

## Appendix C

# Advanced Creations in Directed Energy

In hoc templo, quod totum ex auro paratum est, statuas trium deorum veneratur populus, ita ut potentissimus eorum Thor in medio solium habeat triclinio. [...] ‘Thor’, inquit, ‘praesidet in aere, qui tonitrus et fulmina, ventos ymbresque, serena et fruges gubernat.’ [...] Thor autem cum sceptro Iovem simulare videtur.

In this temple, entirely decked out in gold, it is said, the people worship the statues of three gods, so that the mightiest of them, Thor, occupies a throne in the middle of the chamber. [...] ‘Thor,’ they say, ‘rules the sky; he governs thunder and lightning, winds and storms, fine weather and crops.’ [...] Thor with his scepter apparently resembles Jupiter.

Adam of Bremen. Circa 1075. *Gesta Hammaburgensis Ecclesiae Pontificum*  
[*Deeds of the Bishops of Hamburg*]. Book 4 (Descriptio insularum Aquilonis), Chapter 26.

This appendix presents evidence for early German research and development regarding various types of directed energy technologies, such as:

- C.1. Particle beams and X-rays.
- C.2. Electromagnetic pulse weapons.
- C.3. Lasers.
- C.4. Focused sound waves.
- C.5. Electromagnetic railguns.

Although this evidence is relatively brief and highly incomplete, hopefully it will stimulate much more archival research in the future in order to elucidate the complete work of German-speaking scientists in these areas, as well as the full impact that their work had on later scientists and projects outside the German-speaking world.

## C.1 Particle Beams and X-Rays

[German-speaking scientists did an enormous amount of work on particle accelerators before and during the war. Some of that work was simply aimed at developing the relevant technologies or applying them to fundamental physics questions. A significant amount of the work was for nuclear physics, apparently even including electronuclear breeding of weapons-grade fission fuel (see pp. 3954–4022, 4504–4510, and 5133–5134). Yet much of the work on particle accelerators seems to have been intended to create directed energy weapons. Many different versions of such weapons were under development during the war; they would have fired a beam of high-energy electrons and/or ions, or in some cases they would have harnessed the energy from those charged particles to produce an intense beam of X-rays, a burst of high-energy neutrons, or other forms of radiation. If some of the reports available in archives are correct (and one could certainly debate whether they are, unless or until more conclusive evidence is found), at least some of these weapons apparently reached the stage of successful tests against laboratory animals or solid targets.]

The known amount of literature on this topic is quite large, so this section can only present some highlights. Even so, much more archival research should be conducted to unearth new information on these programs, in order to determine exactly how far they progressed and how much they influenced programs in other countries.

All accelerators use an electric field to accelerate charged particles. However, different types of accelerators produce the electric field in different ways, accelerate particles either continuously or by a series of impulses, and employ either circular or linear geometries:

- In a betatron, electrons follow a circular orbit in a magnetic field. Changing the magnetic flux passing through the orbit induces an accelerating electric field around the orbit. The increasing magnetic field keeps the orbital radius constant despite the increasing particle energies. The iron pole pieces are shaped to provide a stronger magnetic field inside the orbit than at the orbital radius.
- In a cyclotron, an accelerating electric field is applied each time the particles pass between two D-shaped electrodes. Particles are allowed to spiral outward as their energy increases.
- In a synchrotron, an accelerating electric field is applied each time the particles cross an electrode gap. Magnetic sections bend the particle trajectories into a closed orbit. Straight, magnetic-field-free sections are useful for injecting or extracting particles. By allowing a large orbital radius and adjusting the electric and magnetic fields as particles are accelerated, energies of  $> 1$  TeV can be obtained.
- In a linear accelerator, particles travel down the center of a long, straight tube. There is a traveling or standing electromagnetic wave in the tube, and a series of irises in the tube makes the wave ricochet back and forth off the walls instead of passing straight down the tube. The ricocheting slows the wave's longitudinal velocity to match the particle velocity and also makes the wave have an electric field component in the longitudinal direction, suitable for accelerating the particles.]



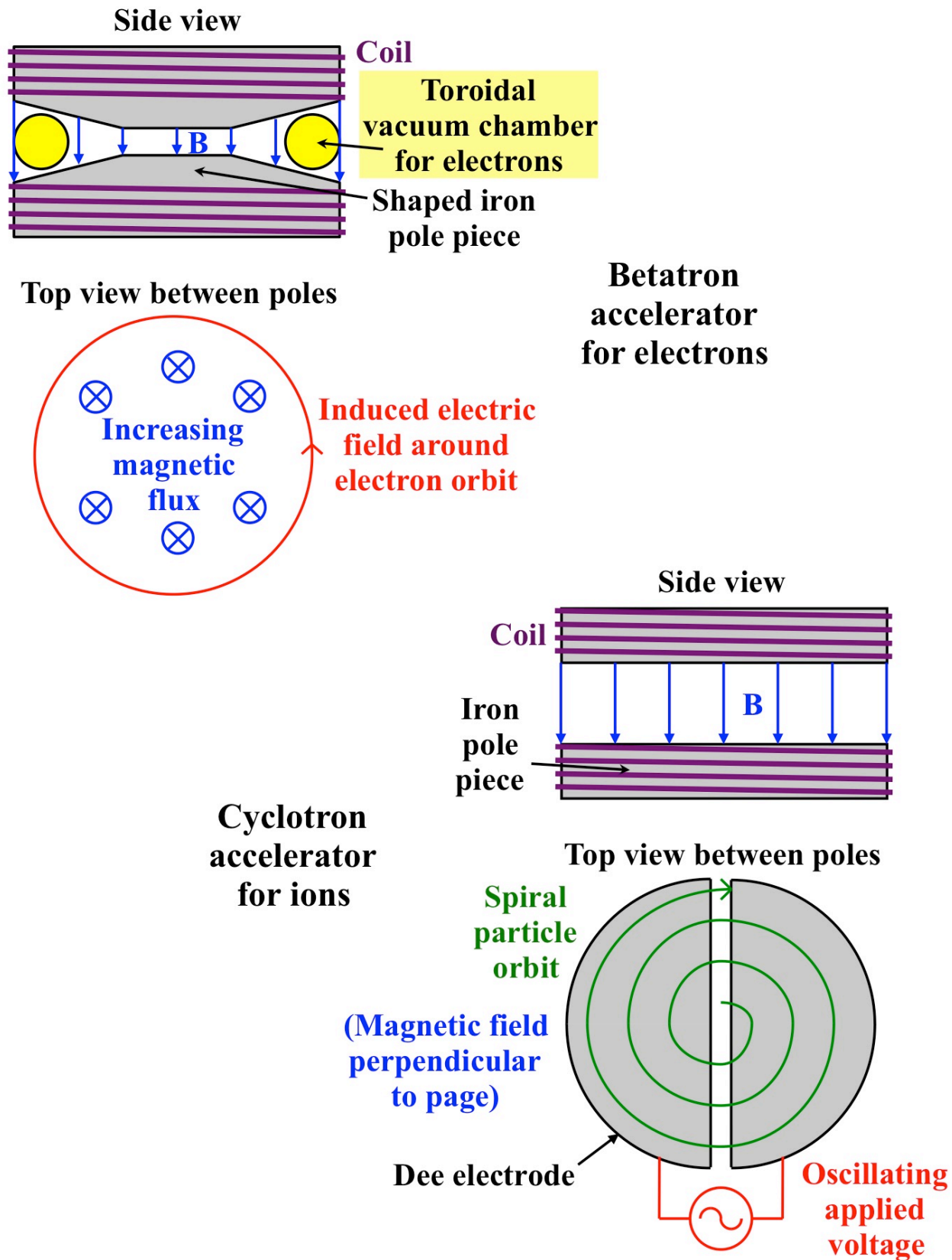


Figure C.1: Betatron circular accelerator for electrons, and cyclotron circular accelerator for ions.

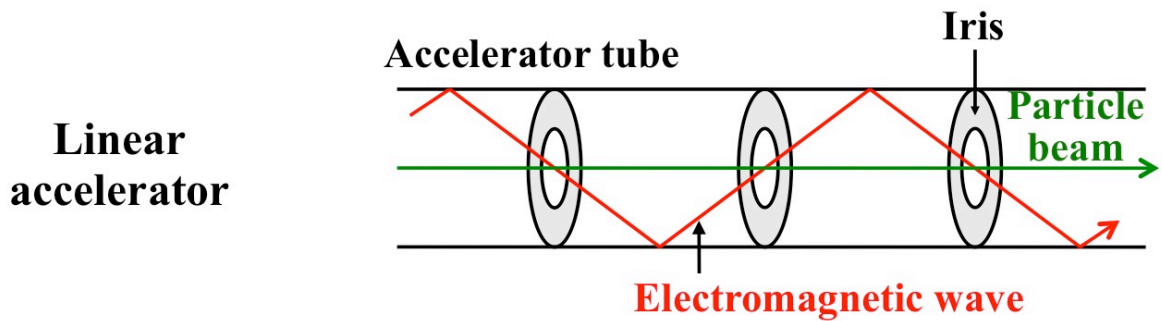
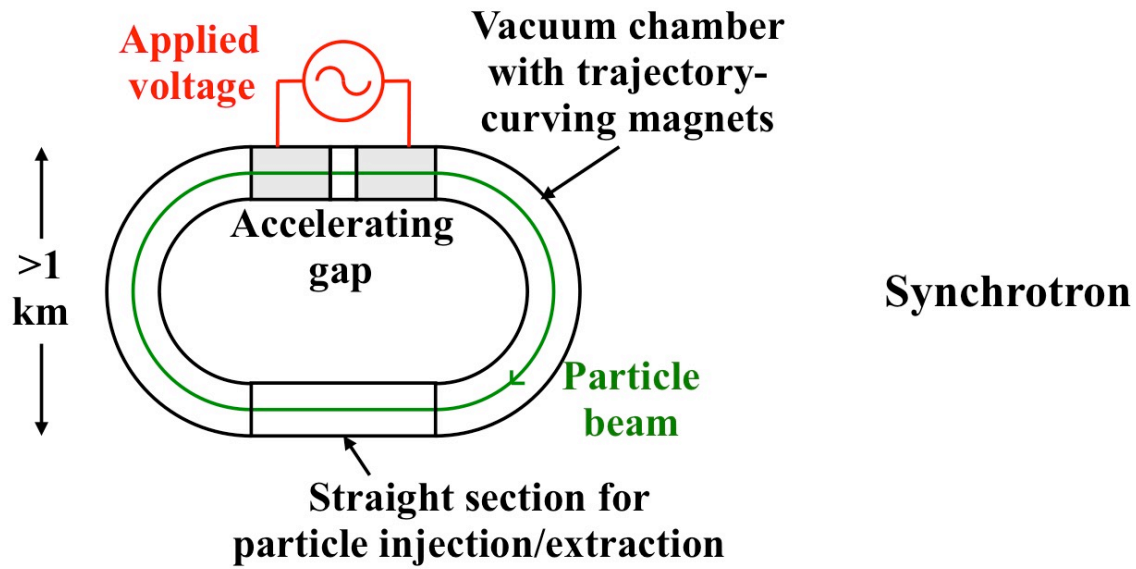


Figure C.2: Synchrotron circular accelerator for very high-energy particles, and linear accelerator that uses an electromagnetic wave to accelerate charged particles in a tube.

**Pedro Waloschek. 2012. *Death-Rays as Life-Savers in the Third Reich*. Draft English translation of *Todesstrahlen als Lebensretter* pp. 98–100 [http://www-library.desy.de/preparch/books/death-rays.pdf].**

Rolf Wideröe was born on July 11, 1902 in Oslo where he also went to school. His father was a well situated importer of wine, cognac and oils. His mother was of German origin. After getting his A-levels (“Abitur”) in 1920 he started studying electrical engineering at the Technical University in Karlsruhe. Already as a student he had quite original ideas, like i.e. a device which could accelerate electrons to very high energies. Such electrons could be used to investigate the structure of atoms (he admired Lord Rutherford’s discoveries). His accelerator should work on the principle of the well known electric current transformer. The secondary windings of the transformer would be substituted with an electron beam turning around in an evacuated tube [Wi23]. So he called his accelerator “beam transformer” or “ray transformer” (“Strahlentransformator”).

But Wideröe’s beam-transformer did not work. Later on he understood why. Therefore he could not use it for his doctoral thesis. So he built another particle accelerator, this time with positive result. He applied an idea of the Swedish physicist Gustav Ising which consisted in using an available high voltage several times to accelerate the same particles.

With 25,000 Volt available he was able to accelerate particles as if he would have 50,000 Volts! This device was worldwide the first successfully running “linear accelerator” and is considered as an important pioneer achievement in the field.

Wideröe’s report on his results was accepted as doctoral thesis and published in a well known journal edited by Rogowski, the “Archiv für Elektrotechnik”. As an appendix he added his ideas about a beam-transformer and described an important condition which the used magnet should satisfy. This was later on known as the “Wideröe 2 to 1” condition.

The American physicist Ernest Orlando Lawrence (1901–1958) saw Wideröe’s publication in the Library of his Institute, could not understand much of the German texts, but very well the included illustrations. This inspired him to an interesting idea. The principle of the linear accelerator could be used several times on the same particles, if their orbit would be would up with the help of a magnetic field. This was the starting idea for the famous “cyclotron”, which in the following years became one of the most important instruments for nuclear physics research. For the development of the cyclotron Lawrence was awarded in 1939 the Nobel Prize in physics. He always acknowledged thankfully Wideröe’s initial suggestion [La31]. A curiosity: The cyclotron-principle was at about the same time also presented in their institutes by two German physicists, Eugen Flegler and Max Steenbeck. To my knowledge Flegler never published his ideas and Steenbeck did so, but much too late.

[See also:

Giulia Pancheri. 2022. *Bruno Touschek's Extraordinary Journey: From Death Rays to Antimatter*. Berlin: Springer.

Aashild Sørheim. 2020. *Obsessed by a Dream: The Physicist Rolf Widerøe—a Giant in the History of Accelerators*. Berlin: Springer.

Pedro Waloschek. 2004. *Todesstrahlen als Lebensretter: Tatsachenberichte aus dem Dritten Reich*. 2nd ed. Norderstedt: Books on Demand.

Pedro Waloschek. 2007. *Rolf Widerøe 1902–1996: A Pioneer of Particle Accelerators and Radiation Therapy*. 2nd ed. Books on Demand.]

## Über ein neues Prinzip zur Herstellung hoher Spannungen<sup>1</sup>.

Von

Rolf Wideröe, Berlin.

- I. Einleitung.
- II. Die Bewegungsgleichungen des Elektrons.
- III. Kinetische Spannungstransformation mit Potentialfeldern.
  1. Das Prinzip.
  2. Theorie der resultierenden Spannungen.
  3. Die experimentelle Untersuchung.
  4. Einzelheiten der Versuchsanordnung.
  5. Aussichten des Verfahrens.
- IV. Der Strahlentransformator.
  1. Das Prinzip.
  2. Die Grundgleichungen.
  3. Experimentelle Untersuchungen.
- V. Zusammenfassung.

### I. Einleitung.

Schwierigkeiten in der Beherrschung hoher Spannungen.

Bekanntlich liegen alle Schwierigkeiten bei der Herstellung hoher Spannungen in der Beherrschung der elektrostatischen Felder. Alle technischen Isoliermaterialien haben eine begrenzte Isolierfähigkeit, bei einer gewissen Feldstärke schlagen sie durch und werden leitend. Die Höhe der erzeugten Spannung wird deswegen hauptsächlich durch die stark zunehmenden Dimensionen der Isolierung begrenzt.

Es besteht nun aber die Möglichkeit, diese Grenze der erzeugten Spannungen wesentlich zu erhöhen, indem man elektrostatische Felder weitgehend vermeidet und die Hochtransformierung mit Hilfe schnellbewegten Elektronen und Ionen vornimmt.

Potentielle und kinetische Spannungen.

Wenn sich elektrische Ladungen durch ein elektrisches Feld bewegen, speichern sie einen Teil der Feldenergie als kinetische Energie auf. Für die kinetische Energie gilt das allgemeine Gesetz, daß sie immer mit der potentiellen Energie verknüpft ist, im Entstehen und im Verschwinden.

Entsprechend dieser Tatsache erscheint es deswegen auch zweckmäßig, von der Spannung einer bewegten Ladung zu reden. Die Ladung erhält dann (in Analogie zu den Energiebegriffen) diese kinetische Spannung, wenn sie durch eine entsprechende potentielle Spannung gefallen ist.

Zwei Wege der Spannungserzeugung.

Bei der Herstellung hoher potentieller Spannungen ist man hauptsächlich zwei Wege gegangen.

<sup>1</sup> Dissertation eingereicht am 29. 10. 1927 bei der Technischen Hochschule Aachen.

Figure C.3: Rolf Wideröe's landmark 1928 paper on particle accelerators [*Archiv für Elektrotechnik* (1928) 21:4:387–406].

Oct. 23, 1951

R. WIDERÖE

2,572,551

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed June 4, 1947

4 Sheets-Sheet 1

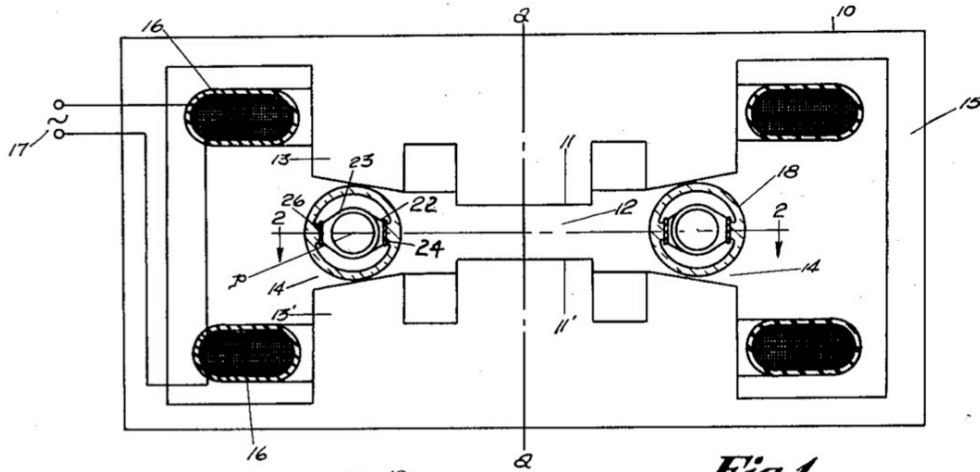


Fig. 1

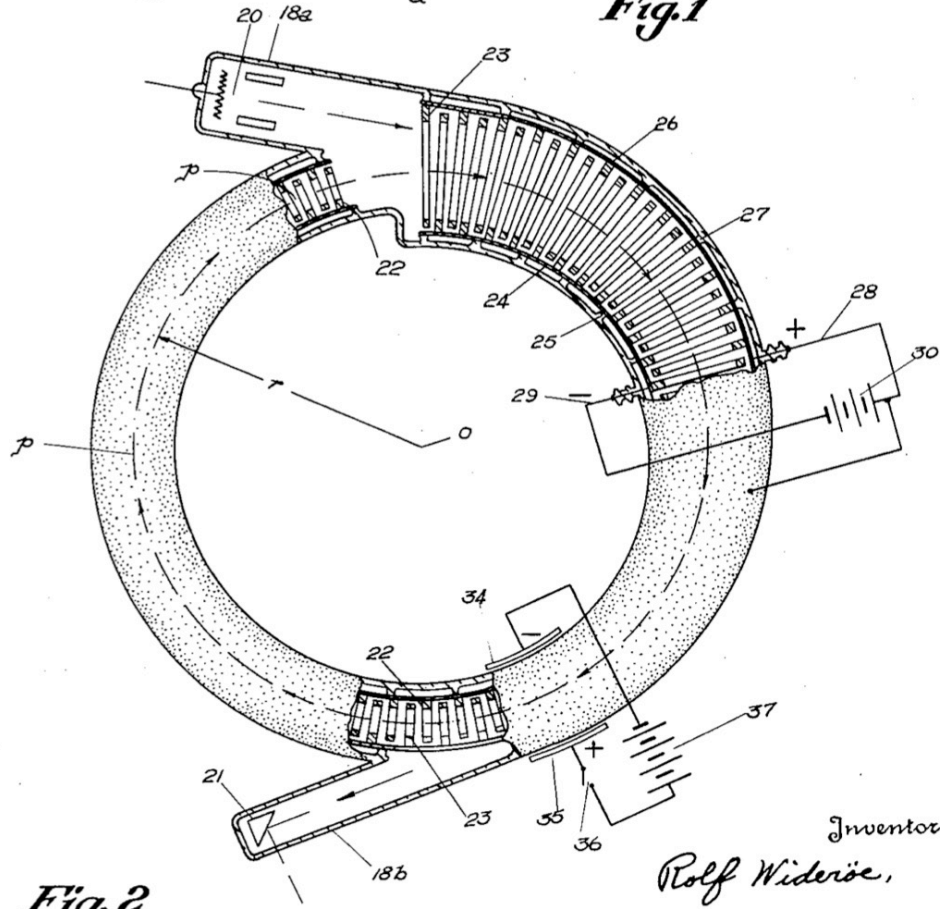


Fig. 2

Inventor:

Rolf Wideröe,

By: Pierce, Schaffler & Parker,

Attorneys.

Figure C.4: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.

Oct. 23, 1951

R. WIDERÖE

2,572,551

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed June 4, 1947

4 Sheets-Sheet 2

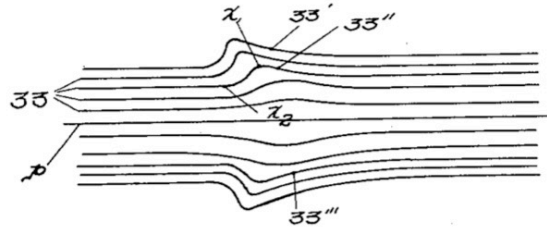


Fig. 3

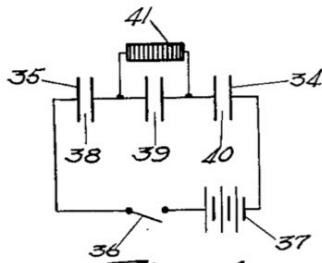


Fig. 4

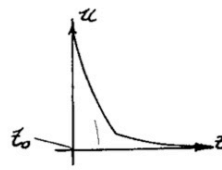


Fig. 5

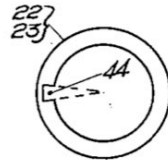


Fig. 6

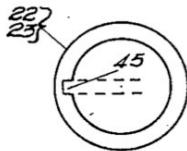


Fig. 7

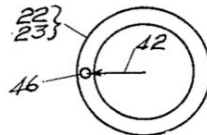


Fig. 8

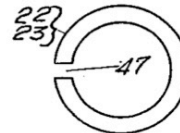


Fig. 9

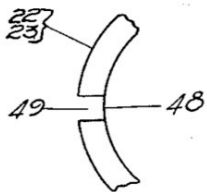


Fig. 10

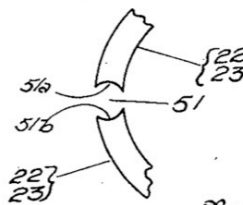


Fig. 11

Inventor:

Rolf Wideröe,

By: Pierre, Schöffler & Parker,

Attorneys.

Figure C.5: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.

Oct. 23, 1951

R. WIDERÖE

2,572,551

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed June 4, 1947

4 Sheets-Sheet 3

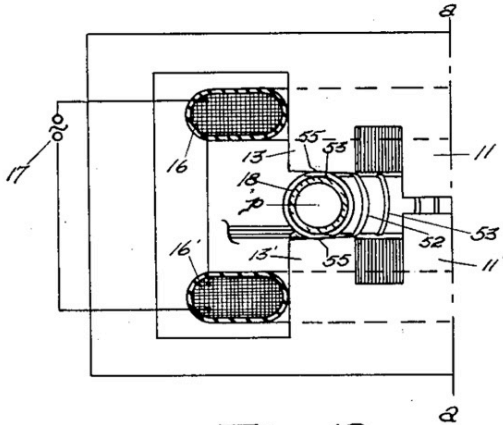


Fig. 12

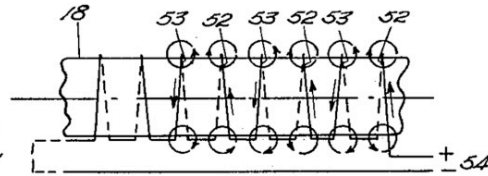


Fig. 13

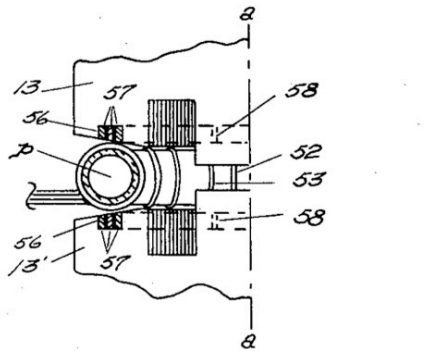


Fig. 14

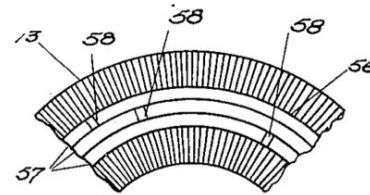


Fig. 15

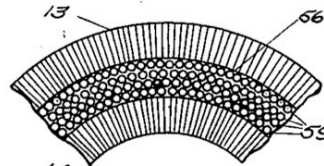


Fig. 16

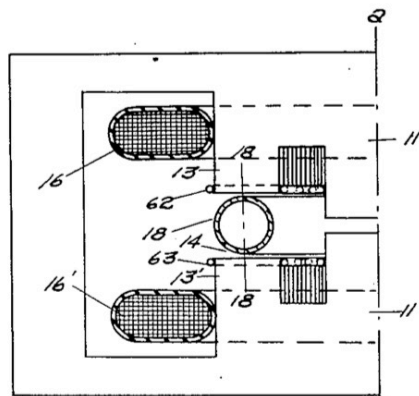


Fig. 17

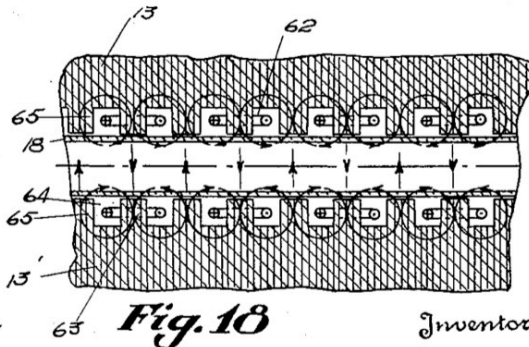


Fig. 18

Inventor:

Rolf Wideröe,

By: Pierre, Schöffler & Parker,

Attorneys.

Figure C.6: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.



Oct. 23, 1951

R. WIDERÖE

2,572,551

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed June 4, 1947

4 Sheets-Sheet 4

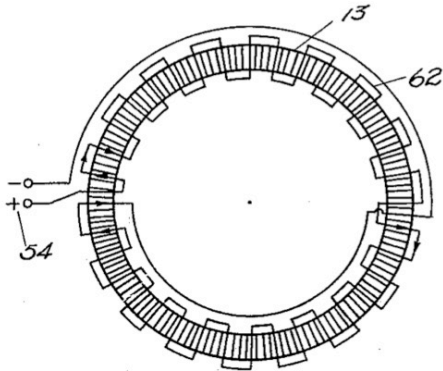


Fig. 19

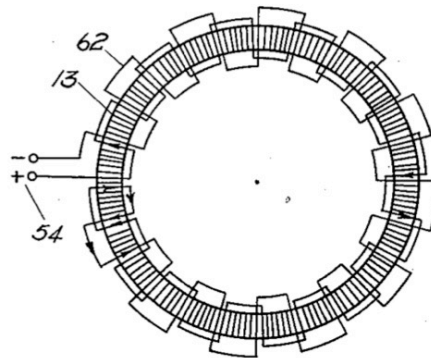


Fig. 20

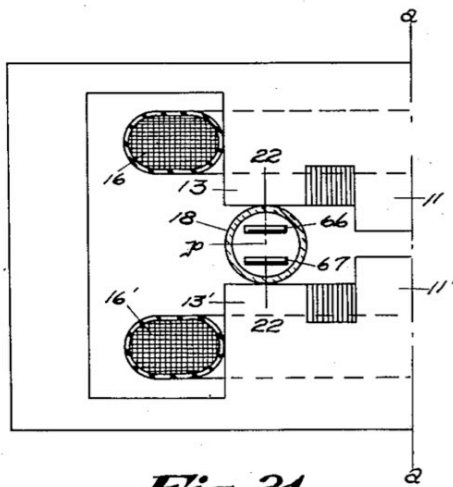


Fig. 21

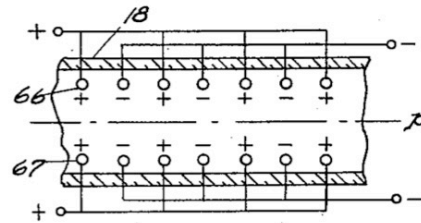


Fig. 22

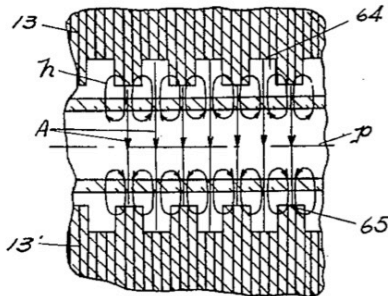


Fig. 23

Inventor:

Rolf Wideröe,

By: Pierce, Scheffler & Parker,

Attorneys.

Figure C.7: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.

Dec. 28, 1954

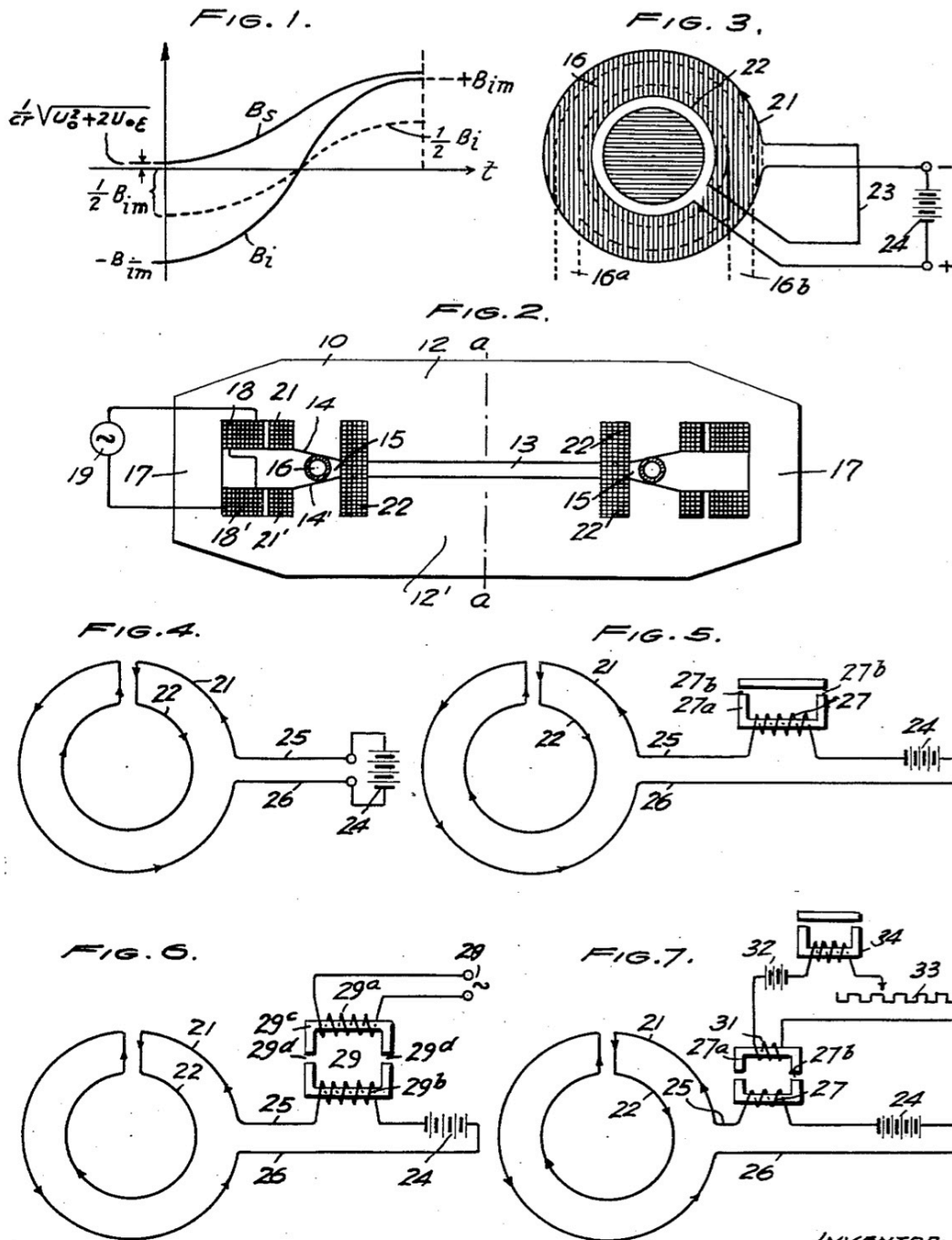
R. WIDERÖE

2,698,384

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed Nov. 8, 1946

3 Sheets-Sheet 1



INVENTOR:  
*Rolph Wideröe,*  
 BY *Stiene, Scheffler & Parker.*  
 ATTORNEYS.

Figure C.8: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.

Dec. 28, 1954

R. WIDERÖE

2,698,384

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed Nov. 8, 1946

3 Sheets-Sheet 2

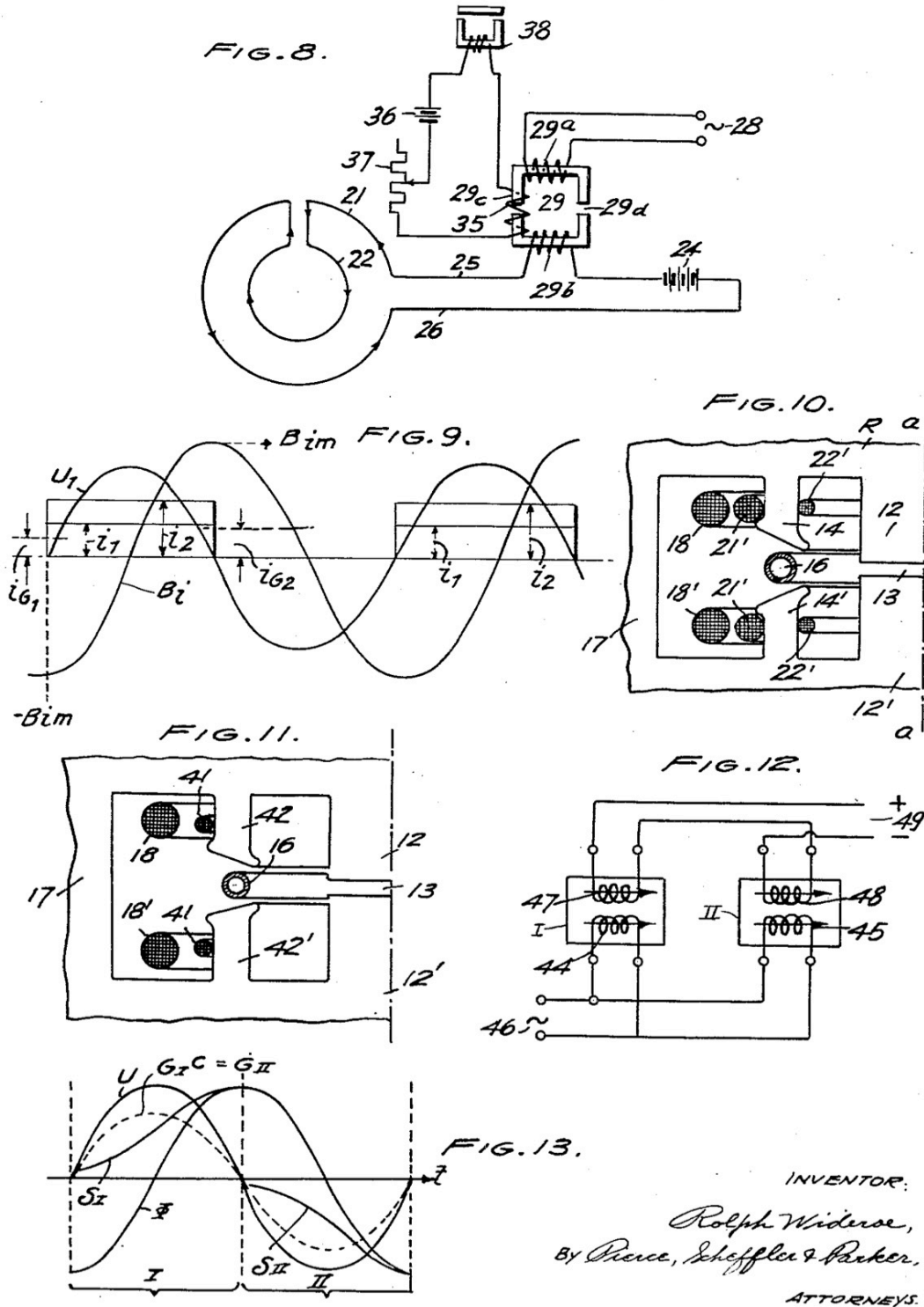


Figure C.9: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.

INVENTOR:  
*Rolf Wideröe,*  
 BY *Pence, Schöffler & Parker,*  
 ATTORNEYS.

Dec. 28, 1954

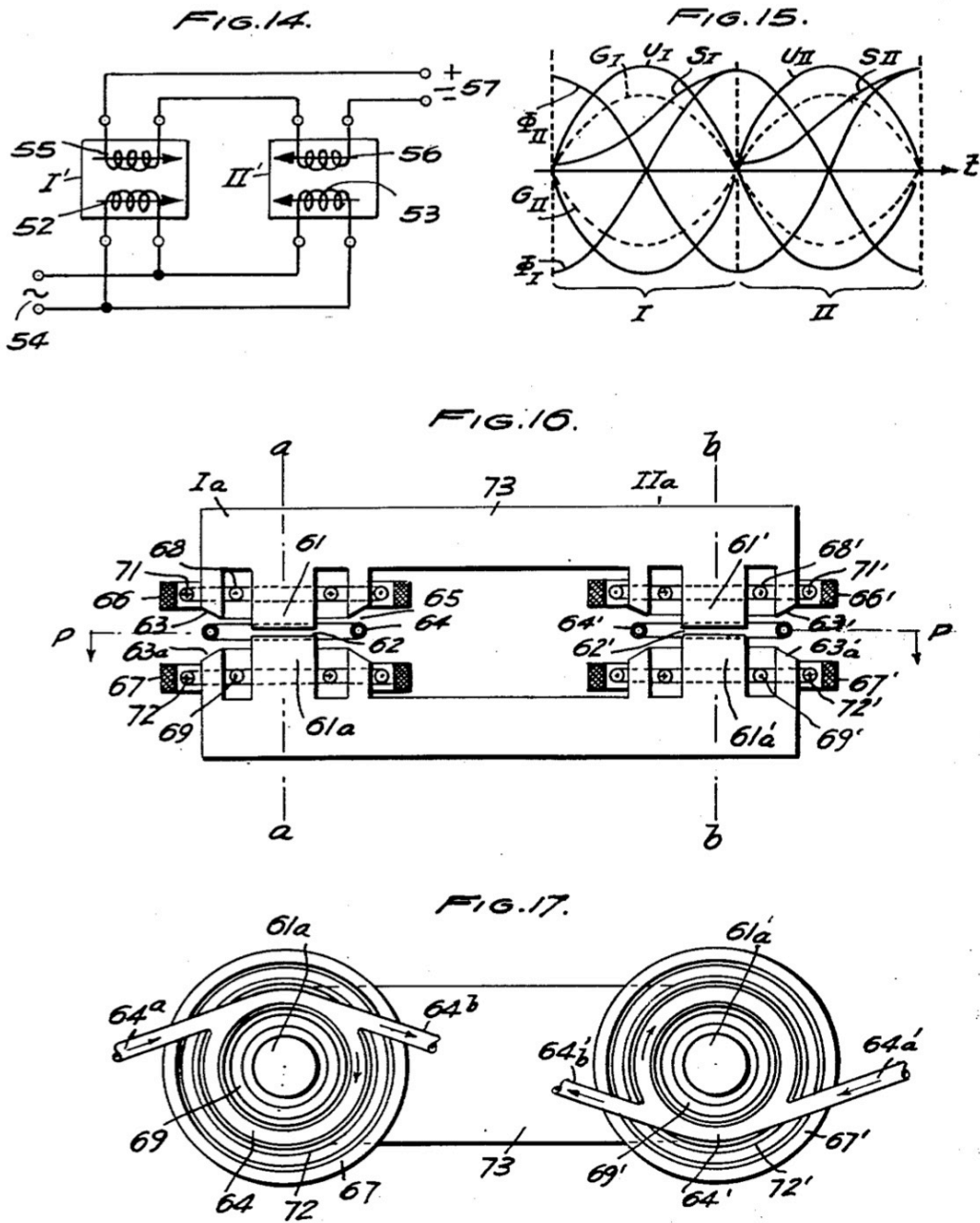
R. WIDERÖE

2,698,384

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed Nov. 8, 1946

3 Sheets-Sheet 3



INVENTOR:  
*Rolph Wideröe,*  
BY *Pierce, Scheffler & Parker,*  
ATTORNEYS.

Figure C.10: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.



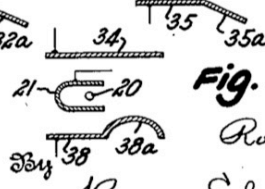
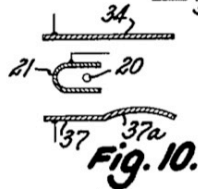
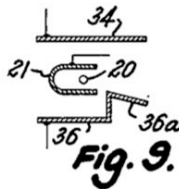
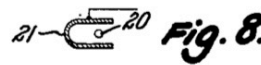
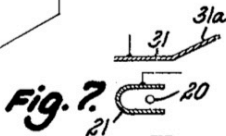
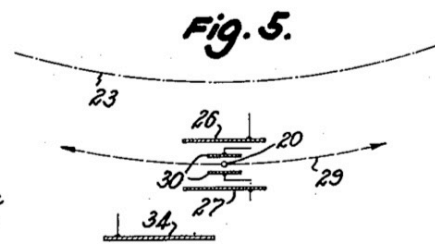
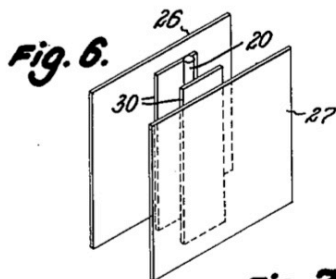
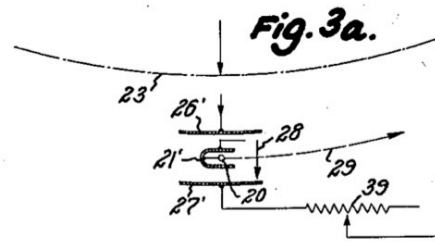
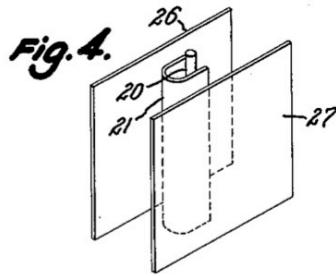
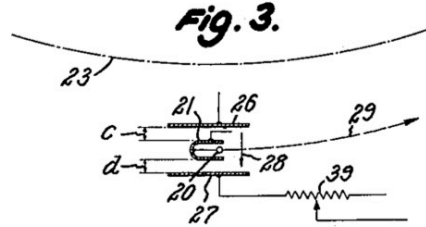
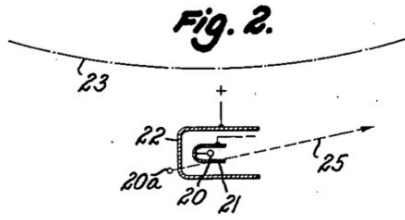
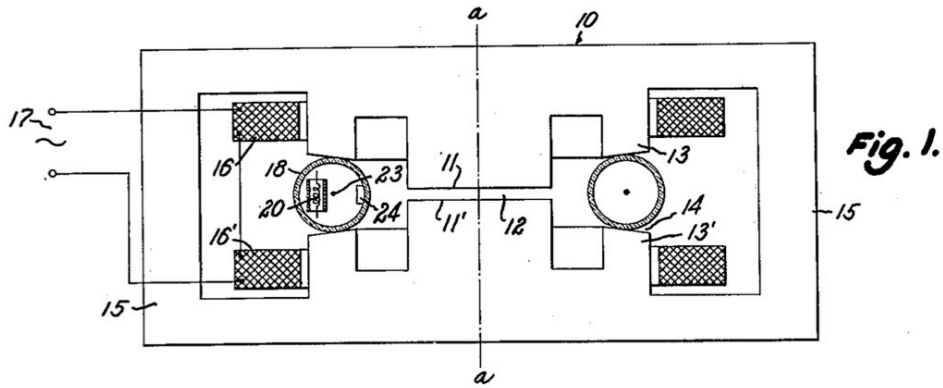
March 10, 1953

R. WIDERÖE

2,631,234

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed Dec. 22, 1947



Inventor

Fig. 11.

Rolf Wideröe  
Pierce, Scheffler & Parker  
Attorneys

Figure C.12: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.

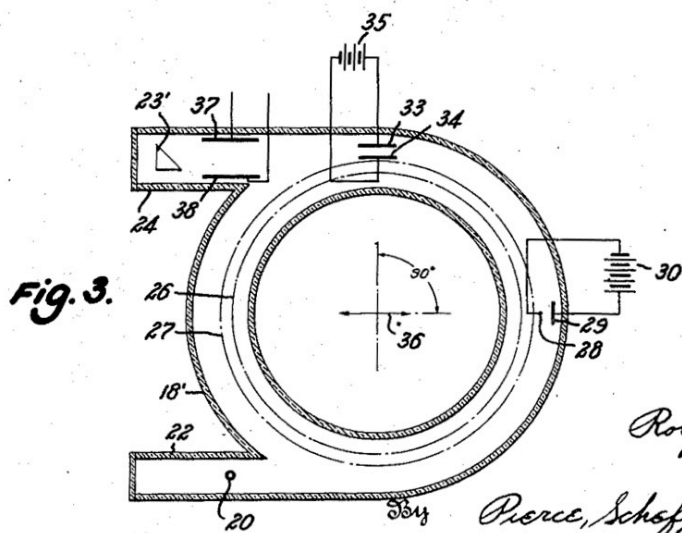
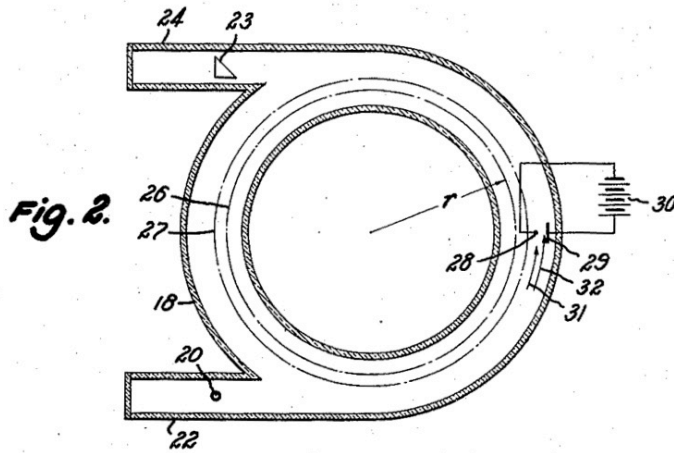
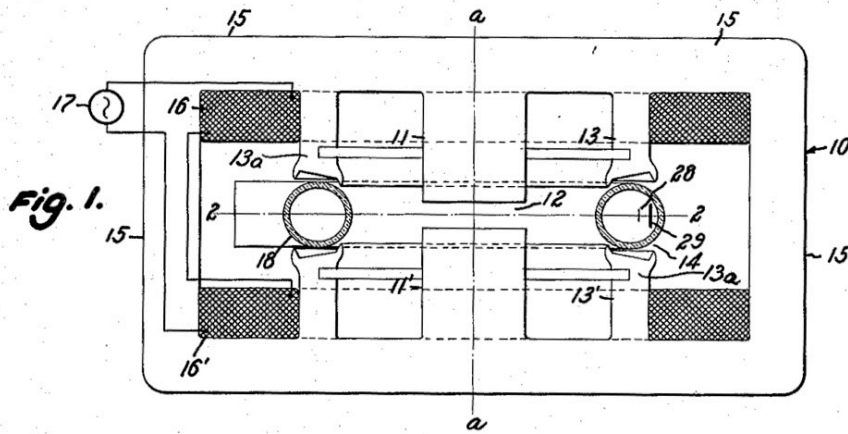
April 24, 1951

R. WIDERÖE

2,550,212

MAGNETIC INDUCTION ACCELERATOR

Filed Dec. 17, 1946



Inventor  
Rolf Wideröe

Pierce, Schoffler & Parker

Attorneys.

Figure C.13: Figures from one of Rolf Wideröe's wartime patents on particle accelerators.

**Pedro Waloschek. 2012. *Death-Rays as Life-Savers in the Third Reich*. Draft English translation of *Todesstrahlen als Lebensretter* p. 175**  
[\[http://www-library.desy.de/preparch/books/death-rays.pdf\]](http://www-library.desy.de/preparch/books/death-rays.pdf).

Already in 1927/28 Steenbeck had developed the basic ideas for an accelerator which corresponded exactly to the “Cyclotron” proposed in 1931 by Lawrence. And he also sketched the first ideas for a later on called “Synchrocyclotron”. Encouraged by his colleagues at Siemens he wrote all this down in a report which he wanted to publish in the journal “Naturwissenschaften”. Due to a misunderstanding with his boss Rüdeneberg (who had asked him for a discussion of his ideas) the paper was never published.

In 1934 Steenbeck had already seen the PhD-thesis published in 1928 by Wideröe and included in his patents the conclusions to which Wideröe had arrived. Wideröe had also tried to submit his ideas as patents in 1929 but did not care about it in the following years, as he was working on a completely different subject (relays).

**Max Steenbeck. German Patent DE 698,867. Vorrichtung zur Erzeugung von Elektronen hoher Energie durch das elektrische Wirbelfeld eines sich zeitlich ändernden magnetischen Hauptfeldes. [Device for Generating High Energy Electrons by the Electric Vortex Field of a Time-Varying Main Magnetic Field.] Filed 1935.**

[Building on Rolf Wideröe’s earliest ideas, Max Steenbeck (German, 1904–1981) invented the first practical betatron (circular particle accelerator for electrons) in 1935. Please see his first betatron patent, German Patent DE 698,867, on the following pages.

Steenbeck obtained similar patents in many other countries, including U.S. Patent 2,103,303, which was issued in 1937. Using the detailed designs in Steenbeck’s patents, Donald Kerst copied Steenbeck’s device and built the first U.S. circular accelerator for electrons in 1940. Kerst’s only original contribution was to rename the device as the “betatron,” and the name stuck. (German-speaking scientists seemed to prefer the name “rheotron” in the early years.) Kerst then became widely and incorrectly known as the “inventor” of the betatron while Steenbeck remained virtually unknown.

Some of Steenbeck’s experimental results with betatrons were published as:

Max Steenbeck. 1943. Beschleunigung von Elektronen durch elektrische Wirbelfelder.  
*Die Naturwissenschaften* 31: 234–235.

From official histories, it is unclear exactly what Steenbeck did during the war, but it seems likely that he worked on the German nuclear weapons program. After the war he spent ten years helping to develop and run major parts of the Soviet nuclear weapons program. He wrote about some of his experiences in his autobiography:

Max Steenbeck. 1980. *Impulse und Wirkungen*. 3rd ed. Berlin: Verlag der Nation.

See also Helmbold 2016.]



DEUTSCHES REICH


 AUSGEGEBEN AM  
6. DEZEMBER 1940

 REICHPATENTAMT  
PATENTSCHRIFT

Nr 698 867

KLASSE 21g GRUPPE 36

S 117417 VIII c/21g

Siemens-Schuckertwerke Akt.-Ges. in Berlin-Siemensstadt\*)

 Vorrichtung zur Erzeugung von Elektronen hoher Energie durch das elektrische Wirbelfeld  
eines sich zeitlich ändernden magnetischen Hauptfeldes.

Patentiert im Deutschen Reiche vom 7. März 1935 ab

Patenterteilung bekanntgemacht am 17. Oktober 1940

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, mit möglichst einfachen technischen Mitteln, vor allen Dingen ohne Anwendung hoher Spannungen, Elektronenstrahlen hoher Energie, beispielsweise Strahlen mit einer Geschwindigkeit von mehreren Millionen Volt zu erzeugen.

Es ist vorgeschlagen worden, zu diesem Zweck ein magnetisches Wechselfeld zu verwenden, durch das ein elektrisches Wirbelfeld erzeugt wird, welches dem Elektron die notwendige Geschwindigkeit erteilt. Die Anordnung ist dabei so getroffen, daß die Elektronenbahn das magnetische Feld umschließt wie die Windungen der Sekundärwicklung eines Transformators den Transformator Kern und damit den diesen Kern durchsetzenden Fluß.

Bei einer bekannten Anordnung dieser Art umschließt ein ringförmiges hochevakuiertes Entladungsgefäß den Kern eines dreischenkigen Transformators, dessen mittlerer Kern eine an technische Wechselspannung üblicher Spannung und Frequenz angeschlossene Erregerwicklung trägt. In dem Entladungsgefäß ist eine Glühkathode angeordnet, welche die für die Strahlung notwendigen Elektro-

nen aussendet. Außer dem Wechselfeld wirkt auf die Elektronen noch ein zusätzliches, von Dauermagneten erzeugtes Magnetfeld, welches dazu dienen soll, die um den Transformator Kern kreisenden Elektronen in einer bestimmten, durch das Entladungsgefäß gegebenen Ebene zu halten, d. h. zu verhindern, daß die Elektronen an irgendeiner Stelle auf die Gefäßwandung auftreffen.

Es ist auch schon vorgeschlagen worden, zur Beschleunigung und Führung der Elektronen bei einer Anordnung zur Herstellung von Röntgenstrahlen ein Magnetfeld zu verwenden, welches von der Mitte nach dem Rande hin abfällt. Dabei ist der Körper, der durch das Auftreffen schnell fliegender Elektronen zum Aussenden von Röntgenstrahlen angeregt werden soll, in der Mitte des Magnetfeldes angeordnet.

Diese bekannten bzw. vorgeschlagenen Anordnungen sind zwar im Prinzip brauchbar, doch geben sie entweder eine verhältnismäßig geringe Ausbeute an schnellen Elektronen, oder sie sind für den vorliegenden Zweck der Erzeugung sehr rascher Elektronen nicht besonders geeignet. Um praktisch wirklich brauchbare Ergebnisse zu erzielen, muß man

\*) Von dem Patentsucher ist als der Erfinder angegeben worden:

Dr. phil. Max Steenbeck in Berlin-Siemensstadt.

Figure C.14: Max Steenbeck's first patent on betatrons (DE 698,867), filed in 1935.

sich der Verbesserungen bedienen, welche den Gegenstand der vorliegenden Erfindung bilden.

Erfindungsgemäß ist bei einer Vorrichtung zur Erzeugung von Elektronen hoher Energie durch das elektrische Wirbelfeld eines sich zeitlich ändernden magnetischen Hauptfeldes, bei der zur Stabilisierung der Elektronenbewegung ein mit dem Hauptfeld gleichachsiges, von der Mitte nach außen hin abnehmendes, zeitlich veränderliches magnetisches Führungsfeld dient, das Magnetfeld derart bemessen bzw. sind die an den Feldraum angrenzenden rotationssymmetrischen Polschuhe derart ausgebildet, daß im Gebiet der kreisförmigen Bahn der Elektronen das dem Hauptfeld gleichfrequente und gleichphasige Führungsfeld stets halb so groß ist wie das Hauptfeld und daß die Intensität des Führungsfeldes nach außen hin nicht stärker als umgekehrt proportional dem Radius der kreisförmigen Bahn des Elektrons abnimmt. Durch diese Bemessung der Felder erzielt man eine Reihe wichtiger Vorteile. Zunächst handelt es sich um die Stabilisierung der Elektronenbahn im Wirbelfeld. Will man eine hohe Beschleunigung der Elektronen erzielen, dann muß man dafür sorgen, daß ein und dieselbe Kraftlinie des Wirbelfeldes in häufiger Wiederholung von ein und derselben Ladung durchlaufen werden kann. Dies bedingt eine sichere Stabilisierung des Elektrons auf der Kreisbahn, d. h. es muß ein elektrisches oder magnetisches Feld gefunden werden, welches das Elektron sicher in seine Kreisbahn führt. Diese Bedingung wird durch die die Erfindung bildende erfüllt, bei der die Stabilisierung auch noch dann wirksam ist, wenn das kreisende Elektron Störungen irgendwelcher Art erfährt, sei es, daß es mit falschen Anfangsbedingungen, z. B. einer schief gerichteten Anfangsgeschwindigkeit, seinen Flug im Wirbelfeld beginnt, sei es, daß es durch Zusammenstöße mit Restgasmolekülen aus seiner richtigen Flugbahn abgelenkt wird. Außerdem gleicht aber das Feld auch noch seine eigenen Fehler aus, z. B. sind geringe Abweichungen von der Rotationssymmetrie der Anordnung, die ja niemals in idealer Weise erfüllt sein kann, bei der vorliegenden Anordnung ohne schädliche Wirkung.

Die Führung der Elektronen auf Kreisbahnen mit Hilfe eines magnetischen Führungsfeldes, die durch die Bemessung der Felder nach der Erfindung in vorteilhafter Weise gelingt, hat den prinzipiellen Vorteil, daß man zur Führung eines Elektrons, beispielsweise von 11 Millionen Volt Geschwindigkeit, nur ein Magnetfeld von etwa 7000 Gauß braucht, während bei der Führung

des Elektrons durch ein radiales elektrisches Feld ein solches von mehreren Millionen Volt notwendig wäre.

Der grundsätzliche Aufbau der Anordnung ist aus Fig. 1 ersichtlich. Die Anordnung muß im Prinzip etwa folgendermaßen aussehen:

Ein zentraler Eisenschenkel führt den sich zeitlich ändernden Magnetfluß  $\Phi$  und erzeugt um sich das elektrische Wirbelfeld. Das Führungsfeld  $h_f$  wird von zwei ringförmigen Polschuhen erzeugt, die den zentralen Eisenschenkel und damit den zentralen Magnetfluß leiten. Das Führungsfeld darf nicht, wie vorgeschlagen ist, von einem Dauermagneten erzeugt werden; denn wenn mit der Zeit die kreisenden Elektronen rascher werden, würde bei gleichbleibender Stärke des Führungsfeldes der Bahnradius immer größer werden. Um den Bahnradius konstant zu lassen, muß das Führungsfeld  $h_f$  also mit der Zeit ansteigen. Da die Elektronengeschwindigkeit nur vom zentralen Magnetfluß abhängt und da die Beziehung zwischen Elektronengeschwindigkeit und Führungsfeld für konstant bleibenden Bahnradius  $R$  ebenfalls eindeutig ist, muß die notwendige Führungsfeldstärke  $h_f$  allein durch die Größe des zentralen Flusses gegeben sein. Man findet als Bedingung dafür, daß der Bahnradius  $R$  unverändert bleibt:

$$\Phi = 2 R^2 \pi h_f = 2 R^2 \pi B_f \text{ im Vakuum. (1)}$$

Der Fluß  $\Phi$  muß also gerade doppelt so groß sein, wie er es wäre, wenn das Führungsfeld  $h_f$  homogen das ganz Innere der Kreisbahn ausfüllt, damit der Radius  $R$  der Elektronenbahnen unverändert bleibt (1:2-Bedingung). Diese Bedingung gilt auch noch dann exakt, wenn man in das Gebiet relativistischer Geschwindigkeiten kommt; sie gilt auch dem Vorzeichen nach, d. h. zentraler Fluß und Führungsfeld müssen gleichgerichtet im Verhältnis 1:2 ansteigen. Nimmt man die Richtung des zentralen Flusses  $\Phi$  als positiv an, so gibt eine Vergrößerung des Flusses ein Wirbelfeld mit eindeutig festliegendem Umlaufsinn. Das Führungsfeld muß dann so gerichtet sein, daß in ihm die Elektronen mit solchem Umlaufsinn kreisen, daß sie vom Wirbelfeld beschleunigt werden; ein entgegengesetzt gerichtetes Führungsfeld würde dagegen die Elektronen gegen das Wirbelfeld kreisen lassen, so daß die Elektronen gebremst würden.

Die Erkenntnis, daß zentraler Fluß  $\Phi$  und Führungsfeld  $h_f$  gleichgerichtet und einander proportional sein müssen, führt dazu, sie beide durch die gleiche Wicklung zu erzeugen. Dann ist das Führungsfeld  $h_f$  mit seinem den magnetischen Widerstand im wesent-

Figure C.15: Max Steenbeck's first patent on betatrons (DE 698,867), filed in 1935.

698 867

3

lichen bestimmenden Luftspalt proportional zum Momentanwert des Erregerstromes. Damit nun der Fluß  $\Phi$  proportional zum Führungsfeld wird, muß also auch der Fluß  $\Phi$  proportional zum Erregerstrom sein. Das ist nun bei geschlossenen Eisenkernen wegen der Nichtlinearität der magnetischen Eisencharakteristik  $B = f(h)$  auch schon im ungesättigten Gebiet nicht erfüllt. Um die Proportionalität zu schaffen, wird auch im zentralen Eisenschkel ein Luftspalt vorgesehen, dessen magnetischer Widerstand groß ist gegen den des übrigen Eisenweges und damit die Proportionalität zwischen Fluß und Führungsfeld garantiert. In Fig. 1 ist diese Anordnung dargestellt. Hier erzeugen die gleichen Amperewindungen  $W$  den Fluß  $\Phi$  im zentralen Schenkel und das Führungsfeld  $h_f$  zwischen den Ringpolschuhen  $P$ . Da der von der Elektronenkreisbahn  $R$  umschlossene Fluß  $\Phi$  einem im Mittel doppelt so großen Feld entsprechen soll wie das Führungsfeld  $h_f$ , muß der Luftspalt im zentralen Schenkel also entsprechend kleiner gemacht werden als zwischen den Polen  $P$  des Führungsfeldes.

Die Einhaltung der oben ausgesprochenen Bedingungen genügt aber noch nicht, um auch gestörte Elektronen, die eine schräg gerichtete Anfangsgeschwindigkeit besitzen oder aber durch Restgasmoleküle aus ihrer Bahn abgelenkt wurden, auf den Sollkreis zu stabilisieren. Durch das homogene Magnetfeld  $h$  wird ja eine Geschwindigkeitskomponente, die nach oben oder unten, also zur Flugebene der Elektronen normal ist, nicht beeinflusst, da sie zu den magnetischen Kraftlinien parallel ist. Das Elektron kann also leicht an die Wand des Entladungsgefäßes fliegen, da eine stabilisierende Wirkung nicht vorhanden ist, d. h. wird das Führungsfeld inhomogen gemacht, so daß es mit steigendem Abstand von der Mittelachse abnimmt, dann sind, wie Fig. 2 zeigt, die Kraftlinien nach außen abgelenkt, und es ergeben sich auch radiale Komponenten  $h_r$  des Magnetfeldes, welche die Stabilisierung der Elektronen auch dann besorgen, wenn die Elektronen Geschwindigkeitskomponenten nach oben oder unten besitzen. Die Rückführung der gestörten Elektronen erfolgt dabei in der Weise, daß die Elektronen unter dem Einfluß der radialen Magnetfeldkomponenten harmonische Schwingungen ausführen.

Außer den Fehlgeschwindigkeiten in axialer Richtung treten auch solche in radialer Richtung auf, d. h. ein Elektron kann beispielsweise durch einen Zusammenstoß mit einem Restgasmolekül eine Ablenkung erfahren, so daß es aus dem Sollkreis austritt, dabei in der Mittelebene bleibt.

Um allen diesen Störungen des Elektronenfluges wirksam zu begegnen, wird in Ausführung der Erfindung das Führungsfeld so bemessen, daß die Stabilisierungsbedingung

$$-1 < \frac{R}{h} \cdot \frac{dh}{dR} < 0 \quad (2)$$

erfüllt ist mit einem Optimum hinsichtlich 70  
 allerseitig gleich fester Bindung an die Sollbahn bei

$$\frac{R}{h} \cdot \frac{dh}{dR} = -\frac{1}{2} \quad (3)$$

Das Führungsfeld soll also stets weniger 75  
 stark als umgekehrt proportional zu diesem Radius, vorzugsweise aber halb so stark abnehmen.

Diese Bedingung muß außer der oben genannten 1:2-Bedingung erfüllt sein. Es hat sich gezeigt, daß bei einer Anordnung, welche beide Bedingungen erfüllt, eine ausreichende Stabilisierung der Elektronen auf der Kreisbahn und damit auch eine hohe Beschleunigung der Elektronen und eine gute Ausbeute an Elektronen erzielt wird.

Wesentlich für die Ausführung der Erfindung ist die Ausbildung der Polschuhe derart, daß das zwischen ihnen erzeugte 90  
 Feld die vorstehend gekennzeichneten Stabilisierungseigenschaften hat. In Fig. 3 ist eine Ausführungsform dargestellt, die auf Grund folgender Überlegungen entstanden ist: Läßt man die beiden Hyperbeläste 1 95  
 und 2 um die Achse  $a$  rotieren, so entstehen zwei Hyperboloide. Das zwischen den beiden Hyperboloiden entstehende Feld nimmt nach außen stetig ab. In Achsennähe ist es fast homogen, in größerem Abstand  $R$  100  
 von der Achse, wo das Hyperboloid annähernd die Asymptoten berührt, nimmt es fast mit  $1/R$  ab. Der für die Feldinhomogenität charakteristische Ausdruck  $R/h \cdot dh/dR$  ändert sich dabei von 0 auf der Achse nach 105  
 $-1$  im Unendlichen; abgesehen für  $R=0$  erfüllt das Hyperbelfeld also überall die Bedingung Gleichung (2). Aber es erfüllt zunächst noch nirgends die 1:2-Bedingung Gleichung (1). Es existiert nämlich im 110  
 reinen Hyperbelfeld nirgends ein Kreis, dessen Kreisfläche im Mittel gerade ein doppelt so starkes Feld bedeckt wie das auf der Kreislinie herrschende; stets ist das Innenfeld zu schwach. Um also das Hyperboloid 115  
 als stabilisierende Polschuhform ausnutzen zu können, muß das Innenfeld verstärkt werden, wie man es beispielsweise erreichen kann, wenn man in Achsennähe den Polschuhabstand kleiner macht, als es bei reinen 120  
 Hyperboloiden der Fall ist; in Fig. 3 ist dies durch besondere, aufgesetzte Innenpolschuh-

Figure C.16: Max Steenbeck's first patent on betatrons (DE 698,867), filed in 1935.

stücke  $A$  und  $E$  erreicht. In diesem Fall existiert immer ein Kreis, der die 1:2-Bedingung erfüllt und der dabei einen um so kleineren Radius hat, je stärker die zentrale Flußvergrößerung gemacht wird. Man wird diese zweckmäßig so ausführen, daß der Kreisradius gleich dem halben Brennpunkt-  
 5 abstand wird; denn hier erfüllt das Hyperbelfeld gerade die optimale Bedingung  
 10  $R/\hbar \cdot d\hbar/dR = -1/2$ .

Nun stören aber die Innenpolschuhe  $A$  und  $B$  durch ihr Streufeld das eigentliche Hyperbelfeld in unerwünschter Weise (s. Fig. 3), und man muß also den Elektronenbahnkreis so weit nach außen legen bzw. die Zusatzpolschuhe mit so kleinem Radius ausführen, daß die Elektronen von diesem Streufeld nicht mehr wesentlich miterfaßt werden. Das bedeutet aber eine Begrenzung des maximal möglichen Innenflusses  $\Phi$ , den man doch gerade groß machen möchte, um hohe Elektronenenergien zu erhalten. Es ist also nötig, den Streufluß möglichst wenig weit nach der Seite sich erstrecken zu lassen.  
 25 Das kann man erreichen, wenn man den Zentralfluß nicht durch einen Luftspalt gehen läßt, sondern diesen unterteilt in eine große Anzahl kleiner Luftspalte, die natürlich mit beliebigem unmagnetischem Material ausgefüllt sein können. Da sich nämlich der Streufluß seitlich nur über Zonen von der Größe der Luftspaltdicke ausbreitet, ist jetzt nur noch ein viel kleinerer Abstand des kreisenden Elektrons von den zentralen Pol-  
 30 schuhen erforderlich. Man kann den Streufluß sogar praktisch ganz beseitigen, wenn man einen Raum, wie er von den Kraftlinien des ungestörten Hyperbelfeldes gebildet wird, mit Eisenpulver, etwa nach Art der Massekerne in ein Isoliermaterial eingebettet, ausfüllt, wobei man durch richtige Wahl des Eisenfüllfaktors eine solche mittlere Permeabilität erreichen kann, daß der entstehende zentrale Magnetfluß der 1:2-Bedingung ge-  
 45 nügt. Man kann dann also den Sollkreis  $R$  der Elektronen sehr nahe um den zentralen Fluß legen und erreicht mit dem kleinen  $R$  und dem großen Fluß eine sehr hohe Elektronenendgeschwindigkeit. Nach außen müssen die Polschuhe so weit geführt sein, daß man in der Umgebung des Sollkreises noch sehr weitgehend mit dem reinen Hyperbelfeld rechnen kann. Genau genommen werden bei seitlich begrenzten Polschuhen natürlich die Feldlinien schon im ganzen Raum weiter nach außen gedrängt, als es dem reinen Hyperbelfeld entspricht. Man kann das aber in der Umgebung des Sollkreises  $R$  weitgehend ausgleichen, wenn man außen die Polschuhe  
 50 längs einer kleinen Strecke sich etwas weniger stark voneinander entfernen läßt, als es

Hyperboloiden entspricht; dadurch schafft man eine Zone mit relativ stärkerem Feld, dessen Feldlinienquerdruck den Feldverlauf in der Umgebung des Sollkreises wieder annähernd in den Verlauf eines reinen Hyperbelfeldes zurückdrängen kann. Ein geringer Gesamtdurchmesser der Polschuhe verkleinert nicht nur die Abmessungen der Apparatur, sondern auch den zum Aufbau des Feldes nötigen Leistungsaufwand.  
 65

Für die wirksame Stabilisierung der Elektronen ist es auch wesentlich, daß die Gesamtanordnung möglichst rotations-symmetrisch ist. Daher wird der zentrale Eisen-schenkel, welcher wegen der Wirbelströme aus lamellierten Eisenblechen aufgebaut ist, rotations-symmetrisch ausgebildet. Würde man die Bleche gemäß Fig. 4 eben aufeinander schichten, so ließe sich eine Feldun-symmetrie nicht vermeiden. Die Bleche werden daher vorteilhafterweise gemäß Fig. 5 in einer Evolventenpackung verwendet. Gegebenenfalls kann man den Eisenkern auch gemäß Fig. 6 aus einem Drahtbündel aufbauen. Auch ein aufgewickeltes Eisenblech nach Fig. 7 gibt ein annähernd rotations-symmetrisches Feld.  
 75

Um die gewünschte Rotations-symmetrie des Wirbelfeldes zu erhalten, ist es auch von Vorteil, den magnetischen Rückschluß nicht durch ein Seitenjoch, sondern mindestens durch zwei, womöglich aber durch noch mehr Seitenjoche vorzunehmen, um den Rück-schluß auch wirklich symmetrisch zu ver-  
 80 teilen.

Zum Einbringen der Elektronen wird zweckmäßig eine Glühkathode verwendet, die in der Nähe des Sollkreises der Elektronenbahn, naturgemäß in einem Hochvakuum-entladungsgefäß, angeordnet ist.  
 100

Die Glühkathode kann ein Draht-ring sein, der innerhalb oder etwas oberhalb des Sollkreises liegt und gegebenenfalls durch Wirbelstrom beheizt wird. Günstiger noch als die Wirbelstromheizung des erwähnten Draht-ringes erweist sich die Verwendung einer fremdgeheizten Kathode, bei welcher man die Wirkungen des Heizstromes und des Heizspannungsabfalles völlig unterbinden kann, wenn man als Heizstrom einen mit dem Erregerstrom des Magnetfeldes gleich-frequenten und gleichphasigen Wechselstrom verwendet; dann gehen nämlich Heizspannung und -strom mit dem Magnetfeld zusammen durch Null, stören also gerade in den Zeiten nicht, wo die Glühkathodenemission gebraucht wird. Die Kurzschlußstrom-heizung dagegen arbeitet wohl mit einem gleichfrequenten, aber nicht gleichphasigen Strom (wegen der Ohmschen Stromkomponente im Heizdraht).  
 110  
 120

Figure C.17: Max Steenbeck's first patent on betatrons (DE 698,867), filed in 1935.



Eine andere Möglichkeit für das Einbringen der Elektronen besteht darin, daß ein außerhalb der Polschuhe vorbeschleunigter Elektronenstrahl in das Wirbelfeld hineingeschossen wird. Zweckmäßig ist dabei das Hineinschießen langsamer Elektronen in zeitlicher Nähe des Magnetfeldnulldurchganges, weil dann die Umlaufspannung des Wirbelfeldes relativ zur Elektronenenergie am größten ist, also schon nach verhältnismäßig wenigen Umläufen ihre eventuelle stabilisierende Wirkung zur Geltung bringen könnte.

Wenn die Elektronengeschwindigkeit bis nahe an ihren Höchstwert gesteigert ist, muß durch irgendeine Störung der stabilisierenden Eigenschaften des Führungsfeldes dafür gesorgt werden, daß die Elektronen den Sollkreis verlassen und aus dem Magnetfeld herausfliegen. An sich sind eine große Anzahl solcher Störungen denkbar. Man könnte z. B. ein zusätzliches Störfeld möglichst rasch aufbauen, etwa ein elektrisches Feld zwischen einer besonderen Elektrode und der Umgebung durch Auflaufenlassen einer zeitlich richtig gesteuerten Wanderwelle oder ein magnetisches Störfeld durch richtig gesteuertes Einschalten einer besonderen Spule. Wesentlich einfacher ist es aber, von einer Störung durch Eisensättigung Gebrauch zu machen, weil diese automatisch ohne besondere Synchronisierung jedesmal bei hohen Magnetfeldern eintritt, also gerade dann, wenn die Elektronen zu Ende beschleunigt wurden.

Wenn man bei der Anordnung nach Fig. 3 durch Eisensättigung irgendwie dafür sorgt, daß das Führungsfeld  $h_f$  nur bis zu einem gewissen Höchstwert ansteigen kann, aber den zentralen Fluß  $\Phi$  noch weiter wachsen und damit also auch das elektrische Wirbelfeld weiter bestehen läßt, so werden die im Führungsfeld kreisenden Elektronen weiter beschleunigt, ohne daß das Führungsfeld zunimmt. Deshalb weitet sich der Elektronenbahnkreis. Das kann so weit getrieben werden, daß der Kreis sich bis zu der labilen Stelle ausdehnt, von der ab das Magnetfeld mit  $d h_f / d R \cdot R / h_f < -1$  oder noch stärker abnimmt und daher der Elektronenkreis platzt.

