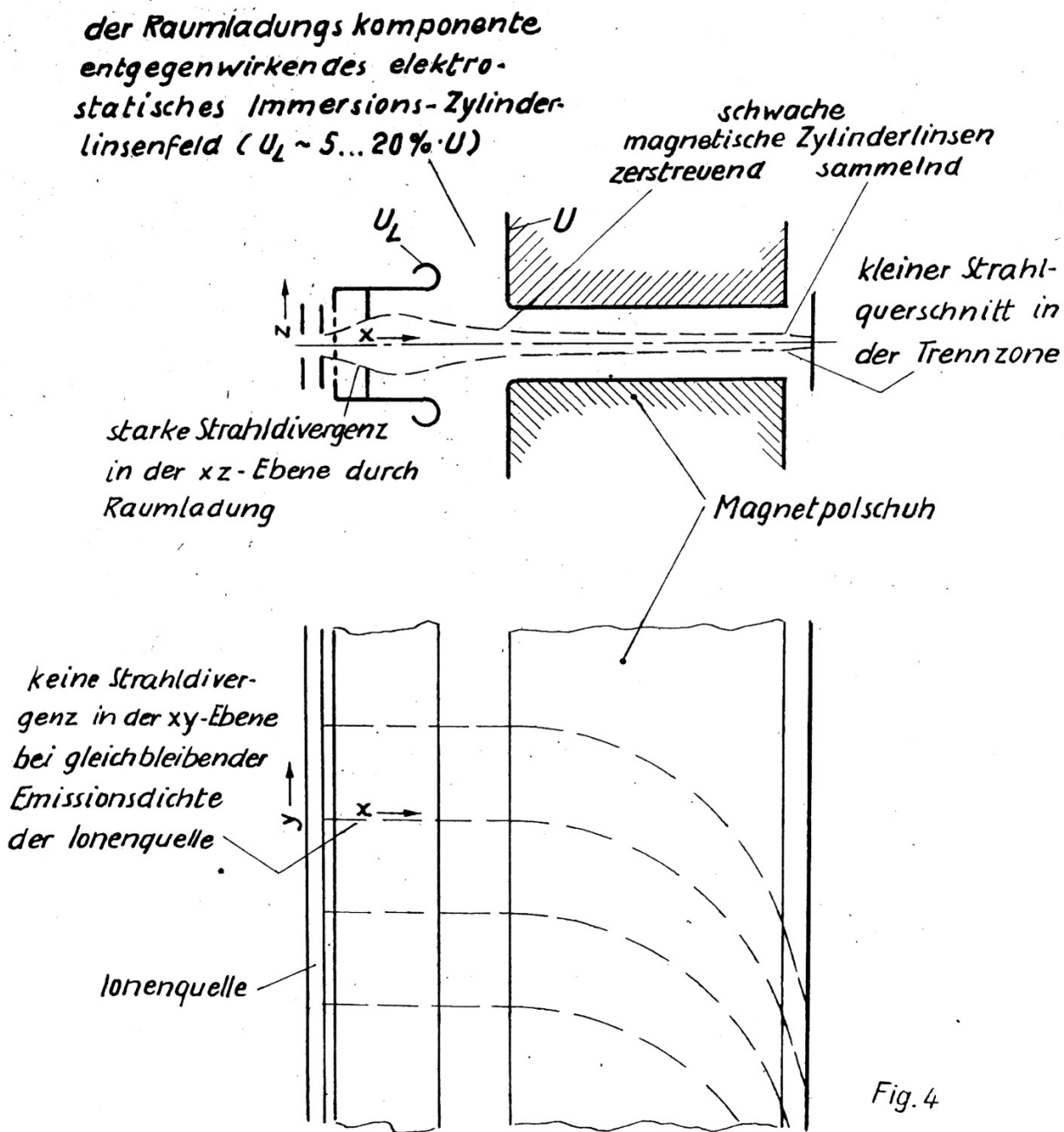
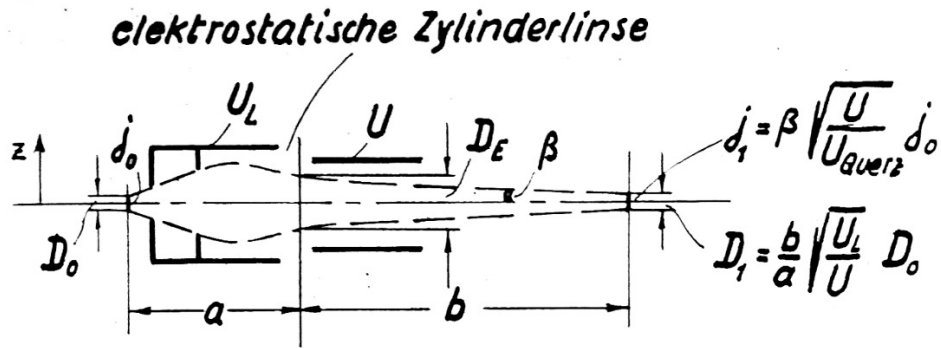


Fig. 4

Figure D.186: 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



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

- $I_1$  = 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
- $\beta$  = bildseitiger Aperturwinkel
- $U_L$  = Linsenspannung
- $U$  = Beschleunigungsspannung
- $U_{\text{Quers}}$  = resultierende Querspannung in z-Richtung

Fig. 5

Figure D.187: 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*

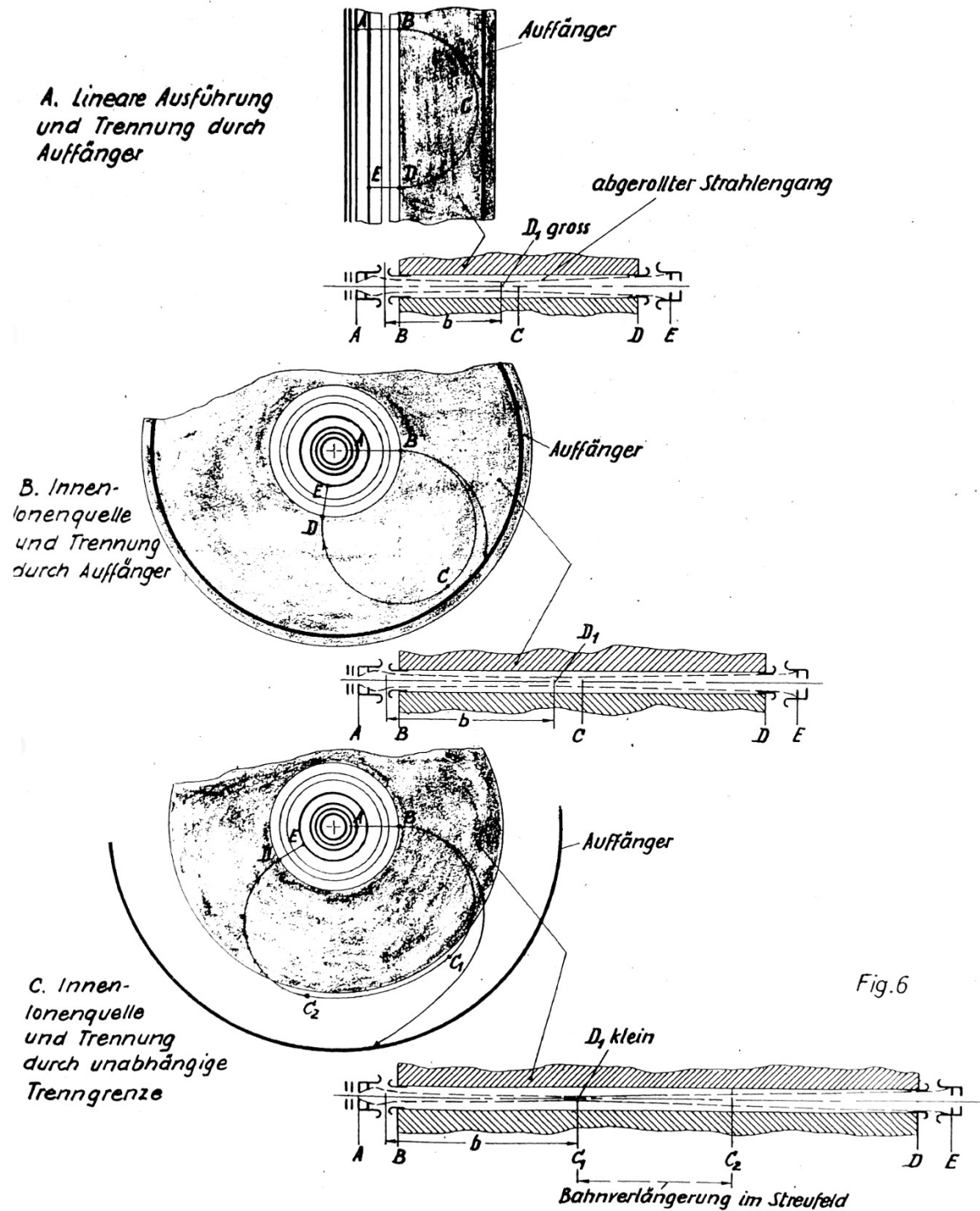


Figure D.188: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]



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

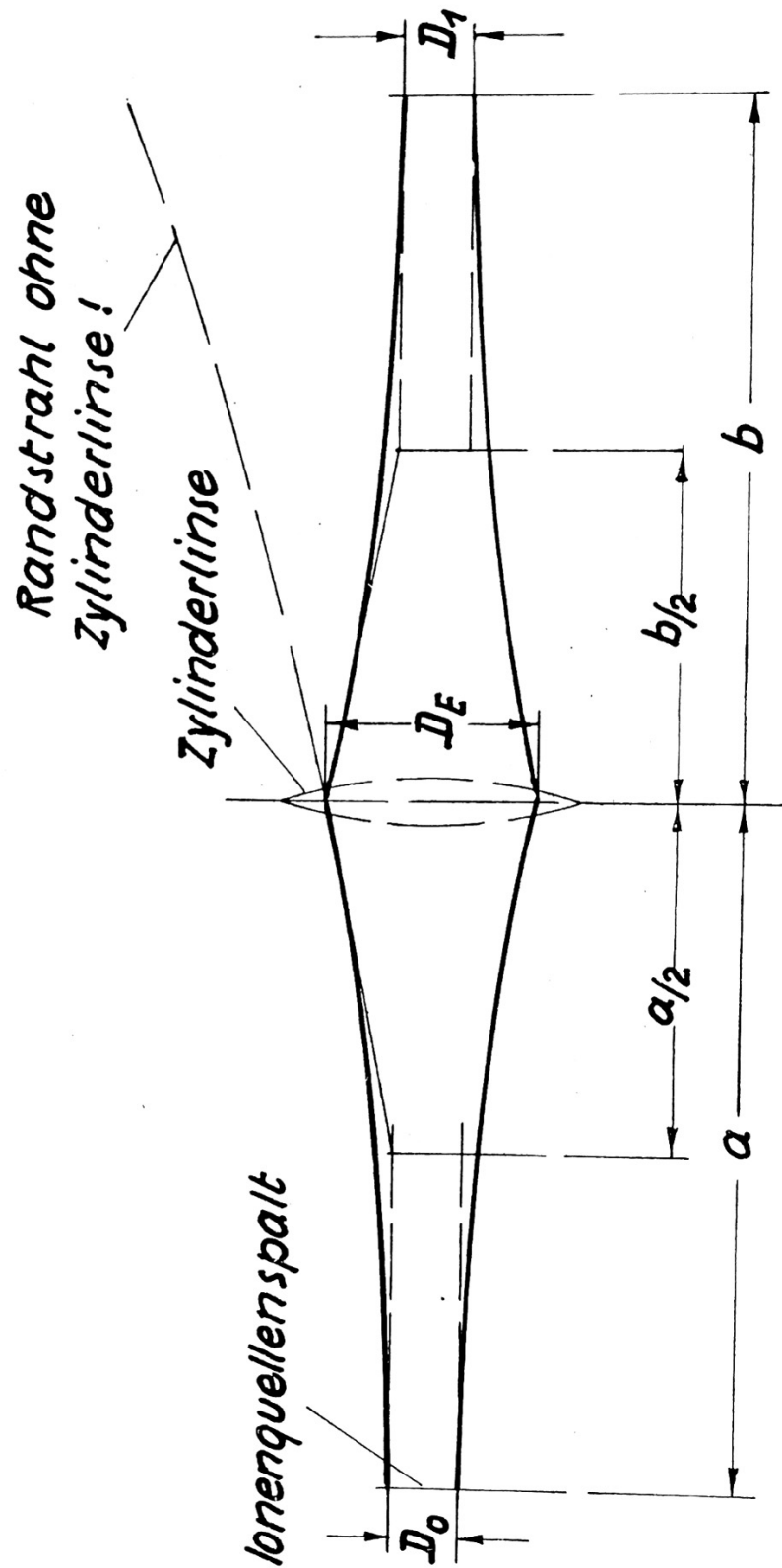


Fig. 7

Figure D.189: 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.]

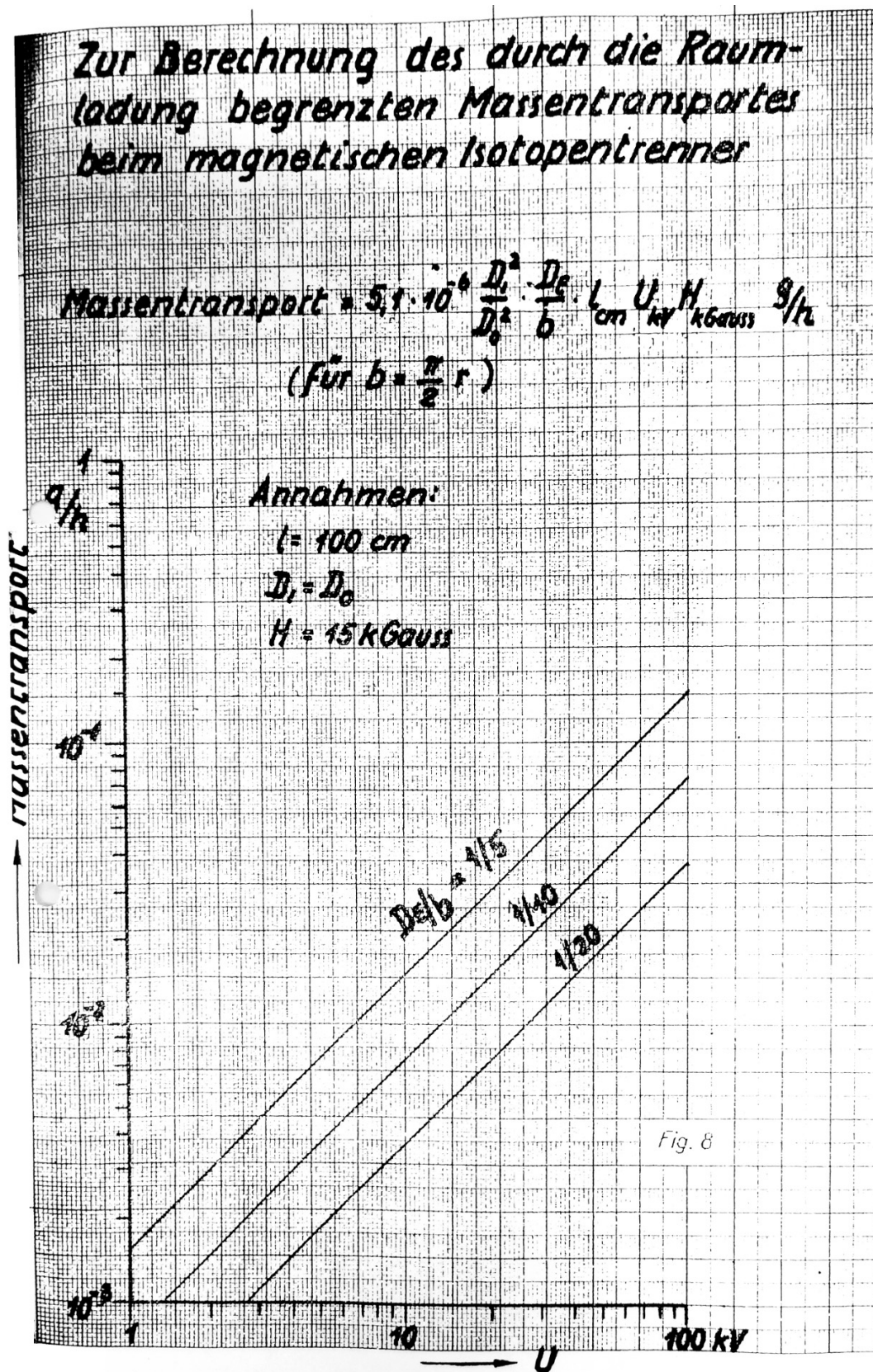


Figure D.190: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]





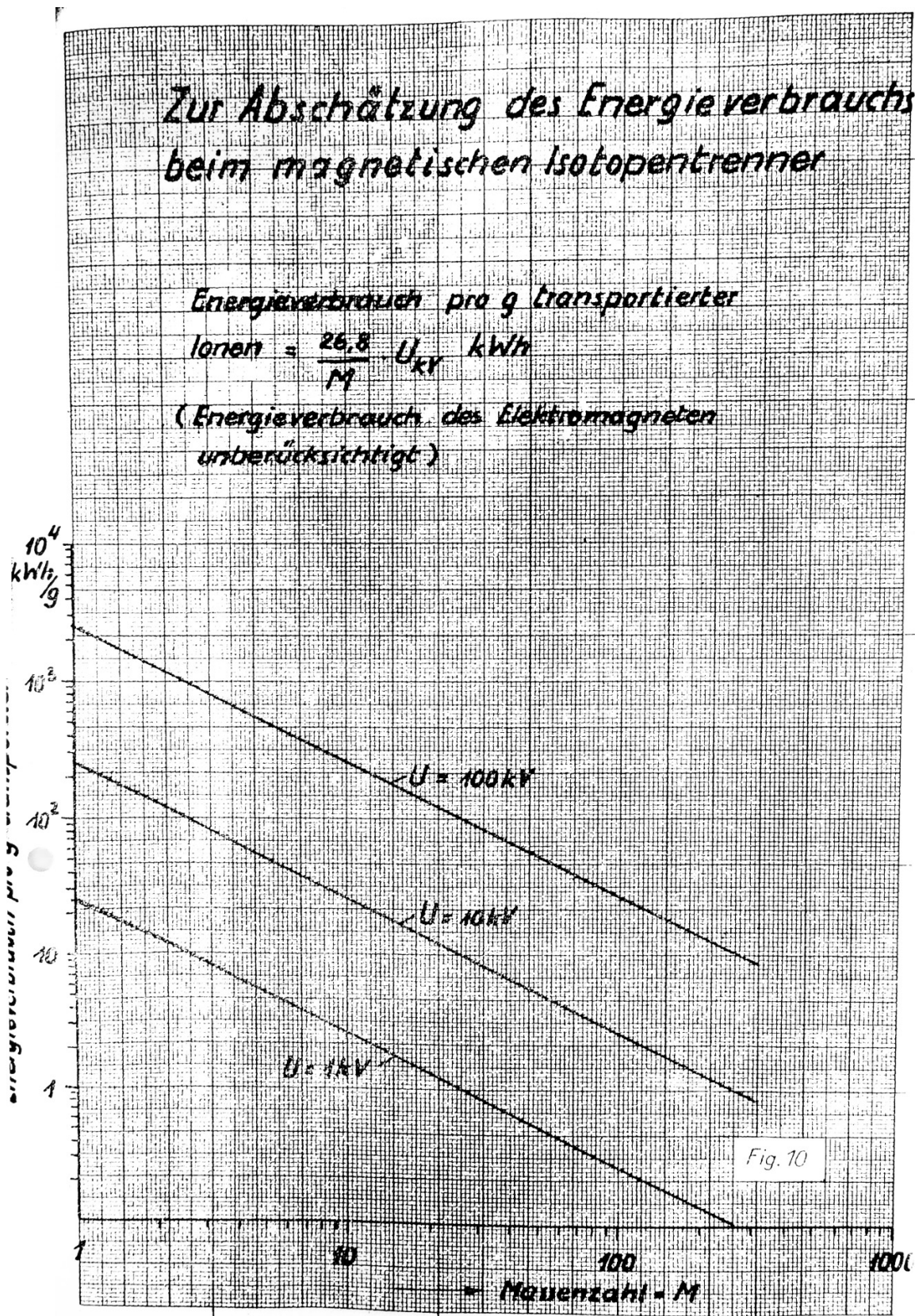


Figure D.192: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

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

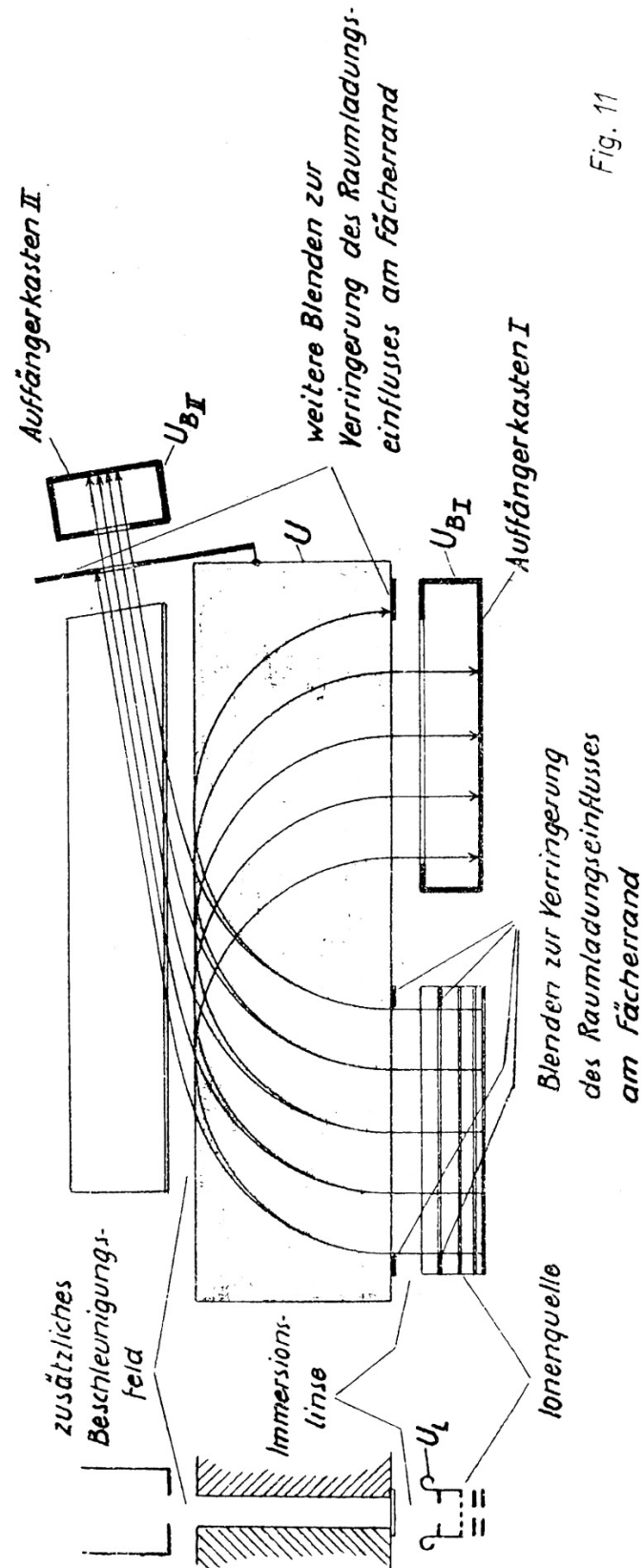


Fig. 11

Figure D.193: 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

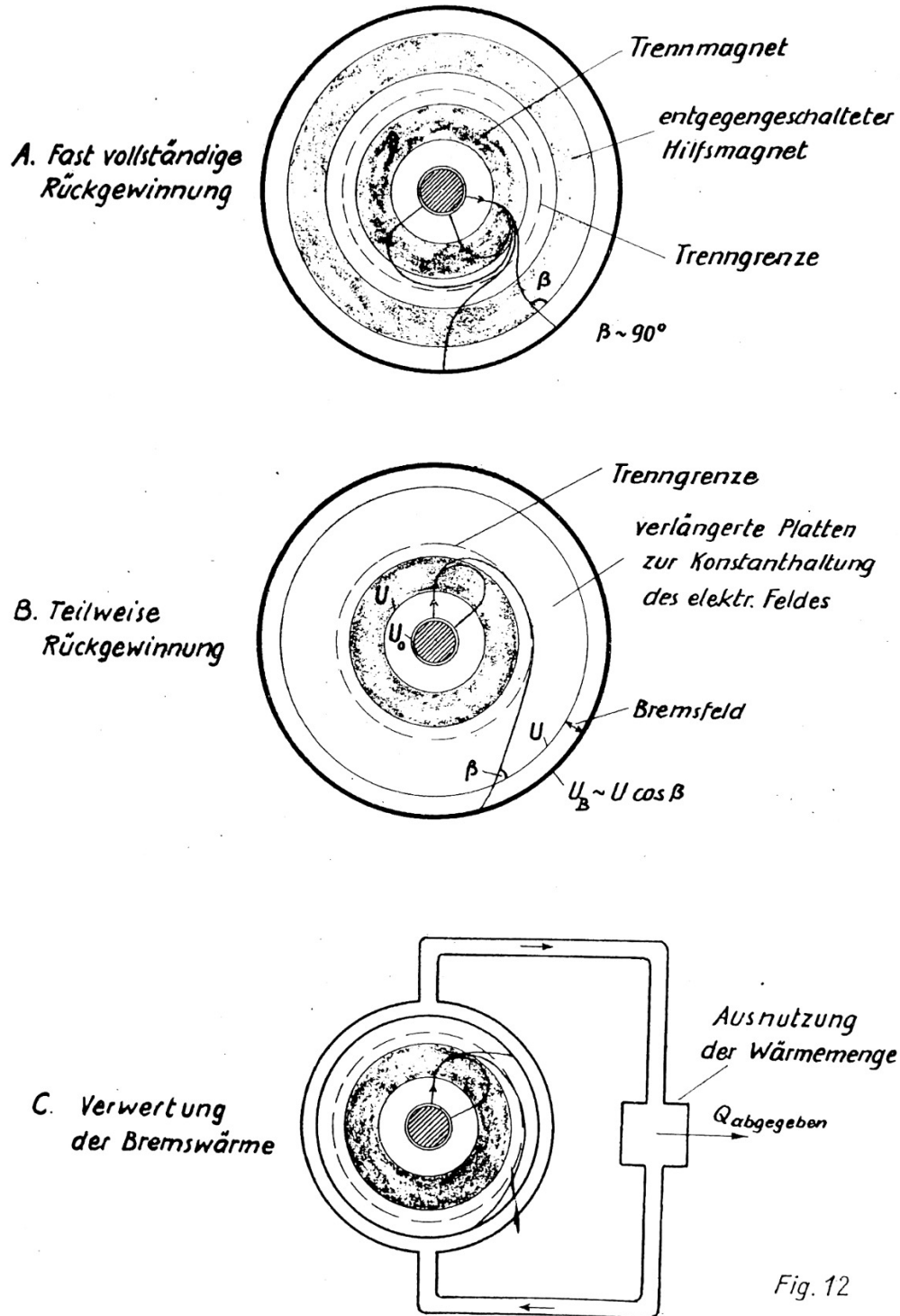


Fig. 12

Figure D.194: 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 Krümmungsradius  
für verschiedene Massenzahlen**

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

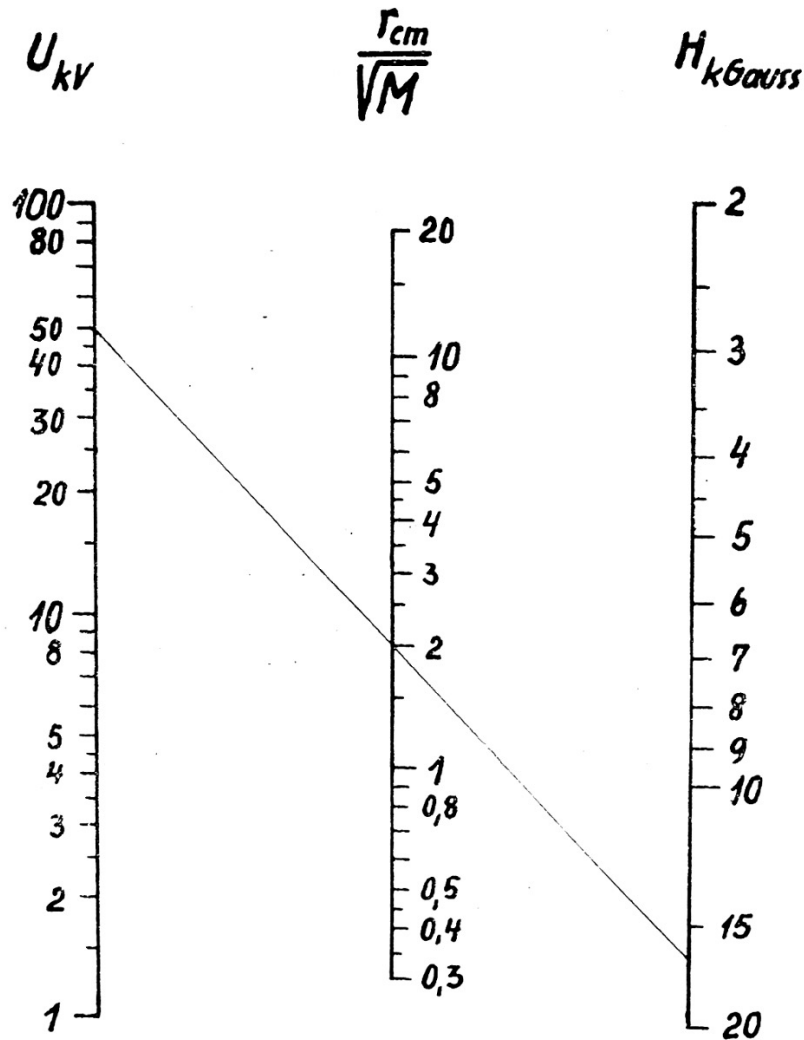


Fig.13

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.]

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

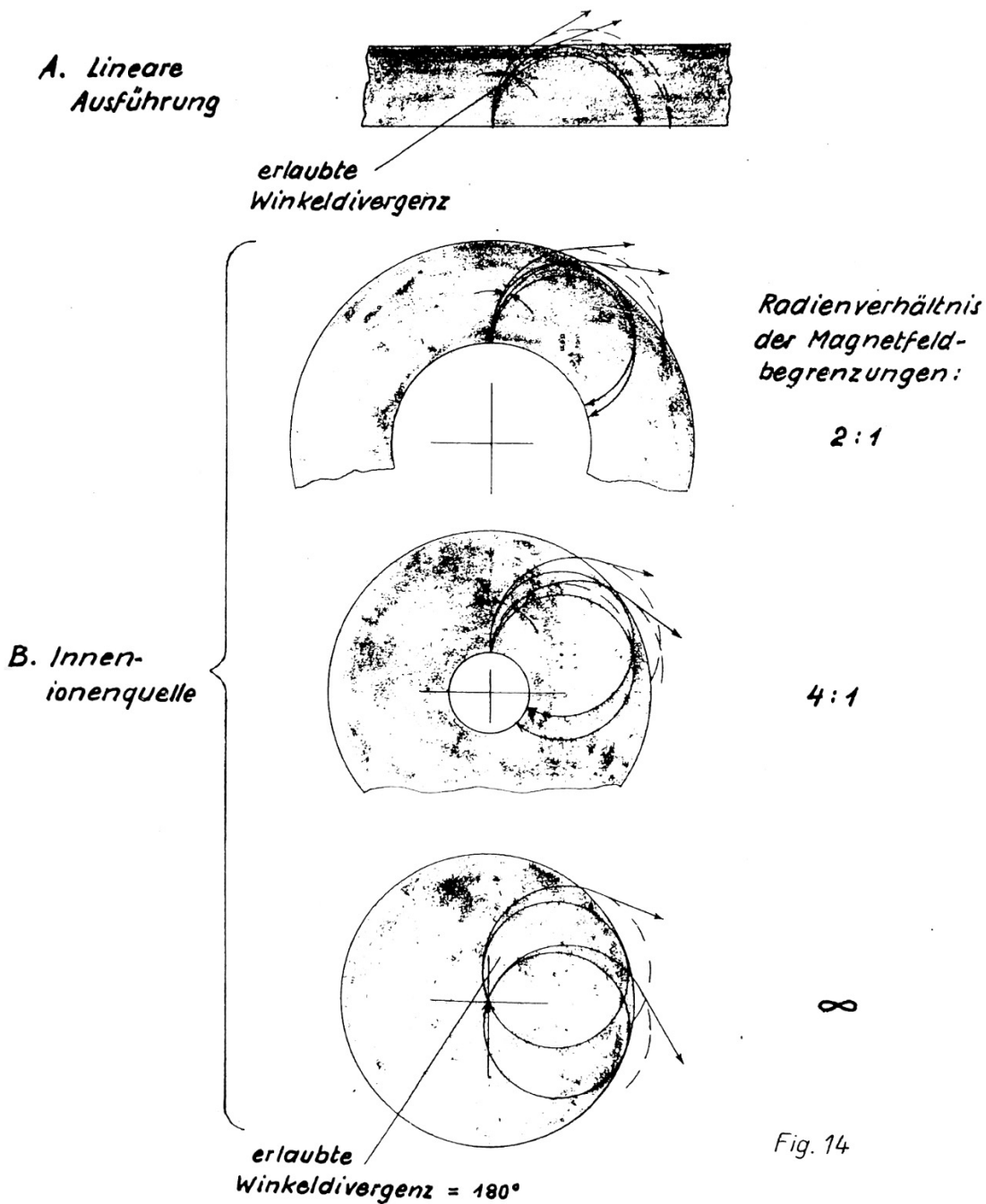


Figure D.196: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]

*Nomogramm über die Beziehung zwischen Auflösungsvermögen  $A$ , Radienverhältnis  $\delta$  der Magnetfeldbegrenzungen und Winkeldivergenz  $\alpha$  für die drei Ausführungsformen des magnetischen Isotopentrenners*

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

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

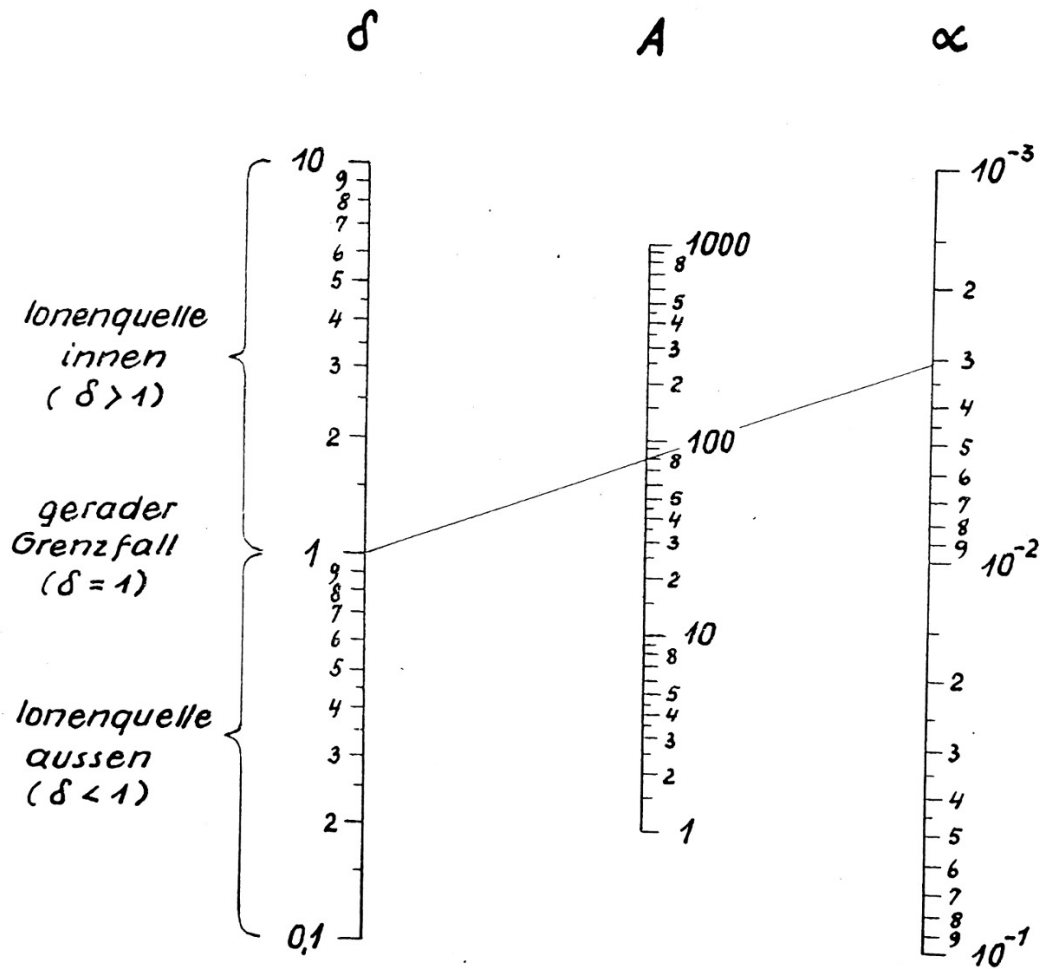


Fig. 15

Figure D.197: 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.]



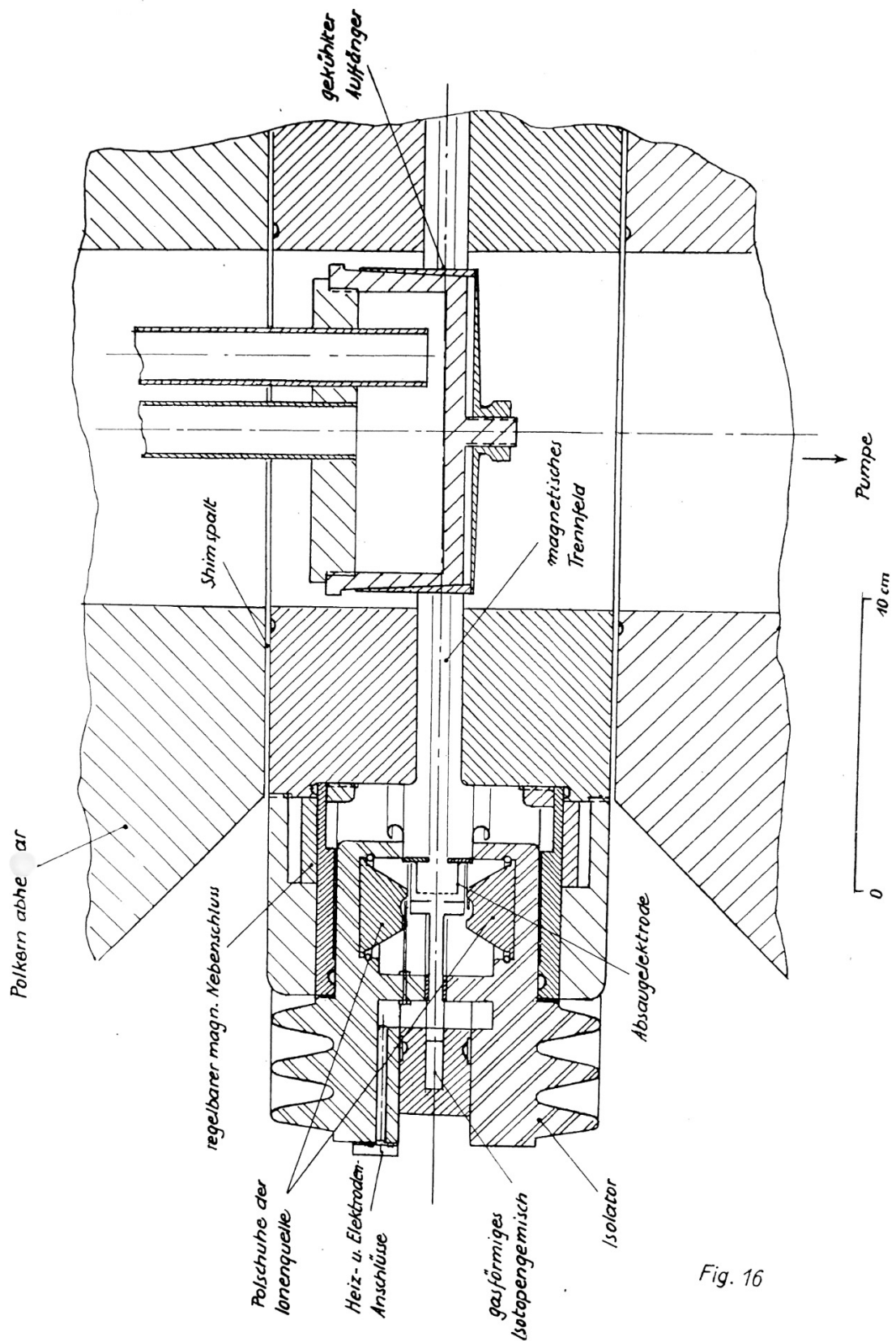


Fig. 16

Figure D.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.]



Fig. 17

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.]

Zum Projekt einer großformatigen  
mit Ura.-Innenionenquelle

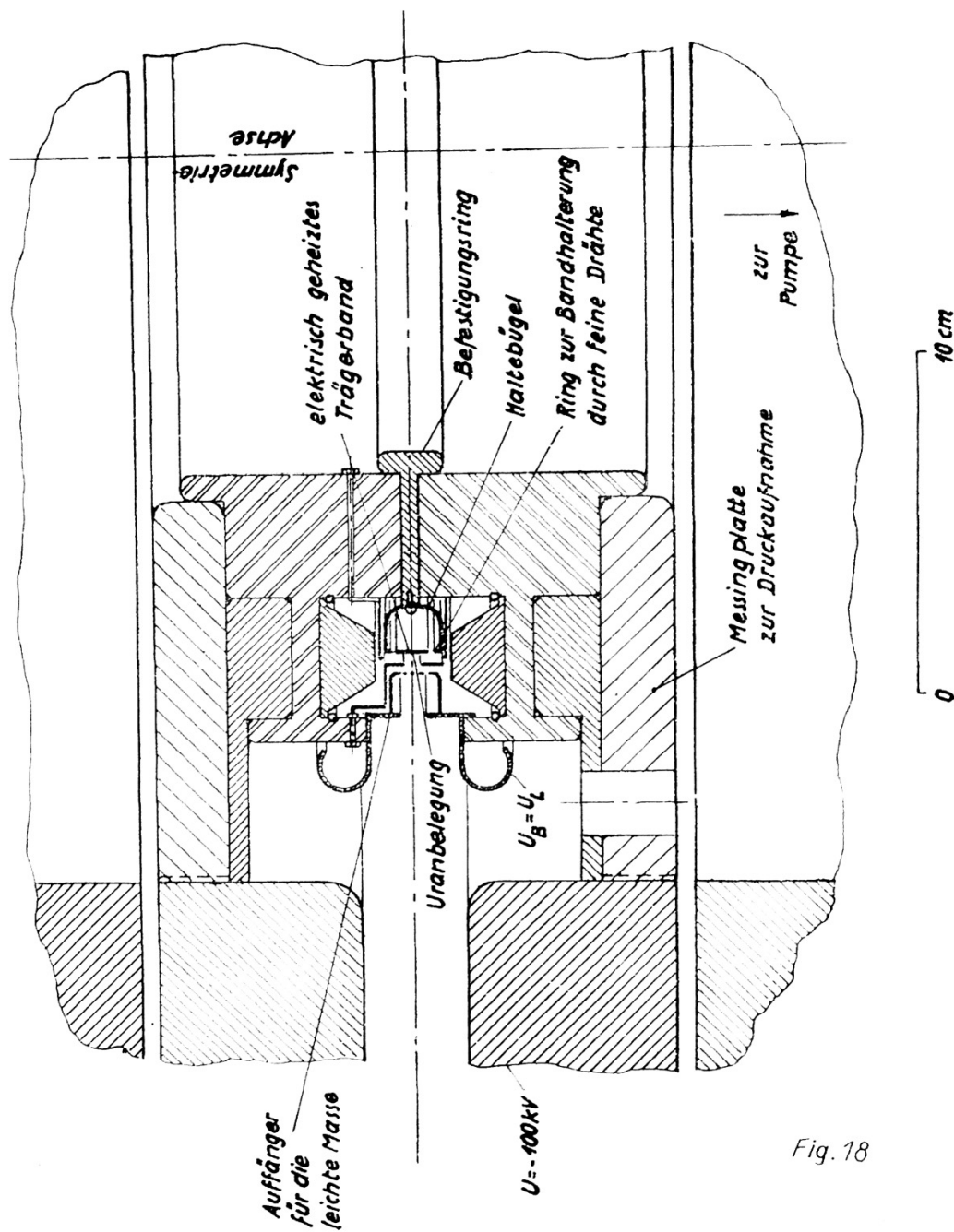


Figure D.200: Manfred von Ardenne's April 1942 design and prototype for an electromagnetic isotope separator with numerous beams but only one set of magnets. [Courtesy of Rainer Karlsch.]