Eine solche Sättigung des Führungsfeldes ist mit einer Polschuhanordnung nach Fig. 10 ausführbar. Während im zentralen Teil der Fluß  $\Phi$  durch zylindrische Polschuhe hindurchgeht, abgesehen von den Luftspalten bzw. dem Massekern  $L$ , sind die Ringpolschuhe  $P$ , die das Führungsfeld  $h_f$  ergeben, mit einer Einschnürung  $A$  versehen. Durch diese Einschnürung hindurch tritt der ganze Fluß für das Führungsfeld (einschließlich Streufeld), und durch passende Dimensionie-

rung der Einschnürung  $A$  hat man es in der Hand, von einem beliebigen Wert des Führungsfeldes an in der Einschnürung die Flußdichte so groß zu machen, daß sich hier das Eisen sättigt und damit als zusätzlicher magnetischer Widerstand eine weitere Steigerung des Führungsfeldes verlangsamt oder unterbindet. Der hinter der Einschnürung wieder erweiterte Teil der Ringpolschuhe wird dabei nur mit so kleinen Flußdichten belastet, daß hier die hohe Permeabilität des Eisens erhalten bleibt. Die Oberflächen der Polschuhe, die die Form des Führungsfeldes bestimmen, bleiben magnetische Äquipotentialflächen wie bei kleineren Führungsfeldstärken und bewirken, daß das Führungsfeld auch noch nach eingetretener Eisensättigung abgestreute Elektronen auf die Kreisbahn zurücklenkt. Nur die Kreisbahn selbst wächst mit den schon geschilderten Folgen.

Die Feldwicklungen  $F$ , die für Zentralfluß  $\Phi$  und Führungsfeld  $h_f$  gemeinsam sein sollen, werden zweckmäßig an sinusförmige Spannung gelegt und nicht mit sinusförmigem Strom gespeist, auch elektrotechnisch ist dies leichter durchführbar. Da nämlich nach eingetretener Sättigung des Führungsfeldes der Fluß des Führungsfeldes nicht mehr weiter anwächst, wegen der aufgedrückten Sinusspannung der Gesamtfluß aber sinusförmig weiter steigen muß, steigt jetzt der zentrale Fluß stärker an als vor Sättigung des Führungsfeldes. Das bedeutet aber, daß eine eintretende Sättigung des Führungsfeldes in zweifacher Weise den Elektronenkreis ausweitet. Nicht nur der gehemmte Anstieg des Führungsfeldes, sondern auch die durch den vergrößerten Zentralfluß erhöhte elektrische Wirbelfeldstärke wirken in dieser Richtung. Diese doppelte Ausnutzung der Eisensättigung läßt auch bei nicht besonders hochwertigem Eisen einen ziemlich plötzlichen Beginn der Elektronenkreiserweiterung erreichen, die deswegen erwünscht ist, weil die erreichte Endenergie um so höher ist, je länger die Elektronen auf kleinem Radius fliegen. In dem Raum  $W$  zwischen dem zentralen Polschuh für  $\Phi$  und der Einschnürung  $A$  im Ringpolschuh läßt sich noch eine besondere Feldwicklung unterbringen, die, da ihre Amperewindungen nur den Zentralfluß umfassen, zur Korrektur bei geringen Dimensionierungsfehlern für die Stabilisierungsbedingungen verwendet werden kann.

Es sei noch erwähnt, daß die Polschuhe des zentralen Magnetfeldes und die ringförmigen Polschuhe für das Führungsfeld auch je für sich getrennt bis an das Joch der Magnetanordnung herangeführt werden können.

Das für die Erzeugung von 10- bis 20-Millionen-Volt-Elektronen nötige Magnetfeld

Figure C.18: Max Steenbeck's first patent on betatrons (DE 698,867), filed in 1935.

speichert im voll aufgebauten Zustand eine Energie von etwa 1 Kilowattsekunde. Würde man es mit 50 Per./Sek. erregen, so brauchte man einen Blindleistungsaufwand von 50 bis 100 kVA (mit einem  $\cos \varphi \approx 0,1$ ), bei Betrieb mit 500 Perioden etwa 500 bis 1000 kVA. Mindestens im zweiten Fall wird man also, um einen großen Generator zu vermeiden, die induktive Blindlast durch einen der Magnetwicklung parallel liegenden Kondensator kompensieren; man wird also einen auf die Betriebsfrequenz abgestimmten Schwingungskreis schaffen.

Obgleich die Erfindung für die verschiedensten Zwecke, bei denen Elektronen hoher Geschwindigkeit benötigt werden, angewendet werden kann, ist sie von besonderer Bedeutung für die Heilbehandlung.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Elektronen hoher Energie durch das elektrische Wirbelfeld eines sich zeitlich ändernden magnetischen Hauptfeldes, bei der zur Stabilisierung der Elektronenbewegung ein mit dem Hauptfeld gleichachsiges, von der Mitte nach außen hin abnehmendes, zeitlich veränderliches magnetisches Führungsfeld dient, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetfeld derart bemessen ist bzw. die an den Feldraum angrenzenden rotationssymmetrischen Polschuhe derart ausgebildet sind, daß im Gebiet der kreisförmigen Bahn der Elektronen das dem Hauptfeld gleichfrequente und gleichphasige Führungsfeld stets halb so groß ist wie das Hauptfeld und daß die abnehmende Intensität des Führungsfeldes nach außen hin nicht stärker als umgekehrt proportional dem Radius der kreisförmigen Bahn des Elektrons abnimmt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität des Führungsfeldes nach außen hin etwa halb so stark abnimmt, wie der Radius der Elektronenbahn zunimmt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Polschuhe im Bereich des Führungsfeldes als Hyperboloide ausgebildet sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Feldraum im Bereich des magnetischen Hauptfeldes, also innerhalb des Kreises der Elektronenbahn, aus mehreren hintereinandergeschalteten, durch magnetisch leitendes Material voneinander getrennten Luftspalten gebildet wird.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Feldraum im Bereich des Hauptfeldes mit etwa nach Art der Massekerne in ein Isoliermaterial eingebettetem Eisenpulver ausgefüllt ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Magnetpfad für das Führungsfeld derart bemessen ist, daß bei Überschreitung eines bestimmten Flußwertes Sättigung eintritt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß von den rotationssymmetrischen Polschuhen die in der Feldachse liegenden Polschuhe eine derartige Form, beispielsweise Zylinderform, erhalten, daß in ihnen über den ganzen Änderungsbereich des magnetischen Flusses keine Sättigung eintritt, während die außerhalb der Feldachse liegenden, zweckmäßig ringförmig ausgebildeten Polschuhe eine solche Einschnürung erhalten, daß bei einem bestimmten Flußwert Sättigung eintritt.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Figure C.19: Max Steenbeck's first patent on betatrons (DE 698,867), filed in 1935.

Zu der Patentschrift 698 867  
 Kl. 21 g Gr. 36

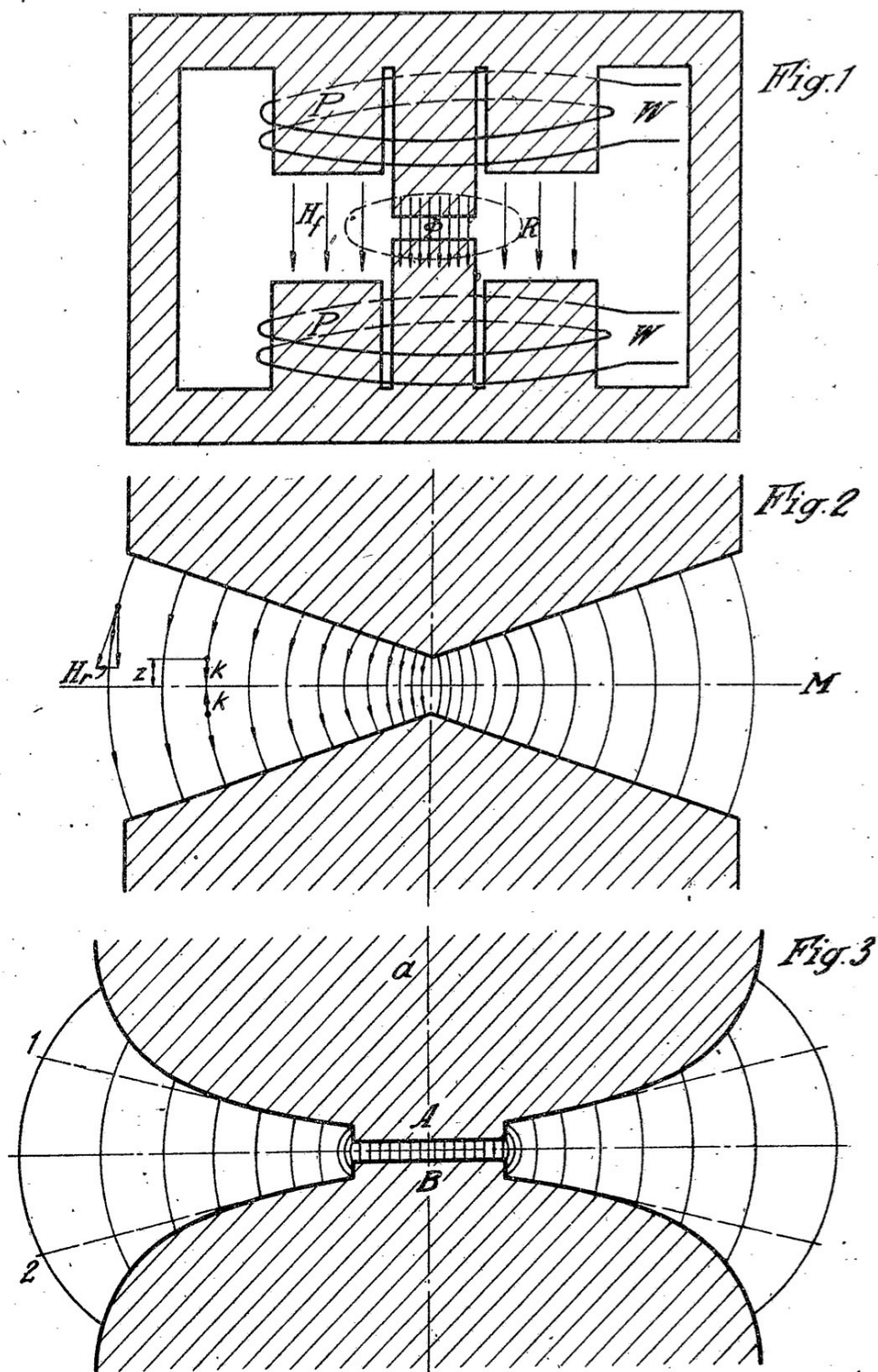


Figure C.20: Max Steenbeck's first patent on betatrons (DE 698,867), filed in 1935.

Zu der Patentschrift 698 867

Kl. 21 g Gr. 36

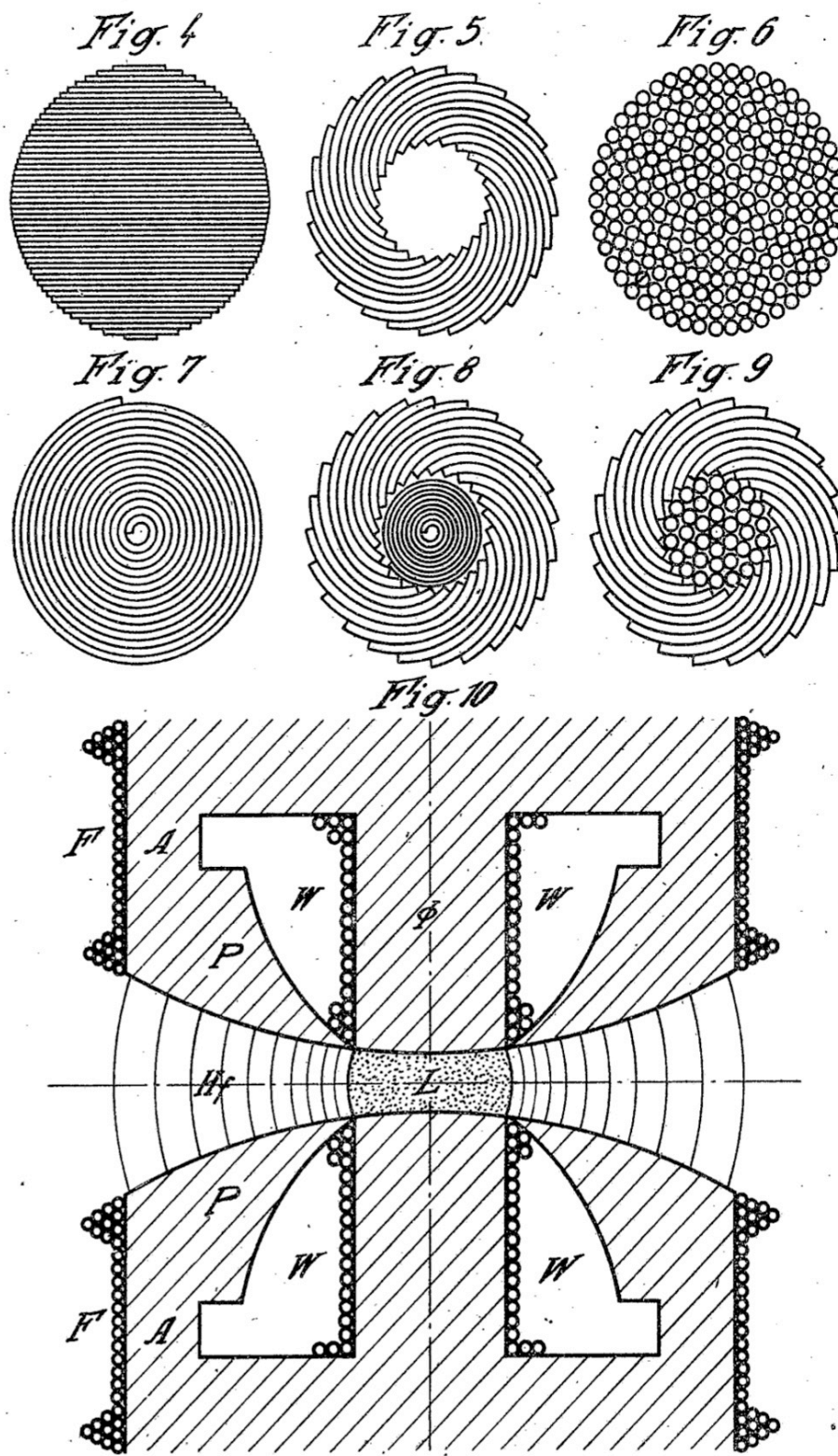


Figure C.21: Max Steenbeck's first patent on betatrons (DE 698,867), filed in 1935.



DECLASSIFIED  
Authority NND 917017

SECRET

REPORT B-

From: OSS Bern

Date of Report: Nov. 16, 1944

Source: Flute

Evaluation: B-2

Subject : AZUSA

Distribution: Washington for 109 and 106  
Paris for 105 and Major Furman.

Dallenbach's Supercyclotron.

Enclosed is description and design of Dallenbach's  
supercyclotron, announced in our report B-577.

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

SECRET

Figure C.22: OSS Bern intelligence from "Flute" (Paul Scherrer). 16 November 1944 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research-Res. Inst. & other Facilities (1943-Apr. 1945)]

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

THE SUPER-CYCLOTRON IN BISINGEN.

The Super-cyclotron has been invented and designed by a man called Daellenbach, a Swiss citizen who has been living in Germany for many years and is a convinced nazi.

Daellenbach is a very able engineer; he developed the Pintsch rectifier when he was chief of the electrical laboratories of Julius Pintsch and Co. in Fuerstenwalde; then did a lot of work on resonator (Schwingtopf) theory in connection with ultra-short wave generators of the Klystron (Clystron?) type. It is in connection with this work on resonators that he got the idea of the supercyclotron.

Daellenbach was already working in Bisingen (Forschungsstelle E) for the German government. He submitted his plans for the supercyclotron to the Kaiser Wilhelm Gesellschaft, which is a foundation for the encouragement of science, which finances the Kaiser Wilhelm Institutes for the different sciences. When a new research project is submitted to the Kaiser Wilhelm Gesellschaft, the sponsor of the project must hold a "Colloquium" (a controversial report) in front of a public consisting of scientists of the K.W. institutes and of members of the Gesellschaft, mainly big industrialists who put up the money.

Daellenbach had his Colloquium at a sitting of the K.W. Gesellschaft last July (1944); many of the scientists were against the project, mainly because of the very untried elements; but Daellenbach had the complete design ready and detailed, and was extremely well prepared to meet all objections made by his contradictors; the meeting was very favourably impressed by the thoroughness of his preparation (and probably by his past record) and decided to grant a credit up to 100 million marks for the immediate construction of a super-cyclotron for 100 to 200 million volt. Ordinarily this would take about four years, but the construction is being rushed as a war measure and it is likely that the supercyclotron will be ready in about a year from the start of manufacture, that is, in the summer of 1945. It must be noted that the design was quite ready at the time of the K.W. Gesellschaft sitting last July, so that manufacture could be started at once. A committee consisting of Laue, Heisenberg and Molière meets Daellenbach every week to examine progress; the project enjoys full priority. It seems likely that most of the K.W. Institutes which were formerly in Berlin have now moved to Bisingen.

SECRET



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)

- 2 -

SECRET

A very schematic description of the principle on which the supercyclootron works has been obtained by Flute from one of the K.W. Gesellschaft members (a German industrialist) who was present at the Colloquium. Although Daellenbach often comes to Switzerland (he has a visa granting him unlimited journeys from Germany; which shows that the Germans hold him in high esteem) and even sees Flute, he does not give any details about the supercyclootron; he only says he is engaged in work of supreme importance for Germany, ultra secret; also he is very proud of the fact that he meets Laue, Heisenberg and Molière every week (apparently on Wednesday afternoon).

The schematic principle of the supercyclootron is as follows:

The main vacuum chamber (1, in fig. I) is a cylindrical rotation body, having an H section, the axis of the cylinder being z, z. This vacuum chamber, which is of enormous size (about 5 metres outside diameter and 5 metres height) constitutes a colossal resonator; the walls are of very thick copper, water cooled from the outside. When the resonator is excited by means of an aerial inside it, working at an appropriate resonance frequency, the whole resonator begins to oscillate, and a very high electric field takes place between the two opposite faces (2, 3) which form the bar of the H in the sectional figure; this alternating field gives between 1 million and 3 million volts between the said faces. Inside the vacuum chamber, a very high vacuum must be obtained (at least  $10^{-4}$  mm Hg, and even less) and this presents one of the main difficulties in view of the size of the chamber.

Just above face 2 and just below face 3 of the vacuum chamber there is a very strong magnetic field, the direction of the lines of force being perpendicular to the plane of fig. I; the part indicated with 4 and 5 in fig. I lies in the interpolar space of the twin magnet, the actual poles being therefore in front and behind of the plane of fig. I. If we call y the direction of the horizontal co-ordinate in the plane of fig. I, the magnetic lines of force are parallel to the x direction and the field is concentrated in 4 and 5, just above face 2 and below face 3. In the plane of fig. I (plane y, z) a series of holes or canals are excavated in the material which constitutes the faces 2 and 3 of the vacuum chamber, and in the interpolar pieces 4 and 5; these canals communicate with the vacuum chamber and inside them reigns the same high vacuum; they are concentric and the centre of each of the two sets of semicircular canals lies in 6 for the upper set and 7 for the lower set. We shall indicate these canals with a, a'; b, b'; .....

SECRET

Figure C.24: OSS Bern intelligence from "Flute" (Paul Scherrer). 16 November 1944 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research-Res. Inst. & other Facilities (1943-Apr. 1945)]



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)

m, m'; n, n', for the upper set (with centre in point 6); and with the corresponding capital letters for the lower set, with centre in point 7. Right opposite point a, but in the lower face, abuts in point 8 the canal leading from the source of ions into the vacuum chamber.

If we imagine that a positive particle enters the vacuum chamber in 8 at the moment when face 3 is positive and face 2 is negative, it will be attracted towards face 2 by the electric field (1 to 3 million volt) and will enter canal a, a' in a; the magnetic field will ensure that the particle follows exactly a path corresponding the axis of canal a, a'. By the time the particle reaches again the main chamber in a', the electric field will be inverted, upper face 2 will be positive. lower face 3 negative, so the particle will be further accelerated with 1 to 3 million volt on to face 3, and will enter canal A, A' in A; it will come out in A', be further accelerated across to 2, enter b, b', and so on, the entrance of one set of canals being exactly opposite the exit of the preceding one (A opposite a', b opposite A', B opposite b' and so on). The particle follows therefore a path (indicated in red, dotted line in photograph, in fig. I) which might be called a "race-track spiral"; in that the two halves, upper and lower, of a spiral, are connected with parallel straights, just as a race track consists of two semicircles connected by two straights.

There are about 100 canals, so that the total accelerative potential should correspond to 100 to 200 million volts. At the end, the last canal is n, n'; opposite n' is a further canal with entrance in N, which leads the particle on to the object to be bombarded.

Owing to the fact that, for velocities corresponding to a potential of more than 20 million volts, the apparent mass-increase of the particle due to velocity begins to make itself felt, the magnetic field must be adjusted so as to give the right curvature to the path; this correction requires that the magnetic field should be progressively stronger in the outer canals: this is obtained by making the pole-pieces in stepped form, the distance between the pole pieces being smaller in correspondence with the outer canals (l, l'; m, m'; n, n') and greater for the inner canals (a, a'; b, b', etc).

The shape of the pole pieces is shown in fig. II, which is a partial section of fig. I along the line Y, Y, at a height corresponding to the height of the centre of the upper set of canals, (centre 6); X, X represents the axis of the upper magnet and the direction of the lines of force; the canals of the upper set appear as small circles (a, a'; ..... n, n') the pole

SECRET

DECLASSIFIED  
Authority NND 917017

- 4 -

pieces, 9 and <sup>10</sup>~~11~~, are stepped and get nearer the farther one gets from axis X, X; the pole pieces are, of course, semi-circular.

The actual constructional details of the supercyclotron are not known; for instance, the exact shape of the magnets, the location of the ions source, etc. Apparently, in order to avoid vacuum discharges across the vacuum chamber, Zircon electrodes are to be used.

As already stated, at the July sitting of the K.W. Gesellschaft, Daellenbach was in a position to counter successfully all objections of the members; a scientific committee, composed of Bothe, Heisenberg and Gentner, had particularly studied the project, and these three raised a lot of objections, but Daellenbach had an answer to everything.

According to Flute, taking into account Daellenbach's experience, the formidable means at his disposal and the advice of his scientific committee, it is probable that the supercyclotron will work successfully.

Flute,  
Via Martinuzzi and 493.

November 16, 1944.

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



**SECRET**

Figure C.26: OSS Bern intelligence from "Flute" (Paul Scherrer). 16 November 1944 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research-Res. Inst. & other Facilities (1943-Apr. 1945)]



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

DECLASSIFIED  
Authority NND 917017

 **SECRET** THIS DOCUMENT CONSISTS OF 1 PAGE(S)  
NO. 1 3 COPIES, SERIES 

WAR DEPARTMENT  
P. O. Box 2610  
WASHINGTON, D. C.

REFER TO FILE No. \_\_\_\_\_

15 January 1945

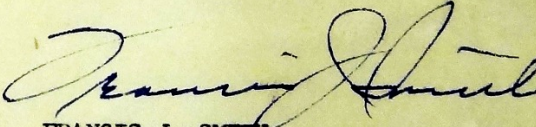
Subject: Report on German Super-Cyclotron.

To: Major Peer de Silva, P. O. Box 1539, Santa Fe, New Mexico.

1. Attached herewith is the copy of a report dated 16 November 1944 on a German super-cyclotron supposed to have been devised by Döllenberg. The undertaking as described sounds like a large and complicated one involving essential materials and technical personnel. If such a cyclotron were constructed and found to be operable, its main use would probably be as a research tool. It is not clear how this could have any direct or immediate consequence for the German war effort. However, the report claims that the construction is being rushed as a war measure.

2. In order to obtain an opinion as to whether a cyclotron of this kind would be feasible from a technical standpoint, it is suggested that you refer the report to Dr. Luis W. Alvarez. It may also be of interest to Dr. J. R. Oppenheimer and to Dr. Philip Morrison.

3. Could you return this memorandum with any comments you think pertinent?

  
FRANCIS J. SMITH,  
Major, Corps of Engineers.

Incl.:  
Report B - 11/16/44

Figure C.27: Francis J. Smith to Peer de Silva. 15 January 1945. Subject: Report on German Super-Cyclotron [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research-Res. Inst. & other Facilities (1943-Apr. 1945)]



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

DECLASSIFIED  
Authority NND 917017

- 2 -

**SECRET**

DÄLLENBACH, Hans Walter

Born on May 29, 1892, at Burgdorf, Bern, Switzerland. Studied from 1911 to 1916 at the Technical College in Zurich where he received his Doctor of Engineering degree in 1918. In 1916, was an assistant at the Technical College in Zurich and, until 1934, was a lecturer in physics there. Residence in 1934 was in Berlin.

Author of a number of articles on electricity in German journals since 1919. The following are those published since 1932. Some of these indicate work on micro-wave radio. It would seem natural for DÄllenbach to have been involved in German research on radar.

"Transformation Elements with Lowest Ballast on the Oscillating Field Energy." Hochfrequenztechnik und Electroakustik, Vol. 61, pp 53-56 (Feb. 1943).

"Reciprocity Theorem of the Electromagnetic Field." Archiv für Elektrotechnik, Vol. 36, pp 153-165 (March 31, 1942).

"Reflexion and Absorption of Decimetre Waves at Plane Dielectric Layers." Hochfrequenztechnik und Electroakustik, Vol. 51, pp. 152-156 (May 1938). With W. Kleinsteuber.

"The Resotank, a New Generator for Microwaves." Hochfrequenz-technik und Electroakustik, Vol. 51, pp. 96-99 (March 1938). With A. Allerding and W. Kleinsteuber.

"High-Power Rectifier without Vacuum Pump." Elektrotechnische Zeitschrift, Vol. 57, pp. 937-940 (Aug. 13, 1936). With E. Gerecke.

"High-Power Rectifier Without Vacuum Pump." Elektrotechnische Zeitschrift, Vol. 55, pp. 85-89 (Jan. 25, 1934).

"New Vacuum Meter for Mercury-Arc Rectifiers." Elektrotechnische Zeitschrift, Vol. 55, pp. 440-441 (May 3, 1934).

"Voltage-Current Characteristic of Grid-Controlled Rectifier." Elektrotechnische Zeitschrift, Vol. 53, pp. 1059-1060 (Nov. 3, 1932).

Figure C.28: Francis J. Smith to Peer de Silva. 15 January 1945. Subject: Report on German Super-Cyclotron [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research-Res. Inst. & other Facilities (1943-Apr. 1945)]



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	This Document Contains <u>2</u>
	INTER-OFFICE MEMORANDUM	No. of Pages. Copy <u>1</u> of <u>3</u> Copies.
		DATE 26 January 1945 <i>Cop 3 destroyed 11 Dec 49</i>
TO:	Major Peer de Silva	
FROM:	L. W. Alvarez	
SUBJECT:	German Super-Cyclotron	

I have just finished reading the very interesting report on the super-cyclotron designed by Mr. Dallenbach. My reaction to it is that the Germans are certainly wasting a lot of time and money on a completely inoperable device, which is quite cheering. I have two reasons for believing that the device will not work and a third which would tend to make the machine useless even if the first two reasons did not exist. The real trouble with the machine is that the magnetic field is so arranged as to defocus any positive ions during their acceleration period. It is a well-known fact, both theoretical and experimental, that if a cyclotron is to work, the magnetic lines of force must bulge away from the center or curvature of the ion paths. In fact, this criterion sets an upper limit to the energy which can be obtained in a cyclotron for any particular acceleration voltage between the electrodes. It can easily be seen, and Dallenbach makes this point, that in order to correct for the increase in mass of the positive ions as they acquire high velocities, it is necessary to increase the magnetic field at the outer edges of the cyclotron. However, when one does this, the fundamental laws of electricity and magnetism require that the magnetic lines bulge toward the center of curvature of the ion paths; and as I said before, this tends to push the ions toward the pole pieces of the magnet where they are lost. In all successful cyclotrons it is absolutely necessary that the magnetic field decrease at the edge of the pole pieces to give focussing. This is in the opposite direction to keep the ions in step with the oscillating electric field, so that after a while the ions would get completely out of phase with the electric field and be decelerated. This is the nature of the limit to cyclotron energies. The practical way out of this difficulty is to increase the accelerating voltage on the electrodes so that the total acceleration is done in a relatively few spirals in the magnetic field. If the acceleration is done in a few steps, the loss in phase per revolution cannot add up to a sufficient amount to get the ions into the decelerating condition. If the cyclotron is to be designed as shown in the diagrams, this fact in itself would assure that the device would not operate as advertised. I feel sure that Bothe and Gentner are aware of this difficulty and voiced it at the meeting referred to in the memorandum. Perhaps Mr. Dallenbach's answer to this objection was that he would let the magnetic field fall off towards the edges as is contemplated in the 184" cyclotron at Berkeley.

The second bad feature of the design is that there is no magnetic field across the accelerating gap in the proposed device. This has the same disadvantage mentioned before, ~~now~~ that the magnetic lines of force will bulge towards the center of curvature of the ions, and an extremely strong defocussing action will take place on the first two accelerations. On this point I have some personal experience in that I once proposed a design of electronic accelerator with somewhat similar special characteristics, and Mr. R. Oppenheimer calculated the defocussing action for the first two accelerations and found it was enormous. This fact by itself

SECRET

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.

15

Figure C.29: Luis W. Alvarez to Peer de Silva. 26 January 1945. SUBJECT: German Super-Cyclotron [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research--Res. Inst. & other Facilities (1943--Apr. 1945)]



**SECRET**

Maj. Peer de Silva

- 2 -

26 January 1945

would render the device completely inoperative. The third point is that the ions are to be accelerated in semicircular tubes. This feature of the design appears to be quite stupid since the tubes can be of no use, and if eliminated, would get around the limitation which I am about to describe. In a cyclotron, ions are accelerated during an appreciable range of phase angle of the electric field; and therefore, ions passing across the accelerating gap receive different energies depending upon the time they cross the gap. Therefore, instead of all following the same paths through the magnetic field, as one indicates in simple discussions of the cyclotron, they are smeared out and occupy all radial positions. If one were to limit their paths to fixed values as Dallenbach does with his tubes, the intensity of the emergent beam would be vanishingly small since only those ions which were accelerated in the very small interval of phase angle would have the proper trajectories. As I say, this is not a fundamental limit to the device, since the tubes and holds in the accelerating electrodes could be turned into a gap as is done in reasonably designed cyclotrons.

→ To summarize, I should say that with the electrical resonance circuit, which is indicated in the design, it should be perfectly possible to build a one to two hundred million electron volt cyclotron. However, the magnetic field design is completely crazy and would render the machine inoperative. If the Germans really want a high energy cyclotron, Bohr and Gentner are quite capable of designing it for them, ~~but~~ since they understand the criteria, which must be satisfied in order to make the machine work. I think we can take great comfort from the fact that Dallenbach has succeeded in selling someone on the idea that his device will work, since there is no question in my mind that if built according to the plans submitted to me, it will be completely useless.

*Luis W. Alvarez*  
L. W. Alvarez

LWA:hb

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

DECLASSIFIED  
Authority NND 917017

**SECRET**

Figure C.30: Luis W. Alvarez to Peer de Silva. 26 January 1945. SUBJECT: German Super-Cyclotron [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research-Res. Inst. & other Facilities (1943-Apr. 1945)]





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

SECRET

P. O. Box 1663  
Santa Fe, New Mexico

This document consists of 1 page  
No. 1 of 3 copies, series A

3 February 1945

Subject: Comments on Daellenbach.

To: Major Frank J. Smith, P. O. Box 2610, Washington, D. C.

1. The description of the super-cyclotron forwarded to us from Bern seems to me a perfectly lucid account of a feasible machine. There are details (circular channels for the beam, in homogeneous magnetic field) which sound unlikely to work to me, but they may have been introduced in the indirect transmission of the account. In any case, comparison of this description with the usual unclear and garbled ones we get of purported technical advances, convinces me that this is a genuine account of a large cyclotron built on somewhat novel lines which has been projected for construction by the enemy.

2. The town of Bisingen emerges again as the evacuation laboratory of the KWI, the so-called Forschungsstelle E. The present report is so credible that I am convinced that Bisingen is the place. Recall also the Hechingen references in the Strassbourg material. We have had PW information which contradicts the present source; it seems to me of high importance to establish by photo reconnaissance and other means, whether KWI has really moved to Bisingen.

3. As you say in your covering letter, it is not easy to see any war use for this undertaking; there appears to be no hint that the machine described is really connected with some isotope separation scheme. It may be possible to interpret this enemy activity as an expression of the convictions of top technical and managerial circles that nuclear physics developments can have an important bearing on the war, though they are not quite sure just how this will come about. This seems to be a cheerful sign. I can imagine the Manhattan District building a super-cyclotron, if requested to do so by some of the scientific personnel a couple of years ago, but certainly not in any such sophisticated stage as it has reached now.

*P. Morrison*  
P. Morrison

SECRET

Figure C.31: Philip Morrison to Francis J. Smith. 3 February 1945. Subject: Comments on Daellenbach [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research--Res. Inst. & other Facilities (1943--Apr. 1945)]



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

~~SECRET~~ THIS DOCUMENT CONSISTS OF 1 PAGE(S)  
NO. 1 OF 3 COPIES, SERIES H

**INTER-OFFICE MEMORANDUM**

TO: Major Peer de Silva DATE February 16, 1945

FROM: J. R. Oppenheimer

SUBJECT: German Super-Cyclotron

I concur with the technical comments of Dr. Alvarez on the subject of the super-cyclotron, and certainly if the machine were built as described it would encounter the difficulties which he anticipates. I believe, however, that some caution should be exercised in taking the description literally. All three of the evils which he enumerates could be eliminated by relatively trivial design changes, and the origin of the report would not seem to guarantee that these details were accurate.

I should like to make a more general comment. The United States Government has not regarded the development of a super-cyclotron as a war project and has assigned neither materials nor priority to it. There was no doubt about the soundness of the design of Dr. Lawrence's instrument and a good deal of work had already been done on it. Furthermore, this country has from the beginning been in a better position to undertake long range work than would appear likely in Germany. I believe that it should be emphasized that none of us know of any conceivable military development which would result from the construction of such a cyclotron, and it is appropriate to express surprise at its having had the support of the German government at a time of national crisis.

*J R Oppenheimer*

~~SECRET~~

DECLASSIFIED  
 Authority NND 917017

Figure C.32: J. Robert Oppenheimer to Peer de Silva. 16 February 1945. SUBJECT: German Super-Cyclotron [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 166, Folder 32.24-1 GERMANY: Research-Res. Inst. & other Facilities (1943-Apr. 1945)]

**Captured Personnel and Material Branch. 4 September 1944. Special Report 23 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-2 GERMANY: US Wartime Positive Int. (July–Oct. 44)]**

Estimate of veracity: Source is considered reliable, talks freely on all matters pertaining to Communication Engineering

Source has been in the German Army since 1928, when he first enlisted and became a Radio Operator. Since that time he was sent to the Technische Hochschule in Berlin on several occasions to study research work for the German Army. **He witnessed a very interesting experiment which impressed him very much during the latter part of 1937 and 1938.**

**The demonstration was performed at the Müggelsee near Berlin and the talk among Army Personnel attending indicated that Neutron Rays were to be employed. A small balloon was released from a boat on the lake which also housed the equipment and the operating personnel. When the rays struck the balloon several hundred feet in the air, it exploded. Source states that when the beam struck the balloon the Hydrogen gas was bombarded causing it to explode.**

The beams were then directed upon some old brick buildings. After a short period of waiting for the beam to do its work, it was turned off and the Army spectators were permitted to inspect the brick building. It was discovered that the bricks could be taken and crumbled by a light blow of a hammer. This they were told was brought about by the Neutron ray which was beamed on the building. Very deadly secondary rays are produced by such a beam, they were told, however, it required a tremendous amount of equipment to project such a beam and because of the strong secondary ray which sometimes destroyed the equipment itself, the Army officials decided it would be unwise to employ such equipment for combat.

They were also experimenting with Schumann Rays, which are shorter than Gamma Rays. The idea is to obtain certain gases, such as helium, krypton, and neon, by breaking down atoms. **Considerable difficulty is experienced in controlling these rays and on one experiment, source's best friend was killed due to the secondary effect.**

Helium is produced by this principle in a factory at Merseburg, near Halle. Facilities are not available to produce it in large quantities. Source never visited this place. He knew of this factory in 1938.

[See document photo on p. 3057.]

“Schumann Rays” appears to be a reference to Gerhard Schumann, a particle accelerator physicist known to have developed and tested high-energy accelerators during the war. This report seems to indicate that Schumann, Steenbeck, or other scientists were producing, projecting, and testing intense particle beams as potential weapons by 1937–1938.]



DECLASSIFIED  
Authority NND 917017

**SECRET**

Special Report 23

4 Sept 1944

Captured Personnel and Material Br.

Estimate of veracity: Source is considered reliable, talks freely on all matters pertaining to Communication Engineering

Source has been in the German Army since 1928, when he first enlisted and became a Radio Operator. Since that time he was send to the Technische Hochschule in Berlin on several occasions to study research work for the German Army. He witnessed a very interesting experiment which impressed him very much during the latter part of 1937 and 1938.

The demonstration was performed at the Müggelsee near Berlin and the talk among the Army Personnel attending indicated that Neutron Rays were to be employed. A small balloon was released from a boat on the lake which also housed the equipment and the operating personnel. When the rays struck the balloon several hundred feet in the air, it exploded. Source states that when the beam struck the balloon the Hydrogen gas was bombarded causing it to explode.

The beams were then directed upon some old brick buildings. After a short period of waiting for the beam to do its work, it was turned off and the Army spectators were permitted to inspect the brick building. It was discovered that the bricks could be taken and crumbled by a light blow of a hammer. This they were told was brought about by the Neutron ray which was beamed on the building. Very deadly secondary rays are produced by such a beam, they were told, however, it required a tremendous amount of equipment to project such a beam and because of the strong secondary ray which sometimes destroyed the equipment itself, the Army officials decided it would be unwise to employ such equipment for combat.

They were also experimenting with Schumann Rays, which are shorter than Gamma Rays. The idea is to obtain certain gases, such as helium, Krypton, and neon, by breaking down atoms. Considerable difficulty is experienced in controlling these rays and on one experiment, Sources best friend was killed due to the secondary effect.

Helium is produced by this principle in a factory at Merserburg, near Halle. Facilities are not available to produce it in large quantities. Source never visited this place. He knew of this factory in 1938.

NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-2  
GERMANY: US Wartime Positive Int. (July-October 1944)

**SECRET**

*file*

Figure C.33: Captured Personnel and Material Branch. 4 September 1944. Special Report 23 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-2 GERMANY: US Wartime Positive Int. (July-October 1944)].

**Captured Personnel and Material Branch. 1 November 1944. Report 1363. [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-3 GERMANY: US Wartime Positive Int. (Nov. 44–June 45)]**

[...] V. DEATH RAY:

A P/W who is a graduate engineer and an inventor with training in chemical metallurgy, gives the following account of a death ray experiment he witnessed at the Berlin Hagenuk (“Hanseatische Apparat Bau Gesellschaft Neufeld & Kuhnke”, cf. C.S.D.I.C. (UK) S.I.R. 1029) testing grounds at Tempelhof.

P/W was conducting some experiments there in February 1939. He had just completed experiments of his own when he noticed people assembling on the adjacent testing grounds which belonged to A.E.G. Siemensstadt, Berlin. He inquired regarding the nature of the experiment to take place and was told some form of ray would be displayed. He was permitted to view the experiments by a Dip. Ingenieur, an employee of the A.E.G., who was in charge and with whom P/W was friendly, they having attended the Technische Hochschule at Aachen together. P/W’s uncle, Eng. Sauer, Technical Director at the A.E.G. in Berlin, was also instrumental in his obtaining permission to view the experiments.

The generating apparatus was housed in a small brick building four meters square and three meters high. On one side of the building was a window one meter wide, and 50 cm. high. P/W was unable to look through this window as it was made of quartz glass and some form of metal was also distributed around the glass so as to prevent stray radiations.

At a distance of 200 meters from the side of the building that contained the quartz glass window was placed a small wooden crate with live guinea pigs in it. The spectators were first permitted to inspect the crate and the live creatures. Everyone was then requested to move back behind some white ropes so placed that they were safely protected, in a position even with the side of the building. A Dr. Schuetze then entered the small brick building and switched on the apparatus. No one was permitted to enter this building other than Dr. Schuetze, who remained inside the building as long as the apparatus was in operation. A humming noise could be heard similar to that made by a generator running at high speed. The ray was invisible. After about ten minutes, Dr. Schuetze turned the apparatus off and the spectators were then permitted to examine the box which contained the guinea pigs.

P/W inspected the guinea pigs closely. Not a sign of life was present. Even when a lighted match was held close to their noses, they showed no signs of life. Dr. Schuetze told P/W that the rays had destroyed the white corpuscles of the blood and had thus caused sudden death. P/W never again saw nor heard of any other such experiments. [...]

[See document photo on p. 3059.]

This is another report (from an apparently very knowledgeable and trustworthy source) that indicates scientists were producing, projecting, and testing intense particle beams as potential weapons by early 1939, before the war even started.]





NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-3  
 GERMANY: US Wartime Positive Int. (Nov. 44-June 45)

SECRET

1363 (P. 5)

ZNAIM - NEW STEYR BALL-BEARING FACTORY (Cont'd.):

located very easily by following the Vienna-Znaim RR line, which crosses the Thaya River on a high bridge, then crosses the highway. The factory has 9-12 tall chimneys. A small distillery, numbered 6 on attached sketch, has been converted to a gasoline refinery. Tank cars are filled through two 2-inch pipelines leading overhead from the refinery to the tracks beyond the highway.

III. BOEDRITZ (STETTIN) -- SYNTHETIC OIL PLANT:

On 26 June 1944, P/W left for Stettin, where he worked until 12 July cleaning up the damage from an air attack on the Boedritz plant. When he left, the refinery was once more in operation.

IV. THEINWALD NEAR LUNDENBURG -- UNDERGROUND AMMUNITION FACTORY:

The daughter of a friend of P/W worked on powder bags for shell cases (Kartuschen) in an underground factory in Theinwald built in 1943.

V. DEATH RAY:

A P/W who is a graduate engineer and an inventor with training in chemical metallurgy, gives the following account of a death ray experiment he witnessed at the Berlin Hagenuk ("Hansatische Apparat Bau Gesellschaft Neufeld & Kuhnke", cf. C.S.D.I.C. (UK) S.I.R. 1029) testing grounds at Tempelhof.

P/W was conducting some experiments there in February 1939. He had just completed experiments of his own when he noticed people assembling on the adjacent testing grounds which belonged to A.E.G. Siemensstadt, Berlin. He inquired regarding the nature of the experiment to take place and was told some form of ray would be displayed. He was permitted to view the experiments by a Dip. Ingenieur, an employee of the A.E.G., who was in charge and with whom P/W was friendly, they having attended the Technische Hochschule at Aachen together. P/W's uncle, Eng. Sauer, Technical Director at the A.E.G. in Berlin, was also instrumental in his obtaining permission to view the experiment.

The generating apparatus was housed in a small brick building four meters square and three meters high. On one side of the building was a window one meter wide, and 50 cm. high. P/W was unable to look through this window as it was made of quartz glass and some form of metal was also distributed around the glass so as to prevent stray radiations.

At a distance of 200 meters from the side of the building that contained the quartz glass window was placed a small wooden crate with live guinea pigs in it. The spectators were first permitted to inspect the crate and the live creatures. Everyone was then requested to move back behind some white ropes so placed that they were safely protected, in a position even with the side of the building. A Dr. Schuetze then entered the small brick building and switched on the apparatus. No one was permitted to enter this building other than Dr. Schuetze, who remained inside the building as long as the apparatus was in operation. A humming noise could be heard similar to that made by a generator running at high speed. The ray was invisible. After about ten minutes, Dr. Schuetze turned the apparatus off and the spectators were then permitted to examine the box which contained the guinea pigs.

SECRET

1363 (P. 6)

DEATH RAY (Cont'd.)

P/W inspected the guinea pigs closely. Not a sign of life was present. Even when a lighted match was held close to their noses, they showed no signs of life. Dr. Schuetze told P/W that the rays had destroyed the white corpuscles of the blood and had thus caused sudden death. P/W never again saw nor heard of any other such experiments.

Figure C.34: Captured Personnel and Material Branch. 1 November 1944. Report 1363 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 171, Folder 32.7003-3 GERMANY: US Wartime Positive Int. (Nov. 44-June 45)].

DECLASSIFIED

Authority NND 5415074

S E C R E T

PW INTELLIGENCE BULLETIN No 2/32

ANNEX J

11. Y-Stellungen (Continued)

KOENIGSBERG, nr STEINBECK (uses WUERZBURG and FREYA) - GSGS 4081/15/785575.

Nabenstellen. There are two Nebenstellen according to PW:

ARNSWALDE (uses WUERZBURG-RIESE) - GSGS 4081/54/260960.

PYRITZ (uses X-Gerät) - GSGS 4081/53/890990.

(Source: Uffz Rudolf MUELLER, 14 Para Regt)

12. Atom-Smashing Experiments

Preamble. PW is 18 years old and comes from LUDWIGSHAFEN. After 8 years of public school, he attended an electric trades school for 3 years, working at the same time as radio and electro-technical student at the IG FARBEEN plant in LUDWIGSHAFEN. At the end of this time PW was chosen "Reichssieger" as the result of his outstanding showing in the "Facharbeiterpruefung," a national examination for all technical students who have completed their training period. He was awarded a book on electricity, autographed by HITLER, and 8 semesters of tuition-free university study. In Nov 43 he went to HEIDELBERG, where he continued to work in the mornings for IG FARBEEN, at their plant in that city, studying afternoons and evenings at the university.

Working in the so-called Ausweichwerk II of IG FARBEEN as an electro-technician, PW's above-average skill aroused the interest of the chief engineer, as well as of other experts, and he was allowed to watch some highly secret experiments being conducted at the time. PW was used as an electrician on transformers and condensers, which were part of the experimental equipment.

In April 1944 PW left HEIDELBERG to put in his R&D time. After 3 months he returned to LUDWIGSHAFEN, worked for a short time at the IG FARBEEN plant there, and was then inducted into the Army, 27 July 44.

Experimental Station, IG FARBEEN, HEIDELBERG. The experiments discussed here were first conducted on a small scale in LUDWIGSHAFEN, and transferred in July 43 to the experimental station at HEIDELBERG, located at GSGS 4416/U3/695917. 100 workers, including 20 electricians, technicians, and engineers who worked daytimes only, were employed.

Security. Every two weeks a lecture was given by Ing RAITHEL impressing on all those working on the experiment the necessity of secrecy and the severity of punishment for security violations. Two electricians arrested appr 15 Dec 43 were never heard of again. It was rumored that they had talked and had been executed immediately.

The plant was enclosed by a three and a half m high wire fence charged with 1200 volts of electricity. Fifty police dogs roamed the area at night.

S E C R E T

- 13 -

NARA RG 165, Entry NM84-79, Box 1916,  
PW Intelligence Bulletin 2/32, 30 January 1945

DECLASSIFIED

Authority NND 5415074

S E C R E T

PW INTELLIGENCE BULLETIN No 2/32

12. Atom-Smashing Experiments (Continued)

New Location? On 12 Nov 44, some three and a half months after his induction, PW returned from SCHWETZINGEN to the Station. At that time PW went to the kitchen and spoke to some of his old friends, making a date for the following Sunday with an old girl friend from the office. Then he returned on 19 Nov the main guard at the gate told him that the station had moved. The girl did not appear for the date. PW doubts that the station could have been moved at such a short notice and has no explanation for the statement of the guard. PW noticed that the sidewalk around the first building was torn up and remembers the guard vaguely mentioned FREIBURG/Breisgau as a possible new location.

Experiments. The experiments involved a large, elaborate atom-smashing apparatus, the main features of which were four "Spruchpole" (positive) and one "Fangpol" (negative), each about 6 m high. Liberated protons were conveyed through a quartz tube to the Spruchpole from which they were "fired" at an object placed on a quartz plate up to 800 m distant. This resulted, according to PW, in the complete disintegration of the object.

The first two experiments of this kind which PW witnessed took place in Dec 43 and Jan 44. In one a 10 cm cube of steel (grade SPOCL2) was disintegrated within four-tenths of a second. The object in the second experiment was water, contained in a large quartz tube, tilted so that the "rays" would strike the largest possible surface. The water disappeared in two-tenths of a second.

The most spectacular experiment was conducted early April 1944, when some 75 rats were made to disappear in the same way. The experiment was photographed from the quartz-enclosed observation tower, and PW claims there was no trace of smoke or flame, nor did any ashes remain on the iron plate. His explanation of this apparent violation of the laws of physics is that the rats were somehow reduced to a gas, which was absorbed by the iron plate.

PW's Evaluation. PW doubts that the principle involved in the experiments described above could be adapted to military use in less than two years. The apparatus is extremely complicated and far too large and cumbersome to be moved readily. However, he concedes the possibility that during the eight months which have elapsed since he witnessed the experiments, further progress may have been made.

Personalities. The following men were connected with the experiments at HEIDELBERG:

FISCHER, Ewald	Ing
ETELFSEN	Dipl Ing
RAITHEL	Dipl Ing

(Source: ROB Karl SCHNETTLER, 352 Inf Div)

S E C R E T

- 14 -

NARA RG 165, Entry NM84-79, Box 1916,  
PW Intelligence Bulletin 2/32, 30 January 1945



THIS PAGE DECLASSIFIED IAW EO 13526

AFHRA folder 519.6501-2 1945

LIBRARY AD/1  
SECRET  
XXII-30 P/H 2630

SECRET  
- 1 -

6824 DTC (MIS) M.1075  
POLICY  
TARGETS 13 Mar 45  
AIR ROOM  
USGOC  
FLAK  
TECH. I.

Detailed Interrogation Report

ATOM - SMASHING LABORATORY

TABLE OF CONTENTS

I. SOURCE

II. PREAMBLE

III. ATOM-SMASHING LABORATORY

A. Location

B. Description

C. Experiments

D. Personalities

Appendix "A"

1. Ludwigshafen - underground atom-smashing laboratory of I.G. Farben - personalities

2. Atom Smashing Laboratory of I.G. Farben in Ludwigshafen and Frankfurt.

3. Frankfurt - atom Smashing Laboratory

4. Underground ~~SECRET~~ laboratory of I.G. Farben at Ludwigshafen

5. Personalities of K.W. & I.G. Farben atom Smashing Laboratory -

6. Kaiser Wilhelm Institut - Atom Smashing ~~W-Ben~~

(C)

P/H/Red.

M-1075  
usstaf  
(Rev)  
1 copy

Figure C.37: Detailed Interrogation Report 6824 DTC (MIS) M. 1075: Atom-Smashing Laboratory. 13 March 1945. [AFHRA folder 519.6501-2 1945; AFHRA A5730, frames 0488-0492]



THIS PAGE DECLASSIFIED IAW EO 13526

AFHRA folder 519.6501-2 1945

S E C R E T                      - 2 -                      6824 DIC (MIS)M.1075

DETAILED INTERROGATION REPORT

I. SOURCE

Name                    : SCHNETTLER, Karl  
 Rank                    : Unteroffizier  
 Unit                    : PANZER 33  
 Captured               : 1 Dec 44, DIEFFERTEN  
 Interrogation         : 6824 DIC (MIS), 2 Mar 45

II. PREAMBLE

An 18 year old technician from LUDWIGSHAFEN. At first, he confirmed his previous story, as given in Report 2/32 (see NOTE, below). He was then questioned as to his technical knowledge of electronics, and it was found that he could not answer even elementary questions on the subject. He then stated that his original story was false.

PW now states that he was never, for any length of time, associated with a German University, or TECHNISCHE HOCHSCHULE, and that he cannot give information concerning the University of HEIDELBERG.

Although it is believed that PW is telling the truth, it is felt that his information should not be given a high reliability rating.

The information contained in this Report has been obtained at this Hq with the assistance of the Technical Liaison Division Office of the Chief Signals Officer, ETO.

Reliability : C-5

(NOTE: This Report should be read in conjunction with Mobile Field Interrogation Unit No 2 PW Intelligence Bulletin No 2/32, dated 30 Jan 45. See para 12, entitled "Atom-Smashing Experiments").

III. ATOM-SMASHING LABORATORY

A. Location

Ref Map: GERMANY 1: 25,000 GSGS 4414  
 Sheet 6416, FRANKENTHAL, Revised Oct 44

Photo Ref: ACTU Interpretation Report K 3228, 2 Oct 44

5021 0050 PW stated that the experiments described in Report 2/32 (see NOTE, above) were carried out in an underground structure, located at MR, in the I.G.FARBEN Plant at LUDWIGSHAFEN.

In Sep 44, PW heard that the Experimental Station was to be moved to an unspecified location in either HEIDELBERG, or FREIBURG/Breisgau.

B. Description (See Appendix "A")

The laboratory consisted of a concrete underground shelter, approx 50 meters long, 25 meters wide, and 8 to 10 meters high. Concrete walls were between 75 cms and 1 meter thick. The shelter was entered at ground level, but was not visible from the air.

Figure C.38: Detailed Interrogation Report 6824 DTC (MIS) M. 1075: Atom-Smashing Laboratory. 13 March 1945. [AFHRA folder 519.6501-2 1945; AFHRA A5730, frames 0488-0492]



THIS PAGE DECLASSIFIED IAW EO 13526

AFHRA folder 519.6501-2 1945

S E C R E T

- 3 -

6824 DTC (MIS)M.1075

The floor, and a strip 4 or 5 meters wide, along the inside walls approx 2 meters above floor level, were covered with a 3 to 5-cm thick plastic layer know as IGELIT.

One end of the laboratory contained a recess housing 5 or 6 Electronic Tubes, referred to as F.INGPOLE and SPRUEHPOLE. These rested on special trolleys, and could be moved forward into the focusing area. The sides and rear of the tubes were shielded by a semi-circular quartz plate.

At the other end of the Laboratory was the Observation and Control Station, shielded in front and at the sides by a semi-circular, transparent quartz plate. This station contained electrical controls.

Opposite this station was a target stand, consisting of a 1.25 to 1.5-meter high column, surrounded by a 5-cm thick, approx 1.25-meter long and 1.25-meter wide quartz plate. A vacuum system (details unspecified) was incorporated in the target stand. All parts of the stand had been sprayed with the plastic IGELIT.

C. Experiments

PW could add little to the information in Report 2/32.

Experiment with Rats

In the experiment of Apr 44 (See Report 2/32), PW stated that, when the rats were bombarded by the rays, a phosphorescent glow was observed over their bodies, lasting about a fifth of a second. PW believed that the rats had been reduced to a gaseous Sodium (?), which had been drawn into the vacuum system of the test stand.

D. Personalities

The following men took part in the laboratory experiments:

1. KAISER WILHELM Institute

KALB, Diplom Ingenieur  
MEISSNER, Diplom Ingenieur  
FALKE, Diplom Ingenieur  
HLERINGER, Studienrat

2. I.G.FARBEN/Ludwigshafen

WENDT, Diplom Ingenieur  
RATHEL, Diplom Ingenieur  
EDLEFSEN, Ingenieur

WHG (Ed: ARP)

FOR THOMAS C. VAN CLEVE, LT COL  
Commanding 6824 DTC (MIS)

*Ivo V. Giannini*

IVO V GIANNINI  
Major, INF,  
Army Section

13 Mar 45

Figure C.39: Detailed Interrogation Report 6824 DTC (MIS) M. 1075: Atom-Smashing Laboratory. 13 March 1945. [AFHRA folder 519.6501-2 1945; AFHRA A5730, frames 0488-0492]



THIS PAGE DECLASSIFIED IAW EO 13526

AFHRA folder 519.6501-2 1945

S E C R E T

- 4 -

6824 DIC (MIS)M.1075

DISTRIBUTION

JICA, AFHQ.....4  
 SHAEP.....8  
 ETOUSA.....8  
 6 Army Group.....6  
 12 ArmyGroup.....8  
 21 ArmyGroup.....1  
 7 Army.....8  
 MU 500.....2  
 MI 14 (j).....3  
 MI 19.....3  
 MIRS.....2  
 G-2 (CI), AFHQ.....2  
 1st French Army.....1  
 CEM Washington D.C.....2  
 PW &X Det, U.K.....1  
 U.S.Group C.C.....3  
 HQ FID.....3  
 C.S.S.....3  
 P.W.D.....3  
 Sigs Off Wasington D.C.....6  
 T.L.Div Sigs Off Com Z.....8  
 File.....7

Figure C.40: Detailed Interrogation Report 6824 DTC (MIS) M. 1075: Atom-Smashing Laboratory. 13 March 1945. [AFHRA folder 519.6501-2 1945; AFHRA A5730, frames 0488-0492]



THIS PAGE DECLASSIFIED IAW EO 13526

AFHRA folder 519.6501-2 1945

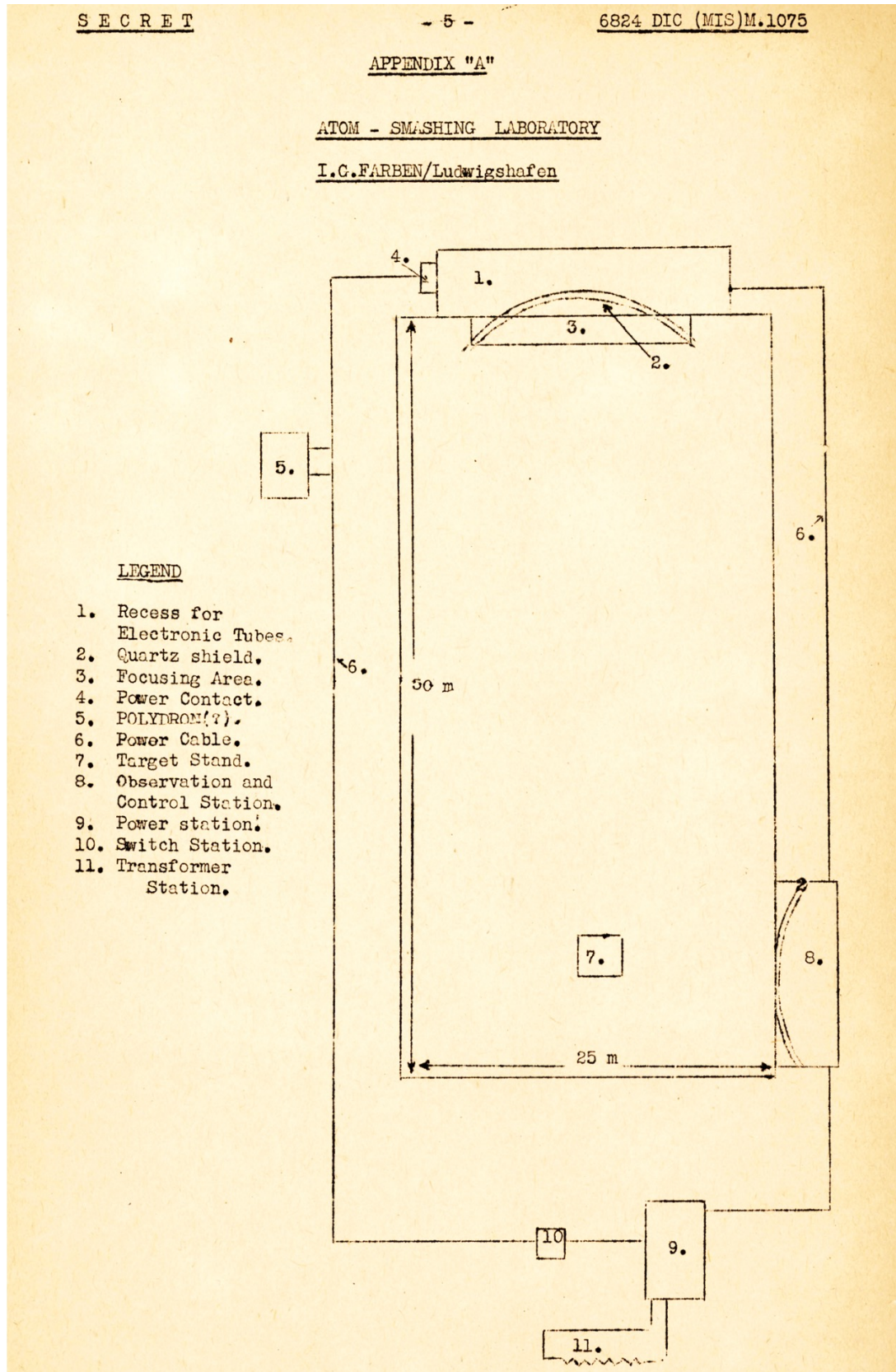


Figure C.41: Detailed Interrogation Report 6824 DTC (MIS) M. 1075: Atom-Smashing Laboratory. 13 March 1945. [AFHRA folder 519.6501-2 1945; AFHRA A5730, frames 0488-0492]

**PW Intelligence Bulletin 2/32. Atom-Smashing Experiments. 30 January 1945. [NARA RG 165, Entry NM84-79, Box 1916]**

The first two experiments of this kind which PW [German prisoner of war] witnessed took place in Dec 43 and Jan 44. In one, a 10 cm cube of steel (grade ST0012) was disintegrated within four-tenths of a second. The object in the second experiment was water, contained in a large quartz tube, tilted so that the “rays” would strike the largest possible surface. The water disappeared in two-tenths of a second.

The most spectacular experiment was conducted early April 1944, when some 75 rats were made to disappear in the same way. The experiment was photographed from the quartz-enclosed observation tower, and PW claims there was no trace of smoke or flame, nor did any ashes remain on the iron plate. His explanation of this apparent violation of the laws of physics is that the rats were somehow reduced to a gas, which was absorbed by the iron plate.

[See document photos on pp. 3060–3061.]

**Detailed Interrogation Report 6824 DTC (MIS) M. 1075: Atom-Smashing Laboratory. 13 March 1945. [AFHRA folder 519.6501-2 1945; AFHRA A5730, frames 0488–0492]**

In the experiment of Apr 44 (See Report 2/32), PW stated that, when the rats were bombarded by the rays, a phosphorescent glow was observed over their bodies, lasting about a fifth of a second. PW believed that the rats had been reduced to a gaseous [form], which had been driven into the vacuum system of the test stand.

[See document photos on pp. 3062–3066.]

[This seems to be a later report of the testing of intense particle beams as potential weapons, describing experiments from December 1943 through April 44. If the description of the effects was accurate, the results were quite impressive, and the technology had clearly advanced a great deal since the 1937–1939 experiments described in the previous reports. Even so, such a particle beam weapon would have required a huge power source, which would have made it impractical for most military applications during the war, and may explain why it was never deployed.

Judging from several reports discovered in Walther Gerlach’s files by the U.S. Alsos Mission, in 1944 there were a number of very active projects aimed at developing and testing weapons based on particle accelerators that produced high-energy beams of electrons, ions, and/or X-rays [NARA RG 319 Entry NM3-82A, Box 6, Folder ALSOS G-20]. Gerlach was closely tied to the physics community, the Reich Research Council, and the SS, and he appears to have been appointed the chief scientific official responsible for funding and evaluating all or at least many of the particle beam weapon projects. Please see the following pages for a few examples from these reports.]

NARA RG 242, Copies of Research Materials on the Role of the German Air Force in World War II, Microfilm 15, Frame 305. <https://catalog.archives.gov/id/316278533?objectPage=465>

*Beilage  
zu Prot. Sitzung  
6. Mai 1944  
v. g. H. Gerlach*

Der Vorsitzende  
des Kuratoriums der Forschungsstelle  
der Luftwaffe Großostheim  
Professor Dr. Walther Gerlach

München 22, den 25.8.1944  
Ludwigstr. 17

Geheime Kommandosache

Br.Nr. 1123 Gkdos. Ge/Gud.  
18 Ausfertigungen  
1. Ausfertigung

- 1. Dies ist ein Staatsgeheimnis im Sinne des § 20 StGB
- 2. Nur von Mensch zu Mensch oder an bestimmte Personen in bestimmter Angelegenheit gegen Abgabe eines Versprechens mitzuteilen
- 3. Beförderung ist nur durch Kurier oder durch Post in geschlossener Packung mit einem Wert von nicht mehr als 1.000 RM.
- 4. Verweigerung gegen jeder Art sowie Verletzung von Ausföhrungen verboten.
- 5. Aufbewahrung unter Verantwortung des Empfängers im Panzerschrank mit Schlüssel, welcher im Stahlblech mit Kunstleder überzogen ist.
- 6. Verstoß gegen diese Bestimmungen ist strafbar.

N i e d e r s c h r i f t

über die Sitzung des Kuratoriums am 6. Mai 1944  
in Berlin und über die Sitzung eines Ausschusses  
des Kuratoriums am 15. August 1944 in Ainring.

I.) Sitzung 6. Mai 1944.

Der Vorsitzende begrüßt die Mitglieder des Kuratoriums  
die Herren Egerer, Esau, Fennel, Geist, Georgii,  
Heisenberg, Heuser, Hollnack, v. Loß-  
berg, Seifert, Tams

und als Gäste die Herren Kulenkampff, Schiebold, Schumann (RMfRuK),  
Spengler, Rößler, Wideröe

- 1. Die Diskussion des Vorschlags von Prof. Schiebold, Röntgenleistungen bis zu 100 (oder mehr) Röntgen pro sec. in Abständen bis zu 10 km von der Röhre unter Verwendung einer Röhre mit einer besonderen Großflächenanode zu erzeugen, deren Verwirklichung eine Hauptaufgabe der Forschungsstelle der Luftwaffe Großostheim sein sollte, führte noch nicht zu einer endgültigen Klärung der Realisierbarkeit. Nach einer Abhandlung von Prof. Kulenkampff, Jena, über das Verhalten von 10 bis 100 Mill. Volt - Röntgenstrahlen errechnet sich eine aufzuwendende Leistung in der Röhre von der Größenordnung  $10^5$  bis  $10^7$  KW, um in 1 bis 2 km Entfernung 10 r/sec zu erreichen, was für lange Zeit technisch nicht erreichbar ist. Dazu fehlen sämtliche Unterlagen für die Erzeugung der Spannung, der Leistung und den Bau der Röhre.

Dieses Ergebnis steht in starkem Widerspruch zu den von Prof. Schiebold vorgetragenen Rechnungen. Da ein Versuch, die Diskrepanz durch Aussprache in der Sitzung zu klären, scheiterte, wurde festgesetzt: Die Herren Schiebold und Kulenkampff tauschen ihre Ansichten schriftlich aus; sollte eine einheitliche Auffassung beider Herren nicht zustande kommen, so wird der Vorsitzende eine Sachbesprechung zwischen beiden Herren und einigen wenigen Mitgliedern des Kuratoriums abhalten. Es wird angenommen, daß dieses in 3 Wochen der Fall sein kann.

Figure C.42: Notes from 1944 meetings of Walther Gerlach with Ernst Schiebold, Helmut Kulenkampff, Rolf Wideröe, Gerhard Schumann, and others involved in the development of particle beam weapons. [NARA RG 242, Copies of Research Materials on the Role of the German Air Force in World War II, Microfilm 15, Frames 305-310. <https://catalog.archives.gov/id/316278533?objectPage=465>]

- 2 -

2. Die 1200 KV-Anlage wird nicht in Großostheim aufgestellt, da von einer Untersuchung von Kathoden- und Röntgenstrahlen in diesem Spannungsgebiet keine grundsätzlich neuen Erkenntnisse erwartet werden können. Es wird vorgeschlagen, diese Anlage einem anderen Forscher z.B. Prof. Gehrtsen zur Durchführung atomphysikalischer Untersuchungen zur Verfügung zu stellen. Die Forschungsführung veranlasst das Weitere.
3. Da der für die 1200 KV-Anlage vorgesehene Bau in Großostheim auch für die 2000 KV-Anlage ausreicht, wird letztere, zurzeit in Hamburg lagernde Anlage dorten aufgestellt. Sie soll zur Erzeugung von Neutronen und Herstellung radioaktiver Indikatoren benutzt werden, da zur Durchführung bedeutungsvoller technischer und medizinischer Forschungsarbeiten eine Vermehrung der in Deutschland vorhandenen Aktivierungsanlagen dringend erforderlich ist.

-----

## II.) Sitzung am 15. August 1944.

Der Vorsitzende gibt zunächst einen Überblick über die Vorgänge während der 3 Monate seit der letzten Sitzung, welche zu der Verzögerung der Einberufung dieser Sitzung geführt haben. Prof. Schiebold hatte entgegen der Verabredung in der Kuratoriumssitzung nicht seine damals gemachten Mitteilungen schriftlich festgelegt, sondern auf mehrfaches Bitten hin erst am 14. Juli eine umfangreiche Denkschrift eingereicht. Am 17. Juli gab Prof. Kulenkampff eine Erwiderung, am 29. Juli Schiebold eine Ergänzung und Entgegnung.

Die umfangreiche Denkschrift Schiebolds wird von diesem an mehreren Stellen als noch nicht endgültig bezeichnet, da er glaubt, noch eine ganze Reihe von Problemen weiter theoretisch bearbeiten zu müssen. Er erwartet hiervon entscheidende Ergebnisse für die Beurteilung der Realisierbarkeit des Projektes.

Nach Ansicht des Vorsitzenden genügten jedoch die von Schiebold und Kulenkampff gegebenen Rechnungen und abschätzenden Überlegungen, um die Frage der Größenordnung der erforderlichen Röhrenleistung mit solcher Sicherheit anzugeben, daß die Zweckmäßigkeit der weiteren Behandlung des Projektes und die Frage seiner militärischen Verwendbarkeit entschieden werden können.

Der Vorsitzende hatte daher eingeladen die Herren: Georgii, Geist, Heisenberg, Kulenkampff, v. Loßberg, Schiebold, Seifert. Oberst Geist hatte als Vertreter Herrn Schumann geschickt, Prof. Heisenberg war verhindert. Dr. Spengler war als Gast anwesend.

-3-

601



Die Besprechung betraf 3 Hauptpunkte.

## 1.) Welche Dosis und welche Dosisleistung ist erforderlich?

Die in den verschiedenen Berichten von Schiebold gegebenen Zahlen schwanken zwischen 5 und 600 R/sec für die Leistung und 800 R bis 3000 R für die Energie zur Erzielung von Hautschäden. Eine Unsicherheit in der Umrechnung von Energie auf Leistung liegt nach Schiebold in dem unbekanntem Zeitgesetz. Es wird festgestellt, daß genaue Unterlagen für Schädigung des Menschen bei Gesamtbestrahlung überhaupt nicht vorhanden sind. Es herrscht Einmütigkeit darüber, daß für die folgende Betrachtung eine Größenordnung von 600 R während einer Bestrahlungszeit von 30 sec, also 20 R pro sec als wahrscheinlich richtig für eine sichere spontane Dauerschädigung zu Grunde gelegt werden soll.

(Nachträgliche Bemerkung des Vorsitzenden: Gesetzt den Fall, daß die Schieboldsche Idee ausführbar und eine starke Schädigung eines Fliegers erzielt wäre, so würde der Feind nach ganz kurzer Zeit die Art der Abwehrwaffe erkannt haben. Es dürften sich dann Mittel finden, den Flieger im Flugzeug recht weitgehend zu schützen.)

## 2.) Nach Seite 21 der Schieboldschen Denkschrift vom 14. Juli 44 soll eine Großflächenanode ein quantitativ anderes Abstandsgesetz für die Ausbreitung der Röntgenstrahlen liefern als eine punktförmige Anode, insbesondere soll nach Seite 5 in kleineren Abständen die Intensität größer sein als nach dem einfachen quadratischen Abstandsgesetz berechnet wird.

Zunächst wird festgestellt, daß das quadratische Abstandsgesetz immer einen idealen Grenzfall darstellt. Prof. Schiebold erklärt, daß ihm dieses bisher nicht bekannt war.

Die anwesenden Physiker stellen fest, daß die punktförmige Anode unter allen Umständen und in allen Entfernungen am günstigsten ist. Dieses folgt auch aus einer richtigen Auswertung der von Schiebold benutzten Formeln.

Die Frage der Großflächenanode betrifft lediglich das Problem der Unterbringung der erforderlichen Leistung in der Röhre. Für alle Rechnungen über die erreichbaren Strahlenleistungen kann also die punktförmige Anode zu Grunde gelegt werden, umso mehr als in den beabsichtigten Wirkungsentfernungen ( $R$  größer als  $r/\sin \alpha$ ,  $r$  = Radius der Anode,  $\alpha$  = Emissionswinkelbereich) der Unterschied zwischen kleiner und großer Anode bis auf minimale Bruchteile eines Prozent verschwindet. Nur in kleinen Abständen liefert die Großflächenanode ganz wesentlich weniger als die punktförmige. (Gerechnet auf gleiche Leistung) Hieran wird auch durch andere Vorschläge Schiebolds, z.B. gekrümmte Anode, gar nichts geändert. Prof. Schiebold schließt sich diesen Feststellungen nicht vollinhaltlich an.

Prof. Schiebold weist auf verschiedene Effekte hin, welche nach seiner Ansicht wesentlich günstigere Ergebnisse erwarten lassen, als aus den Rechnungen von Kulenkampff zu folgern ist; z.B. daß der Nutzeffekt einer großen Anode besser sein könne oder dass die Beachtung der spektralen Verteilung und ihrer



Änderung längst des fortschreitenden Strahles höhere Leistungen bringen kann oder dass die Streustrahlung im Flugzeug die Leistung am Orte der gewünschten Wirkung erhöhe. Auf die Bitte diese Ansicht näher zu begründen, antwortet Prof. Schiebold, daß er jetzt hierzu keine Stellung nehmen könne. Der Vorsitzende spricht sein Befremden darüber aus, daß über ein Jahr nach der Bekanntgabe der Idee von Prof. Schiebold noch grundlegende Fragen für die Beurteilung, ob die Idee vernünftig ist oder nicht, noch immer nicht bearbeitet sind; nach seiner Ansicht hätten diese Fragen vor einer Bekanntgabe überlegt werden müssen, zumal Prof. Schiebold jetzt ihnen entscheidende Bedeutung beimißt, nachdem seine ursprüngliche Begründung (Abstandsgesetz der Grossflächenanode) weggefallen ist. Eine Idee, wie die Änderung des Nutzeffektes bei geänderter Größe der Anode, entbehrt so sehr jeglicher Grundlage, daß eine Besprechung derselben abgelehnt wird.

Prof. Georgii weist scharf zurück, daß in jeder neuen Besprechung von Prof. Schiebold neue Ideen ohne theoretische oder zahlenmäßige Begründung vorgebracht werden; durch eine solche Behandlung würde jede abschließende Überlegung unmöglich gemacht.

Prof. Kulenkampff zeigt überschlagsmäßig, daß die Berücksichtigung der neuen Vorschläge von Schiebold (spektrale Verteilung und hieraus zu ziehende Folgerungen) an der Größenordnung der berechneten Effekte nichts ändert, dass vielmehr für die meisten Effekte schon der günstigste Fall gerechnet ist.

3.) Frage der Herstellung der erforderlichen Energien und Leistungen.