*Erstes Vorhaben eines linearen magnetischen Isotopentrenners mit ausgedehnter Ionenquelle und Trennung durch Auffänger*

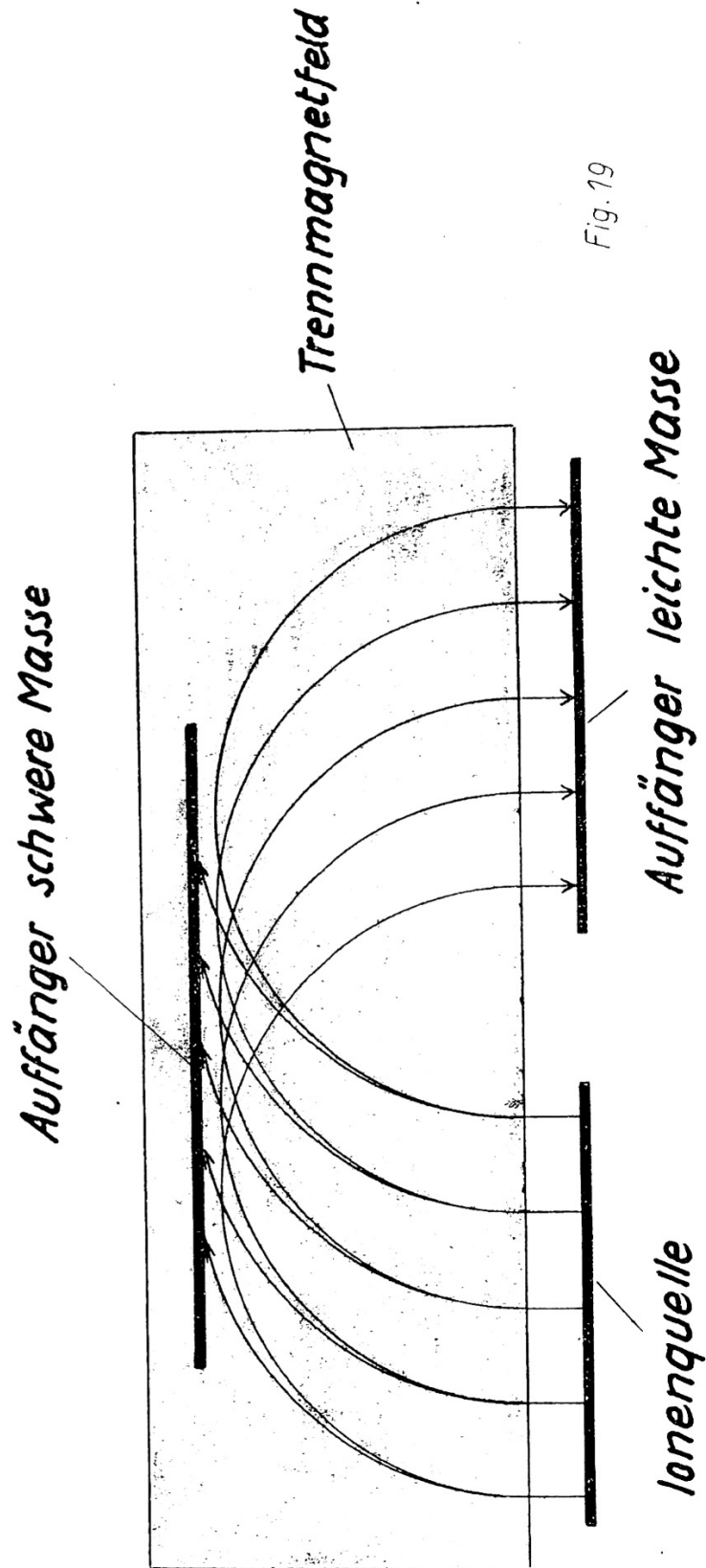


Fig. 19

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.]

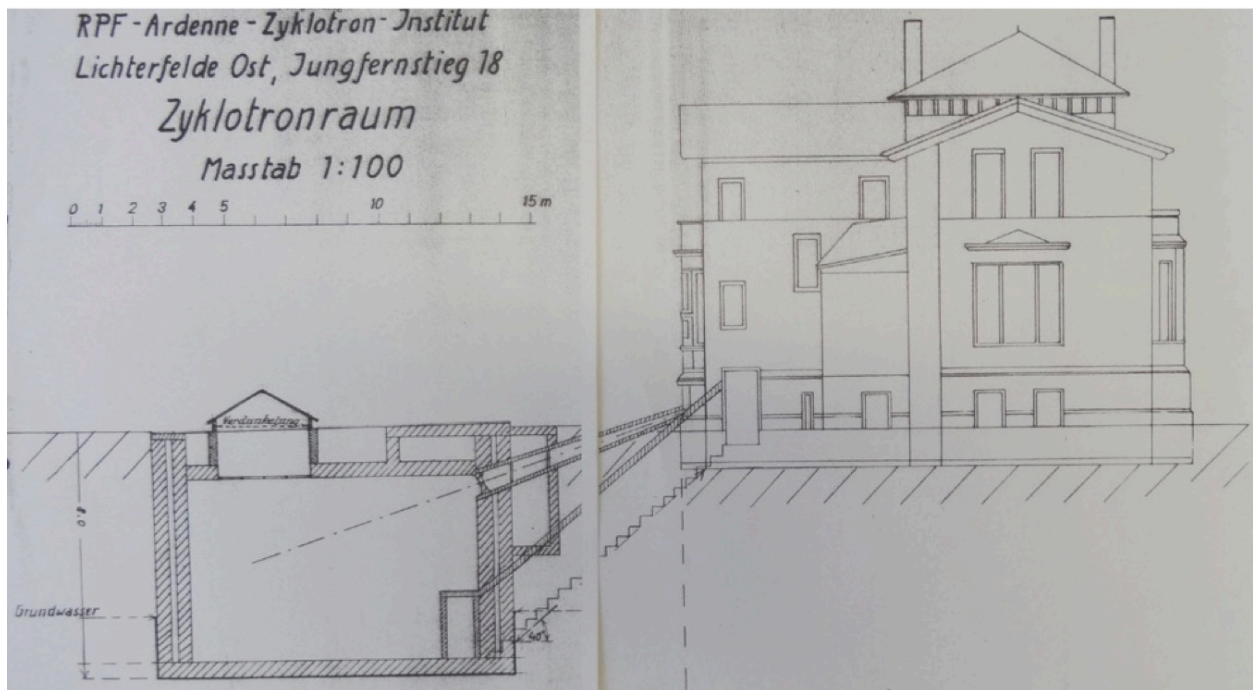


Figure D.202: The former Manfred von Ardenne mansion. A large cyclotron was located under the garage at the left, accessible by a tunnel from the house.



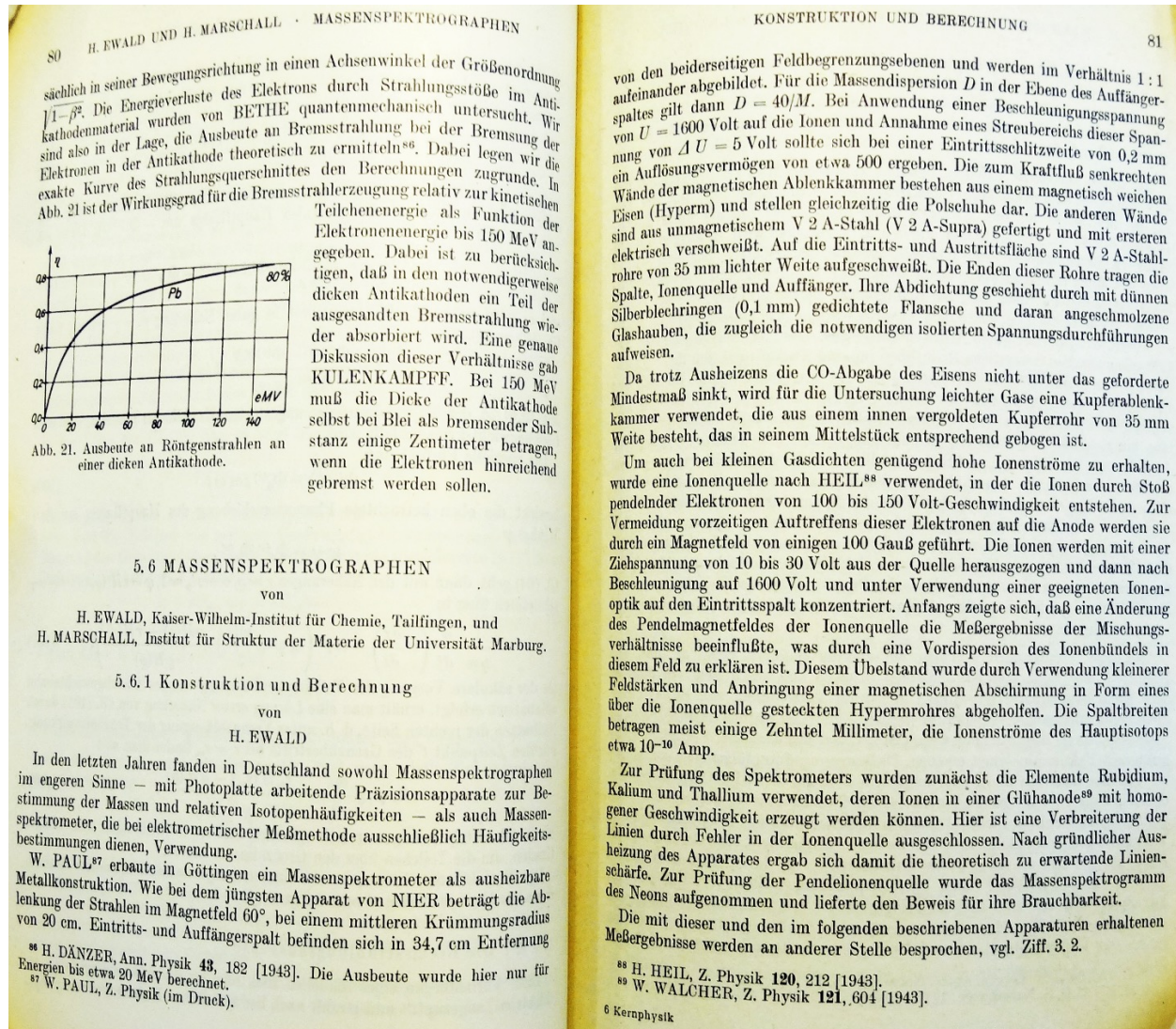


Figure D.203: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].



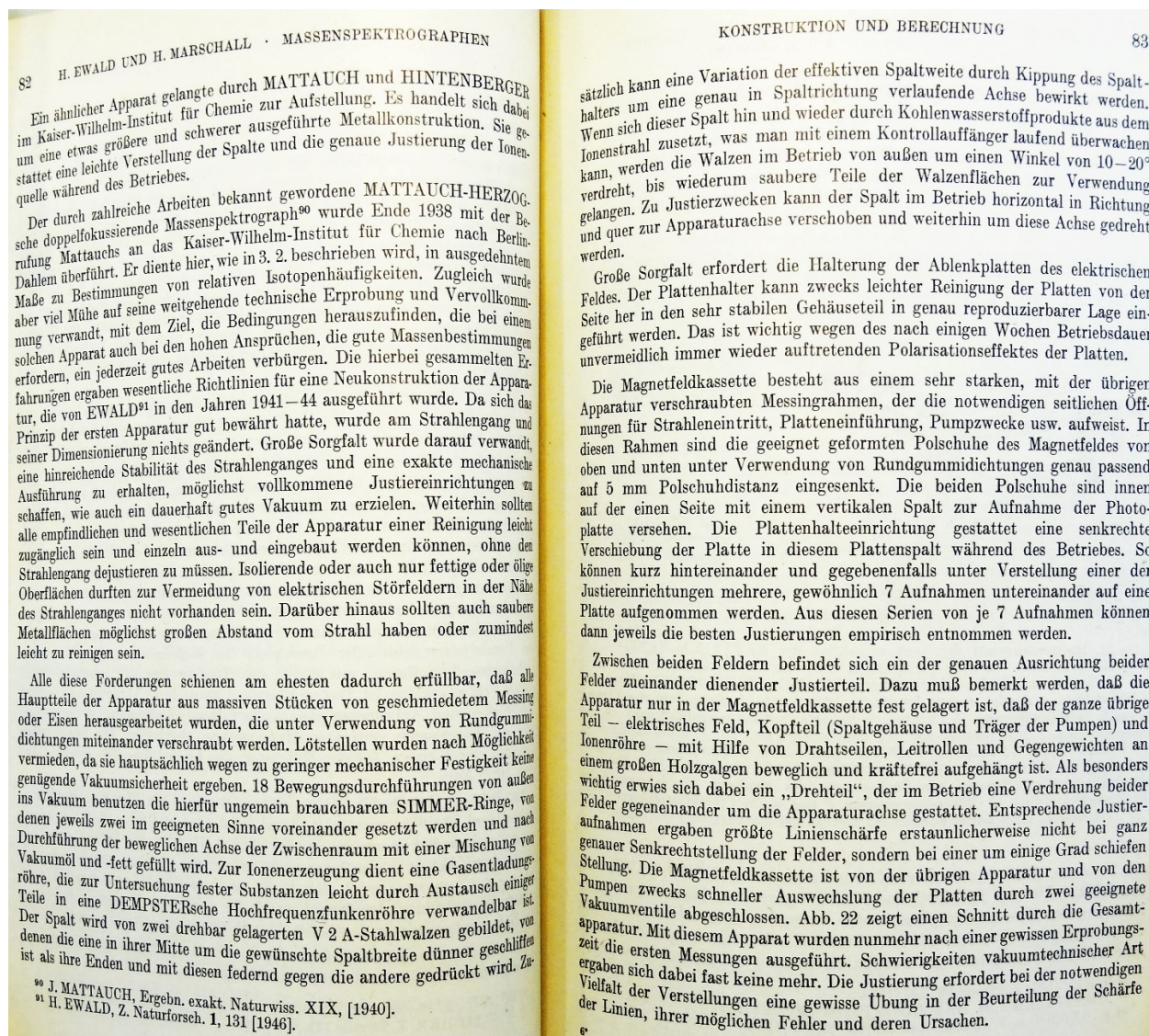


Figure D.204: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: *Nuclear Physics and Cosmic Rays* Vol. II, pp. 80–10].



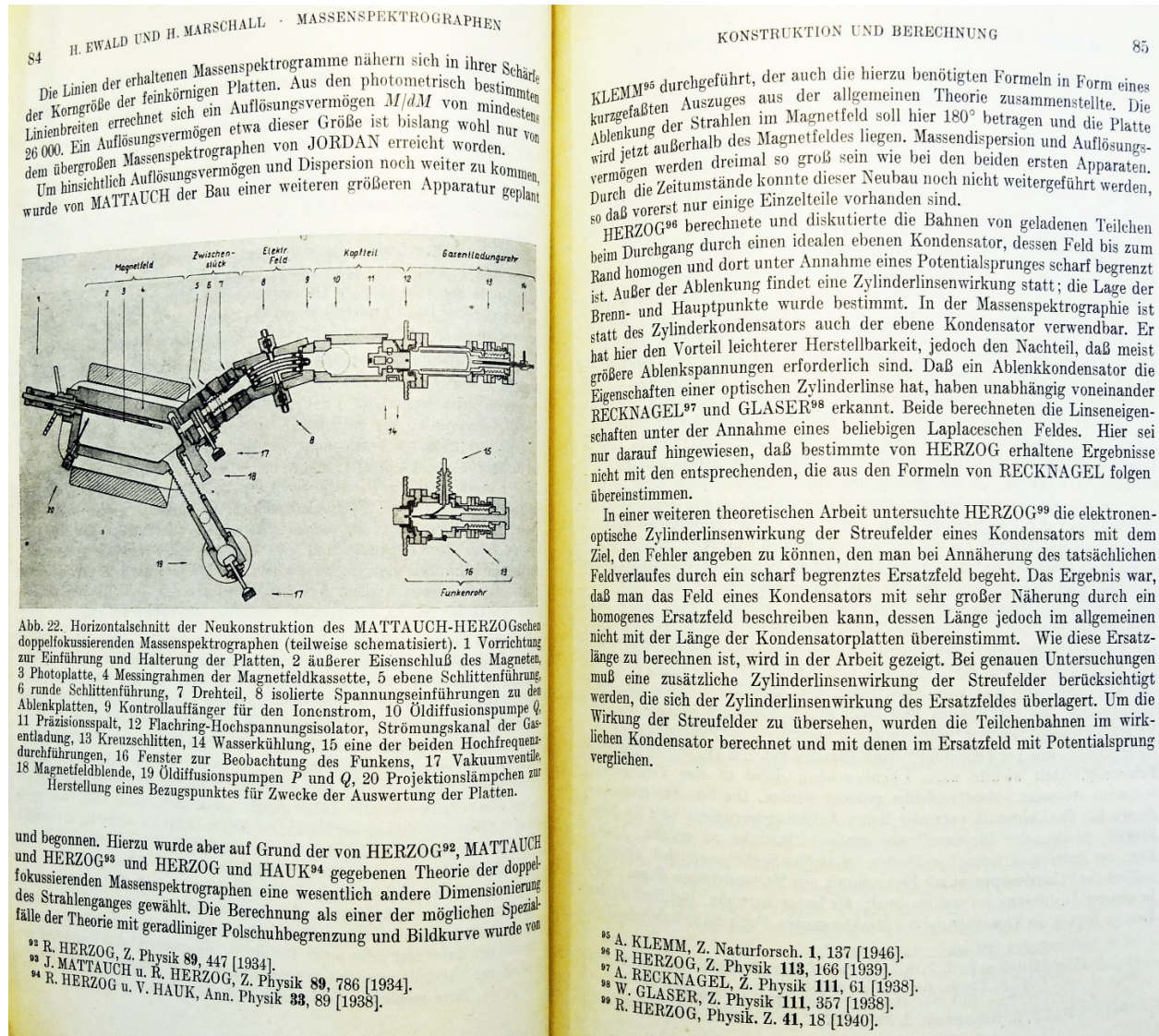


Figure D.205: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].



86 H. EWALD UND H. MARSCHALL · MASSENSPEKTROGRAPHEN

5.6.2 Gaußsche Dioptrik und Bildfehlertheorie eines Massenspektrographen<sup>100</sup>

von  
H. MARSCHALL

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 Ausarbeitung, 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 Herzog'schen Arbeit von 1934, die dem Aufbau des Mattauch'schen Spektrographen zugrunde liegt, auch eine Berücksichtigung der stets unvermeidlichen Streufelder möglich. Die bis jetzt zur Ausführung gelangten doppelfokussierenden Spektrographen von HERZOG und MATTAUCH<sup>99</sup>, von BAINBRIDGE und JORDAN<sup>101</sup>, von DEMPSTER<sup>102</sup> und von ASTON<sup>103</sup> 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<sup>103a</sup> 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-

<sup>100</sup> H. MARSCHALL, Physik. Z. 45, 1 [1944].  
<sup>101</sup> T. BAINBRIDGE u. E. B. JORDAN, Physic. Rev. 50, 282 [1936].  
<sup>102</sup> A. J. DEMPSTER, Physic. Rev. (2) 51, 67 [1937].  
<sup>103</sup> F. W. ASTON, Proc. Roy. Soc. [London], Ser. A 163, 391 [1937].  
<sup>103a</sup> 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 Photoplatte 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.206: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].