Als erforderliche Leistung wird angegeben:

Schiebold: für 25 000.000 Volt und Großflächenanode mit 2 m Durchmesser bei spezifischer Belastung derselben bei 100 Watt/cm<sup>2</sup> werden gefordert 314.000 KW zur Erreichung von 850 R/sec in 1 km Entfernung. Die richtige Umrechnung auf die Entfernung von 5 km liefert bei dieser Leistung in der Röhre eine Strahlungsleistung von 0,11 R/sec. (In dem Schieboldschen Bericht steht 1,1 R/sec. offensichtlich ein Schreibfehler.)

Kulenkampff: Für 25.000.000 Volt, unabhängig von der Art der Anode und dem Bau der Röhre werden gefordert zur Erzielung einer Strahlungsleistung von 10 R/sec in

1 km Entfernung	230.000 KW
2 km "	11.000.000 KW
3 km "	etwa 52.000.000 KW

Figure C.45: Notes from 1944 meetings of Walther Gerlach with Ernst Schiebold, Helmut Kulenkampff, Rolf Wideröe, Gerhard Schumann, and others involved in the development of particle beam weapons. [NARA RG 242, Copies of Research Materials on the Role of the German Air Force in World War II, Microfilm 15, Frames 305-310. <https://catalog.archives.gov/id/316278533?objectPage=465>]

- 5 -

NARA RG 242, Copies of Research Materials on the Role of the German Air Force in World War II, Microfilm 15, Frame 309. <https://catalog.archives.gov/id/316278533?objectPage=465>

Trotz langer Diskussion wird eine endgültige Einigung über die zahlenmäßige Rechnung nicht erreicht. Der Vorsitzende stellt fest, daß an der geforderten Größenordnung von 1 000 000 KW nicht zu zweifeln ist. Es sind also die Fragen aufzuwerfen, ob eine solche Leistung auch während kleiner Zeiten (Größenordnung 1 Minute) zur Verfügung steht und in einer Röhre untergebracht werden kann. Als Spannung wird 25.000.000 Volt angenommen. Weitere Fragen betreffen die für einen militärischen Einsatz erforderliche Zahl von Stationen und die Zahl der ganz kurzzeitig hintereinander erforderlichen Bestrahlungen einer Dauer der oben genannten Größenordnung.

Prof. Kulenkampff weist noch einmal nachdrücklich daraufhin, daß für die von Oberst v. Loßberg geforderten Wirkungsentfernungen bis zu 10 km, mindestens aber 6 bis 8 km die erforderlichen Leistungen von einer ganz anderen Größenordnung sind. (Weit über 100.000.000 KW bei 25.000.000 Volt).

Nach einiger Diskussion wurde darauf verzichtet, genau festzustellen, welche Angaben dem Chef der Technischen Luftrüstung, Oberst Diesing (RLA), gemacht wurden. Prof. Schiebold weist auf eine Angabe seines 1. Gutachtens hin, daß für Wirkungen von 1 bis 2 km bei 2.000.000 Volt 100.000 KW erforderlich seien. Dies ändert aber nichts daran, daß die von dem Vorsitzenden zur Diskussion vorgeschlagene Größenordnung von 1.000.000 KW die Grundlage für die jetzige Diskussion sein muss.

Die Diskussion ergibt mit aller Klarheit, daß weder die Herstellung der Spannungen, der geforderten Leistung, noch die Herstellung einer Röhre in Betracht gezogen werden kann, da sämtliche technischen Unterlagen hierfür fehlen und da aus Bekanntem nur gefolgert werden kann, daß solche Leistungen bei solchen Spannungen und der Bau von Röhren mit der erforderlichen Wärmeabfuhr für lange Zeit unerreichtbar sein werden. An diesem Urteil hat sich seit den <sup>ersten</sup> Vorschlägen von Prof. Schiebold nichts geändert. Es wird ausdrücklich festgestellt, daß auch kein Weg gesehen wird, auf welchem experimentell eine gewisse Annäherung an das Ziel erreicht werden kann.

Eine Prüfung, ob die Gesetze, mit welchen Prof. Kulenkampff rechnet, in dem beabsichtigten Spannungsbereich richtig sind, wird mit der Entwicklung der Elektronenschleudern einsetzen. Prof. Kulenkampff weist aber darauf hin, daß die von ihm benutzten Gesetze sämtlich aus der schon mehrere Jahre vorliegenden physikalischen Literatur stammen und dass nicht eigene Ideen von ihm verwendet wurden.

-----

Der Vorsitzende stellt abschließend fest, daß:

- 1.) kein physikalischer Effekt ersichtlich ist, welcher die bei richtiger Diskussion übereinstimmenden Rechnungen von Schiebold und Kulenkampff größenordnungsmäßig ändert;

604 -6-

Figure C.46: Notes from 1944 meetings of Walther Gerlach with Ernst Schiebold, Helmut Kulenkampff, Rolf Wideröe, Gerhard Schumann, and others involved in the development of particle beam weapons. [NARA RG 242, Copies of Research Materials on the Role of the German Air Force in World War II, Microfilm 15, Frames 305-310. <https://catalog.archives.gov/id/316278533?objectPage=465>]

- 6 -

- 2.) keine Aussicht besteht, den Plan von Prof. Schiebold für militärische Zwecke der Luftfahrt nutzbar zu machen;
- 3.) auch für militärische Anwendungen auf kurze Entfernungen (Größenordnung einige 100 m) apparative Aufwendungen erforderlich sind, für welche heute technische Unterlagen noch nicht vorliegen.

*Wunderlich.*

Verteiler:

- 1) Herrn Generalfeldmarschall *M i l c h*  
Generalinspekteur der Luftwaffe, RLM, Berlin.
- 2) An die Herren Mitglieder des Kuratoriums der  
Forschungsstelle der Lw Großostheim.
- 3) An den Chef der Technischen Luftrüstung  
Herrn Oberst *D i e s i n g*, RLM, Berlin.
- 4) An den Reichsforschungsrat  
z.Hd. d. Leiters des Geschäftsführenden Beirats des RFR  
Herrn Ministerialdirektor Prof. Dr. *M e n t z e l*, Bln.
- 5) An die Forschungsführung des RdL und Ob.d.L.  
z.Hd.v. Herrn Prof. Dr. *Georgii*, Berlin.
- 6) An den wissenschaftlichen Leiter der Forschungsstelle  
Großostheim Herrn Prof. Dr. *E. S c h i e b o l d*,  
Leipzig.

605

Figure C.47: Notes from 1944 meetings of Walther Gerlach with Ernst Schiebold, Helmut Kulenkampff, Rolf Wideröe, Gerhard Schumann, and others involved in the development of particle beam weapons. [NARA RG 242, Copies of Research Materials on the Role of the German Air Force in World War II, Microfilm 15, Frames 305-310. <https://catalog.archives.gov/id/316278533?objectPage=465>]



DECLASSIFIED  
Authority ND 755001

NARA RG 319 Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder ALSOS G-20

*Anlage 7*

Kurzer Bericht über die Arbeiten, welche vom Unterzeichneten und seinen Mitarbeitern im Institut für röntgenologische Roh- und Werkstoffforschung im Rahmen des Forschungsauftrages DE 6224/0109/43 seit 20. April 1943 durchgeführt wurden.

1. Ausarbeitung der Grundlagen des Projektes für die Besprechung mit dem Herrn Generalfeldmarschall am 20.4.43.
2. Verschiedene Denkschriften und Berichte an GL/St mit Einzelheiten meiner Planung und Vorschläge für die Durchführung.
3. Mitarbeit bei den technischen und organisatorischen Vorarbeiten über die Auswahl des Platzes und der Einrichtung der Versuchsstelle Groß Ostheim.
4. Exposé über die Bedeutung des Wideröseschen Strahlentransformators für die vorliegenden Pläne und maßgebende Beteiligung an Verhandlungen mit Herrn Dr. Wideröe.
5. Ausarbeitung der Pläne betr. Auf- und Ausbau der großen Halle in Gr. Ostheim, gemeinsam mit dem Büro Prof. Tamms (Arch. Sander) und den zuständigen Herren vom Luftgau XII.
6. Aufstellung der Pläne für Installation, Telefonanlage usw. für die zunächst vorgesehenen Laboratoriumsbaracken und den Ausbau der Unterkunftsräume.
7. Versuch zur Einrichtung wissenschaftlicher Arbeitsräume nebst Feinmechanikerwerkstatt, zunächst mit dem Inventar des Instituts für röntgenologische Roh- und Werkstoffforschung zum Zwecke der Vornahme dringlicher Vorversuche. Diese Einrichtungen wurden auf Veranlassung der Forschungsführung inzwischen wieder aus Ostheim entfernt.
8. Schulung der aus der Truppe herausgezogenen wissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Mitarbeiter.
9. Zusammenstellung der für die Arbeiten wichtigen Literatur und Ausarbeitung eines zusammenfassenden kritischen Berichtes über die bisherigen Ergebnisse auch auf dem Gebiete der Physik durchdringen der Röntgen- und Gammastrahlen, sowie Elektronen.
10. Aufstellung von Inventarlisten und Geräten für die erste Einrichtung von Laboratorien und Werkstätten.
11. Beschaffung der 1,2 Mill. Voltanlage vom Hamburger Staat.
12. Bestellung einer 2,2 MV-Röntgenanlage bei der Fa. C.H.F. Müller in Hamburg.
13. Entwicklungsauftrag an die Firma C.H.F. Müller-Hamburg über einen 15 MV-Strahlentransformator Bauart Wideröe..
14. Beschaffung von Laboratoriumsbedarf und Geräten aus Beutestellen der Luftwaffe.
15. Wissenschaftliche Arbeit theoretischer Natur über die Ausbreitung und Schwächung harter Röntgenstrahlen in Luft variabler Zusammensetzung, Dichte und Temperatur für verschieden hohe Primärenergien.
16. Projektierung einer Großenodenröntgenröhre nach eigenen Vorschlägen.
17. Projektierung einer Anlage zur Erzeugung hoher Spannung und großer Stromstärke nach dem Kaskadenprinzip auf Grund eines eigenen DRP.

Leipzig, den 4. Mai 1944.

*E. Schiebold*  
Prof. Dr. E. Schiebold.

Figure C.48: Page from a 4 May 1944 progress report from Ernst Schiebold to Walther Gerlach on the development of particle beam weapons [NARA RG 319 Entry NM3-82A, Box 6, Folder ALSOS G-20].



DECLASSIFIED  
Authority NM 755001

### Ausbreitung eines Elektronenstrahls in Luft

1. Reichweite R. Der Energieverlust der Elektronen setzt sich zusammen aus dem Energieverlust durch Ionisationsprozesse = J und durch Bremsstrahlungserzeugung = S:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dU}{dx} = J + S .$$

Man kann hieraus eine Reichweite R auf zweierlei Weise definieren:

a) Meist wird eine mittlere Reichweite  $R_0$  angegeben, die aus der Summe der Energieverluste  $J + S$  unter der Annahme bestimmt wird, dass diese Energieabnahme für jedes Elektron des Strahles gleichmässig längs der Bahn erfolgt. Wie in meinem Bericht über die Bremsstrahlung energiereicher Elektronen angegeben ist (Seite 6), erhält man so

$$R_0 = \frac{R}{Z} \cdot \ln\left(1 + \frac{U}{R}\right) \quad \text{mit } R = U \cdot \frac{Z}{S} \quad (1)$$

Zahlenmässig ist für Luft (Dichte  $\rho = 0,00129$ )

$$k = 11,0 \cdot 10^7 \quad (U \text{ in eVolt})$$

$$J = 2,3 \cdot 10^3 \text{ bis } 3,1 \cdot 10^3 \text{ eVolt/cm, langsam steigend im Energiebereich } U = 5 \cdot 10^6 \text{ bis } 100 \cdot 10^6 \text{ eVolt}$$

Damit ergeben sich die Werte in der zweiten Reihe der folgenden Tabelle 1.

Tabelle 1. Mittlere Reichweite  $R_0$  und maximale Reichweite  $R_{\max}$  von Elektronen in Luft

Energie U	10	20	30	50	75	100	200 $\cdot 10^6$ eVolt
$R_0$	42	72	100	150	200	240	370 m
$R_{\max}$	43	79	113	180	260	335	650 m

b) Für den vorliegenden Zweck scheint es mir aber richtiger zu sein, zunächst nur den Energieverlust durch Ionisation J zu berücksichtigen, weil der Energieverlust durch Bremsstrahlungs-Erzeugung S in einem leichten Element und bei nicht allzu grossen Energien keine sehr grosse Rolle spielt, vor allem aber wegen des Umstandes, dass der Energieverlust S nicht

NARA RG 319 Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder ALSOS G-20

Figure C.49: Page from a 27 June 1944 progress report from Helmut Kulenkampff to Walther Gerlach on the development of particle beam weapons [NARA RG 319 Entry NM3-82A, Box 6, Folder ALSOS G-20].



DECLASSIFIED  
Authority NND 755001

Geheim

Erforderliche Primärleistung (in Millionen kWatt) für eine Dosisleistung von 10 r/sec in verschiedenen Entfernungen R bei einer Elektronenenergie  $U = 25$  MeV.

a) Konstante Luftdichte

$\mu$	R =	1	2	3	5 km	
$2,6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$		0,22	11	320	150 000	$\cdot 10^6$ kW
$2,0 \cdot 10^{-5}$ "		0,16	4,2	70	10 000	" "
Mittel		0,20	8,0	100	~ 25 000	" "

b) Abnehmende Luftdichte

$\mu$	R =	1	2	3	5 km	
$2,6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$		0,18	5,8	70	6 000	$\cdot 10^6$ kW
$2,0 \cdot 10^{-5}$ "		0,14	2,3	30	2 200	" "
Mittel		0,16	4,0	45	~ 3 500	" "

Gena, 16. 8. 1944

H. Kulenkampf.

NARA RG 319 Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder ALSOS G-20

Figure C.50: Page from a 16 August 1944 progress report from Helmuth Kulenkampf to Walther Gerlach on the development of particle beam weapons [NARA RG 319 Entry NM3-82A, Box 6, Folder ALSOS G-20].



DECLASSIFIED  
Authority ND 755001

Anlage zu TA/E-Nr. 1567/44gkdos vom 26.9.44  
1356

Geheime Kommandosache 1

B e r i c h t

Anlage zu Ob.-Nr. 49/44gkdos

über  
die Arbeiten mit dem Strahlentransformator bis 15.9.1944  
(1. Zwischenbericht).

- 1) Nach Fertigstellung des ersten 15 MV Transformators und einer für etwa 30 KV geeigneten Elektronenspritze könnten die ersten experimentellen Untersuchungen etwa Mitte Juli beginnen. Die Elektronen wurden damals nach meinem Vorschlag von außen eingeschossen und eine richtige Strahlführung mittels elektrostatischer Felder sowie durch Schwenkung der gesamten Elektronenspritze erreicht. Unser Arbeitsprogramm war daher das folgende:
  - a) Untersuchung über das Einführen der Elektronen.
  - b) Erhöhung der mittleren Strahlleistung mittels einer magnetischen Linsenwicklung.

Nach einigen Vorversuchen gelang es, die Elektronen etwa 1 - 2 mal in der Beschleunigungsröhre herumzuführen, wenn der Magnet mit Gleichstrom magnetisiert wurde. Der Transformator wurde dann mit Wechselstrom erregt und die Suche nach harten Röntgenstrahlen mit Hilfe eines Röntgenstrahlmeßgerätes (Zählrohr aus Plexiglas nach Troost mit einer Empfindlichkeit von etwa  $10^{-6}$  r/sec) begonnen. Gleich im Anfang wurde dabei eine Strahlung festgestellt, die, obwohl sie nicht von der Antikathode ausging, doch anscheinend die Eigenschaften der gesuchten harten Strahlung besaß (ziemlich scharf begrenztes Bündel). Als wir nähere Untersuchungen machen wollten, brannte leider die Glühkathode der Elektronenspitze durch. Als diese, sowie auch einige weitere technische Störungen, beseitigt waren, zeigte sich sofort, daß die Strahlung, entgegen unserer ersten Annahme, von den 30 KV Elektronen der Elektronenspritze herrührten.

Obwohl das Einschußverfahren durch Änderungen der Ablenkplatten usw. noch günstiger gestaltet werden konnte, wurden in den folgenden Tagen keine harten Röntgenstrahlen festgestellt. Aus diesem Grunde wurde am 7. August das folgende neue Arbeitsprogramm festgelegt.

- a) Um die richtige Ausbildung der magnetischen Felder zu untersuchen, soll sofort eine Elektronenspritze nach Kerst eingebaut werden (eine entsprechende Glasröhre war schon im Mai von Herrn Kuntke bestellt worden).
- b) Die Nachweismethode der Strahlen sollte empfindlicher gemacht werden, sodaß einzelne Quanten noch beobachtet werden könnten.
- c) In der Zwischenzeit wollte Dr. Kollath die bisherigen Einschußverhältnisse noch genauer untersuchen.

Die letztgenannte Untersuchung ergab, daß man durch eine verbesserte Strahlführung offenbar die Elektronen zum mehrmaligen Umlaufen in der Röhre bringen könnte (die Röhrenwände leuchteten dabei auf dem ganzen Umfang gleichmäßig stark auf), mit dem Strahlenmeßgerät ließen sich über auch in diesem Falle keine harten Röntgenstrahlen nachweisen.

Nach der Ansicht von Dr. Kollath waren die Vakuumverhältnisse nicht so gut, daß eine Elektronenbeschleunigung möglich gewesen wäre. Während der Versuche war das Vakuum (noch vor der Röhrenzuleitung gemessen) etwa 4 bis  $20 \cdot 10^{-5}$  Torr. Die späteren Versuche haben diese Vermutung voll bestätigt, eine Beschleunigung ist bei 50 Hz offenbar nur möglich, wenn das Vakuum  $< 1 \cdot 10^{-5}$  Torr beträgt.

Bei Weiterführung der Einschußversuche muß somit zunächst die Röhre für günstigere Vakuumbedingungen umgebaut werden und insbesondere die schwenkbare Verbindung der Elektronenspritze mit der Beschleunigungsröhre unbedingt vermieden werden.

2) .....

NARA RG 319 Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder ALSOS G-20

Figure C.51: Page from a 15 September 1944 progress report from Rolf Wideröe to Walther Gerlach on the development of particle beam weapons [NARA RG 319 Entry NM3-82A, Box 6, Folder ALSOS G-20].



DECLASSIFIED  
Authority NND 755001

Dr. Rolf Wideröe  
Hamburg-Fuhlsbüttel

Hamburg, den 4. 12. 1944

Reichsforschungsrat	
Leiter der Sachsparte Physik	
Eingang	Nr.
15.12.44	1419
Anlagen	beantwortet
	2715

Herrn  
Professor Dr. W. Gerlach,

(13b) München 22  
Ludwigstrasse 17

*W. Gerlach*

Sehr geehrter Herr Professor,

wir haben bei unseren Arbeiten eine Beobachtung gemacht, die ich Ihnen möglichst schnell berichten möchte:

Während des letzten Monats haben wir mit ziemlich starken Strahlintensitäten gearbeitet. Während dieser Zeit habe ich, nach unseren bisherigen Messungen gerechnet, wohl einige ~~rx~~ bekommen (Dr. Kollath etwas mehr). Diese Dosen sollten viel zu klein sein, um biologische Wirkungen hervorzurufen.

Bei der letzten Blutuntersuchung zeigten sich indessen bei mir deutliche strukturelle Veränderungen der Leucocyten. Dr. med. Kruse (Krankenhaus St. Georg) hat uns untersucht und verfolgt den weiteren Verlauf dieser Erscheinungen.

Die Erscheinung kann nur dadurch erklärt werden:

- 1) Daß unsere Meßinstrumente doch zu wenig angeben (überschlägige Berechnungen ergeben den Faktor 3 zu wenig)
- 2) Daß unsere Strahlung wesentlich stärkere biologische Wirkungen haben muß, als man annehmen sollte.

Wir bitten Sie, dies Erscheinungen den anderen mit ähnlichen Geräten arbeitenden Herren mitzuteilen, um Schäden durch Unvorsichtigkeiten zu vermeiden. Wir selbst werden sofort Maßnahmen zur Herabsetzung der Strahlengefahren vornehmen.

Mit freundlichen Grüßen

*R. Wideröe*

P.S. Wir erwarten in den nächsten Tagen den Besuch von Prof. Dänzer und Gentner, die verschiedene Fragen über die Elektronenschleudern mit uns besprechen wollen.

NARA RG 319 Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder ALSOS G-20

*Prof. Dr. Max Macholdt Prof. Dr. Langendörffler  
Prof. Dr. Kollath Prof. Dr. Bräuninger Foto*

Figure C.52: Page from a 4 December 1944 progress report from Rolf Wideröe to Walther Gerlach on the development of particle beam weapons [NARA RG 319 Entry NM3-82A, Box 6, Folder ALSOS G-20].

[Many other German reports captured by the U.S. Alsos Mission also show that there was extensive work throughout the war on particle accelerators, especially types of accelerators that would have been highly suitable for electronuclear breeding of fission fuel. (See Appendix D for more information.) 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-4. W. Wiebe. The Cyclotron as a Method of Accelerating Light Ions. A Survey of the Literature and Report on the Construction of a Cyclotron at the University of Bonn. G-123. W. Wiebe. Investigation of the Construction of a Cyclotron.**

Comprehensive literature survey of cyclotron theory and operation as well as a report on the construction of a cyclotron at the Roentgen Research Institute of the University of Bonn. Some results obtained with this cyclotron are also included.

**G-187. W. Schmitz and W. Wiebe. Technical Experiences in the Construction of the Bonn Cyclotron. 1942.**

Brief description of some features of the Bonn cyclotron which has been put into partial operation. Because of financial restrictions, magnet has 50 cm pole diameter. It is air cooled, 2000 windings, 3 amp/mm<sup>2</sup>, 10,000 Gauss. Temperature rise after 1 hour operation = 50° which increases resistance of copper 15%. Homogeneity between the cylindrical poles = 1.6; with shimming, field strength is 20% higher in the slits (5 mm). Descriptions also of the current regulator, the high frequency generator, and the Dees.

**G-204. Walther Bothe. Radiation Shielding Walls. 1943.**

Analysis of shielding required for a cyclotron (8 MeV) operated with deuterons and the operator 8 m from the apparatus.

**G-205. Walther Bothe. The Research Tools of Nuclear Physics. 1943.**

General semipopular lecture delivered before German air force personnel describing the various particle accelerators used in nuclear physics including cascade transformers, electrostatic generators, Van de Graaff accelerators, cyclotrons, rheotrons, and also the uranium pile. Concludes with plea for needed personnel.

**G-209. Walter Dällenbach. Patent Application and General Correspondence with the German Patent Office on a Particle Accelerator. 1943.**

This is not a complete report on a particle accelerator but rather a patent application on certain features of the proposed unit.

[Dällenbach was a Swiss physicist, but the German government funded his own research center, Forschungsstelle D, for the development of high-energy particle accelerators during the war [Dippel 1992; Burghard Weiss 1996].]



**G-232. H. Lange and K. Fink. The Possibility of Saving Material in Building Cyclotron Magnets. 1943.**

A general manual on the design of 15,000 gauss cyclotron magnets giving data on pole diameters (ranging from 100 to 120 cm), pole gap (20 to 40 cm) and the efficiency of various materials as windings. Special emphasis is laid on the use of aluminum wire as a substitute for copper.

**G-247. Otto Baier. Report on the Design of the Vacuum Tank and Oscillator for the Cyclotron of the Physics Section of the German Post Office Department Research Institution. 1944.**

Vacuum tank with radiation chamber, ion source and probe, deflector, electrode dees and their mounting, are described, also the oscillator and the flange connecting the oscillator tank with the main vacuum tank, and the mechanism for introduction of the target. Plans for this equipment are illustrated.

**G-255. Siegfried Flügge. Observations Concerning the Theory of the Rheotron. 1944.**

A rheotron is a particle accelerator built on the principle of a magnetic field variable in time producing a circular electric field. Charged particles with very high energies result if the magnetic power increases until the desired energy of the particle is reached, and if the accelerated particle keeps a circular path of the same diameter. Equations are computed for the electron path, energy increase, stability of the path, and axial and radial oscillations. The path traveled by the electrons is figured to be several 100 km. Interactions with the vacuum atmosphere are considered.

[Richard Gans and Heinz Schmellenmeier did considerable work on rheotrons during the war [Waloschek 2004, pp. 33–64].]

**G-282. H. Salow. The High Frequency Circuit for a Cyclotron. 1944.**

A method to achieve a high potential (100 kV or more) with the least high frequency energy output, allowing for a resonance wave length range of 26–30 m for the accelerated particles, and a capacity of the dee electrodes of about 100 cm is discussed. Various possible high frequency systems are examined, namely the L-C circuit (inductance L completing the capacity to an oscillating circuit), concentric double circuits, and a shielded double circuit system. Energy losses of the circuit and coupling of the feeding line are considered.

**G-284. Ernst Schiebold. On the Possibility of Biological Effects of Shortwave X Rays or Gamma Rays, Using Specially Constructed X-Ray Tubes, at Long Distances. Lecture Given at the Meeting of the Kuratorium of the German Air Force Research Institute Grossostheim. 6 May 1944.**

This is a detailed discussion of the possibilities of using x irradiation and electrons in radiological warfare over long distances. The report is not based on experiments but entirely on estimations. Construction of x-ray tubes, scattering and absorption in air, intensity decrease due to various factors, dosage, etc. are discussed.

**G-286. W. Schmitz and A. Weckesser. Investigations of High Frequency Currents for Construction of a Large Cyclotron. 1944.**

In very large cyclotrons the potential distribution in the acceleration gap between the dees is no longer constant. In order to obtain information on the voltage increase to be expected, measurements of potentials were conducted on a model of decreased size with wave length shortened accordingly. An improved wiring and oscillator system are designed. A procedure is developed for calculation of the effect of the increase in potential on the particle path.

**G-292. W. Wiebe. Consideration for Construction of a 80 Million Volt Cyclotron. 1944.**

Considerations on construction of a large cyclotron include calculations concerning magnetic field focusing, relation between magnetic field and particle path, relative increase in mass and resonance, and design of vacuum chamber and voltage source. [...] For production of the desired particle path a magnetic field of 17,610 maximal and of 7450 gauss minimal strength is calculated to be needed. The diameter of the poles is figured to be 175 cm, iron weight of the magnets is anticipated as 1500 tons. The path of the deuterons would have a total length of 2500 m, deuterons of 80 MeV and alpha particles of 160 MeV can be produced.

**FA 002/0384. Letter from Rudolf Fleischmann to Maurer. 10 February 1943. Archive of Deutsches Museum Munich.**

Fleischmann visited Mentzel on Jan. 28 and heard that Esau had been put in charge of nuclear physics by the Reichsmarschall. From Siemens man, he heard that Siemens has been constructing since four years a large cyclotron with 1.60 meter diameter. He did not say for whom. There can be hardly any doubt that it is for an organization of the armed forces. Is this the large cyclotron for WaF?

**FA 002/0362. Letter from Maurer to Rudolf Fleischmann. 12 January 1943. Archive of Deutsches Museum Munich.**

[...]The two people from the Reichspost were here. Their magnet gives only 16,000 Gauss, 160 mm gap, diameter 1080 mm. They hope to get 10 million volt.

**FA 002/0362. Letter from Maurer to Rudolf Fleischmann. 5 March 1943. Archive of Deutsches Museum Munich.**

Esau and Bothe have left Paris. Maurer was present at a discussion between Esau and Bothe. Maurer pointed out to Bothe the egotistic behaviour of the firm of Siemens and that he regrets that Fleischmann as nuclear physicist has to go empty handed whereas the Reichspost and Siemens are allowed to build with mere beginners. Maurer asks what is going to happen with the second Siemens magnet. [...] Bothe is no end fed up.

[After the war, Allied investigators wrote several reports about particle accelerators they found in Germany or former German-controlled territories.]

**BIOS Misc 77 = NavTechMisEu 331-45. *European Electron Induction Accelerators.***  
[<https://www.cdvandt.org/BIOS-Miscell-77.pdf>]

### SUMMARY

Betatrons, induction electron accelerators for the production of high energy x-radiation, were under development in Germany during the war and are also to some extent at present. This work is reviewed for the most part and details are given on the constructional features of 6 and 15 million volt betatrons and on the theory and design of 15 and 200 million volt betatrons. The smaller units, especially the Siemens 6 Mv are quite successful and more advanced than comparable American units. While no large machines were actually built the projected 200 Mv Wideröe design introduces new features of value. Betatron patent ideas are reviewed.

#### I. Introduction.

##### A. History of Betatron Developments on Continent.

The first work on the subject of electron induction acceleration which appeared in Europe was the doctoral dissertation of Rolf Wideröe of Bergen, Norway, which appeared in 1927 and was published in print the following year. [...]

Developments on the continent have been based on Wideröe's work. The basic ideas were by Steenbeck in his patents of 1937 [...] in which the necessary properties of the magnetic accelerating and guiding fields are formulated.

An induction electron accelerator was built on these principles and tried with success, it is claimed, although the intensities of radiation produced were only of cosmic ray intensity order. [...]

The betatron development was carried out by three separate groups. One was the Megavolt Versuchsanstalt (MVA) or Megavolt Research Association which worked under the guidance of Dr. Wideröe. Siemens and AEG also had projects. MVA laid plans for a 15 Mv and a 200 Mv accelerator. The former was begun early in 1944 and brought to successful completion in the fall of the same year. The design of the 200 Mv accelerator was completed about this time and the construction work turned over to the Brown Boveri firm in Heidelberg. Recent investigation showed that MVA had no further connection with this project.

The basic ideas underlying the design of these two induction accelerators were published by Wideröe in two papers. These discuss the special problems involved such as axial and radial stabilization by properly designed guiding fields, injection and extraction of electrons, the useful load of the apparatus, the maximum electron filling of the acceleration chamber, dependence on injection voltage (using auxiliary lens system), the stabilization of electronic orbits with electrical lenses, especially for high radiation energies, the effects of gas molecules, technical transformer construction details for high energy production, and finally the fields of application of the betatron: cancer treatment, radiography, and nuclear physics.



In collaboration with the design work of Wideröe, a considerable amount of theoretical work has been carried out by Touschek. This is known to have been of invaluable aid in the development of the 15 Mv accelerator. Further theoretical work has also been done by Touschek in the starting of electrons in the accelerator. [...]

**BIOS 1730. *Industrial Electrical Research in Germany*. pp. 91–94, 133–136.**

A betatron having an output of about 15 MeV, .01 Röntgens per second at 1 metre, is in working condition at this place [M.V. Forschungs-Vereinigung]. An outline of the design in Fig. 39 has been prepared from sketches from a drawing at Wrist.

The following particulars were provided by Touschek:–

Operating frequency	50 cycles per second.
Orbit radius.	14 cms.

Core details:–

Length	92 cms.
Height.	56 cms.
Radius of centre core.	11 cms.
Pole pieces have inner dia.	27.6 cms.
"    "    "    outer dia.	29.8 cms.
Air gaps of centre core.	2 cms.
"    "    between pole pieces.	6 cms.
Cross section of main yokes.	13 x 32 cms.

Weight:–

Iron.	816 Kg.
Copper.	188 Kg.

Magnetic circuit particulars:–

Max. induction in core.	11,300 gauss.
Average induction with orbit	7,400 gauss.
Induction at orbit (R=14 cms).	3,700 gauss.
Max. induction in yoke.	10,200 gauss.

Main Coils:–

Current.	48 amps. R.M.S.
Voltage.	4,780 volts.
KVA.	230
Ampere turns, peak	19,000
Volts per turn.	17.1
Cooling.	By air.
Copper losses.	500 Watts
Iron losses, core	156 Watts.
"    "    poles.	150 Watts.
"    "    yoke.	960 Watts.
Power factor correction condenser.	33 MFD at 5000 volts.

The core is built up from low-loss transformer steel; a loss figure of 1.1 watts per Kg, at 10,000 gauss, 50 cycles per second, was quoted. Ten different sizes of radial laminations, each 0.35 mm. thick, are used in the core. A lower grade of transformer steel is used for the yoke.

The “doughnut” is of glass (Pyrex type), built up from two semicircular moulds, and is continuously pumped. The internal surfaces are aquadag coated. The resistance of the aquadag coating measured across a diameter was understood to be 30 ohms.

An approximate sketch of the gun, and target carried on the gun is given in Fig. 40. The current at injection has an average value of 0.125 mA. and a peak value of 12.5 mA, approximately. It was stated that about 10% of the injection current arrived in the orbit. An injection pulse time of about 2.0 microseconds was aimed at, but the actual time achieved was about 250 microseconds. **With the present betatron up to 30 MEV has been obtained.**

The characteristic at the orbit was stated to be  $H = K r^{-6}$ . The expansion of the orbit is by magnetic saturation; expansion onto the target takes place after about 60 degrees from flux zero.

In order to utilise the maximum change of A.C. flux, a D.C. biasing scheme is proposed, using a D.C. bias winding embracing the pole pieces in the manner shown in Fig. 41. The bucking transformer shown is to compensate for the induced e.m.f. caused by A.C. flux which links with the added D.C. winding.

**A scheme for getting electrons out of the chamber was briefly described.** Two additional sets of electrodes would be placed in the doughnut. The first electrode at a potential of some kV would upset the stability conditions so that electrons would leave the stable orbit, and be directed to a pair of electrodes (plates) which **would deflect the electrons further from the orbit and focus them into a beam, which then leaves the doughnut in a linear manner.** The apparently optimistic figure of 60% was mentioned as the number of electrons which would be removed from the orbit and given a linear path.

[...]

Two betatrons were seen at the Erlangen works of the Siemens Reiniger concern, one in running condition and the other very nearly complete. **Both are for providing X-rays corresponding to 6 MEV.**

The essential particulars of the completed betatron are as follows:–

Output—6 MEV; X-ray output 0.2 röntgens per minute  
—15 gr. radium at 1 metre.

A.C. supply frequency.	550 cycles/sec.
Orbit radius.	8.3 cms.
Target radius.	11.0 cms.
Injection radius	6.3 cms.
Injection current (mean) (5 milliamps possible)	1.0 milliamp.
Voltage at injection.	4000/5000
Injection time.	$10^{-5}$ second.
K.V.A. to main coils (100 amps 3 KV. to give 6 MEV).	300
Expansion time.	$2 \times 10^{-5}$ second.
X-ray time.	$5 \times 10^{-6}$ second.
Vacuum (see curve Fig. 69)	$3 \times 10^{-5}$ mm.
Current in orbit	$5 \times 10^{-7}$ amp.
Approx. characteristic at orbit.	$H r^{-1/2}$
H at orbit.	1400 gauss.
Total losses, approximately.	3 KW.
Copper losses.	800 watts.

Doughnut; Ceramic in two main disc sections, metallised  
and soft soldered; pumped, (see Fig. 68)  
Iron circuit; overall dimensions 26" x 8" x 19" approx.

For details of pole pieces (see Fig. 68) the outer annulus comprises about 2000 suitably shaped laminations, as A, bent to fit to the required diameter. Inside A is a core section B built up of radially displaced laminations, similarly bent. The central section C is made up from small packets of strip laminations about 2 to 3 mm. wide, total of about 11,000 strips. All of these laminations are of ordinary silicon steel 0.3 mm. thick. Shims G of magnetic dust materials are placed between B and a ribbed bakelite spacer H, possibly to allow for cooling. The assembly of pole pieces, etc., and the doughnut comprises one unit which can be inserted or withdrawn from the main core and coil assembly without disturbing the latter.

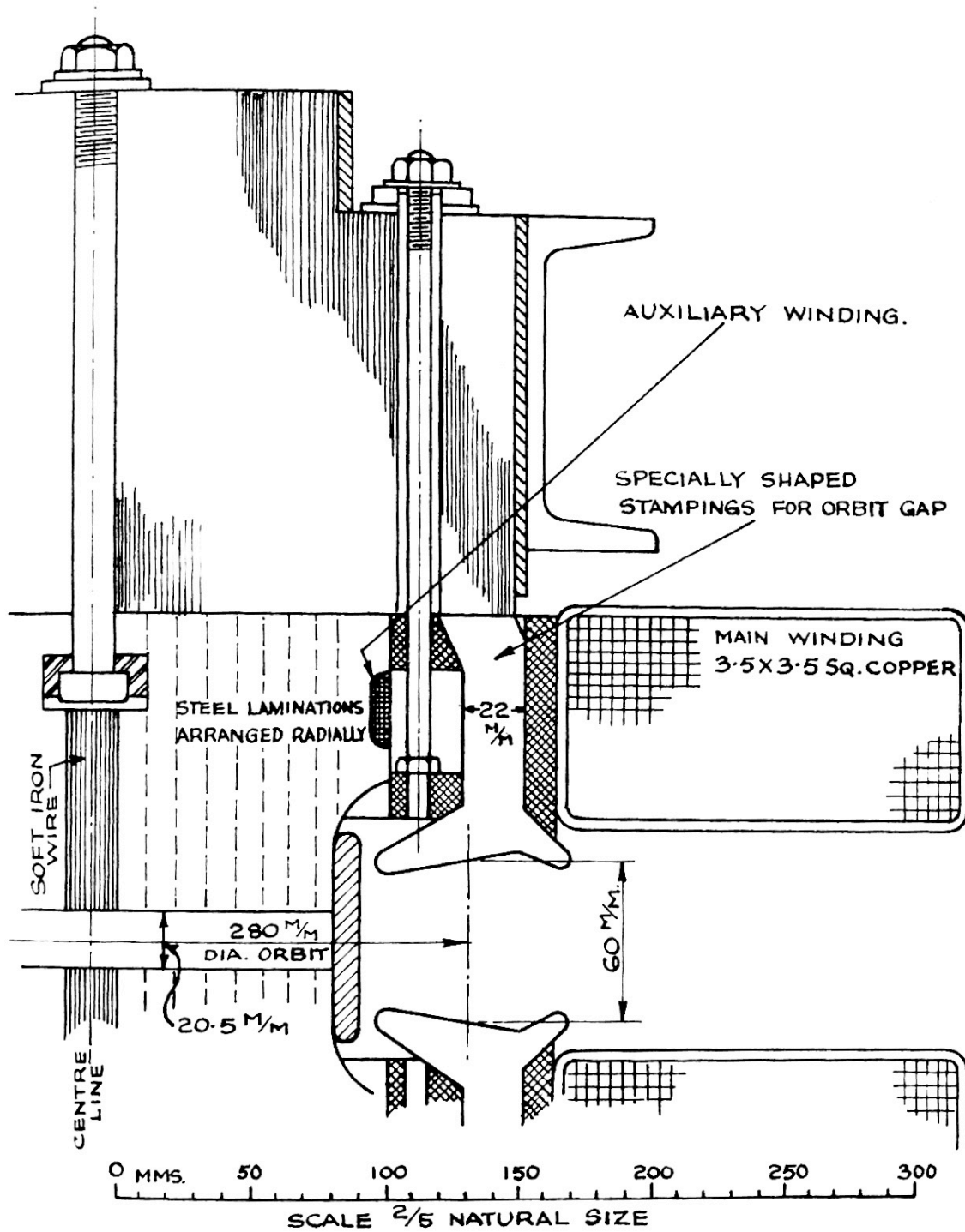
The orbit is expanded into the target by auxiliary coils energised from a thyratron circuit, which serves to discharge a 2 MFD condenser at 1000 volts through these said coils. The circuit arrangement is shown in Fig. 70.

The main magnetic circuit is water cooled, the conductors being a number of strands of Ltz wire wound round brass tubing through which water flows.

Siemens Reiniger have another betatron of similar physical size and rating nearly completed; it is for operation on a 50 cycles supply.

S.R.W. have apparently paid appreciable attention to conditions at injections and had built a model to study the effect of various types of gun. A constant field is evidently applied to the model and the adjustable fluorescent screen; a number of viewing windows are provided in the chamber.





**FIG. 39.**  
**BETATRON AT WRIST**

FROM M-V. FORSCHUNGS VEREINIGUNG DRG. No. 178/10

Figure C.53: 15 MeV betatron [BIOS 1730].

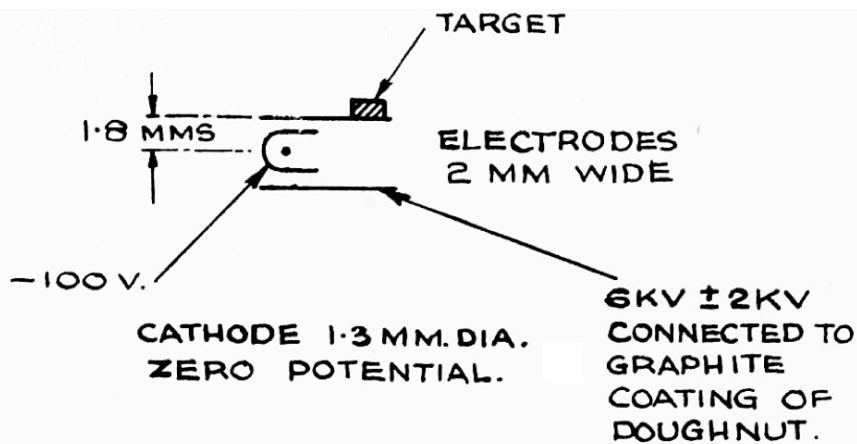


FIG. 40

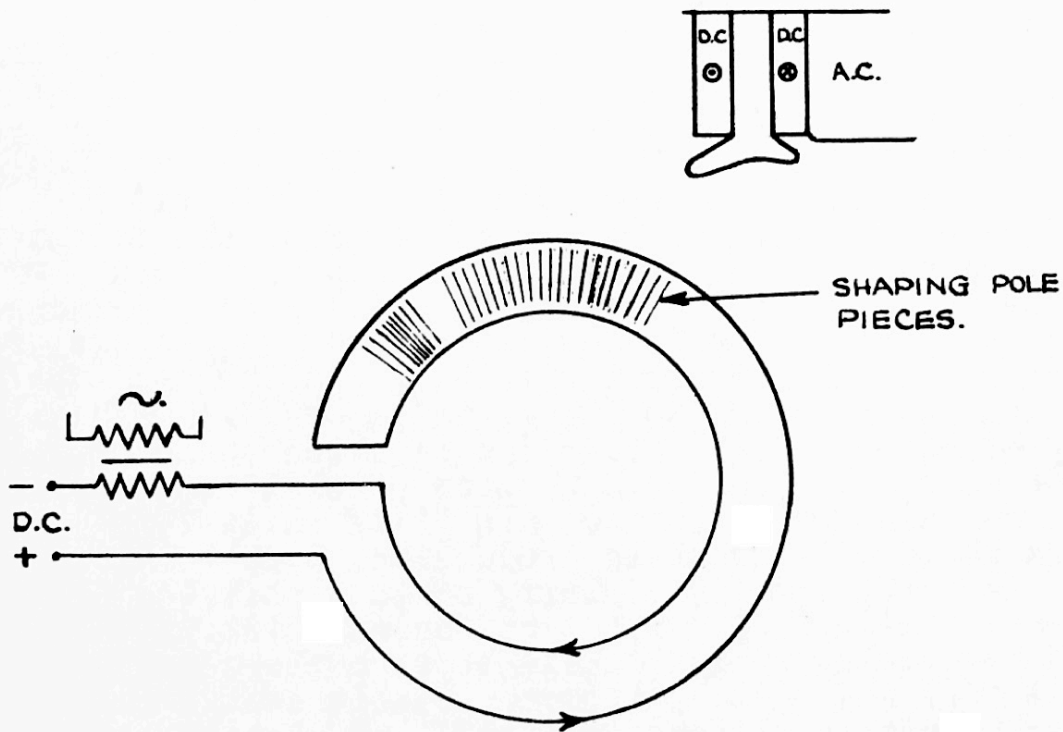


FIG. 41

M.V. WRIST BETATRON

Figure C.54: 15 MeV betatron [BIOS 1730].

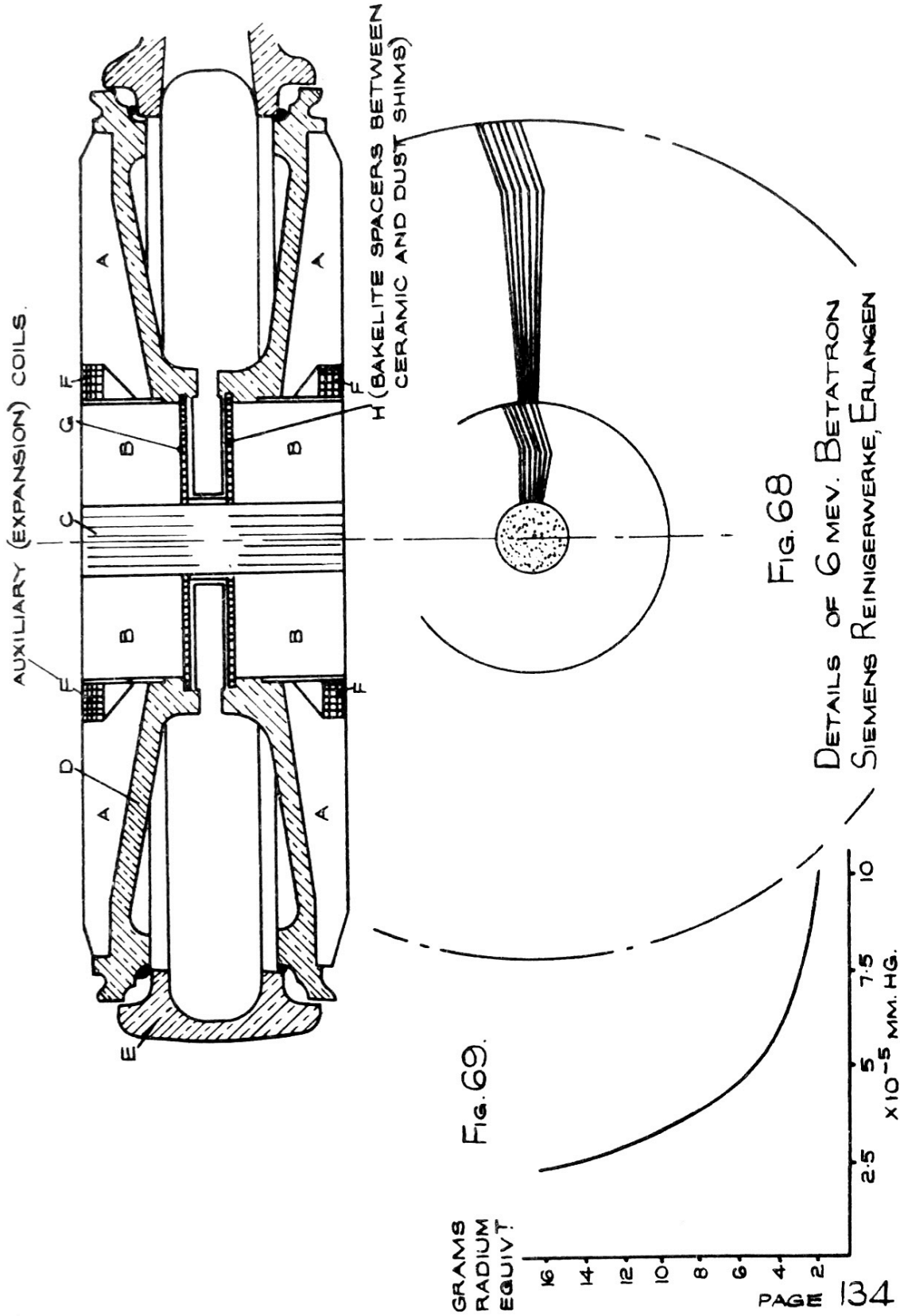


Figure C.55: 6 MeV betatron [BIOS 1730].



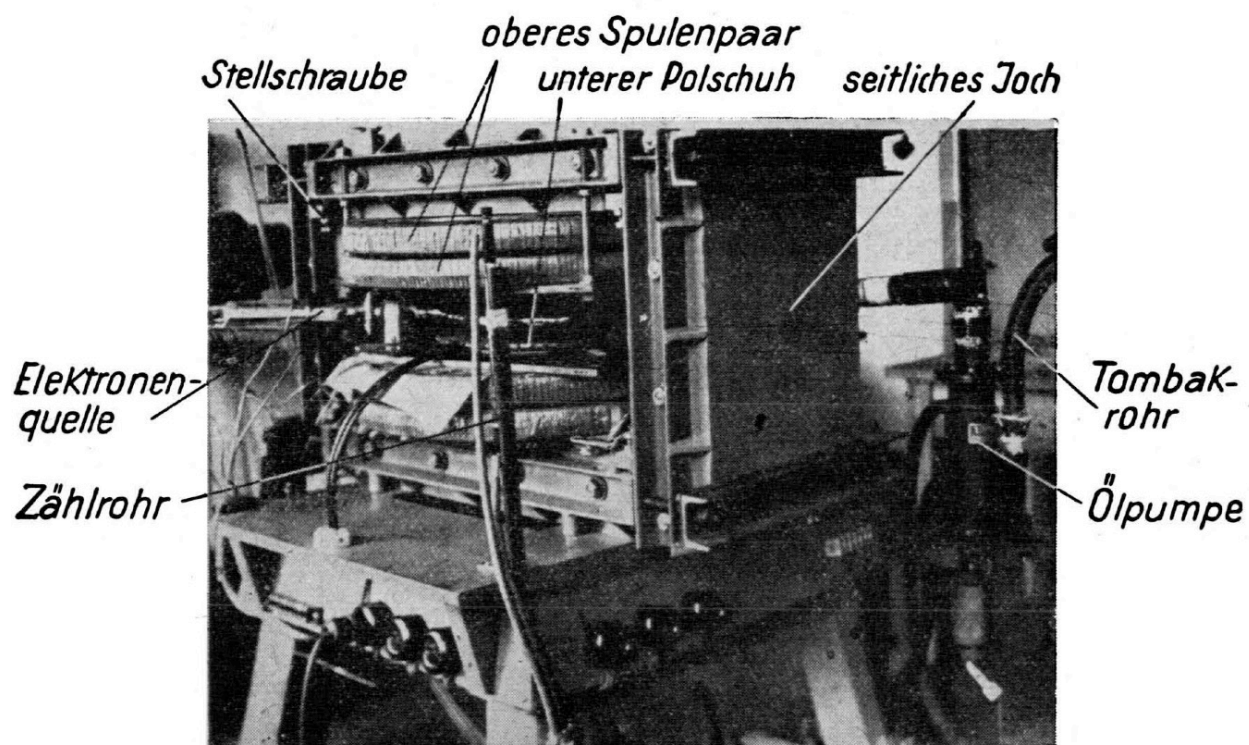


Abb. 2. Photo des 15-MV-Betatrons.

Figure C.56: Top: 6 MeV betatron, now on display in the Deutsches Museum Bonn, with a mass (given by the museum) of 272 kg. Bottom: 15 MeV betatron.

**BIOS 201. *Visit to C.H.F. Müller AG Röntgenstr. 24 Bahrenfeld, Hamburg.***

[...] Müller had built in conjunction with a Norwegian scientist [Wideröe], a 15 million volt Betatron. This has been moved to Wrist. Dr. Fehr stated that this had been experimented with for the Luftwaffe with the hope (?) of obtaining a death-ray for anti-aircraft work. [...]

**BIOS 212. *Ultra-sonic Research and Development in X-Ray Equipment. Siemens-Reiniger Werke, AG Erlangen.***

[...] Another source of hard X-rays was a very efficient betatron that was built in Dr. Gund's laboratory. Using a 550 cycle supply energies up to 6 Mev. were obtained. The anode used was of gold and a thermocouple attached to it acted as a measure of the current intensity. 20% of the electron energy was assumed to go into radiation. The radiation intensity was equivalent to about 12 gm. of radium. [...]

[See also:

BIOS 148. *German Betatrons.*

CIOS XXVIII-31. *Investigation of the X-Ray Industry in Germany.* (See pp. 3957–3970.)

FIAT 534. *Betatron Development in Germany.*

After the war, two scientists who worked on the 15 MeV betatron published a paper about it:

Rudolf Kollath and Gerhard Schumann. 1947. Untersuchungen an einem 15-MV-Betatron. *Zeitschrift für Naturforschung* 2a:634–642 [[http://zfn.mpdl.mpg.de/data/Reihe\\_A/2/ZNA-1947-2a-0634.pdf](http://zfn.mpdl.mpg.de/data/Reihe_A/2/ZNA-1947-2a-0634.pdf)].

See Fig. C.57.]

## Untersuchungen an einem 15-MV-Betatron

Von RUDOLF KOLLATH und GERHARD SCHUMANN\*

(Z. Naturforschg. 2a, 634—642 [1947]; eingegangen am 22. Mai 1947)

Aufbau und Wirkungsweise eines 15-MV-Betatrions werden kurz geschildert; im Anschluß daran wird über einige Untersuchungen berichtet, deren Ziel die Kenntnis der Eigenschaften und der Nachweis des richtigen Funktionierens des Gerätes war, um die Voraussetzungen für geplante Neukonstruktionen zu schaffen.

Unter einem Betatron wird bekanntlich ein Kreisbeschleuniger für Elektronen verstanden, bei dem die Beschleunigung durch das elektrische Wirbelfeld besorgt wird, das einen sich

zeitig von B. T o u s c h e k verschiedene theoretische Untersuchungen durchgeführt wurden.

Die Mehrzahl der Messungen wurde in Wrist, Mittelholstein, durchgeführt, wohin der Apparat gegen Kriegsende verlagert wurde<sup>3</sup>. Die Arbeiten konnten nur bis Dezember 1945 fortgesetzt werden, so daß noch viele Fragen offen geblieben sind.

### I. Aufbau und Betriebsdaten des 15-MV-Betatrions

Abb. 1 gibt eine Übersicht über die Gesamtanordnung. Zwei Doppelspulen  $Sp_1$  und  $Sp_2$  erzeugen im Kern K, der mit einem Luftspalt versehen ist, den induzierenden Fluß und gleichzeitig das magnetische Steuerfeld  $B_s$  zwischen den ringförmigen Polschuhen  $P_s$ , die einen mittleren Abstand von 6 cm haben. In der Mitte zwischen den Steuerpolen ist durch einen Punkt der „Gleichgewichtskreis“ bezeichnet, auf den der ringförmige Elektronenstrahl sich im Verlauf der Beschleunigung zusammenzieht. Zwischen den oberen und unteren Polschuhen liegt die toroidförmige

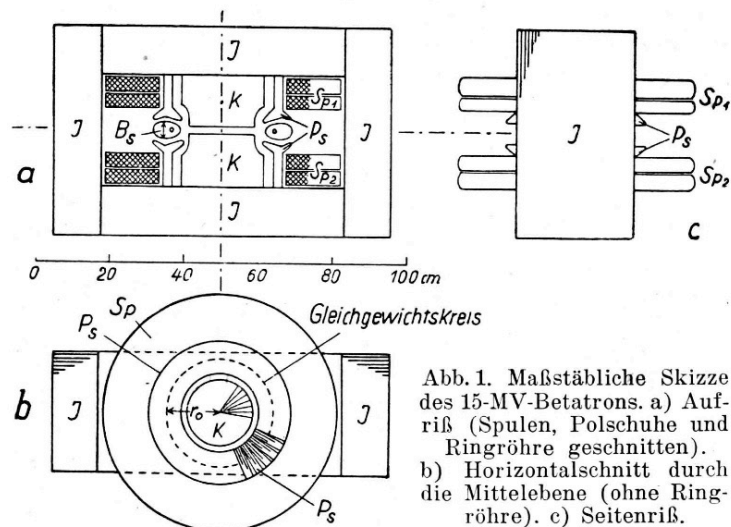


Abb. 1. Maßstäbliche Skizze des 15-MV-Betatrions. a) Aufsicht (Spulen, Polschuhe und Ringröhre geschnitten). b) Horizontalschnitt durch die Mittelebene (ohne Ringröhre). c) Seitenriß.

ändernden magnetischen Fluß umschließt. Die Elektronen werden dabei durch ein mit dem erwähnten magnetischen Fluß gekoppeltes magnetisches Führungsfeld auf einer Kreisbahn gehalten. Wegen der Grundlagen sei auf die Literatur verwiesen<sup>1</sup>.

Ein solches Betatron zur Erzeugung von Elektronenstrahlen einer Energie von  $15 \cdot 10^6$  eV wurde Anfang 1944 in Hamburg von R. W i d e r ö e berechnet und in Gemeinschaft mit der Firma C. H. F. M ü l l e r, Hamburg, durchkonstruiert und aufgebaut<sup>2</sup>. Im Sommer 1944 wurde es von W i d e r ö e und Kollath in Betrieb gesetzt, wobei gleich-

\* (17a) Neckarzimmern, Luttenbachtal.

<sup>1</sup> R. W i d e r ö e, Diss. T.H. Aachen 1927; Arch. Elektrotechn. 21, 387 [1928]; Steenbeck, DRP 656378 u. 698867 [1937]; D. Kerst, Physic. Rev. 60, 47 [1941]; Kerst u. Serber, Physic. Rev. 60, 53 [1941] u. a. m.

Vakuumröhre, in welcher die Elektronen beschleunigt werden. Ein Eisenjoch J schließt den magnetischen Kraftfluß des Kerns und der Steuerpole. Der Kern ist aus radial geschichtetem Trafoblech aufgebaut, die Polschuhe ebenfalls, wobei die Bleche zu Paketen zusammengefaßt sind (Abb. 1b). Das Joch besteht aus 4 Teilen, die mit Hilfe von U-Eisen gegeneinander verschraubt sind. Über dem Apparat befindet sich ein Flaschenzug, mit dem nach Lösung der Verschraubungen der obere Teil des Joches mit oberem Kern und oberem Steuerpol nach oben weggehoben werden kann, um die Ringröhre einsetzen und an ihr hantieren zu können. Der gesamte Apparat ist auf einem Tisch aufgebaut. Eine Anschauung von

<sup>2</sup> Wir danken den HHrn. der Fa. C. H. F. M ü l l e r für jederzeitige tatkräftige Unterstützung und ihr Interesse an dem Fortgang der Arbeit.

<sup>3</sup> Wir möchten auch an dieser Stelle Hr. Fabrikbesitzer Richard S e i f e r t, Hamburg, dafür danken, daß er uns stets bereitwilligst seine Hilfe zur Verfügung gestellt hat.



**George B. Davis to Francis J. Smith. 7 July 1945. Subject: JANISZEWSKI, Raman. Ref No SAIC/PIR/31 [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 167, Folder 32.12-2 GERMANY: Personnel (Jan 45–Dec 45)].**

Attached is a copy of an interrogation report which indicates that PW [prisoner of war] has some knowledge along TA [tubealloy, or nuclear] lines. I have written to Captain Speer and asked him to arrange to intercept any reports of interviews of this man which might jeopardize TA security. We have made no arrangement to have him interviewed on our behalf as he does not appear to have been engaged in TA during the war.

**Paul Kubala. 26 June 1945. Ref No SAIC/PIR/31. Seventh Army Interrogation Center. Preliminary Interrogation Report [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 167, Folder 32.12-2 GERMANY: Personnel (Jan 45–Dec 45)].**

SOURCE: JANISZEWSKI, Raman, Scientist

---

### 1. PERSONAL DATA

Subject was born in 1891 in JANOWICE, Poland and studied engineering in POSEN and BERLIN. He devoted most of his life to research, ranging from mechanics to atom smashing. He had his own laboratories in WARSAW and POSEN and claims to have patented 86 inventions so far. In 1927 he was called by the President of Poland and received a secret assignment which he is unwilling to describe in any greater detail other than that it concerned research on war materials.

Source developed an apparatus to radio-activate metals, especially mercury. He claims that the rays produced by this machine black out radio waves, offset magnets, and have a deadly paralyzing effect on humans. He claims this machine is especially important in that it destroys the function of the gyroscope. Source declares his willingness to disclose all details of this machine and demonstrate it at his laboratory in the TYROL. He states that the secret of this machine has not fallen into German hands.

### 2. ADMINISTRATIVE DATA

Source was arrested by 103 MP Det, arrived this CENTER 24 May 45 on authority G-2, Seventh Army. Documents: blueprints and patent for tire-changing apparatus; papers on radio-activation of metals; and on invention of a special ignition coil.

### 3. KNOWLEDGE BRIEF

- a. Details on radio-activation of metals, and atom smashing.
- b. Tire-changing apparatus.
- c. Other inventions.

#### 4. INTERROGATION PLAN

Interrogation will be withheld until an expert in his field can exploit prisoner's knowledge.

#### 5. COMMENTS AND RECOMMENDATIONS

It is suggested that subject be interrogated by a technical expert. The recipients of this report are requested to submit special briefs of any subject upon which this man should be interrogated.

[Igor Witkowski received significant publicity for his claims that a mysterious German device called "die Glocke" or "the Bell" was built and tested in Poland during World War II [Cook 2001; Witkowski 2010, 2011, 2012, 2013; <https://igorwitkowski.com/english.html>]. Witkowski's claims about the Bell have been repeated by numerous books, television programs, and websites and have taken on a life of their own. As far as I am aware, Witkowski's personal statements are the only source of information that the Bell even existed, let alone what its historical and technical details were, and he has never presented any documents to substantiate his claims.

All of Witkowski's original books and articles are in Polish. Only a few of his books have been translated into German or English [Witkowski 2010, 2011, 2012, 2013]. Another Polish author, Bartosz Rdułtowski, analyzed the complete history of Witkowski's Polish writings and statements in considerable detail, and made what sounds like a very credible case that Witkowski simply invented the story of the Bell [Rdułtowski 2012b]. Even in the most charitable interpretation, the story of the Bell came to Witkowski from a source, who got it from another source, who likely got it from another source, none of whom were scientists, so one would expect the technical details to have gotten garbled along the way, as in the children's game of telephone.

The above interrogation report on Raman Janiszewski (see also Fig. C.58) has a few details that seem similar to some of those in Witkowski's Bell story: a device was developed in Poland during the war, it involved mercury, and it produced various strange and dangerous effects in its surroundings. The Janiszewski interrogation report does not say that the device was bell-shaped, or give any other details that have been claimed by Witkowski. It is not clear if the similarities are a coincidence, or if Witkowski used actual information such as that from Janiszewski and then added many fictional elaborations to the story, or if there may actually be some historical reality to the story of the Bell after all.

Even limiting the discussion to the Janiszewski interrogation report, it is not clear how credible Janiszewski was, how his device worked, and whether it would actually produce any of the variety of effects that he attributed to it. The Manhattan Project foreign intelligence officials, George Davis and Francis Smith, seemed to take his claims seriously though.

Can other information on Raman Janiszewski's background, his research, and his interrogations be located? Can any other similar documents be found?]

DECLASSIFIED  
 Authority NND 917017

SECRET

SECRET

SECRET  
 Auth: CG 7th Army  
 Init: P.K.  
 Date: 26 Jun 45

Ref No SAIC/PIR/31  
26 Jun 45

SEVENTH ARMY INTERROGATION CENTER  
APO 758

PRELIMINARY INTERROGATION REPORT

SOURCE: JANISZEWSKI, Raman, Scientist

---

1. PERSONAL DATA

Subject was born in 1891 in JANOWICE, Poland and studied engineering in POSEN and BERLIN. He devoted most of his life to research, ranging from mechanics to atom smashing. He had his own laboratories in WARSAW and POSEN and claims to have patented 86 inventions so far. In 1927 he was called by the President of Poland and received a secret assignment which he is unwilling to describe in any greater detail other than that it concerned research on war materials.

Source developed an apparatus to radio-activate metals, especially mercury. He claims that the rays produced by this machine black out radio waves, offset magnets, and have a deadly paralyzing effect on humans. He claims this machine is especially important in that it destroys the function of the gyroscope. Source declares his willingness to disclose all details of this machine and demonstrate it at his laboratory in the TYROL. He states that the secret of this machine has not fallen into German hands.

2. ADMINISTRATIVE DATA

Source was arrested by 103 MP Det, arrived this CENTER 24 May 45 on authority G-2, Seventh Army. Documents: blueprints and patent for tire-changing apparatus; papers on radio-activation of metals; and on invention of a special ignition coil.

3. KNOWLEDGE BRIEF

- a. Details on radio-activation of metals, and atom smashing.
- b. Tire-changing apparatus.
- c. Other inventions.

4. INTERROGATION PLAN

Interrogation will be withheld until an expert in his field can exploit prisoner's knowledge.

5. COMMENTS AND RECOMMENDATIONS

It is suggested that subject be interrogated by a technical expert. The recipients of this report are requested to submit special briefs of any subject upon which this man should be interrogated.

PAUL KUBALA,  
Maj, MI,  
Commanding.

SECRET

SECRET

 NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 167,  
 Folder 32.12-2 GERMANY: Personnel (Jan 45-Dec 45)

Figure C.58: Preliminary interrogation report on Raman Janiszewski [NARA RG 77, Entry UD-22A, Box 167, Folder 32.12-2 GERMANY: Personnel (Jan 45-Dec 45)].



**Paul E. Todd, U.S. Air Forces in Europe, U.S. Air/Air Ministry Branch, to Assistant Chief of Staff, A-2, Headquarters, USAFE. 19 November 1946. Activities Report (11 through 16 November 1946). [AFHRA C5088 electronic version p. 957]**

[...] (4) **X-Death Ray report completed and forwarded**, thru channels, to Assistant Chief of Staff, A-2, USAFE, A.D.I. (Science), Mr. Gerrard, and Joint Intelligence Bureau, Major Rushmore. [...]

[What German X-ray directed energy weapon was important enough and sufficiently well developed by the end of the war in Europe that the U.S. Army Air Forces was still writing a report on it 18 months after the war ended, and forwarding that report to high levels?

Can a copy of this report be located now?]

## C.2 Electromagnetic Pulse

[Several Allied intelligence reports described the development and successful testing of some sort of German electromagnetic pulse (EMP) weapons capable of knocking out the electrical systems of engines, or other electrical devices. A nuclear explosion will generate a large EMP, but the German EMP generators described in the reports appear to have been non-nuclear. Many countries now have non-nuclear EMP weapons in their arsenals.]

**Extract of Information—Source: Letter #1172/EM, 11 Mar. 1944 to Col. H. A. Kenyon from Col. A. J. P. Le Bel. [AFHRA A1263 frame 213]**

### Notable Incidents.

a.) On November 19, on the outskirts of Lens at 5:30 P.M. a British Plane was downed with no apparent struggle. The plane was flying normally when all of a sudden, it pitched to the ground and was crushed.

b.) English pilots, interned in Switzerland, have declared that as they flew over the Eastern part of France their apparatus had been deranged—also—reports have pointed to the fact that centers for the transmission of these rays have been installed at Ardennes.

These two facts lead us to surmise that the Germans have experimented with their secret weapon and that these rays or waves are capable of hampering Electric parts of plane motors and to disturb the apparatus on board.

Report Received from G-2, 12 April 1944 and Filed in Ski Site File.

**Allen W. Dulles. 1 September 1944 OSS report. [Allen W. Dulles Papers: Digital Files Series, MC019-09, Public Policy Papers, Department of Special Collections, Princeton University Library. [https://findingaids.princeton.edu/catalog/MC019-09\\_c015](https://findingaids.princeton.edu/catalog/MC019-09_c015) Correspondence\_General\_English\_1942-1974\_and\_undated 1940s 19440901\_0000031626.pdf]**

Sorrel reports that Breakers messenger on his last trip to Switzerland around July 10th, referred to a new secret weapon. This weapon is reported to consist of an apparatus by which the operation of motors in planes and tanks can be interrupted through some kind of secret long-distance interference by rays or waves. At the same time it was reported that experiments with this secret weapon had been successfully concluded and that production was to be started.

*History of the Counter Intelligence Corps, Volume XX, Germany Overrun—Part I.* March 1959. pp. XX-61–XX-62 [NARA RG 319, Entry UD-1080, Box 6].

### Secret Weapons

That the Nazis had hoped to win the war by secret weapons became evident to XVIII Corps CIC Agents with the capture and subsequent interrogation of Werner Piel, a special air courier of secret technical devices for the Luftwaffe.

Piel claimed that the German laboratories that had produced V-1 and V-2 missiles had also perfected an array of diabolical devices that needed only large scale production before they could be used against the Allied armies.

The strangest and most fascinating of these secret weapons was described as a “secret ray” that would paralyze any vehicle to a halt. The instrument, which the Germans called “Adlergeraet” or “Eagle Apparatus,” was demonstrated to Piel and others at a proving ground near Danzig in July 1944. Piel asserted that an automobile driven across the testing area was brought to a complete standstill by the ray as if the spark of the vehicle had suddenly failed.

The mechanism was principally adapted for use by the Luftwaffe in night fighting. Planes equipped with the Adlergeraet could allegedly trail behind an adversary, bring him in range and then drop him from the sky by “konking out” his engines without firing a single round. This was the theory. No estimate of actual effectiveness had been made.

Piel’s connection with the secret devices was largely during the six weeks prior to his capture when he ferried the equipment from Berlin to Glasshuette, where the finished devices were made, and then delivered them to aircraft manufacturers.

Before CIC completed the interrogation of the ray-obsessed Piel, the Agents learned the current disposition of the informant’s organization, the Air Force High Command, Chief of Technical Division for Air Armament Transport. Apparently, Allied bombing of Berlin had been so effective that this German technical air wing had to be split into two branches, one in Austria and the other along the Baltic sea.<sup>80</sup>

80. XVIII Corps (Abn) G2 Periodic Rpt Nr 9, Annex Nr 1, “CIC Notes,” dtd 5 May 45, in FUSA G2 Jnl and File, 7–8 May 45, L-558 (UNCLASSIFIED), (Departmental Records Branch, AGO, Alexandria, Va.)

[Note that the interrogation of Piel seems to indicate that advanced research projects associated with the Luftwaffe were largely centered in Berlin (until they had to be evacuated due to Allied bombing), the Baltic coast, and Austria. That agrees with many other documents that indicate that Berlin, the Baltic coast, and Austria were three of the areas that had especially large concentrations of high technology development during the war.]



Merillat Moses, Chief, Scientific Branch, U.S. Military Intelligence Service, to Major Francis J. Smith. 16 November 1944. Evaluation of Reports on Rays or Charges to Neutralize Aircraft Motors. [AFHRA A1263 frames 129–130]

1. The Military Intelligence Service is in receipt of various reports dealing with rays for stopping or neutralizing aircraft motors such as:

- a. An ultra-violet ray for stalling airplane motors is being worked upon hard, but as yet without practical success.
- b. Experiments were being made on another electrical apparatus whereby vehicles coming within its field could be stopped.
- c. The famous “Death Ray” is spoken of again and it is said that several airplanes have been made to fall in the neighborhood of this installation.
- d. The use of radio ray [that] emits wave that slows down the motors of Allied planes flying over region.
- e. In February it was reported that the Germans were working on some mechanism to stop aircraft motors.
- f. A source who states that he has done much work for the P.T.T. at Tempelhof in Berlin and for the Reichspostforschungsanstalt claims that 80% of their laboratory work is on aviation. A high official and an engineer there have informed him that they have completed a new A/A weapon which will be turned out in mass production in two or three months.
- g. Experiments with “Death Rays” were conducted by AEG-Siemenstadt Berlin at Tempelhof in 1939. Guinea pigs were killed at a distance of 200 meters.
- h. An individual employed “on electrical matters”, not named or otherwise described, told the prisoner that the Germans had for years been experimenting with these death rays.
- j. Experiments of which he knew, (1) destroying the functions of aircraft motors with induced magnetic fields, (2) exploding aircraft in the air by direct ultra-violet ray.
- k. This weapon which emits waves or rays based on piezo-electricity is a development of the death ray. It is known that tests were made in 1938 and that [at] a distance of eight hundred meters an automobile motor was successfully stopped.
- l. The Germans will use within the next three weeks new generator which is capable of stopping motors.

2. An hypothesis has been received stating that by use of rays or charges the atmosphere surrounding the airplane engine could be ionized, causing the ignition system to spark at joints and also where the insulation has been cracked or broken, thereby causing a short circuit of the spark plug.

3. Any evaluation or opinion you may be able to render on the existence or practicability of any rays or charges, to include probably type of emission, range, size of installation required, would be highly appreciated.

**Headquarters, United States Strategic Air Forces [USSTAF] in Europe, Office of the Director of Intelligence, An Evaluation of German Capabilities in 1945. The Commanders Intelligence Digest. 19 January 1945 [AFHRA folder 519.635 1945 Intelligence Digest; AFHRA A5729 electronic version pp. 255 onward and 561 onward; NARA RG 319, Entry UD-1041, Box 27, Folder 925497]].**

1. In the following paragraphs are listed the actual or potential weapons which the Germans may use against USSTAF operations in 1945. For the most part they include the so-called V weapons. No consideration is given to those for which there is lacking evidence of possible use for some time to come. [...]

5. **MAGNETIC WAVE:** The best information available is from very secret and reliable sources, and forces the conclusion that this weapon exists as a possibility. It is designed to cause failure of various electrical apparatus in aircraft. [...]

[See document photos on pp. 5338–5340.

Point 1 above suggests that there is significant evidence for those weapons that are then listed.

Point 5 shows that an EMP weapon was reported by “very secret and reliable sources.”]

**V. W. Petersen, Headquarters United States Strategic Air Forces in Europe (Rear), Office of the Director of Intelligence, to General George C. McDonald. 24 January 1945. Preliminary Report on Suspected Magnetic Ray. [AFHRA A1263 frames 141–142]**

1. This is a preliminary report on investigation of the P-38 aircraft which flew sortie No. 3832 over Frankfurt and the interrogation of the Pilot, Lt. Hitt. Over this area the Pilot encountered a freakish condition which indicates that the enemy may be using some new device (suspected as being a magnetic ray) as a defence measure against our aircraft.

2. The Pilot made three passes over the target area which was the northern part of Frankfurt for the purpose of taking aerial photographs. He took a number of frames on his first two passes, at approximately 22,000 ft. and 20,000 feet, but on his third pass at 17,500 ft. he ran into trouble with his aircraft. At this time he was flying in a straight slightly climbing condition, no flak of any kind was encountered and no evasive action was taken during the whole time over the target area.

3. In beginning his third pass his instruments began acting up and his left engine became very rough. [...]

4. The other gauges and instruments which were affected included the fuel level gauges, gyro compass and the artificial horizon. The hands on the fuel level gauges started spinning in the same direction. The gyro compass was also spinning through 360° revolutions. The Pilot caged the compass at three different times and after uncaging each time the compass continued to spin through 360° revolutions. The artificial horizon was floating in a peculiar attitude so that it could not be used. [...]

8. The instruments on Lt. Hitt’s ship continued acting up for a period of eight to ten minutes; after this time they appeared to be functioning properly. [...]

**Taylor Drysdale, P/W and X Detachment, U.S. Military Intelligence Service, to Col. H. G. Bunker, Director of Technical Services, Hq. USSTAF (Rear). 25 January 1945. ETOIB/Ext No. 101. [AFHRA A1263 frame 148]**

The following information was given by German P/W (W/T Specialist) on German Experiments with Remote Control of Automobile and Airplane Motors.

(This material was written originally by P/W in German and has since been translated into English.)

In the year 1934 successful experiments were made in Germany on the paralyzing of combustion in Automobile Engine viz. the stopping of the motors. Subject heard also last year from a Laboratory Engineer of the Weapons Office, that vehicles and motors could be stopped at a distance of 150 meters (about 166 yards).

An Engineer belonging to a Research Institute of the R.M.V. who attended these experiments, said that the same thing could be done with airplanes.

In 1938, two German Aircraft Plants were entrusted with the order to study motors for aircraft without electrical ignition.

Between Augsburg and Munich, experiments were made in driving an electric motor by wireless.

During the last experiments a small ventilator motor (in Augsburg) was set in motion by a dispatcher controlled in Munich. The power used by the dispatching station in Munich was reported to be very strong.

[Unfortunately none of the available reports on German EMP weapons give any technical details about how the weapons actually worked. If such weapons were indeed developed during the war, how exactly did they generate an EMP? What was their range?

Several countries now have non-nuclear EMP weapons [see for example Fig. C.59 and <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a332511.pdf> <https://sgp.fas.org/othergov/doe/lanl/pubs/00326620.pdf> and additional scientific references cited at the end of [https://en.wikipedia.org/wiki/Explosively\\_pumped\\_flux\\_compression\\_generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Explosively_pumped_flux_compression_generator)].

Were these modern weapons derived from captured hardware, documents, or personnel from wartime German EMP programs?]



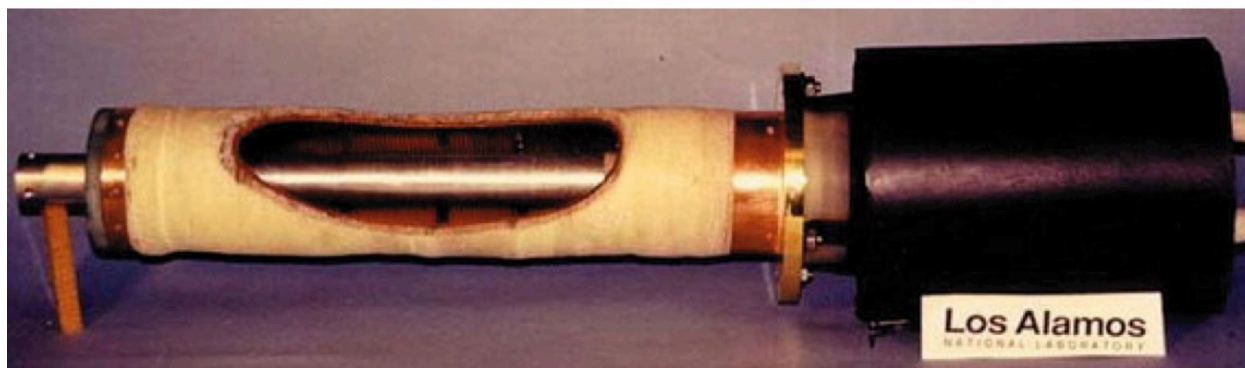
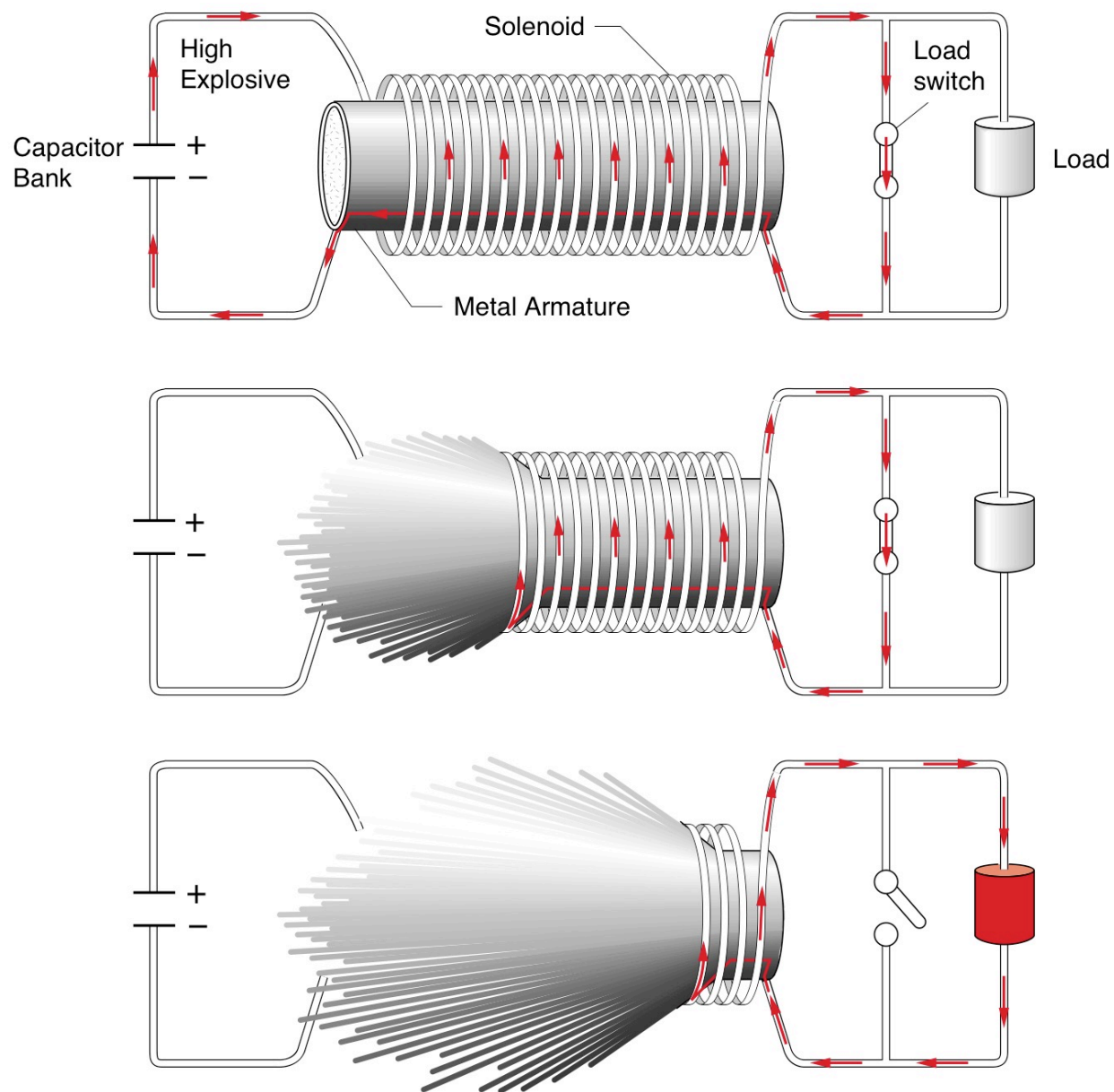


Figure C.59: Example of a modern electromagnetic pulse weapon.

### C.3 Lasers

[A laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) produces light that all has the same wavelength and the same phase, which enables all of the optical power to be concentrated into just one wavelength or color instead of a broader spectrum, and also allows the beam to remain much more tightly focused than a normal beam of light can. (Because the laser light all has the same wavelength and phase unlike a normal light beam, constructive interference with itself keeps it on course, and destructive interference with itself prevents it from veering off course.) According to official histories, the idea of a laser was not proposed until the late 1950s by Charles Townes, Arthur Schawlow, and Gordon Gould, and the first laser was not built until 1960 by Theodore Maiman, all in the United States.<sup>1</sup> As the following documents illustrate, most of the discoveries and innovations that led to lasers were made much earlier by German-speaking scientists, and there is some evidence that German-speaking scientists may have even been the first to produce a working laser. Documents on the German-derived work were sent to the United States and may have directly contributed to the U.S. work in this field in the late 1950s and early 1960s. Much more archival research is needed to investigate the complete history and the true impact of work in this field by German-speaking scientists [Albrecht 2019; Bertolotti 2015; Lemmerich 1987].]

**Walter Isaacson. 2007. *Einstein: His Life and Universe*. pp. 322–323.**

Einstein used Bohr’s model as the foundation for a series of papers in 1916, the most important of which, “On the Quantum Theory of Radiation,” was also formally published in a journal in 1917.

Einstein began with a thought experiment in which a chamber is filled with a cloud of atoms. They are being bathed by light (or any form of electromagnetic radiation). Einstein then combined Bohr’s model of the atom with Max Planck’s theory of the quanta. If each change in an electron orbit corresponded to the absorption or emission of one light quantum, then—presto!—it resulted in a new and better way to derive Planck’s formula for explaining blackbody radiation. As Einstein boasted to Michele Besso, “A brilliant idea dawned on me about radiation absorption and emission. It will interest you. An astonishingly simple derivation, I should say *the* derivation of Planck’s formula. A thoroughly quantized affair.”

Atoms emit radiation in a spontaneous fashion, but Einstein theorized that this process could also be stimulated. A roughly simplified way to picture this is to suppose that an atom is already in a high-energy state from having absorbed a photon. If another photon with a particular wavelength is then fired into it, two photons of the same wavelength and direction can be emitted.

What Einstein discovered was slightly more complex. Suppose there is a gas of atoms with energy being pumped into it, say by pulses of electricity or light. Many of the atoms will absorb energy and go into a higher energy state, and they will begin to emit photons. Einstein argued that the presence of this cloud of photons made it even more likely that a photon of the same wavelength and direction as the other photons in the cloud would be emitted. This process of stimulated emission would, almost forty years later, be the basis for the invention of the laser, an acronym for “light amplification by the stimulated emission of radiation.”

---

<sup>1</sup>See for example: Bertolotti 2015; Bromberg 1991; Hecht 2010; Taylor 2000; Townes 1999.

***Strahlungs-Emission und -Absorption  
nach der Quantentheorie;***

***von A. Einstein.***

(Eingegangen am 17. Juli 1916.)

Als PLANCK vor 16 Jahren die Quantentheorie ins Leben rief, und seine Strahlungsformel aufstellte, schlug er folgenden Weg ein. Er berechnete die mittlere Energie  $\bar{E}$  des Resonators in Funktion der Temperatur nach von ihm neu aufgestellten, quantentheoretischen Grundsätzen und bestimmte dann hieraus die Strahlungsdichte  $\rho$  in Funktion der Frequenz  $\nu$  und der Temperatur, indem er auf elektromagnetischem Wege die Beziehung zwischen Strahlungsdichte und Resonatorenergie  $\bar{E}$  aufstellte:

$$\bar{E} = \frac{c^3 \rho}{8\pi \nu^2}. \quad 1)$$

Seine Ableitung war von beispielloser Kühnheit, fand aber glänzende Bestätigung. Es bestätigte sich nicht nur die Strahlungsformel selbst und der aus derselben berechnete Wert des Elementarquantums, sondern auch der für  $\bar{E}$  quantentheoretisch berechnete Wert durch die späteren Untersuchungen über die spezifische Wärme. Es bestätigte sich somit auch die auf rein elektromagnetischem Wege gewonnene Gleichung 1). Unbefriedigend blieb es aber, daß die elektromagnetisch-mechanische Betrachtung, welche zu 1) führt, mit der Grundidee der Quantentheorie nicht vereinbar ist, und es ist nicht verwunderlich, wenn PLANCK selbst und alle Theoretiker, die sich mit der Materie befassen, unaufhörlich bemüht sind, die Theorie so umzugestalten, daß sie auf widerpruchsfreien Voraussetzungen beruht.

Seit die BOHRsche Theorie der Spektre ihre großen Erfolge erzielt hat, scheint es nicht zweifelhaft zu sein, daß die Grundidee der Quantentheorie festgehalten werden muß. Es scheint also die Einheitlichkeit der Theorie dadurch hergestellt werden zu müssen, daß die elektromagnetisch-mechanischen Betrachtungen, welche PLANCK zu der Gleichung 1) führten, durch quantentheoretische Betrachtungen über die Wechselwirkung von

Figure C.60: Albert Einstein first proposed the idea of stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) in 1916 [*Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* (1916) 18:13–14:318–323].



Separat-Abdruck aus:  
Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft Zürich - Nr. 18, 1916.

## Zur Quantentheorie der Strahlung

von A. Einstein.

Die formale Ähnlichkeit der Kurve der chromatischen Verteilung der Temperaturstrahlung mit dem Maxwell'schen Geschwindigkeits-Verteilungsgesetz ist zu frappant, als daß sie lange hätte verborgen bleiben können. In der Tat wurde bereits W. Wien in der wichtigen theoretischen Arbeit, in welcher er sein Verschiebungsgesetz

$$q = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right) \quad (1)$$

ableitete, durch diese Ähnlichkeit auf eine weitergehende Bestimmung der Strahlungsformel geführt. Er fand hiebei bekanntlich die Formel

$$q = \alpha \nu^3 e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (2)$$

welche als Grenzgesetz für große Werte von  $\frac{\nu}{T}$  auch heute als richtig anerkannt wird (Wien'sche Strahlungsformel). Heute wissen wir, daß keine Betrachtung, welche auf die klassische Mechanik und Elektrodynamik aufgebaut ist, eine brauchbare Strahlungsformel liefern kann, sondern daß die klassische Theorie notwendig auf die Reileigh'sche Formel

$$q = \frac{k}{h} \alpha \nu^2 T \quad (3)$$

führt. Als dann Planck in seiner grundlegenden Untersuchung seine Strahlungsformel

$$q = \alpha \nu^3 \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (4)$$

auf die Voraussetzung von diskreten Energie-Elementen gegründet hatte, aus welcher sich in rascher Folge die Quantentheorie entwickelte, geriet jene Wien'sche Überlegung, welche zur Gleichung (2) geführt hatte, naturgemäß wieder in Vergessenheit.

Vor kurzem nun fand ich eine der ursprünglichen Wien'schen Betrachtung <sup>1)</sup> verwandte, auf die Grundvoraussetzung der Quanten-

<sup>1)</sup> Verh. d. deutschen physikal. Gesellschaft, Nr. 13/14, 1916, S. 318. In der vorliegenden Untersuchung sind die in der eben zitierten Abhandlung gegebenen Überlegungen wiederholt.

Figure C.61: Albert Einstein first proposed the idea of stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) in 1916 [*Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft Zürich* (1916) 18:47–62].

## Die räumliche Energieverteilung in der Hohlraumstrahlung.

Von **W. Bothe** in Charlottenburg.

(Eingegangen am 23. Oktober 1923.)

Einleitung. Die Hohlraumstrahlung ist ein statistisches Phänomen und muß als solches auch Schwankungserscheinungen aufweisen. Die theoretische Bedeutung der Energieschwankungen schätzt H. A. Lorentz<sup>1)</sup> so hoch ein, daß er von ihnen den Schlüssel für die ganze Strahlungstheorie erwartet. Dies ist folgendermaßen zu verstehen: Ist die mittlere Energie  $E$  eines Systems als Funktion der Temperatur  $T$  bekannt, so liefert die statistische Mechanik ohne weiteres einen Ausdruck für das mittlere Quadrat der Energieschwankungen  $\overline{\mathcal{J}^2}$ :

$$\overline{\mathcal{J}^2} = kT^2 \frac{dE}{dT}, \quad (1)$$

wo  $k$  die Boltzmannsche Konstante ist. Auf die Plancksche Strahlungsformel

$$E = \frac{\alpha \nu^3}{e^{h\nu/T} - 1} V \quad (2)$$

angewandt, lautet diese Gleichung:

$$\overline{\mathcal{J}^2} = h\nu E + \frac{h}{\alpha \nu^2} \frac{E^2}{V}, \quad (3)$$

wenn  $V$  das betrachtete Strahlungsvolumen ist; die übrigen Bezeichnungen sind die üblichen<sup>2)</sup>. Jede Hypothese über die Struktur der Strahlung muß mit dieser Gleichung im Einklang sein. Nimmt man z. B. an, daß die Energie der Schwingungszahl  $\nu$  in diskreten, voneinander unabhängigen Strahlungsquanten von der Größe  $h\nu$  konzentriert ist, so findet man nach Analogie mit den Dichteschwankungen in einem idealen Gase:

$$\overline{\mathcal{J}^2} = h\nu E.$$

<sup>1)</sup> H. A. Lorentz, *Les Theories Statistiques en Thermodynamique*. Leipzig, Teubner, 1916. S. 59.

<sup>2)</sup> Vgl. z. B. F. Reiche, *Die Quantentheorie*. Berlin, Springer, 1921. S. 178.

<sup>3)</sup> A. Einstein, *Phys. ZS.* **10**, 189, 1909; vgl. auch M. v. Laue, *Verh. d. D. Phys. Ges.* **17**, 198, 1915.

Figure C.62: Walther Bothe further developed the theory of stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) in 1923 [*Zeitschrift für Physik* (1923) 20:1:145–152].

Jost Lemmerich. 2011. *Science and Conscience: The Life of James Franck*. pp. 64–65.

[James Franck] pointed out furthermore that in electrical excitation of gases and vapors the series of spectrum lines are stimulated only very incompletely, since the higher terms of the series are weak in intensity. On the basis of his 1916 research with Hertz, Franck realized that this difficulty could be circumvented if a gas with a low excitation potential was added to one with a high excitation potential. Then very sharply defined lines of a sufficient intensity are easily obtained for the higher series of the gas of low excitation potential. Thus with an admixture of helium, hydrogen could be analyzed well. Such experiments became an important tool for verifying the different theories.

The next three papers brought Franck step by step closer to an experimental proof of a new behavior of electrons in the excited state inside an atom. Many decades later, these results would prove useful in the development of the laser.

[...] A footnote contained a premonition of the future discovery of the laser:

[O]n the whole, the interesting fact that according to Paschen excited helium, that is, helium in an alkali-like state, exhibits a resonance emission, seems to us to offer a hint that the alkali-like state of helium is somewhat metastable. An electron raised out of this orbit into the next one always returns to this biquantum orbit and never jumps directly into the monoquantum stable orbit.

Franck was clearly on the way to discovering the metastable state of helium. The issue of the *Physikalische Zeitschrift* containing this paper appeared on November 1 [1919].

Heinrich Gerhard Kuhn. 1965. James Franck 1882–1964. *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 11:52–74.

[<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsbm.1965.0004>]

Jointly with a number of co-workers Franck continued the study of the inelastic collisions of electrons with both atoms and molecules, of *excitation-* and *ionization-potentials*, but now with Bohr's theory as a guiding principle. The theoretical adviser of the group was Fritz Reiche, and it was Franck, Knipping and Reiche who coined the word '*metastable level*' and established the important part of metastable states in excitation processes. The question of how metastable atoms finally lose their energy, now strongly occupied Franck's attention.



**Jost Lemmerich. 1987. *Zur Geschichte der Entwicklung des Lasers*. Berlin: DAVID. pp. 22–26, 59–60**

In Berlin, an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, war schon vor dem Ersten Weltkrieg Walther Bothe, der bei Planck promoviert hatte, für Hans Geiger als Mitarbeiter eingestellt worden. Bothe veröffentlichte 1923 als Fortführung der Arbeit Einsteins: “*Die räumliche Energieverteilung in der Hohlraumstrahlung*” <9>. In der Einleitung faßte er noch einmal die Ergebnisse von Einsteins Veröffentlichungen zusammen und benutzt dabei die Nomenklatur *spontane Emission* für den üblichen Vorgang der Ausstrahlung bei der Anregung von Atomen, *Absorption* bzw. *positive Einstrahlung* und *erzwungene Emission* bzw. *negative Einstrahlung*. Wörtlich heißt es dann bei der Interpretation von Einsteins Ergebnissen:

“*Weiterhin schließt Einstein durch Impulsbetrachtungen, daß ein ungestörtes thermodynamisches Gleichgewicht zwischen der Strahlung und der Wärmebewegung eines Gases nur möglich ist, wenn die drei angegebenen Elementarprozesse streng gerichtet verlaufen, d.h. absorbiert eine Molekül Strahlung, so entnimmt sie diese einem Strahlenbündel von unendlich kleiner Konvergenz; entsprechend wird bei der Emission die Energie in einem unendlich kleinen Raumwinkel gestrahlt, sie breitet sich nicht seitlich aus; im Falle der erzwungenen Emission ist die Emissionsrichtung genau die desjenigen einfallenden Strahlenbündels, welches die Emission verursacht, während die Richtung der spontane Emission dem Zufall unterliegt.*”

Wiederum war damit deutlich ausgesprochen, daß die erzwungene, stimulierte Emission zu einer Lichtquelle in einem kleinen Raumwinkel führen müßte. Die Frage der Kohärenz wird—wie auch bei Einsteins Arbeit—durch Bothe nicht angesprochen.

In Berlin, at the Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Walther Bothe, who had completed his doctorate under Planck, had already been employed by Hans Geiger before the First World War. Bothe published in 1923 as a continuation of Einstein’s work: “*The spatial energy distribution in cavity radiation*” <9>. In the introduction he once again summarized the results of Einstein’s publications and used the nomenclature *spontaneous emission* for the usual process of radiation from the excitation of atoms, *absorption* or *positive irradiation* and *stimulated emission* or *negative irradiation*. The interpretation of Einstein’s results literally means:

“*In addition, Einstein concludes by impulse considerations that an undisturbed thermodynamic equilibrium between the radiation and the thermal motion of a gas is only possible if the three specified elementary processes are strictly directional, i.e. if a molecule absorbs radiation, it takes it from a beam of infinitely small convergence; accordingly, during emission, the energy is radiated in an infinitely small solid angle, it does not propagate laterally; in the case of stimulated emission, the direction of emission is exactly that of the incident beam causing the emission, while the direction of spontaneous emission is random.*”

Again it was clearly stated that the forced, stimulated emission must lead to a light source within a small solid angle. The question of coherence is not addressed by Bothe—as also in Einstein’s work.

Der Hauptteil der Botheschen Arbeit behandelt den Vorgang des Auftretens von Quantenpaaren, also doppelten und mehrfachen davon, bei der erzwungenen Emission. Bothe gibt auch eine Methode zum Nachweis der Quantenpaare an.

Nur ein Jahr nach Bothes Arbeit erschien das *Physikalische Handwörterbuch* <10>, herausgegeben von Arnold Berliner und Karl Scheel. Für das Stichwort Lichtquanten referiert A. Smekal. Während Smekal die Lichtquantenhypothese Einsteins für die Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie anerkennt, fährt er fort:

*“Einsteins Betrachtungen über das Impulsgleichgewicht zwischen Materie und Strahlung (s. Nadelstrahlung) beweisen zwar, daß die Strahlungsemission nicht in Kugelwellen—wie nach der klassischen Elektrodynamik—, sondern im gewissen Sinne einseitig, also gerichtet, erfolgt, was zweifellos nicht zu ungunsten der Lichtquanten spricht, doch lassen sich bindende Schlüsse auf die Eigenschaft freier Lichtquanten hieraus ebenfalls nicht ziehen. Eine endgültige Beurteilung der Lichtquantenhypothese, die übrigens zu gewissen Schwierigkeiten mit dem Kausalitätsprinzip zu führen scheint, ist daher bis jetzt noch nicht möglich gewesen.”*

Seit 1900 hatte die Experimentalphysik große Fortschritte gemacht. Für die technische Durchgestaltung der Glühlampe war es notwendig gewesen, bessere Vakuumpumpen zu entwickeln. Ebenso erforderte die Herstellung von Verstärkerröhren einfach zu handhabende Hochvakuumumpen. Diese technischen Möglichkeiten der Vakuumherzeugung nutzen die Physiker, um ihrerseits intensiv die Erforschung der Physik der Gasentladungen aufzugreifen.

The main part of Bothe’s work deals with the process of the occurrence of quantum pairs, i.e. double and multiple quantum pairs, in stimulated emission. Bothe also gives a method for the detection of quantum pairs.

Only one year after Bothe’s work the *Dictionary of Physics* <10>, edited by Arnold Berliner and Karl Scheel, appeared. A. Smekal writes the entry on light quanta. While Smekal acknowledges Einstein’s light quantum hypothesis for the interaction between radiation and matter, he continues:

*“Einstein’s considerations about the impulse equilibrium between matter and radiation (see directional radiation) prove indeed that the radiation emission does not take place in spherical waves—like according to the classical electrodynamics—, but is in a certain sense one-sided, thus directed, which undoubtedly does not speak to the disadvantage of the light quanta, but binding conclusions about the property of free light quanta cannot be drawn from this either. A final evaluation of the light quantum hypothesis, which by the way seems to lead to certain difficulties with the causality principle, has therefore not yet been possible.”*

Since 1900 experimental physics had made great progress. For the technical design of the incandescent lamp it had been necessary to develop better vacuum pumps. The manufacture of amplifier tubes also required high-vacuum pumps that were easy to handle. The physicists used these technical possibilities of vacuum generation to intensively investigate the physics of gas discharges.

Am Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie in Berlin untersucht Fritz Reiche und Paul Knipping unter Leitung von James Franck die Wechselwirkung von Elektronen mit Atomen. Regt man Atome mit Elektronen an, wie dies James Franck und Gustav Hertz in ihrem klassischen Experiment 1913 getan hatten, so kann man nicht nur die Energieniveaus der Elektronen im Atom bestimmen, sondern konnte damals bereits erste Angaben über die Lebensdauer der angeregten Zustände machen. In der Veröffentlichung von 1920 in der Zeitschrift für Physik beschreiben Franck und Reiche die Ergebnisse ihrer Messungen an Helium <11>. Die übliche Verweilzeit von Elektronen im angeregten Zustand beträgt nur etwa  $10^{-8}$  Sekunden. Franck und Reiche konnten zeigen, daß im angeregten Helium ein Zustand existierte, der wesentlich langlebiger ist, den sie metastabilen Zustand nannten. Dieser metastabile Zustand hat ein etwas niedrigeres Energieniveau als der sehr viel kurzlebige.

Nachdem James Franck einen Ruf an die Universität Göttingen annahm, führte er dort mit seinen Mitarbeitern die Untersuchungen weiter und fand, daß es bei Gasgemischen möglich ist, über die Anregung eines Bestandteiles der andern Bestandteil anzuregen. Dies geschieht durch die Übertragung der Anregungsenergie, ohne daß es dabei zur Aussendung von Strahlung kommt. Man bezeichnet dies als Stöße zweiter Art <12>.

Nach dem Fortgang von Franck nach Göttingen trat Rudolf Ladenburg in das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie ein und Ende der 20er Jahre erschien in rascher Folge eine Reihe von Arbeiten über die Untersuchung der anomalen Dispersion bei Gasentladungen <13>.

At the Kaiser Wilhelm Institute for Physical Chemistry in Berlin, Fritz Reiche and Paul Knipping, led by James Franck, are investigating the interaction of electrons with atoms. If one excites atoms with electrons, as James Franck and Gustav Hertz had done in their classical experiment of 1913, then one can not only determine the energy levels of the electrons in the atom, but could also make initial statements about the lifetime of the excited states at that time. In the publication of 1920 in the Zeitschrift für Physik Franck and Reiche describe the results of their measurements of helium <11>. The usual residence time of electrons in the excited state is only about  $10^{-8}$  seconds. Franck and Reiche were able to show that in excited helium a state existed which is much more long-lived, which they called a metastable state. This metastable state has a slightly lower energy level than the much shorter one.

After James Franck accepted a call to the University of Göttingen, he and his colleagues continued the investigations and found that in gas mixtures it is possible to stimulate one component by stimulating the other component. This is done by transferring the excitation energy without emitting radiation. This is called second type shock <12>.

After Franck had left for Göttingen, Rudolf Ladenburg joined the Kaiser Wilhelm Institute for Physical Chemistry and at the end of the 1920s a series of papers on the investigation of the anomalous dispersion in gas discharges <13> appeared in rapid succession.



Ladenburg arbeitete mit verschiedenen Mitarbeitern zusammen, u.a. mit Hans Kopfermann. Das Ziel ihrer Versuche war die Untersuchung des Gleichgewichtes zwischen den Elektronen und angeregten Atomen. Dazu führten sie spektroskopische Messungen an Gasentladungen durch, die in verhältnismäßig dünnen und langen Röhren—ähnlich den späteren Laser-Röhren—brannten. Durch die angewendeten Anregungsbedingungen erreichten sie eine sogenannte Inversion der Besetzungszustände im Neon. Das heißt, in einem angeregten Energieniveau befanden sich mehr Elektronen als im Grundzustand. Eine Grundbedingung, um einen Laser zu betreiben.

Zusammenfassend referierte Ladenburg über diese Arbeiten nach seiner Übersiedlung nach Amerika vor 1933 in der Zeitschrift *Reviews of Modern Physics* unter dem Titel “*Dispersion in electrically excited gases*” <14>.

Franck und Ladenburg waren mit Einstein, der immer an experimentellen Arbeiten interessiert war, gut befreundet. Es ist verwunderlich, daß sie offenbar niemals über diese Arbeiten im Zusammenhang mit seinem Ideen über die erzwungene Emission diskutierten, zumal Ladenburg bei seinem Arbeiten zusammen mit Levy zur Untersuchung der Struktur den Linien seiner Gasentladungen ein Fabry-Perot-Interferometer <15> anwendete. Dieses Interferometer besteht aus zwei senkrecht in einem festen Abstand zueinander stehenden Spiegeln. Es stellt einer Art optischen Hohlraumresonator dar und kann als Rückkopplung der Strahlung in den dazwischenliegenden Hohlraum betrachtet werden. (Die damals verwendeten Spiegel mit versilberten Oberflächen hätten allerdings nicht die Möglichkeit zugelassen, mit einer Gasentladung einen Laser in Gang zu setzen, da die Reflexion zu niedrig war.)

Ladenburg worked with various collaborators, including Hans Kopfermann. The aim of their experiments was to investigate the equilibrium between electrons and excited atoms. For this purpose they carried out spectroscopic measurements on gas discharges, which glowed in relatively thin and long tubes, similar to the later laser tubes. Through the applied excitation conditions they achieved a so-called inversion of the occupation states in the neon. This means that in an excited energy level there were more electrons than in the ground state. A basic condition for operating a laser.

As a summary, Ladenburg spoke about these works after his move to America before 1933 in the journal *Reviews of Modern Physics* under the title “*Dispersion in electrically excited gases*” <14>.

Franck and Ladenburg were good friends with Einstein, who was always interested in experimental work. It is surprising that they apparently never discussed this work in connection with his ideas about stimulated emission, especially since Ladenburg and Levy used a Fabry-Perot interferometer <15> to investigate the structure of the gas discharge lines. This interferometer consists of two perpendicular mirrors at a fixed distance from each other. It is a kind of optical cavity resonator and can be considered as feedback of the radiation into the intermediate cavity. (The mirrors with silver-plated surfaces used at that time, however, would not have allowed the possibility of starting a laser with a gas discharge, since the reflection was too low.)

[Lemmerich’s claim that German mirrors circa 1930 were not good enough to make a laser is false. Companies such as Zeiss and Leitz had been making extremely high-quality optical components, including mirrors, since the mid-1800s. Moreover, it is actually preferable for one or both mirrors of a laser not to be perfectly reflecting, so that some of the light can escape to form a beam.]

Im Oktober 1932 schloß Max Born das Manuskript für sein Buch “*Optik—ein Lehrbuch der elektromagnetischen Lichttheorie*” <16> ab. Es wurde einer Generation von Physikern, die sich mit der Theorie der Optik beschäftigten, das wichtigste Lehrbuch. Als die Radartechnik während des Zweiten Weltkrieges entwickelt wurde, griff man auf Borns grundlegendes Buch zurück, denn eine Verbindung von Hochfrequenztechnik und Optik bahnte sich an.

Born ging in seinem Buch ausführlich auf die Erscheinungen der Interferenz und Kohärenz sowie der stehenden Wellen ein, die bereits Wiener 1899 beim Licht nachgewiesen hatte. Detailliert beschrieb er auch die Interferometer, wie das von Fabry-Perot. Als theoretischer Physiker widmete er besondere Sorgfalt den theoretischen Betrachtungen über das Verständnis der Emission, Dispersion und anomalen Dispersion. Born referierte sowohl Einsteins wie auch Ladenburgs Arbeiten. Jedoch wurden Begriffe wie Rückkopplung und phasengerechte Verstärkung im Zusammenhang mit Emissionsvorgängen nicht diskutiert.

In October 1932, Max Born completed the manuscript for his book “*Optics—a Textbook of Electromagnetic Light Theory*” <16>. It became the most important textbook for a generation of physicists working in the theory of optics. When radar technology was developed during the Second World War, Born’s basic book was used because a combination of high frequency technology and optics was emerging.

In his book Born dealt in detail with the phenomena of interference and coherence as well as standing waves, which had already been demonstrated by Wiener in 1899. He also described the interferometers in detail, such as that of Fabry-Perot. As a theoretical physicist he devoted special attention to theoretical considerations about the understanding of emission, dispersion and anomalous dispersion. Born lectured on both Einstein’s and Ladenburg’s work. However, terms such as feedback and phase-adjusted gain were not discussed in connection with emission processes.

Ein Ansatz zum Bau einer intensiven monochromatischen kohärenten Lichtquelle für Untersuchungen in der Optik zeigte sich nicht. Beim Experimentieren mußte man sich mit vorgeschalteten Filtern und einer Lochblende begnügen, um eine kohärente Lichtquelle aus dem Licht einer Glühlampe zu realisieren. Die Intensität war infolge der verwendeten Lochblende meist nur sehr gering und führte zu langen Belichtungszeiten. Ein wenig besser waren gekühlte Spektrallampen; vor allen Dingen die Lampen mit Thallium-Füllung wurden für interferometrische Untersuchungen verwendet. Die Entwicklung von Niederdruckspektrallampen war durch viele Physiker gefördert worden, so auch durch den ungarischen Physiker Dennis Gábor <17>, als er Mitarbeiter der Firma Siemens war. Nach seiner Emigration war er auf vielen Gebieten der angewandten Physik tätig. Ihm gelang 1948 eine aufsehenserregende Erfindung, die Abspeicherung eines dreidimensionalen Bildes auf der zweidimensionalen Photoplatte, die Holographie. Für die Aufnahme benötigte man monochromatische Lichtquelle großer Kohärenzlänge. Aber es gab sie damals noch nicht, und so ging die Entwicklung der Holographie nur langsam voran, denn man konnte nur kleine Objekte aufnehmen. Offenbar hat auch Gábor selbst dieses Problem der Lichtquelle nicht zu lösen versucht <18>.

[...]

**9 Bothe, Walter:** Zeitschrift für Physik, **20** (1923), H. 2, S. 145.

**10 Berliner, Arnold und Scheel, Karl:** Physikalisches Handwörterbuch, Berlin 1924.

**11. Franck, James u. Reiche, Fritz:** Zeitschrift für Physik, **1** (1920), S. 154.

An approach for the construction of an intense monochromatic coherent light source for investigations in optics was not found. When experimenting, one had to be content with filters and a pinhole diaphragm in order to realize a coherent light source from the light of an incandescent lamp. Due to the pinhole aperture used, the intensity was usually very low and led to long exposure times. Cooled spectral lamps were a little better; especially thallium-filled lamps were used for interferometric investigations. The development of low-pressure spectral lamps had been supported by many physicists, including the Hungarian physicist Dennis Gábor <17> when he worked for Siemens. After his emigration he worked in many fields of applied physics. In 1948 he succeeded in a sensational invention, the storage of a three-dimensional image on a two-dimensional photo plate, holography. Monochromatic light sources of long coherence length were required for the recording. But they did not exist at that time, and so the development of holography progressed only slowly, because only small objects could be recorded. Apparently Gábor himself did not try to solve this problem of the light source <18>.

[...]

**9 Bothe, Walter:** Journal of Physics, **20** (1923), no. 2, p. 145.

**10 Berliner, Arnold and Scheel, Karl:** Dictionary of Physics, Berlin 1924.

**11. Franck, James and Reiche, Fritz:** Zeitschrift für Physik, **1** (1920), p. 154.



**12. Franck, James:** Ergebnisse der Exakten Naturwissenschaften **2** (1920), S. 106.

**Franck, James und Jordan, Pascual** in: Handbuch der Physik, Bd. 23, 1926, S. 641.

**13. Kopfermann, Hans und Ladenburg, Rudolf:** Zeitschrift für Physik **48** (1928), S. 26, 51 und **65** (1930), S. 167.

**14. Ladenburg, Rudolf:** Reviews of Modern Physics **5** (1933), S. 243.

**15. Ladenburg, Rudolf und Levy, S.:** Zeitschrift für Physik **65** (1930), S. 189.

**16. Born, Max:** Optik—Ein Lehrbuch der Elektromagnetischen Lichttheorie, Berlin 1933.

**17. Gábor, Dennis** (früher Dénes) hat im Rahmen seiner Tätigkeit im Forschungslaboratorium der Siemens & Halske AG 1930 zwei Erfindungen über Metallbogenlampen angemeldet, auf die er 1933 die DRP 570606 und 570608 erteilt wurden.

18. Gábor schrieb am 28.5.1963 aus London an Max Born u.a. über Borns Aufsatz "The Scientist Speculates" sowie über seine Gedanken um 1950 einen Laser zu bauen. Er geht dabei auf das Problem, der Verantwortung Ideen zu publizieren, ein. Ein Problem, was sich besonders deutlich bei der Entwicklung des Lasers später zeigt, als immer wieder spekulative Ideen ohne Versuch der Realisierung veröffentlicht wurden und damit die Frage der Priorität nach dem gelungenen Experiment zu diskutieren war.

Der Brief befindet sich im Nachlaß Born, Handschriftenabteilung, Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz, Berlin.

**12. Franck, James:** Results of the Exact Natural Sciences **2** (1920), p. 106.

**Franck, James and Jordan, Pascual** in: Handbook of Physics, vol. 23, 1926, p. 641.

[See p. 3114.]

**13. Kopfermann, Hans and Ladenburg, Rudolf:** Journal of Physics **48** (1928), p. 26, 51 and **65** (1930), S. 167.

**14. Ladenburg, Rudolf:** Reviews of Modern Physics **5** (1933), S. 243.

**15. Ladenburg, Rudolf and Levy, S.:** Journal of Physics **65** (1930), S. 189.

**16. Born, Max:** Optics—A Textbook of Electromagnetic Light Theory, Berlin 1933.

**17. Gábor, Dennis** (formerly Dénes) has registered two inventions about metal arc lamps within the scope of his activity in the research laboratory of Siemens & Halske AG in 1930. In 1933 he was granted the DRP 570606 and 570608.

18. Gábor wrote on 28.5.1963 from London to Max Born about Born's essay "The Scientist Speculates" and about his thoughts about building a laser in 1950. He addresses the problem of the responsibility to publish ideas. This problem became particularly apparent later in the development of the laser, when speculative ideas were repeatedly published without any attempt at realization and the question of priority for the successful experiment was discussed.

The letter is in the estate of Born, Manuscript Department, Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz, Berlin.

# Anregung von Quantensprüngen durch Stöße.

(Mit Ausschluß der Erscheinungen an Korpuskularstrahlen  
hoher Geschwindigkeit.)

Von

J. FRANCK und P. JORDAN, Göttingen.

Mit 48 Abbildungen.

## I. Kinetik sehr langsamer Elektronen in Gasen und Dämpfen.

**1. Einleitung.** Zur experimentellen Bestimmung der Quantenmechanik bei Stoßprozessen, d. h. zur Feststellung der vielerlei Wechselwirkungen, die bei Zusammenstößen zwischen Atomen, Molekülen, Ionen und Elektronen im Gase vorkommen, ist es das sicherste, solche Experimente heranzuziehen, die gestatten, die Elementarprozesse gesondert voneinander zu untersuchen. Wir wollen daher im allgemeinen von der Besprechung der nur summarisch deutbaren Erscheinungen bei Gasentladungen absehen und den Hauptwert auf die Einzeluntersuchungen der Kinetik der Ionen und Elektronen, sowie der Atome und Moleküle legen. Die gaskinetischen Daten der Atome und Moleküle, soweit sie in der gewöhnlichen kinetischen Gastheorie behandelt werden, sollen dabei ebenfalls außer Betracht bleiben. In der aus diesem Programm sich ergebenden Gruppeneinteilung ist offenbar der einfachste Fall derjenige, daß Elektronen mit Atomen und Molekülen mit so kleiner Relativenergie zusammenstoßen, daß an den getroffenen Gebilden keine Quantensprünge angeregt werden können.

Die hierfür geltenden gaskinetischen Daten lassen sich auf prinzipiell noch einfachere Weise bestimmen als diejenigen der ungeladenen atomaren Gebilde, da die elektrische Ladung der Elektronen ein Mittel an die Hand gibt, sie im Gase in ganz geringen Konzentrationen nachzuweisen und zu untersuchen. Besonders wertvoll ist dabei, daß man zur Veränderung der kinetischen Energie der Ladungsträger nicht nur auf die Temperaturerhöhung angewiesen ist, sondern daß es auch möglich ist, durch Benutzung entsprechender elektrischer Felder den Ladungsträgern alle möglichen Werte von kinetischer Energie zu geben und in Nichtgleichgewichtsversuchen ihr Verhalten bei Zusammenstößen mit ungeladenen Atomen und Molekülen zu studieren. Ein anfangs ruhendes Elektron erhält beim Durchfallen einer Potentialdifferenz von  $V$  Volt eine kinetische Energie  $\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{300} eV$ ; mit  $m = 0,899 \cdot 10^{-27} \text{ g}$ ,  $e = 4,773 \cdot 10^{-10} \text{ e.s.}$  wird die Geschwindigkeit

$$v = 5,95 \cdot 10^7 \sqrt{V}. \quad (1)$$

Figure C.63: James Franck collaborated with many other scientists such as Pascual Jordan to conduct theoretical and experimental analyses of light emission from atoms (including aspects of stimulated emission) during the late 1910s and the 1920s [*Handbuch der Physik* (1926) 23:641–775].

**Hendrik A. Kramers. 1925. *Skand. Mat. Kongr.* p. 145 [quoted in Bertolotti 2015, pp. 20–21].**

If the atom is in one of its higher states, also terms belonging to the second sum inside the brackets of [equation] will appear. In the neighborhood of the frequency  $\nu_{em}$  of an emission line, the atom will then give rise to an anomalous dispersion of similar kind as in the case of an absorption line, with the difference that the sign of P is reversed. **This so-called *negative dispersion* is closely connected with the prediction made by Einstein that the atom for such a frequency will exhibit a *negative absorption*, that is, light waves of this frequency, passing through a great number of atoms in the state under consideration, will increase in intensity.**

[In 1920–1921, Christian Füchtbauer (German, 1877–1959) and Rudolf Ladenburg (German, 1882–1952) wrote the first papers using newly developed quantum physics methods to calculate normal or positive absorption of light, as well as negative absorption or light amplification due to stimulated emission of photons in a material composed of excited atoms:

Christian Füchtbauer. 1920. Die Absorption in Spektrallinien im Lichte der Quantentheorie. *Physikalische Zeitschrift* 21:322–324.

Rudolf Ladenburg. 1921. Die quantentheoretische Deutung der Zahl der Dispersions-elektronen. *Zeitschrift für Physik* 4:451–468.

Their theoretical result is now known as the Füchtbauer–Ladenburg equation for calculating the optical gain or light amplification of a laser material containing excited atoms.

Based on those theoretical predictions, Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie (such as Hans Kopfermann, Agathe Carst, S. Levy, and Günther Wolfsohn) conducted experiments from the 1920s until 1931 that conclusively demonstrated the existence of stimulated emission and optical amplification in electrically excited gases. Examples of some of the resulting papers are shown on pp. 3116–3127.

However, rising antisemitism in Germany drove Ladenburg to the United States, where he accepted a position in 1931. In 1933, Ladenburg published one last paper on the topic from the United States, basically summarizing the research he had conducted in Germany. It appears that he was unable to interest U.S. sponsors in funding him to continue his revolutionary research program.

If Ladenburg had been allowed to continue leading his research group at the Kaiser Wilhelm Institut, his group might have produced the first laser as early as the 1930s. Even so, his numerous, highly detailed, and highly visible publications on stimulated emission in electrically excited gases had an enormous influence on later work in the German-speaking world, the United States, and elsewhere.]

**Rudolf Ladenburg. 1933. Dispersion in Electrically Excited Gases. *Reviews of Modern Physics* 5:243.**

**All these different experiments prove without doubt** that the population of the P levels does increase with the current, and so much so that above 100 mA, the ratio  $Q (= N_k g_j / N_j g_k)$  has appreciable value. Therefore the experiments shown by the curves [...] prove the influence of the negative term in the dispersion formula. **This “negative dispersion” corresponds to the negative absorption of the theory of radiation** and to the term -1 in the denominator of Planck’s formula for the radiation of a black body as is easily shown by Einstein’s derivation of this formula.

(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie.)

## Untersuchungen über die anomale Dispersion angeregter Gase\*.

I. Teil.

### Zur Prüfung der quantentheoretischen Dispersionsformel.

Von **Rudolf Ladenburg** in Berlin-Dahlem.

Mit 2 Abbildungen. (Eingegangen am 17. Dezember 1927.)

Die quantentheoretische Dispersionsformel für den Brechungsquotienten eines verdünnten Gases nahe einer isolierten Spektrallinie, aber außerhalb des eigentlichen Absorptionsgebietes lautet

$$n - 1 = \frac{e^2}{4 \pi c^2 m} \frac{\lambda_{kj}^3}{\lambda - \lambda_{kj}} N_j f_{kj} \left( 1 - \frac{N_k g_j}{N_j g_k} \right),$$

wobei die „Oszillatorenstärke“

$$f_{kj} = A_{kj} \frac{g_k}{g_j} \frac{m c^3}{8 \pi^2 e^2 \nu_{kj}^2}$$

ist. Daher entspricht die in der klassischen Dispersionsformel auftretende „Zahl der Dispersionselektronen“  $\mathfrak{R}$  dem Ausdruck

$$N_j f_{kj} \left( 1 - \frac{N_k g_j}{N_j g_k} \right).$$

Der Klammerausdruck enthält den Einfluß der „negativen“ Dispersion,  $N_j$  und  $N_k$  sind die Atomdichten in den Zuständen  $j$  und  $k$ ,  $g_j$  und  $g_k$  die zugehörigen statistischen Gewichte.  $A_{kj}$  ist die Einsteinsche Übergangswahrscheinlichkeit. Es wird auf Grund vorliegender Versuche gezeigt, daß sich die angegebene Beziehung zwischen  $f$  und  $A$  im Fall der  $D$ -Linien des Na exakt bestätigt. Ferner wird an Hand der Dispersionsformel dargelegt, wie man mittels Messung anomaler Dispersion Übergangswahrscheinlichkeiten und Dichte angeregter Atome bestimmen, und unter welchen Umständen man eventuell den Einfluß der negativen Dispersion nachweisen kann.

1. Die erste erfolgreiche Behandlung der Dispersionserscheinungen auf Grund der Bohrschen Atomtheorie\*\* enthielt implizite die Voraussetzung, daß die Umlauffrequenzen der Bohrschen Elektronen die ausgezeichneten Stellen seien, an denen die Dispersion ihr Vorzeichen wechselt\*\*\*.

\* Abgekürzt U. a. D.

\*\* P. Debye, Münch. Ber. 1915, S. 1; A. Sommerfeld, Elster und Geitel-Festschrift, S. 549, 1915; E. Davysson, Phys. Rev. (2) 8, 20, 1916.

\*\*\* Vgl. N. Bohr, Abhandlungen über Atombau, S. 138, 1921 (abgefaßt 1916); P. Epstein, ZS. f. Phys. 9, 92, 1922.

Figure C.64: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1928) 48:1–2:15–25].



(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie  
und Elektrochemie.)

## Untersuchungen über die anomale Dispersion angeregter Gase.

II. Teil\*.

### Anomale Dispersion in angeregtem Neon.

(Einfluß von Strom und Druck, Bildung und Vernichtung  
angeregter Atome.)

Von **Hans Kopfermann** und **Rudolf Ladenburg** in Berlin-Dahlem.

Mit 6 Abbildungen. (Eingegangen am 17. Dezember 1927.)

1. Versuchsanordnung. 2. Meßmethoden, Genauigkeit. 3. Kontrollversuche. 4. Abhängigkeit der a. D. vom Strom. 5. Theoretische Deutung. 6. Abhängigkeit der a. D. vom Druck und ihre Deutung. 7. Zusammenfassung. — In der positiven Säule des mit Gleichstrom betriebenen Neonrohrs wird an den etwa 20 im Rotgelb gelegenen  $s_5 - p_k$ ,  $s_4 - p_k$ ,  $s_3 - p_k$ -Linien anomale Dispersion (a. D.) in ihrer Abhängigkeit von Strom und Druck gemessen. Mit wachsendem Strom steigt die a. D., d. h. die Zahl der  $N_{s_i}$ -Atome in den  $s_5$ -,  $s_4$ - und  $s_3$ -Zuständen, mehr oder weniger rasch an, nähert sich aber bald einem Sättigungswert, der bei 50 mA bereits annähernd erreicht ist. Dies wird durch die Bildung und Vernichtung der  $s_i$ -Atome durch Elektronenstoß gedeutet. Die Beobachtungen an den metastabilen  $s_5$ - und  $s_3$ -Atomen, und in Annäherung auch an den instabilen  $s_4$ -Atomen sind darstellbar durch die Gleichgewichtsformel:

$$N_s = \frac{aJ}{bJ + c},$$

wo  $J$  Stromstärke,  $a$  bzw.  $b$  und  $c$  stromunabhängige Erzeugungs- bzw. Vernichtungsfaktoren sind. Sättigung tritt ein, wenn  $bJ \gg c$ , dann ist  $\bar{N}_s = a/b = \text{const.}$  Zum Verständnis der Beobachtungen an den  $s_4$ -Atomen ist ihre Nachfüllung aus den  $s_5$ - und  $s_3$ -Atomen und durch die starke Reabsorption der Linie  $p_0 - s_4$  (743 Å) zu berücksichtigen, die die mittlere Lebensdauer der instabilen  $s_4$ -Atome wesentlich vergrößert. Druckeinfluß: 1. Mit wachsendem Druck nehmen oberhalb 1,3 mm die Sättigungswerte  $\bar{N}_s$  ab; 2. gleichzeitig tritt die Sättigung bei immer kleineren Stromwerten ein. Ursache: Bei gleichem Strom und wachsendem Druck bleibt der Anteil der mittelschnellen anregenden Elektronen im wesentlichen konstant oder nimmt ab; dagegen nimmt gleichzeitig der Anteil der langsamen Elektronen, die die Vernichtung der angeregten Atome durch Stoß bewirken, aus verschiedenen Gründen zu. Daher wächst in der Gleichgewichtsformel  $b$  mit dem Druck schneller als  $a$  und wesentlich schneller als  $c$ , und es nimmt mit wachsendem Druck 1.  $\bar{N}_s$  ab, und 2. auch der Strom  $J$ , bei dem  $bJ \gg c$  ist und Sättigung eintritt.

1. Versuchsanordnung. Die Versuchsanordnung ist im wesentlichen dieselbe, die bereits von dem einen von uns zur Untersuchung

\* 1. Teil siehe vorangehende Arbeit. Sie wird im folgenden als U. a. D. I. zitiert.

Figure C.65: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1928) 48:1–2:26–50].

(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie  
und Elektrochemie.)

## Untersuchungen über die anomale Dispersion angeregter Gase.

III. Teil\*.

### Übergangswahrscheinlichkeit und Dichte angeregter Atome im Neon; statistisches Gleichgewicht in der positiven Säule.

Von Hans Kopfermann und Rudolf Ladenburg in Berlin-Dahlem.

(Eingegangen am 17. Dezember 1927.)

1. Aus den in U. a. D. II. mitgeteilten Messungen der anomalen Dispersion (a. D.) an den gelbroten Neonlinien in der positiven Säule werden die relativen Oszillatorenstärken  $f_{kj}$  und Übergangswahrscheinlichkeiten  $A_{kj}$  der zum gleichen unteren Zustand  $j$  gehörigen Linien berechnet. Diese Relativwerte sind bemerkenswerterweise unabhängig von Strom und Druck (Tabelle 6 und 7). — 2a. Durch Verwertung der relativen Intensitätsmessungen Dorgelos und geeignete Kombination mit unseren Messungen der a. D. werden nach U. a. D. I., 6 die relativen Atomdichten in den Zuständen  $s_5$ ,  $s_4$  und  $s_3$  berechnet. Das Verhältnis  $N_{s_5} : N_{s_4} : N_{s_3}$  nähert sich mit wachsendem Strom (unabhängig vom Druck) dem Werte 100 : 60 : 20 des statistischen Gleichgewichts bei sehr hoher Temperatur. Mit Benutzung dieses Wertes werden die  $A$ -Werte sämtlicher Linien, bezogen auf die Linie 6402, berechnet. — 2b. Dasselbe Ergebnis folgt auch mit Benutzung des  $f$ -Sommensatzes (ohne Verwertung der Intensitätsmessungen). Zugleich werden so die Absolutwerte der Oszillatorenstärken, der Übergangswahrscheinlichkeiten, der Lebensdauern und der Atomdichten der angeregten  $s$ -Zustände abgeschätzt.

1. Die Relativwerte der Übergangswahrscheinlichkeiten. Im vorangehenden Teil II der U. a. D. haben wir die Methode zur genauen Messung der anomalen Dispersion (a. D.) an den im Rotgelb gelegenen Linien  $s_j - p_k$  des Neons dargelegt sowie die Berechnung der die Größe der a. D. kennzeichnenden  $\mathfrak{R}$ -Werte [s. Teil I, 2, Gleichung (3)] und ihre Abhängigkeit von Strom und Druck mitgeteilt. Dabei wurde der Strom von 0,5 bis etwa 100 mA und der Druck zwischen 1 und 9 mm variiert. Besonders bemerkenswert sind dabei die Sättigungswerte  $\overline{\mathfrak{R}}$ , denen sich die  $\mathfrak{R}$ -Werte der einzelnen Linien mit wachsendem Strom nähern; bei den leicht erreichbaren Stromstärken von 50 mA sind die gemessenen  $\mathfrak{R}$ -Werte von den Endwerten  $\overline{\mathfrak{R}}$  anscheinend nur noch wenig

\* I. und II. Teil s. voranstehende Arbeiten; sie werden im folgenden als U. a. D. I. bzw. II. zitiert.

Figure C.66: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1928) 48:1–2:51–61].

(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie.)

## Untersuchungen über die anomale Dispersion angeregter Gase\*.

IV. Teil.

### Anomale Dispersion des Wasserstoffs; wahres Intensitätsverhältnis der Wasserstofflinien $H_\alpha$ und $H_\beta$ .

Von Agathe Carst und Rudolf Ladenburg in Berlin-Dahlem.

Mit 1 Abbildung. (Eingegangen am 2. Januar 1928.)

Durch starke Anregung von atomarem Wasserstoff mit Gleichstrom von 0,2 bis 1 Amp./qcm wird anomale Dispersion an  $H_\alpha$  und  $H_\beta$  erzeugt und photographisch gemessen. Für das Verhältnis der „Zahl der Dispersionselektronen“  $\mathfrak{N}_\alpha/\mathfrak{N}_\beta$  ergibt sich 4,7. Dies Verhältnis ist nach der quantentheoretischen Dispersionsformel in erster Annäherung gleich dem der „Stärke“  $f_\alpha/f_\beta$  der entsprechenden Quantenübergänge bzw. im wesentlichen gleich dem der Übergangswahrscheinlichkeiten. Hierfür berechnet man nach der Quantenmechanik den Wert 5,37. Der Unterschied gegen den gemessenen Wert liegt etwas außerhalb der Messfehler, er kann durch den Einfluß negativer Dispersion gedeutet werden, denn diese darf bei der starken Anregung des Wasserstoffs wahrscheinlich nicht unberücksichtigt bleiben, wie bei der Proportionalität von  $\mathfrak{N}$  und  $f$  in erster Annäherung angenommen wird.

#### 1. Ziel der Untersuchung.

Die anomale Dispersion (a. D.) des leuchtenden Wasserstoffs, speziell an den Linien  $H_\alpha$  und  $H_\beta$ , wurde zwar schon früher von dem einen von uns, z. T. gemeinsam mit St. Loria, untersucht\*\*, jedoch dienten damals Kondensatorentladungen (elektrische Schwingungen starker Dämpfung) zur Erregung des Wasserstoffs, so daß als Lichtquelle eine vom gleichen Schwingungskreis erregte Wasserstoffkapillare benutzt werden mußte. Diese gab in der Tat in der Umgebung der Balmerlinien ein genügend ausgedehntes kontinuierliches Spektrum, erschwerte aber quantitative Untersuchungen erheblich. Inzwischen ist es R. W. Wood\*\*\* gelungen, die Bedingungen zur Erzeugung von hochkonzentriertem atomarem Wasserstoff aufzufinden;

\* Teil I bis III, abgekürzt U. a. D. I bis III, s. ZS. f. Phys. **48**, 15–61, 1928.

\*\* R. Ladenburg und St. Loria, Verhdlg. d. D. Phys. Ges. **10**, 858, 1908; R. Ladenburg, Ann. d. Phys. **38**, 249, 1913.

\*\*\* Proc. Roy. Soc. **97**, 455, 1921; **101**, 1, 1922; s. auch K. F. Bonhoeffer, ZS. f. phys. Chem. **113**, 199, 1924; **116**, 391, 1925.

Figure C.67: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1928) 48:3–4:192–204].

(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut  
für physikalische und Elektrochemie.)

## Untersuchungen über die anomale Dispersion angeregter Gase.

V. Teil\*.

### Negative Dispersion in angeregtem Neon\*\*.

Von H. Kopfermann und R. Ladenburg in Berlin-Dahlem.

Mit 6 Abbildungen. (Eingegangen am 12. August 1930.)

Bei Steigerung der Stromdichte in der positiven Säule einer Neon-Entladung findet man zunächst ein Ansteigen der anomalen Dispersion an den rotgelben  $s$ - $p$ -Linien, gemessen durch die Werte  $\mathfrak{R}$ , und zwar verhalten sich alle zum gleichen unteren  $s$ -Zustand gehörigen Linien in gleicher Weise — dies entspricht dem Ansteigen der Atomdichten im  $s$ -Zustand  $N_s$ . Vermehrt man aber die Stromdichte über  $\sim 0,1$  Amp./qcm (bei 1 mm Neondruck), so nehmen die  $\mathfrak{R}$ -Werte wieder langsam ab, und zwar für die verschiedenen Linien  $s_5 - p_{10}$ ,  $p_9$ ,  $p_8 \dots$  bis  $p_2$  in merklich verschiedener Weise (Fig. 4 und 5). Dies ist durch das allmähliche und verschieden starke Anwachsen der Atomdichten in den  $p$ -Zuständen,  $N_{p_{10}}$ ,  $N_{p_9} \dots$  zu deuten und durch die dadurch hervorgerufene „negative Dispersion“ gemäß der Formel

$$\mathfrak{R}_{s_5 p_k} = N_{s_5} f_{s_5 p_k} \left( 1 - \frac{N_{p_k} g_{s_5}}{N_{s_5} g_{p_k}} \right).$$

Diese Deutung wird durch Untersuchung der „Umkehr“ der Neonlinien bestätigt, die ein ähnliches Anwachsen des Verhältnisses  $V = N_{p_k}/N_{s_5} \cdot g_{s_5}/g_{p_k}$  zeigt. Aus den Messungen läßt sich unter gewissen theoretisch näher begründeten Annahmen über die Stromabhängigkeit der Atomdichte im  $s_5$ -Zustand das Verhältnis  $V$  und der Anstieg der  $N_{p_k}$ -Werte mit dem Strom berechnen (Fig. 6). Bei dem größten bisher erreichten Strom von 700 mA in einem 0,8 cm weiten Rohr nähern sich die  $N_p$ -Werte einem „Sättigungswert“, es scheint sich ein statistisches Gleichgewicht zwischen den Atomdichten in den verschiedenen Zuständen und den anregenden und vernichtenden Elektronen auszubilden. Definiert man die zu den  $s$ - und  $p$ -Zuständen gehörige spezifische Temperatur  $\Theta$  durch die Formel

$$\ln V_{ps} = - \frac{E_p - E_s}{k \Theta_{sp}} = - \frac{h c}{k \lambda_{sp}} \frac{1}{\Theta_{sp}},$$

\* Teil I, II, III und IV der U. a. D. siehe ZS. f. Phys. 48, 15, 26, 51 u. 192, 1928. Sie werden hier als U. a. D. I . . . IV zitiert.

\*\* Ein Teil der in vorliegender Mitteilung dargestellten Versuche und Überlegungen wurde bereits in dem Haber-Band der ZS. f. phys. Chem. (A) 375, 1928 veröffentlicht.

Figure C.68: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1930) 65:3–4:167–188].



(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie).

## Untersuchungen über die anomale Dispersion angeregter Gase.

VI. Teil\*.

### Kontrollversuche für den Nachweis der negativen Dispersion:

Absorption, anomale Dispersion, Intensitätsverteilung und Intensität verschiedener Neonlinien\*\*.

Von R. Ladenburg und S. Levy in Berlin-Dahlem.

Mit 4 Abbildungen. (Eingegangen am 12. August 1930.)

Die Deutung der in der vorangehenden Arbeit beschriebenen Versuche durch den Anstieg der  $p_k$ -Atome oberhalb 0,1 Amp./qcm und durch die dadurch bewirkte negative Dispersion wird auf zwei Weisen gestützt: Erstens durch Nachweis anomaler Dispersion an der Linie 7059 ( $p_{10} - s'_1$ ) und Messung ihrer Absorption, die gerade im kritischen Stromgebiet merklich wird und rasch anwächst. Zweitens durch den Intensitätsanstieg der  $s-p$ -Linien. Die Untersuchung der Intensitätsverteilung im Innern dieser Linien in kurzer und in sehr langer Schicht mittels Perot-Fabry-Etalons zeigt, daß sie allein durch den Dopplereffekt bedingt ist; die Temperatur der emittierenden Atome bei 100 mA ist praktisch gleich der des Kühlwassers. Auf Grund der Kenntnis dieser Daten und der Werte  $\mathfrak{R}$  läßt sich aus dem Intensitätsanstieg der Anstieg der Dichte der  $p_k$ -Atome mit dem Strom annähernd berechnen und zeigt sich wenigstens qualitativ mit den Ergebnissen der vorangehenden Arbeit in Übereinstimmung. Außerdem werden Messungen der anomalen Dispersion der  $\mathfrak{R}$ -Werte der  $s_p$ -Linien zwischen 20 und 400 mA mitgeteilt. In einem Anhang wird die Formel für die Intensität einer Spektrallinie bei Berücksichtigung der Absorption in endlicher Schichtdicke kurz abgeleitet.

I. Unsere Deutung der in der vorangehenden Arbeit (U.a.D. V.) beschriebenen Versuche über negative Dispersion an elektrisch erregtem Neon bei hohen Stromdichten beruht auf der Annahme, daß die Atomdichte der  $p_k$ -Zustände mit wachsendem Strom innerhalb des untersuchten Bereiches zunimmt und oberhalb von 50 mA einen relativ zur Dichte der  $s$ -Atome merkbaren Betrag besitzt (Termschema siehe U. a. D. V, Fig. 1).

Um diese Annahme zu prüfen, haben wir nach unmittelbaren Beweisen für den Anstieg der  $p_k$ -Atome im kritischen Stromgebiet gesucht

\* Teil I bis III siehe ZS. f. Phys. 48, 15–61, 1928; Teil IV ebenda 48, 192, 1928; Teil V siehe voranstehende Arbeit (im folgenden zitiert als U. a. D. I usw).

\*\* Die vorliegenden Versuche sind zum Teil infolge einer Diskussion mit Herrn D. Roschdestwensky entstanden, dem wir für seine fördernde Kritik auch an dieser Stelle herzlich danken.

Figure C.69: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1930) 65:3–4:189–206].

## Experimenteller Nachweis der „negativen“ Dispersion<sup>1)</sup>.

Von

H. Kopfermann und R. Ladenburg.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem.)

(Mit 5 Figuren im Text.)

(Eingegangen am 12. 9. 28.)

Bei wachsender Stromdichte in der positiven Säule einer Neontladung bis etwa 0.1 Amp. pro Quadratcentimeter findet man ein Ansteigen der anomalen Dispersion an den gelbroten  $s-p$ -Linien ( $p$  ist der höhere, energiereichere,  $s$  der tiefere, energieärmere Zustand). Das bedeutet ein ebensolches Anwachsen der angeregten Atome in den  $s$ -Zuständen. Steigert man aber die Stromdichte weiterhin, so beobachtet man nunmehr eine allmähliche Abnahme des Betrages der anomalen Dispersion (der  $\mathfrak{R}$ -Werte) an den verschiedenen  $s_k-p_k$ -Linien ( $k = 10, 9, 8, 6, 4, 2$ ) mit steigendem Strom, gerade, wie die quantentheoretische Dispersionsformel wegen des Einflusses der „negativen“ Dispersion, nämlich infolge stärkerer Anregung der Atome in den  $p_k$ -Zuständen erwarten lässt. Kontrollversuche schliessen andere Deutungen der Versuchsergebnisse aus, vor allem wegen der systematisch verschiedenen Abnahme der  $\mathfrak{R}$ -Werte der mit verschiedenen  $p_k$ -Niveaus kombinierenden  $s_k$ -Linien: Je tiefer nämlich das betreffende  $p$ -Niveau liegt, und je stärker es angeregt wird, um so grösser ist die Abnahme der zugehörigen anomalen Dispersion.

1. Die Theorie des Strahlungsgleichgewichts im Hohlraum und die Ableitung der PLANCKSchen Strahlungsformel erfordern neben der Berücksichtigung der gewöhnlichen Absorptionsprozesse die Annahme einer „negativen Absorption“. Je nach dem Schwingungszustand, in dem ein Oszillator von der auffallenden Strahlung getroffen wird, kann er ihr Energie entziehen oder hinzufügen. In der BOHR-EINSTEINSchen Auffassung tritt an Stelle des Oszillators ein Atom, das unter der Einwirkung auffallender Strahlung aus einem tieferen Quantenzustand  $j$  in einen höheren Zustand  $k$  unter Absorption von Strahlungsenergie gehoben — oder aus dem höheren Zustand in den tieferen unter Emission von Strahlung der gleichen Frequenz  $\nu_{kj}$  zurückgebracht wird. Diese Prozesse „erzwungener Emission“ addieren sich im Strahlungsgleichgewicht zu den Prozessen „spontaner Emis-

<sup>1)</sup> Vorgetragen auf dem 6. russischen Physikerkongress in Moskau am 6. August 1928.

Figure C.70: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physikalische Chemie* (1928) 139:1:375–385].

(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem.)

## Untersuchungen über die Dispersion von Gasen und Dämpfen und ihre Darstellung durch die Dispersionstheorie.

### I. Über die Dispersion des Quecksilberdampfes im Ultraviolett\*.

Von Rudolf Ladenburg und Günther Wolfsohn in Berlin-Dahlem.

Mit 3 Abbildungen. (Eingegangen am 12. April 1930.)

Mit einem Jaminschen Interferometer aus Quarz wird die anomale Dispersion von gesättigtem Quecksilberdampf von bekanntem Druck und bekannter Temperatur in der Umgebung der Resonanzlinie 2537 untersucht. Die Oszillatorenstärke  $f$ , d. h. das Verhältnis  $\mathfrak{R}/N$  der Zahl der Dispersionselektronen zur Gesamtzahl der Moleküle im Kubikzentimeter, wird in Abhängigkeit vom Dampfdruck im Bereich von 0,004 bis 200 mm gemessen. Zwischen 0,01 und 200 mm ergibt sich  $f$  konstant zu  $0,0255 \pm 0,0005$ . Unterhalb 0,01 mm ergeben die Messungen ein geringes Ansteigen des  $f$ -Wertes, das noch nicht erklärt werden kann. Aus den Messungen läßt sich, der Dampfdruckkurve  $p = p(T)$  des Gesamtdruckes entsprechend, eine Kurve  $\mathfrak{p} = \mathfrak{p}(T)$  ableiten, wobei  $f^{-1} \cdot \mathfrak{p}$  den Partialdruck der Atome im Dampf darstellt. Wegen der Konstanz von  $f$  oberhalb 0,01 mm unterscheiden sich dort entsprechende Werte der Funktionen  $p(T)$  und  $\mathfrak{p}(T)$  nur um einen konstanten Faktor, und die Verdampfungswärme der Atome stimmt innerhalb eines Prozents mit derjenigen des gesamten Dampfes überein. Der Partialdruck der Moleküle im Dampf kann daher zwischen 0,01 und 200 mm Druck höchstens wenige Prozent ausmachen.

1. Ziel der Arbeit und Untersuchungsmethoden. Nach der heutigen Dispersionstheorie ist die Dispersion einatomiger Gase und Dämpfe quantitativ berechenbar, wenn die Eigenfrequenzen  $\nu_0$  — die Absorptionsstellen — und die zugehörigen  $f_0$ -Werte bekannt sind, das sind die Zahlen der den Frequenzen  $\nu_0$  entsprechenden Dispersionselektronen pro Atom. Tatsächlich sind zwar meist die  $\nu_0$ -, aber nur in wenigen Fällen die  $f_0$ -Werte bekannt. Man hat daher bisher umgekehrt die  $f_0$ -Werte aus Dispersionmessungen berechnet, indem man mit möglichst wenigen  $\nu_0$ -Werten, also möglichst wenigen Gliedern in der Dispersionsformel auszukommen suchte\*\*.

\* Ein vorläufiger Bericht über diese Untersuchungen wurde am 16. Februar 1929 auf dem Gautag des Gauvereins Niedersachsen (in Göttingen) vorgetragen und in den Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Math.-phys. Klasse, 1929, S. 1, veröffentlicht.

\*\* Vgl. R. Ladenburg und F. Reiche, Naturwissensch. **11**, 584, 1923; K. F. Herzfeld und K. L. Wolf, Ann. d. Phys. **76**, 71, 1925 usw.

Figure C.71: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1930) 63:9–10:616–633].

(Mitteilung aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem.)

## Untersuchungen über die Dispersion von Gasen und Dämpfen und ihre Darstellung durch die Dispersionstheorie.

### II. Die Dispersion von Quecksilberdampf zwischen 7500 und 2650 Å.

Von Günther Wolfsohn in Berlin-Dahlem.

Mit 1 Abbildung. (Eingegangen am 12. April 1930.)

Mit Hilfe der in der vorhergehenden Arbeit beschriebenen Apparatur werden Dispersionsmessungen von Hg-Dampf zwischen 7500 und 2650 Å durchgeführt. Die Dispersionskurve zeigt den theoretisch zu erwartenden Verlauf und läßt sich mit Hilfe einer dreigliedrigen Dispersionsformel darstellen, die als Eigenwellenlängen außer den Absorptionslinien  $\lambda = 2537$  und  $1850$  Å eine dritte enthält, die die höheren Glieder der Hauptserie und das anschließende Kontinuum zusammenfaßt. Das von Herzfeld und Wolf vermutete Gebiet anomaler Dispersion bei  $\lambda = 6900$  Å erweist sich als nicht reell.

Dispersionsmessungen an Hg-Dampf sind bereits von Cuthbertson und Metcalfe\* und von McLennan\*\* gemacht worden. Zur Untersuchung diente das Jaminsche Interferometer. McLennan benutzte außerdem ein Hohlprisma, das mit gesättigtem Hg-Dampf gefüllt wurde. Die Messungen beider Forscher erstrecken sich auf einzelne Wellenlängen des sichtbaren Spektralgebietes, sie erfolgten visuell durch Zählung der beim Verdampfen bzw. Kondensieren des Hg-Dampfes im Gesichtsfeld vorbeiwandernden Streifen oder bei den Messungen mit Prisma durch goniometrische Bestimmung des Ablenkungswinkels. McLennan arbeitete mit gesättigtem Dampf. Cuthbertson verdampfte eine vorher abgewogene Menge Hg vollständig und bestimmte durch Rechnung die Dichte des im Strahlengang befindlichen Dampfes.

Die Ergebnisse von Cuthbertson und McLennan sind von Herzfeld und Wolf\*\*\* diskutiert worden. Diese kommen zu dem Ergebnis, daß die Dispersion von Hg-Dampf unter der Annahme der bekannten ultravioletten

\* C. Cuthbertson und E. P. Metcalfe, *Phil. Trans. (A)* **207**, 135, 1908; *Proc. Roy. Soc. London (A)* **80**, 411, 1908.

\*\* J. C. McLennan, *Proc. Roy. Soc. London (A)* **100**, 191, 1922.

\*\*\* K. F. Herzfeld und K. L. Wolf, *Ann. d. Phys.* **76**, 71, 1925.

Figure C.72: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1930) 63:9–10:634–639].



(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem.)

### Untersuchungen über die Dispersion von Gasen und Dämpfen und ihre Darstellung durch die Dispersionstheorie.

#### III. Die Dispersion des Sauerstoffs zwischen 6000 und 1920 Å.

Von **R. Ladenburg** und **G. Wolfsohn** in Berlin-Dahlem.

Mit 3 Abbildungen. (Eingegangen am 6. August 1932.)

Dispersionsmessungen des Sauerstoffs bis herab zu 1920 Å, die mit einem neu konstruierten Interferometer ausgeführt sind, lassen sich durch eine Dispersionsformel mit drei Gliedern gut darstellen. Die Konstanten sind:  $\lambda_1 = 1899$  Å,  $f_1 = 4,0 \cdot 10^{-5}$ ,  $\lambda_2 = 1468$  Å,  $f_2 = 0,20$ ,  $\lambda_3 = 544$  Å,  $f_3 = 5,93$ . Die erstgenannte Eigenfrequenz entspricht der Absorptionsteilbande  $\nu'' = 0 \rightarrow \nu' = 5$  des Schumann-Runge-Systems, deren Kante bei 1903 Å liegt, der zugehörige  $f$ -Wert einer mittleren Übergangswahrscheinlichkeit einer einzelnen Rotationslinie  $A \sim 4 \cdot 10^4$ .  $\lambda_2$  ist der Schwerpunkt des an die Konvergenzstelle der Schumann-Runge-Banden bei 1750 Å anschließenden Kontinuums, das sich bis 1300 Å erstreckt, wie durch anderweitige Absorptionsmessungen bestätigt wird.  $f_3 = 0,20$  ist der Integralwert der gesamten Bande einschließlich Kontinuum, entspricht also dem zugehörigen Elektronensprung.  $\lambda_3$  ist als Schwerpunkt eines oder mehrerer Bandensysteme im kurzwelligen Ultraviolett anzusehen; das zugehörige Absorptionsgebiet reicht von 1300 bis unter 300 Å.

Wir haben in früheren Arbeiten<sup>1)</sup> den Einfluß der ultravioletten Absorptionslinien auf die Dispersion des Quecksilberdampfes gemessen und die Gültigkeit der quantentheoretischen Dispersionsformel nachgewiesen. Der Zweck der vorliegenden Versuche und weiterer geplanter Arbeiten ist, diese Untersuchungen auch auf mehratomige Gase auszudehnen und festzustellen, wieweit es möglich ist, die Dispersion solcher Gase auf den Einfluß der Absorptionslinien und des kontinuierlichen Teils ihres Bandenspektrums zurückzuführen. Hierbei interessierte uns in erster Linie, die Lage der aus den Dispersionsmessungen berechneten Eigenfrequenzen mit dem Absorptionsspektrum zu vergleichen sowie aus den Zählern der Dispersionsglieder Übergangswahrscheinlichkeiten für die verschiedenen möglichen Quantensprünge zu berechnen. In zweiter Linie war beabsichtigt, wemöglich an den einzelnen Linien einer Teilbande anomale Dispersion nachzuweisen. Als Objekt für unsere Untersuchungen haben wir zunächst den

<sup>1)</sup> R. Ladenburg u. G. Wolfsohn, ZS. f. Phys. **63**, 616, 1930; **65**, 207, 1931; G. Wolfsohn, ebenda **63**, 634, 1930.

Figure C.73: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1932) 79:1–2:42–61].

(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem.)

### Untersuchungen über die Dispersion von Gasen und Dämpfen und ihre Darstellung durch die Dispersionstheorie.

#### IV. Dispersion von Quecksilberdampf zwischen 2800 und 1890 Å und Lebensdauer des Hg $7p^1P_1$ -Zustandes.

Von G. Wolfsohn z. Z. Berlin-Charlottenburg.