88 H. EWALD UND H. MARSCHALL · MASSENSPEKTROGRAPHEN

die (skalaren) Potentiale  $\varphi$  und  $\psi$  des elektrischen und magnetischen Feldes besitzen die Symmetrieeigenschaften

$$\varphi(u, v) = \varphi(-u, v); \psi(u, v) = -\psi(-u, v),$$

wie man aus Abb. 23 abliest. Weitere Annahmen seien zunächst über das Umlenkfeld nicht gemacht. Beide Felder sind dann durch die Potenzreihen

$$\varphi = E_0 + E_1 v + E_2 v^2 - \frac{1}{2}(E_0'' + E_1/R + 2E_2)u^2 + E_3 v^3 - (3E_3 + \frac{1}{2}E_1'' + E_2/R - E_0''/R - E_1/2R^2)u^2 v + \dots$$

$$\psi = H_1 u + H_2 u v + H_3 u v^2 + \frac{1}{6}(2H_3 + H_2/R + H_1'')u^3 + \dots$$

darstellbar. Die zunächst freibleibenden Entwicklungskoeffizienten  $E_1, E_2, E_3, E_0, H_1, H_2, H_3$ , von denen  $E_0$  die Dimension eines Potentials hat,  $E_1$  und  $H_1$  Feldstärken bedeuten, sind Funktionen von  $w$ ; Striche bedeuten Ableitungen nach  $w$ .  $\varphi$  und  $\psi$  gehören den Potentialgleichungen  $\Delta\varphi = 0, \Delta\psi = 0$ . Die Darstellung der Streufelder im Gegenstands- und Bildraum ergibt sich aus den angeschriebenen Potenzreihen durch den Grenzübergang  $R \rightarrow \infty$ . Wie eine genauere Untersuchung zeigt, rührt die Konvergenz der im Umlenkraum gültigen Potenzreihen lediglich von den als klein vorausgesetzten Koordinaten  $u$  und  $v$  her, während die Entwicklungskoeffizienten der für die Räume I und III gültigen Reihen in gleichem Maße wie  $u$  und  $v$  klein werden. Im übrigen kann  $E_0$  im Innern des Ablenkelektroden an entgegengesetzt gleichgroßen Spannungen liegen (symmetrische Spannungszuführung). Während die Feldgrößen  $E_0, E_1, E_2, H_1, H_2$  bereits in die Gaußsche Dioptrik eingehen, werden die Koeffizienten  $E_3$  und  $H_3$  erst bei der Bildfehlertheorie benötigt.

Die Bewegungsgleichungen werden aus dem Fermatschen Prinzip gewonnen, das GLASER<sup>104</sup> für die Elektronenoptik formuliert hat. Wird die Massendispersion  $\gamma = \Delta M/M_0$  und die Geschwindigkeitsdispersion  $\beta = \Delta V/V_0$  auf ein „Normalteilchen“ der Masse  $M_0$  und der Geschwindigkeit  $V_0$  bezogen, dann treten in den Bewegungsgleichungen neben den Koordinaten  $u$  und  $v$  und ihren Ableitungen  $u', v', u'', v''$  auch die Dispersionsglieder  $\gamma$  und  $\beta$  auf. Für viele praktische Fälle genügt es nun, diese Größen als so klein zu betrachten, daß eine nach den linearen Gliedern abgebrochene Potenzreihenentwicklung erlaubt ist. Man erhält dann die Ionenbewegung in erster Näherung, d. h. das ionenoptische Analogon zur Gaußschen Dioptrik, welche genügt, um die geometrisch-optischen Konstanten (Brennweiten, Bild- und Gegenstandsweite, Dispersion u. dgl.) des Umlenkfeldes zu berechnen. Darüber hinaus ergeben sich durch konsequente Weiterführung des Verfahrens (Mitnahme der quadratischen Glieder) die Abbildungsfehler im Sinne der geometrischen Optik.

5.6.2.2 Die Gaußsche Dioptrik

Die Bewegungsgleichungen zeigen die bekannte Tatsache, daß im Umlenkraum eine Aufspaltung des Ionenbündels nach Masse und Geschwindigkeit stattfindet, wobei jedoch nur die  $v$ -Koordinate von diesen beiden Parametern abhängt. In den

<sup>104</sup> W. GLASER, Z. Physik 80, 451 [1933].

GAUSS'SCHE DIOPTRIK UND BILDFEHLERTHEORIE 89

Räumen I und III sind die Bahnen in erster Näherung von  $\gamma$  und  $\beta$  unabhängig. Teilchen verschiedener Masse, aber gleicher Geschwindigkeit, welche die im Gegenstandsraum befindliche Gegenstandsebene alle an derselben Stelle des Durchstoßpunktes der  $w$ -Achse verlassen, beschreiben im Umlenkraum und damit auch im Bildraum verschiedene Bahnen, wie es Abb. 24 zeigt. Ein Lichtstrahl mit diesen Anfangsbedingungen wird in der Optik optische Achse genannt. Wird diese Bezeichnung übernommen, dann ist für jede Ionenmasse eine besondere optische Achse definiert, gegen welche die Bahnkoordinaten des betreffenden Teilchenstrahlbündels gemessen werden. Die optische Achse ist damit als eine spezielle Lösung der Bewegungsgleichungen definiert.

Eine Korpuskel, welche das Umlenkfeld in unmittelbarer Nähe der  $w$ -Achse betritt, wird sich bei ihrer Bewegung durch den Umlenkraum weiterhin in der Nähe des Kreisbogens  $R = \text{const.}$  aufhalten, wenn dort Gleichgewicht zwischen den elektromagnetischen Kräften und der auftretenden Zentrifugalkraft herrscht. Durch diese Forderung ist das Verhältnis der Feldstärken  $E_1$  und  $H_1$  bis auf Glieder, die — im Sinne der oben gegebenen Terminologie — von erster Ordnung klein sind, bestimmt. Wird weiter Unabhängigkeit der Ionenbahnen von der Geschwindigkeitsdispersion gefordert (Geschwindigkeitsfokussierung), dann werden die Absolutbeträge beider Feldstärken festgelegt.

Im allgemeinen Fall hat das Umlenkfeld die Abbildungseigenschaften einer Zylinderlinse. Durch besondere Wahl des Verhältnisses der Reihenoeffizienten  $E_2$  und  $H_2$  gelingt es jedoch, das Umlenkfeld so auszubilden, daß es in Gaußscher Näherung eine stigmatische Abbildung der Gegenstandsebene auf die Bildebene vermittelt. Die Punktabbildung kann durch verschiedene Kombination beider Felder erreicht werden — vgl. hierzu die Teilbilder 25a und 25b — da nur das Verhältnis und nicht die absoluten Beträge beider Koeffizienten vorgeschrieben sind. Diese Freiheit in der Wahl der Absolutbeträge kann evtl. zur Verringerung besonders störender Abbildungsfehler von Nutzen sein. Im folgenden sei nun das punktabbildende Umlenkfeld vorausgesetzt.

Unter Benutzung zweier Fundamentallösungen der Bahngleichungen lassen sich sämtliche geometrisch-optischen Konstanten des Umlenkfeldes formal angeben. Um quantitative Aussagen zu machen, müssen die Funktionen  $E_0(w), E_1(w), E_2(w), H_1(w), H_2(w)$  bekannt sein. Ist der Umlenkwinkel genügend groß, so daß das Verhältnis des Bogens  $R$  zum gegenseitigen Abstand  $d$  der Umlenkelektroden nicht zu klein wird ( $R\Theta/d \geq 10$ ), dann werden die Streufelder auf den Bahnverlauf keinen merklichen Einfluß ausüben. Es kann dann in guter Näherung

Abb. 24. Definition der optischen Achse und ihre Abhängigkeit von der Ionenmasse.

Figure D.207: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].



90 H. EWALD UND H. MARSCHALL · MASSENSPEKTROGRAPHEN

mit einem nur innerhalb des Umlenkraumes vorhandenen elektromagnetischen Feld gerechnet werden (abgehacktes Feld). Die Feldkoeffizienten verschwinden dann im Gegenstands- und Bildraum und sind im Umlenkraum konstant, wobei insbesondere  $E_0 = 0$  gilt. Die Ionenbahnen sind in diesem Fall durch trigonometrische Funktionen darstellbar. Bedeutet  $V$  die Lateralvergrößerung des Umlenkfeldes – wie in der geometrischen Optik ist bei reellen Bildern  $V < 0$  – und  $S$  die in  $v$ -Richtung gemessene Breite des Spektrometerspaltes, dann gilt für die obere Grenze des Auflösungsvermögens

$$D = \frac{1}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{R}{S} \frac{1 - V}{V}$$

Dabei ist  $\gamma_1 = \frac{M_1 - M_0}{M_0}$  und  $\gamma_2 = \frac{M_2 - M_0}{M_0}$ , also  $\gamma_1 - \gamma_2 = \frac{M_1 - M_2}{M_0}$ .

Abb. 25. Zwei Beispiele für punktwise abbildende elektromagnetische Umlenkfelder. Beide Figuren zeigen die elektrischen und magnetischen Niveaulinien in einer Ebene  $w = \text{const.}$  a) homogenes Magnetfeld, parabelförmige Kraftlinien. b) elektrisches Feld eines Zylinderkondensators, hyperbelförmige magnetische Kraftlinien.

Das Auflösungsvermögen ist so bestimmt, daß die zu den Massendispersionen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  gehörigen Spaltbilder gerade zusammenfließen. Obwohl zur Erreichung einer möglichst großen Dispersion kleine  $V$ -Beträge günstig erscheinen, wird man die Vergrößerung nicht zu klein wählen, um eine große Baulänge (Abstand Gegenstandsebene-Bildebene)

$$L = R\theta + R \frac{V(2 \cos\theta - V) - 1}{V \sin\theta}$$

zu vermeiden. Es ist zwar möglich,  $L$  durch geeignete Wahl von  $\theta$  klein zu halten, dazu sind jedoch Umlenkwinkel von nahezu  $90^\circ$  notwendig, welche vom Standpunkt der Vignettierung aus zu groß sind. Deren Größe kann für eine bestimmte

GAUSS'SCHE DIOPTRIK UND BILDFEHLERTHEORIE 91

Masse durch den am Ende des Umlenkfeldes gemessenen Abstand der optischen Achse von der  $w$ -Achse abgeschätzt werden; dieser beträgt

$$v_A = \gamma R (1 - \cos\theta)$$

Man wird daher in den meisten Fällen nach der Festlegung des Magneten und des Luftspaltes zunächst  $\theta$  bestimmen. Bei vorgegebenem Umlenkwinkel ergibt sich dann die kleinste Baulänge für die Vergrößerung  $V = -1$ ; es gilt

$$L_{\min} = R\theta + \frac{2R}{\sin\theta} (1 + \cos\theta)$$

Bild- und Gegenstandsraum befinden sich dann in gleichen Abständen vom Umlenkfeld.

Spezialisiert man sich unter der Annahme des abgehackten Feldes auf die beim Mattausch'schen Spektrographen verwendete Feldanordnung des Zylinderkondensators und des homogenen Magnetfeldes, dann erweisen sich die Überlegungen von Herzog inhaltlich genau identisch mit der Gauß'schen Näherung.

5.6.2.3 Die Abbildungsfehler des Umlenkfeldes

Werden die Bewegungsgleichungen bis zu einschließlich Gliedern zweiter Ordnung entwickelt, dann treten an Stelle der den Gauß'schen Strahlengang beherrschenden Differentialgleichungen korrigierte Gleichungen, deren Lösung nach der Methode der Störungsrechnung erfolgt. Als Resultat erhält man Abweichungen vom Gauß'schen Strahlengang, nämlich die Abbildungsfehler des Umlenkfeldes. Da nun auch die im Rahmen der Gauß'schen 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  $\eta_A$  die in der Bildebene gemessene Koordinate der zu  $\gamma$  gehörenden optischen Achse, dann sind für diese Abweichungen  $\Delta \eta_A$  zu erwarten, die proportional zu  $\eta_A^2$ ,  $\gamma^2$  und  $\eta_A \gamma$  sind. Da außerdem die Geschwindigkeitsfokussierung in zweiter Näherung nicht mehr erfüllt ist, treten weitere Korrekturglieder auf, welche mit  $\beta^2$ ,  $\beta \eta_A$  und  $\beta \gamma$  anwachsen. Die Einzelfehler der optischen Achse lauten nun:

Figure D.208: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].



H. EWALD UND H. MARSCHALL · MASSENSPEKTROGRAPHEN

92

1. Achsenbedingte Verzeichnung	$\Delta\eta_A = A_A\eta_A^2 V$
2. Massenbedingte Verzeichnung	$\Delta\eta_A = B_A\eta_A^2 V$
3. Massen- und achsenbedingte Verzeichnung	$\Delta\eta_A = C_A\eta_A V$
4. Geschwindigkeitsbedingte Aberration	$\Delta\eta_A = D_A\beta^2 V$
5. Geschwindigkeits- u. achsenbedingter Astigmatismus	$\Delta\eta_A = G_A\beta\eta_A V$
6. Geschwindigkeits- u. massebedingter Astigmatismus	$\Delta\eta_A = D_A\beta\gamma V$

Die Bezeichnung der Fehler geschieht in Anlehnung an die optische Bildfehlertheorie. Korrekturglieder, welche nur von den Bildkoordinaten abhängen, werden als Verzeichnungen, solche, die unabhängig davon sind, als Aberrationen, die übrigen, die eine gemischte Abhängigkeit aufweisen, als Astigmatismus bezeichnet. Unter der Annahme des abgehackten Umlenkfeldes können sämtliche Fehlerkoeffizienten ( $A_A, \dots, D_A$ ) durch elementare Integration (Integrale über Gaußsche Bahnen) berechnet werden.

Die Verzeichnungsfehler 1, 2 und 3 verringern das Auflösungsvermögen des Gerätes nicht; sie bewirken lediglich eine Verzerrung der Massenskala, deren Einfluß auf das Meßergebnis durch geeignete Eichung vermieden werden kann. Die restlichen Fehler 4, 5 und 6 dagegen vermindern das Auflösungsvermögen; die optische Achse durchstößt die Bildebene nicht mehr in einem mathematischen Punkt, sondern in einem kurzen Strich, welcher mit  $\beta$  anwächst. Bei kleiner Geschwindigkeitsdispersion ist jedenfalls eine Verringerung des Auflösungsvermögens durch die Achsenfehler nicht zu befürchten.

b) Die Bildfehler des Spektrometerspaltbildes. Bedeuten  $x, y$  die Koordinaten des Spektrometerspaltes in der Gegenstandsebene,  $\xi, \eta$  diejenigen des Bildes,  $\sigma$  den Radius und  $\alpha$  die Winkelkoordinate der das Ionenbündel begrenzenden Aperturblende, dann sind Abweichungen von der idealen Gaußschen Abbildung zu erwarten, welche zu  $x^2, y^2, xy, x\eta_A, y\eta_A, x\gamma, y\gamma, \sigma^2, \gamma\sigma, \eta_A\sigma, \beta\sigma, x\sigma, y\sigma, \beta x$  und  $\beta y$  proportional sind. Im einzelnen lauten die Abbildungsfehler für das punktabbildende Umlenkfeld:

1. Ortsbedingte Verzeichnung	$\Delta\xi = A'xyV$
2. Orts- und achsenbedingte Verzeichnung	$\Delta\eta = (A_1x^2 + A_2y^2)V$
3. Orts- und massebedingte Verzeichnung	$\Delta\xi = B'x\eta_A V$
4. Ortsbedingte Aberration	$\Delta\eta = C'y\gamma V$
5. Orts- und achsenbedingte Aberration	$\Delta\xi = D_1\sigma^2\sin 2\alpha V$
6. Orts- und massebedingte Aberration	$\Delta\eta = (D_1\cos^2\alpha + D_2\sin^2\alpha)\sigma^2 V$
7. Orts- und geschwindigkeitsbedingte Aberration	$\Delta\xi = G'\eta_A\sigma\cos\alpha V$
8. Ortsbedingter Astigmatismus	$\Delta\eta = G\eta_A\sigma\sin\alpha V$
9. Orts- und geschwindigkeitsbedingter Astigmatismus	$\Delta\xi = K'\gamma\sigma\cos\alpha V$
	$\Delta\eta = K\gamma\sigma\sin\alpha V$
	$\Delta\xi = L'\beta\sigma\cos\alpha V$
	$\Delta\eta = L\beta\sigma\sin\alpha V$
	$\Delta\xi = (N_1x\sin\alpha + N_2y\cos\alpha)\sigma V$
	$\Delta\eta = (N_1x\cos\alpha + N_2y\sin\alpha)\sigma V$
	$\Delta\xi = P'\beta x V$
	$\Delta\eta = P\beta y V$

GAUSSISCHE DIOPTRIK UND BILDFEHLERTHEORIE

93

Die Terminologie ist die gleiche wie bei den Achsenfehlern. Entsprechend dem Aufbau des Umlenkfeldes sind die Korrekturglieder bezüglich der Koordinate  $\xi$  symmetrisch. Die Verzeichnungsfehler 1, 2 und 3, die die Auflösung des Gerätes nicht beeinflussen, können dadurch klein gehalten werden, daß man die Mitte des Spektrometerspaltes mit dem Koordinatenursprung  $x = y = 0$  der Gegenstandsebene zusammenfallen läßt. Dadurch werden auch die das Auflösungsvermögen herabsetzenden astigmatischen Fehler klein gehalten. Am meisten wird das Auflösungsvermögen durch die ortsbedingte Aberration beeinflusst, auf die man auch bei einer Fehlerkorrektur das Hauptaugenmerk richten muß. Die Fehlerkonstanten  $A', A_1, A_2, B', \dots$  hängen von den Feldkoeffizienten  $E_2, H_2, E_3, H_3$  ab, weshalb durch besondere Formgebung der Umlenkelektroden und Polschuhe eine Verringerung der Bildfehler möglich erscheint.

5. 6. 2. 4 Einige Daten zur praktischen Planung des Spektrographen

Die durch die Theorie gewonnenen Erkenntnisse sollten für den bei der Forschungsanstalt der Reichspost in Miersdorf bei Berlin geplanten Massenspektrographen verwendet werden. Der Aufbau des Ablenkorgans ist in Abb. 26 in

Abb. 26. Schematischer Aufbau des geplanten Miersdorfer Massenspektrographen

einem schematischen Schnitt dargestellt. Zwischen den Polschuhen  $P_1$  und  $P_2$  des Magneten befinden sich die Kondensatorplatten  $K_1$  und  $K_2$ . Im ionenerfüllten Raum soll das elektrische Feld möglichst keine Randinhomogenitäten aufweisen. Da durch die geringe Weite des Luftspaltes (4 cm) die Höhe der ganzen Anordnung beschränkt ist, sollte dies einen engen Abstand der Elektroden und damit starke Vignettierung bedeuten. Diese Schwierigkeit wird vermieden durch Einziehen von Hilfselektroden  $E$  am oberen und unteren Kondensatorrand, die durch eine Potentiometerschaltung auf geeignete Zwischenpotentiale gelegt werden. Für die technische Ausführung ist daran gedacht, diese Elektroden in Isolatorplatten einzubetten.

Das Gerät sollte bei einem Radius  $R = 60$  cm eine Massenskala von  $\gamma = \pm 8\%$  erhalten. Der Umlenkwinkel wird mit Rücksicht auf die Vignettierung zu  $45^\circ$  die Vergrößerung wegen der anzustrebenden kurzen Baulänge zu  $V = -1$  ge-

Figure D.209: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80-10].



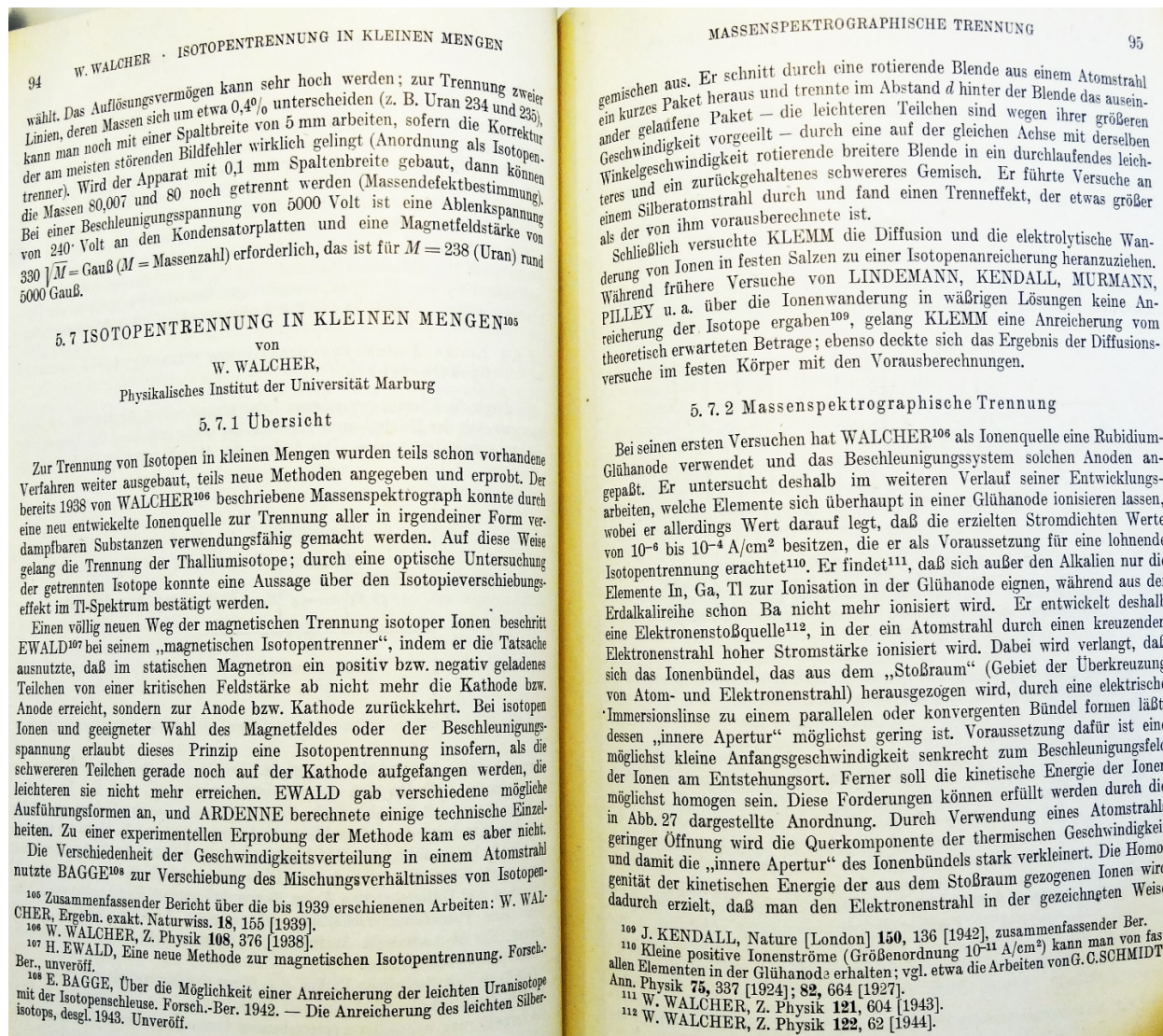


Figure D.210: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: *Nuclear Physics and Cosmic Rays* Vol. II, pp. 80–10].