Mit 3 Abbildungen. (Eingegangen am 21. Februar 1933.)

Im Anschluß an früher ausgeführte Messungen der Dispersion von Quecksilberdampf zwischen 7000 und 2700 Å werden mit einem Interferometer nach Jamin-Mach mit Flußspatoptik Dispersionsmessungen zwischen 2800 und 1890 Å ausgeführt. Die Dispersion von Hg-Dampf zwischen 7000 und 1890 Å wird durch eine dreigliedrige Dispersionsformel dargestellt. Das erste Glied entspricht dem Einfluß der Interkombinationslinie  $6s^1S_0 - 7p^3P_1$   $\lambda = 2537$  Å auf die Dispersion, das zweite demjenigen der Linie  $6s^1S_0 - 7p^1P_1$   $\lambda = 1850$  Å. Durch das dritte Glied wird dem Einfluß der weiter im Ultravioletten liegenden Eigenfrequenzen Rechnung getragen. Der  $f$ -Wert der Linie 1850 ergibt sich zu  $1,19 \pm 0,02$ . Hieraus erhält man für die Übergangswahrscheinlichkeit des zugehörigen Quantensprungs den Wert  $A = 7,70 \cdot 10^8$ , für die Lebensdauer des  $7p^1P_1$ -Zustandes  $T = 1,30 \cdot 10^{-9}$ .

Messungen der Dispersion von Hg-Dampf, die ich früher im Spektralgebiet von 7500 bis 2700 Å ausgeführt habe<sup>1)</sup>, haben ergeben, daß die Dispersionskurve sich erwartungsgemäß durch eine Formel

$$n_0 - 1 = \frac{e^2 N_0}{2\pi m c^3} \sum_i \frac{f_i \lambda^2 \lambda_i^2}{\lambda^2 - \lambda_i^2} = \frac{e^2 N_0}{2\pi m c^3} \sum_i \frac{f_i}{\nu_i^2 - \nu^2} \quad (1)$$

für den Brechungsquotienten  $n_0$  darstellen läßt ( $e, m$  Elektronenladung bzw. -masse,  $c$  Lichtgeschwindigkeit). Da man den Brechungsquotienten auf einen fiktiven Dampf von 0° und 760 mm Druck bezieht, der bei Hg die Dichte  $0,00895$  g/cm<sup>3</sup> besitzt, so ist  $N_0$  gleich der Avogadro'schen Zahl pro Kubikzentimeter zu setzen. Zur Darstellung der Meßergebnisse mußten in Formel (1) drei ultraviolette Eigenfrequenzen angenommen werden, von

<sup>1)</sup> G. Wolfsohn, ZS. f. Phys. **63**, 634, 1930.

Figure C.74: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1933) 83:3–4:234–246].

(Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische und Elektrochemie, Berlin-Dahlem.)

## Untersuchungen über die Dispersion von Gasen und Dämpfen und ihre Darstellung durch die Dispersionstheorie.

### V. Ein Interferometer für Dispersionsmessungen im Schumanngebiet.

Von **G. Wolfsohn**, zur Zeit in Utrecht.

Mit 1 Abbildung. (Eingegangen am 4. Juli 1933.)

Beschreibung eines Jamin-Machschen Interferometers mit Flußspatoptik, bei dem der optische Strahlengang ganz im Vakuum geführt ist und das in Verbindung mit einem Vakuumflußspatspektrographen für Dispersionsmessungen im Schumanngebiet geeignet ist. Vorläufige Messungen der anomalen Dispersion an der Hg-Linie 1850 Å mit dem Ergebnis  $f = 1,3 \pm 0,15$  für den  $f$ -Wert dieser Linie.

Kürzlich haben R. Ladenburg und ich in dieser Zeitschrift<sup>1)</sup> eine abgeänderte Konstruktion des Jaminschen Interferometers beschrieben, bei dem jede der beiden mehrere Zentimeter dicken aus Glas oder Quarz bestehenden Interferometerplatten durch eine 5 mm dicke halbdurchlässig platinierete Flußspatplatte und einen mit einer Hochheimschen Silicium-Silberlegierung belegten Planspiegel ersetzt wird, die durch ein planparalleles Distanzstück aus Invarstahl in festem Abstand miteinander verbunden sind (vgl. *J* in Fig. 1). Mit dieser Anordnung konnten in Verbindung mit einem Quarzspektrographen Dispersionsmessungen bis an die Grenze des Schumanngebietes ausgeführt werden<sup>2)</sup>. Ein solches Interferometer erhält jedoch, wie daselbst betont ist, seine volle Leistungsfähigkeit für Messungen im Ultraviolett erst dann, wenn man den gesamten optischen Strahlengang ins Vakuum verlegt und an Stelle des Quarzspektrographen einen Vakuumflußspatspektrographen verwendet. Mit einer solchen Anordnung, die im folgenden beschrieben wird, konnten in der Tat mit einer lichtstarken Wasserstoffentladung als Lichtquelle Interferenzstreifen bis 1500 Å photographiert werden. Damit wird ein für Dispersionsmessungen wichtiges Spektralgebiet der Messung zugänglich gemacht.

<sup>1)</sup> R. Ladenburg u. G. Wolfsohn, ZS. f. Phys. **79**, 42, 1932.

<sup>2)</sup> An Sauerstoff: R. Ladenburg u. G. Wolfsohn, l. c.; an Hg-Dampf: G. Wolfsohn, ebenda **83**, 234, 1933.

Figure C.75: Rudolf Ladenburg and other members of his group at the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie demonstrated stimulated light emission from atoms (amplification of the number of photons of light from atoms) during the period 1927–1931 [*Zeitschrift für Physik* (1933) 85:5–6:366–372].

Patented Oct. 22, 1940

2,219,122

## UNITED STATES PATENT OFFICE

2,219,122

## PROTECTIVE GLASS

Franz Weidert, Berlin-Schöneberg, and Hans Löffler, Berlin-Lichterfelde, Germany, assignors to Degea Aktiengesellschaft (Auergesellschaft), Berlin, Germany, a corporation of Germany

No Drawing. Application May 21, 1937, Serial No. 143,936. In Germany May 25, 1936

16 Claims. (Cl. 106—36.1)

Prior to our present invention, various expedients have been proposed to obtain glasses which reduce or eliminate rays, and particularly ultra-violet rays, liable to produce injurious effects. One type of glass introduced for this purpose contained a considerable addition of neodymium, as neodymium oxide (generally in the form of commercial didymia, about 60% of which consists of neodymium oxide,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ). Besides the protective effect referred to above, such glasses containing a considerable proportion of neodymium have the valuable advantage that objects viewed through them exhibit richer color contrasts, that is, red, green and blue appear intensified or more vivid. The absorption obtained with protective glasses of this type as made hitherto, was insufficient for some purposes. Even if it were practicable to introduce neodymium into the glass in extremely high concentration, the absorption would still remain relatively slight in the ultra-violet region. Efficient absorption in that region is however indispensable when the glass is to be used for aviator's goggles, snow-glasses, etc. It would indeed be possible, by an addition of cerium (in the form of cerium oxide), to increase the absorption within the ultra-violet region. Even this would not be sufficient for the purposes mentioned above. Furthermore, the addition of cerium will not reduce the amount of visible light transmitted through the glass.

The object of our invention is to increase the total absorption of light, that is to say, not only to absorb the invisible ultra-violet rays effectively, but also to damp or tone down the transmission of the visible light rays. For instance, the absorption of the ultra-violet rays may be substantially complete, and the visible light may be reduced by absorption to, for example, 30% of its original amount.

In order to obtain these results, we employ glass containing oxides of neodymium, of vanadium, and oxides of certain additional metals which correct the disagreeable greenish tint observed when vanadium oxide is incorporated in glass without such corrective additions.

In carrying out our invention, we employ glass containing a relatively high percentage of neodymium oxide,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ , that is to say, a percentage sufficient to increase the color contrasts of objects viewed through the glass. Such percentage may range from about 5% to about 50%. The desired absorptive effects are obtained within this entire range. However, there are certain practical difficulties in the manufac-

ture and working of glass containing the higher percentages of neodymium oxide (above 30%), and for this reason the percentage of neodymium oxide used by us ranges generally from about 5% to about 30%.

In addition to the neodymium oxide, our improved glass contains, as an important ingredient, an amount of vanadium (as vanadium oxide, preferably the pentoxide,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ) sufficient to produce the desired results, that is, an extremely strong absorption of light in the ultra-violet region and simultaneously a damping or toning down in the region of the visible light. It has been found that if this double effect is to be obtained by the addition of vanadium to glass containing a relatively high percentage of neodymium oxide, a fairly high proportion of vanadium (for instance, as  $\text{V}_2\text{O}_5$ ) must be employed, say from about 0.3% to about 3%. While this will produce the desired strong absorption in the ultra-violet region and a reduction of the perviousness of the glass to visible rays, it is accompanied by the production of a greenish stain or tint, owing to the fact that the green tint due to the addition of vanadium oxide is sufficiently powerful to overcome or outweigh the violetish tint given to the glass by the neodymium oxide. The greenish tint which the glass assumes when it contains both neodymium and vanadium in the relatively high proportions mentioned above, gives the glass an unpleasant appearance. Furthermore, such glass no longer intensifies with substantially uniform strength, all the colors viewed therethrough, lacking therefore this property which is possessed by glass containing neodymium oxide but no vanadium oxide. We may add that glass containing vanadium but no neodymium has a very pronounced unpleasant greenish tint and lacks the uniform strengthening of the colors just referred to above.

We have endeavored to produce a glass containing both neodymium oxide and vanadium oxide yet free from the detrimental and disturbing secondary effects of vanadium which have been pointed out above. That is to say, we have sought for a remedy that would remove or neutralize the greenish tint due to the presence of vanadium, give the glass an agreeable neutral grayish or bluish-gray tint, and preserve the contrast-heightening effect due to the presence of neodymium. It might have been assumed that such a remedy would be afforded by adding some coloring matter which, considered by itself, would impart a purplish tint to the glass. We found, however, that among the various oxides which

Figure C.76: In 1934, Franz Weidert and Hans Löffler invented neodymium glass with unusual spectral properties that made it suitable for a variety of optical applications (ultimately including neodymium glass lasers).



are known as coloring or tinting ingredients in the manufacture of glass, there is no single oxide which by itself alone will have the desired effect of imparting a purplish tint to the glass, and the addition of which will correct the undesirable effects of the addition of vanadium.

As a result of our investigations, we found that the desired effect can be obtained by adding to a glass of the character described (containing neodymium and vanadium), a mixture of two ingredients, one constituted by a cobalt compound, for instance the oxide  $Co_3O_4$ , and the other by a nickel compound, for instance the oxide NiO, or a manganese compound, for instance the sesquioxide  $Mn_2O_3$ . This nickel oxide, considered by itself, reduces the transmission of light within the entire range of the spectrum, but its weakening or absorbing action is least in the region of red rays, so that the transmission of red is favored over that of other colors. The weakening within the entire range of the spectrum is of great importance for the purposes of our present invention, because we desire not only to suppress the transmission of ultra-violet rays completely or nearly so, but also to damp the light, or absorb a portion thereof, throughout the region of visible light. Cobalt oxide gives the glass a bluish tint, but at the same time permits substantial amounts of red to pass through. Neither nickel oxide nor cobalt oxide will cut off or even excessively weaken that end of the spectrum opposite to the portion corresponding to the light the transmission of which is favored, and thus we preserve the property of strengthening, as uniformly as possible, all the colors of the objects viewed, which property is possessed by the protective glasses mentioned at the beginning of this specification.

The addition of cobalt oxide, if made in suitable amounts, has the further advantage of giving the entire glass a bluish-gray tint which is particularly agreeable to the eyes.

As stated above, a mixture of manganese oxide (preferably the sesquioxide,  $Mn_2O_3$ ) and cobalt oxide may be substituted for the mixture of nickel oxide and cobalt oxide; or we may employ mixtures containing cobalt oxide, nickel oxide, and manganese oxide. In each case, the useful results explained above will be obtained.

As to the proportions of the oxides just mentioned, these may be varied according to circumstances. As a rule, the proportion of cobalt oxide will be within the range of about 0.005% to about 0.05%, that of nickel oxide from about 0.05% to about 0.4%, and that of manganese oxide from about 0.05% to about 0.3%.

Three typical examples of glasses according to our invention are composed as follows:

	A	B	C
	Per-cent	Per-cent	Per-cent
Silica, $SiO_2$ .....	61.6	62.2	66.5
Arsenic oxide, $As_2O_3$ .....	0.2		0.2
Vanadium oxide, $V_2O_5$ .....	1.8	1.2	1.23
Commercial didymium oxide.....	18.2	18.8	14.6
Potassium oxide, $K_2O$ .....	4.0	4.2	4.3
Sodium oxide, $Na_2O$ .....	11.5	10.0	10.5
Boron oxide, $B_2O_3$ .....	2.5	2.5	2.6
Manganese oxide, $Mn_2O_3$ .....	0.1		
Cobalt oxide, $CoO$ .....	0.01	0.008	0.007
Nickel oxide, NiO.....		0.1	0.11
	99.91	100.008	100.047

In the three examples, shown above, the "commercial didymium oxide" contains about 60% neodymium oxide, so that the amount of such

oxide ( $Nd_2O_3$ ) in the glasses amounts to 10.92%, 11.28% or 8.76% respectively.

Each of these three glasses, A, B, and C has a neutral gray or bluish gray tint, has the same color-strengthening or contrast-heightening effects as neodymium glass of the prior art, absorbs ultra-violet light with practical completeness, and damps the visible light to about 30% of its original amount.

Various modifications may be made without departing from the nature of our invention as set forth in the appended claims.

We claim:

1. A protective glass containing from about 5% to about 50% of neodymium oxide and an addition of vanadium oxide.

2. A protective glass containing from about 5% to about 50% of neodymium oxide and from about 0.3 to about 3% of vanadium oxide.

3. A protective glass containing from about 5% to about 30% of neodymium oxide and an addition of vanadium oxide.

4. A protective glass containing from about 5% to about 30% of neodymium oxide and from about 0.3% to about 3% of vanadium oxide.

5. A protective glass containing neodymium oxide, vanadium oxide, cobalt oxide, and the oxide of a metal selected from the group composed of nickel and manganese.

6. A protective glass containing neodymium oxide, vanadium oxide, cobalt oxide, and nickel oxide.

7. A protective glass containing neodymium oxide, vanadium oxide, cobalt oxide, and manganese sesquioxide.

8. A protective glass containing from about 5% to about 50% of neodymium oxide, from about 0.3% to about 3% of vanadium oxide, from about 0.005% to about 0.05% of cobalt oxide, and from about 0.05% to about 0.4% of nickel oxide.

9. A protective glass containing from about 5% to about 50% of neodymium oxide, from about 0.3% to about 3% of vanadium oxide, from about 0.005% to about 0.05% of cobalt oxide, and from about 0.05% to about 0.3% of manganese sesquioxide.

10. A protective glass containing from about 5% to about 50% of neodymium oxide, from about 0.3% to about 3% of vanadium oxide, from about 0.005% to about 0.05% of cobalt oxide, from about 0.05% to about 0.4% of nickel oxide, and from about 0.05% to about 0.03% of manganese sesquioxide.

11. A protective glass containing from about 5% to about 30% of neodymium oxide, from about 0.3% to about 3% of vanadium oxide, cobalt oxide, and the oxide of a metal selected from the group composed of nickel and manganese.

12. A protective glass containing neodymium oxide in a proportion which by itself would give the glass a violettish tint and which is sufficient to increase the color contrasts of objects viewed through the glass, vanadium oxide in a proportion sufficient to overcome such violettish tint and to give the glass a greenish tint, and a neutralizing addition to overcome such greenish tint and to give the glass a bluish-gray tint, said addition containing cobalt oxide and the oxide of a metal selected from the group composed of nickel and manganese.

13. A protective glass containing neodymium oxide in a proportion which by itself would give the glass a violettish tint and which is sufficient to increase the color contrasts of objects viewed through the glass, vanadium oxide in a propor-

Figure C.77: In 1934, Franz Weidert and Hans Löffler invented neodymium glass with unusual spectral properties that made it suitable for a variety of optical applications (ultimately including neodymium glass lasers).

2,219,122

3

- tion sufficient to overcome such violettish tint and to give the glass a greenish tint, and a neutralizing addition to overcome such greenish tint and to give the glass a bluish-gray tint, said addition  
5 containing cobalt oxide and nickel oxide.
14. A protective glass containing neodymium oxide in a proportion which by itself would give the glass a violettish tint and which is sufficient to increase the color contrasts of objects viewed  
10 through the glass, vanadium oxide in a proportion sufficient to overcome such violettish tint and to give the glass a greenish tint, and a neutralizing addition to overcome such greenish tint and to give the glass a bluish-gray tint, said addition  
15 containing cobalt oxide and manganese sesquioxide.
15. A protective glass containing neodymium oxide in a proportion which by itself would give the glass a violettish tint and which is sufficient  
20 to increase the color contrasts of objects viewed through the glass, vanadium oxide in a proportion sufficient to overcome such violettish tint and to give the glass a greenish tint, and a neutralizing addition to overcome such greenish tint and to give the glass a bluish-gray tint, said addition  
5 containing cobalt oxide, nickel oxide, and manganese sesquioxide.
16. A protective glass containing from about 5 to 50% of neodymium oxide, an amount of vanadium oxide corresponding to about from 10  
10 to 14% of the neodymium oxide content, an amount of cobalt oxide corresponding to about at least 0.5% of the vanadium oxide content, and an addition consisting of the oxide of a metal  
15 selected from the group consisting of nickel and manganese, said addition amounting to from about 5 to 9% of the vanadium oxide content.

FRANZ WEIDERT.  
HANS LÖFFLER. 20

Figure C.78: In 1934, Franz Weidert and Hans Löffler invented neodymium glass with unusual spectral properties that made it suitable for a variety of optical applications (ultimately including neodymium glass lasers).

[Neodymium-doped glass is now widely used to make lasers, especially high-power laser systems. Due to the optical properties of the neodymium glass, that material absorbs ordinary, visible, incoherent light (such as light from photographic flash lamps) and emits infrared coherent (laser) light with a wavelength of approximately  $1.06 \mu\text{m}$ .

As illustrated by the preceding U.S. Patent 2,219,122 and the following FIAT 824 report, Franz Weidert (German, 1878–1954) and Hans Löffler (German, ??–??) invented neodymium glass in or before 1934, and filed several patent applications from 1934 onward. They described its unusual spectral properties and developed a wide variety of optical applications for it.

FIAT 824 (p. 3132) stated that much of the optical industry of the German-speaking world was located in areas that were taken over by Russian forces after the war (Russian-occupied zones of Germany and Austria, and also Czech and Polish territory). Therefore even after the war, Western Allied countries did not have much information regarding just how far neodymium glass and other potentially laser-related optical technologies had advanced in the German-speaking world by 1945.

However, it is clear that scientists in the German-speaking world:

- Had been working with neodymium-doped glass since at least 1934 and were fully aware of its spectral properties and potential optical applications that those enabled (pp. 3128–3132).
- Were well aware of the high-profile publications by Albert Einstein, Walther Bothe, James Franck, Rudolf Ladenburg, and others during the period 1916–1931 demonstrating the theoretical feasibility and experimental evidence for stimulated emission of light in laser-like optical systems (pp. 3102–3127).
- Were keenly interested in developing monochromatic light sources—something like a laser that would only emit light of one particular wavelength (pp. 3137–3156).
- Were doing extensive research on new methods of producing and detecting infrared light, as well as developing a wide variety of applications of infrared light (pp. 1131–1156).

Given all of these known facts, it is not unreasonable to wonder whether laser-like applications of neodymium glass may have been proposed or investigated in wartime Germany, or whether such work may have influenced the development of neodymium glass lasers in other countries after the war.

According to official histories, neodymium lasers were first demonstrated in 1961 in the United States [Bromberg 1991, p. 101]. Was that development directly or indirectly aided by the large amount of advanced optical materials, information, and scientists that the United States obtained from Germany and Austria at the end of World War II (see for example pp. 624–642, 680–688, 1131–1156, 1260–1285, and 2923–3018)?

Much more archival research needs to be conducted to investigate these questions and the relevant history.]

**FIAT 824. *The Miscellaneous Glass Industry of Central Europe.***

[p. 1:] This report presents the results of an extensive study of the miscellaneous glass industry in the British, French, and American Occupied Zones of Germany and Austria, from December 1945 to May 1946. [...] Much of the German and Austrian glass industry is located in the Russian Zone from which no direct information could be obtained. In many instances this presented unusual difficulties arising from the fact that suppliers of equipment and materials, as well as glass manufacturing plants, were not accessible. [...]

[pp. 3–4:] Rare earths are in wide use in the production of special glasses, particularly ultra-violet and infra-red absorbing protective glasses. Cerium is commonly used in the form of ignited cerium dioxide. Several grades of neodymium compounds of varying purity were found to be in use[...]

[p. 31:] A glass of relatively high neodymium content has come into rather wide use during the war under the trade name of Neophan (See Table 15 Appendix 4). Glasses containing neodymium have been used for spectacles and other special purposes for some time, and even the Neophan series have been known from the Weidert patents, but the wide extent and purposes of its more recent use seem worthy of comment. These glasses have been used for sun glasses, for military aviators and anti-aircraft crews, for locomotive engineers, and in short, for all purposes for which the readier and more precise discrimination among colors, particularly signal colors, is of importance. They have also been used for illuminating ball rooms and butcher shops to yield more desirable color observations. They have been used as mirrors in hospitals, since the patients think that they “look better” when they view themselves in such mirrors. It is believed that the compositions used for all of these purposes are variants of the composition listed. The essential feature apparently resides in the characteristic neodymium absorption bands. [...]

[p. 55:]

TABLE 15

NEOPHAN GLASS

Syntheses	
SiO <sub>2</sub>	61.6
Na <sub>2</sub> O	9.7
K <sub>2</sub> O	5.88
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.57
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.03
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.11
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.6
Vd <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.24
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16
NiO	0.14
CoO	0.05

Melted in open pots with blocking during melt

Blown into cylinders, split and flattened

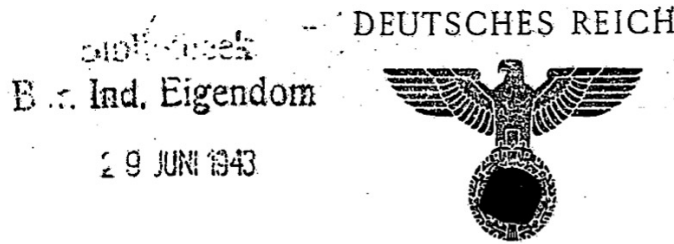
Used for eye protection and aiding color discrimination

This glass is 75% light absorbing, but it is also made with 25, 50 and 90% light absorption

Derivatives are used for a variety of purposes as described on page 31

See U.S. Patent No. 2,219,122





AUSGEGEBEN AM  
14. MAI 1943

REICHSPATENTAMT  
PATENTSCHRIFT

№ 735 435

KLASSE 21f GRUPPE 82 01

F 88927 VIII c/21f

\* Franz Focke in Bromberg \*

ist als Erfinder genannt worden.

Franz Focke in Bromberg

Anordnung zur Erzeugung von Lichtstrahlen mittels gasgefüllter Entladungsräume,  
die mit Hochfrequenzstrom betrieben werden

Patentiert im Deutschen Reich vom 15. Oktober 1940 an

Patenterteilung bekanntgemacht am 8. April 1943

Es ist bekannt, Licht mittels gas- oder metalldampfgefüllter Entladungsröhren zu erzeugen, die unter Überlagerung eines Hochfrequenzstromes betrieben werden. Man erhält dadurch eine gewisse Steigerung der Lichterzeugung, weil die zum Erzielen einer bestimmten Lichtintensität erforderliche Betriebsspannung im Gebiet der ultrakurzen Frequenzen über etwa  $10^7$  Hertz bedeutend kleiner ist als bei Niederfrequenz. Eine wesentlich rentablere Lichterzeugung wurde jedoch dadurch nicht erzielt.

Die vorliegende Erfindung geht nun von der Erkenntnis aus, daß die Lichterzeugung dann wirtschaftlicher gestaltet werden kann, wenn man bei gleichzeitiger Anordnung von Mitteln zur leichteren Überwindung der Stabilität der Füllgasatome auch Vorkehrungen trifft, daß die angeregten Atome die Anregungs-

energie im ungestörten Zustande abgeben können.

Die Lichtstrahlen werden bekanntlich von den die Atomkerne umkreisenden Elektronen ausgesendet. Spektroskopische Tatsachen führten zur Erkenntnis, daß die Elektronen eine Eigenrotation und damit ein magnetisches Feld besitzen. Wenn nun Elektronen in den Kern eingebaut sind, so ist zu erwarten, daß dieser ebenfalls ein magnetisches Feld besitzt, und zwar zumindestens dann, wenn die Zahl der Kernelektronen ungerade ist. Von Bedeutung ist ferner, daß die mittlere Verweildauer der Elektronen in angeregtem Zustande temperaturabhängig ist; bei tiefen Temperaturen bleibt der angeregte Zustand erhalten, während bei hohen Temperaturen die angeregten Elektronen durch die Wärmeschwingungen der Atome rasch in den

Figure C.79: In 1940, Franz Focke filed a patent application on using resonant excitation to create a population inversion of electron energy levels in a gas, in order to create a light beam with a particular wavelength.

ursprünglichen Zustand zurückgeworfen werden.

Die Erfindung besteht nun darin, daß der Entladungsraum einer Strahlenquelle als Hohlraumresonator, z. B. in Form einer Kugel, ausgebildet ist und solchen Gasdruck und solche Abmessungen erhält, daß bei geeigneter erregender Hochfrequenzspannung die entstehenden elektromagnetischen Resonanzzustände eine Anregung der Elektronen des Füllgases zum Aussenden eines im Sichtbaren liegenden Wellenbereichs zur Folge haben.

Der Schwingungszustand hält sich beim Hohlraumresonator durch das Hinundherpendeln zwischen elektrischen und magnetischen Energiezuständen aufrecht. Durch die relativ gleichmäßige Stromverteilung der Oberflächenströme längs der Umhüllung treten nirgends ungewöhnliche Stromdichten und daher keine Erwärmungen auf, außerdem entfallen die Verluste durch Strahlung nach außen.

Der magnetische Typ des kugelförmigen Hohlraumresonators besitzt bekanntlich in radialer Richtung eine magnetische Feldkomponente, während die entsprechende elektrische Feldkomponente in dieser Richtung verschwindet. Die elektrischen Felder verlaufen in Kreisen in Ebenen senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien. Eigenwelle  $\lambda_e$  und Kugelradius  $R$  stehen bei diesem Typ im Zusammenhang  $\lambda_e = 1,40 R$ .

Ein nicht ionisiertes Wasserstoffatom besteht aus einem Kern und einem ihn umkreisenden Elektron; es fallen Achse und Mittelpunkt vom Kern und Elektronenring im energetisch tiefsten Zustand zusammen, so daß das elektrische Moment Null ist und das magnetische praktisch gleich dem des Elektrons. Man kann unter ganz geringem Energieaufwand das Elektron abspalten, und ein Elektronenstoß von nur 1,4 Elektronenvolt Energie vermag schon das Wasserstoffatom zu ionisieren. Maßgebend für die Stabilität dieses Kernes ist sein Drehimpuls und sein magnetischer Moment.

Nimmt man nun z. B. Wasserstoff als Füllgas für den kugelförmigen Hohlraumresonator, so braucht die erregende Hochfrequenzspannung gerade nur so groß zu sein, daß die Elektronen abgespalten werden. Das magnetische Feld des Hohlraumresonators erleichtert die Elektronenabspaltung, außerdem können die angeregten Elektronen die Anregungsenergie im ungestörten Zustand abgeben, weil keine Wärmeschwingungen auftreten.

Beim Helium ist auch weiter bekannt, daß diejenigen Niveaus, von denen aus hauptsächlich die Anregung der sichtbaren Linien erfolgt, eine besonders hohe Verweilzeit haben.

Es genügt daher auch hier eine schwache Anregung, d. h. eine geringe Stromstärke, um dieses Niveau dermaßen anzureichern, daß sich die sichtbaren Linien wie Resonanzlinien verhalten.

Bei der Verwendung der Resonanzlinie zur Lichterzeugung ist die Anregungswahrscheinlichkeit eine Funktion der kinetischen Energie der Elektronen. Am häufigsten stoßen Elektronen mit etwa der doppelten bis vierfachen großen kinetischen Energie wie die Anregungsenergie einer Atomlinie mit den Atomen unelastisch zusammen. Verwendet man Gase mit kleiner Anregungsspannung, so hilft man sich bekanntermaßen gegen die unnötig hohe Geschwindigkeit der Elektronen durch die Zufügung von Edelgasen, die sich durch besonders hohe Anregungsspannungen auszeichnen, wodurch man eine große Zahl elastischer Zusammenstöße erhält.

Es ist ferner bekannt, daß das Ausstrahlen von Elektronen nur bei einer ganz bestimmten Einfallsgeschwindigkeit der erregenden Hochfrequenzspannung stattfindet, d. h. dieser Effekt muß einen Resonanzcharakter zeigen, und der Energie- und Impulssatz muß gleichzeitig erfüllt sein. Die innere Energie einer Gesamtheit von Ladungen, wie ein Atom sie darstellt, kann nur periodisch nach den Quantenbedingungen in Strahlung umgesetzt werden. Die Wechselwirkung mit jeder elektrisch geladenen Materie beruht daher darauf, daß das Wellenfeld einer Quantenstrahlung ein elektromagnetisches Feld ist.

Zur Erzeugung geeigneter Resonanzbedingungen ist es notwendig, daß die erregende Hochfrequenzspannung das Magnetfeld im Hohlraumresonator senkrecht durchsetzt, sofern keine starken Feldverzerrungen auftreten.

In der Fig. 1 zeigt das Bild a den bekannten Verlauf der elektrischen Kraftlinien der elektromagnetischen Grundschwingung in einem kugelförmigen Hohlraumresonator, wobei die Durchstoßpunkte der senkrecht zur Zeichenene gehenden Feldlinien angedeutet sind. Das Bild b zeigt die magnetischen Kraftlinien dieser Hohlkugel. Beide Feldverteilungen sind rotationssymmetrisch um die gezeichnete Achse.

Die Fig. 2 zeigt schematisch ein Anwendungsbeispiel für den grundsätzlichen Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. In dem kugelförmigen Glasgefäß 1 befindet sich eine Gasfüllung und die ringförmigen Elektroden 2 und 3, die isoliert eingeführt und im Innerraum der Kugel derartig gehalten werden, daß sie im Bereiche des größten Spannungsunterschiedes des elektrischen Feldes zu liegen kommen. Das Innere der Glaskugel ist bis auf einen kreisförmigen Ausschnitt auf der unteren Kalotte 4 metallisiert oder mit

Figure C.80: In 1940, Franz Focke filed a patent application on using resonant excitation to create a population inversion of electron energy levels in a gas, in order to create a light beam with a particular wavelength.

Metall 5 ausgekleidet. Die Klemmen 6 und 7 dienen zum Anschluß der Hochfrequenzspannung.

Wird nun den Klemmen die erregende Hochfrequenzspannung mit einer für jedes Gas ganz bestimmten Energie zugeführt und gleichzeitig die Dimensionen des Hohlraumes und der Gasdruck so gewählt, daß die entstehenden elektromagnetischen Resonanzzustände das Ausstrahlen der Elektronen im Resonanzcharakter bei einem im Sichtbaren liegenden Wellenlängenbereich vorsich gehen lassen, so treten Lichtstrahlen auf, welche durch den kreisförmigen Ausschnitt der unteren Kugelkante in den freien Raum ausstrahlen. Man erhält dadurch entsprechend den oben gemachten Darlegungen eine wirtschaftlichere Lichterzeugung. Es ist aber auch daraus ersichtlich, daß jede andere vorbestimmte Strahlenart auf diese Weise durch geeignete Wahl von erregender Hochfrequenzspannung, Hohlraumresonatordimensionen, Gasart und Gasdruck erzeugt werden kann.

#### PATENTANSPRÜCHE:

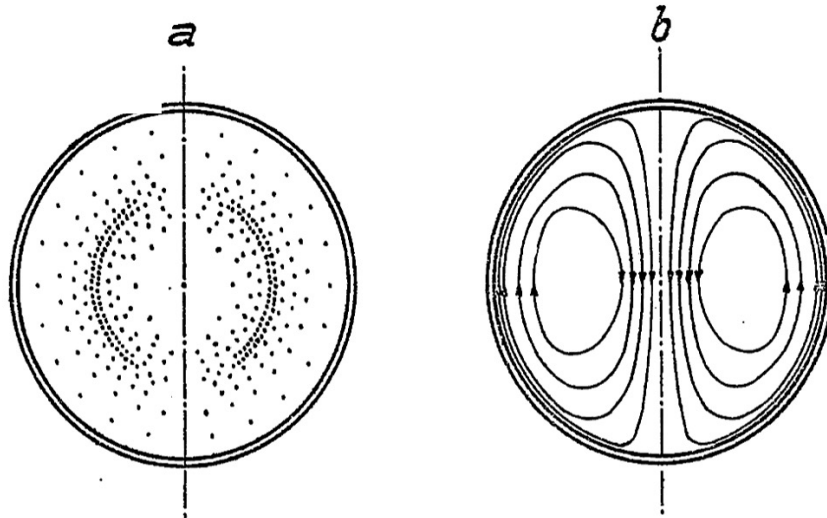
1. Anordnung zur Erzeugung von Lichtstrahlen mittels gasgefüllter Entladungsräume, die mit Hochfrequenzstrom betrieben werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Entladungsräume als Hohlraumresonatoren ausgebildet sind und solche Gasdrücke und Abmessungen erhalten, daß die bei einer geeigneten Hochfrequenzspannung entstehenden elektromagnetischen Resonanzzustände eine Anregung der Elektronen des Füllgases zum Aussenden eines im Sichtbaren liegenden Wellenbereichs zur Folge haben. 25
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die verwendete Gasfüllung aus Wasserstoff oder Helium oder aus Gemischen beider Gase mit oder ohne Edelgase besteht. 30
3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlraumresonator kugelförmig ausgebildet ist. 35 40 45

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Figure C.81: In 1940, Franz Focke filed a patent application on using resonant excitation to create a population inversion of electron energy levels in a gas, in order to create a light beam with a particular wavelength.

Zu der Patentschrift **735 435**  
 Kl. 21 f Gr. 82 01

*Fig. 1.*



*Fig. 2.*

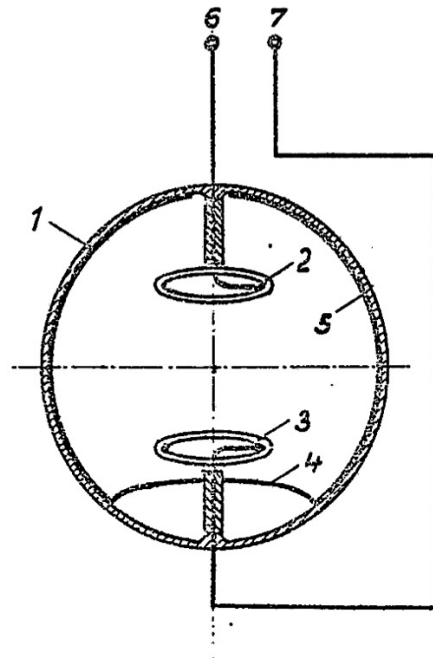


Figure C.82: In 1940, Franz Focke filed a patent application on using resonant excitation to create a population inversion of electron energy levels in a gas, in order to create a light beam with a particular wavelength.



**Wilhelm von Meyeren. 20 February 1945 report on the development of a novel monochromatic light source. [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3]**

Forschungsstelle für Experimentalphysik  
Dr. W. von Meyeren  
an der Deutschen Karls-Universität

Research Center for Experimental Physics  
Dr. W. von Meyeren  
at the German Charles University

Prag II,  
Am Karlshof 3  
den 20. Februar 1945

Prague II,  
At Karlshof 3  
20 February 1945

An den  
Reichsforschungsrat,  
z. Hd. Herrn Professor Dr. W. Gerlach  
als Leiter der Fachsparte "Physik"  
München 22  
Ludwigstrasse 17.–

To the  
Reich Research Council,  
Attn. Professor Dr. W. Gerlach  
as head of the "Physics" division  
Munich 22  
Ludwigstrasse 17.–

Betr.: Forschungsauftrag S 4891-5460/1715/3/

Regarding: Research assignment S 4891-5460/1715/3/

Bezug: RFR Brb.-Nr. 2822/45-Ge/Neu.

Reference: RFR Brb.-Nr. 2822/45-Ge/New.

Angeschlossen füge ich einen Bericht über die bisherigen Ergebnisse meiner Untersuchungen im Rahmen des o.a. Forschungsauftrages bei.

Attached I include a report on the results of my investigations to date within the framework of the above-mentioned research assignment.

Infolge völliger Inanspruchnahme durch zwei weitere SS-Aufträge seitens des OKH und des OKM bin ich erst jetzt in der Lage gewesen, den Bericht fertigzustellen. Ich bitte deshalb die Verzögerung entschuldigen zu wollen. [...]

Due to being fully occupied with two other SS projects for the Army and Navy, I have only now been able to complete the report. I therefore apologize for the delay. [...]

Problemstellung.

Problem statement.

Es sollen die Atome eines Gases oder Dampfes vom Grundzustand aus in den ersten angeregten /nicht metastabilen/ Zustand gehoben werden, derart, dass dabei höher angeregte Zustände möglichst nicht oder doch nur in verschwindend geringer Zahl vorkommen. Das Gas bzw. der Dampf kann dann lediglich die Resonanzlinie des betr. Atoms emittieren, stellt dann also eine praktisch monochromatische Lichtquelle dar.

The atoms of a gas or vapor shall be lifted from the ground state into the first excited (not metastable) state, in such a way that higher excited states do not occur at all or only in a negligibly small number. The gas or vapor can then only emit the resonance line of the atom in question, thus representing a practically monochromatic light source.

Bei der Verwendung von Rubidium- oder Cäsiumdampf wäre dann lediglich Strahlung der Wellenlängen 7984 und 7800 A.E. /Rb/ bzw. 8944 und 8521 A.E. /Cs/ zu erwarten, also je zwei diskrete im nahen ultraroten Spektralgebiet gelegene Strahlungsfrequenzen. Dass für jedes Atom zwei Frequenzen auftreten müssen, rührt von der Dublettaufspaltung der P-Terme her.

Um eine solche Lichtquelle von hinreichend grosser Strahlungsintensität zu erhalten, muss die Zahl der im ersten angeregten Zustand befindlichen Atome möglichst gross gemacht werden. Es kommt deshalb nur Anregung durch Elektronenstoss in Frage unter Verwendung einer ergiebigen Glühkathode als Elektronenquelle.

Ferner liegt es nahe, ein Gas bzw. einen Dampf von hoher Dichte zu benutzen, um eine grosse Zahl angeregter Zustände zu erhalten.

Die Verwendung eines hohen Gas- bzw. Dampfdruckes erweist sich aber aus folgenden Gründen als ungeeignet. Durch unvermeidliche Mehrfachstösse werden auch stets höhere Terme der Atome angeregt, und zwar umso mehr, je höher Gasdruck und Stromdichte sind. Ferner steigt mit zunehmender Gasdichte die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Stössen 2. Art. Diese verursachen wiederum grosse Geschwindigkeiten der stossenden Elektronen und damit eine Vergrösserung der Anregungswahrscheinlichkeit für höhere Atomzustände.—

If rubidium or cesium vapor were used, only radiation of the wavelengths 7984 and 7800 Angstroms (Rb) or 8944 and 8521 Angstroms (Cs) would be expected, i.e. two discrete radiation frequencies in the near infrared spectral region. The fact that two frequencies must occur for each atom is due to the doublet splitting of the P terms.

In order to obtain such a light source of sufficiently high radiation intensity, the number of atoms in the first excited state must be made as large as possible. Therefore, only excitation by electron impact using a high-intensity cathode as electron source is possible.

It also makes sense to use a high density gas or vapor to obtain a large number of excited states.

However, the use of a high gas density or vapor pressure is unsuitable for the following reasons. Due to unavoidable multiple excitations, the higher the gas pressure and current density, the higher the levels of the atoms are excited. Furthermore, with increasing gas density, the probability of the occurrence of collisions increases as the square [of the density]. These in turn cause high velocities of the impinging electrons and thus an increase of the excitation probability for higher atomic states.

In früheren Untersuchungen hat Verf. gezeigt, dass auch in Gasen von sehr kleiner Dichte durch Elektronen kleiner Stromdichte eine sehr starke Anregung möglich ist. Die mittlere freie Weglänge der Elektronen nimmt zwar bei abnehmendem Gasdruck zu und erreicht bereits bei Drucken von der Grössenordnung 0,01 Torr die linearen Dimensionen der gebräuchlichen Entladungsgefässe, also einige Zentimeter. Zwingt man aber durch Anlegen eines äusseren Magnetfeldes die Elektronen auf krummlinige Bahnen /Cykloiden, Kegelschraubenbahnen, u. dgl./, so lässt sich selbst bei sehr niederen Gasdrucken in normalen Entladungsgefässen die Zahl der anregenden Zusammenstösse zwischen Elektronen und Atomen ungeheuer steigern und ein intensives Gasleuchten erreichen. Gleichzeitig ist bei einer solchen Anordnung der weitere Vorteil verbunden, dass bei dem niederen Druck eine strahlungslose Rückkehr der angeregten Atome durch Zusammenstösse mit nichtangeregten Atomen nur selten vorkommt. Untersuchungen dieser Art sind früher mit Stosselektronen grosser Geschwindigkeit /etwa  $2 \cdot 10^3$  e-Volt/ durchgeführt worden. Bei diesen Versuchsbedingungen werden auch hochangeregte Atomzustände und auch angeregte Zustände des Atomions in grosser Zahl geschaffen.

Zur möglichst alleinigen Anregung der Resonanzlinie des Atoms muss daher versucht werden, bei niederem Gasdruck mit langsamen Elektronen anzuregen. Für die Fälle der Rubidium- und Cäsiumatoms dürfen die Elektronengeschwindigkeiten dabei nur etwa 2 e-Volt betragen. Dann befindet man sich einmal etwa im Maximum der Anregungsfunktion für den ersten angeregten Zustand, erreicht also die bestmögliche Stossausbeute, zum anderen ist die Wahrscheinlichkeit für die Anregung höherer Atomzustände noch gering.

In earlier investigations the author has shown that even in gases of very low density, a very strong excitation is possible by electrons of low current density. The mean free path length of the electrons increases with decreasing gas pressure and reaches the linear dimensions of the common discharge vessels at pressures of 0.01 Torr, i.e. a few centimeters. If, however, the electrons are forced onto curvilinear orbits (cycloids, conical screw orbits, etc.) by the application of an external magnetic field, the number of stimulating collisions between electrons and atoms can be enormously increased even at very low gas pressures in normal discharge vessels and an intensive gas glow can be achieved. At the same time such an arrangement has the further advantage that at low pressure a return without radiation of the excited atoms due to collisions with non-excited atoms occurs only rarely. Investigations of this kind used to be carried out with high velocity impact electrons (about  $2 \times 10^3$  electron-Volts). At these experimental conditions both highly excited atomic states and also excited atomic states are created in large numbers.

In order to excite solely the resonance line of the atom as much as possible, an attempt must therefore be made to excite with slow electrons at low gas pressure. For the cases of rubidium and cesium atoms, the electron velocities may only be about 2 electron-Volts. Then one is at the maximum of the excitation function for the first excited state, thus achieving the best possible shock yield, on the other hand the probability for the excitation of higher atomic states is still low.

Als geeignete Entladungsform mit derartig geringen Elektronengeschwindigkeiten kommt allein der Niedervoltbogen in Frage, und zwar die abnormale Bogenform. Es ist daher das erste Ziel der geplanten Untersuchung, einen Niedervoltbogen bei möglichst niederem Gasdruck aufrecht zu erhalten. Ferner ist dann zu untersuchen, ob ein solcher Bogen auch bei Anlegung eines äusseren Magnetfeldes weiterbestehen kann.–

Der Niedervoltbogen ist eine halbselfständige Gasentladung und benutzt als Quelle für die primären Ladungsträger eine Glühkathode. Der Gas- bzw. Dampfdruck beträgt zwischen 5 und 50 Torr.

Beim abnormalen Bogen beträgt die Spannung zwischen Kathode und Anode /Brennspannung/ unter Berücksichtigung der Kontaktpotentiale und der thermischen Anfangsgeschwindigkeit der Glühelktronen nur einen Bruchteil der ersten Anregungsspannung des betr. Atoms. Zunächst erscheint es unmöglich, bei so niederen Brennspannungen überhaupt eine Gasentladung aufrecht erhalten zu können. Genaue Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass im Raum zwischen Kathode und Anode, und zwar in Kathodennähe, eine positive Raumladung zustande kommt. Diese bewirkt, dass das Raumpotential zwischen den Elektroden höher liegt als das Anodenpotential und im Maximum einen Wert erreicht, der gleich dem ersten Anregungspotential der betr. Gases oder Dampfes ist. Da nun zur Aufrechterhaltung der Entladung eine ständige Neubildung von positiven Ladungsträgern /Atomionen/ notwendig ist, das Raumpotential jedoch das Ionisierungspotential bei weitem nicht erreicht, so muss eine Trägerneubildung durch stufenweise Ionisierung erfolgen.

Only the low-voltage arc, the unusual arc shape, can be considered as a suitable form of discharge with such low electron speeds. It is therefore the first objective of the planned investigation to maintain a low-voltage arc at the lowest possible gas pressure. Furthermore, it has to be investigated whether such an arc can continue to exist even if an external magnetic field is applied.–

The low-voltage arc is a semi-autonomous gas discharge and uses a hot cathode as the source for the primary charge carriers. The gas or vapor pressure is between 5 and 50 Torr.

With an unusual arc, the voltage between cathode and anode (heating voltage) is only a fraction of the first excitation voltage of the respective atom, taking into account the contact potentials and the initial thermal velocity of the annealing electrons. At first it seems impossible to maintain a gas discharge at such low voltages. However, precise investigations have shown that a positive space charge is generated in the space between cathode and anode, close to the cathode. This causes the space charge potential between the electrodes to be higher than the anode potential and to reach a maximum value equal to the first excitation potential of the gas or vapor concerned. Since a constant new formation of positive charge carriers (atomic ions) is necessary to maintain the discharge, but the space charge potential does not reach the ionization potential by far, a new carrier formation must take place by stepwise ionization.



Im Spektrum des abnormalen Niedervoltbogens treten deshalb ausser den Atomlinien auch stets die Funkenlinien auf. Es ist zunächst die günstigste Versuchsbedingung zu ermitteln, unter welcher die Resonanzlinie des Atoms mit überwiegender Intensität emittiert wird, um dem Ideal einer monochromatischen Lichtquelle möglichst nahe zu kommen.–

Untersuchung des abnormalen  
Niedervoltbogens bei niederen Drucken.

Als erste Aufgabe wurde die Untersuchung in Angriff genommen mit dem Ziel, bis zu welchen Drucken ein abnormaler Niedervoltbogen überhaupt noch möglich ist. Da alle früheren Untersuchungen am Niedervoltbogen im Druckbereich zwischen 50 und 5 Torr durchgeführt worden sind, ist jetzt bei Drucken unterhalb von 5 Torr gearbeitet worden. **Ferner sind zunächst die Untersuchungen nicht an Alkalidämpfen, also z.B. Rubidium oder Cäsium, vorgenommen worden, sondern zunächst einmal an Argon.** Dies ist aus folgenden Gründen geschehen. Um die geeignete Form und die beste geometrische Anordnung der Elektroden zu finden, muss das Innere des Entladungsrohres leicht zugänglich sein. Die Elektroden müssen also mit Hilfe von Schliffen ausgewechselt werden können. Bei der Verwendung von Alkalidämpfen ist wegen deren chemischer Aktivität ein solches Entladungsrohr nicht zu benutzen. Ferner muss bei Alkalidämpfen das Entladungsrohr aus alkalifestem Glas hergestellt werden. Dies ist wegen der schwierigen Beschaffung dieser Glassorte zurzeit nicht möglich gewesen. Wenn auch die am Edelgas erhaltenen Ergebnisse nicht in allen Einzelheiten auf Alkalidämpfe übertragen werden können, so werden trotzdem die mit der Edelgas erhaltenen Befunde doch im grossen und ganzen den Weg zeigen, auf welchem die Entwicklung des gewünschten Entladung zu erfolgen hat.

In der abnormalen Entladungsform bei verschiedenen Drucken unterhalb 5 Torr ist zunächst das Raumpotential zwischen Kathode und Anode durch Sondermessungen festgestellt worden.

In the spectrum of the unusually low-voltage arc, therefore, emission lines always occur in addition to atomic lines. The first step is to determine the most favorable experimental condition under which the resonance line of the atom is emitted with predominant intensity in order to come as close as possible to the ideal of a monochromatic light source.–

Investigation of the unusually  
low voltage arc at low pressure.

The first task was to investigate up to which pressures an unusually low-voltage shock is still possible. Since all previous investigations on the low-voltage arc were carried out in the pressure range between 50 and 5 Torr, work has now been carried out on pressures below 5 Torr. **Furthermore, the investigations were not initially carried out on alkali vapours, e.g. rubidium or cesium, but on argon.** This was done for the following reasons. In order to find the suitable shape and the best geometrical arrangement of the electrodes, the inside of the discharge tube must be easily accessible. It must therefore be possible to replace the electrodes with the aid of ground joints. When alkali fumes are used, such a discharge tube cannot be used because of their chemical activity. In the case of alkali fumes, the discharge tube must also be made of alkali-resistant glass. This has not been possible at present due to the difficult procurement of this type of glass. Even if the results obtained on the inert gas cannot be transferred in all details to alkali vapours, the findings obtained with the inert gas will nevertheless largely show the way in which the development of the desired discharge must take place.

In the unusual discharge form at various pressures below 5 Torr, the space charge potential between cathode and anode was first determined by special measurements.

Fig. 1 zeigt das benutzte Entladungsgefäß. Als Anode ist ein Nickelblech, als Kathode teils eine Oxydkathode teils eine Wolframwendel benutzt worden.

Die Sonde ist im Raum zwischen Anode und Kathode messbar beweglich angeordnet. Teils ist eine ebene, teils eine Zylindersonde benutzt worden.

Die Figuren 2–5 zeigen die Ergebnisse einigen Sondenmessungen.

Es folgt daraus, dass auch bei Gasdrucken zwischen 6 und 1,5 Torr die Form des abnormalen Niedervoltbogens existiert und dass das Raumpotential über dem Anodenpotential liegt. Das Maximum des Raumpotentials erreicht bei einem Druck von 5,6 Torr gerade das erste Anregungspotential des Argons /11,5 Volt/. Bei abnehmenden Drucken nimmt der Maximalwert des Raumpotentials zu. Die Brennspannung liegt dabei stets unterhalb der ersten Anregungsspannung. Bei Gasdrucken unter 1,5 Torr erreicht die Brennspannung die erste Anregungsspannung, das Potentialmaximum im Entladungsraum erreicht dann die Ionisierungsspannung des Gases /für Argon 15,68 Volt/. Das bedeutet, dass bei diesen Drucken der abnormale Bogen nicht mehr existenzfähig ist. Er ist vielmehr in die Form des normalen Bogens übergegangen. Dies zeigt die Figur 6. Hier—bei einem Druck von 0,5 Torr liegt die Brennspannung zwischen der ersten Anregungs- und der Ionisierungsspannung. Bemerkenswert und bei höheren Gasdrucken noch nicht beobachtet ist weiter die Tatsache, dass trotzdem das Raumpotential höher ist als das Anodenpotential und im Maximum das Ionisierungspotential erreicht oder sogar etwas überschreitet. Die Trägerneubildung erfolgt hier zweifellos in einem Elementarakt durch direkten Stoss und nicht, wie beim abnormalen Bogen, durch stufenweise Ionisierung!

Fig. 1 shows the discharge vessel used. A nickel plate has been used as an anode, and sometimes an oxide cathode and sometimes a tungsten filament as a cathode.

The probe is arranged in the space between anode and cathode so that it is measurably movable. Sometimes a flat probe and sometimes a cylindrical probe has been used.

Figures 2–5 show the results of some probe measurements.

It follows from this that even at gas pressures between 6 and 1.5 Torr the shape of the unusually low-voltage arc exists and that the space charge potential is above the anode potential. The maximum of the space charge potential at a pressure of 5.6 Torr just reaches the first excitation potential of argon (11.5 Volts). With decreasing pressures the maximum value of the space charge potential increases. The heating voltage is always below the first excitation voltage. At gas pressures below 1.5 Torr the heating voltage reaches the first excitation voltage, the potential maximum in the discharge chamber then reaches the ionization voltage of the gas (for argon 15.68 Volts). This means that at these pressures the unusual arc is no longer viable. Rather, it has changed into the form of the normal arc. This is shown in Figure 5. Here, at a pressure of 0.5 Torr, the heating voltage lies between the first excitation voltage and the ionization voltage. Remarkable and not yet observed at higher gas pressures is the fact that the space charge potential is still higher than the anode potential and reaches or even slightly exceeds the ionization potential at the maximum. The formation of the new carrier is undoubtedly an elementary act by direct impact and not, as in an abnormal arc, by gradual ionization!

Die Sondenmessungen ergeben gleichzeitig die Elektronenkonzentration und die Elektronentemperatur an den betr. Orten des Entlandungsraumes. Diese Werte sind in den Figuren 2–5 mit eingetragen.–

Bei allen untersuchten Drucken tritt in der Entladung des abnormalen Bogens **das Funkenspektrum des Argons /das blaue Spektrum/ mit merklicher Intensität** neben dem Atomspektrum /rotes Spektrum/ auf. Die Zahl der durch Mehrfachstöße gebildeten Ionen ist also erheblich.–

Bei Anlegung eines äusseren Magnetfeldes in der Weise, dass die Feldlinien denen des elektrischen Feldes zwischen Kathode und Anode parallel verlaufen, müssen die Ladungsträger, besonders die Elektronen, längs ihrer freien Wegstrecken Schraubenbahnen beschreiben. Bei magnetischen Feldstärken zwischen 0 und 150 Oe ist nun ein Instabilwerden der Entladung beobachtet worden, die bisher nur durch Erhöhung der Brennspannung bis mindestens zur Ionisierungsspannung behoben werden kann. Damit ist die Entladung aber in die Form des normalen Niedervoltbogens übergegangen. **Ebenso tritt das Funkenspektrum sehr intensiv hervor.**–

Zurzeit sind daher Versuche im Gang die Brennspannung bei Anlegung eines äusseren Magnetfeldes durch andere Hilfsmittel wieder zu senken. U.a. wird eine gitterförmige Hilfselektrode dicht vor die Glühkathode gesetzt, ähnlich dem Raumladungsgitter der Doppelgitter-Elektronenröhren. Es wird versucht, durch geeignete Aufladung dieser Hilfselektrode die Magnetfeldentladung auch bei sehr niederen Brennspannungen zu stabilisieren. Ergebnisse dieser Versuche stehen noch aus.

The probe measurements give simultaneously the electron concentration and the electron temperature at the respective locations of the mixing area. These values are shown in Figures 2–5.–

At all investigated pressures, in the mixing of the unusual arc, **the emission spectrum of the argon (the blue spectrum) occurs with noticeable intensity** next to the atomic spectrum (the red spectrum). The number of ions formed by multiple bursts is therefore considerable.–

When an external magnetic field is applied in such a way that the field lines run parallel to those of the electric field between cathode and anode, the charge carriers, especially the electrons, must describe helical paths along their free paths. At magnetic field strengths between 0 and 150 Oersted, an instability of the discharge has now been observed, which so far can only be remedied by increasing the heating voltage to at least the ionization voltage. However, the discharge is now in the form of a normal low-voltage arc. **The emission spectrum also emerges very intensely.**–

Therefore, attempts are made to reduce the heating voltage by applying an external magnetic field with other aids. Among other things, a grid-shaped auxiliary electrode is placed close to the hot cathode, similar to the space charge grid of the double grid electron tubes. An attempt is made to stabilize the magnetic field discharge even at very low heating voltages by charging this auxiliary electrode appropriately. Results of these experiments are still pending.

Erläuterung zu den Figg. 2–5:

$U_B$ : gemessene Brennspannung  
 $U'_B$ : korrigierte Brennspannung  
 $U_R$ : gemessenes Raumpotential  
 $U'_R$ : korrigiertes Raumpotential  
 $U_k$ : Kontaktpotential  
 $T_-$ : Elektronentemperatur  
 $N_-$ : Elektronenkonzentration.

Als Abszisse ist stets der Abstand zwischen Kathode u. Anode in mm aufgetragen.

Explanation of Figs. 2–5:

$U_B$ : measured heating voltage  
 $U'_B$ : corrected heating voltage  
 $U_R$ : measured space charge potential  
 $U'_R$ : corrected space charge potential  
 $U_k$ : contact potential  
 $T_-$ : electron temperature  
 $N_-$ : electron concentration.

The abscissa is always the distance in mm between cathode and anode.

[This one paper rather miraculously survived. How many other laser-like experiments were there in this group, and in other groups?

Wilhelm von Meyeren's research was in Prague, and funded by and closely tied to the SS, directed energy beam weapons development, and nuclear programs (via Walther Gerlach). Was it the same as, or at least somehow related to, the SS-funded laser work that Wilhelm Voss said was being conducted by Skoda Pilsen (see p. 3157)?

While it is not stated in this one surviving document, it seems quite plausible that von Meyeren might have been planning a photon chain reaction with reflectors once he managed to create a population inversion in the gas atoms, especially since he was reporting to Walther Gerlach, who was also in charge of neutron chain reactions with reflectors, as well as a variety of projects to develop directed energy beam weapons (e.g., pp. 3074–3078). Perhaps other documents can be discovered in order to shed more light on how large this laser-like research program was, how far it progressed, and how much it influenced postwar work in other countries.]



DECLASSIFIED Authority <u>NND 755001</u>
---

**NARA RG 319, Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder G3**

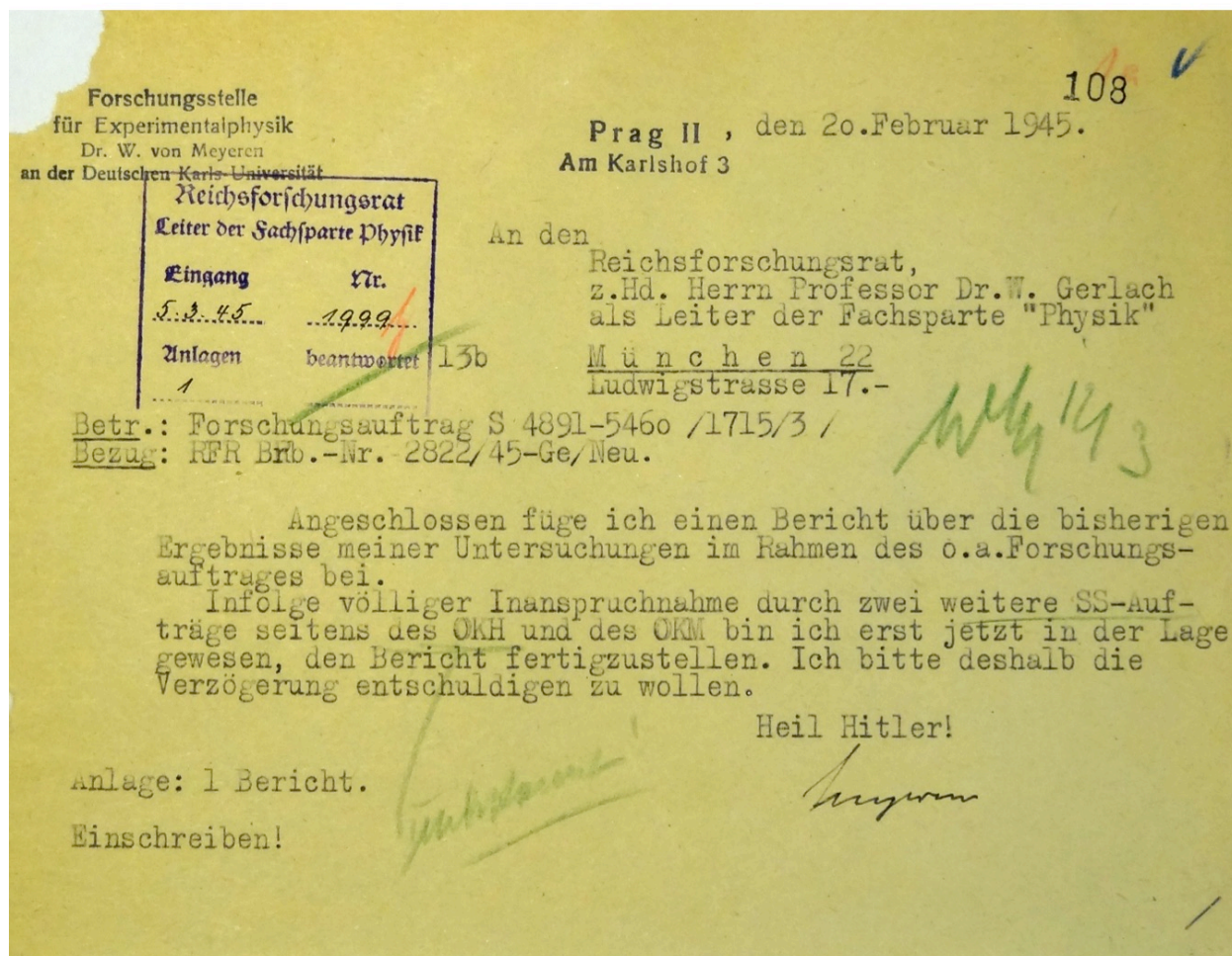


Figure C.83: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].



DECLASSIFIED  
Authority AWD/75506/

NARA RG 319, Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder G3

Professor Dr. W. von Meyeren  
Prag II, den 20. Februar 1945.  
Am Karlshof 3.-

109

Bericht über den Forschungsauftrag Nr. S 4391-5460 / 1715/3 /.

*W. M.*

Problemstellung. Es sollen die Atome eines Gases oder Dampfes vom Grundzustand aus in den ersten angeregten / nicht metastabilen / Zustand gehoben werden, derart, dass dabei höher angeregte Zustände möglichst nicht oder doch nur in verschwindend geringer Zahl vorkommen. Das Gas bzw. der Dampf kann dann lediglich die Resonanzlinie des betr. Atoms emittieren, stellt dann also eine praktisch monochromatische Lichtquelle dar.

Bei der Verwendung von Rubidium- oder Cäsiumdampf wäre dann lediglich Strahlung der Wellenlängen 7984 und 7800 Å. E./Rb/ bzw. 8944 und 8521 Å. E./Cs/ zu erwarten, also je zwei diskrete im nahen ultraroten Spektralgebiet gelegene Strahlungsfrequenzen. Dass für jedes Atom zwei Frequenzen auftreten müssen, rührt von der Dublettaufspaltung der P-Terme her.

Um eine solche Lichtquelle von hinreichend grosser Strahlungsintensität zu erhalten, muss die Zahl der im ersten angeregten Zustand befindlichen Atome möglichst gross gemacht werden. Es kommt deshalb nur Anregung durch Elektronenstoss in Frage unter Verwendung einer ergiebigen Glühkathode als Elektronenquelle.

Ferner liegt es nahe, ein Gas bzw. einen Dampf von hoher Dichte zu benutzen, um eine grosse Zahl angeregter Zustände zu erhalten.

Die Verwendung eines hohen Gas- bzw. Dampfdruckes erweist sich aber aus folgenden Gründen als ungeeignet. Durch unvermeidliche Mehrfachstösse werden auch stets höhere Terme der Atome angeregt, und zwar umso mehr, je höher Gasdruck und Stromdichte sind. Ferner steigt steigt mit zunehmender Gasdichte die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Stössen 2. Art. Diese verursachen wiederum grosse Geschwindigkeiten der stossenden Elektronen und damit eine Vergrösserung der Anregungswahrscheinlichkeit für höhere Atomzustände.-

In früheren Untersuchungen hat Verf. gezeigt, dass auch in Gasen von sehr kleiner Dichte durch Elektronen kleiner Stromdichte eine sehr starke Anregung möglich ist. Die mittlere freie Weglänge der Elektronen nimmt zwar bei abnehmendem Gasdruck zu und erreicht bereits bei Drucken von der Grössenordnung 0,01 Torr die linearen Dimensionen der gebräuchlichen Entladungsgefässe, also einige Zentimeter. Zwingt man aber durch Anlegen eines äusseren Magnetfeldes die Elektronen auf krummlinige Bahnen /Cykloiden, Kegelschraubenbahnen, u.dgl./, so lässt sich selbst bei sehr niederen Gasdrucken in normalen Entladungsgefässen die Zahl der anregenden Zusammenstösse zwischen Elektronen und Atomen ungeheuer steigern und ein intensives Gasleuchten erreichen. Gleichzeitig ist bei einer solchen Anordnung der weitere Vorteil verbunden, dass bei dem niederen Druck eine strahlungslose Rückkehr der angeregten Atome durch Zusammenstösse mit ~~nicht~~ ~~angeregten~~ nichtangeregten Atomen nur selten vorkommt. Untersuchungen dieser Art sind früher mit Stosselektronen grosser Geschwindigkeit /etwa  $2 \cdot 10^5$  e-Volt/ durchgeführt worden. Bei diesen Versuchsbedingungen werden auch hochangeregte Atomzustände und auch angeregte Zustände des Atoms in grosser Zahl geschaffen.

Zur möglichst alleinigen Anregung der Resonanzlinie des Atoms muss daher versucht werden, bei niederem Gasdruck mit langsamen Elektronen anzuregen. Für die Fälle des Rubidium- und Cäsiumatoms dürfen die Elektronengeschwindigkeiten dabei nur etwa 2 e-Volt

2

Figure C.84: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].



DECLASSIFIED

Authority (b)(7)(500)

NARA RG 319, Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder G3

110<sup>2</sup>.

betragen. Dann befindet man sich einmal etwa im Maximum der Anregungsfunktion für den ersten angeregten Zustand, erreicht also die bestmögliche Stossausbeute, zum anderen ist die Wahrscheinlichkeit für die Anregung höherer Atomzustände noch gering.

Als geeignete Entladungsform mit derartig geringen Elektronengeschwindigkeiten kommt allein der Niedervoltbogen in Frage, und zwar die abnormale Bogenform. Es ist daher das erste Ziel der geplanten Untersuchung, einen Niedervoltbogen bei möglichst niederem Gasdruck aufrecht zu erhalten. Ferner ist dann zu untersuchen, ob ein solcher Bogen auch bei Anlegung eines äusseren Magnetfeldes weiterbestehen kann.-

Der Niedervoltbogen ist eine halbselbständige Gasentladung und benutzt als Quelle für die primären Ladungsträger eine Glühkathode. Der Gas- bzw. Dampfdruck beträgt zwischen 5 und 50 Torr.

Beim abnormalen Bogen beträgt die Spannung zwischen Kathode und anode /Brennspannung/ unter Berücksichtigung der Kontaktpotentiale und der thermischen Anfangsgeschwindigkeit der Glüh-  
elektronen nur einen Bruchteil der ersten Anregungsspannung des betr. Atoms. Zunächst erscheint es unmöglich, bei so niederen Brennspannungen überhaupt eine Gasentladung aufrecht erhalten zu können. Genaue Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass im Raum zwischen Kathode und Anode, und zwar in Kathodennähe, eine positive Raumladung zustande kommt. Diese bewirkt, dass das Raumpotential zwischen den Elektroden höher liegt als das anodenpotential und im Maximum einen Wert erreicht, der gleich dem ersten Anregungspotential des betr. Gases oder Dampfes ist. Da nun zur Aufrechterhaltung der Entladung eine ständige Neubildung von positiven Ladungsträgern /Atomionen/ notwendig ist, das Raumpotential jedoch das Ionisierungspotential bei weitem nicht erreicht, so muss eine Trägerneubildung durch stufenweise Ionisierung erfolgen.

Im Spektrum des abnormalen Niedervoltbogens treten deshalb ausser den Atomlinien auch stets die Funkenlinien auf. Es ist zunächst die günstigste Versuchsbedingung zu ermitteln, unter welcher die Resonanzlinie des Atoms mit überwiegender Intensität emittiert wird, um dem Ideal einer monochromatischen Lichtquelle möglichst nahe zu kommen.-

Untersuchung des abnormalen Niedervoltbogens bei niederen Drucken.

Als erste Aufgabe wurde die Untersuchung in Angriff genommen mit dem Ziel, bis zu welchen Drucken ein abnormaler Niedervoltbogen überhaupt noch möglich ist. Da alle früheren Untersuchungen am Niedervoltbogen im Druckbereich zwischen 50 und 5 Torr durchgeführt worden sind, ist jetzt bei Drucken unterhalb von 5 Torr gearbeitet worden. Ferner sind zunächst die Untersuchungen nicht an Alkalidämpfen, also z.B. Rubidium oder Cäsium, vorgenommen worden, sondern zunächst einmal an Argon. Dies ist aus folgenden Gründen geschehen. Um die geeignete Form und die beste geometrische Anordnung der Elektroden zu finden, muss das Innere des Entladungsrohres leicht zugänglich sein. Die Elektroden müssen also mit Hilfe von Schliessen ausgewechselt werden können. Bei der Verwendung von Alkalidämpfen ist wegen deren chemischer Aktivität ein solches Entladungsrohr nicht zu benutzen. Ferner muss bei Alkalidämpfen das Entladungsrohr aus alkalifestem Glas hergestellt werden. Dies ist wegen der schwierigen Beschaffung dieser Glassorte zurzeit nicht möglich gewesen. Wenn auch die am Edelgas erhaltenen Ergebnisse nicht in allen Einzelheiten auf Alkalidämpfe übertragen werden können, so werden trotzdem die mit der Edelgas erhaltenen Befunde doch im grossen und ganzen den Weg zeigen, auf welchem die Entwicklung der gewünschten Entladung

3

Figure C.85: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].



DECLASSIFIED  
Authority AWD/15506/

NARA RG 319, Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder G3

111 3.  
Entladung zu erfolgen hat.

In der abnormalen Entladungsform bei verschiedenen Drucken unterhalb 5 Torr ist zunächst das Raumpotential zwischen Kathode und Anode durch Sondenmessungen festgestellt worden.

Fig. 1 zeigt das benutzte Entladungsgefäß. Als Anode ist ein Nickelblech, als Kathode teils eine Oxydkathode teils eine Wolframwendel benutzt worden.

Die Sonde ist im Raum zwischen Anode und Kathode messbar beweglich angeordnet. Teils ist eine ebene, teils eine Zylindersonde benutzt worden.

Die Figuren 2 - 5 zeigen die Ergebnisse einiger Sondenmessungen.

Es folgt daraus, dass auch bei Gasdrucken zwischen 6 und 1,5 Torr die Form des abnormalen Niedervoltbogens existiert und dass das Raumpotential über dem Anodenpotential liegt. Das Maximum des Raumpotentials erreicht bei einem Druck von 5,6 Torr gerade das erste Anregungspotential des Argons /11,5 Volt/.

Bei abnehmenden Drucken nimmt der Maximalwert des Raumpotentials zu. Die Brennspannung liegt dabei stets unterhalb der ersten Anregungsspannung. Bei Gasdrucken unter 1,5 Torr erreicht die Brennspannung die erste Anregungsspannung, das Potentialmaximum im Entladungsraum erreicht dann die Ionisierungsspannung des Gases /für Argon 15,68 Volt/. Das bedeutet, dass bei diesen Drucken der abnormale Bogen nicht mehr existenzfähig ist. Er ist vielmehr in die Form des normalen Bogens übergegangen. Dies zeigt die Figur 6. Hier - bei einem Druck von 0,5 Torr liegt die Brennspannung zwischen der ersten Anregungs- und der Ionisierungsspannung. Bemerkenswert und bei höheren Gasdrucken noch nicht beobachtet ist weiter die Tatsache, dass trotzdem das Raumpotential höher ist als das Anodenpotential und im Maximum das Ionisierungspotential erreicht oder sogar etwas überschreitet. Die Trägerneubildung erfolgt hier zweifellos in einem Elementarakt durch direkten Stoss und nicht, wie beim abnormalen Bogen, durch stufenweise Ionisierung!

Die Sondenmessungen ergeben gleichzeitig die Elektronenkonzentration und die Elektronentemperatur an den betr. Orten des Entladungsraumes. Diese Werte sind in den Figuren 2 - 5 mit eingetragen.

Bei allen untersuchten Drucken tritt in der Entladung des abnormalen Bogens das Funkenspektrum des Argons /Das blaue Spektrum/ mit merklicher Intensität neben dem Atomspektrum /rotes Spektrum/ auf. Die Zahl der durch Mehrfachstöße gebildeten Ionen ist also erheblich.

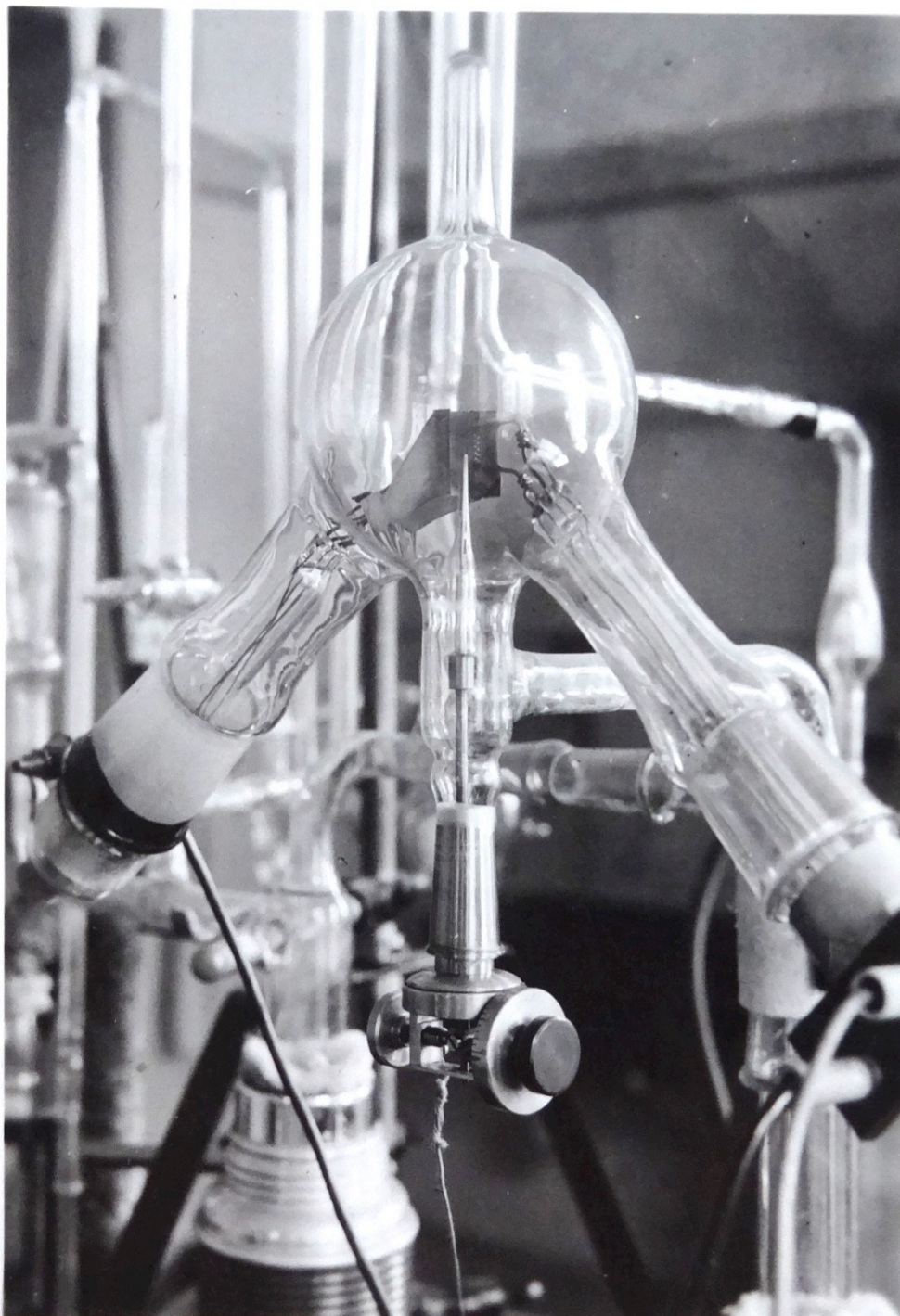
Bei Anlegung eines äusseren Magnetfeldes in der Weise, dass die Feldlinien denen des elektrischen Feldes zwischen Kathode und Anode parallel verlaufen, müssen die Ladungsträger, besonders die Elektronen, längs ihrer freien Wegstrecken Schraubenbahnen beschreiben. Bei magnetischen Feldstärken zwischen 0 und 150 Oe ist nun ein Instabilwerden der Entladung beobachtet worden, die bisher nur durch Erhöhung der Brennspannung bis mindestens zur Ionisierungsspannung behoben werden kann. Damit ist die Entladung aber in die Form des normalen Niedervoltbogens übergegangen. Ebenso tritt das Funkenspektrum sehr intensiv hervor.

Zurzeit sind daher Versuche im Gang die Brennspannung bei Anlegung eines äusseren Magnetfeldes durch andere Hilfsmittel wieder zu senken. U.a. wird eine gitterförmige Hilfselektrode dicht vor die Glühkathode gesetzt, ähnlich dem Raumladungsgitter der Doppelgitter-Elektronenröhren. Es wird versucht, durch geeignete Aufladung dieser Hilfselektrode die Magnetfeldentladung auch bei sehr niederen Brennspannungen zu stabilisieren. Ergebnisse dieser Versuche stehen noch aus.

*W. von Meyeren* 4

Figure C.86: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].





NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3

Figur 1.

DECLASSIFIED  
Authority NND755001

Figure C.87: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].

DECLASSIFIED  
Authority AWD 755001

**NARA RG 319, Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder G3**

112

Erläuterung zu den Figg. 2 - 5 :

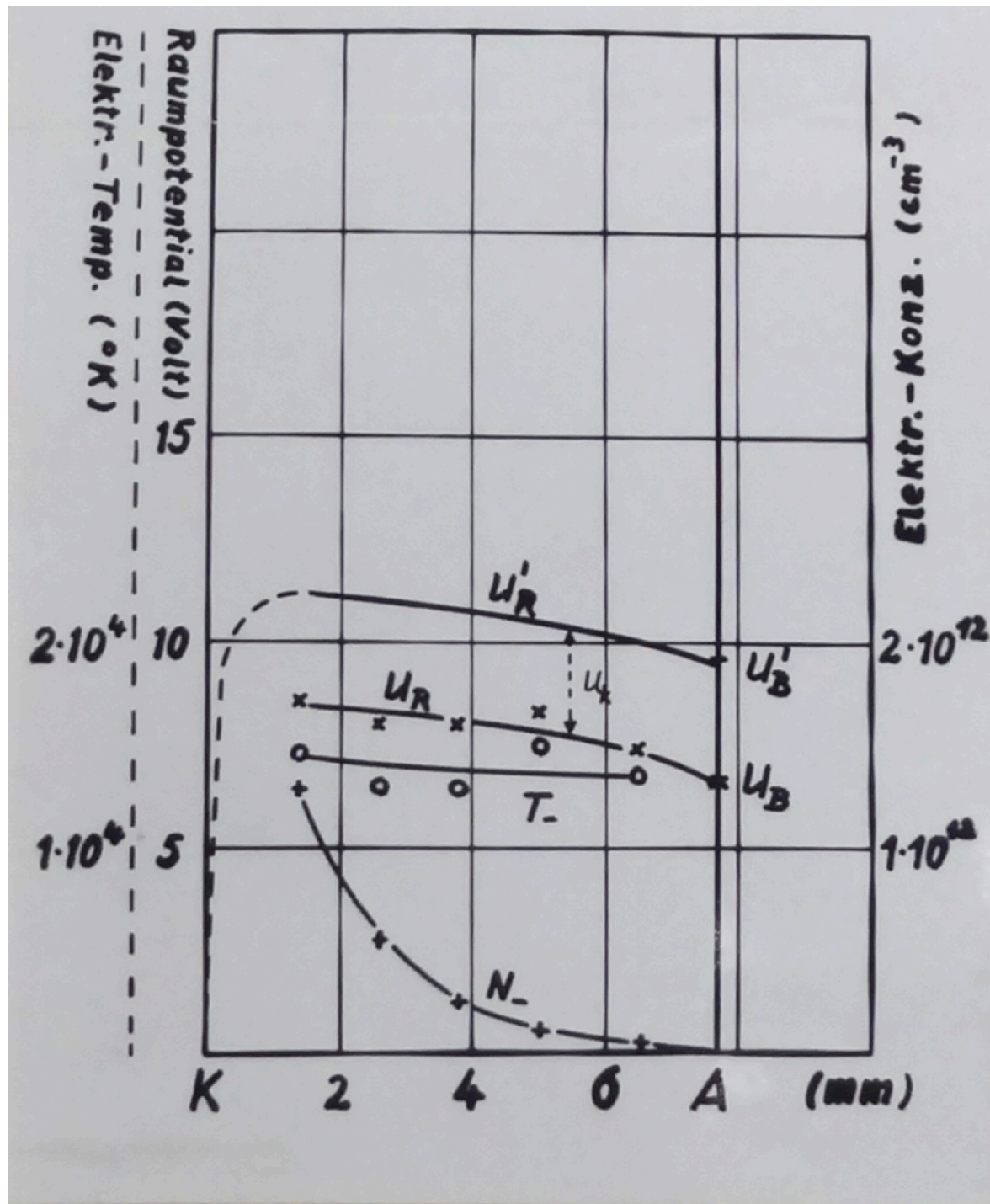
$U_B$  : gemessene } Brennspannung  
 $U'_B$  : korrigierte }  
 $U_R$  : gemessenes } Raumpotential  
 $U'_R$  : korrigiertes }  
 $U_k$  : Kontaktpotential

$T_-$  : Elektronentemperatur  
 $N_-$  : Elektronenkonzentration.

Als Abszisse ist stets der Abstand zwischen Kathode u. Anode in mm aufgetragen.

Figure C.88: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].





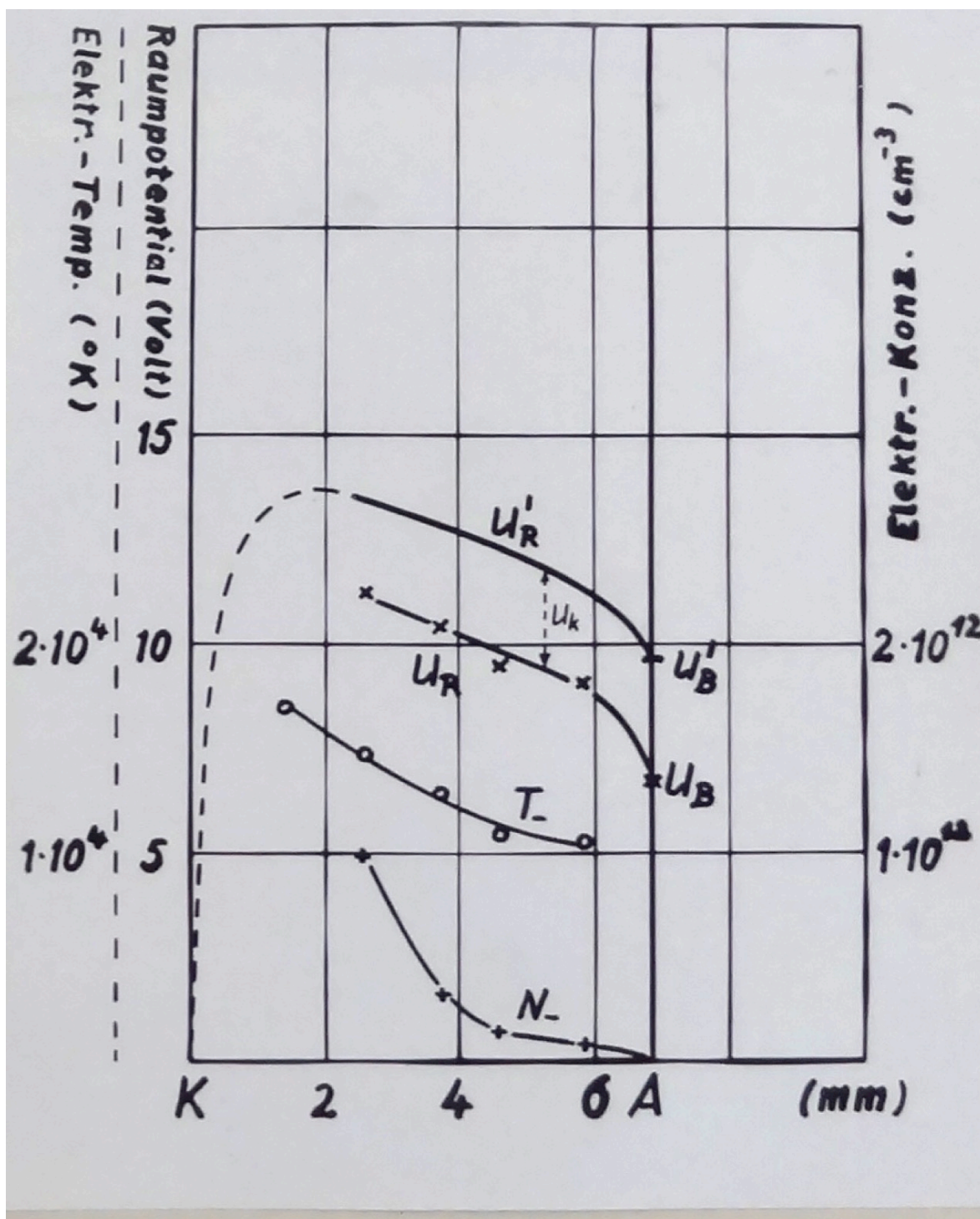
NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3

Figur 2.

Gasdruck: 5,6 Torr.

DECLASSIFIED  
 Authority NND 755001

Figure C.89: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].



NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3

Figur 3.

Gasdruck: 3,7 Torr.

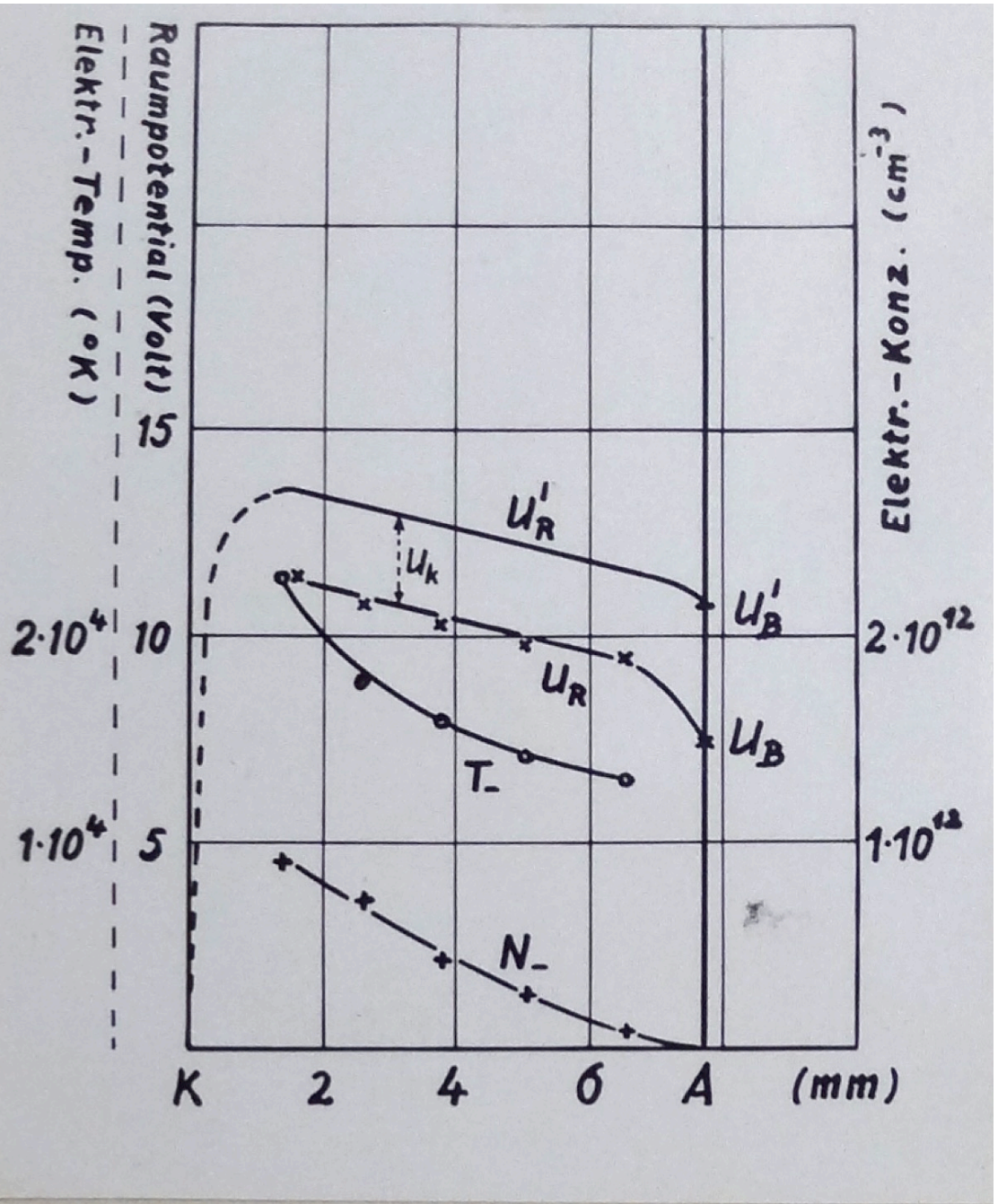
DECLASSIFIED  
Authority NND 755001

Figure C.90: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].



DECLASSIFIED  
 Authority AWD/15506/

NARA RG 319, Entry NM3-82A,  
 Box 6, Folder G3

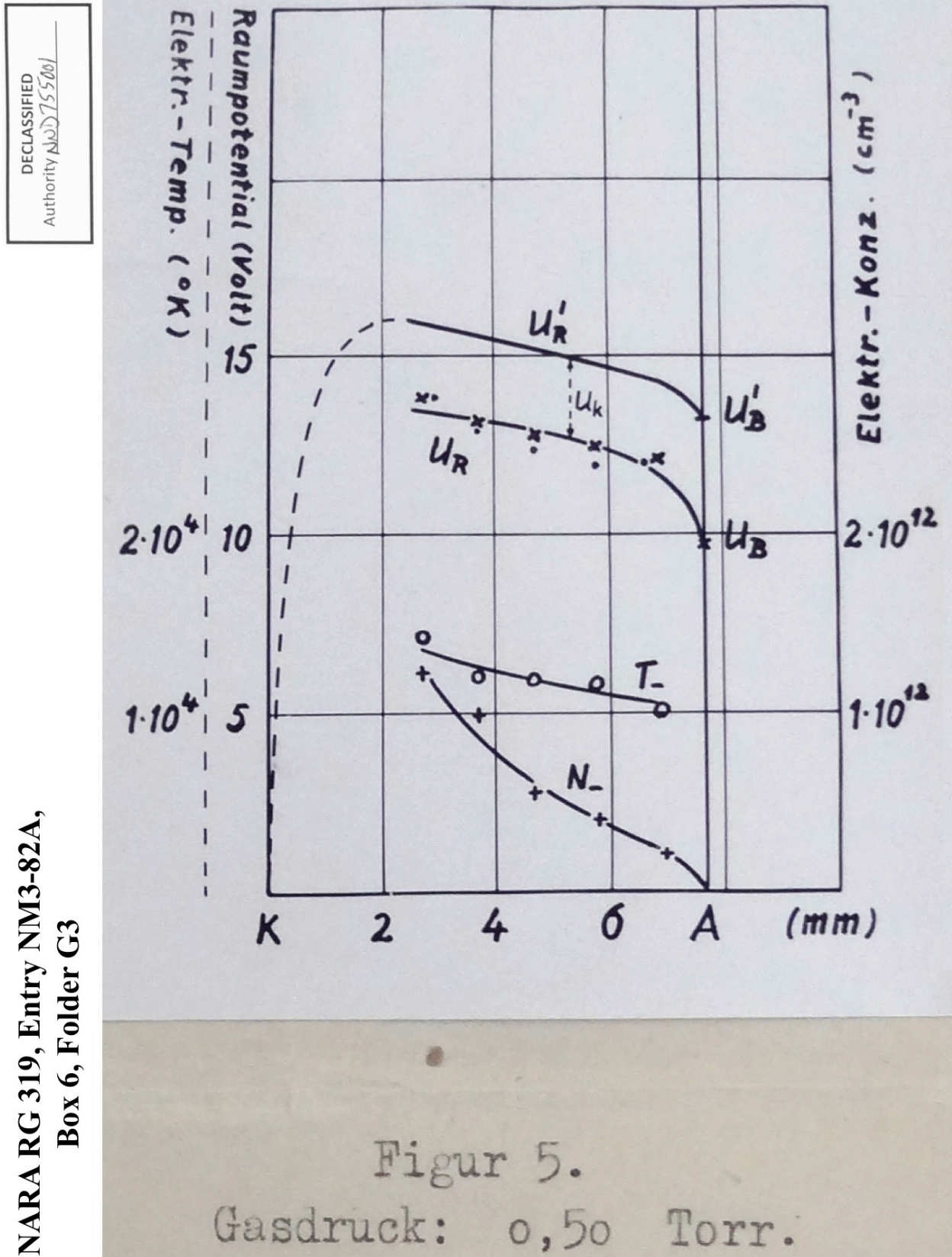


Figur 4.

Gasdruck: 1,42 Torr.

Figure C.91: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].





NARA RG 319, Entry NM3-82A,  
Box 6, Folder G3

Figure C.92: Wilhelm von Meyeren's 20 February 1945 report on experiments with laser-like monochromatic stimulated light emission from electron population inversions in argon, cesium, or rubidium gases [NARA RG 319, Entry NM3-82A, Box 6, Folder G3].

**Military Intelligence Division W.D.G.S., Military Attaché Report Czechoslovakia. Subject: Scientists Experimenting on Secret Weapons. I.G. No. 0403.0700. Prague. Report No. R-42. 2 October 1945. [NARA RG 319, Entry NM3-85M, Box 19, Folder 925256]**

Source and degree of reliability: Czechoslovak Counter Intelligence Officer — A-3

1. In accordance with directions contained in War Department Cable No. 68418, of 24 September 1945, the following list of scientists, Czech and German, with their specialties and present status, is submitted. [...]

Professor Dr. v. MEYEREN, specialist on Measuring Devices, German, in protective custody.

**A. Hinzpeter. 1983. *Physikalische Blätter* 39:5:130.**

[<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/phbl.19830390508>]

Zum Tode von Wilhelm von Meyeren

Am 4. Februar 1983 verstarb in Hannover der emeritierte Professor Dr. phil. Wilhelm von Meyeren, ehemals Direktor des Instituts für Festkörperphysik der Universität Hannover. W. von Meyeren wurde am 26. April 1905 in Berlin geboren, promovierte 1929 bei R. W. Pohl in Göttingen mit einer Arbeit über Alkalihalogenidphosphore und war bis 1935 Assistent am Physikalischen Institut in Karlsruhe bei dem Altmeister der Hochvakuumtechnik Wolfgang Gaede, danach Oberingenieur am Physikalischen Institut der damaligen Technischen Hochschule Hannover. Dort habilitierte er sich 1937 und wurde 1941 auf den Lehrstuhl für Experimentalphysik der damaligen Deutschen Karls-Universität in Prag berufen. 1945 unter unmenschlichen Umständen mit seiner Ehefrau Hedi von Meyeren vertrieben, gelangte er nach schweren Jahren als Professor wieder nach Hannover auf einen Lehrstuhl für Atomphysik und baute dort das 1962 neugegründete Institut für Experimentalphysik B, das jetzige Institut für Festkörperphysik, auf.

On the death of Wilhelm von Meyeren

On 4 February 1983 in Hanover, the emeritus professor Dr. phil. Wilhelm von Meyeren, former director of the Institute of Solid State Physics at the University of Hanover, died. W. von Meyeren was born on 26 April 1905 in Berlin, received his doctorate in 1929 from R. W. Pohl in Göttingen with a thesis on alkali halide phosphors and was assistant at the Physikalisches Institut in Karlsruhe until 1935 to the old master of high vacuum technology Wolfgang Gaede, then chief engineer at the Physikalisches Institut of the then Technische Hochschule Hannover. There he habilitated in 1937 and in 1941 was appointed to the Chair of Experimental Physics at the then German Charles University in Prague. In 1945 he was expelled under terrible circumstances with his wife Hedi von Meyeren. After many difficult years as a professor, he returned to Hanover to take up a chair in atomic physics, where he built up the Institute for Experimental Physics B, newly founded in 1962, now the Institute of Solid State Physics.

Seine wissenschaftlichen Arbeiten behinhalten—ausgehend von den Anfängen der Festkörperphysik der Pohl'schen Schule—die Hochvakuumphysik (Gasaufzehrung), die Spektroskopie verdünnter Gase und mündeten schließlich in der modernen Halbleiterphysik. In der Zeit zwischen seiner Lehrtätigkeit in Prag und in Hannover erscheint W. von Meyeren als Mitautor mehrerer Sammelwerke wie *Fiat-Review*, *Angerer-Ebert*, *Technische Kunstgriffe*, des *Gmelin-Handbuchs*, sowie des *Physikalischen Wörterbuches* von Westphal.

W. von Meyeren war mit Stolz ein Physiker alter Schule und darüber hinaus ein guter Pädagoge, der seine Pflichten als Hochschullehrer sehr ernst nahm. Lange Jahre galt seine Aufmerksamkeit der Allround-Ausbildung der Physiker in einer Art höherer Experimentalphysik ebenso wie einem Einführungsseminar für Studienanfänger mit ihrer so erschreckend differierenden Schulvorbildung. Ein besonderes Anliegen war ihm auch die Einführung der Ingenieur-Studenten in die sich rasant entwickelnde Festkörperphysik, insbesondere die Metallphysik.

Kollegen und auch seine Schüler, denen er ein väterlicher Freund war, wissen von seiner steten Hilfsbereitschaft zu berichten. Manche seiner zahlreichen Freunde und Bekannten erinnern sich gern an sein gastfreundliches Haus.

His scientific work includes—originating from the beginnings of solid-state physics of the Pohl school—high vacuum physics (gas consumption), the spectroscopy of diluted gases, and finally modern semiconductor physics. In the period between his teaching activities in Prague and Hanover, W. von Meyeren co-authored several anthologies such as *FIAT Review*, *Angerer-Ebert*, *Technical Methods*, the *Gmelin Handbook*, and the *Physics Dictionary* of Westphal.

W. von Meyeren was proud to be an old school physicist and a good teacher who took his duties as a university teacher very seriously. For many years his attention was focused on the all-round training of physicists in a kind of higher experimental physics as well as on an introductory seminar for first-year students with their so frighteningly different prior school education. He was also particularly interested in the introduction of engineering students to the rapidly developing field of solid state physics, especially metal physics.

Colleagues and also his students, to whom he was a fatherly friend, know about and describe his constant helpfulness. Some of his numerous friends and acquaintances fondly remember his hospitable house.



**Tom Agoston. 1985. *Blunder! How the U.S. Gave Away Nazi Supersecrets to Russia*. New York: Dodd, Mead. pp. 12-13.**

By quirk of fate, the careers of Kammler and Voss overlapped at Skoda, where they jointly set up and operated what was generally regarded by insiders as the Reich's most advanced high-technology military research center. Working as a totally independent undercover operation for the SS, the center was under the special auspices of Hitler and Himmler. [...] In so doing the SS group was to go beyond the first generation of secret weapons.

Its purpose was to pave the way for building nuclear-powered aircraft, working on the application of nuclear energy for propelling missiles and aircraft; laser beams, then still referred to as "death rays"; a variety of homing rockets, and to seek other potential areas for high-technology breakthrough. In modern high-tech jargon, the operation would probably be referred to as an "SS research think tank." Some work on second-generation secret weapons, including the application of nuclear propulsion for aircraft and missiles, was already well advanced.

It was far from a mad Nazi scientist's dream of getting to the end of the nuclear rainbow. The field had been pioneered by Dr. Wernher von Braun, designer of the V-2, in the early 1930s. In addition, it was recently disclosed that one of the first top German engineers cleared for urgent work for the U.S. Air Force in 1945 was Dr. Franz Josef Neugebauer, a specialist in thermal systems for aircraft nuclear propulsion. In 1958 the United States launched Project Orion to probe the applicability of nuclear propulsion for aircraft, employing some Czech scientists. The project was continued until 1965 and then was turned over to the U.S. Air Force, plans for its application for the civilian space programs having been dropped.

The SS research operation at Skoda had been set up without the knowledge of Goering, Speer, or the German research centers. The builders of the V-1 and V-2 were likewise kept out of the picture. The undercover SS research operation fitted in with Himmler's dream that, as the Rheingold of the Nibelung's, if shaped into a ring, would give its possessor mastery of the world, so would the SS team give the Greater Reich mastery of much of the world.

A study of intelligence reports shows that blueprints, drawings, calculations, and other relevant documentation or materials were protected by a triple ring of SS counter-intelligence specialists Himmler had assigned to Pilsen to prevent security leaks and sabotage in the research divisions and the plant in general. The SS team was internally referred to as the Kammler Group. Taking a leaf from the armament ministry name for the special section Kammler headed there to iron out aircraft production bottlenecks, they were called the Kammler stab or Kammler "staff."

**Heinz Schaeffer. 1952. *U-Boat 977*. p. 187–188.**

It took twenty-four hours to reach Berlin—we had air-raid warnings at regular intervals and took cover underneath the train till it could go on again. Next to me sat an S.S. officer who, in spite of my flatly contradicting him, simply would not stop talking about decisive new secret weapons. I was fed up with secret weapons by now for I knew perfectly well from my own experience that if all the blueprints were there so were the air-raids on our factories. “Well, of course, you aren’t really in a position to judge,” he said, but he was, naturally, because **he was working at some S.S. H.Q. or other and was out watching the tests every day. If I would only come and look him up I would see something that would make me sit up.**

When I got to Berlin I really did look him up, and after I had waited at the H.Q. entrance for some time my new acquaintance appeared and started showing me round. Everybody there was certain we were going to win, with a conviction I’d never seen the like of even after the fall of France. **Among the fantastic contrivances of which I was shown photographs was one called a death ray which my friend wanted me to come back and see in action next day.**

But I wasn’t wasting any more time. I wanted to see my mother, for it was obvious the Russians were advancing on Berlin and that the last battle was going to be fought there. The city was being transformed into a fortress, with tram-cars overturned and barricades going up everywhere. I wanted to get my mother away, but she said she meant to stay in Berlin at all costs; she would manage the Russians all right, she said. And so she did.

**Herbert A. Werner. 1969. *Iron Coffins: A Personal Account of the German U-Boat Battles of World War II*. p. 228.**

**I was thinking about our much-discussed new weapons, including death rays and atom bombs, which were now in the development stage...**

**United States Air Force Oral History Program: Interview #K239.0512-724 of Lt General Donald L. Putt by Dr. James C. Hasdorff. 1–3 April 1974. [AFHRA 43826 electronic version pp. 1009–1010]**

H[asdorff]: Why was there such a slow application of laser technology in the US? I understand we were dabbling with it during World War II.

P[utt]: Well, I'm not an expert on lasers, but it's my understanding that the phenomenon was discovered which gave one the capability of having coherent beams. But for a long time nobody could figure out what it was good for. It was one of these scientific curiosities, and it just took a long time to find the application. Now whether we proceeded as fast as could have been done if there were no budgetary restraints or anything like that, I guess I'm not familiar enough with the field to know that. But in the early days I know that was one of the problems; we said, "Here's something that's very interesting, but what can we use it for?" And now we're finding all kinds of uses for it, of course, in civil work, et cetera.

[In the United States, theoretical design work on lasers did not begin until the mid-late 1950s, and the first working laser was not built until 1960, at least according to official histories.

In the above question and answer, were Hasdorff and Putt simply confused, or were they referring to actual earlier work on lasers?

If they were referring to earlier work that indeed occurred, was it wartime work in the United States, perhaps by or based on the earlier research of German-speaking immigrant scientists such as Rudolf Ladenburg or James Franck?

Alternatively, since Putt was deeply involved in rounding up German-speaking scientists and information from Europe at the end of the war and putting them to use in the postwar United States, were Hasdorff and/or Putt referring to wartime German work on lasers (perhaps such as that of Wilhelm von Meyeren) that was brought to the United States after the war?]

**Michel Bar-Zohar. 1967. *The Hunt for the German Scientists*. pp. 140, 207.**

There was also a vague report on the mysterious Zimmermann—the man believed to have invented the 'death ray' and even to have used it effectively against the Russians in the Carpathians on 30 August 1944. The report said that he had been captured and taken to Russia just before the end of the war. [...]

Dr. Hans Ehrhardt, who was expelled from Switzerland for having experimented with a mysterious green death ray...

[Can any information be found regarding Zimmermann and his alleged directed energy weapon?

Hans Ehrhardt's laser-like work is discussed on the following pages. If Bar-Zohar's information is accurate, Ehrhardt's beam was green. That suggests that it may have been an argon gas laser or something similar. Could Ehrhardt's work have been directly related to von Meyeren's wartime work on laser-like light emission from electrically excited argon gas?]

Schweiz/Todesstrahlen: Schnee geschmolzen. *Der Spiegel*. 24 July 1963 p. 58.  
[\[https://www.spiegel.de/spiegel/print/d-46171297.html\]](https://www.spiegel.de/spiegel/print/d-46171297.html)

24.07.1963  
 SCHWEIZ / TODESSTRAHLEN  
 Schnee geschmolzen

Ungewöhnliche Order lief Anfang vergangener Woche bei eidgenössischen Polizeidienststellen ein:

Die Gesetzeshüter wurden angehalten, nach einem Mann zu fahnden—freilich nicht, um ihn zu verhaften. Vielmehr sollte sichergestellt werden, daß der Gesuchte wirklich verschwunden ist und damit die eidgenössische Bürokratie von einer Blamage befreit hat.

Der Gesuchte nennt sich Dr. Hans Ehrhardt und hieß früher Hans Engelke. Als Amateur-Physiker war er—nach eigenen Angaben zusammen mit Wernher von Braun—in der Rüstungsindustrie des Dritten Reiches beschäftigt gewesen.

Dabei erfand er eine Wunderwaffe: Engelke wollte in den von feindlichen Bomberstaffeln durchflogenen Luftschichten dichte Wolken feinsten Kohlenstoffpartikel verteilen. Mittels einer Zündrakete sollte beim Herannahen von Feindflugzeugen ein Schlagwetter in der Atmosphäre erzeugt werden. Beim ersten und einzigen Versuch mit seiner Wunderwaffe, so fabulierte Engelke-Ehrhardt, seien im April 1945 gleich 36 Bomber auf einen Schlag vom Himmel geholt worden.

Nach Krieg und alliierter Internierung wandte sich Autodidakt Ehrhardt einem anderen physikalischen Phänomen zu: Er begann Versuche mit Strahlen, die laut eigener Aussage “im Frieden Kranke heilen und im Kriege Feinde töten” sollten.

24 July 1963  
 SWITZERLAND / DEATH RAYS  
 Melted snow

An unusual order arrived at the beginning of last week at the national police station:

The law enforcers were spared from having to find and arrest a man. Rather they were to make sure that the wanted man had really disappeared and thus the national bureaucracy had been saved from embarrassment.

The person for whom they searched called himself Dr. Hans Ehrhardt and earlier Hans Engelke. As an amateur physicist he had been—by his own account together with Wernher von Braun—employed in the armament industry of the Third Reich.

Back then he invented a miracle weapon: Engelke wanted to distribute dense clouds of fine carbon particles in the air layers through which enemy bombers flew. By means of an igniting rocket, an explosion in the atmosphere should be generated at the approach of enemy aircraft. The first and only attempt with his silver bullet, claimed Engelke-Ehrhardt, had knocked as many as 36 bombers from the sky with one explosion in April 1945.

After the war and Allied internment, the autodidact Ehrhardt turned to another physical phenomenon: he began experiments with beams that should in his words “heal sick people in peacetime and kill enemies in wartime.”



Aus einer Gasplasma-Quelle gedachte der Erfinder mit großen Hohlspiegeln einen gebündelten ultravioletten Lichtstrahl herzustellen. Dieser Todesstrahl sollte einerseits 30 000 Kilometer weit wirken und eine "ungeheure Zerstörungskraft" (so Ehrhardt) entwickeln, andererseits aber Krebskranke von ihren Leiden befreien, "ohne daß Knoten oder Kapselungen zurückbleiben".

In der Bundesrepublik gelang es dem modernen Cagliostro nicht, seine Ideen zu verkaufen, obgleich Deutschland stets ein dankbares Feld für Wundermänner war: Nach dem Ersten Weltkrieg gelang es dem geisteskranken Österreicherischen Landbriefträger Karl Schappeller, Ex-Kaiser Wilhelm II. große Summen für einen Plan zu entlocken, Deutschland "durch die Nutzung ungeheurer Energien aus dem kosmischen Raum zur ersten Weltmacht zu machen". Zur selben Zeit begeisterte ein Betrüger namens Franz Tausend den General Ludendorff mit seiner angeblichen Fähigkeit, aus Eisen und Blei Gold zu gewinnen.

Dem Strahlenmagier Ehrhardt glückte es hingegen Anfang 1961, die Kriegstechnische Abteilung (KTA) des Eidgenössischen Militärdepartements in Bern für seine phantastischen Projekte zu interessieren.

Die schweizerischen Landesverteidiger luden Ehrhardt am 24. Februar 1961 zu einer Besprechung ein und forderten ihn auf, schriftliche Unterlagen beizubringen. Eine Prüfung des Ehrhardt -Exposes durch Züricher TH-Professoren veranlaßte freilich die KTA am 31. Mai 1961 dazu, auf eine weitere Zusammenarbeit mit Ehrhardt zu verzichten.

From a gas plasma source, the inventor intended to use large concave mirrors to produce a narrow ultraviolet light beam. This death ray should in one case have a range of 30,000 kilometers and (according to Ehrhardt) develop a "monstrous destructive power," but in the other case free cancer patients from their suffering "without a node or capsule remaining."

In West Germany this modern Cagliostro was unable to sell his ideas, even though Germany has always been a grateful field for miracle workers: After World War I the insane Austrian postman Karl Schappeller succeeded in obtaining large sums from ex-Kaiser Wilhelm II for a plan to make Germany "the greatest power in the world through the use of monstrous energy from cosmic space." At the same time an impostor named Franz Tausend interested General Ludendorff with his alleged ability to turn iron and lead into gold.

At the beginning of 1961, however, the ray magician Ehrhardt succeeded in interesting the War Technical Department (KTA) of the Federal Military Department in Bern in his fantastic projects.

The Swiss defense officials invited Ehrhardt to a meeting on 24 February 1961 and asked him to bring written proposals. An examination of Ehrhardt's documents by Zurich Technical University professors prompted the KTA on 31 May 1961 to refrain from further cooperation with Ehrhardt.

Interessiert an den Künsten des deutschen Physikers blieb indes weiterhin ein Beamter der KTA: Adjunkt Eugen Burkhard, Chef der Rüstungszentrale der Kriegstechnischen Abteilung, erhoffte sich von Ehrhardts Ideen Entdecker-Ruhm und förderte den Deutschen in eigener Regie.

Als KTA-Beamten fiel es Burkhard leicht, dem Forscher Aufenthaltsbewilligung und Wohnung zu verschaffen. Im August 1961 siedelte sich der Waffenrevolutionär mit Gattin Ilse und vier Sprößlingen am Sarner See im Kanton Obwalden an.

Rückendeckung für die folgenden Versuche wurde Ehrhardt durch die “Bewilligung 2524” der KTA zuteil, in der dem Physiker gegen Entrichtung von 50 Franken Gebühr und 80 Rappen Porto routinemäßig erlaubt wird, “Prototypen zu Geschossen ohne Patronenhülsen bis zum Kaliber 30 mm herzustellen”.

In Wahrheit experimentierte der Sarner Neubürger aber nicht mit 30-mm-Geschossen, sondern mit “Todesstrahlen”. Mit diesen Produkten seines Erfindergeistes schmolz Ehrhardt im letzten Frühjahr—so erzählte er der “Deutschen National-Zeitung”—auf eine Entfernung von zwölf Kilometern binnen Sekunden anderthalb Meter hohen Gletscherschnee. Applaudierte die DNZ: “Erfinder Dr. Ehrhardt, Herr über Tod und Leben.”

Ungemach näherte sich dem Herrn über Tod und Leben freilich, als Anfang Juni ein Photo erschien, das den Ehrhardtschen Todesstrahl als drohend himmelwärts gerichteten Finger über dem Sarner See zeigte.

Interest in the creations of the German physicist remained, however, for one official of the KTA: Adjunct Eugen Burkhard, head of the Armament Center of the War Technical Department, hoped that Ehrhardt’s ideas were pioneering and supported the German on his own.

As a KTA official, it was easy for Burkhard to obtain a residence permit and housing for the researcher. In August 1961, the weapon revolutionizer and his wife Ilse and four offspring settled on Sarner Lake in the canton Obwalden.

Ehrhardt received support for the ensuing experiments through the KTA “Permit 2524,” by which the physicist routinely accepted payments of 50 francs fee and 80 cents postage “to produce prototype projectiles without shell casings up to 30 mm caliber.”

In truth, the new Sarner resident experimented not with 30-mm projectiles, but with “death rays.” With these products of his ingenuity, last spring Ehrhardt melted—so he told the *German National Newspaper* (DNZ)—one and a half meters of glacier snow within seconds at a distance of twelve kilometers. The DNZ applauded: “inventor Dr. Ehrhardt, master of life and death.”

Trouble approached the master of life and death, as at the beginning of June, a photo was published that showed Ehrhardt’s death ray as a threatening finger pointed skyward over the Sarner Lake.

Die eidgenössische Presse, von der schockierten Fremdenindustrie alarmiert, überhäufte die nichtsahnende Kriegstechnische Abteilung mit Vorwürfen wegen dieser “lebensgefährlichen Experimente”, während die Sarner Gastwirte Schadenersatz für die Gäste forderten, die wegen der Todesstrahlen fernbleiben würden.

Das Militärdepartement ließ eilends verlauten, Ehrhardt habe “keinen Rappen” schweizerischer Steuergelder für seine Experimente erhalten. Zugleich interessierte sich die eidgenössische Sicherheits- und Fremdenpolizei eingehend für den Deutschen.

Dabei ergab sich laut Polizeibericht, daß Ehrhardt “über wesentliche Punkte seiner Person und seines Vorlebens unwahre Angaben gemacht hatte, so über seine Tätigkeit in der DDR”.

Da witterten die Behörden die Chance, sich des peinlichen Gastes zu entledigen: Am 4. Juni eröffnete die Fremdenpolizei Obwalden dem Ehrhardt, daß sein Aufenthalt bis zum 15. Juli 1963 befristet sei.

Zwei Tage vor Ablauf der Frist, in der Nacht vom 13. auf den 14. Juli, **verschwand Ehrhardt aus seinem Sarner Domizil, ohne sich abzumelden oder eine Adresse zu hinterlassen.**

Mit seinem allzu stillen Abschied wurde Ehrhardt freilich gezwungen, vorerst auch auf die Verwirklichung eines Planes zu verzichten, den er in der Ende 1962 herausgegebenen Schrift “Der neue Weg” publik gemacht hatte: die Nutzbarmachung eines von ihm erdachten Perpetuum mobile.

Erfinder Ehrhardt

“Ungeheure Zerstörungskraft... über 30 000 Kilometer”: Ehrhardt-Strahl am Sarner See

The national press, alarmed by this shocking outsider industry, showered the unsuspecting War Technical Department with allegations of these “perilous experiments,” while the Sarner innkeepers demanded compensation for losing guests who would stay away because of the death rays.

The Military Department hastily announced that Ehrhardt had received “not a cent” of Swiss tax money for his experiments. At the same time, the national security and immigration police became interested in details about the German.

According to the police report, it was found that Ehrhardt “had given untrue information regarding significant points about himself and his prior life, as well as his activities in East Germany.”

Here the authorities sensed the chance to get rid of the embarrassing guest: On June 4, the Obwalden immigration police disclosed to Ehrhardt that his stay must end by 15 July 1963.

Two days before the deadline, in the night from 13 to 14 July, **Ehrhardt disappeared from his Sarner home without checking out or leaving a forwarding address.**

With his all too silent departure, Ehrhardt was indeed forced to abandon the realization of a plan, which he had made public in his writing “The New Way” published at the end of 1962: harnessing a perpetual energy source he had devised.

Inventor Ehrhard [\[Fig. C.93\]](#)

“Monstrous destructive power... over 30,000 kilometers”: Ehrhardt’s ray over Sarner Lake [\[Fig. C.95\]](#)

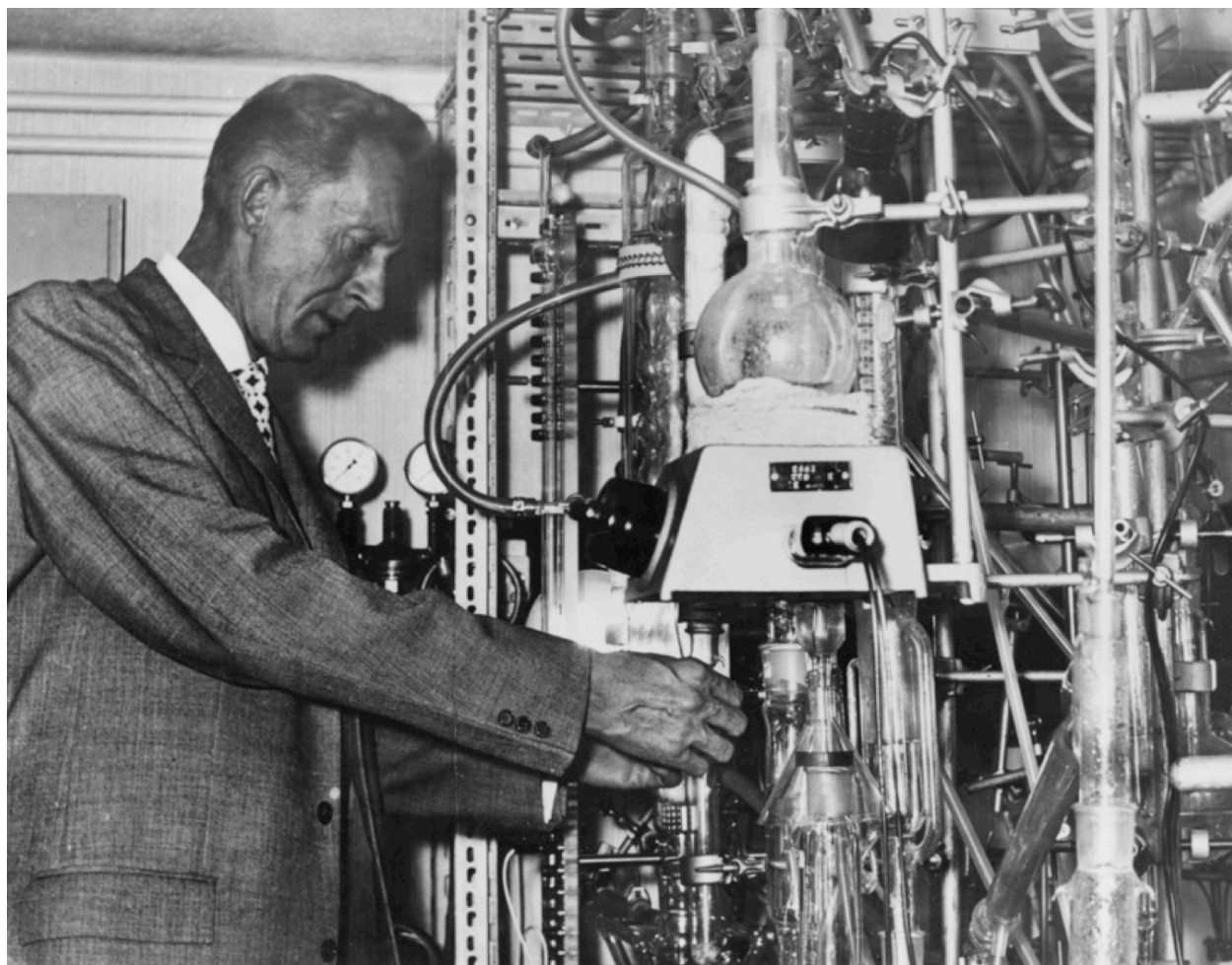


Figure C.93: Hans Ehrhardt/Engelke in his 1961–1963 Swiss lab.





Figure C.94: Hans Ehrhardt/Engelke in his 1961–1963 Swiss lab, working on a device that appears to resemble a gas laser.



Figure C.95: Demonstration of Hans Ehrhardt's/Engelke's laser-like beam over the Swiss Sarner See. The clock hands indicate 10:10, which could be a.m. or p.m. Based on the lights visible in the buildings and reflected in the water, this photo was taken at night, so 10:10 p.m. The brightness of the sky suggests a long exposure and/or moonlit night. Even just the small fraction of light scattered by dust particles out of the beam toward the camera is clearly much brighter than the building lights, so the light within the beam would have been quite intense. Most of the apparent expansion of the beam is due to the perspective of the beam coming from the distance toward the camera; the beam is remarkably well collimated. Although the photo is black and white, observers reported that the beam was green.





Figure C.96: The view now from a hill behind the Pfarr- und Wallfahrtskirche Sachseln church in Sachseln looking toward the north, across the Sarner See toward the Pfarrkirche St. Peter und Paul church in Sarnen. Hans Ehrhardt's/Engelke's laser-like beam was apparently fired from the vicinity of a waterfront house or hotel somewhat to the left of the Sarnen church.

**“Todesstrahlen” über dem Sarner See: Über den “deutschen Physiker” Hans Ehrhardt, der in der Schweiz beinahe das Perpetuum mobile erfunden hat. *Physikalische Blätter* 19:11:511–516. November 1963.**

[<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/phbl.19630191104>]

[...] Mit dem Doktor ist es nichts, mit dem Studium dürfte es auch nichts sein; jedenfalls ist Hans Ehrhardt kein Physiker in unserem Sinn, d.h. nicht ein Mann, der eine wissenschaftliche Schulung in der Physik durchlaufen und sein Studium mit der Prüfung an einer Universität oder Hochschule abgeschlossen hat. Ehrhardt nennt sich Ingenieur, gelegentlich aber auch Physiker; er dürfte Autodidakt sein, der schon vor 1945 sonderbaren Ideen nachging, wie der einer neuartigen Flugabwehrwaffe mit gebündelten Ultraviolettstrahlen, deren Wirksamkeit er auf mehrere 10000 km Distanz glaubte garantieren zu können. [...]

Das Gutachten aus dem Laboratorium für Festkörperphysik der ETH trifft den Nagel auf den Kopf. In dem uns von Prof. Dr. Gärnicher freundlicherweise zugestellten Schriftstück, das übrigens nur durch Indiskretion in die Öffentlichkeit gelangte und das von einem Doktoranden des Laboratoriums (nicht des Phys. Inst.) erstattet worden ist, heisst es: “Die untersuchte Arbeit ist wissenschaftlich wertlos. Der Verfasser stellt darin Behauptungen auf, welche darin gipfeln, er habe das Perpetuum mobile erster Art erfunden... Das konfuse physikalische Weltbild des Verfassers lässt sich etwa folgendermassen zusammenfassen: Raum und Materie sind durchsetzt von Wolken freier Elektronen in unterschiedlicher Dichte. Diese freien Elektronen sind in dauernder ungeordneter Bewegung, verursacht durch “Urkräfte der Materie”. Nun braucht man nur diese Bewegung zu ordnen, was an Halbleiter- und Grenzschichten geschehen soll, um einen dauernden elektrischen Stromfluss zu erhalten...”

[...] There is nothing to his doctorate; there should also be nothing to his education; in any case Hans Ehrhardt is not a physicist in our sense, i.e. not a man, who went through a scientific training in physics and finished his study with the examination at a university or college. Ehrhardt calls himself an engineer, but occasionally also a physicist; he is probably self-taught, who already before 1945 pursued strange ideas, such as that of a novel anti-aircraft weapon with bundled ultraviolet rays, the effectiveness of which he believed he could guarantee over a distance of several 10000 km. [...]

The report from the Laboratory for Solid State Physics at ETH Zurich hits the nail on the head. In the document kindly sent to us by Prof. Dr. Gärnicher, which, by the way, only came into the public eye through indiscretion and which was reimbursed by a doctoral student of the laboratory (not of the Phys. Inst.), it says: “The work examined is scientifically worthless. The author makes claims in it, which culminate in the fact that he invented perpetual motion of the first kind... The confused physical world view of the author can be summarized as follows: Space and matter are interspersed with clouds of free electrons of different density. These free electrons are in constant disordered motion, caused by ‘forces of matter.’ Now one only needs to order this movement, what should happen at semiconductor and boundary layers, in order to receive a continuous electric current flow...”



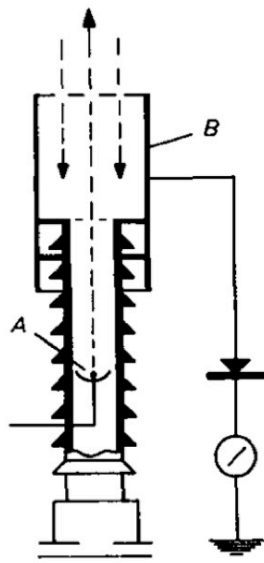
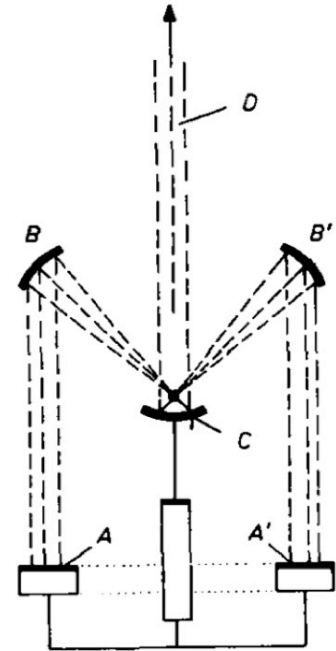


Abb. 3: „Experimentalschema V einer sukzessiven Entladung hochgespannter Ströme. Würde nach diesem Schema zumindest in stark gewittergefährdeten Gebieten verfahren, dann könnte es dort keine Blitzeinschläge mehr geben.“ A = Lichtquelle, B = Gitterantenne als Elektronenfalle

Abb. 4: Experimentalschema VI, „Quantenturbotron“. Die Ultraviolett-Strahlung von A und A' wird durch die Parabolspiegel B und B' nach G konzentriert. Dort wird ein leichtes Gas zugeführt und die Strahlung nun in Richtung D gesandt, wo sie einen mit Knallgas gefüllten Ballon in 1000 m Abstand „mit Sicherheit zur Explosion“ bringt



[Fig. 3: “Experimental scheme V of a successive discharge of high voltage currents. If this scheme were to be applied at least in thunderstorm endangered areas, then lightning strikes could no longer occur there.” A = light source, B = grid antenna as electron trap.

Fig. 4: Experimental scheme VI, “quantum turbotron.” The ultraviolet radiation of A and A' is concentrated to G by the parabolic mirrors B and B'. There, a light gas is supplied and the radiation is now sent in the direction of D, where it causes a balloon filled with oxyhydrogen gas to “explode” at a distance of 1000 m.]

Der Erfinder wartet mit konkreten Vorschlägen auf: Das Experimentalschema V für seine Versuche (Abb. 3) zeigt eine Röhre, durch die das Licht an der Lichtquelle A senkrecht nach oben geschickt wird, während B eine ‐Gitterantenne‐ ist, die am Isolator abgebogen ist. Sie dient als ‐Elektronenfalle‐. Mit dieser Anordnung, dem ‐Quantenturbotron‐, will der Erfinder Elektronen mit dem Lichtstrahl mitschiessen und sie zur Abgabe grosser Energien zwingen, denn: ‐sind sie (die Elektronen) einmal eingefangen und ausgerichtet, dann geben sie grosse Mengen Energie ab‐. (S. 19)

Ein anderes aufschlussreiches Experimentalschema zeigt Abb. 4. Die Bildlegende enthalt, was der Erfinder dazu sagt.

The inventor comes up with concrete proposals: The experimental scheme V for his experiments (Fig. 3) shows a tube through which the light at light source A is sent vertically upwards, while B is a ‐grating antenna‐ which is bent off at the insulator. It serves as an ‐electron trap.‐ With this arrangement, the ‐quantum turbotron,‐ the inventor wants to shoot electrons with the light beam and force them to emit large energies, because: ‐Once they (the electrons) are captured and aligned, they emit large amounts of energy.‐ (p. 19)

Another informative experimental scheme is shown in Fig. 4. The caption contains what the inventor says about it.

[The unnamed author of this article stated that he never met Ehrhardt/Engelke or saw his experiments in person, yet he proceeded to spend most of the article ridiculing Ehrhardt/Engelke as an uneducated crackpot who was trying to build perpetual motion machines. (Figs. C.93–C.95 look nothing like perpetual motion machines or the work of a scientific illiterate.) However, the unnamed author did find a few pages about Ehrhardt/Engelke’s research that had been written by Ehrhardt/Engelke or by his Swiss scientific evaluators. The author quoted a few intriguing lines and two figures from those documents.

The provided information is insufficient to judge how or whether Ehrhardt/Engelke’s designs would work, but they do offer some hints:

- The unnamed author seemed to have reason to believe that Ehrhardt/Engelke’s research on producing powerful light beams dated back to wartime work.
- Ehrhardt/Engelke dubbed his device a ‐quantum turbo.‐ Considering that a ‐turbojet‐ produces a highly ordered, tightly directed jet or stream of gas, a ‐turbo‐ that produces a highly ordered, tightly directed stream of ‐quanta‐ (photons) would not be a bad description of a laser.
- The device contained a gas in an optically transparent glass tube that was electrically excited at the desired energy, which would certainly be reasonable in a laser.
- The device used mirrors, as would be expected in a laser.
- The device was ultimately intended to produce a beam of ultraviolet light. The beam photographed over the Sarner See appears to be visible light (unless the film was exposed by ultraviolet light), but perhaps Ehrhardt/Engelke’s current experiments used visible light as a stepping stone to future experiments with ultraviolet.
- The device was intended to produce a highly focused light beam of sufficient intensity to heat objects (balloons, snow, or aircraft) at a distance, or if short-wavelength ultraviolet light were used, perhaps even to create enough ionization in the air to affect the preferred direction of lightning discharges from thunderstorms.]

①9 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



①1 **Offenlegungsschrift 23 08 071**

②1

Aktenzeichen: P 23 08 071.9-33

②2

Anmeldetag: 19. 2. 73

④3

Offenlegungstag: 2. 1. 75

③0

Unionspriorität:

④2 ④3 ③1

⑤4

Bezeichnung: Reine Kernfusion

⑦1

Anmelder: Proton-Physik Forschungsgesellschaft mbH, 5600 Wuppertal

⑦2

Erfinder: Engelke, Jonas; Thedens, Elke, Dr.; 8000 München

P a t e n t a n s p r u c h

Verfahren mit Vorrichtung zur Erzeugung reiner Kernfusion, dadurch gekennzeichnet, dass  $D_2O$  oder eine kritische Masse zum Beispiel  ${}^2_1H + {}^3_1H$  bei Energieaufnahme durch  $h\nu$  nicht expandieren kann, damit bewirkt, dass eine vollkommen entgaste flüssige Probe (wie oben bezeichnet) in einer Reaktionskammer derart gehalten wird, dass dieselbe weder bei Gefrieren oder Energieaufnahme ( $h\nu$ ) eine räumliche Ausdehnung erfahren kann, weil ein hydraulischer Druck dem Expansionsbestreben der Probe proportional entgegenwirkt.

NB

Beweis kann geführt werden!

Figure C.98: In 1973, an inventor listed as Jonas Engelke filed a detailed patent application (later issued as German patent DE2308071) on a method of inducing nuclear fusion reactions using converging high-power laser beams. Was the inventor the same person as the mysterious Engelke/Ehrhardt from a decade earlier?

En+Th-Pat. 1/73-Tag 47

2308071

T i t e lR E I N E K E R N F U S I O N

Die Erfindung betrifft ein Verfahren mit Vorrichtung zur Erzeugung r e i n e r Kernverschmelzung, die erreicht wird, wenn eine kritische Masse zum Beispiel  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H}$  bei Energieaufnahme durch h y n i c h t expandieren kann.

Bestrebungen mit dem Ziel, eine reine Kernfusion einzuleiten, sind aus den Bereichen der Plasma-Physik bekannt geworden. Diesen bislang stets negativ verlaufenen Bemühungen zu begegnen, ist die Aufgabe, die mit dieser Erfindung gelöst wurde und ihr zugrunde liegt.

Zur Erzeugung heisser Plasmen und zu den Fehlern im Experiment bei Voruntersuchungen, reine Kernfusionen mittels Lichtquantenenergie h y einzuleiten, muss Bekanntes vorausgeschickt werden und zwar, dass mit einem Laser jedes Material verdampft werden kann.

Bei hoher Leistungsdichte wird das verdampfte Material gleichzeitig ionisiert - es entsteht ein Plasma. Auch dieses kann noch aus dem Laserstrahl Energie aufnehmen und sich aufheizen. Dabei hängt die Absorption von den Plasma-Parametern ab. Diese Verhältnisse können wie folgt dargestellt werden:

Geladene Teilchen (Ionen oder Elektronen) führen in einem elektrischen Feld Oszillationen aus; die mittlere Schwingungsenergie ist dabei umgekehrt proportional zur Masse.

Figure C.99: In 1973, an inventor listed as Jonas Engelke filed a detailed patent application (later issued as German patent DE2308071) on a method of inducing nuclear fusion reactions using converging high-power laser beams. Was the inventor the same person as the mysterious Engelke/Ehrhardt from a decade earlier?



-2-

2308071

Da die Masse der Ionen um einige Grössenordnungen über der der Elektronen liegt, nehmen die Ionen wenig Energie auf. Das heisst, die Energiezufuhr in das Plasma erfolgt fast ausschliesslich über die Elektronen.

Allerdings ist die Schwingungsenergie der Elektronen nur eine Art Blindenergie, solange die Elektronen nicht untereinander oder mit den Ionen in Wechselwirkung stehen: Freie Elektronen werden in einem elektrischen Wechselfeld (Lichtwelle) abwechselnd beschleunigt und verzögert; sie nehmen Energie auf und geben sie dann wieder ab. (Das gleiche geschieht mit den Ionen eines festen Körpers, zum Beispiel Glas. Dem entspricht ein erhöhter Brechungsindex, d.h.  $n > 1$ , jedoch kleine Absorption.)

Damit die Elektronen eine Wirkenergie aufnehmen, müssen sie Stösse ausführen. Bei einem Stoss wird die Schwingungsenergie (Blindenergie) in kinetische Energie (Wirkenergie) umgewandelt. Das Elektron kann dann erneut Schwingungsenergie aufnehmen. Bei ausreichender Energie (10 eV) können die Elektronen weitere Atome ionisieren. Die grösste Stosszahl ergibt sich aus maximaler Dichte, also wenn der Laser auf einen festen Körper gerichtet wird. Es kann berechnet werden, dass dann bei einer Lichtfeldstärke\* von  $10^8 \text{ V/cm}$  die Elektronen innerhalb einer Zeit von  $10^{-13} \text{ s}$  eine für eine Ionisation weitere Atome ausreichende Energie erhalten.

Alle  $10^{-13} \text{ s}$  verdoppelt sich somit die Zahl der Ionen und Elektronen, bis das Material in einer gewissen Schichtdicke hoch ionisiert ist. Dies wird innerhalb einer Zeit von weniger als  $10^{-11} \text{ s}$  erreicht.

Nach seiner Erzeugung beginnt das Plasma sogleich zu expandieren. Dies geschieht aufgrund der Wärmebewegung (Energieaufnahme) der Ionen, aber auch durch Beschleunigung in einem Feld, das sich infolge Raumladung aufbaut. Die Raumladung tritt auf, weil die Elektronen wegen ihrer höheren Temperatur bei der Expansion dem übrigen Plasma vorausziehen.

Durch diesen Prozess ergibt sich eine Verteilung des Plasmas mit unterschiedlicher Dichte.

---

(\* Die Lichtfeldstärke in einem Laserstrahl ergibt sich aus  $E_0 = 19,4 \sqrt{S_0} \text{ V/cm}$ , wenn die Leistungsdichte  $S_0$  im Laserstrahl in der Einheit  $\text{W/cm}^2$  gemessen wird: Im Brennpunkt eines fokussierten Rubin-Riesenimpulslaser kann die Leistungsdichte bis  $10^{14} \text{ W/cm}^2$  betragen; dem entspricht eine Lichtfeldstärke von  $E_0 \approx 2 \cdot 10^8 \text{ V/cm}$ . **409881/0008**

Figure C.100: In 1973, an inventor listed as Jonas Engelke filed a detailed patent application (later issued as German patent DE2308071) on a method of inducing nuclear fusion reactions using converging high-power laser beams. Was the inventor the same person as the mysterious Engelke/Ehrhardt from a decade earlier?

2308071

-3-

Je nach der Dichte verhält sich nun das Plasma unterschiedlich: Bei kleiner Dichte bzw. Elektronenkonzentration fehlt die Wechselwirkung mit anderen Elektronen oder Ionen; das Laserlicht wird nicht absorbiert. Bei grosser Dichte ergibt sich eine entsprechend grosse Absorption, sofern das Laserlicht in das Plasma eindringen kann.

Zwischen den beiden Bereichen geringer Absorption bzw. hoher Reflexion liegt eine Zone, in die der Laserstrahl eindringt und in der er absorbiert wird. Es ist dies die Zone mit einer Elektronenkonzentration  $n=np$ , wobei  $n_p$  die Konzentration bedeutet, bei der die Plasmafrequenz (kreisfrequenz)

$$\omega_p = \sqrt{4 \pi e^2 n_p / m},$$

annähernd gleich der Frequenz des Laserlichts ist ( $m$  ist die Elektronenmasse,  $e$  die Elementarladung). Die Strahlung eines Lasers wird somit im Wesentlichen nur in einem Bereich mit günstiger Elektronenkonzentration absorbiert. Der Bereich erstreckt sich über fast eine Zehnerpotenz um diesen Wert, er liegt um annähernd ein bis zwei Zehnerpotenzen unter der Konzentration im festen Material ( $\approx 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ ). Die Ausdehnung des Bereichs hängt von der Versuchsbedingung ab, sie kann unter Umständen einige  $10^{-2} \text{ cm}$  betragen.

Unter Anwendung dieser Erkenntnisse wurden bereits zahlreiche Experimente zur Erzeugung heisser Plasmen ausgeführt. Das Laserlicht wurde dabei auf Lithiumhydrid oder Lithiumdeuterid oder auf festen Wasserstoff bzw. festes Deuterium gerichtet. Gemessen wurden Ionenenergien von mehr als 1000eV, entsprechend Iontemperaturen von mehr als 10 000 000 °K.

Es gibt auch Arbeiten, bei denen man den Laserstrahl nicht auf festes Material richtet, sondern das Plasma in einem Gas erzeugt. Man arbeitet dabei mit zwei Laserimpulsen, die nacheinander von zwei Lasern emittiert werden, und nutzt die Eigenschaft der durch den ersten Impuls erzeugten Schockwelle aus.

Alle Arbeiten dieser Art sind Voruntersuchungen mit dem Ziel einer Kernfusion. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein, und zwar Bedingungen hinsichtlich Dichte, Masse und Temperatur und hinsichtlich der Zeit, während ein Plasma auf hohen Temperaturen gehalten werden kann. Eine hohe Temperatur allein genügt nicht.

Figure C.101: In 1973, an inventor listed as Jonas Engelke filed a detailed patent application (later issued as German patent DE2308071) on a method of inducing nuclear fusion reactions using converging high-power laser beams. Was the inventor the same person as the mysterious Engelke/Ehrhardt from a decade earlier?

2308071

-4-

Nach dem heutigen Stand der Lasertechnik können unter diesen Voraussetzungen diese Bedingungen nur erfüllt werden, wenn mehrere tausend der stärksten Laser gleichzeitig gezündet werden und ihre Leistung auf ein und dieselbe Probe gerichtet wird. Unter diesen Umständen wäre es prinzipiell möglich, mit Laserenergie eine Kernfusion zu bewirken.

(Russische Autoren berichten, dass in Laserplasmen bereits freie Neutronen nachgewiesen werden konnten, wie sie bei thermonuklearen Reaktionen entstehen.)

Wenn auch die Möglichkeit als gegeben erscheint, mit mehreren tausend Riesenimpulslasern eine Kernfusion einzuleiten, so wäre dieses Experiment nicht allein vom materiellen Einsatz her absurd, sondern auch von der Basis der Versuchsordnung bereits infrage gestellt, weil eine grundlegende Voraussetzung zum Gelingen einer Fusion mit Laserimpuls bisher nicht beachtet wurde. Niemals darf eine Probe - damit es keine unterschiedlichen Dichten im Reaktionszentrum gibt - bei Energieaufnahme räumliche Veränderungen erfahren - sie darf nicht expandieren können! und damit ist hier auf das Kriterium der Fehler im experimentellen Bereich hingewiesen.

Eine Probe muss bei Energieaufnahme an homogener Dichte zunehmen und endlich diejenige dichte Packung erreichen, die zwangsläufig zu einer Kernfusion führt. Ist diese Voraussetzung gegeben, genügen bereits Quantenimpulse von zwei mal  $10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>, um freie Neutronen zu erzeugen, und vier mal  $10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>, um eine reine Kernfusion einzuleiten.

Hauptgegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Reaktionskammer in der Konfiguration eines Simultan-Autoklaven, der extrem hohe innere Drücke bei grosser Kälte- oder Wärmeeinwirkung mit Sicherheit aufnehmen kann.

Im Zeichnungsblatt 1<sub>A</sub> ist diese Reaktionskammer mit zwei aussen angeordneten Impulslasern (A-B) schematisch im Querschnitt dargestellt.

Das Block-Schema 1<sub>B</sub> gibt die Schrittfolge zur Ausübung des Verfahrens an.

Figure C.102: In 1973, an inventor listed as Jonas Engelke filed a detailed patent application (later issued as German patent DE2308071) on a method of inducing nuclear fusion reactions using converging high-power laser beams. Was the inventor the same person as the mysterious Engelke/Ehrhardt from a decade earlier?

2308071

-5-

Flüssigkeitsmoleküle sind in ständiger regelloser Bewegung (Wärmebewegung) und leicht gegeneinander verschiebbar. Bei konzentrierten Energieimpulsen, mit zum Beispiel einem fokussierten Laser, erhalten Flüssigkeitsmoleküle durch thermische Ausdehnung beträchtliche Bewegungsenergien und werden regelrecht aus einem Fokus herausgeschleudert.

Diesbezügliche Experimente mit Eiskristallen haben ebenfalls negative Resultate ergeben, weil unter anderem ein Kompressionsdruck während der angestrebten Reaktionsphase fehlte.

Bei Untersuchungen mit heissen Plasmen eine Kernfusion herbeizuführen, reichte die Energie eines Magnetfeldes nicht aus, die unterschiedlichen Dichten zu kompensieren, die in Erscheinung treten, wenn ein ringförmig gehaltenes (ohnehin labiles Plasma) an irgendeinem Punkt unterschiedliche Dichten durch zusätzliche Energieaufnahme erfährt.

Zusammen: Eine hohe Temperatur allein genügt nicht. Bei allen bisher bekanntgewordenen Experimenten fehlte der optimale Druck und die homogene Dichte im Reaktionszentrum.

Der vorliegenden Erfindung liegt zugrunde, Flüssigkeitsmoleküle im Erstarrungszustand (Gefrierzustand), also örtlich gebunden, derart mit konzentrierten Energien zu erreichen, dass weder eine örtliche Verschiebung oder eine Expansion der Moleküle durch Energieaufnahme stattfinden kann. Diese grundlegenden Bedingungen sind erfüllt, wenn der Gefrierzustand einer flüssigen Probe unter Druck erfolgt.

Die auf dem Zeichnungsblatt 1<sub>A</sub> im Schnitt schematisch dargestellte Reaktionskammer G trägt Arbeitsdrücke bis zu  $3 \cdot 10^6$  at. und hat zweckmässig die Gestalt einer Hohlkugel.

Zwei kegelförmige Linsen C-D zum Beispiel bestehend aus NaCl oder Quarz, sind derart in der Wandung gelagert, dass jeweils ihr Kegelspitz nach innen gerichtet ist. Aussen angeordnet befinden sich zwei Impulslaser A - B, die auf einer optischen Bank so ausgerichtet sind, dass bei Impuls mittels Kegellinsen C - D im Reaktionsraum F ein Fokus E erzeugt wird.

Figure C.103: In 1973, an inventor listed as Jonas Engelke filed a detailed patent application (later issued as German patent DE2308071) on a method of inducing nuclear fusion reactions using converging high-power laser beams. Was the inventor the same person as the mysterious Engelke/Ehrhardt from a decade earlier?



2308071

-6-

Die Experimentalschritte nach dem Blockschema auf Zeichnungsblatt 1<sub>B</sub> werden wie folgt durchgeführt: Das Abfüllen der flüssigen Probe wird mit der Vakuum-Abfüllgruppe A bis E bewirkt, wobei die Probe zunächst durch das Ventil 5 in den Entgasungskolben C gezogen wird. Dabei sind die Ventile 3 und 4 zu verschliessen. Ist die erforderliche Flüssigkeitsmenge in C eingeströmt, wird das Ventil 5 geschlossen und ein Ultraschallgeber im Entgasungskolben C eingeschaltet.

Jetzt wird die Probe durch vorsichtiges Abpumpen entgast, und das Ventil 2 kann erst verschlossen werden, wenn die Flüssigkeit völlig zum Stillstand gekommen ist. Ist dies geschehen, wird das Ventil 2 geschlossen, die Vakuumpumpe A abgeschaltet und danach das Belüftungsventil 3 geöffnet.

In dieser Folge erhält die Sicherheits-Vakuumgruppe G-H den Befehl, solange ein Grobvakuum von  $10^{-3}$  Torr vor den Kegellinsen C-D (Zeichnungsblatt 1<sub>A</sub>) aufrechtzuerhalten, bis der Füllvorgang mit der Vakuumfüllgruppe I-J beendet ist. Zu diesem Zweck werden die Ventile 4 und 7 geöffnet, Ventil 8 geschlossen und die Vakuumpumpe J eingeschaltet.

Der Reaktionsraum F ist gefüllt, sobald Flüssigkeit in die Vakuumfalle I eintritt, und es wird zunächst das Ventil 4, dann das Ventil 7 verschlossen, das über Elektroimpuls simultan die Ventile (H und I, Zeichnungsblatt 1<sub>A</sub>) der Reaktionskammer verschliesst. Mit dem Öffnen des Ventils 8 wird auch die Vakuumpumpe J abgeschaltet.

Nach Beendigung dieses Vorganges muss die Sicherheitsvakuumgruppe G-H ebenfalls abgeschaltet und die (Kegellinsen C-D im Zeichnungsblatt 1<sub>A</sub>) freigelegt werden. Vor Abschalten der Vakuumpumpe G, ist Ventil 6 zu öffnen.

Der Laserimpuls wird eingeschossen, wenn der Gefrierzustand der Probe einen Druck von  $10^5$  at. erreicht hat.

Figure C.104: In 1973, an inventor listed as Jonas Engelke filed a detailed patent application (later issued as German patent DE2308071) on a method of inducing nuclear fusion reactions using converging high-power laser beams. Was the inventor the same person as the mysterious Engelke/Ehrhardt from a decade earlier?