96 W. WALCHER · ISOTOPENTRENNUNG IN KLEINEN MENGEN

fokussiert und dadurch die axiale Ausdehnung des Stoßraumes möglichst klein hält.

Zur Abschätzung der zu erwartenden Ströme berechnet WALCHER die Teilchendichte  $v$  im Atomstrahl am Ort des Stoßraumes; er findet ganz allgemein, daß  $v = v_0 \cdot \Omega / 4\pi$  ist, wenn  $v_0$  die Dichte im Ofen und  $\Omega$  der Raumwinkel ist, unter dem bei Berücksichtigung der Vignettierung der Ofenspalt erscheint. Damit ist es möglich, den Wirkungsgrad

$$W = \frac{\text{Ionenstrom } J_I}{\text{Elektronenstrom } J_E}$$

der Ionenquelle anzugeben. Er wird etwa am günstigsten, wenn 1. der Stoßraum unmittelbar hinter dem Blendspalt  $Sp_2$  liegt, 2. der Blendspalt  $Sp_2$  ebenso groß

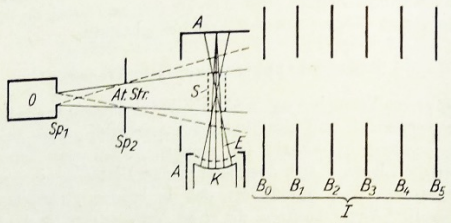


Abb. 27. Schema der Atomstrahlionenquelle. O Ofen,  $Sp_1$  u.  $Sp_2$  „Spalte“ (kreisrunde Blenden), At. Str. Atomstrahl, E Elektronenstrahl, K, A Kathode und Anode für den Elektronenstrom, S Stoßraum,  $B_0$  bis  $B_5$  Blenden der elektrostatischen Immersionslinse.

wie der Ofenspalt  $Sp_1$  ist, 3. der gesamte Elektronenstrom homogen die Blendspaltfläche überstreicht und hat dann den Betrag

$$W = J_I / J_E = 3 \cdot 10^{-3} \cdot s \cdot \text{tg}^2 \alpha.$$

Darin bedeutet  $s$  die differentiale Ionisierung,  $\text{tg} \alpha$  das Öffnungsverhältnis des Atomstrahls. Für Silber wird bei einer Beschleunigungsspannung von 200 V für die Elektronen  $s \approx 10$ ; macht man  $\text{tg} \alpha \approx 1:10$ , so wird  $W = 3 \cdot 10^{-4}$ , oder bei  $J_E = 100 \text{ mA}$  wird  $J_I \approx 30 \mu\text{A}$ . Dieser Wirkungsgrad erscheint im Hinblick auf die in anderen mehrfach beschriebenen<sup>113</sup> Elektronenstoßquellen mit Elektronenpendelung erzielten Ergebnisse klein, doch sind diese Anordnungen wegen der oben beschriebenen Anforderungen nicht geeignet.

Ein gewisses Problem stellt das Herausziehen der Ionen aus dem Stoßraum dar, weil 1. das Ziehfeld die Geschwindigkeitshomogenität verringert, 2. die Krümmung der Potentialflächen des Ziehfeldes die obigen Forderungen nicht verletzen darf, 3. die Raumladung im Stoßraum Linsenfehler im Immersionsystem verursacht. Sowohl durch rechnerische Erfassung des Herauszieh-

<sup>113</sup> Vgl. den zusammenfassenden Ber. von H. KORSCHING, Physik. Z. **42**, 74 [1941].

97 MASSENSPEKTROGRAPHISCHE TRENNUNG

vorganges als durch geeignete Gestaltung der Ziehelektroden gelingt es, ein den Erfordernissen entsprechendes Ionenbündel zu erzeugen. Die experimentelle Erprobung des mit der neuen Ionenquelle ausgestatteten Trennspektrographen am Silber ( $^{107}\text{Ag}$ ;  $^{109}\text{Ag} = 1,08$ ) zeigt, daß Ausbeute wie Auflösung den Erwartungen entsprechen (vgl. Abb. 28). Dabei zeigt sich, daß die Restgase einen wesentlichen Einfluß auf das Auflösungsvermögen besitzen; sie sind für die Stabilität der Ionenquelle von besonderer Bedeutung.

Der Einfluß der Raumladung des Ionenbündels im Sektorfeld auf das Auflösungsvermögen wird von WALCHER<sup>114</sup> rechnerisch untersucht. Er findet, daß bei nicht zu extremen Bedingungen durch geeignete Einstellung des Immersionssystems der bündelverbreiternde Einfluß der Raumladung kompensiert werden kann.

Unter Verwendung der beschriebenen Ionenquelle in Verbindung mit dem früher angegebenen Magnetfelde<sup>106</sup> werden die Thalliumisotope getrennt<sup>115</sup>. Zum Auffangen der Isotope wird am Feldende (in der Bildebene des Spektrographen) eine Al-Folie angebracht. Sie besitzt ein kleines Loch, hinter dem ein Auffänger steht; dieser ist über einen Hochohmwiderstand geerdet und mit einem Elektrometer verbunden, so daß der durch das Loch tretende Strom gemessen werden kann. Da die verschiedenen Spannungen und Ströme, die zum Betrieb des Trennspektrographen nötig sind, langsamen zeitlichen Schwankungen unterworfen sind, würde der Strombelag auf dem Auffänger wandern und die Trennung zunichte machen. Deshalb wird durch eine Feinregelung des Magnetstromes der Lochauffängerstrom immer auf dem Maximum der Verteilungskurve gehalten, so daß sicher eine saubere Trennung erfolgt.

In 20stündigem Betrieb entsteht auf diese Weise auf der Al-Folie ein Thalliumspiegel von 70  $\mu\text{g}$  Masse; er ist in Abb. 29 wiedergegeben. Zur weiteren Untersuchung der ge-

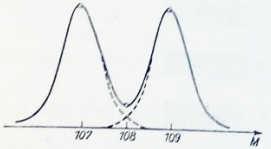


Abb. 28. Intensitätsverteilung der Silberisotope am Auffänger des Trennspektrographen bei günstigster Fokussierung. Trennleistung:  $5 \cdot 10^{-7}$  Mol/Tag  $^{107}\text{Ag} + 5 \cdot 10^{-7}$  Mol/Tag  $^{109}\text{Ag}$ , Reinheit 99%. Bei Verringerung der Auflösung Erhöhung der Trennleistung möglich.

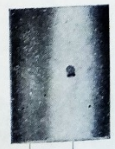


Abb. 29. Photographie der mit Thallium bedeckten Al-Folie. Linke Linie  $^{203}\text{Tl}$ , rechte Linie  $^{205}\text{Tl}$ , Loch vgl. Text.

trennten Isotope und zur Bestimmung der Mischungsverhältnisse wird die Folie in vier Streifen zerschnitten, wobei die Schnitte durch die Maxima beider Isotope und die Mitte zwischen beiden gehen. Dann werden die einzelnen Streifen in eine Hohlkathode gesteckt und mit einem Interferenzspektrographen die Hyperfeinstruktur der grünen Thalliumlinie photographiert<sup>116</sup>. Abb. 30 gibt das Er-

<sup>114</sup> W. WALCHER, Z. Physik **121**, 719 [1943].  
<sup>115</sup> W. WALCHER, Z. Physik **122**, 401 [1944].  
<sup>116</sup> H. KOPFERMANN u. W. WALCHER, Z. Physik **122**, 465 [1944].

7 Kernphysik

Figure D.211: 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% <sup>203</sup> Tl, 71% <sup>205</sup> Tl
B	Probe 1 ganz rechts in Abb. 29	56% <sup>203</sup> Tl, 44% <sup>205</sup> Tl
C	Probe 2 Mitte rechts, Abb. 29	50% <sup>203</sup> Tl, 50% <sup>205</sup> Tl
D	Probe 3 Mitte links, Abb. 29	10% <sup>203</sup> Tl, 90% <sup>205</sup> Tl
E	Probe 4 ganz links in Abb. 29	4% <sup>203</sup> Tl, 96% <sup>205</sup> 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 EWALD<sup>107</sup> 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* mit den Radien *r<sub>b</sub>* und *r<sub>c</sub>*, treten die von einer großen zylindrischen Ionenquelle ausgesandten Ionen homogener Energie in der Zeichenebene radial ein. Bei richtig eingestellter Magnetfeldstärke tritt die schwerere der zu trennenden Massen (*M<sub>2</sub>*) etwa tangential aus der äußeren Begrenzung *C* des Magnetrings aus (unter der Annahme eines scharf abschneidenden Feldes!) und wird auf dem Auffänger *a<sub>2</sub>* aufgefangen. Die leichtere Masse (*M<sub>1</sub>*) wird dagegen zur Ionenquelle zurückgebogen und auf dieser (Auffänger *a<sub>1</sub>*) abgeschieden.

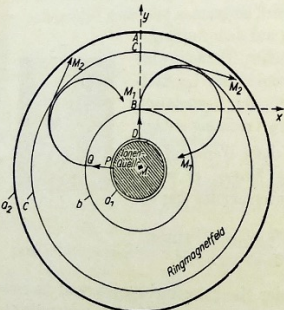


Abb. 31. Schematische Darstellung des Isotopentrenners nach EWALD. Magnetfeld innerhalb des Ringes zwischen *b* und *c* senkrecht zur Zeichenebene. *M<sub>2</sub>* schwere, *M<sub>1</sub>* leichte Masse, *a<sub>1</sub>* Beschleunigungsnetz und Auffänger für die leichte Masse, *a<sub>2</sub>* Auffänger für die schwere Masse.

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<sub>I</sub>*, *k<sub>II</sub>* für die leichten, *K<sub>I</sub>*, *K<sub>II</sub>* für die schweren Ionen begrenzten Bündels. Vollständige Trennung beider Bündel wird

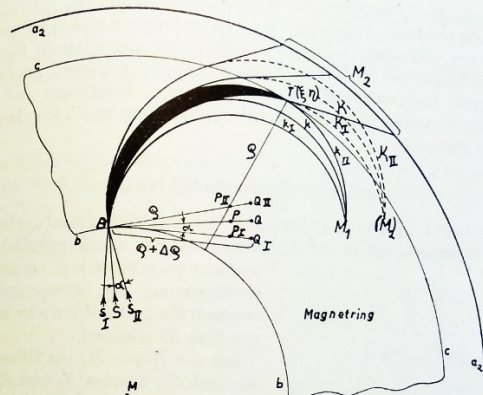


Abb. 32. Zum Auflösungsvermögen des Isotopentrenners. *k<sub>II</sub>*, *k<sub>I</sub>* leichtes Bündel, *K<sub>II</sub>*, *K<sub>I</sub>* schweres Bündel. *B* Divergenzpunkt für die Betrachtung des Auflösungsvermögens. *S<sub>II</sub>*, *S<sub>I</sub>* kommen von verschiedenen Punkten der Ionenquelle.

gerade noch erzielt, wenn vom leichten Bündel die Bahn *k<sub>II</sub>*, vom schweren *K<sub>I</sub>* 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  $\Delta U$  der Energie *U*. Es wäre also am günstigsten, das Radienverhältnis *r<sub>c</sub>/r<sub>b</sub>* möglichst groß zu machen. Kleines *r<sub>b</sub>* beschränkt aber die Ionenquelle auf einen zu kleinen Raum und setzt damit die Raumladung in der Quelle unnötig hinauf; großes *r<sub>c</sub>* vergrößert die Polschuhfläche quadratisch und steigert den aufzuwendenden magnetischen Kraftfluß. Ewald schlägt als Kompromiß *r<sub>c</sub>/r<sub>b</sub>* = 2 vor.

100 W. WALCHER · ISOTOPENTRENNUNG IN KLEINEN MENGEN

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<sub>b</sub>* = *r<sub>c</sub>* = ∞ 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 ARDENNE<sup>117</sup> einige für die praktische Ausföhrung des Isotopentrenners wichtige Daten (Abhängigkeit des praktischen Auflösungsvermögens von der relativen Häufigkeit der Isotope, Einfluß des Streufeldes, Ionenoptik, Massentransport, Ionisierungswirkungsgrad, Energieaufwand) abgeschätzt, bzw. besprochen und einige konstruktive Vorschläge gemacht. Zu einer Ausföhrung von Versuchen ist es nicht mehr gekommen.

<sup>117</sup> M. V. ARDENNE, Sonderber. Mitt. Forsch.-Anst. dtsh. Reichspost.

Figure D.212: Description of Heinz Ewald's wartime work on electromagnetic isotope separators [FIAT Rev: Nuclear Physics and Cosmic Rays Vol. II, pp. 80–10].



**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 "posteigenen 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](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 Beriya 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. Flüge 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. 3609.]**

[...] *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.

DECLASSIFIED  
Authority NND 91117

NARA RG 77, Entry UD-22A, Box Box 171, Folder  
32.7003-1 GERMANY: US Wartime Positive Int. (July 42-June 44)

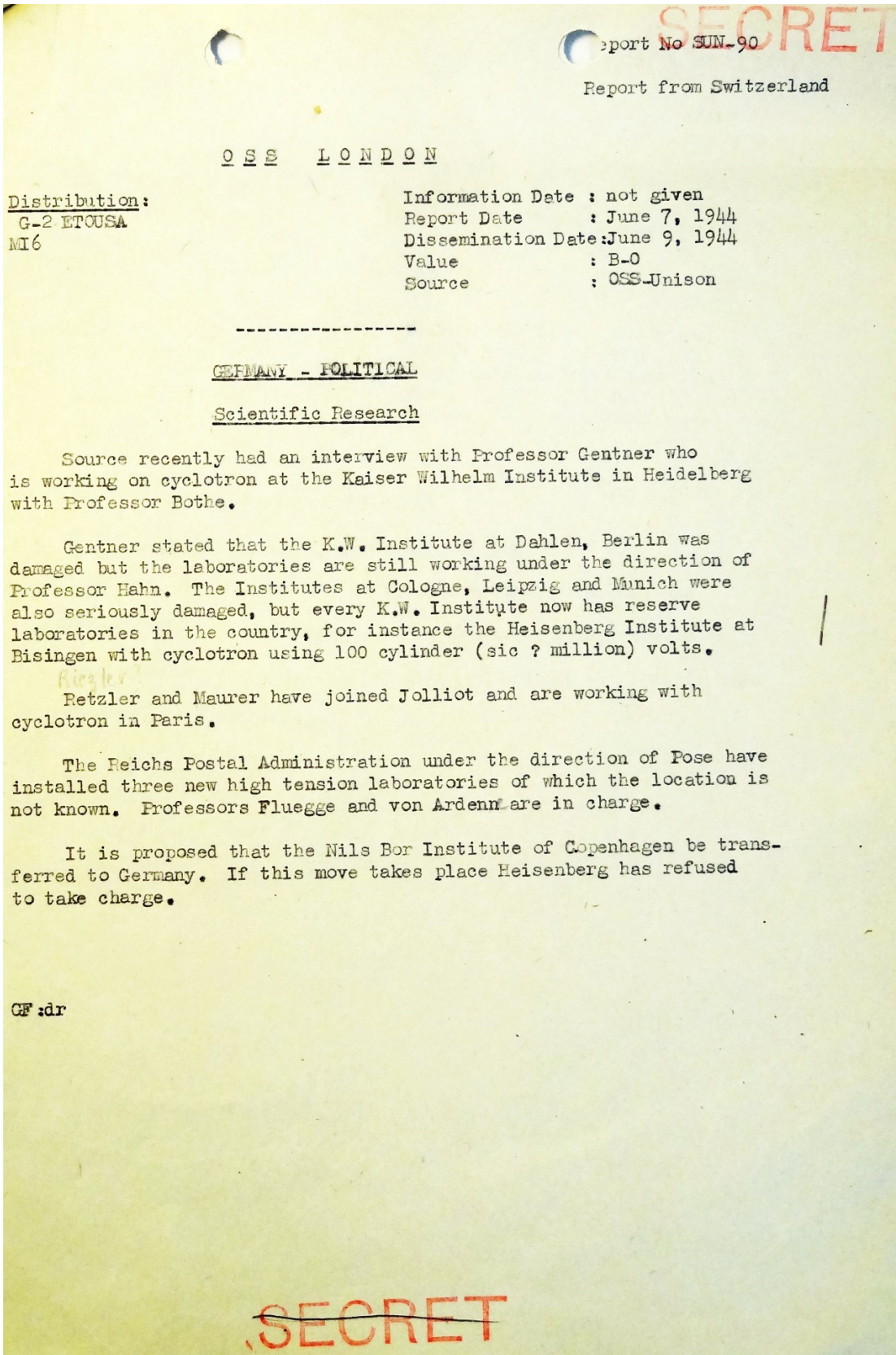


Figure D.213: "The Reichs Postal Administration under the direction of Pose have installed three new high tension laboratories of which the location is not known. Professors Fluegge and von Ardenne are in charge." Were these three calutron-based enrichment facilities? [OSS London. 9 June 1944. Report 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 72% U<sup>235</sup> were obtained.  
(W 3, 4/7/46)

**TOP SECRET**

Figure D.214: 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.215: 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. Those contacted have been marked with asterisk before names.

<u>NAME - ADDRESS</u>	<u>FIELD</u>
W BISTER, 40 Beerenstr. Berlin-Zehlendorf	worked with ARDENNES form 1940-1945. Took part in short wave experients, 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.	Electrene 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)
<u>HERTZ</u>	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, Quergebseude, 4 E left.	Bookkeeper, in possession of letters. (SZ 2, 1/7/46)
HOLLMANN, Georghental 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, new Geettingen	designed cyclotron and Isotope separator. (W 3, 6/7/46)
Frl. HUNGER, new with Special Investigations, Public Safety, 12 Rethenburgstr Berlin-Steglitz.	worked with electrene 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 Theeder Fritsch-allee, Berlin-Schlechtensee	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.216: 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** 1074

<p>Fr. SCHLEGEIMILCH, Berlin-Hicelasee, Prinz Friedrich Leopoldstr, 2.</p>	<p>Medical assistant, worked on electrones, with ARDENNE until 1943. (W1, 4/7/46)</p>
<p>Rosemarie STREISAND, &amp; Eislebenerater</p>	<p>is reported to know wemething about electrone microscope work. (W 3, 6/7/46)</p>
<p>Dr. STROHHAEBCKER, GAISLINGEN-STEIGE.</p>	<p>electrone microscope. With ARDENNE from Dec. 1944 to May 1945. (W 1, 4/7/46)</p>
<p>*Wolfgang WEITSCH, 28 Beethstr Lichterfelde-Ost</p>	<p>mass spectrometer, Oct 1943 to May 1945. (W1, 4/7/46)</p>
<p>Eduard von WINTERFELD lived at 15 Duererstr., Falkensee near Berlin.</p>	<p>Ultra short wave, had experimental station at DASSOW near Luebeck. (W 2, 5/7/46)</p>
<p>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)</p>	
<p>3. The following are reported to be with ARDENNE. These with relatives still available here have been marked with " in front of their names.</p>	
<p>Rena (RENATE) von ARDENNE</p>	<p>A sister, BDM Bannfusherein left with her brother. She is reported to have written to Edith THERMANN (?) that they heped to be back by the end of 1947.</p>
<p>Alexander BERGENGRUEN</p>	<p>(CIG Int rep. 25/6/46, Edith BILZ) father-in-law of ARDENNE. Co-partner with ARDENNE in the firm ARDENNE KRISTALL, 21 Millelstr. Berlin-Lichterfelde-Ost. Sold cathode ray tubes, BRAUN tubes and photecells. 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)</p>
<p>Herr BERNHARD</p>	<p>Wife and three children. BERNHARD was the constructor of ARDENNE'S van de Graaf generator. (R1, 4/7/46) W1, 4/7/46)</p>
<p>*Siegfried KLEIN</p>	<p>mechanic, worked on cyclotron. His parents are still here: Stubenrauchstr 5-7. (W1, 4/7/46) (W2, 5/7/46) (W1 4/7/46)</p>
<p>Gerds von LANGSDORF</p>	<p></p>
<p>Herr LORENZ</p>	<p>Wife, two children and sister. He is described as general handmaid for all mechanical work and a very able man.</p>

**TOP SECRET**

Figure D.217: 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

Dr. MENKE of Prof NOACK's Biological Institute.  
(W3, 6/7/46)

Herr REIBENDANZ 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 SCHEUNEMANN 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.  
(W1, 4/7/46)

(phonetic spelling)  
SUCHLAND secretary  
(W1, 5/7/46)

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.

According to one report the group with ARDENNE is 130 people strong.  
(CIC Int Rep 25/6/46) on Edith BILZ  
(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 100 m from the house. It was completely empty when we arrived. All apparatus and instruments were brought here

TOP SECRET

Figure D.218: 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.219: 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. 3619–3629. 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. 3630–3638). 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. 536). 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. 3640). 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. 3629), Rudolf Fleischmann (German, 1903–2002, p. 3639), 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. 3641–3646. 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. 3651–3662.

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?]