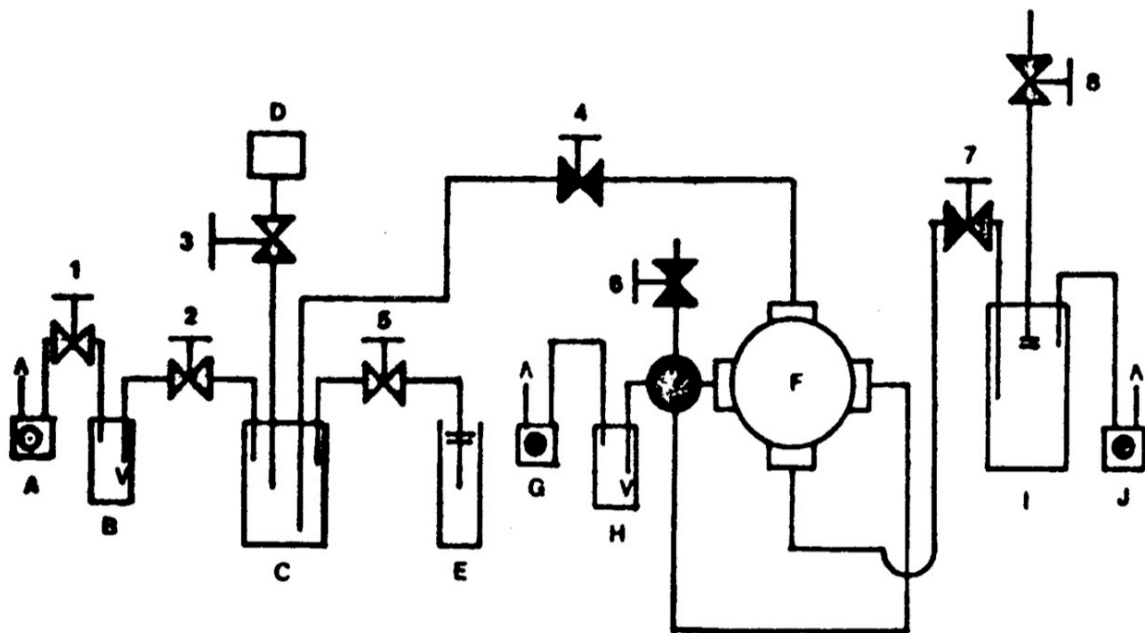
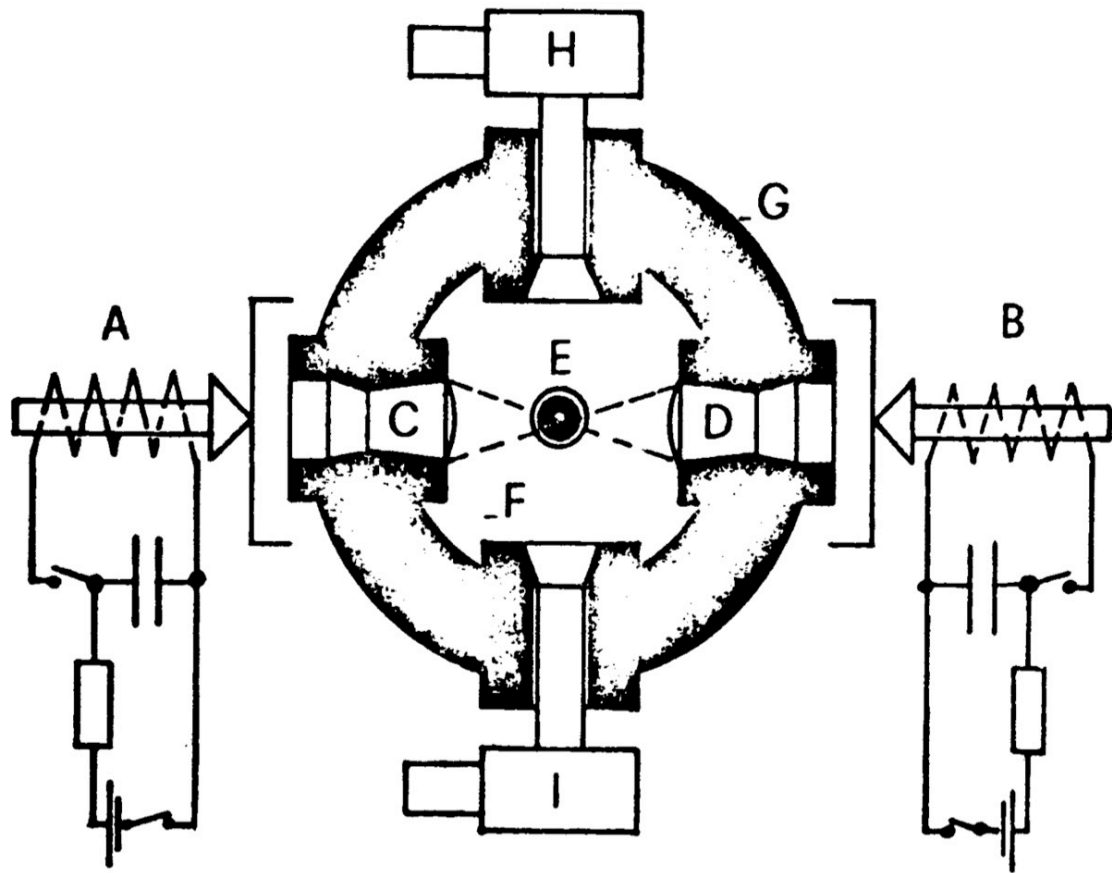


Figure C.105: In 1973, an inventor listed as Jonas Engelke filed a detailed patent application (later issued as German patent DE2308071) on a method of inducing nuclear fusion reactions using converging high-power laser beams. Was the inventor the same person as the mysterious Engelke/Ehrhardt from a decade earlier?

[There are many mysteries regarding Hans Ehrhardt/Engelke and his laser-like experiments:

- “Ehrhardt” was clearly not the person’s real name, and “Engelke” likely was not either. If his real last name was something else, it may have begun with an E. At least one of his names was an alias and he could have chosen anything, yet he chose to use the same initial letter for some reason. (E is a somewhat less common first letter for German last names.)
- Hans Ehrhardt/Engelke was building and testing optics equipment for novel high-luminosity light sources. Did he have a formal university education and/or previous job experience in optics, perhaps under some other name?
- Swiss accounts said that Hans Ehrhardt/Engelke claimed to have been born in 1918, which would have made him 43–45 years old in 1961–1963. The 1961–1963 photos of Hans Ehrhardt/Engelke look like a man who was perhaps a decade older than that. While it is possible that Hans Ehrhardt/Engelke simply looked older than his true age due to the hard life he had led, there is the very real possibility that he was born earlier than he claimed. His true age would have large implications for what his real identity might have been, and what his true educational and work background might have been.
- Hans Ehrhardt/Engelke had a wife and four children in 1961–1963. Can more information about him be traced from his family’s history either before or after that time period?
- Hans Ehrhardt/Engelke claimed that he helped to develop fuel-air explosives during the war. One of the main groups conducting such work was a large Luftwaffe-funded team led by Mario Zippermayr (see p. 541). Had Hans Ehrhardt/Engelke been a member of Mario Zippermayr’s group (or perhaps some other fuel-air explosive group) during the war?
- Hans Ehrhardt/Engelke had worked for the Russians but wanted to leave that behind. He likely would have applied to work for the United States. Do U.S. Foreign Scientist Case Files at NARA (or other files) contain information on Hans Ehrhardt/Engelke under those or any other names?
- Hans Ehrhardt/Engelke appeared to have been blacklisted, wandering from place to place, unable to find someone (other than the Russians) willing to provide him a home and a job. That would have been a good motivation not to use his real name and identity, and suggests that he was not using his real name and identity.
- What was the real name, age, and background of Hans Ehrhardt/Engelke?
- The laser-like research of Hans Ehrhardt/Engelke seemed to date back to the war, based on some of his mysterious statements. If so, was Ehrhardt/Engelke’s research also related to the wartime work of Wilhem von Meyeren or others?
- How widespread, and how advanced, was work on laser-like technologies in the Third Reich?
- What influence did German-derived laser-like technologies have on the development of lasers in the United States, Russia, and other countries in the 1950s–1960s?
- What additional relevant documents can be discovered in archives or family collections around the world?]

**William B. Bridges. Laser Oscillation in Singly Ionized Argon in the Visible Spectrum.**  
*Applied Physics Letters* 4:7:128 (1964)

Ten new laser wavelengths in the green and blue portions of the visible spectrum have been observed in a pulsed argon discharge. The responsible transitions occur in the singly ionized state of the Ar atom ( $A^{II}$  spectrum). Measured wavelengths, tentative level assignments, and a few estimates of [...]

[Officially, the first laser was not built until 1960 (by Ted Maiman), and the argon gas laser was not invented until 1964 (by William Bridges), both at Hughes Aircraft in the United States.]

[For examples of German-speaking scientists who pioneered the development of semiconductor lasers, or laser diodes, see pp. 2911–2922.]



## C.4 Focused Sound Waves

[German-speaking scientists took the lead in harnessing focused sound waves for a wide variety of applications, ranging from the first ultrasound imaging devices to the first directed acoustic weapons. The following documents demonstrate that those technologies were developed and successfully demonstrated in Germany and Austria during the war, and then directly transferred to other countries in 1945, leading to modern acoustic and ultrasound devices.]

**BIOS 1504. *Industrial Applications of Ultrasonics*. pp. 3–11** [Reports on two laboratories developing ultrasonic generators and applications of them.]

### I. PRODUCTION OF ULTRASONICS.

#### (a) General.

In the last ten years possible industrial applications for ultrasonics became apparent, and **Siemens-Schuckert (S.S.) started research work on the production of intense sources of ultrasonics just prior to the war.** [...]

Most of the development work was carried out with magneto strictive and piezo-electric generators, but some work was also done with an acoustic mechanical method based on the Galton whistle. **The magneto strictive generators were usually worked at frequencies between 10 and 25 k.c., the piezo-electric generators at 300–400 k.c. and the whistle at 15–20 k.c. Each of these methods had its own particular advantages, and the choice of the one to be employed depends on the particular application.**

#### (b) Magneto strictive generators.

These depend upon the property of ferromagnetic metals to change their dimensions in the direction of an applied magnetic field. In practice an alternating current was superimposed on constant D.C. current, both of which magnetised a nickel rod which is set into oscillations of the same frequency as the A.C. current. Only if the frequency is equal to the natural mechanical frequency of the rod are large amplitude oscillations produced. The ultrasonics are radiated from the end surfaces of the rod into the surrounding medium. [...]

Fig. 1 shows the fundamental arrangement for treating liquids. The nickel rod (1) is let in through the bottom of the glass container (2) and is partly immersed in the liquid (4) which can be circulated through tubes (6) and (7). The tube is held by a rubber gasket (3) which should be at a node of the rod so as not to damp the oscillations. The external section of the rod is surrounded by a coil (5) through which both the A.C. and D.C. is passed. Sometimes two coils are employed; one to carry the A.C. and the other the D.C. [...]

The oscillator is tuned before use to the natural frequency of (1) with  $L_2$ . The nickel rod is usually 11 cms. long corresponding to 23 k.c. or sometimes 20 cms. corresponding to 12.75 k.c. An experimental oscillator was said to give 300 watts of ultrasonics with a current consumption of 800 watts.

The major advantage of the magneto strictive oscillator is its simplicity and ruggedness, and its major disadvantage the low frequencies at which it has to operate since it depends on the natural frequency of the rod. Another disadvantage often encountered is the small area from which the ultrasonics radiate. These disadvantages are absent in a piezo-electric generator.

(c) Piezo-electric oscillators.

Quartz crystals were the only piezo-electric materials employed. A suitably cut quartz crystal oscillated with a frequency depending on the thickness and an amplitude depending on the applied voltage. [...]

S.S. always mounted their crystal in oil to prevent arcing, and a typical ceramic container [...] is shown in Fig. 5. [...]

Fig. 6 shows the generator in action. The materials to be irradiated are placed in thin-walled glass containers and suspended in the oil fountain[...]

The generator uses 2.7 k.w., dissipates 1.6 k.w. of high frequency and produces 400 w. of ultrasonics. [...]

(d) Mechanical generators.

It is very difficult to build large generators of the magneto strictive or piezo-electric type, and so for industrial applications many small units would have to be operated side to side. This is cumbersome and expensive and in order to obtain high power generators S.S. developed the ultrasonic whistle, which proved valuable for making emulsions.

The general design of all of these is based on a Galton whistle, but operated with a liquid instead of a gas.

Fig. 10 shows a simple type of Galton whistle, consisting of a tube (1) with a hole (2) having a sharp lip (5). The air stream passes through the narrow slit (6) impinging on the lip which oscillates. The air column (7) will oscillate in resonance if the plug (4) is suitably adjusted.

Exactly the same principle applies when liquid is substituted for a gas. However, S.S. preferred to use a slightly modified design shown in Fig. 11. Here the liquid is forced through a very narrow circular orifice (6) formed by the plug (10), held in position by vanes (11) and impinges on a circular lip (5). [...]

A performance result of a whistle of the last type was quoted. The whistle used had an overall length of 15–20 cms. and 50 litres of emulsion were prepared in a few seconds. The pressure at which the liquid was expelled through the whistle was thought to have been between 10 and 20 atmospheres. The distance between orifice and lip was approximately 1 cm. and the frequency produced about 15 k.c.

These were the only quantitative data which the S.S. personnel interviewed could remember.

II. APPLICATIONS OF ULTRASONICS.(a) General.

[...] S.S. were not primarily interested in finding applications for ultrasonics. Their interest lay in developing methods of production, and they preferred to carry out joint researchers with prospective users. Occasionally they even made available equipment to firms who did not disclose what they intended to do with it. [...]

(c) Emulsification.

The most common use for ultrasonics is the formation of emulsions or dispersion in liquids. [...] From an experimental point of view, piezo-electric generators were convenient, since the material to be irradiated need only be placed in a beaker and held in the oil fountain. A number of generators of this type illustrated in Fig. 9 were sold for this purpose.

In Professor Hertz's laboratory magnetostriction oscillators were developed, and Drs. Schöfer and Barwich studied the mechanism of emulsion formation. This was caused, not by the sound waves themselves, but by the cavitation effects produced in the liquid. The breaking up of the droplets occurred entirely in the zones of cavitation. This is not a new observation but appears to have been very thoroughly substantiated at S.S.

It is very advantageous to produce a coarse dispersion before breaking up to emulsion size. This was done by low frequency agitation (at 100 cycles per sec.) with the aid of an electro-magnetic feed with waves 50 cycle A.C. [...]

(d) Disinfection.

Ultrasonics were tried for the disinfection of water, milk and other liquids. Definite effects were observed but they were not striking and work was discontinued in favour of promising methods, but it was hoped to re-examine this question later. It was found that some non-pathogenic organisms, such as *B[acillus]. coli*, were destroyed most effectively, but the radiations had much less effect on cocci. [...]

(g) Soldering.

It is well known that the presence of an oxide layer on the surfaces of metals to be soldered prevents a firm joint from being formed. Normally the oxide layer is removed with a suitable flux. [...] S.S. discovered that if the molten solder when in contact with the metal is in ultrasonic vibrations then a good join is produced without the necessity for any flux. The vibrations break up the oxide layer and expose the metal to the solder in which the former remains dispersed without impairing the strength of the join. [...]

S.S. had intended in 1941 to use several hundred of these ultrasonic soldering irons in their valve factories, but urgent war requirements prevented more than a few from being built.

(h) Welding.

Ultrasonics were applied to electrical welding but proved of doubtful value. [...] If the two electrodes are set into vibration whilst the welding current is heating and melting the point at which the metals are to be joined, an improvement of the crystal structure of the weld is obtained. Yet in spite of a considerable decrease in the grain size the joint is not appreciably strengthened.

Vibrations of lower frequencies were examined and it was found that the lower the frequency the stronger the joint. A single blow during the welding produced the strongest joint. However, only high frequency oscillations produced the improved crystal structure at the weld.

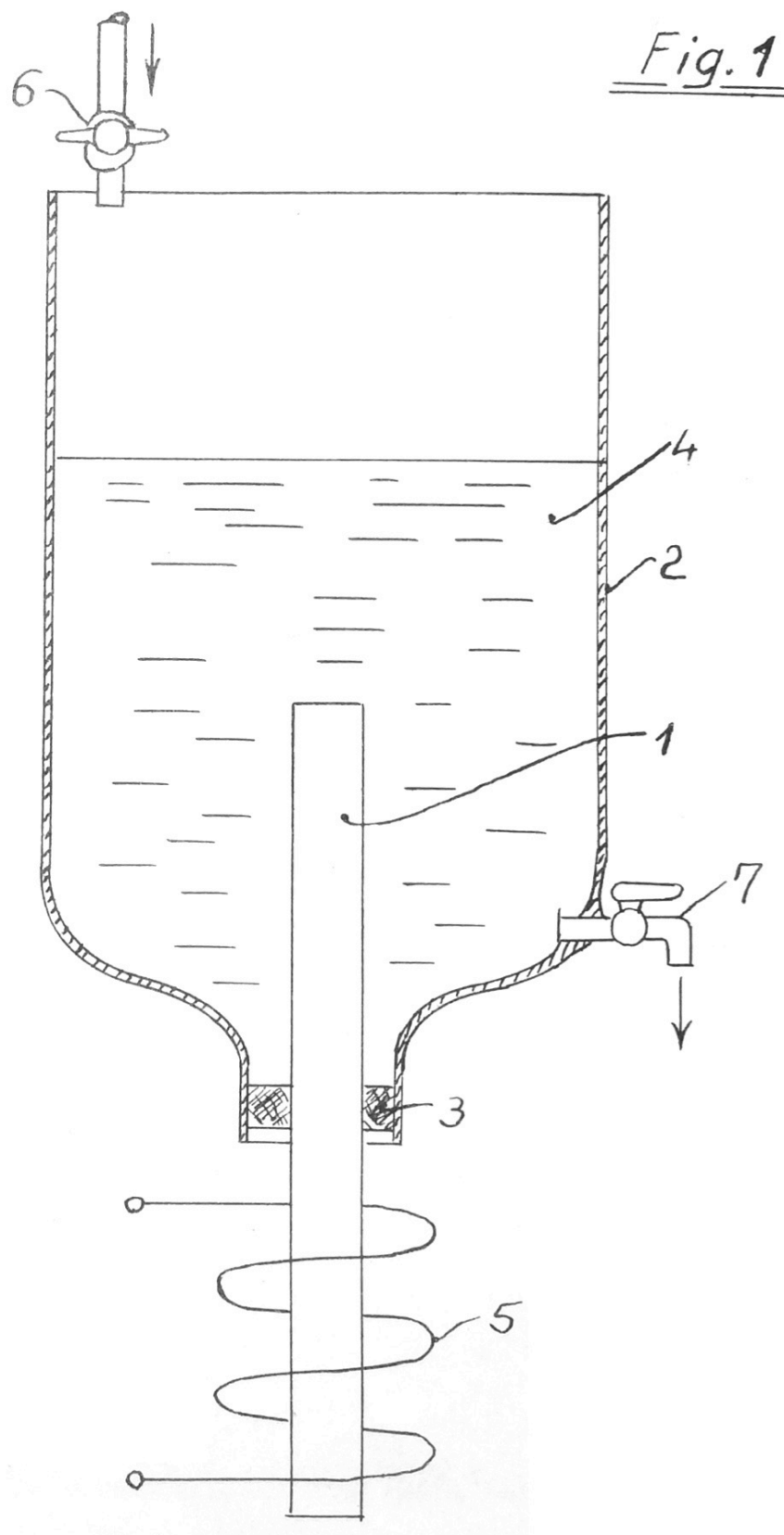


Figure C.106: Ultrasonic sonicator [BIOS 1504].



Fig. 5

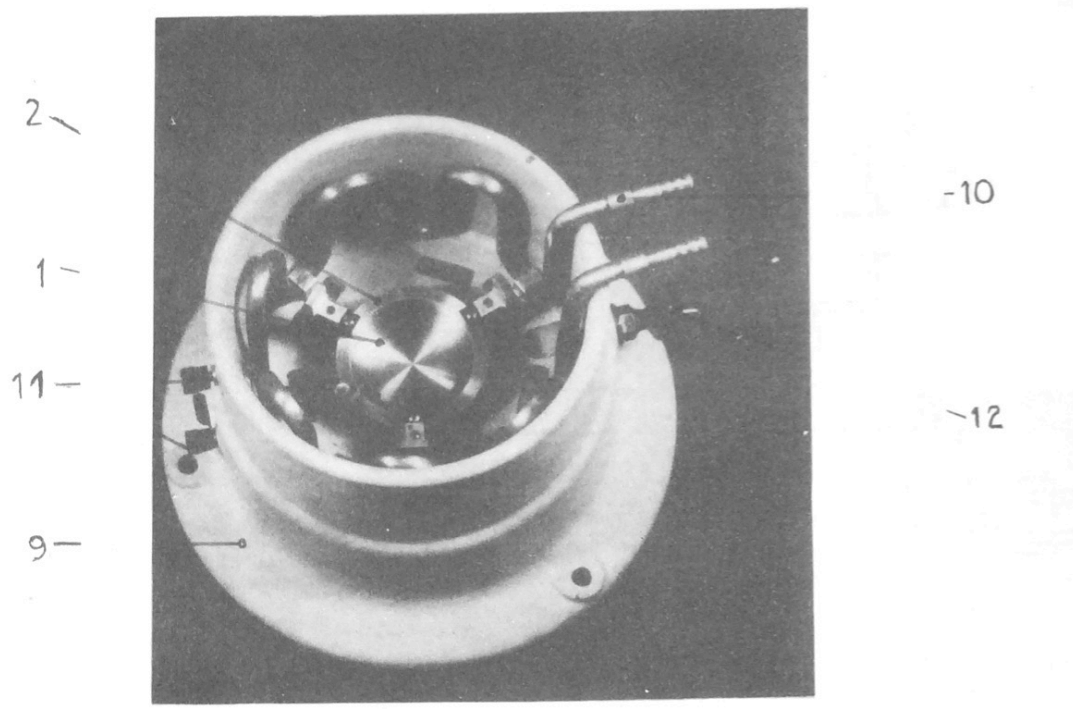


Fig. 6

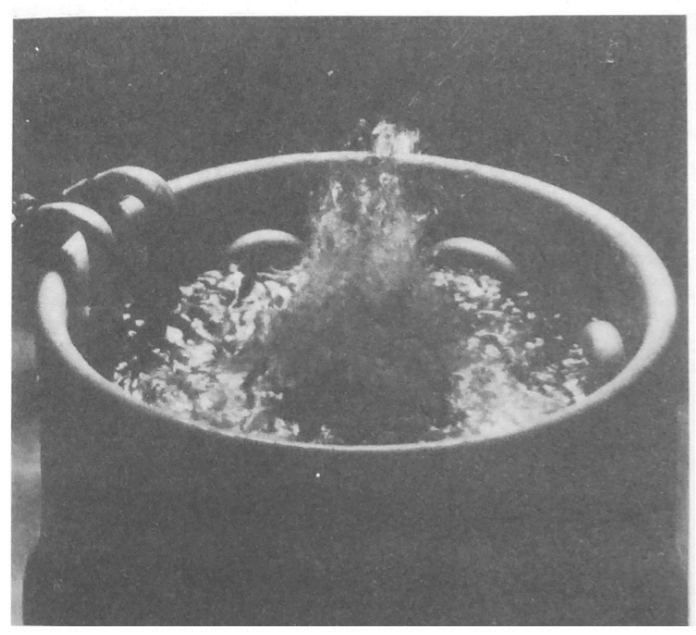


Figure C.107: Ultrasonic sonicator [BIOS 1504].

Fig. 8

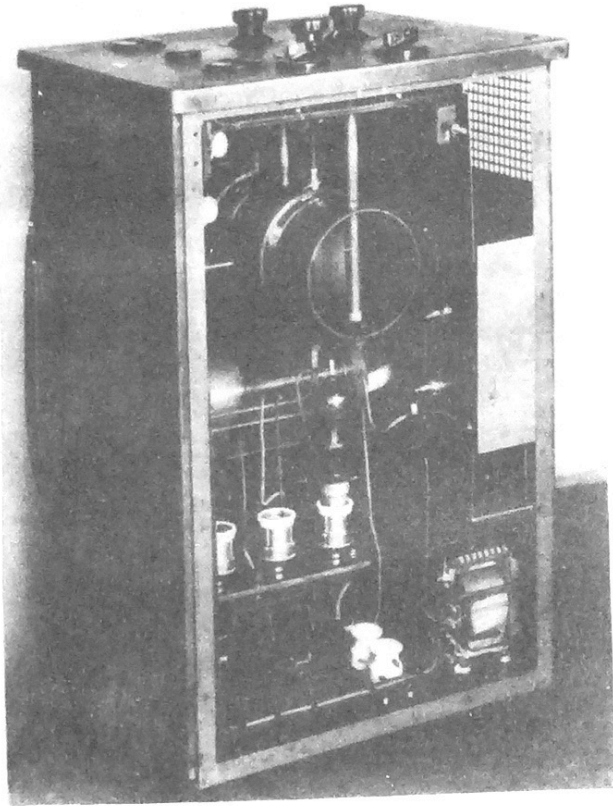


Fig. 9

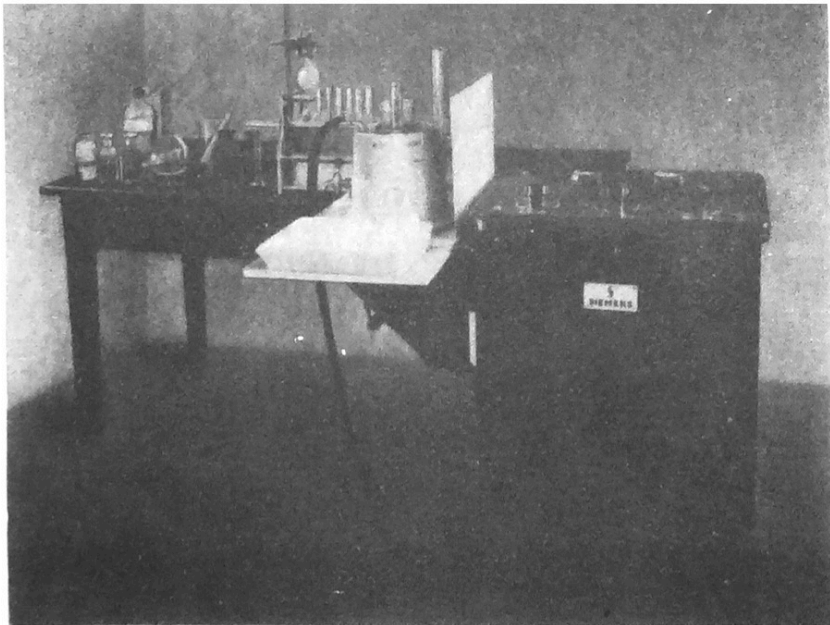


Figure C.108: Ultrasonic sonicators [BIOS 1504].

Fig. 10

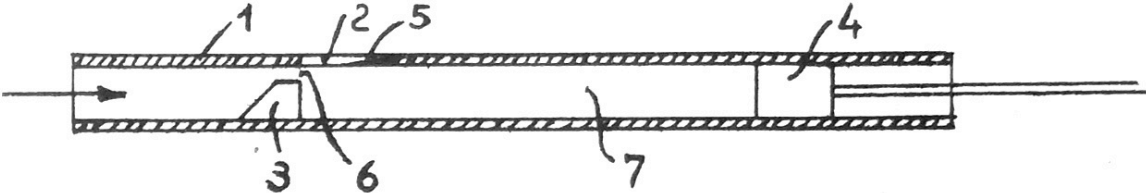


Fig. 11

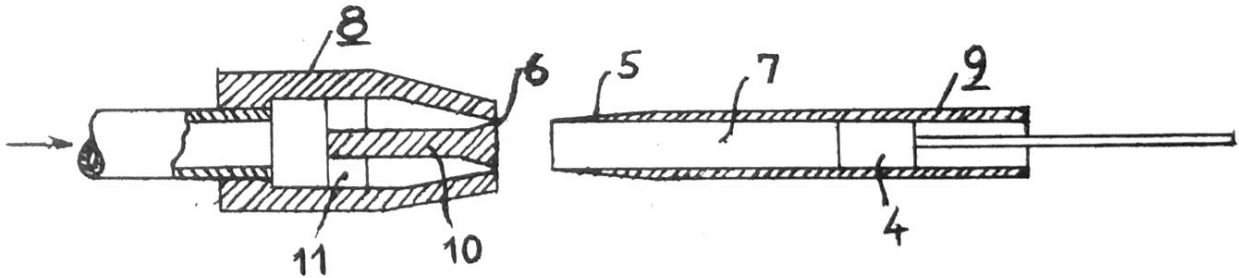


Figure C.109: Ultrasonic sonicators [BIOS 1504].

**BIOS 1688. *Radiological Activities in Germany.* p. 11.**4. Ultra-sonic Methods of Testing

The R.R.S. was alive to the possibility of applying ultra-sonics but had only used the method for the detection of laminations. **It appears that 4 sets had been constructed using transmitted sonic energy and they had all been destroyed by bombing.** The output was 30 watts at a frequency of one megacycle.

**BIOS 609. *Non-destructive Testing of Materials.* pp. 2–3.**

[...] Details of the detector used were obtained partly from Professor Trendelburg but chiefly from **Dr. Pohlman** at Erlangen. [...]

A schematic diagram of one form of the apparatus used is shown in Fig. 1. (A photograph of this apparatus was seen.) **The high frequency source is the usual quartz crystal, oscillating at a frequency of about 1.6 MHz. It is coupled to the “work” by mercury, oil or vaseline. The detecting and observing unit consists of a tubular housing, full of xylene, which contains the detector cell, a semi-transparent mirror and an ordinary optical lens. The housing is closed at one end by a sonic lens of aluminium and at the other end by a viewing screen. A lateral branch of the housing encloses a lamp for illumination of the cell.**

The velocity of sound in aluminium is nearly four times its velocity in xylene and so a sonic beam passing from aluminium into xylene, by way of a surface, which is concave with respect to the aluminium, is converged. The pattern formed in the cell is thus a reduced image of the beam as it passes (and is modified by any flaws) through the work. To observe this pattern an image of the cell is projected optically on the viewing screen. The scheme is sufficiently indicated in Fig. 1.

**Photographs were seen of a considerable number of cell patterns obtained on examining such subjects as steel containing hair cracks, laminated strip, spot welds, light alloy bars. The degree of detail shown was far higher than I expected.**

**Considerable use is made of sonic lenses.** One example is shown in Fig. 1. Commonly they are constructed of two thin saucer shaped sheets of brass or aluminium fastened together in the form of a double convex lens, the vessel so formed being filled with some convenient liquid such as carbon tetrachloride. If this arrangement is immersed in xylene it acts as a converging lens (the velocity of sound in xylene is 1.45 times its velocity in carbon tetrachloride). Diverging lenses may be made on similar principles.

Obtaining efficient coupling between the oscillator and the work was made light of by Pohlman who said there was rarely any difficulty, though each case had to be considered on its merits. Considerable distances in liquid are often traversed by the sonic beam. Bromoform is a common coupling liquid used.

The arrangement used for the examination of small shell blanks is indicated in Fig. 2. [...] **The cell pattern forms in 1 to 2 seconds. Inspection is carried out at the rate of 500 per hour.** [...]

[See also BIOS 214 for a brief second-hand description of Pohlman’s ultrasound imager. The following document, BIOS 1679, gives a detailed description by Pohlman himself.]



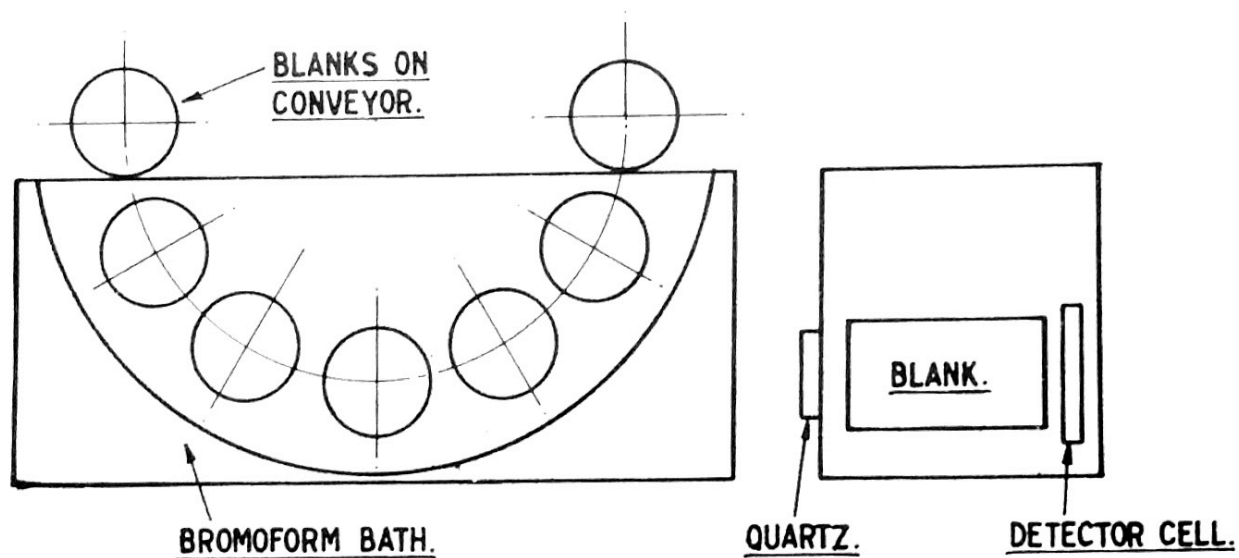
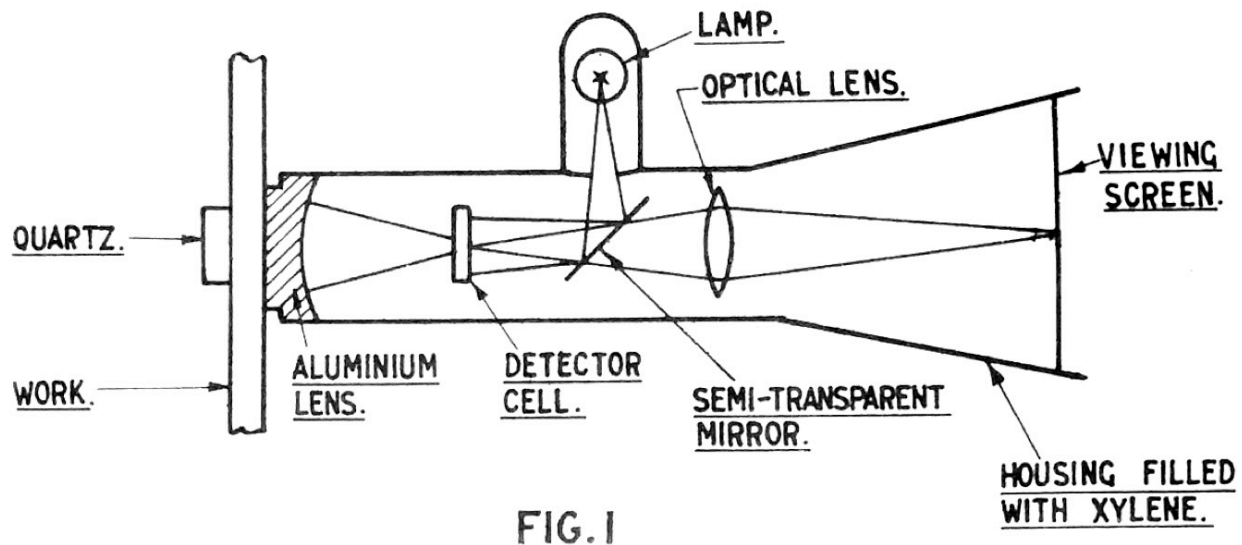


Figure C.110: Ultrasound imaging device [BIOS 609].

**BIOS 1679. *Ultrasonic Material Testing and Other Applications.*** [Reports on 20 other laboratories developing ultrasonic generators and applications of them, including many scientific papers from those laboratories.]

[pp. 28–29:]

17. INTERROGATION OF DR. POHLMAN, SIEMENS REINIGER, ERLANGEN, 11/4/46.

---

Material Testing by Ultrasonics.

Dr. Pohlman's method was stated to give an actual picture of the faults in steel plates, and the equipment was stated to give a discrimination down to 0.4 of a millimetre. [...]

One model of this equipment was used by the Deutsche Waffen und Munition Werke at Posen to check the blanks for 20 mm. cannon shells at the rate of 600/hr. The apparatus was also used to check spot welds, and a further apparatus was used by Junkers to check a main butt weld in aircraft. Attached hereto is an account of his method written by Dr. Pohlman.

Unfortunately we were not able to check the claims made by Dr. Pohlman either as stated in the above account or in his attached account. Dr. Pohlman claimed that all equipments had been taken by the Russians, but Lt Cmdr. Goudge later informed us than an equipment of this type had been evacuated by the Americans. [...]

Medical Uses of Ultrasonics.

Dr. Pohlman is at present employed in experiments with ultrasonic generators for therapeutical purposes. These operated at 800 Kc/s and a power of about 1 watt/sq. cm. The application time was usually about 10 minutes and they were used in attempts to relieve asthma, sinus troubles, and rheumatism with some success.

[pp. 31–32:]

18.  
IS IT POSSIBLE TO PRODUCE THERAPEUTIC EFFECTS BY MEANS OF ULTRASONICS?  
 by  
DR. REIMAR POHLMAN. BERLIN.

Research has been pursued in many directions to determine the action and the effect of ultrasonics on living organisms. The results have been found to be mostly destructive, but a large number of phenomena remain unexplained. Micro-organisms were disrupted, red blood corpuscles expanded, lost their colour, and finally broke down, fish and small animals were killed, and the virulence of pathogenic organisms was enhanced or diminished according to the nature of the organism and the conditions of the experiment.

The cause of these very diverse phenomena may be partly ascribed to the following processes. An ultrasonic wave induces very violent dispersion of two media in one another owing to its high acceleration factor (reaching  $10^8$  cm/sec.<sup>2</sup>). High intensities rupture the liquid, and lead to cavitation and to a fairly strong de-aeration connected therewith. Several investigators have been able to

show that this cavitation accounts for many of the biological effects of ultrasonics. Upon raising the pressure i.e., reducing cavitation, the effects do not take place.

It is noteworthy that the phenomena mentioned occur practically exclusively at high intensities, so that the idea could not altogether be rejected that other effects might take place at lower intensities and possibly prove to be of a therapeutic nature. That theory received support from the characteristic properties of ultrasonic waves. [...]

These facts left the possibility open that **it might be possible to produce therapeutic effects by means of ultrasonic radiation. Practical trials to discover and study these effects could only be carried out on individuals.** A large number of preliminary trials had, of course, to be carried out and the limit of energy at which deleterious effects take place had to be determined in order to prevent injury under all circumstances. It was further necessary to ascertain whether latent or secondary lesions might not appear as sequelae of a larger number of normal exposures to the rays. And thirdly, the question arose as to whether more than a negligible percentage of the rays would reach the depth intended. Careful measurements showed that absorption of ultrasonics in human tissues is comparatively slight, but that it practically corresponds to that of a highly absorbent homogeneous liquid. As might be expected, absorption and hence the depth effect of ultrasonic radiation depends on the wave length; and it was found that radiation at a frequency of 800 kc/sec. drops by one half at a depth of 5 cm.

[pp. 35-38:]

#### 19. MATERIAL TESTING BY ULTRASOUND IMAGE METHOD.

BY R. POHLMAN. ERLANGEN, 14/3/46.

[...] In this method the ultrasound radiated from a quartz crystal passes through the object to be tested and is then by means of an ultrasound lens imaged on to an image converter. The image converter makes visible the picture resulting from the flaws. [...]

Fig. 15 shows such photographs. At the top there is a model experiment in which two blocks of iron were screwed together. The picture on the right was obtained by radiating at right angles to the screw. One can see clearly the screw thread and the air gap which is between the milled surfaces of the two metal blocks which are pressed together. [...]

**Trials on patients were carried out with the cooperation of two physicians, R. Richter and E. Parow, at the Martin-Luther-Hospital, Berlin. [...]**

[p. 72:]

**It was reported that Submarine Signals delivered an ultrasonic equipment to dairies for the purpose of treating milk, and it is found that milk so treated can be more readily absorbed by some infants; in some cases a litre of milk can be digested four times as fast after treatment, and in addition the treatment kills bacteria.**

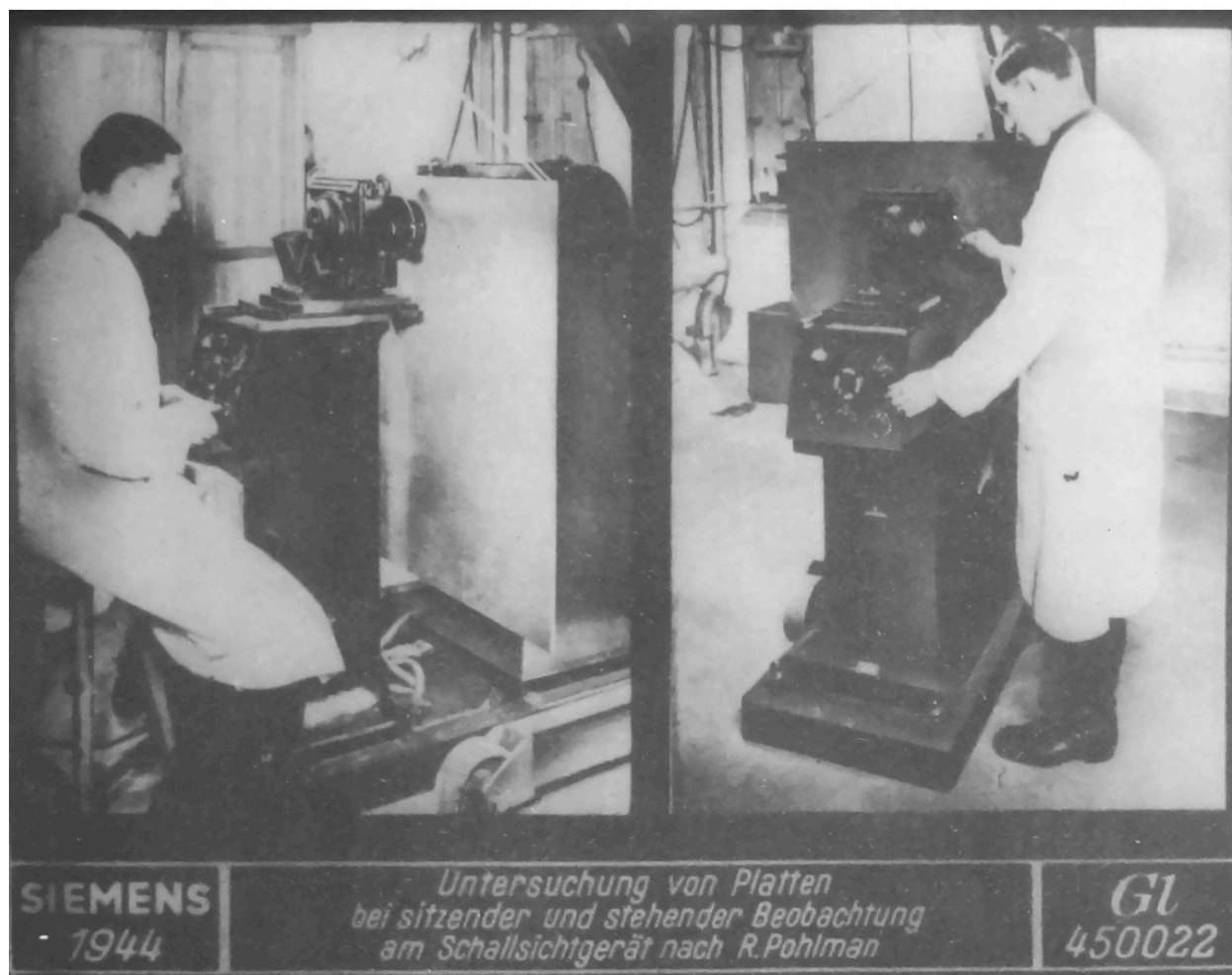


Figure C.111: Ultrasound imaging device [BIOS 1679].



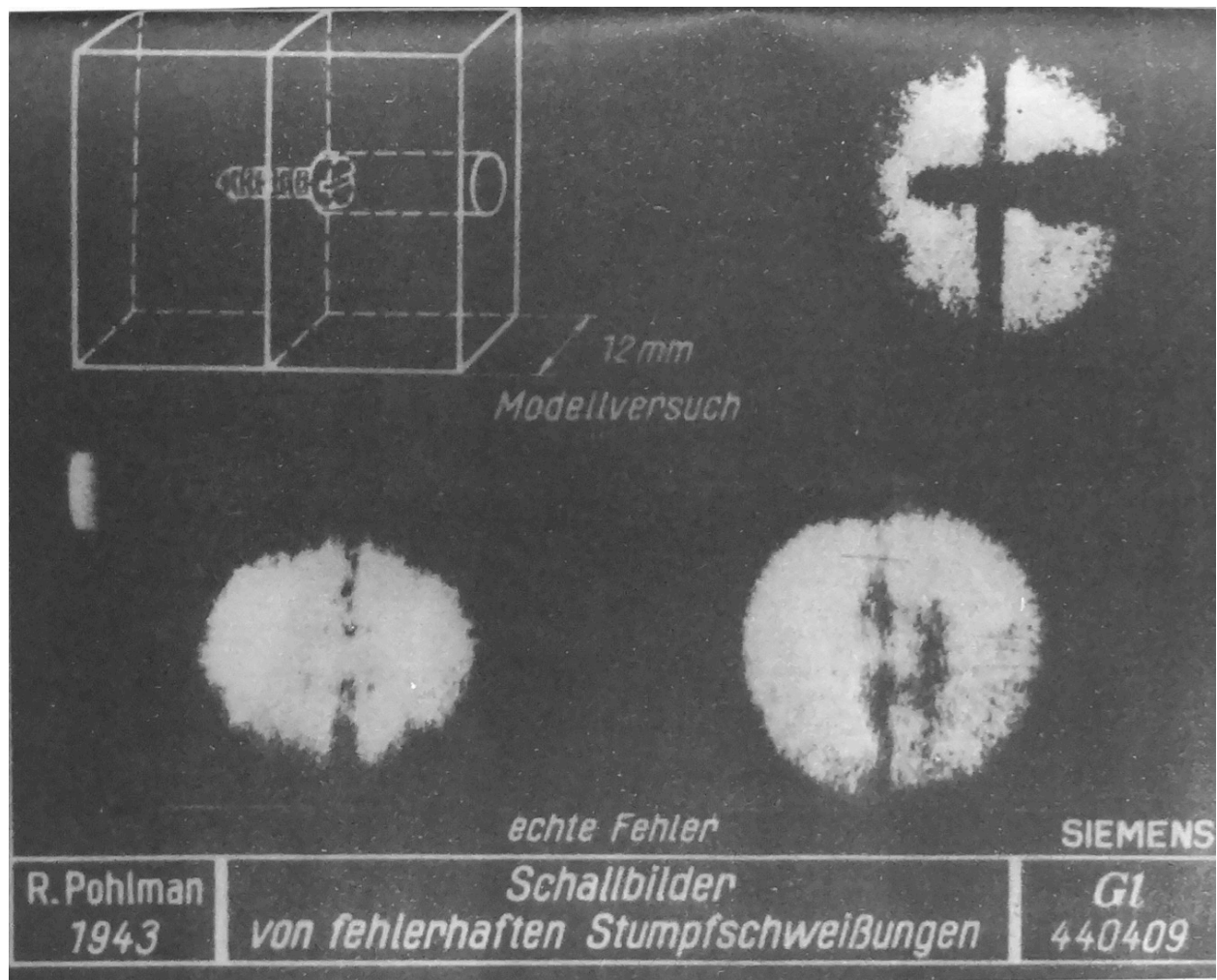


FIG. 15

Figure C.112: Ultrasound imaging device [BIOS 1679].

[In addition to Reimar Pohlman, some other important German-speaking pioneers of ultrasound imaging were:

- Karl Theodore Dussik (Austrian, 1908–1968) [[www.ob-ultrasound.net/dussikbio.html](http://www.ob-ultrasound.net/dussikbio.html)]
- Theodor Hueter (German?, 19??–19??) [[www.ob-ultrasound.net/hueter.html](http://www.ob-ultrasound.net/hueter.html)]
- Paul Kretz (German?, 19??–19??) [[www.ob-ultrasound.net/kretztechnik.html](http://www.ob-ultrasound.net/kretztechnik.html)]
- Heinrich Netheler (German?, 19??–19??) [[www.ob-ultrasound.net/netheler.html](http://www.ob-ultrasound.net/netheler.html)]

As documented in BIOS 1504 and BIOS 1679, at least 22 different German and Austrian laboratories were doing research on ultrasonic generators and applications during the war. Reports such as these, as well as countless documents, hardware, and many of the scientists themselves were transferred to the United States, United Kingdom, Soviet Union, and other countries after the war. Presumably many postwar ultrasonic development programs in those countries could be traced back to the German-speaking creators.]

**CIOS XXXII-77 = NavTecMisEu 198-45. *The Production of Intense Audio Sounds by an Intermittent Flame.***

## SUMMARY

A project was sponsored by the Speer Ministry aimed at the production of a sound beam so intense it would render troops unfit for combat at ranges up to 15 kilometers. **This project, which was pursued for two years, culminated in the development of an 800 cycle generator capable of producing a sound pressure of 1,000 microbars 60 meters from the source. Although this was a very loud source of sound, its effective range was found to be not over 100 meters. The details of the generator, which was based on an intermittent flame principle, is of some scientific interest.**

### 1. Introduction

The information contained in this report was obtained during an interrogation of **Dr. Richard Wallauschek who was a member of the Hochtal Laboratory at Lofer, Austria. This laboratory, which has been in existence since 1943,** was a pet project of Reichsminister Speer and was originally known as Forschungsstelle-S. Major Barisani was director of the laboratory but during the closing weeks of the war Dr. Zippermayr was made a co-director. The laboratory employed about fifty people.

The development of intense sources of sound was the first major project assigned to the Hochtal Laboratory. The project was based on ideas of Dr. Walkhoff who convinced the Speer Ministry that enemy troops could be rendered unfit for combat by intense sound beams at ranges up to 15 to 20 kilometers. Dr. Wallauschek, formerly of Telefunken, was relieved from the Army to head to the project. Realizing the absurdity of the basic assumption, he agreed only to develop the loudest source of sound he could and make such tests as were required, a job he succeeded in extending over a period of two years.

The source of sound, finally evolved, was based upon the well-known principle of the intermittent flame. The frequency of the flame was controlled by a quarter wave-length resonant tube closely coupled to the combustion chamber. The sound was formed into a beam by use of a parabolic reflector. The best model built was capable of producing a sound pressure of 1000 microbars at 800 cps at a distance of 60 meters from the generator.

### 2. Description of the Apparatus

The apparatus is composed of two parts: a sound generator and a parabolic reflector. The external appearance of the part is shown in Fig. 1a. An explanation of the operation of the sound generator will be made with the help of the schematic diagram, Fig. 2a. It consists of a combustion chamber and a resonant tube coupled together, plus a water jacket which surrounds the entire unit. The combustion chamber is shown at the left end of Fig. 2a. Oxygen at a pressure of 6 atmospheres is introduced into the combustion chamber through an axially located tube having a 6 mm orifice. Methane is introduced at the same pressure through a second tube located near the side of the chamber. This gas is made to pass through a set of vanes which causes it to assume a whirling motion before it reaches the combustion region near the orifice of the oxygen tube. The arrangement of the vanes is illustrated in Figure 2b.

The rate of combustion is made to vary by the use of a quarter wave-length resonant tube acoustically coupled to the combustion chamber. The resonant tube has a small conical flare. The exact rate of flare has no significant effect upon the action of the device as long as its valve is small. The tube acts as if the right end is free and the left end blocked so that the fundamental resonance of the pipe is such that its length is equal to a quarter of a wave-length. A standing wave within the pipe produces fluctuations in pressure within the combustion chamber, which fluctuations will cause the rate of combustion to vary at the same frequency. The periodic release of thermal energy serves to maintain the system in oscillation. In order to increase the thermo-dynamical efficiency of the unit, both the combustion chamber and the resonant tube are surrounded by a pocket through which water is circulated, thus cooling the combustion products as they pass through the combustion chamber.

An approximate equal-pressure contour of the sound field produced by the generator above is shown in Figure 3. It is obvious that most of the sound is propagated radially from the sound generator, that is to say, a “disk” of sound is produced. The absence of propagation in the axial direction is caused by the well-known phenomenon of the scattering of sound by hot columns of gases.

The purpose of the original project was to produce a beam of sound—not a “disk” of sound. In order to produce a beam, the sound generator is mounted along the axis of a parabolic mirror with the open end of the resonant tube located in the focal plane. When so mounted, the contour of the sound field is changed from the disk of Figure 3 to the conical beam of Figure 4. This beam is neither narrow (as shown by the  $30^\circ$  spread between the first minima) nor highly directive (as shown by the 3 to 1 ratio of amplitudes between the main beam and the first side lobe).

Several models using the above principles were constructed which varied in operating frequency from 400 to 1000 cps. The most powerful unit built operated at 800 cps and used the larger of the parabolic mirrors shown in Figure 1b, the diameter of which was 320 cm. This unit was able to produce a pressure of 1000 microbars on the axis of the main beam 60 meters from the generator. The development thus culminated in a powerful source of sound radiating over 100 watts of acoustical energy.

#### Remarks

The device failed in its original objective, as might have been expected, for it was concluded that it would be of no military value at ranges greater than 100 meters. The project is of importance because it furnishes concrete evidence of the failure of an idea after proposed as a military weapon. Furthermore, this method of producing intense audio frequency sounds in air may be of some scientific interest.

Prepared by:

H. M. TRENT,

Technician.



Figure C.113: Prototype acoustic weapon [CIOS XXXII-77].



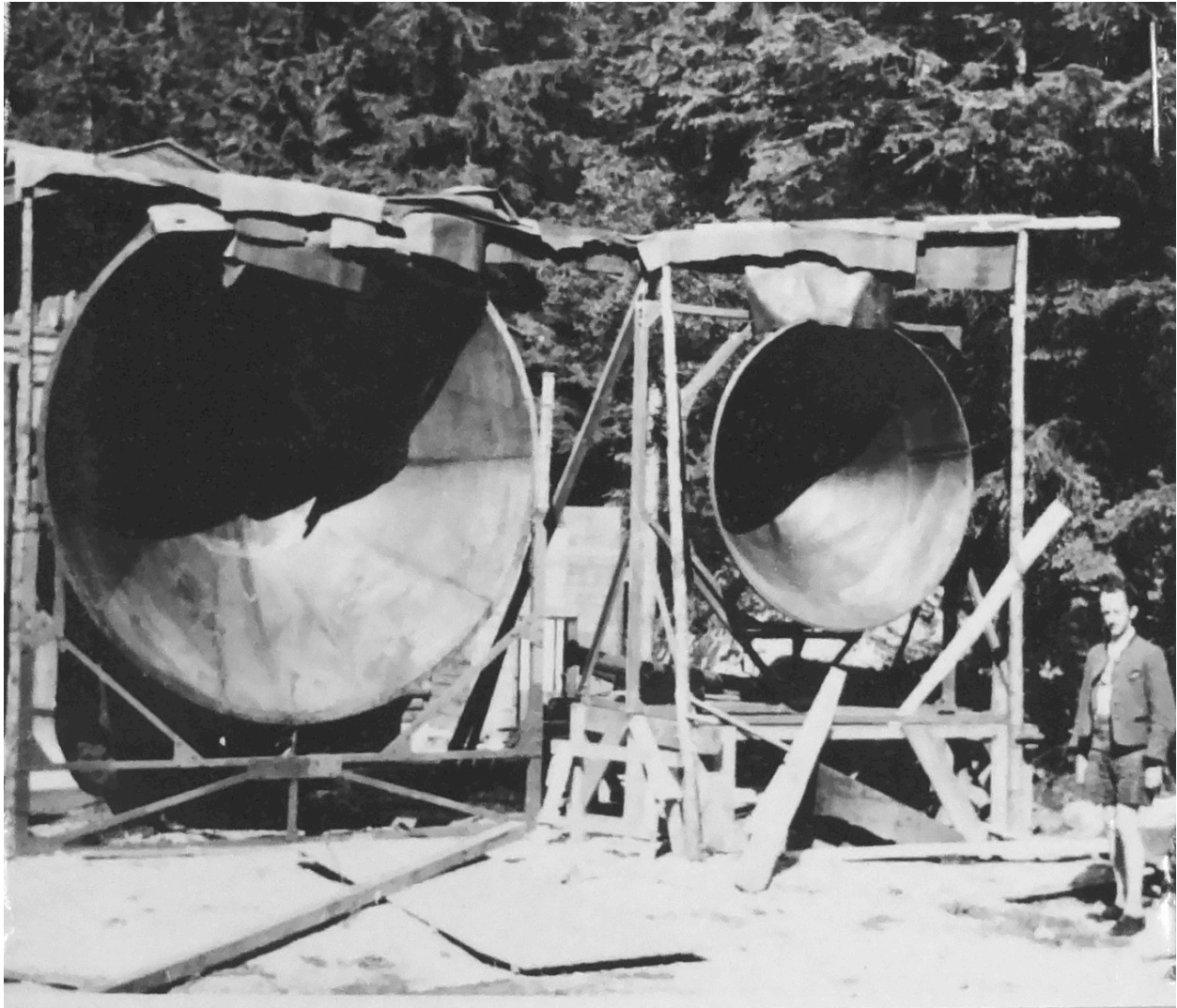


Figure 1b

Parabolic Reflectors for Sound Generator

Figure C.114: Prototype acoustic weapon [CIOS XXXII-77].

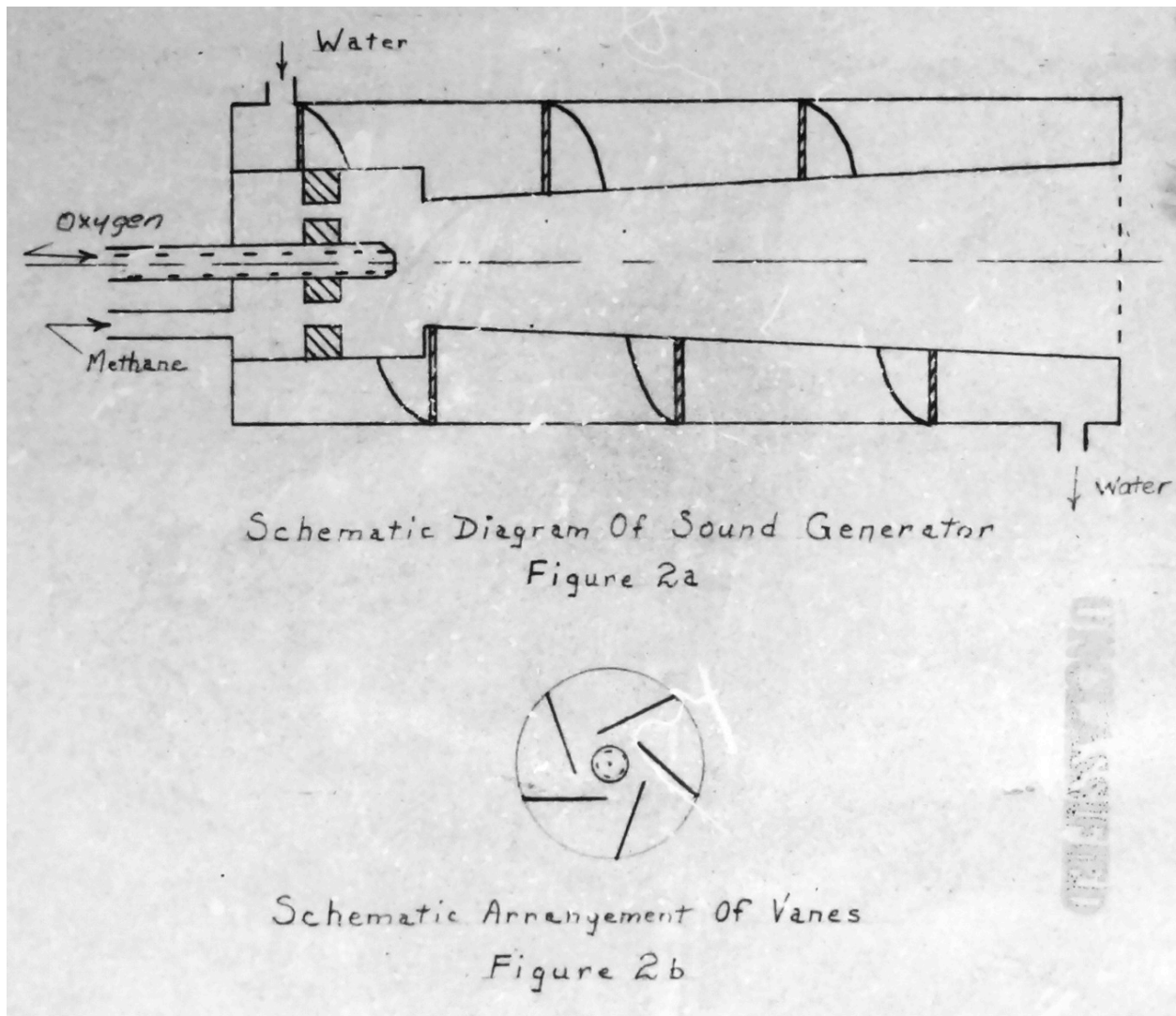


Figure C.115: Prototype acoustic weapon [CIOS XXXII-77].

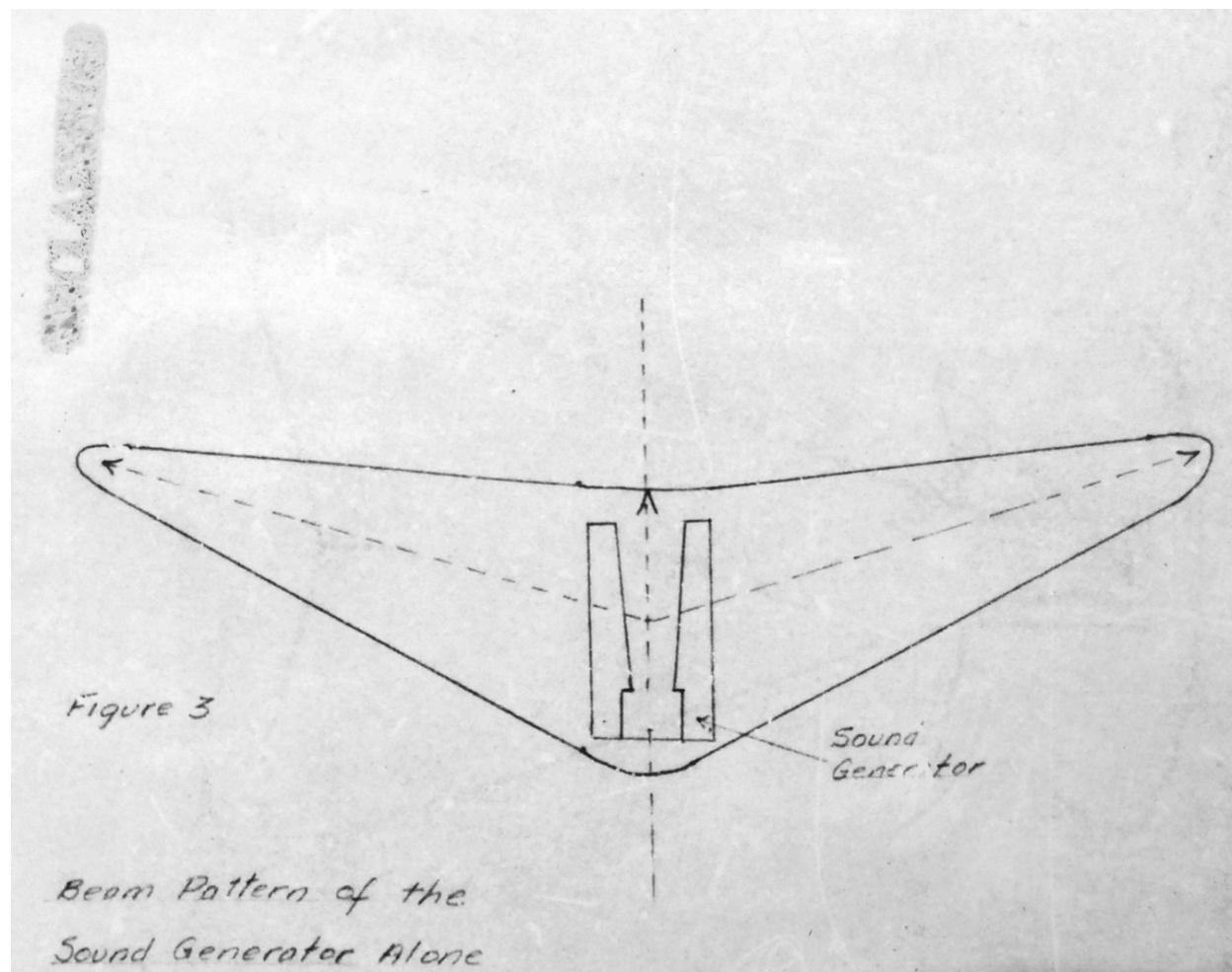


Figure C.116: Prototype acoustic weapon [CIOS XXXII-77].

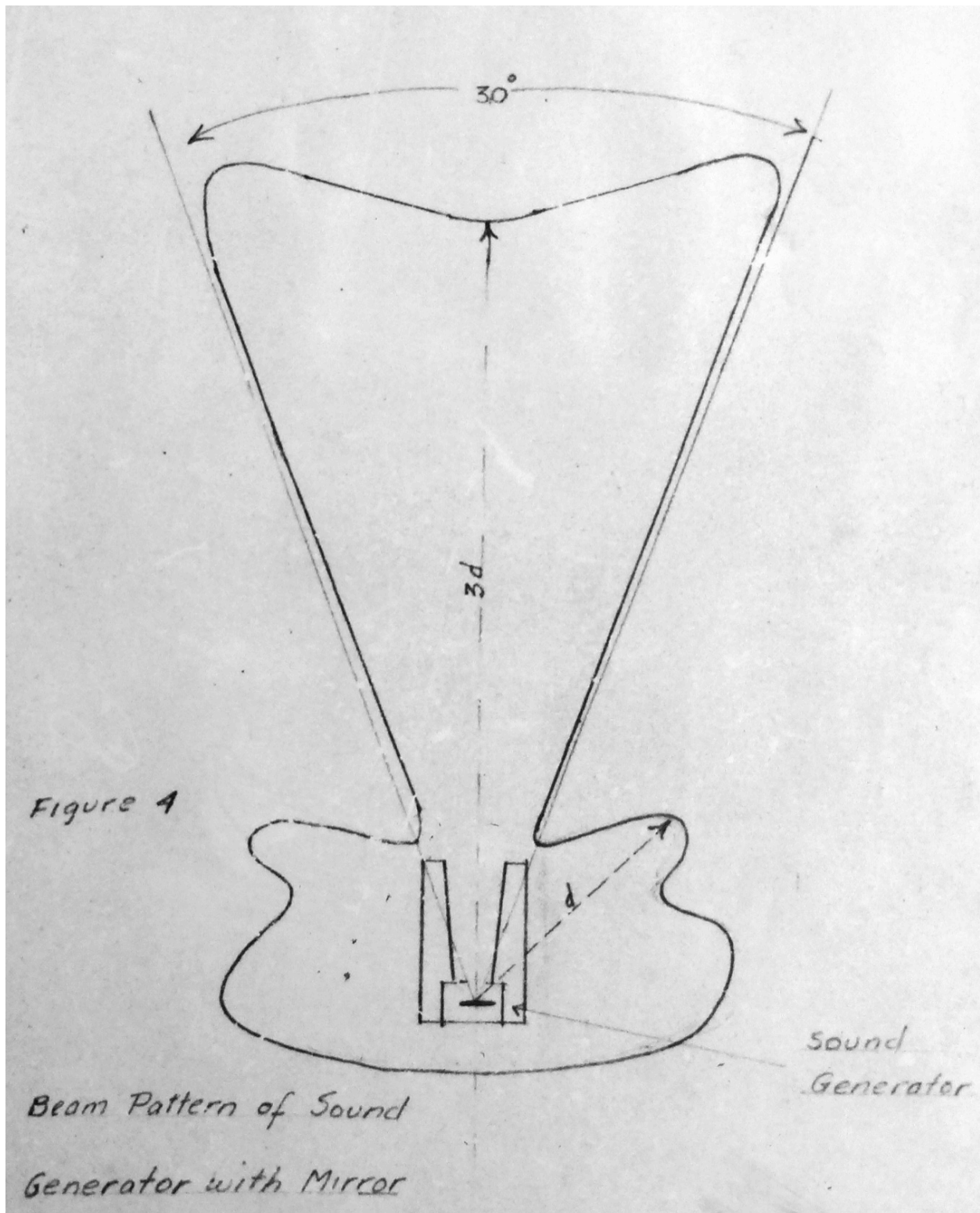


Figure C.117: Prototype acoustic weapon [CIOS XXXII-77].



**Sound Waves Kill in Tests by Army. *New York Times*. 30 November 1947 p. 14.**

Sound Waves Kill in Tests by Army

Inaudible to Humans, They Fell Mice and Other Pests and Burn Experimenters

WASHINGTON, Nov. 29.—The discovery of sound waves which produce such intense heat that they are lethal to mice and small insects was announced today by the Army.

In tests for the Signal Corps at Penn State College white mice died one minute after exposure to the ultra-sonic waves, which are of such high pitch that they are inaudible to human ears.

Other experiments were performed on the common roach, firebrats, yellow-fever mosquitoes, blow flies, meal worms and caterpillars, and in each case death resulted from the waves' radiation.

Extensive possibilities for pest control were suggested by the experiments, but there was no indication that the discoveries might lead to the use of sound waves as a war weapon.

Nevertheless, it was pointed out that scientists at work on the supersonic project found it difficult to put objects into the sound field or retrieve them without burning their fingers and hands.

They did not expose themselves to the direct beam and wore ear plugs, but even then it was difficult for them to avoid exposure to the radiated sound. Effects ran from loss of a sense of equilibrium to dizziness.

“Supersonics, the science dealing with waves similar to ordinary sound waves but above the audible range, is not expected to serve any immediate domestic uses but offers promise in finding and developing more interesting uses which may be applied to industry,” the Army said.

In previous experiments the high-frequency waves have been found useful in detecting defects in metal castings and other materials. They have also be used in emulsifying or colloidizing liquids by dispersion, as is done in producing homogenized milk.

“Experts in the study of supersonics feel that the principle has many unknown qualities that no doubt will be brought out through continued research,” the Army explained.

Headquarters for the work are at the Evans Signal Laboratory, Belmar, N. J., and at Penn State College.

[This “new discovery” by the U.S. Army appears to have been directly borrowed from the earlier German and Austrian work, such as that reported in BIOS 1504 and BIOS 1679, down to the specific descriptions of the experiments and their effects and applications. In English at that time, “supersonic” (generally used to describe objects moving faster than the speed of sound) was sometimes used to mean “ultrasonic” (sound frequencies higher than the human ear can detect); this article used both terms. Evans Signal Laboratory was part of the larger Army electronics research complex at Fort Monmouth, New Jersey [Fort Monmouth Historical Office 2008]. It participated in many wartime and postwar missions analyzing German science and technology, and it acquired numerous German scientists and their technologies after the war.]

[Richard Wallauschek's acoustic weapon reported in CIOS XXXII-77 and other wartime acoustic technologies were the forerunners of modern acoustic weapons such as LRAD (Long Range Acoustic Device), shown in Fig. C.118. Even LRAD's specifications are reminiscent of Wallauschek's wartime acoustic weapon. LRAD has a maximum continuous output of 153 dB at 1 meter, with a frequency of 1 kHz and a beam width  $\pm 15^\circ$ .

Thus the wartime German work appears directly linked to modern applications of acoustics and ultrasound for imaging, pest control, industry, weapons, etc.]



Figure C.118: Modern LRAD (Long Range Acoustic Device) acoustic weapon used by the U.S. Navy and other ships to deter pirates.

## C.5 Magnetic Levitation and Electromagnetic Railguns

[Another category of directed energy technologies covers devices that produce large amounts of electromagnetic energy, but then transfer that to a physical object in the form of kinetic energy. Both magnetic levitation systems and railguns employ strong electromagnetic fields and rails to propel and guide an object. In magnetic levitation, such methods are used to support and propel very large objects (such as trains) at relatively low speeds. In electromagnetic railguns, similar methods are used to support and propel very small objects (projectiles) at extremely high speeds. The following documents demonstrate that German-speaking scientists pioneered both of these applications.]

**Alfred Zehden. U.S. Patent 782,312. Electric Traction Apparatus. Filed 21 June 1902.**

[...] Having thus described my invention, what I claim as new therein, and desire to secure by Letters Patent of the United States of America, is—

1. The combination of a rail-like armature, a traveling field-magnet, and means for neutralizing the magnetic attraction of the latter, substantially as set forth.
2. The combination of a plurality of rail-like armatures, and a plurality of traveling field-magnets arranged to act thereon in opposite directions, substantially as set forth.
3. The combination of a rail-like armature located between the rails, and a traveling field-magnet, said armature being located between the poles of said magnet, so that by the cooperation of these parts the carriage is not only moved forward, but also its weight, namely wheel-pressure, diminished, substantially as set forth.
4. The combination of a rail-like armature provided with openings, and a traveling field-magnet arranged in juxtaposition to said armature, substantially as set forth.
5. The combination of a rail-like armature provided with openings of different breadths, a traveling field-magnet, and means for neutralizing the magnetic attraction of said magnet, substantially as set forth.
6. The combination of a rail-like armature, a traveling field-magnet movable transversely to said armature, means for neutralizing the magnetic attraction of said magnet, and means for guiding said magnet out of contact with said armature, substantially as set forth.
7. The combination of a rail-like armature, reinforced at its outer sides at curves, a traveling field-magnet, and means for neutralizing the magnetic attraction of said magnet, substantially as set forth.

[Alfred Zehden (German, 1876–19??) appears to have been the first scientist or engineer to seriously design magnetically levitated trains. The patent cited above is reproduced in full on the following pages. Zehden filed very similar patents on magnetically levitated trains in several countries at the same time. It is not clear how far he actually got with corresponding experiments for this technology.]

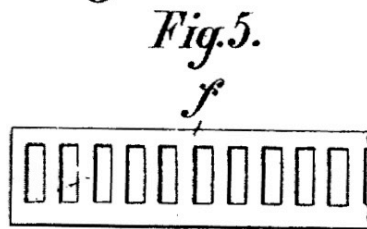
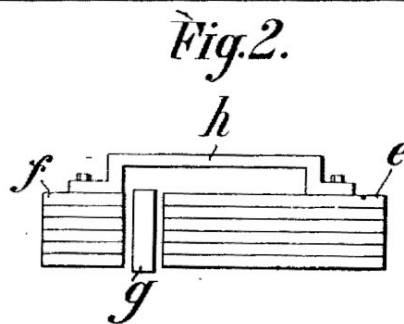
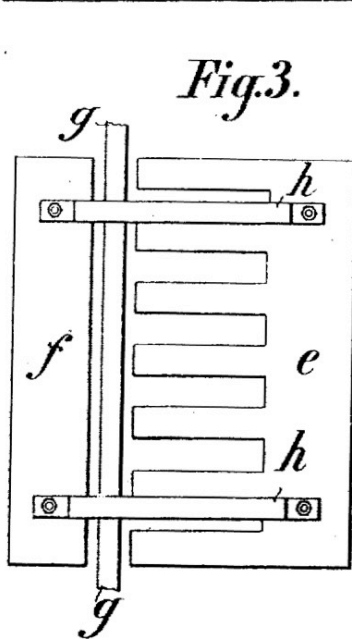
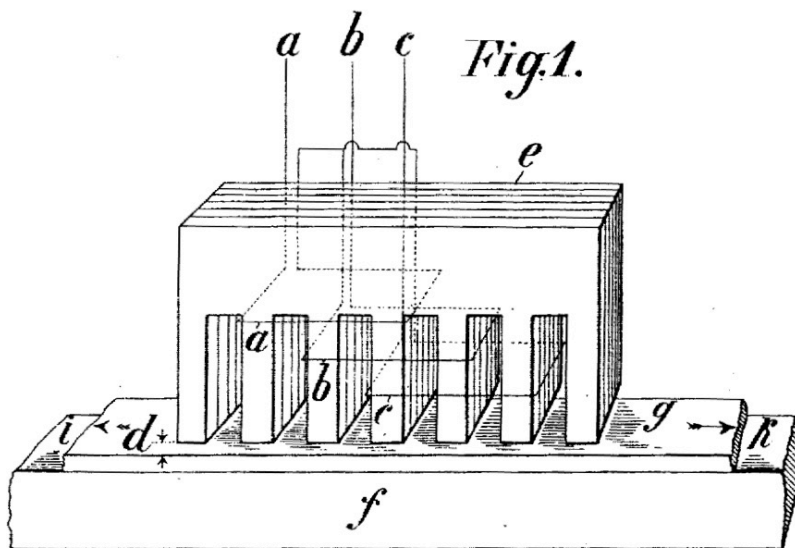


No. 782,312.

PATENTED FEB. 14, 1905.

A. ZEHDEN.  
ELECTRIC TRACTION APPARATUS.  
APPLICATION FILED JUNE 21, 1902.

4 SHEETS—SHEET 1.



WITNESSES:  
*Henry Schubert*  
*Leonard Zimmer*

INVENTOR  
*Alfred Zehden*  
BY *Henry Miles*  
ATTORNEYS.

Figure C.119: U.S. patent 782,312 on magnetically levitated trains, filed by Alfred Zehden in 1902.