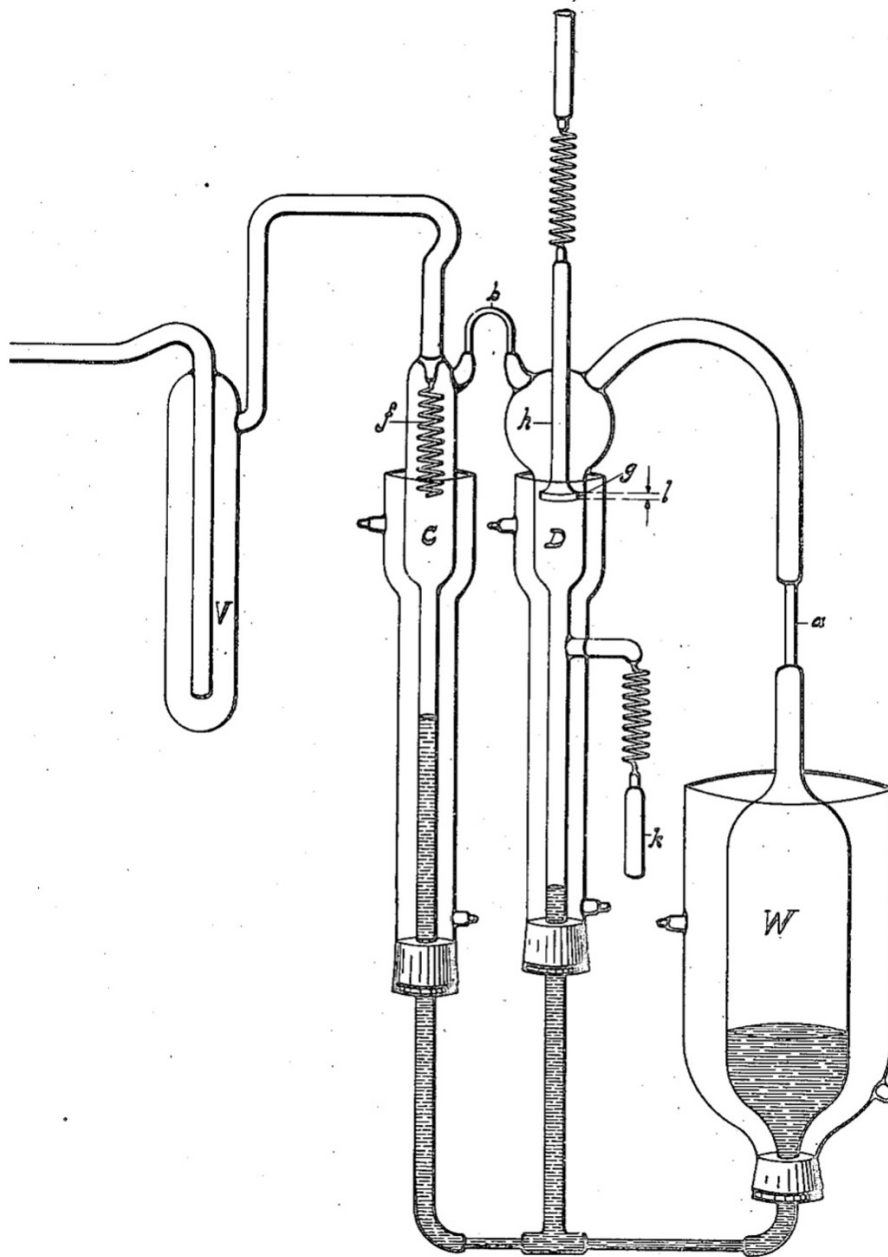
March 11, 1924.

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. Brudenburgh*

Figure D.220: 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.221: 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

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 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 the 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 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 thereto through *k* 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 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 gaseous fluid and the instreaming gas mixture should meet each other in the manner described above. Thus it is not necessary that one of the components should diffuse against the stream of gaseous fluid forming an angle of 180° therewith but also with much smaller angles very favourable results may 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 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 apparatus for separating gases according to the above described method is described in my copending application Serial Number 632,797.

What I claim is:

1. 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.
2. 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.
3. 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.
4. 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.
5. 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 predetermined 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 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.
7. 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.
8. 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.
9. 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.
10. 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 predetermined 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 is relatively high with regard to the concentration of the other components.

In testimony whereof I affix my signature. Dr. GUSTAV LUDWIG HERTZ.

Figure D.222: 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].







- des ursprünglichen Gasgemisches abwechseln. Jeder dieser Fraktionen entzieht man, z. B. mittels Pumpen, einen Teil der dabei andern Entmischungselementen oder auch derselben Entmischungselemente zugeführt wird; z. B. wenn im Entmischungselement *e* zwei Fraktionen gebildet worden sind, so kann die eine Fraktion dem vorigen Entmischungselement *b*, und die andere dem folgenden Element *d* zugeführt werden.
- Die dem Element *b* zugeführte Fraktion wird hier wieder eine teilweise Entmischung erfahren und in zwei Unterfraktionen zerlegt werden, von denen die eine dem vorigen Entmischungselement *a* und die andere dem Element *c* zugeführt werden kann. Ähnliches wird mit der dem Entmischungselement *d* bzw. mit jeder einen vorigen oder einem folgenden Entmischungselement zugeführten Fraktion geschehen. Im allgemeinen werden in einem bestimmten Entmischungselement zwei oder mehr von andern Entmischungselementen oder auch von denselben Element herkommende Fraktionen zusammenkommen; das in dieser Weise entstandene Gasgemisch wird dann durch die Entmischung wieder in zwei oder mehrere Fraktionen geteilt werden, die wieder andern Entmischungselementen oder auch denselben Entmischungselement zugeführt werden. Die im ersten und im letzten Entmischungselement befindlichen Gasgemische werden ihrer Zusammensetzung nach an meisten verschiedenen sein und an meisten von der Komponente befreit sein, die man mittels der Trennung zu entfernen wünscht. Will man die Trennung darauf ausführen, daß von einem Entmischungselement einem zweiten zugeführte Gasmenge nahezu gleich der von dem zweiten Element dem ersten zugeführten Gasmenge ist, so kann man zu diesem Zwecke den Widerstand des Weges vom ersten Entmischungselement zum zweiten nahezu gleich dem Widerstand des Weges vom zweiten Entmischungselement zum ersten machen. Wird die Trennung in einem Entmischungselement dadurch herbeigeführt, daß man das Gas durch eine poröse Wand diffundieren läßt, so kann gemäß der Erfindung der Widerstand des einen Weges praktisch durch die poröse Wand bestimmt werden, während der Widerstand des andern Weges durch eine geeignete Wahl des Durchmessers oder der Länge der zu diesem Zwecke verwendeten Röhre dem vorher erwähnten Widerstand ungefähr gleich gemacht wird. Dabei muß man aber berücksichtigen, daß der Durchmesser dieser Röhre im allgemeinen nicht so klein sein darf, daß in derselben Entmischungsercheinungen auftreten und daher die regelmäßige Durchströmung gestört wird. Um das Auftreten von Entmischungsercheinungen zu vermeiden, kann man den Durchmesser der Röhre größer wählen, als die freie Weglänge der Moleküle des hindurchströmenden Gases beträgt. Es kann jedoch eine Röhre, deren Durchmesser so klein ist, daß Entmischungsercheinungen auftreten, z. B. ein Haarröhrchen, verwendet werden, wenn ihm nur eine weite Röhre von solcher Länge vorgeschaltet wird, daß an dem von Haarröhrchen am weitesten entfernten Ende dieser weiten Röhre Entmischungsercheinungen nicht auftreten.
- Da jedem Entmischungselement eine gewisse Menge der in diesem Element erzeugten Fraktionen entzogen werden muß, müssen Mittel zum Regeln dieser Entziehung vorgesehen werden. Zweckmäßig geschieht die Entziehung der Fraktionen an jedem der Entmischungselemente mit Hilfe von Pumpen. Obwohl zum Absaugen jeder Fraktion eine einzelne Pumpe verwendet werden kann, empfiehlt es sich häufig, mehrere von verschiedenen Entmischungselementen herkommenden Fraktionen mit einer einzigen Pumpe abzusaugen. So kann z. B. die Entziehung einer Fraktion an einem vorigen und die einer andern Fraktion an einem folgenden Entmischungselement mit einer einzigen Pumpe ausgeführt werden. In der Regel werden zum Ausführen des Verfahrens Pumpen verwendet, deren Leistungen gleich groß sind.
- Anstatt eine Trennungsmethode mittels Diffusion durch eine poröse Wand zu benutzen, kann die Trennung in den Entmischungselementen auch durch jedes andere an sich bekannte Trennungsverfahren stattfinden.
- Das Verfahren gemäß der Erfindung wird an Hand der beigefügten Zeichnung erläutert, in der in Fig. 1 eine Vorrichtung dargestellt ist, die aus fünf hintereinandergeschalteten Entmischungselementen besteht, deren jedes für sich eine teilweise Entmischung dadurch herbeiführt, daß das Gasgemisch zum Teil durch eine poröse Wand diffundiert. Fig. 2 stellt eine Vorrichtung dar, die gleichfalls aus fünf Entmischungselementen besteht, in der aber jedes Entmischungselement zwei poröse Wände enthält, deren jede eine teilweise Trennung herbeiführen kann.
- In Fig. 1 sind *a*, *b*, *c*, *d* und *e* die fünf Entmischungselemente. Wenn man eines dieser Entmischungselemente z. B. *e* ins Auge faßt, so bezeichnet *1* eine Röhre, durch die das Gasgemisch nach *s* strömt, *2* ist eine mit einer porösen Wand versehene Röhre, die unten abgeschlossen ist und z. B. aus aufgerolltem Papier bestehen kann; sie befindet sich im Innern der Röhre *1* und ist mit dieser daran verbunden, daß eine Gasströmung von der Röhre *1* nach der Röhre *2* ausschließlich durch die poröse Wand hindurch stattfinden kann. Zu diesem Zweck ist das obere Ende der Röhre *1*, die aus Glas bestehen kann, durch Verschmelzung an einer Röhre *3* befestigt, welche die Verlängerung der Röhre *2* ist. Die Röhre *1* ist am oberen Ende umgeben und ist unter Zwischenabstand der engen Röhre *4* mit der Pumpe *5* verbunden, die das durch das Entmischungselement *a* zu trennende Gasgemisch zuführt, während die Röhre *3* mit der Pumpe *6* verbunden ist, die das durch das Entmischungselement *b* zu trennende Gasgemisch zuführt. Der Widerstand, den das durch die poröse Wand strömende Gas findet, ist dem Widerstand der engen Röhre *4* nahezu gleich. In das Entmischungselement *c* werden nun mittels der Pumpe *7* zwei Fraktionen zusammengebracht, von denen die eine durch die enge Röhre *7* zugeführt wird und von dem Entmischungselement *b* herkommt, während die andere durch die Röhre *8* strömt und von dem Entmischungselement *c* herkommt.

Klasse 12 d.

Ausgegeben am 25. Oktober 1927.



## ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT.

PATENTSCHRIFT N<sup>o</sup> 107571.

N. V. PHILIPS' GLOBILAMPENFABRIKEN IN EINDHOVEN.

## Verfahren zur ununterbrochenen Trennung eines Gasgemisches.

Angemeldet am 27. Oktober 1925; Priorität der Anmeldung in den Niederlanden vom 21. August 1925 beansprucht.

Beginn der Patentdauer: 15. Mai 1927.

Als Erfinder wird genannt: Dr. Gustav Ludwig Hertz in Eindhoven.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur ununterbrochenen Trennung eines Gasgemisches. Gewöhnlich wird die Trennung eines Gasgemisches dadurch herbeigeführt, daß dieses auf eine niedrige Temperatur gebracht wird, wodurch eine der Komponenten flüssig wird, oder daß das Gasgemisch durch eine poröse Wand oder in ein strömendes Gas geführt wird. Eine der in dieser Weise erhaltenen Fraktionen kann dann wiederum dem gleichen Trennungsverfahren unterworfen und dieses so oft wiederholt werden, bis man eine Fraktion der gewünschten Zusammensetzung erhält. Abgesehen davon, daß man bei diesem Vorgehen sehr schwer zu einer ununterbrochen arbeitenden Trennungsmethode gelangen kann, hat eine Trennungsmethode, die immer auf eine einzige Fraktion selbstverständlich die erste oder die letzte Fraktion) angewendet wird, den Nachteil, daß die andern Fraktionen, die noch einen bedeutenden Teil des zu gewinnenden Gases enthalten können, unbenutzt bleiben.

Das vorliegende Verfahren zur Trennung eines Gasgemisches kann nicht nur in ununterbrochenem Betrieb ausgeführt werden, sondern es wird hierbei auch jede gerade gebildete Fraktion selbständig einer neuen Entmischung unterworfen. Auf diese Weise kann die Trennung eines Gasgemisches weiter durchgeführt werden, als dies gemäß den bisher bekannten Methoden möglich war und auch die Ausbeute der abgetrennten Gase kann vergrößert werden.

Verfahren zur fortschreitenden Trennung eines Gasgemisches sind bekannt. Gemäß denselben wird eine Reihe von Entmischungselementen verwendet, von denen jedes für sich in stande ist, eine teilweise Entmischung in zwei oder mehr Fraktionen herbeizuführen. Auf diese Weise kann die Trennung eines Gasgemisches weiter durchgeführt werden, wodurch es möglich ist, die Ausbeute der abgetrennten Gase zu vergrößern.

Gemäß der Erfindung besteht das Verfahren darin, daß eine Reihe von Entmischungselementen verwendet wird, deren jedes für sich eine teilweise Entmischung in zwei oder mehr Fraktionen herbeiführt, die je nach ihrer Zusammensetzung zwei oder mehr Entmischungselementen auf beiden Seiten oder auch dem betreffenden Entmischungselement selbst zugeführt werden. Dabei sind unter Entmischungselementen auf beiden Seiten nicht nur die unmittelbar benachbarten Entmischungselemente, sondern überhaupt alle andern um das betragsmäßigste Entmischungselement liegenden Entmischungselemente verstanden. Zweckmäßig wird die Trennung derart ausgeführt, daß die von einem Entmischungselement zum zweiten Entmischungselement zugeführte Gasmenge nahezu gleich der von dem zweiten Entmischungselement dem ersten zugeführten Gasmenge ist. Auch kann die Trennung derart ausgeführt werden, daß die den Entmischungselementen auf einer Seite eines bestimmten Entmischungselementes zugeführte Gasmenge nahezu gleich der den Entmischungselementen auf der andern Seite zugeführten Gasmenge ist. Dabei ist unter Menge das Volumen bei gleichem Druck und gleicher Temperatur, d. h. die Anzahl der Moleküle, zu verstehen.

Dieses Verfahren kann mit Hilfe einer Reihe von Vorrichtungen ausgeführt werden, deren jede für sich eine teilweise Trennung des Gasgemisches herbeiführen kann und die von bekannter Form bzw. Bauart sein können. Wird einem solchen Entmischungselement, z. B. *c*, ein Gasgemisch bestimmter Zusammensetzung zugeführt, so wird, nachdem in diesem Element die teilweise Entmischung stattgefunden hat, die Zusammensetzung der in dieser Weise gebildeten Fraktionen von der Zusammensetzung



element  $d$  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 entsprechenden 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, eingegeführt. Zu diesem Zwecke wird die Vorrichtung erst möglichst stark entleert, worauf das Gasgemisch zugelassen wird, bis ein bestimmter Druck, z. B. von  $0,5\text{ mm}$  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 anderen Komponente sein kann, im Gefäß  $11$  und eine Fraktion, die reich an der anderen 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 ununterbrochenem 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  $d, b, c, d'$  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 Einschnübelung 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 viertel 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 viertel 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 unmittelbar neben dem entmischenden Element liegenden Entmischungselementen zugeführt werden, so können 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 in dem Zustand 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 Seiten oder auch dem betreffenden Entmischungselement selbst, derart zugeführt werden, daß die von einem Elemente einem zweiten Entmischungselement zugeführte Gasmenge nahezu gleich der von dem zweiten Entmischungselement dem ersten Elemente zugeführten Gasmenge, oder die den Entmischungselementen auf einer Seite eines bestimmten Entmischungselementes zugeführte Gasmenge nahezu gleich der von dem 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 geeignete Wahl des Durchmessers oder der Länge der zu diesem Zwecke verwendeten Röhre dem Widerstand des ersten Weges ungefähr gleich gemacht wird.

Figure D.226: 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].

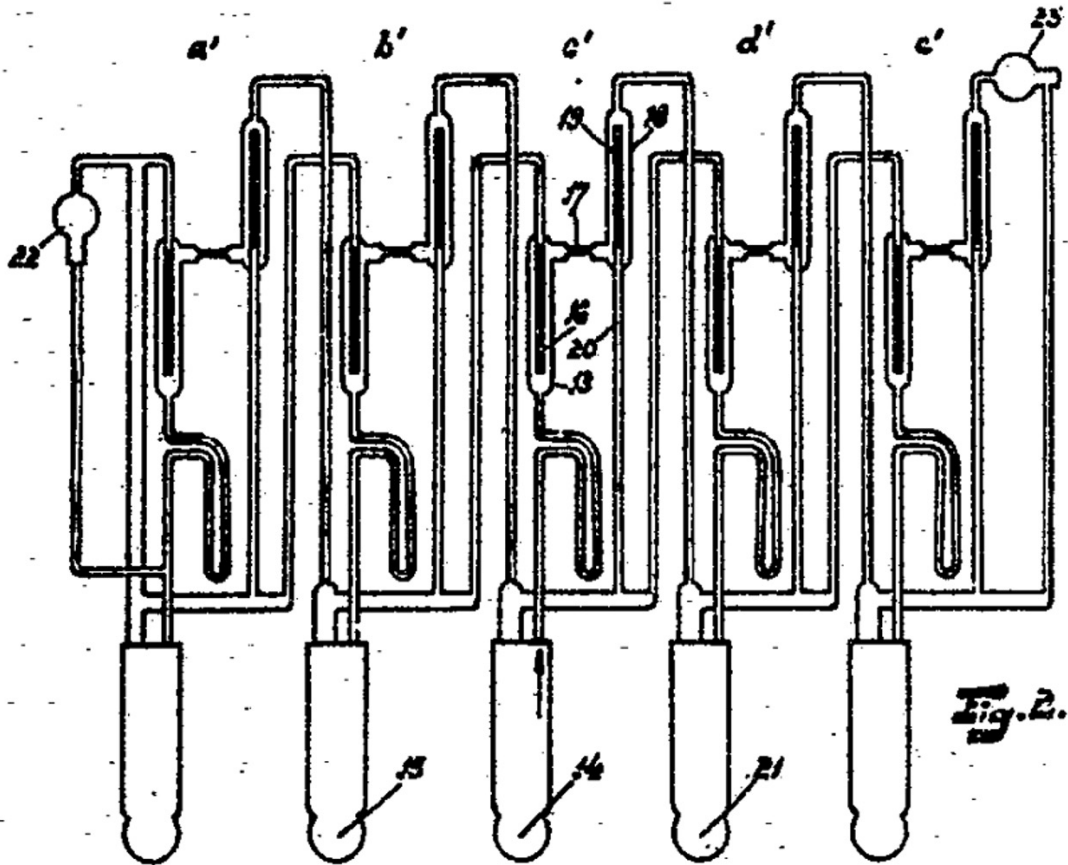


Fig. 2.

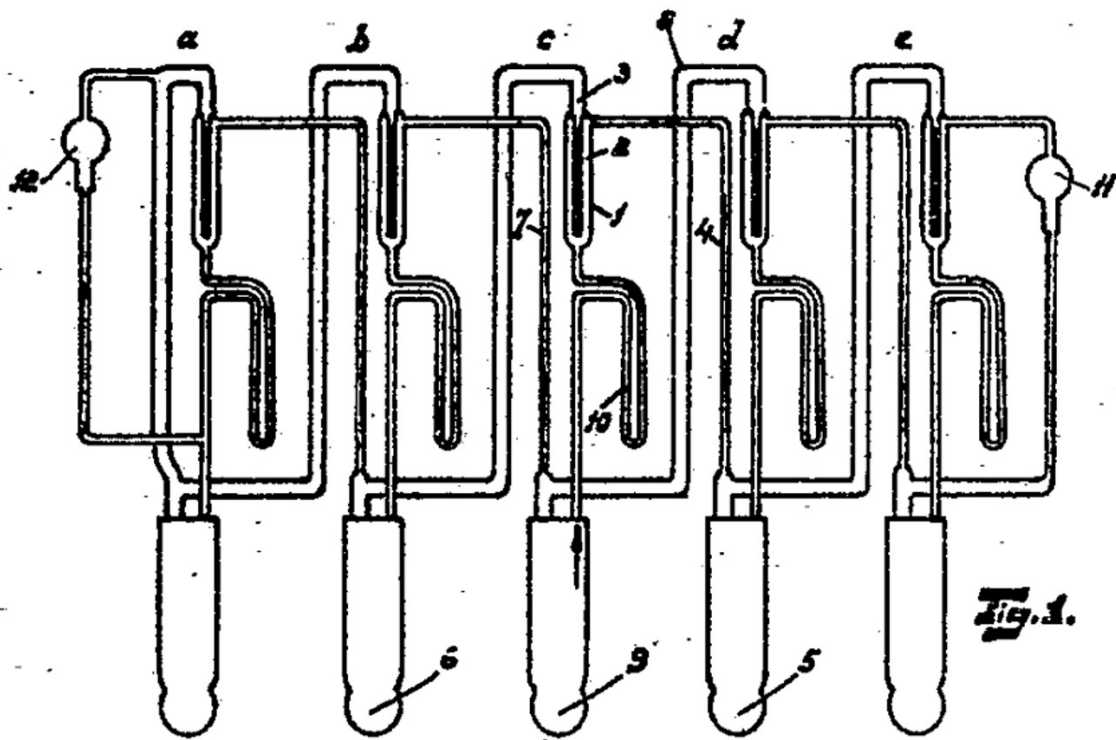


Fig. 1.

Figure D.227: 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 NND 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*  
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.228: 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<sup>o</sup>/<sub>oo</sub> des schweren Isotops enthält, ergibt sich in 8 Stunden 1 cm<sup>3</sup> 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<sup>o</sup>/<sub>oo</sub> of the heavy isotope, 1 cm<sup>3</sup> 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 N<sup>15</sup>-Isotops und einige spektroskopische Untersuchungen am N<sup>15</sup>. [About the Enrichment of the N<sup>15</sup> Isotope and Some Spectroscopic Investigations of N<sup>15</sup>.] *Zeitschrift für Physik* 111:467–474.**

Mit einer 42 gliedrigen Hertzschen Isotopentrennungsapparatur konnten Anreicherungen des N<sup>15</sup>-Isotops von N<sup>14</sup>:N<sup>15</sup>=4:1 erreicht werden.

With a 42-stage Hertz isotope separation apparatus, enrichments of the N<sup>15</sup> isotope of N<sup>14</sup>:N<sup>15</sup>=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:**<sup>114</sup>

- **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.<sup>175</sup> 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.<sup>176</sup> 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.<sup>177</sup>

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.”<sup>178</sup> 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.<sup>179</sup>



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.<sup>180</sup> The mixture was then extruded and baked. Reichmann died soon after his discovery, and a Stalin Prize was awarded to him posthumously in 1948.<sup>181</sup>

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.<sup>182</sup> 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.<sup>183</sup> In 1953, Zavenyagin decided that the production of diffusion filters should be transferred to the Sverdlovsk-44 site in the Urals.<sup>184</sup> [...]

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.<sup>185</sup> The D-1 plant had problems.<sup>186</sup> 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.<sup>187</sup> 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.<sup>188</sup>

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.<sup>189</sup> [...]

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).<sup>191</sup> Thiessen was awarded a first class Stalin Prize, while Hertz, Barwich, and their Russian colleague Krutkow received a second class award.<sup>192</sup>

<sup>114</sup> Kruglov, *Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR*, pp. 165–166. [...]

<sup>175</sup> N.M. Sinjov, *Obogaschjonny uran dlja atomnogo oruzhija i energetiki (Enriched Uranium for Atomic Weapons and Energy Production)* (Moscow: TsNIIAtominform, 1991), pp. 39–40.

<sup>176</sup> 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.

<sup>177</sup> Rudenko, “Yaderny Plagiat,” p.10; Kruglov, *Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR*, p.167.

<sup>178</sup> Barwich, *Das rote Atom*, p. 147.

<sup>179</sup> Mikhailov and Petrosjants, *Sozdanije pervoi sovetskoi atomnoi bomby*, p. 331.

<sup>180</sup> Clove pinks oil was used as a mild pain killer by dentists. It relieves pain when it evaporates.

<sup>181</sup> Albrecht, Heinemann-Grueder, and Wellmann, *Die Spezialisten*, p. 67.

<sup>182</sup> 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.

<sup>183</sup> Sverdlovsk-44 is now also known as Novouralsk. *Ibid.*, pp. 43–44.

<sup>184</sup> Kruglov, *Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR*, p. 175.

<sup>185</sup> *Ibid.*, p. 185.

<sup>186</sup> *Ibid.*

<sup>187</sup> Barwich, *Das rote Atom*, p. 103

<sup>188</sup> Klaus Thiessen, telephone conversation with author, July 9, 1999.

<sup>189</sup> Kruglov, *Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR*, p. 186. [...]

<sup>191</sup> V. Zhuchikhin, *Vtoraja atomnaja (The Second Atomic Bomb)* (Snezhinsk, Russia: RFNC-VNIIEF, 1995), p. 110.

<sup>192</sup> 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. 5052–5063.]

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. 3634–3638, 5052, 5055–5057. 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. 4138).]



**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](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.

https://s3.documentcloud.org/documents/22799707/reed-manufacture-at-the-metallweberei-neustadt-oria-vvb-tewa.pdf

INTELLOFAK 21

Approved For Release 2002/01/04 : CIA-RDP83-00415R008800240005-3

69263  
#8  
OCD

CLASSIFICATION TOP SECRET/CONTROL - U.S. ORIGINALS ONLY

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

REPORT NO. [REDACTED] 25X1A

INFORMATION REPORT

CD NO.

COUNTRY Germany (Russian Zone)  
SUBJECT Reed Manufacture at the Metallweberei,  
25X1C Neustadt/Orla (VVB Tewa)

DATE DISTR. 30 August 1951

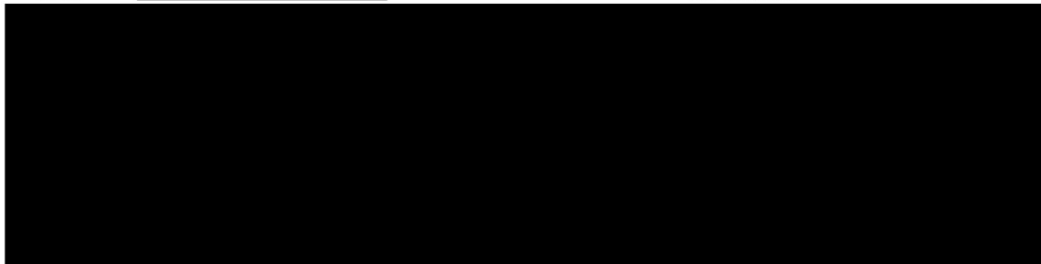
NO. OF PAGES 3

PLACE ACQUIRED [REDACTED]

NO. OF ENCLS. (LISTED BELOW)

DATE OF INFO. [REDACTED]

SUPPLEMENT TO REPORT NO. [REDACTED] 25X1A



- 25X1A 1. [REDACTED] the following seven steps as the essential ones in reed manufacture: 25X1X
- a. Calculating and setting the binding machines.
  - b. Cleaning the reed material.
  - c. Binding.
  - d. Coiling and inserting the springs.
  - e. Fixing and soldering the binding-wire and half-round wire.
  - f. Grinding.
  - g. 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. ORIGINALS ONLY



Approved For Release 2002/01/04 : CIA-RDP83-00415R008800240005-3

Figure D.229: 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

INTELEGRAM 21

FORM NO. 55-AAA  
FEB 1952

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

CLASSIFICATION SECRET/CONTROL - U.S. OFFICIALS ONLY 25X1A  
SECURITY INFORMATION

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 Metallwerke 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	EM OSI/NEH	EV				

Approved For Release 2001/03/23 : CIA-RDP83-00415R011000030025-8

https://archive.org/details/CIA-RDP83-00415R011000030025-8

Figure D.230: 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.

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)

PLACE ACQUIRED [REDACTED]

25X1X

SUPPLEMENT TO REPORT NO. [REDACTED]



1. 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:
  - a. nickel screen number 300
  - b. phosphor-bronze screen number 270 (English-inch system)
  - c. 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.
2. 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.
3. Two of an unspecified number of new looms, which the WfW 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.
4. 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.
5. 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

https://www.cia.gov/readingroom/docs/CIA-RDP83-00415R011000030026-7.pdf

Figure D.231: 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?

https://www.cia.gov/readingroom/docs/CIA-RDP83-00415R012000160002-8.pdf

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**

NO. OF ENCLS. LISTED BELOW

DO NOT CIRCULATE

SUPPLEMENT TO REPORT NO. 25X1X

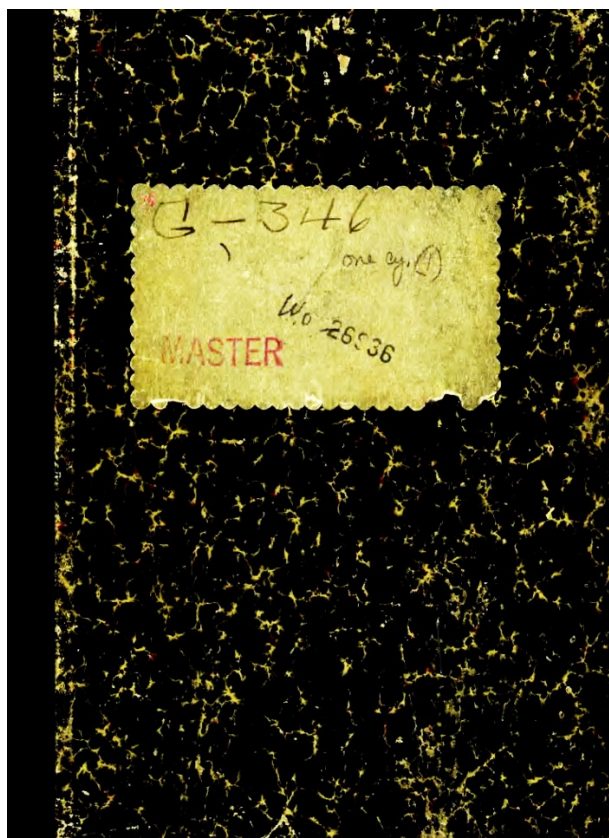
1. Engineer Heinz Schmidt, head of the Tewa-Neustadt reed plant, has developed a new-type reed with the outstanding advantage that it can be made without soldering the band steel lamellae to the reed frames (Bandschienen). This is done by putting small pieces of lamellae band steel between the upper 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	y	NAVY	y	NSRB					
ARMY	y	AIR		FBI					

Approved For Release 2002/08/15 : CIA-RDP83-00415R012000160002-8

Figure D.232: 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.

*[Handwritten signature]*

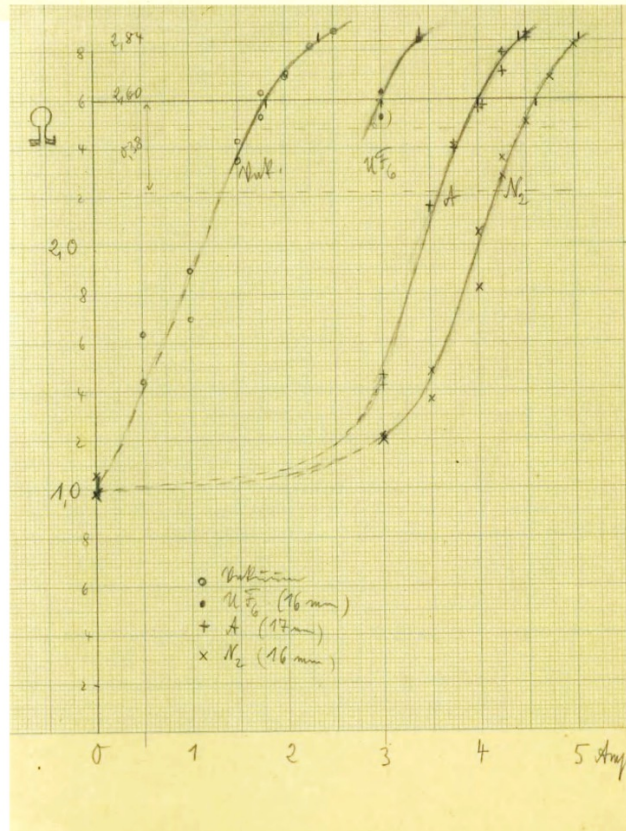
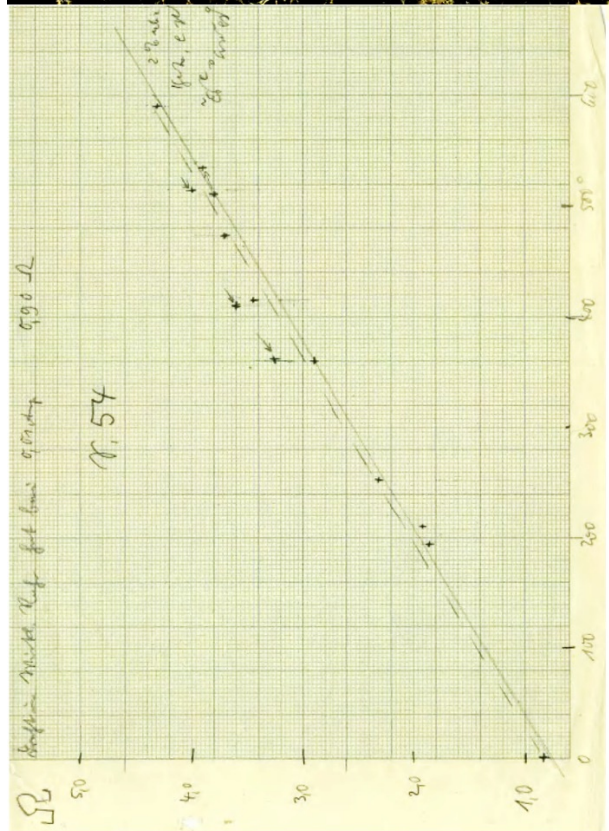


Figure D.233: Rudolf Fleischmann. 1940–1941. Notebook containing detailed notes on gaseous diffusion experiments, gaseous diffusion enrichment data, and results of meetings on nuclear physics [G-346].



**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?

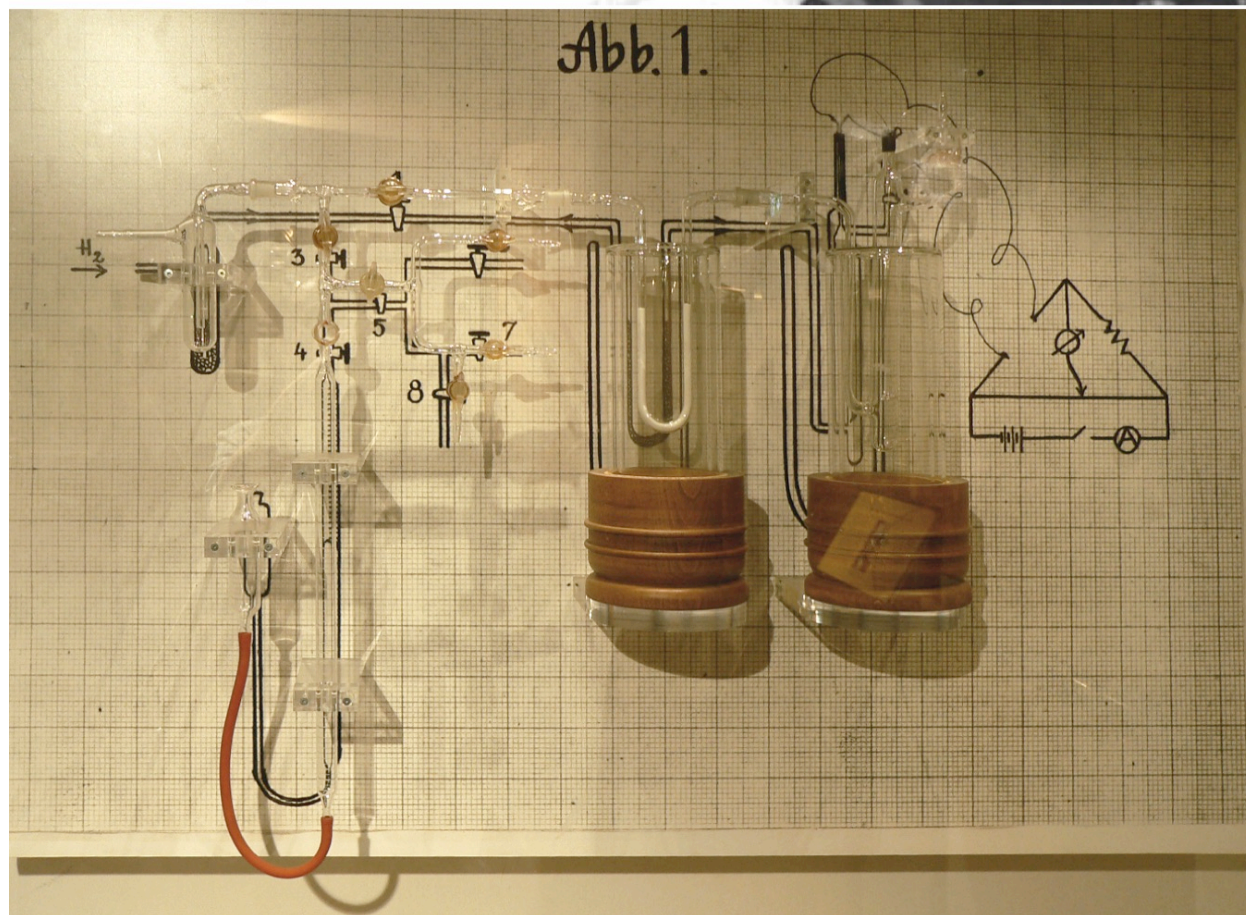


Figure D.234: Erika Cremer did her Ph.D. research on (chemical) chain reactions, collaborated with Otto Hahn and Siegfried Flügge, pioneered gas chromatography, and worked on isotope separation during World War II. Were her methods implemented on a larger scale for the enrichment of uranium via gaseous diffusion?

## BREVET D'INVENTION.

Gr. 14. — Cl. 6.

BREVET DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
N° 881.316

Procédé de séparation, par diffusion, de substances difficilement séparables.

Société dite : AUERGESELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT résidant en Allemagne.

Demandé le 16 avril 1942, à 16<sup>h</sup> 40<sup>m</sup>, 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 toutfois 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 efficacité tout au moins pour des isotopes gazeux. Il s'agit du procédé par « thermo-diffusion » indiqué par Chusins. 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 isotopes chimiques ne peuvent pas être séparés par diffusion, car leur diffusion est trop lente pour être utilisée à l'industrie. On a donc cherché à trouver un procédé de séparation qui permette de séparer des isotopes gazeux par diffusion, mais en évitant les inconvénients des procédés connus. On a donc tenté de recourir à des méthodes physiques de séparation, dans lesquelles le poids atomique se manifeste de telle manière que l'on puisse estimer la différenciation des atomes de poids différents. Mais parmi tous les essais entrepris dans ce sens, la très grande majorité ont manqué leur but, une des premières raisons de ces échecs étant due au fait que les différences de poids atomiques des isotopes sont pour la plupart très faibles. A maintes reprises, on a essayé de mettre à profit le fait qu'un atome plus léger doit

[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 seuls corps gazeux. En effet, les métaux normalement ne se trouvent pas en général aux températures utilisables au laboratoire et en exploitation.

La description qui va suivre, en regard du 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 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'indusoirs 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 un fonctionnement de cette nature selon 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.



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 absolues 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.

15 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.

25 C'est pourquoi l'invention comprend encore un autre perfectionnement d'après lequel on 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 35 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 40 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 inévitablement entre deux cellules voisines, en raison des membranes diffusantes intercalées entre elles. Comme membranes de diffusion, on peut utiliser les

5 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.

65 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 70 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 80 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 100 la disposition sous une forme telle que le liquide soit conduit de bas en haut (par exemple en utilisant des tubes communi-

15 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).

20 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 top plin 4 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 45 liquide au moyen d'un agitateur en forme de peigne à mouvement de va-et-vient qui plonge dans toutes les cellules.

50 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 métathorium.

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 poids moindre poids moléculaire qui diffuse le plus rapidement, mais que, au contraire, ce soit la substance à poids moléculaire le plus élevé qui se propage plus rapidement de cellule en cellule, par exemple en raison d'une plus mince enveloppe d'hydratation ou de solvatation 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 dimensions 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 intervient encore la séparation. De plus, la demande d'une telle méthode pour accroître l'effet séparateur selon le présent procédé, il y a intérêt à ajouter à la solution 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 aboulément indispensable lorsqu'on veut réaliser non plus une diffusion atomique ou molé-

Figure D.236: 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.



culinaire, mais une diffusion des ions. Si l'on désire, par exemple, séparer des isotopes du cuivre, on travaillera le cas échéant avec une solution de chlorure cuivrique et l'on utilisera une solution d'acide chlorhydrique au lieu d'eau pure. Les ions chlorure sont alors en excès dans tous les cellules, de sorte que c'est principalement l'ion cuivre seul qui prend part au processus de diffusion et naturellement aussi l'ion hydrogène qui diffuse en sens contraire. En particulier, la séparation des isotopes, la diffusion ionique est préférable à une diffusion atomique, parce que la différence relative de poids entre deux ions isotopes du cuivre est naturellement plus grande que la différence qui existe par exemple entre deux molécules de  $\text{Cu Cl}_2$  possédant des atomes de cuivre de poids différents.

D'autre part, on peut modifier le procédé en ce sens que, au lieu d'utiliser la diffusion ordinaire qui résulte de différences de concentrations, on a recours à la diffusion produite sous l'action d'un champ électrique. (migration électrolytique des ions ou migration des molécules ou des particules par électrocataphorèse). On s'arrange alors pour donner au courant de liquide un sens contraire à celui dans lequel les ions ou molécules à séparer sont entraînés par le champ électrique. Le courant de liquide est produit de la même manière que dans les exemples décrits, c'est-à-dire par écoulement goutte à goutte à l'une des extrémités de l'appareil et par évaporation à l'autre extrémité. L'amrène de courant on la mise sous tension peut être réalisée de la manière usuelle en électrolyse ou en électrocataphorèse. La vitesse du courant liquide doit être à peu près égale à celle des ions ou des molécules qui se déplacent en sens contraire du liquide.

Au lieu de provoquer une évaporation à l'extrémité inférieure de la colonne, comme dans le cas de la fig. 1, on bich dans la cellule inférieure, comme d'après les fig. 2 à 4, on peut aussi utiliser un autre moyen. On peut, en effet, obtenir également la séparation du solvant d'avec la substance dissoute au moyen d'une paroi semi-perméable, par exemple de la manière représentée fig. 6. La référence 2 désigne ici de nouveau

la masse poreuse dont le but consiste uniquement, comme précédemment, à éviter des courants de convection au sein du liquide et 5 désigne une couche semi-perméable, 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-perméable et il se produit à nouveau une chute de concentration en sens contraire à celui du courant de solvant.

Conformément à la fig. 7, on peut aussi provoquer la circulation complètement automatique du liquide au moyen d'une pompe et prévoir deux parois semi-perméables au lieu d'une, à savoir une paroi inférieure 5 et une paroi supérieure 5'. La matière dissoute est pour ainsi dire emprisonnée par ces deux parois semi-perméables, cependant que le liquide, refoulé par la pompe 6 pénètre dans l'appareil en traversant la paroi semi-perméable 5' et en ressort à travers la paroi semi-perméable 5. Il s'établit de nouveau une diffusion continue de la matière dissoute en sens contraire à celui qui prend le courant de solvant.

Le procédé est applicable non seulement à des matières dissoutes, mais encore à des corps gazeux ou à l'état de vapeur, à condition d'apporter des modifications importantes 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 tandis qu'il 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-

tration (chute de densité) du gaz en direction de la flèche figurée en pointillés. Le gaz diffuse ainsi de droite à gauche mais également de telle sorte qu'il ne se produit pas une raréfaction du gaz et que les molécules ne changent pas de place (de même dans le cas de l'écurécul 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.

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 capillaires adéquats impliquent des difficultés techniques considérables, il est possible de perfectionner le procédé objet de l'invention de la manière illustrée sur la fig. 9. 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. La moitié gauche du tube est chauffée 3 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 réfrigérateur du genre Liebig 10. Il en résulte que le liquide distille continuellement à travers le corps poreux de gauche à droite. Un courant de vapeur prend donc naissance dans le sens de la flèche en traits pleins. Ce courant de vapeur provoque un déplacement 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. Il se produit ainsi également une diffusion du gaz de droite à gauche à travers le courant de vapeur qui se déplace en sens contraire. On retrouve ici en principe les mêmes conditions que pour l'exemple de toutefoix que la vapeur assume ici le rôle de la matière poreuse. Dans ce cas, le gaz

diffuse à travers la vapeur. Le corps poreux n'a plus ici pour fonction que celle d'empêcher 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.

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'empêcher les mouvements de convection. Le tube et avec lui les pores de la matière poreuse continuent 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 suivant 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 également de bas en haut dans l'appareil, suivant la flèche. Le gaz diffuse donc continuellement de bas en haut à travers la vapeur d'eau qui vient à sa rencontre. Il faut évidemment 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 produire à l'extrémité inférieure.

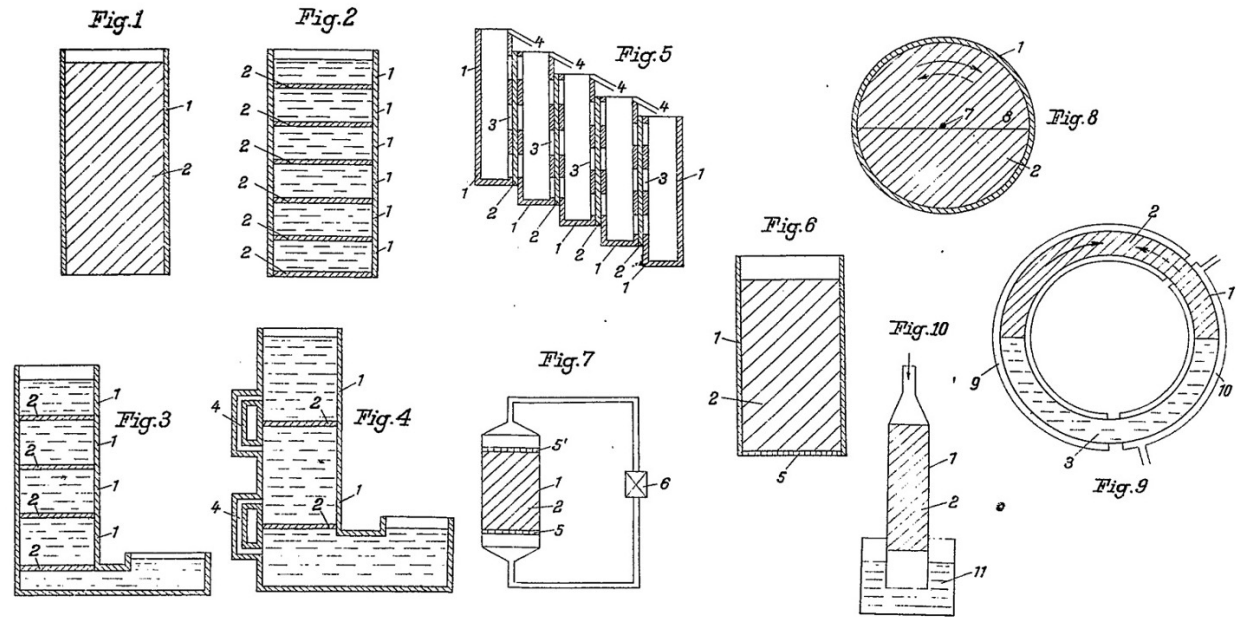
Le corps poreux peut naturellement être remplacé par des disques perforés ou fendus ou par des tuyères montées en série. L'espace dans lequel le processus de séparation doit s'accomplir peut alors être divisé en plusieurs cellules de façon semblable à la disposition décrite en regard de la fig. 2, les différentes cellules étant séparées les unes des autres par des disques perforés, des tuyères ou encore par des plaques poreuses.

Il va de soi que sans sortir du cadre de l'invention on pourra apporter des modifications aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits.

RÉSUMÉ :

1° Procédé de séparation d'isotopes ou

Figure D.237: 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.
- 8° 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 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 ;
- 9° 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 ramener la même quantité dans la première cellule, appareil pouvant être pris 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.238: 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.

Société dite :  
AUERGESSELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT.

Par procuration :  
J. CASANOVA (Cabinet AMERSCAUD jeune).

10 Les robinets 13 des conduites de dériva-  
 15 tion 12 sont fermés pendant la course ascen-  
 20 dante du piston 14.  
 25 Au début de la course descendante du piston,  
 30 on ouvre les robinets ou soupapes 13, ce qui  
 35 peut être réalisé, par exemple, au moyen d'une  
 40 barre d'accrolement ou d'une manivelle sem-  
 45 blable connue. Lorsque le piston continue à  
 50 descendre, il ne se produit par exemple, aucune  
 55 diffusion du gaz de haut en bas à travers les  
 60 membranes 9, mais le gaz revient en arrière  
 65 dans chaque cellule inférieure voisine, en pas-  
 70 sant par les conduites de dérivation 12.  
 75 On obtient donc ici le même résultat final que  
 80 dans le dispositif de la fig. 1, à savoir une dif-  
 85 fusion sans cesse renouvelée du mélange ga-  
 90 zeux, de bas en haut. Ce phénomène de dif-  
 95 fusion se répète aussi souvent que le mouve-  
 ment alternatif montant et descendant  
 du piston. Les constituants du mélange gazeux  
 qui diffusent le plus facilement se concentrent,  
 dans ce cas, dans la cellule supérieure, les  
 constituants les plus difficiles à diffuser, dans  
 la cellule inférieure. On voit en 15 les tubu-  
 lures d'évacuation ou les raccords à manomè-  
 tres et appareils similaires.

L'appareil est naturellement susceptible de  
 fonctionner aussi en régime continu, à condi-  
 tion de faire arriver par la tubulure intermé-  
 diaire le mélange gazeux à séparer, et de pré-  
 lever ou d'extraire par la tubulure supérieure et  
 la tubulure inférieure les mélanges qui se sont  
 enrichis en constituants plus légers ou plus 85  
 lourds. La différence essentielle de la disposi-  
 tion de la fig. 2 par rapport à celle de la fig. 1  
 consiste en ce que les déplacements alternatifs  
 du gaz sont obtenus au moyen d'un seul  
 pompe, c'est-à-dire d'une manière très simple 90  
 aux points de vue constructif et technique.  
 Il va de soi que, sans sortir du cadre de  
 la présente invention, on pourra apporter des  
 modifications aux modes de réalisation qui vien-  
 nent d'être décrits.

Mode de réalisation du procédé de sépara-  
 tion de mélanges gazeux difficilement sépara-  
 bles décrit dans le brevet principal, selon le-  
 quel on provoque tout d'abord une surpression 100  
 à l'une des extrémités d'une colonne compor-  
 tant des cellules remplies de mélange gazeux  
 et séparées les unes des autres par des couches  
 qui s'ouvrent à cet effet, les deux phases se  
 répétant alternativement aussi souvent qu'il  
 peut être nécessaire.

Société dite : AUERGESSELLSCHAFT.  
 Par procuration :  
 J. GASSNER (Cabinet Averstaun jeune).

AUERGESSELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT.  
 Société dite :  
 Par procuration :  
 J. GASSNER (Cabinet Averstaun jeune).

La course de translation suivante s'effectue  
 en sens contraire : la tige de commande re-  
 descend. Il en résulte une surpression dans  
 l'espace 8 de l'extrémité inférieure de l'en-  
 5 loppé. A l'extrémité opposée, c'est-à-dire dans  
 l'espace 5, on constate une dépression corres-  
 pondante. La chute de pression du gaz est  
 maintenant dirigée de bas en haut. Les mem-  
 10 branes poreuses sont établies en même temps  
 sous la forme de soupapes de retenue, autre-  
 ment dit ces membranes, ou leur périphérie,  
 reposent librement sur les anneaux 11, reliés  
 15 solidièrement au tube 2. Lors de la course  
 descendante de la tige et du tube 2, les mem-  
 branes se soulèvent, de sorte que l'égalisation  
 de pression n'est plus provoquée par diffusion,  
 mais par un écoulement ordinaire du mélange  
 gazeux qui passe de la chambre inférieure dans  
 la cellule située immédiatement au-dessus. Si  
 20 l'on répète constamment les courses de montée  
 et de descente, cela signifie que le gaz est solli-  
 cité, toujours à nouveau, à diffuser de haut  
 en bas, de la cellule supérieure dans la cellule  
 inférieure la plus proche. Ce processus peut  
 25 être renouvelé aussi souvent qu'on le désire.  
 Finalement, la fraction de mélange qui dif-  
 fuse le plus facilement se rassemble dans la  
 cellule inférieure, la fraction diffusant plus  
 difficilement, dans la cellule supérieure.

La fig. 2 est une coupe schématique d'une  
 variante, qui facilite mieux encore la mise en  
 œuvre du procédé sur le plan industriel. On  
 voit en 1, comme précédemment, un tube her-  
 métiquement fermé à l'air. Des membranes de  
 35 diffusion 3 sont fixées dans ce tube, de sorte  
 que la totalité du tube est partagée en une série  
 de cellules élémentaires. On a prévu en outre,  
 d'une cellule à l'autre, des conduites de dériva-  
 40 tion 12 qui peuvent être ouvertes ou fermées  
 à l'aide des robinets ou soupapes 13. Une  
 pompe 14 à piston, à membrane ou d'un autre  
 type est disposée à la partie inférieure du  
 tube 1. Sur le dessin, on a figuré en 14 une  
 45 pompe à piston.

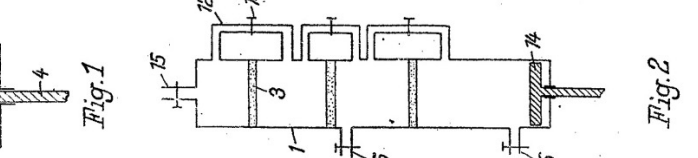
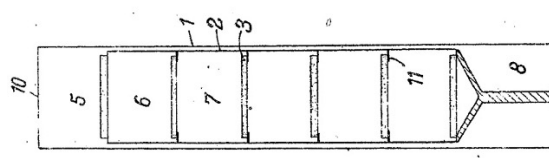
Quant l'appareil est en service, le piston  
 monte et descend alternativement, ce qui pro-  
 duit tantôt une surpression, tantôt une dépres-  
 sion dans la cellule extrême inférieure. Lors  
 de la course ascendante du piston, c'est une  
 50 surpression qui est engendrée et le mélange  
 gazeux doit diffuser à travers les membranes  
 poreuses fixes, vers le haut, de cellule en cel-  
 lule, de sorte qu'il s'établit une égalisa-  
 tion de pression de cellule en cellule par suite  
 de la diffusion à travers les parois poreuses,  
 puis on engendre une dépression à la même  
 extrémité de la colonne, de telle sorte que  
 l'égalisation des pressions s'établit en sens  
 60 contraire, non par diffusion mais par un écou-  
 lement ordinaire par des robinets ou soupapes

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

Fig. 1

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

Fig. 2



11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

## MINISTÈRE DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE.

SERVICE DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE.

2<sup>e</sup> 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 AKTIENGESELLSCHAFT résidant en Allemagne.

(Brevet principal pris le 16 avril 1943.)

**Demandée le 25 avril 1944, à 16<sup>h</sup> 41<sup>m</sup>, à Paris.**  
**Délivrée le 18 février 1946. — Publiée le 21 juin 1946.**

1<sup>re</sup> addition n° 53.405.

Le brevet principal concerne un procédé selon lequel on fait diffuser une substance dissoute ou une paire d'éléments en dissolution à travers des masses ou des membranes poreuses, 5 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 10 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 15 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 20 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 25 employées. De plus, le chauffage donne lieu à des réactions indésirables entre, d'une part, le

[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.

5 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.

15 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 ladite invention.

20 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 30 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 35 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, 40 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 45 le tube 13 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.

1<sup>er</sup> 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 terre creux 60 entre les parois doubles duquel règne le vide 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<sup>o</sup> Forme de réalisation de l'appareil spécifié sous 1<sup>o</sup>, dans laquelle on prévoit des 65 moyens pour réintégrer dans le circuit le liquide vaporisé.

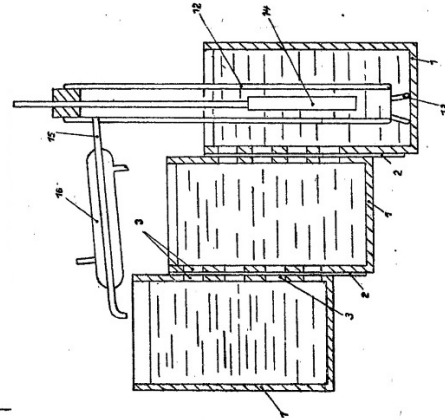


Figure D.240: Beginning in 1940, Auergesellschaft (probably Nikolaus Riehl) filed patents on an industrial-scale uranium enrichment process that combined aspects of gaseous thermal diffusion and what later became known as the PUREX process.

DECLASSIFIED  
Authority NND 917017

NARA RG 77, Entry UD-22A,  
Box 160, Folder APR 45--Dec. '45

**WAR DEPARTMENT  
CLASSIFIED MESSAGE CENTER  
INCOMING CLASSIFIED MESSAGE**

~~SECRET~~ **TOP SECRET**  
PRIORITY

From: Headquarters, Communications Zone, European Theater of Operations, US Army, Paris, France

To: War Department  
United Kingdom Base Section, London, England

Information:  
US Military Attache, London, England

Re: EX 44189 13 May 1945

From Hq EPOUSA APO 887 to AGWAR and UKBS pass to M/A London for Calvert for info LOGO personal to Groves for Lansdale and Smith from Furman sgd Eisenhower ref no EX 44189.

Approximately 1 1/2 tons of metal in plates found in Diebners storage place in Munich. This now in Paris being crated for shipment off continent.

Goudsmit says that Jay, as of today, has no idea of what Hechingen area is worth but is trying to find out about German effort. Has scientific expedition headed for Stuttgart and Karlsruhe. His group is confronted by trans problems, political controversies and so forth. Probably will proceed slowly. Intend to watch activity of this group.

Harteck was picked up in Hamburg and detained with others. He appears to be best informed expert in project, technical details. He states an organic chemist named Albers has produced a non corrosive organic complex containing metal which at 100 degrees centigrade has 1/10th millimeter vapor pressure. He claims it may succeed where Hex fails. Is Albers and compound important enough to search for and detain? Harteck has full understanding of problems of Hex and some

CH-IN-12377 (14 May 45)

~~SECRET~~  
DECLASSIFIED  
E.O. 11652, Sec. 3(E) and 5(D) or (F)  
Authority NND 917017  
By [Signature] NARS, Date [Date]

COPY No. 1

knowledge of the new substance which has not been tried. If Albers is to be found and questioned, understand no American now here has any appreciation of importance of new compound to you.

(Goussin) General Siebert says check trip now possible. German resistance gone except pockets which may exist. Americans have approached town but not entered. Red patrols and coverage in town likely. Gattiker and Davis plus American German speaking Off are in Paris today enroute to target to make survey of mining activities. They have instructions that no investigation is to be made which might jeopardize security. Are to return and await normal approach through civilian channels later if time is not right.

Weight of work heavy at moment. Have Ditesheim and Warner slated to leave as requested but wish Lansdale could keep agreement with me if humanly possible that they stay and leave continent as soon as everything is cleaned up. Estimated date 20th May.

Acid is in potassium hydroxide so info on concentration may be difficult to get from experts here.

Hildesheim operation proceeding toward completion next week.

End

ACTION: Gen. Groves

CH-IN-12377 (14 May 45) DTG 131604Z rtw

Figure D.241: HQ European Theater of Operations US Army. 13 May 1945. "Harteck... states an organic chemist named Albers has produced a non corrosive organic complex containing metal which at 100 degrees centigrade has 1/10th millimeter vapor pressure. He claims it may succeed where Hex fails. Is Albers and compound important enough to search for and detain? Harteck has full understanding of problems of Hex and some knowledge of the new substance which has not been tried." [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 160, Folder APR 45--Dec. '45]



DECLASSIFIED  
Authority AND 91017

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

SECRET

*with summary  
and file*

P.O. Box 41, Sta. J.  
New York, 27, N. Y.

April 26, 1944.

Mr. Philip Morrison  
Metallurgical Laboratories  
University of Chicago  
Chicago, Illinois

Dear Morrison,

I made a survey of the Physics and Chemistry libraries which are the only ones which I feel competent to deal with. The following is a list of foreign journals to which I have access in these libraries:

Physikalische Zeitschrift	Z.f. Elektrochemie
Zeitschrift fur Physik	Z. physik. Chemie (A and B)
Annalen der Physik	Z. anal. Chemie
Die Chemische Technik	Z. anorg. Chemie
Chemiker-Zeitung	Bulletin de la Societe Chimique
Die Chemie	J.f. praktische Chemie
Die Chemische Industrie	Biochemische Zeitschrift
Chemische Zentralblatt	Annalen der Chemie
Berichte d. Deutschen Chem. Ges.	Brennstoff-Chemie
Kolloid Zeitschrift	

You will notice that I am lacking in Naturwissenschaften, Physikalische Berichte, and French physics journals. In general, our Chemistry Library is much better than the Physics Library in its efforts to secure foreign material.

(Looking through some Chemische Zentralblatt which have just come in) I found two references from French scientific journals on the possibilities of nuclear chain reactions and on element 94. These are: Constantin Bedreag "Position of Transuranic 93-94 in the natural system of elements." C.r. 215, 537 (1942); and Augustin Boutaric, "Nuclear Chemistry" Rev. sci. 80, 326 (1942). (The first half of the Zentralblatt for 1943 came back from the bindery and) I found the following patent: Auergesellschaft, Berlin "Separation of Difficultly-Separable Gas Mixtures by Diffusion". At one end of a column containing cells separated from one another by porous layers and filled with the gaseous mixture an over-pressure is applied, so that pressure equalization takes place from cell to cell by diffusion. Next, at the

*2 ITEMS  
for Summary*

*File*

SECRET

Figure D.242: Karl Cohen to Philip Morrison. 26 April 1944 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 170, Folder 32.60-1 GERMANY: Summary Reports (1944)].





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

SECRET

Letter to P. Morrison                      -2-                      4-26-44.

same end of the column a low pressure is applied, and pressure equalization takes place in the opposite direction not by diffusion but by ordinary flow through automatically-opening valves. The two operations are repeated alternately as long as necessary. (Belgian patent 445,427 of 2-5-42, abstract published 20-3-43, German Priority 17-4-41.) I think this is extremely interesting as it is the first evidence of German interest in the diffusion method and also because of its tie-up with Auer.

I also picked up a reference to an article by Werner Kuhn and Hans Kuhn which was sent in from Basel on 2-8-43 and published in the Helvetica Chimica Acta on "The question of the rolling up of long chain molecules in flowing liquids".

I have not had much time to work on the plant descriptions, but I hope to be able to do them shortly. I will write as soon as I have anything.

Sincerely yours,

Karl Cohen

KC:fb1

cc. Maj. Furman  
Capt. Menke  
Lieut. King

SECRET

1.

9 May 1944

Summary of Information

Two references were found in French scientific journals on the possibilities of nuclear chain reaction and to element 94.

The following patent was uncovered in German scientific literature: AuerGesellschaft, Berlin, "Separation of Difficultly-Separable Gas Mixtures by Diffusion." This patent is extremely interesting as it is the first evidence of German interest in the diffusion method and also because of its tie-up with AuerGesellschaft.

(From Cohen's letter to Morrison 4/26/44)

Figure D.243: Karl Cohen to Philip Morrison. 26 April 1944 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 170, Folder 32.60-1 GERMANY: Summary Reports (1944)].



NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder  
 32.60-2 GERMANY: Summary Reports (1945-1946)

**SECRET**

MEMORANDUM TO: Major F. J. Smith  
 FROM: Karl Cohen

October 19, 1944

Evidence for an Enemy Diffusion Project

In the Kolloid Zeitschrift 106<sup>3</sup> 201 (March 1944) an article by N. Riehl from the Scientific Center of the Auer-gesellschaft on "Some Observations on Diffusion of Gases through Rubber Films" begins as follows:

"In the course of a series of investigations on the flow of gases through porous and other membranes with the object of separating gas mixtures by diffusion, (to be published shortly) the diffusion of gases through rubber was also investigated."

Porosity was measured by the rate of pressure loss through the membrane from a closed chamber. Extremely dry rubber was used, perhaps indicating application to gases reactive to water. Most of the observations were with air, but Radium emanation was also used - perhaps to see how high-molecular weight gases would act. The permeability coefficients were investigated as a function of molecular weights, and found to vary inversely as the square root of the masses (pure diffusion). The pressure-dependence of permeability was also investigated.

The time element of this investigation can be best judged by referring to the date April 17, 1941, the priority date of the Auer patent on a diffusion apparatus. Riehl's admission of a connection between diffusion through rubber and a gas separation project gives new meaning to an article by F. H. Müller "A simple apparatus for measuring the diffusion of gases through membranes", Physik Z. 42 48 (1941). His application are to high-polymer materials (triacetates, polystyrol, etc.), but the aim of the apparatus is to secure precise measurements over a wide range of porosities, for any gas - including condensible gases. Müller (Leipzig) is really interested in high polymers; if we assume he worked on a government project we are led to the interesting possibility that the enemy sought polymer screens for separating hex.

*Karl Cohen*  
 Karl Cohen

cc: P. Morrison  
 D. S. Teeple  
 J. A. King  
 File

DECLASSIFIED  
 Authority NND 5114017

**SECRET**

Figure D.244: Karl Cohen to Francis J. Smith. 19 October 1944. Evidence for an Enemy Diffusion Project [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.60-2 GERMANY: Summary Reports (1945-1946)].