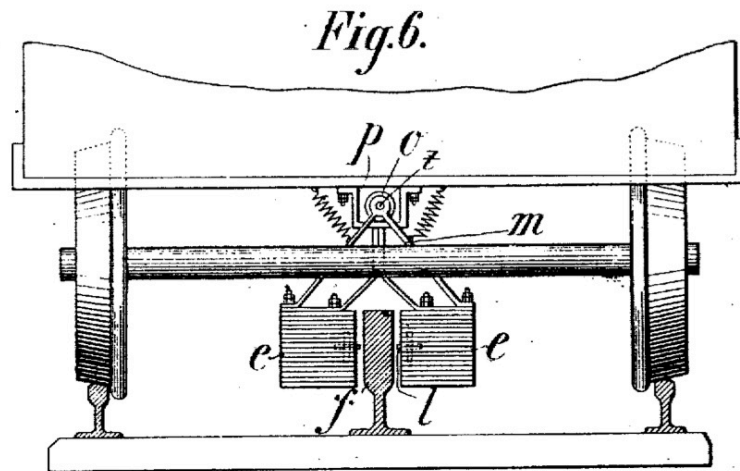
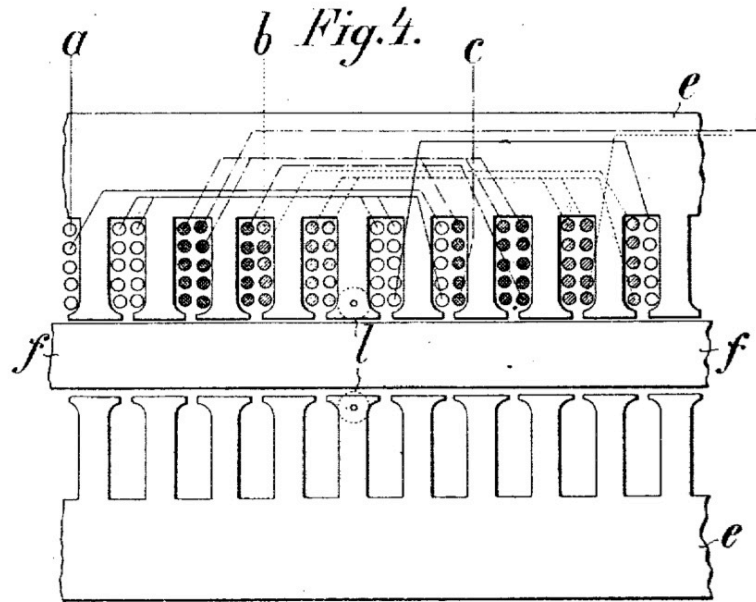
No. 782,312

PATENTED FEB. 14, 1905.

A. ZEHDEN.  
ELECTRIC TRACTION APPARATUS.

APPLICATION FILED JUNE 21, 1902.

4 SHEETS—SHEET 2



WITNESSES:  
*Henry Schubert*  
*Conrad Zimmer*

INVENTOR  
*Alfred Zehden*  
BY *J. J. Sikes*  
ATTORNEYS.

Figure C.120: U.S. patent 782,312 on magnetically levitated trains, filed by Alfred Zehden in 1902.

No. 782,312.

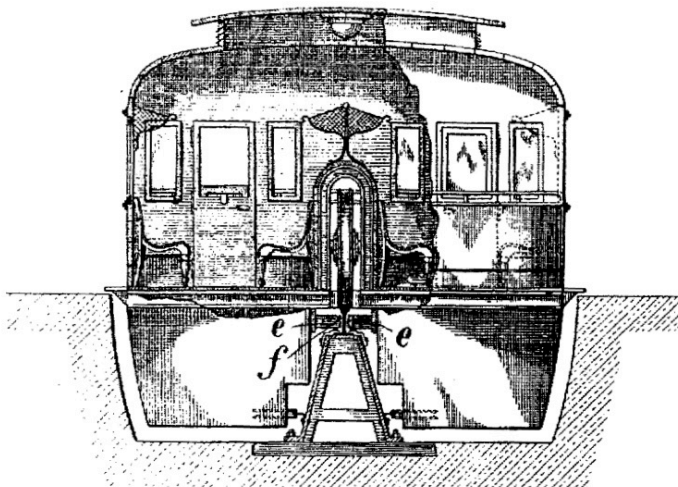
PATENTED FEB. 14, 1905.

A. ZEHDEN.  
ELECTRIC TRACTION APPARATUS.

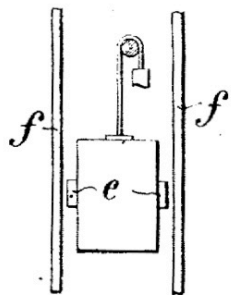
APPLICATION FILED JUNE 21, 1902.

4 SHEETS—SHEET 3.

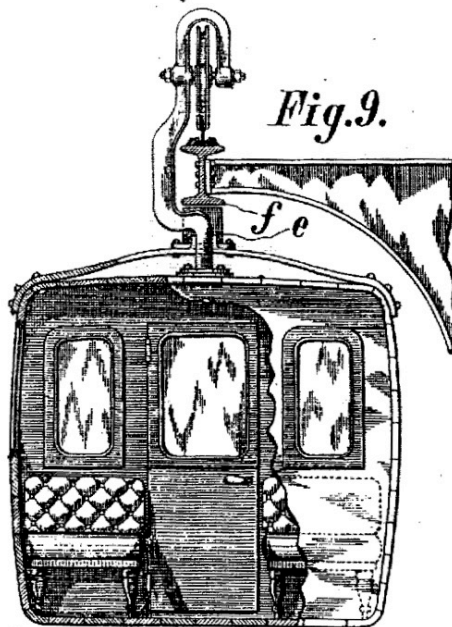
*Fig.7.*



*Fig.8.*



*Fig.9.*



WITNESSES:  
*Conrad Zimmer*  
*Henry Schuber*

INVENTOR  
*Alfred Zehden*  
BY *Loacker & Co.*  
ATTORNEYS.

Figure C.121: U.S. patent 782,312 on magnetically levitated trains, filed by Alfred Zehden in 1902.

No. 782,312.

PATENTED FEB. 14, 1905.

A. ZEHDEN.

ELECTRIC TRACTION APPARATUS.

APPLICATION FILED JUNE 21, 1902.

4 SHEETS—SHEET 4.

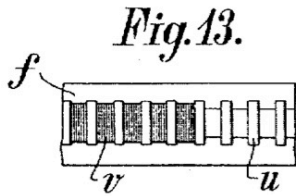
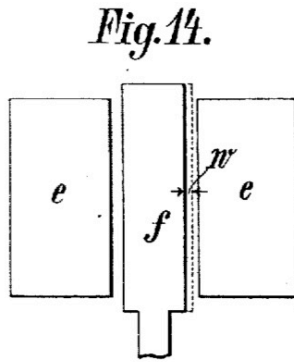
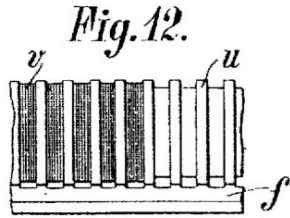
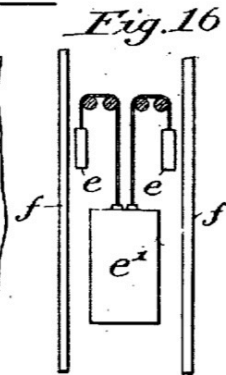
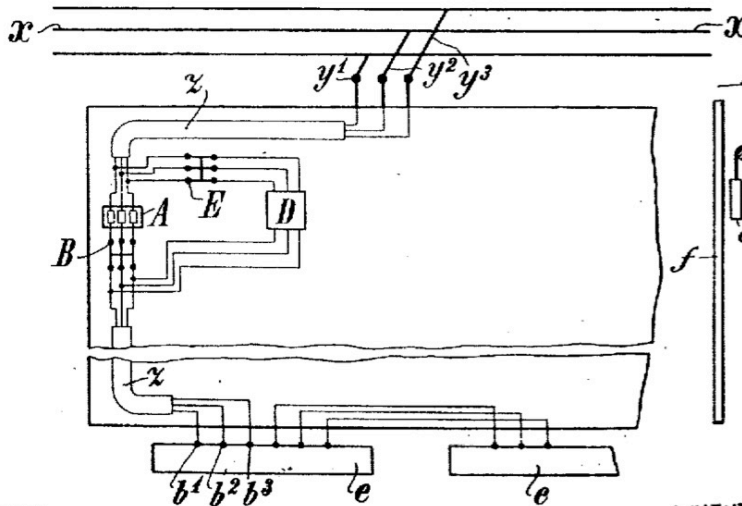


Fig. 15.



WITNESSES:

*Frank C. Boyce.*  
*Henry J. Substier.*

INVENTOR

*Alfred Zehden*  
 BY *Joseph H. Niles.*  
 ATTORNEYS.

Figure C.122: U.S. patent 782,312 on magnetically levitated trains, filed by Alfred Zehden in 1902.



No. 782,312.

Patented February 14, 1905.

## UNITED STATES PATENT OFFICE.

ALFRED ZEHDEN, OF CHARLOTTENBURG, GERMANY.

## ELECTRIC TRACTION APPARATUS.

SPECIFICATION forming part of Letters Patent No. 782,312, dated February 14, 1905.

Application filed June 21, 1902. Serial No. 112,716.

*To all whom it may concern:*

Be it known that I, ALFRED ZEHDEN, engineer, a subject of the Emperor of Germany, and a resident of Charlottenburg, in the Province of Brandenburg, Germany, have invented certain new and useful Improvements in Electric Traction Apparatus; and I do hereby declare the following to be a full, clear, and exact description of the invention, such as will enable others skilled in the art to which it appertains to make and use the same, reference being had to the accompanying drawings; and to letters of reference marked thereon, which form a part of this specification.

My invention relates to the fact that instead of a rotary field, such as is common in polyphase apparatus for translating electrical into mechanical energy, and vice versa, a traveling field, *i. e.*, a field moving on a line other than a circular line would result if, as one might imagine, a rotary field-motor were opened out and were made infinitely large, and in accordance therewith any prejudicial one-sided attraction that otherwise might occur between the inducing and the induced parts is obviated, or the attraction is turned to account by an appropriate arrangement of the said parts which avoids their too close juxtaposition, so that actual mechanical contact is avoided and starting is rendered easy without too large a current, even should a so-called "short-circuit" armature be used.

Figure 1 of the accompanying drawings is a diagram illustrating a simple apparatus in which is exemplified the fundamental idea underlying the invention. Fig. 2 illustrates a modification; Fig. 3, a view taken at right angles to Fig. 2. Fig. 4 shows a further modification. Fig. 5 is an elevation of the induced part shown in Fig. 4. Fig. 6 is a sectional view showing the inducing and induced parts shown in Fig. 4. Figs. 7, 8, and 9 show third, fourth, and fifth modifications. Fig. 10 is a side elevation of a traveling field-magnet, together with its rail-like armature. Fig. 11 is a front or end view of such magnet and armature. Figs. 12 and 13 show a partially-wound rail, respectively from the side and top. Fig. 14 shows the rail, the magnet, the magnet-balancing device, and the rail between

them; and Fig. 15 is a diagram of the electrical connections. Fig. 16 illustrates the application of the invention to an elevator.

The example illustrates the conversion of three-phase rotary field-motors into polyphase motors having traveling fields and, with the exception of that shown in Fig. 8, in relation to their use in electric-railway propulsion; but it must be understood that the invention would embrace the use of single-phase and polyphase motors that can be similarly converted into motors having traveling fields, whether employed for railway traction or for other motive purposes—for example, for actuating cranes, differential pulleys; lifts, and the reciprocating parts of machine-tools. In such a polyphase motor having the magnetically-reacting parts of infinite length a section of the same might comprise a laminated body of iron with triphase windings thereon and an armature of any desired length located thereunder. Such a device is illustrated in Fig. 1, in which the laminated magnet-body *e*, with the triphase winding *a b c*, is located at a certain distance (indicated by lines and arrows at *d*) above the armature, which to form an equivalent to the copper windings and iron core of a short-circuit armature may comprise a brass strip *g* and an iron strip *f*. The triphase windings when excited produce three magnetic effects that combine to produce on resultant field whose maximum and zero values in the magnetic mass alternate at a rate corresponding to the periodicity of the current supplied, so that a traveling field is produced whose rate of progress is the product of the pole length and the periodicity of the current. By reason of the traveling of the field, currents are induced in the armature, and there is thus produced a mutual reaction resulting in a force tending to move the armature in the direction shown by arrow *i* or by reversing two phases of current in the direction of the arrow *k*. If, as this invention provides, such a magnet *e* (having its winding connected in parallel, in series, or in groups) be suspended under any vehicle—as, for instance, a railway-carriage—and for use over a continuous fixed armature, then such a vehicle possesses in contradistinction to other power-operated vehicles the advantage that a

certain part of the weight sometimes added to produce adhesion or stability may be dispensed with, as there exists between the magnet and the armature a strong force of attraction which is equal to a stopping or overloading of the vehicle. When it is desired to prevent this one-sided attraction between the magnet and the armature, a construction according to this invention is adopted in which an armature-strip is preferably placed edge upward, and this arrangement obviates the costly provision of both a non-magnetic and a magnetic armature-rail, there being used either a single rail of non-magnetic material, such as brass, or of magnetic material—for example, steel or iron.

When a non-magnetic armature-rail is used, there is adapted to move along one side thereof a magnet and along the other side a mass of laminated iron which is rigidly connected to the magnet and provides magnetic conduction for the lines of force from the magnet. The non-magnetic rail *g*, Figs. 2 and 3, is thus located in the middle and between the laminated poles *e* of the magnet and the laminated iron mass *f*, both of which, by means of insulating-stays *h*, may be fixed beneath the body of a vehicle or on the frame thereof, being also maintained thereby at the desired distance apart.

When a magnetic armature-rail is used, a magnet is disposed at each side of the rail, Figs. 4 and 6, the rail *f*, of solid iron, being located between two laminated magnets *e*. The shape of the magnets and the way in which they are wound may therefore be of varied descriptions, as in polyphase-current dynamo-machines. It will, for instance, be seen that while in the example illustrated in Fig. 1 each phase-winding fills up two grooves the winding according to Fig. 4 is distributed over three grooves. The construction of the rail forming the short-circuit armature can also be very varied. An advantageous form is made with regular punched holes, Fig. 5, and corresponds to the grid-type of armature. A great saving in weight and a satisfactory utilization of the induced currents is hereby obtained, because these currents cannot then proceed in an improper short circuit. The reduction of cross-section must be made only to such an extent that the rail between stopping-places has not less than the conduction corresponding to the calculated minimum. At the starting-places, on the contrary, the holes will be made broader, so that the resistance of the longitudinal unit is greater there than between stopping-places, and hence starting can be effected with less consumption of current. For strengthening the induced currents the armature-rail may, for instance, on sharp upward gradients be provided with a short-circuit winding.

Figs. 12 and 13 show a partially-wound rail, respectively from the side and top. In case

the windings protruded beyond the plane of the armature the distance between the pole and the rail would of necessity be made correspondingly greater, and in such case the motor would operate at a proportionate disadvantage for the whole of the exposed (not wound) portion of the stretch. For this reason the windings *v* as shown in these figures are located in vertically-arranged grooves in the armature *f*, so that when uncovered this appears provided with ribs *u*. The cross-section of the winding-wire and also the method of winding, whether the individual coils are short-circuited or switched in partly in series, is regulated in any special case by the necessary electrical resistance.

Both in the modification according to Fig. 2 and in that according to Fig. 4 some device may be necessary to prevent mechanical contact between the armature-rail and the magnet during lateral oscillations of a vehicle upon which the magnet may be mounted. For this purpose the magnet may, according to this invention, be suspended in such a way that movement of the magnet at right angles to the direction of the rails can take place. This may be effected, for instance, by rods *m*, carrying the magnet and supported by an axis *n*, contained in a guide-frame *p*, so as to have some play for lateral movement, Fig. 6, there being in one or more of the pole-pieces of each magnet a small guide-wheel *l*, which projects slightly, but ordinarily does not come into contact with the rail, although upon considerable lateral oscillations of the vehicle it may do so and prevent the magnet-poles from striking against the rail. In Fig. 10 is shown a traveling field-magnet guided in this manner, as seen from the side, and in Fig. 11 as seen from the front. The magnet-pole *e*, which is laterally shiftable owing to the hanger *m*, by which it is carried, supports, by means of a forked hanger *q*, a roller *s*, rotating upon its axis *r* a short distance removed from the armature *f*. Upon sidewise swinging of the car these rollers prevent contact of the rail with the poles in the same manner as the small wheels *l* in Fig. 4. For convenience at the right-hand side of Fig. 11 the roller *s*, with its carrier *q*, is removed, and the pole is therefore there seen in full. Instead of the small wheel a roller or a bell-shaped guide fixed to an external face of the magnet can be used. Instead of arranging the magnet in this or in a similar manner, so as to be movable, it can be simply suspended like a pendulum in order to obtain a similar effect. This idea is likewise illustrated in Fig. 6, already described, only *o* is now constructed as a bearing in which the shaft *t* rests. From this the hanger *m* is carried and is movable thereon and again carries the poles *e*. The poles hang pendent under the carriage and are themselves, by means of the separating or guide rollers *l*, retained, even under a strong side-

782,312

3

wise swinging of the car, at a definite distance from the rail  $f$ .

This invention is particularly applicable to the propulsion of railway-vehicles on the monorail system, because the track can be constructed in such a way that the carrying-rail also forms the armature for the traveling field-motor. The cost of an extra armature-rail is thus saved. In such a railway plant there are usually provided guides to prevent too great lateral motion of the vehicle, so that the means hereinbefore described for maintaining a sufficient distance between the magnet-poles and the railway in some cases may be dispensed with. There exists, as stated in detail in the beginning of the specification, between pole and rail a strong attractive magnetic power, which operates injuriously and which is overcome through the arrangement of two poles at the same distance at both sides of the rail. As the right-hand pole  $c$  has the effect to draw the car to the left and the left in return to the right, both attractive forces are neutralized. In case, on the other hand, the rail  $f$  is at the point  $e$  nearer than the left the magnetic forces are not both neutralized, but an attractive force to the left results. Assuming that  $f$ , Fig. 11, shows a section of a rail in a curve toward the left, the car and the pole as a result of the so-called "centrifugal force" will move tangentially—that is to say, in relation to the rail—toward the right, which will be resisted by the magnetic attraction to the left. The faster the car travels so much the more current does it consume, so that as the centrifugal force is as the square of the speed and the magnetic attraction as the square of the current it is possible to uniformly balance the centrifugal force at all speeds, either in a definite part or completely, by means of the magnetic power. Fig. 14 shows two methods by which this may be accomplished, either that the rail on the curve is not laid exactly between both poles, but is laid a short distance nearer the outer pole, or that the outer side of the rail is thickened by a piece  $e$ . The carrying-rail  $f$ , Fig. 7, along both sides of which the magnets  $c$  move, can be reinforced upon the outer side of the curve, so as to obtain a magnetic attraction that will tend to counteract centrifugal force, and that to a greater extent the more energy is being spent upon the propulsion of the train.

Instead of locating magnet-poles on both sides of an armature-rail the one-sided magnetic stress can also be obviated by using a magnet or magnets having poles facing in opposite directions toward two armature-rails, as shown diagrammatically in Fig. 8, in the case of a lift, so that each of the two magnets  $c$  will act inductively upon one of the rails  $f$ . The magnets need not be attached to the lift-cage directly, but might be attached to the cables thereof, and could in this case conven-

iently be made of such a size that they would serve as counterweights to the cage, or since movement of the lift depends upon relative movement between the magnets and the armature of the motor the armature-rail could be fixed to the lift-cage or serve as a counterweight or counterweights therefor and the magnets or magnet be stationary.

In several of the arrangements hereinbefore described the invention provides for prevention of one-sided magnetic attraction by using two opposed magnetic forces; but in some instances, as when using magnetic attraction to increase adhesion or stability, the effect is rendered useful rather than prejudicial. Another manner of utilizing such unbalanced magnetism is the reverse of that just referred to and provides that the magnetic effect counteracts instead of assists gravity, and hence reduces the effective weight of the load to be carried. This device can be used, for instance, on railways of the so-called "suspension" type by utilizing the I-girder  $f$ , Fig. 9, carried by the main supports of the railway, as the armature. In this case the under surface and not the side of the rails serves as the induction-face and for this reason is made of appropriately large dimensions. The magnets  $c$  are fixed to the vehicle-top directly under the girder, and as soon as a polyphase alternating current is caused to pass through its windings it produces induced magnetism in the girder, and accordingly reduces the effective weight of the vehicle by reason of the supporting magnetic attraction. A guide for preventing contact between the magnet-poles and the armature may be dispensed with in this arrangement.

The most important peculiarities of the electrical combinations of one of the poles with the conductor is shown in Fig. 15. It is a three-phase-current arrangement. From the high-tension conductor X the current is conducted to the car by means of the conducting-wires  $g' g'' g'''$ . It is in principle the same whether the feed-wires are subterranean or above the car or at the side of the same. Within the car the conduction may be carried out by a cable Z. In the circuit according to Fig. 15 are arranged a three-pole high-tension safety-fuse A and a three-pole high-tension cut-out switch B. The poles are secured to the cable Z by means of clamps  $b' b'' b'''$ , so that the poles have no movable parts. Their winding in Fig. 15 is according to the scheme of Fig. 4, as this serves for series winding. It is usually not necessary to switch a starter into the circuit, as the alteration of resistance necessary in the second circuit for starting is obtained by the increased openings of the armature-rail at the stations, as mentioned earlier in the text. The starting is accomplished in the simplest manner by closing of the main switch. For the few cases in which the individual trains of a rapid-transit

4

782,312

road must stop between stations, and must necessarily start again, where the armature resistance is too small an induction starter D is carried, which is commonly, by means of the switch E, switched out. When the car must be started in an open stretch, switch B is opened and E, on the contrary, closed, until the train, through gradual increase of the pole-potential (tension) with aid of the starter D, has almost attained its normal speed. B is then again closed, and E, which thereby becomes almost without current, is again switched out. Of course the induction starter D may be used at the same time in the well-known manner as a transformer and the pole correspondingly serve for low tension.

Having thus described my invention, what I claim as new therein, and desire to secure by Letters Patent of the United States of America, is—

1. The combination of a rail-like armature, a traveling field-magnet, and means for neutralizing the magnetic attraction of the latter, substantially as set forth.

2. The combination of a plurality of rail-like armatures, and a plurality of traveling field-magnets arranged to act thereon in opposite directions, substantially as set forth.

3. The combination of a rail-like armature located between the rails, and a traveling field-magnet, said armature being located between the poles of said magnet, so that by

the cooperation of these parts the carriage is not only moved forward, but also its weight, namely wheel-pressure, diminished, substantially as set forth.

4. The combination of a rail-like armature provided with openings, and a traveling field-magnet arranged in juxtaposition to said armature, substantially as set forth.

5. The combination of a rail-like armature provided with openings of different breadths, a traveling field-magnet, and means for neutralizing the magnetic attraction of said magnet, substantially as set forth.

6. The combination of a rail-like armature, a traveling field-magnet movable transversely to said armature, means for neutralizing the magnetic attraction of said magnet, and means for guiding said magnet out of contact with said armature, substantially as set forth.

7. The combination of a rail-like armature, reinforced at its outer sides at curves, a traveling field-magnet, and means for neutralizing the magnetic attraction of said magnet, substantially as set forth.

In testimony that I claim the foregoing as my invention I have signed my name in presence of two subscribing witnesses.

ALFRED ZEHDEN.

Witnesses:

HENRY HASPER,  
WOLDEMAR HAUPT.



**Hermann Kemper. Patent DE643316. Schwebebahn mit raederlosen Fahrzeugen, die an eisernen Fahrschienen mittels magnetischer Felder schwebend entlang gefuehrt werden. [Suspension Railway with Vehicles without Wheels, which Are Guided along Iron Rails by Means of Magnetic Fields.] Filed 11 August 1934.**

[...] PATENTANSPRUCH:

Schwebebahn mit räderlosen Fahrzeugen, die an eisernen Fahrschienen mittels magnetischer, in zwischen den Schienen und an den Fahrzeugen verteilt befestigten Elektromagneten erzeugter Felder schwebend entlang geführt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung der magnetischen Felder durch Abstandssteuerorgane geschieht, die an den Schwebewagen (3) gegenüber den Führungsschienen (2) räumlich nahe den von ihnen zu steuernden Elektromagneten befestigt sind. Die Abstandssteuerorgane (Abb. 4, 5) sind mechanisch unveränderliche, jedoch in ihrem elektrischen Widerstand durch den Abstand von den Schienen beeinflusste elektrische oder magnetische Anordnungen (z. B. Kondensatoren 8, 9 oder Drosselspulen 10, 11) und werden in elektrische Stromkreise eingeschaltet, wobei sie an ihren Polen Spannungen erzeugen, die sich mit dem Abstand von den Führungsschienen unverzüglich ändern. Diese Spannungen werden, soweit erforderlich, in ebenfalls trägheitsarmen Schaltungen verstärkt und, gegebenenfalls gleichgerichtet, elektrischen Röhren zu deren Steuerung zugeführt (Abb. 6). Der Sinn und die Größe dieser Steuerspannungen ist so zu wählen, daß durch die von den Röhren den Elektromagneten zugeleiteten Ströme magnetische Zugkräfte erzeugt werden, die der Schwerkraft das Gleichgewicht halten, wenn der Abstand der Fahrzeuge von den Schienen das vorgeschriebene Maß hat, die dagegen die Schwerkraft übersteigen, wenn der Abstand zu groß wird, sie endlich unterschreiten, wenn der Abstand unter das Sollmaß herabsinkt.

[...] PATENT CLAIM:

Suspension railway with wheelless vehicles which are guided along iron rails in a floating manner by means of magnetic fields generated in electromagnets fixed in a distributed manner between the rails and on the vehicles, characterized in that the magnetic fields are controlled by distance control elements which are fixed to the suspension wagons (3) relative to the guide rails (2) spatially close to the electromagnets to be controlled by them. The distance control devices (Figs. 4, 5) are electrical or magnetic arrangements (e.g. capacitors 8, 9 or generators 10, 11) which are mechanically fixed but whose electrical resistance is influenced by the distance from the rails, and are connected to electrical circuits, generating voltages at their poles which change immediately with the distance from the guide rails. If necessary, these voltages are amplified in circuits with low inertia and, if necessary in the same direction, supplied to electrical tubes for their control (Fig. 6). The sense and magnitude of these control voltages shall be such that the currents supplied by the tubes to the electromagnets generate magnetic tractive forces which maintain the equilibrium of gravity when the distance of the vehicles from the rails is greater than the prescribed value but which exceed gravity when the distance becomes too great and finally fall below it when the distance falls below the required value.

[Hermann Kemper (German, 1892–1977) built on Alfred Zehden’s earlier work on magnetic levitation for trains. His complete patent is reproduced on the following pages. It is not clear how far Kemper got with corresponding experiments for this technology.]

DEUTSCHES REICH

Bibliothek  
 Bur. Ind. Eigendom  
 15 MEI 1937



AUSGEGEBEN AM  
 5. APRIL 1937

REICHSPATENTAMT

## PATENTSCHRIFT

№ 643316

KLASSE 20k GRUPPE 3

K 130005 II 20k

Tag der Bekanntmachung über die Erteilung des Patents: 18. März 1937

Dipl.-Ing. Hermann Kemper in Nortrup

Schwebebahn mit räderlosen Fahrzeugen, die an eisernen Fahrschienen  
 mittels magnetischer Felder schwebend entlang geführt werden

Patentiert im Deutschen Reiche vom 11. August 1934 ab

Die Erfindung löst die Aufgabe, Körper mit Hilfe elektromagnetischer Kräfte entgegen der Erdschwerkraft in der Schwebelage zu halten. Sie bringt weiter unter Anwendung der gefundenen Lösung die Grundlagen für ein neuartiges Verkehrsmittel, die Schwebebahn. Die Schwebebahn ist eine Schienenbahn für Menschen- und Güterbeförderung, bei der die räderlosen Fahrzeuge eisernen Schienen entlang schwebend geführt werden.

Es ist schon früher versucht worden, die Aufgaben zu lösen, die eine Schwebebahn stellt. Einmal sollten bei den bisher bekannten Anordnungen dazu die abstoßenden Kräfte dienen, die zwischen einem Elektromagnet und elektrischen Leitern auftreten, wenn das Feld des Magnets Änderungen unterworfen wird und dann Ströme in den Leitern erregt. Zum anderenmal sollten, genau wie bei der Erfindung, die magnetischen Zugkräfte zwischen Elektromagneten und eisernen Schienen benutzt werden. Die zum Schweben erforderliche Stromregelung sollte bei der letztgenannten bekannten Anordnung erreicht werden durch Vorrichtungen, die, beeinflusst vom Abstand zwischen Fahrzeug und Schiene, mechanisch die Stärke des Elektromagneten durchfließenden Stromes verändern. Es ist nicht bekanntgeworden, daß eine Verwirklichung der älteren Erfindungsgedanken auch nur in Versuchen gelungen ist, geschweige denn daß eine Beförderungseinrichtung auf Grund derselben je ausgeführt worden wäre.

Es erscheint dies auch kaum möglich. Der Lösungsversuch, durch Erzeugung magnetisch abstoßender Kräfte größere Fahrzeuge im Schweben zu erhalten, muß an dem dafür erforderlichen Aufwand scheitern; dieser ist der Natur der Dinge entsprechend um ein Mehrfaches größer als bei Verwendung magnetisch anziehender Kräfte. Verwendet man hingegen letztere, so erscheint der Gedanke undurchführbar, eine geeignete Stromregelung durch mechanische Vorrichtungen zu erreichen, weil sich hierfür kaum praktisch brauchbare Formen entwickeln lassen dürften, die gleichzeitig eine ausreichende Regelgeschwindigkeit aufweisen. Die Beherrschung der Geschwindigkeit für die Stromregelung ist einwandfrei nur möglich unter Verwendung der erst nach der Zeit der älteren Erfindungen zur Ausbildung gelangten Mittel der Elektronentechnik.

Körper mit elektromagnetischen Kräften schwebend aufzuhängen, ist trotz des bisherigen Standes der Technik eine in den Kreisen der Technik und der Öffentlichkeit ganz unbeachtete Aufgabe geblieben. Sie wird hier neu aufgegriffen. Im vorliegenden Patent und den späteren Zusatzfindungen werden die Mittel und Wege zu ihrer befriedigenden Lösung und fruchtbringenden Verwertung aufgezeigt.

Die Erfindung geht, um zu einer Stromsteuerung zu kommen, die das Schweben einwandfrei ermöglicht, von Regelorganen, Abstandssteuerorganen, eigener Art aus. Die Ab-

Figure C.127: German patent DE643316 on magnetically levitated trains, filed by Hermann Kemper in 1934.

standssteuerorgane sind mit den Schwebewagen fest verbundene Einrichtungen: sie werden nahe den Elektromagneten, deren Steuerung sie dienen sollen, gegenüber den Führungsschienen angebracht. Mechanisch sind sie unveränderlich, jedoch ändern sich ihre elektrischen Eigenschaften mit der Größe ihres Abstandes von den Führungsschienen. Werden solche Organe in Stromkreise eingeschaltet, so ändert sich deren elektrischer Zustand mit der Änderung ihrer elektrischen Eigenschaften. Dies läßt sich nun mit Hilfe der heutigen Mittel der Elektronentechnik zu einer genügend trägheitsfreien Steuerung für die Ströme der Schwebewagenmagnete ausbilden.

Die Grundform der Schwebefbahn wird näher erläutert durch die Abb. 1 bis 3, die eine eiserne Führungsschiene 2 und ein Fahrzeug 3 in Querschnitt (Abb. 1), Seitenansicht (Abb. 2) und Draufsicht (Abb. 3) andeuten, wobei in der Darstellung bei der letzten Abbildung die Führungsschiene fortgelassen ist.

In diesen Abbildungen sind Kraftlinien 1 der Magnetfelder angegeben, die die Zugkräfte erzeugen, welche das Fahrzeug 3 der Schwebefbahn, den Schwebewagen, entgegen der Schwerkraft in der Schwebefbahn erhalten in einem passenden, innerhalb gewisser zulässiger Grenzen schwankenden Abstand von der oberhalb des Wagens gelegenen Führungsschiene 2. Die Magnetfelder werden von mehreren Elektromagneten 4, 5, 6, 7 erzeugt, die oben an dem Fahrzeug befestigt und über seine ganze Länge gestreckt sind. Die Pole der Magnete und die fortlaufende eiserne Führungsschiene entsprechen einander in ihren Abmessungen. Eine Unterteilung der magnetischen Kräfte durch Anbringung mehrerer einzelner Elektromagnete und deren Verteilung auf verschiedenen Stellen des Schwebewagens, wie sie in geeigneter Ausführungsmöglichkeit in Abb. 3, 4, 5, 6, 7 angegeben ist, ist erforderlich, um jeweils die richtige Lage des Schwebewagens zu den Führungsschienen und ein einwandfreies Schweben zu gewährleisten. Die Stromstärken sind für die einzelnen Elektromagnete gesondert zu regeln, wofür später geeignete Wege aufgezeigt werden.

Infolge der schwebenden Aufhängung benötigen die Schwebewagen zur Fortbewegung keine Räder. Es entfällt jede körperliche Berührung zwischen dem Schwebewagen und den Führungsschienen. Der Fahrwiderstand der rollenden Reibung, der bei der Eisenbahn hinsichtlich Fahrschienenabnutzung und Energieverbrauch eine erhebliche Rolle spielt, fällt hier fort. Statt dessen erfordert bei der Schwebefbahn der Schwebewagen elektrische Energie; der Verbrauch hierfür ist aber ins-

besondere für hohe Fahrgeschwindigkeiten bedeutend geringer als unter gleichen Bedingungen der Energieverbrauch der Eisenbahn für die Überwindung der rollenden Reibung. Aus dieser Sachlage und den besonderen anderen Grundeigenschaften der Schwebefbahn ergeben sich folgende wesentliche technische Fortschritte:

a) Die Fahrt auf der Schwebefbahn kann vollkommen geräuschlos und stoßfrei gestaltet werden.

b) Die Fahrwiderstände verringern sich für hohe Fahrgeschwindigkeiten.

c) Die Abnutzung der Schienen durch das Betahren fällt fort.

d) Es sind Fahrgeschwindigkeiten erreichbar, die mehrfach so hoch sind als die, welche man bei den Eisenbahnen heute kennt.

Abb. 4 und 5 geben Beispiele für die Abstandssteuerorgane. Abb. 4 deutet ein Abstandssteuerorgan an, dessen Kapazität vom Abstand zwischen Schwebewagen 3 und Führungsschiene 2 abhängt. Es besteht aus zwei isoliert am Schwebewagen befestigten Platten 8, 9 mit Stromzuführungsleitungen. Ersichtlich schließt sich ein dielektrischer Verschiebungsstrom zwischen den Platten bei geeigneter Formgebung in der Hauptsache über das Metall der Schiene 2. Die Platten bilden also einen Kondensator, dessen Kapazität mit geringer werdendem Abstand zwischen Schwebewagen und Schiene wächst, umgekehrt sich mindert. In Abb. 5 ist das Abstandssteuerorgan ein kleinerer, am Schwebewagen 3 befestigter Elektromagnet, bei dem sich die seinen Kern 10 durchsetzenden Kraftlinien in erster Linie über das Eisen der Schiene 2 schließen. Wird solch ein Elektromagnet mit seiner Wicklung 11 in einen Stromkreis geschaltet, so stellt er offenbar darin eine Induktivität dar, deren Größe mit Annäherung des Schwebewagens an die Führungsschiene wächst, mit Entfernung sich jedoch mindert.

Abb. 6 zeigt nun den grundsätzlichen Schaltungsaufbau für die Regelung der Stromstärke in einem der Elektromagnete, beispielsweise 4. Es ist als Abstandssteuerorgan an einen Kondensator nach Abb. 4 gedacht. Dieser Kondensator ist mit einem Widerstand 14 in Reihe an eine konstante Wechselspannung 16 hoher Frequenz gelegt. Der Spannungsabfall am Widerstand 14 steigt nun mit Annäherung des Schwebewagens an die Schiene und fällt mit sich vergrößernder Entfernung. Die Spannung an dem Widerstand 14 wird durch eine mit bekannten Mitteln der Elektronentechnik aufzubauende Verstärker- und Gleichrichteranordnung 13 verstärkt und gleichgerichtet und dann zur Gittersteuerung einer Haupttröhre 12 verwendet, die so bemessen ist,

Figure C.128: German patent DE643316 on magnetically levitated trains, filed by Hermann Kemper in 1934.

daß sie genügende Stromstärken für die Versorgung des Elektromagnets 4 bewältigen kann. Die Polarität der verstärkten und gleichgerichteten Steuer Spannung ist so zu richten, daß ein Anwachsen der Spannung die Stromstärke in der Hauptröhre 12 verkleinert und eine Minderung derselben sie vergrößert. Die Mittel, mit denen die elektrische Trägheit dieser Steuerungsschaltung genügend klein gehalten werden kann und die in der richtigen Wahl der elektrischen Größen bestehen, sind bekannt. Es läßt sich mit einer Abstandssteuereinrichtung nach den Angaben der Abb. 6 erreichen, daß sich die Steuer Spannung der Röhre praktisch stets augenblicklich entsprechend dem Abstand des Schwebewagens von der Führungsschiene einstellt. Die Anordnung, insbesondere die Gittervorspannung der Hauptröhre 12, ist so einzustellen, daß die Stromstärke zum Elektromagnet 4 gerade dann eine der Schwerkraft gleiche Zugkraft herstellt, wenn der Abstand an dem Sitz des Abstandssteuerorgans 15 gerade der gewünschte ist. Ändert sich der Abstand, so läßt sich durch passende Bemessung der Verstärkungsgrößen erreichen, daß der Strom in der Hauptröhre stärker wächst als der Abstand bzw. stärker abnimmt als der Abstand. Damit wird die Zugkraft innerhalb von Abständen, die praktisch zwischen Höchstschränken begrenzt zu denken sind, auf höhere Beträge gebracht als die Schwerkraft, wenn der Abstand das Sollmaß überschreitet, dagegen unter die Schwerkraft verringert, wenn der Abstand unter das Sollmaß sinkt. So wird der Wagen schwebend an die Führungsschienen gebannt, gleichgültig ob er fährt oder stillsteht. Der Strom in der Hauptröhre 12 und dem Magnet 4 muß dabei den Änderungen der Steuer Spannung mit genügender Schnelligkeit folgen. Dies zu erzielen, steht als eine Möglichkeit zur Verfügung die Übersteuerung der Gitterspannung; es ist bekannt, daß die Stromänderungen in der Zeiteinheit um so größer sind, je größer die Änderung der Steuer Spannung ist. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Wirkwiderstände im Hauptstromkreis groß zu halten gegenüber dem induktiven Widerstand des Magnets 4. Dies ist allerdings mit Energieverlusten verbunden. Eine spätere Zusatz erfindung beseitigt diesen Nachteil durch eine bessere Lösung.

Bei höchsten Geschwindigkeiten, für die die Schwebebahn in erster Linie gedacht ist, würde es für die Verringerung der Gesamtfahrwiderstände keinen großen Gewinn bedeuten, wenn nur eine Vermeidung des Widerstandes der rollenden Reibung erreicht würde, da dann der Luftwiderstand der wichtigste wird. Darum ist ein weiteres Mittel dies, daß

die mit luftdichten Wagen ausgestattete Schwebebahn in dichte Röhren verlegt wird, in denen die Luft eine Verdünnung erfährt, wodurch der Luftwiderstand weitgehend herabgesetzt werden kann. Durch Vereinigung beider Mittel, der Schwebung und der Luftverdünnung, läßt sich bei der Schwebebahn der Fahrwiderstand selbst für höchste Geschwindigkeiten ganz gering halten.

Für den Antrieb der Schwebewagen stehen verschiedene, auch nichtelektrische Möglichkeiten offen. Für einen elektromagnetischen Antrieb lassen sich u. a. die Schwebewagenmagnete selbst oder ähnliche, für diesen Zweck eigens angebrachte Magnete, denen dann zur Wirkung im Fahrgeleis besondere Schienen gegenübergestellt werden, mit Vorteil verwenden. Die Magnete werden dazu aufgeteilt in kleine Einzelmagnete und erhalten eine mehrfache Wicklung nach Art von Induktionsmotoren. Insbesondere kann man Antriebsmagnete so ausbilden, daß in ihnen wie in Drehstrommotoren ein Feld entsteht, das sich, betrachtet von einem in dem Schwebewagen mitfahrenden Beobachter, durch die Antriebsmagnete hindurch entgegen der Fahrtrichtung mit einer der Fahrgeschwindigkeit gleichen Geschwindigkeit fortbewegt, das dagegen, von einem unbewegten Beobachter aus gesehen, in den Fahr Schienen stillsteht und sich nur entsprechend der Fortbewegung des Schwebewagens an dessen vorderer Spitze aufbaut und an dessen hinterer Spitze abbaut. Die Antriebsmagnete am Schwebewagen würden so im Vergleich mit einem Drehstromkurzschlußanker motor dem Ständer entsprechen, während die Schienen die Aufgabe des Kurzschlußläufers hätten.

#### PATENTANSPRUCH:

Schwebebahn mit räderlosen Fahrzeugen, die an eisernen Fahr Schienen mittels magnetischer, in zwischen den Schienen und an den Fahrzeugen verteilt befestigten Elektromagneten erzeugter Felder schwebend entlang geführt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung der magnetischen Felder durch Abstandssteuerorgane geschieht, die an den Schwebewagen (3) gegenüber den Führungsschienen (2) räumlich nahe den von ihnen zu steuernden Elektromagneten befestigt sind. Die Abstandssteuerorgane (Abb. 4, 5) sind mechanisch unveränderliche, jedoch in ihrem elektrischen Widerstand durch den Abstand von den Schienen beeinflusste elektrische oder magnetische Anordnungen (z. B. Kondensatoren 8, 9 oder Drosselspulen 10, 11) und werden in elektrische Stromkreise eingeschaltet, wobei sie an ihren Polen Spannungen erzeugen, die sich mit

Figure C.129: German patent DE643316 on magnetically levitated trains, filed by Hermann Kemper in 1934.



4

**643316**

<p>dem Abstand von den Führungsschienen unverzüglich ändern. Diese Spannungen werden, soweit erforderlich, in ebenfalls trägheitsarmen Schaltungen verstärkt und, gegebenenfalls gleichgerichtet, elektrischen Röhren zu deren Steuerung zugeführt (Abb. 6). Der Sinn und die Größe dieser Steuerspannungen ist so zu wählen, daß durch die von den Röhren den Elektro-</p>	<p>magneten zugeleiteten Ströme magnetische Zugkräfte erzeugt werden, die der Schwerkraft das Gleichgewicht halten, wenn der Abstand der Fahrzeuge von den Schienen das vorgeschriebene Maß hat, die dagegen die Schwerkraft übersteigen, wenn der Ab- stand zu groß wird, sie endlich unter- schreiten, wenn der Abstand unter das Sollmaß herabsinkt.</p>
---	---

---

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

---

Figure C.130: German patent DE643316 on magnetically levitated trains, filed by Hermann Kemper in 1934.

Zu der Patentschrift 643316  
 Kl. 20k Gr. 3

Zu der Patentschrift 643316  
 Kl. 20k Gr. 3

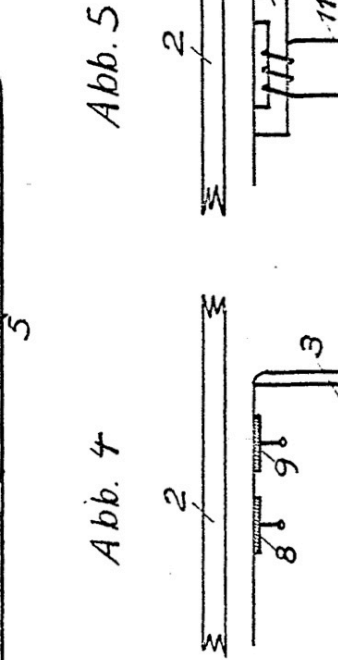
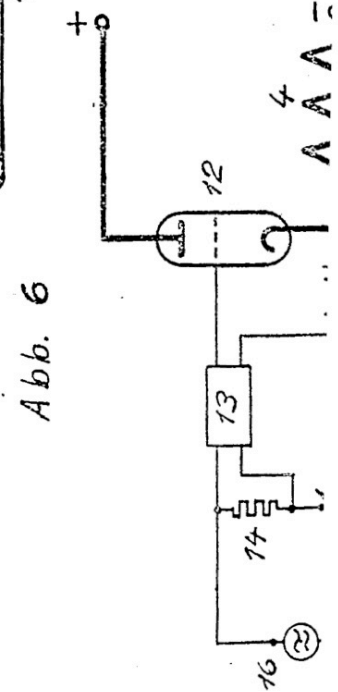
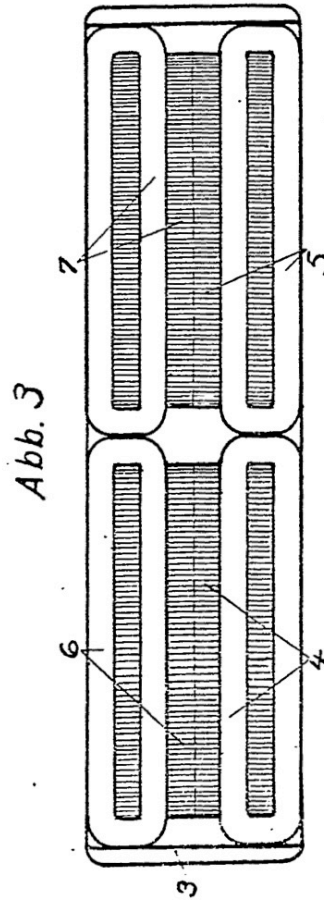
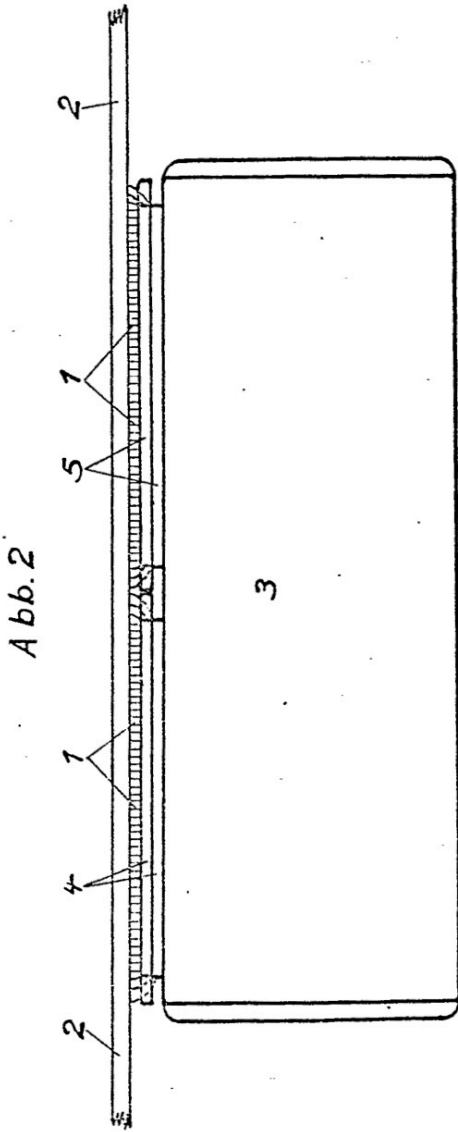
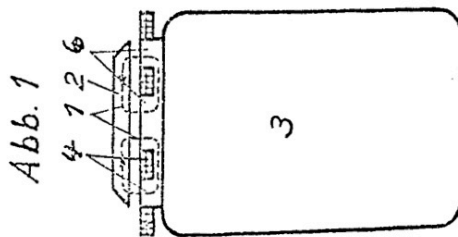


Figure C.131: German patent DE643316 on magnetically levitated trains, filed by Hermann Kemper in 1934.

[Multiple groups of German-speaking scientists developed and demonstrated electromagnetic railguns. The best-documented group was led by Joachim Hänsler (German, 19??–19??), but there were other groups as well. Manfred von Ardenne led a large program that was actually mass-producing railguns for battlefield use. The following documents describe some of the wartime work on railguns.]

**CIOS XXXI-59. *Gesellschaft für Gerätebau*. pp. 3–4.**

The above-named target, which was formerly post of the Heereswaffenamt in Berlin, is an experimental station for the study of electrical means for accelerating projectiles. Although it has not yet produced practical results (only laboratory tests have so far been made), **the project merits the attention of Army Ordnance.**

Attempts to replace powder by electricity are not new. Many schemes were tried by this laboratory, and the method developed during the last war by Fauchon-Villiplee was finally adopted. The great difficulty is, of course, the developing of enough power to launch a projectile. **It has been possible here to accelerate a body weighing 12 g to 1100 m/sec. in a 2-meter tube, which corresponds to an acceleration of about 30,000 times gravity.** Coupling two such tubes was not very successful, 1200 m/sec. being obtained.

The projectile is accelerated by a “linear motor”, which consists in its simplest form of two conductors (parallel rails) across which the projectile completes the circuit by means of fins attached to its rear. When current passes through the circuit, the projectile travels forward. The conventional electromagnetic equations apply to the process.

The principle was demonstrated to me in a 50 cm. tube with the projectiles submitted with this report. After firing, the edges of the copper fins are melted. The muzzle velocity in the demonstration was low.

The difficulties in the way of a suitable power source are formidable. Lead-sulfuric acid storage batteries with very thin plates are used for experimental work; 9000 kW is available from this source. Condensers to give 2000 volts with 24,000 microfarads capacity are also installed.

The great advantages of the electrical scheme would be (1) gun barrel unnecessary (2) higher velocity than is attainable with powder (3) higher efficiency than with powder (4) lower energy cost than with powder.

**Work was about to begin on a projectile 1 cm. in diameter, weighing 60 or 70 grams. An A.A. gun was planned** (see the attached report), which would have required a maximum current of 1,500,000 amperes at 1300 volts **to launch a 4 cm. projectile.** The power was to be obtained from three unipolar generators weighing 150 tons each.

Projectiles electrically launched would have to be fin-stabilized since they could not be rotated. Fin-stabilization presupposes wind-tunnel work, which explains the **close cooperation between this target and the Peenemünde wind tunnel personnel at Kochel.**

[The remaining pages of CIOS XXXI-59 include an English translation of a few pages of Joachim Hänsler’s theoretical calculations.]

CIOS XXXI-84. *German and Danish Industries.* pp. 103–105REPORT ON VISIT TO GESELLSCHAFT FÜR GERÄTEBAU m.b.H.AT KLAIS NEAR MITTENWALD

The above firm moved from Berlin in April 1944, and succeeded in establishing itself, with all of its equipment, in a house near Mittenwald. The entire staff (of 30 people) was brought from Berlin.

The object of the undertaking was the development of a high velocity electro-magnetic gun. Dr. Hänslér, head of the firm, was interviewed. It is understood that Wing Commander Day, RAF, team leader of CIOS trip No. 415, had visited the firm on the 13th June, 1945, and took copies of two reports, giving an account of theory of operation of the gun, and of experiments carried out between the 4th September 1944, and the 31st May 1945. We also took copies of these reports.

Dr. Hänslér began by giving reasons why the development of a high velocity electro-magnetic gun was desirable. Theoretical calculations, supported by practical evidence, had led to the surprising conclusion that the charge of hitting with a heavy A.A. gun (e.g. 88 mm) was greater with a direct action fuse than with a time fuse. If a direct action fuse is used, a small projectile, containing a charge of only 500 gm, is sufficient to destroy an aircraft, whereas with a time fuse, as large a shell as possible is required. If, therefore, a means of firing a small shell with a high muzzle velocity (m-v) could be developed, a large economy could be effected. The rate of fire would also be greater than with a heavy gun.

A second reason given by Dr. Hänslér for requiring a high m-v, was that to engage a high speed aircraft flying at 12 or 15 km, it is necessary to open fire at a range of 20 or 30 km at least, and a high m-v is necessary to reach this range.

There is a theoretical upper limit, of 2,800 m/sec to the velocity attainable, using explosive propellant, and the maximum ever achieved in practise is 1600 m/s. An m-v of 2,000 m/sec or more is required. Dr. Hänslér had in mind a shell of diameter 4 cm and length 80 cm, unrotated and stabilised by fins.

Various types of electro-magnetic guns have been described in the literature. At first, Dr. Hänslér made some experiments with a solenoid gun, but soon dropped this system for the one described below. We were shown photographs of solenoids which had burst in operation.

The method of propulsion finally adopted was to have two parallel copper conductors, running the length of the gun, to which a potential was applied. A sliding copper bridge was propelled along these conductors under the action of the electro-mechanical forces resulting from the very heavy currents which flowed.

In the model guns made up at the present time there was also a "field winding" consisting of a single turn of heavy copper running the length of the gun, in the same plane as the conductors. This can be connected either in series or in parallel with the conductors. Use is made of iron to concentrate the magnetic field. In the next experimental gun, which is designed, but not built, the field winding will be omitted, and no magnetic material will be used, except for an outer sheath.



We were shown an experimental gun 2 m long which was capable of firing a 10 gm projectile with a velocity of 1200 m/s. This was not in operation, but if permission were given, could be made to work in two weeks time. We were given a demonstration with a model gun 50 cm long, working off two 12 v car batteries. This was said to give an m-v of 60 m/s.

Power for the experimental 2 m gun was obtained from a battery of 1,000 12 v accumulators of standard lead-acid type, each capable of giving 9 kw for a short time.

Development work was going on at Friemann and Wolf at Zwickau with a view to producing a special type of accumulator capable of giving a high current for a short time, the principle being to increase the surface area of the plates as much as possible. They were making 50 of a type that would give 20,000 to 40,000 amps for one tenth to one hundredth part of a second: the size of this accumulator, which was of the lead acid type, was to be 20 x 17 x 40 cm. These were not however, delivered when the war ended.

The use of condensers as a source of power had also been considered and a battery of condensers (24,000 mfd, 200 v) was installed in the laboratory. Little work had been done on this method, but Herr Muck of Staffelsee near Murnau, was said to have ideas on the subject. It was stressed that the power supplies used up to the present were suitable for laboratory experiments only. Work had just been started on a rotating machine which, it was hoped, would be capable of development into a practical device.

Briefly, this consisted of two rotating copper rings, like slip rings, but cut and insulated at one place. These rings were joined together on one side of the cut. Each ring had a copper brush bearing on it, from which the power output was taken. If, when the rings were rotating, a pulse of current from a condenser were applied at the correct time, a magnetic field would be built up rapidly and the machine would deliver power for one rotation. This machine had not yet been completed.

The 2 m gun referred to above, behaved in accordance with theory, as regards relation between field and conductor currents and m-v. When an attempt to put two together and make a 4 m gun was made, however, the expected increase in m-v was not obtained.

The next gun projected was to fire a 6.5 kg projectile, which would be so designed that the propelling bridge would drop off as soon as it left the gun.

In addition to work on the gun itself, a number of associated investigations were being carried out: they were

- (1) Development of a conductor with a low self inductance for connecting the gun to the power supply. This was obtained by mounting the two conductors very close together with a layer of insulating material between.
- (2) Development of a method of measuring self inductances less than  $10^{-5}$  henries. The method was to form a tuned circuit including the self inductance, shock excite it, and record the resulting damped wave on an oscillograph.
- (3) Development of an iron inductance shunt for measuring heavy currents. The principle was as in one (1)

The laboratory was well equipped for measuring m-v. The method was to fire the projectile through wire screens, and record the resulting electrical impulses on a moving film using a high speed loop oscilloscope. Current waveforms in the gun could be recorded at the same time. We were shown an electrical counter device which would give a direct reading of transit time in milli-secs. This had not been designed by the firm but had been purchased. It was about to be put into use in conjunction with a pair of photo-electric devices for recording the passage of the projectile.

These were two slow motion cameras for photographing the projectile in flight. A high speed oscilloscope using a Cathode Ray tube was being developed.

On the whole we formed the impression that the work being carried out by this firm was very far from having any military application.

**Joachim Hänsler. 1945 reports. [NARA RG 319, Entry NM-82A, Box 15, Folders OB-27 and OB-28]**

[The copies of Hänsler's reports that were obtained and filed by the U.S. Alsos Mission are quite lengthy and extremely detailed, covering his designs, theoretical calculations, experimental measurements, and photographs of the projectiles that he tested. Please see photos of selected pages from these reports on the following pages.

As documented in these reports and the preceding CIOS reports, Hänsler built and demonstrated electromagnetic railguns capable of launching projectiles at velocities up to 1200 meters/second, or over 3.5 times the speed of sound. As of the time of these reports, he was continuing to develop larger and faster railguns, planning to reach velocities over 2000 meters/second.]

~~A.~~

Gesellschaft für Gerätebau  
m.b.H.

IN 1016

27

ALSOB MISSION  
Entwurf

für eine Elektrische 4 cm Flak.

vom 21.1.45 mit Nachtrag vom 31.5.1945

DECLASSIFIED  
Authority NN6755001

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.132: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

Inhaltsverzeichnis.

A.	Vorwort .....	S. 1
B.	Aufgabestellung und spezielle Forderungen .....	S. 2
C.	Theorie des Elektrischen Geschützes .....	S. 3
	1. Aufstellung und Lösung der Differentialgleichung	S. 3
	2. Die Ausschaltung beim Stromnulldurchgang .....	S. 7
	3. Die Ausschaltung bei einem beliebigen Strom ....	S. 8
D.	Dimensionierung der Elektrischen Flak .....	S. 8
	1. Stromkreis bei Ausschaltung im Stromnulldurchgang	S. 8
	2. Vergleich eines eisenummantelten mit einem eisenfreien Linearmotor .....	S. 10
	3. Berechnung der Selbstinduktion des Rohres .....	S. 11
	4. Berechnung der Selbstinduktion der Zuleitung ...	S. 12
	5. Berechnung der Selbstinduktion der Unipolar- maschine .....	S. 12
	6. Berechnung des Ohmschen Widerstandes des gesamten Kreises .....	S. 13
	7. Endgültige Berechnung des Linearmotorkreises ...	S. 13
	8. Die Leistung der Antriebsmaschinen .....	S. 14
	9. Die Stoßgeneratoren .....	S. 15
E.	Überlegungen zum taktischen Einsatz und zur Weiter- entwicklung der Waffe.....	S. 16

DECLASSIFIED  
Authority NN 5755001

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.133: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.



DECLASSIFIED  
 Authority NME 755001

- 6 -

$$i = e^{-st} \cdot (J_1 \cos \omega t + J_2 \sin \omega t) \quad (10)$$

Die Bestimmung der Konstanten geschieht wie folgt:

Ist für  $t=0$ :  $i = J_1$  und  $v = v'$ , so folgt aus (10)

$$J_1 = J' \quad (11)$$

und damit  $i = e^{-st} \cdot (J' \cos \omega t + J_2 \sin \omega t)$  (12)

und durch Differentiation (13)

$$\frac{di}{dt} = -s \cdot e^{-st} (J' \cos \omega t + J_2 \sin \omega t) + \omega \cdot e^{-st} (-J' \sin \omega t + J_2 \cos \omega t)$$

Aus (4) folgt  $\frac{di}{dt} = \frac{U_0 - R \cdot J' - \mathcal{L} \cdot l \cdot v'}{\mathcal{L}}$  (14)

Durch Gleichsetzen der beiden Werte für  $\frac{di}{dt}$  folgt

$$J_2 = \frac{U_0 - R \cdot J' - \mathcal{L} \cdot l \cdot v'}{\omega \mathcal{L}} + \frac{s}{\omega} \cdot J' \quad (15)$$

Schließlich ist (16)

$$i = e^{-st} \cdot [J' \cos \omega t + (\frac{U_0 - R \cdot J' - \mathcal{L} \cdot l \cdot v'}{\omega \mathcal{L}} + \frac{s}{\omega} \cdot J') \sin \omega t]$$

Diese Gleichung wird zur schritt- und näherungsweise Lösung der Differentialgleichung bei variablen  $\mathcal{L}$ ,  $R$  und  $\mathcal{L}$  benötigt. Sind  $\mathcal{L}$ ,  $R$  und  $\mathcal{L}$  konstant und benutzt man als Anfangsbedingung

$$J' = 0 \text{ und } v' = 0 \quad (17)$$

so folgt  $i = \frac{U_0}{\omega \mathcal{L}} \cdot e^{-st} \cdot \sin \omega t$  (18)

Aus (18) lässt sich durch Differentiation und Nullsetzung der max. Strom in Amp. berechnen, für den die Stromquelle bemessen werden muss, sowie die Zeit  $t'$ , nach welcher der max. Strom erreicht wird:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_0}{\omega \mathcal{L}} \cdot e^{-st'} (\omega \cos \omega t' - s \sin \omega t') = 0 \quad (19)$$

$$\omega \cos \omega t' - s \sin \omega t' = 0 \quad (20)$$

$$\operatorname{tg} \omega t' = \frac{\omega}{s} \quad (21)$$

Damit wird (22)

$$i_{\max} = \frac{U_0}{\omega \mathcal{L}} \cdot e^{-st'} \cdot \sin \omega t'$$

 NARA RG 319, Entry NME-82A,  
 Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.134: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
 Authority NND 755001

Wir berechnen weiter die mittlere Stromstärke  $\bar{I}$ , die wir in dem Fall brauchen, wenn der Strom nicht im Nulldurchgang ausgeschaltet wird. Sie ist

$$\bar{I} = \frac{1}{t} \int_0^t i dt = \frac{U_0}{\omega \cdot \omega_e^2} \cdot \frac{1}{t} [ \omega - (\rho \sin \omega t + \omega \cos \omega t) \cdot e^{-\rho t} ] \quad (23)$$

Ferner findet man auf einfache Weise

$$v = \frac{v_\infty}{\omega} [ \omega - (\rho \sin \omega t + \omega \cos \omega t) e^{-\rho t} ] \quad (24)$$

wobei 
$$v_\infty = \frac{U_0}{\rho \cdot l} \quad (25)$$

ferner 
$$\rho = \frac{v_\infty}{\omega} \left[ \omega t - \left( \frac{\omega^2 - \rho^2}{\omega_e^2} \cdot \sin \omega t - \frac{2\rho\omega}{\omega_e^2} \cdot \cos \omega t \right) e^{-\rho t} - \frac{2\rho\omega}{\omega_e^2} \right] \quad (26)$$

Der Wirkungsgrad der Anordnung wird in folgender Weise definiert: Bezeichnet man mit  $A_q$  die von der Ankerstromquelle gelieferte Energie, mit  $A_f$  die von der Feldstromquelle gelieferte Energie und mit  $A_g$  die Geschoßenergie, so ist

$$\eta = \frac{A_g}{A_q + A_f} \quad (27)$$

Eine weitere Berechnung des Wirkungsgrades führen wir nicht durch, da in den verschiedenen Fällen sich verschiedene Formeln ergeben, die jedoch leicht abzuleiten sind.

## 2. Die Ausschaltung bei Stromnulldurchgang.

Geht man nach dem Vorschlage von Dr. W. Leukert vor, beim Nulldurchgang des Stromes zu schalten, so nehmen die Gleichungen für:

$$i = 0, \text{ also } \omega t_0 = \tilde{\pi} \quad (28)$$

folgende einfache Form an: 
$$v_0 = v_\infty (1 + e^{-\rho t_0}) \quad (29)$$

$$\rho_0 = \frac{v_\infty}{\omega} \left[ \tilde{\pi} - \frac{2\rho\omega}{\omega_e^2} (1 + e^{-\rho t_0}) \right] \quad (30)$$

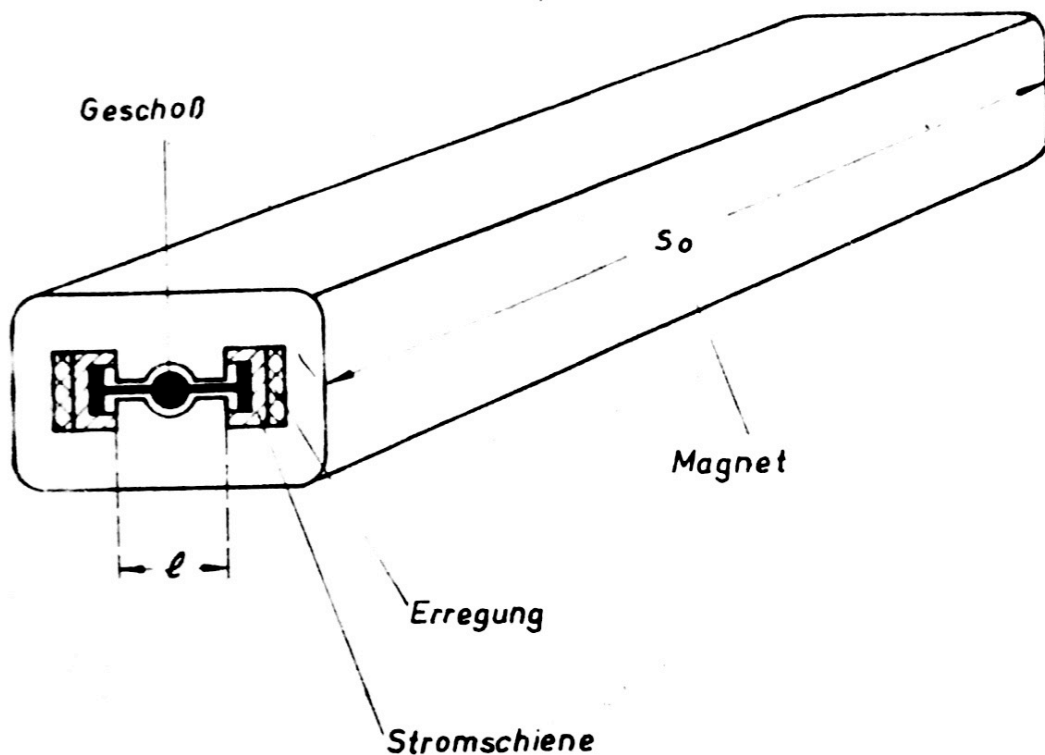
$$\frac{v_0}{\rho_0} = \omega \cdot \frac{1 + e^{-\rho t_0}}{\tilde{\pi} - \frac{2\rho\omega}{\omega_e^2} (1 + e^{-\rho t_0})} \quad (31)$$

und daraus 
$$\omega = \frac{v_0}{\rho_0} \cdot \frac{\tilde{\pi} - \frac{2\rho\omega}{\omega_e^2} (1 + e^{-\rho t_0})}{(1 + e^{-\rho t_0})} \quad (32)$$

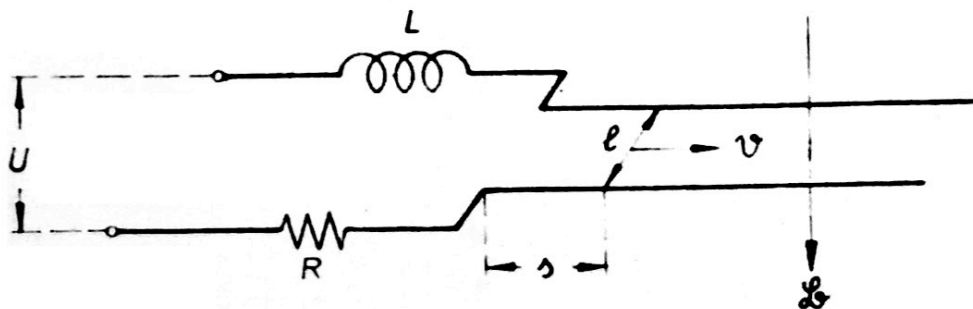
 NARA RG 319, Entry NME-82A,  
 Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.135: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
 Authority **MB755001**



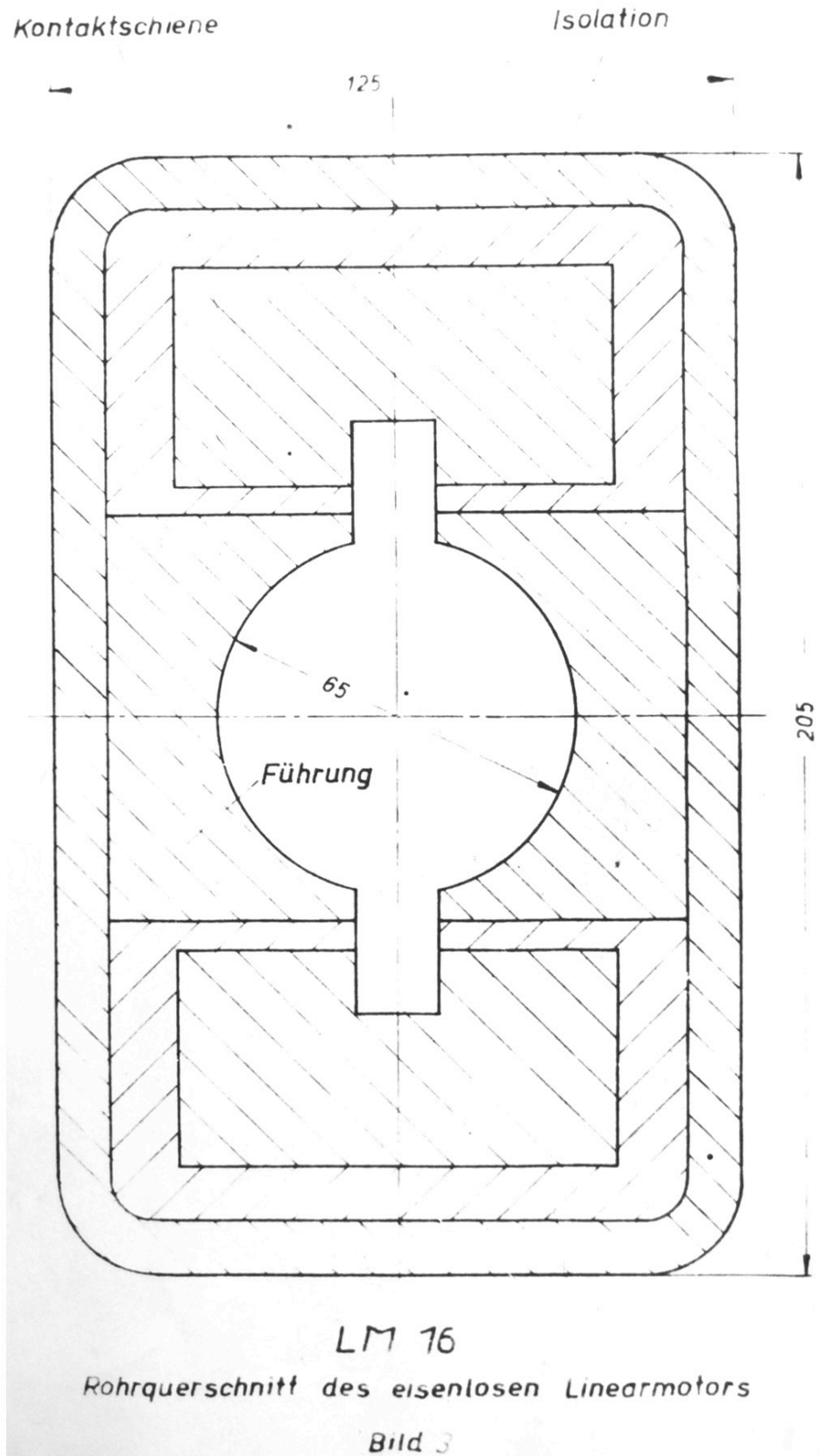
*Linearmotor  
Bild 1*



*Stromkreis des Linearmotors  
Bild 2*

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
 Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.136: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.



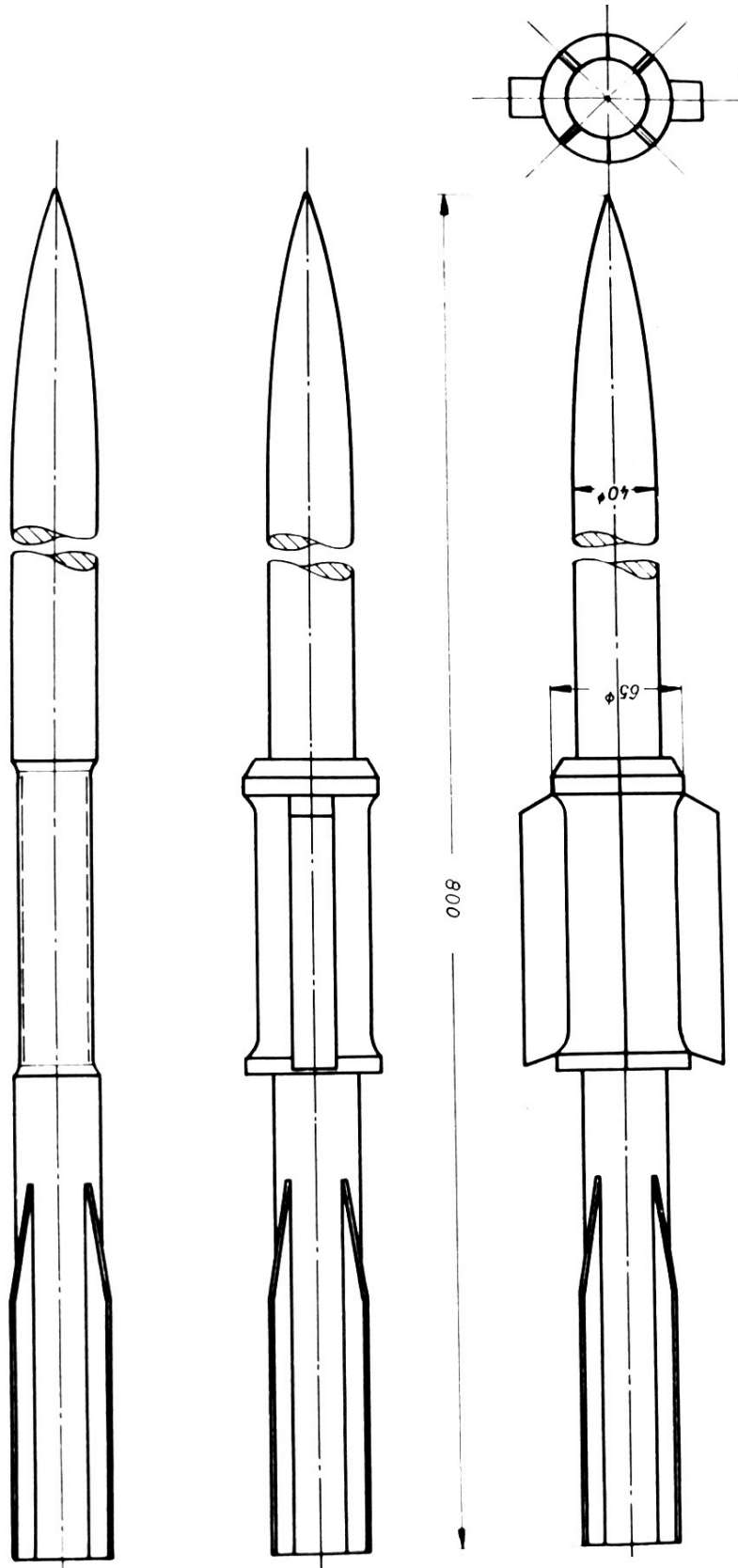
NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.137: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.



DECLASSIFIED  
Authority *MB755001*

*Bild 4*  
4cm Geschöß



**NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28**

Figure C.138: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
 Box 15, Folders OB-27 and OB-28

DECLASSIFIED  
 Authority *MR755001*

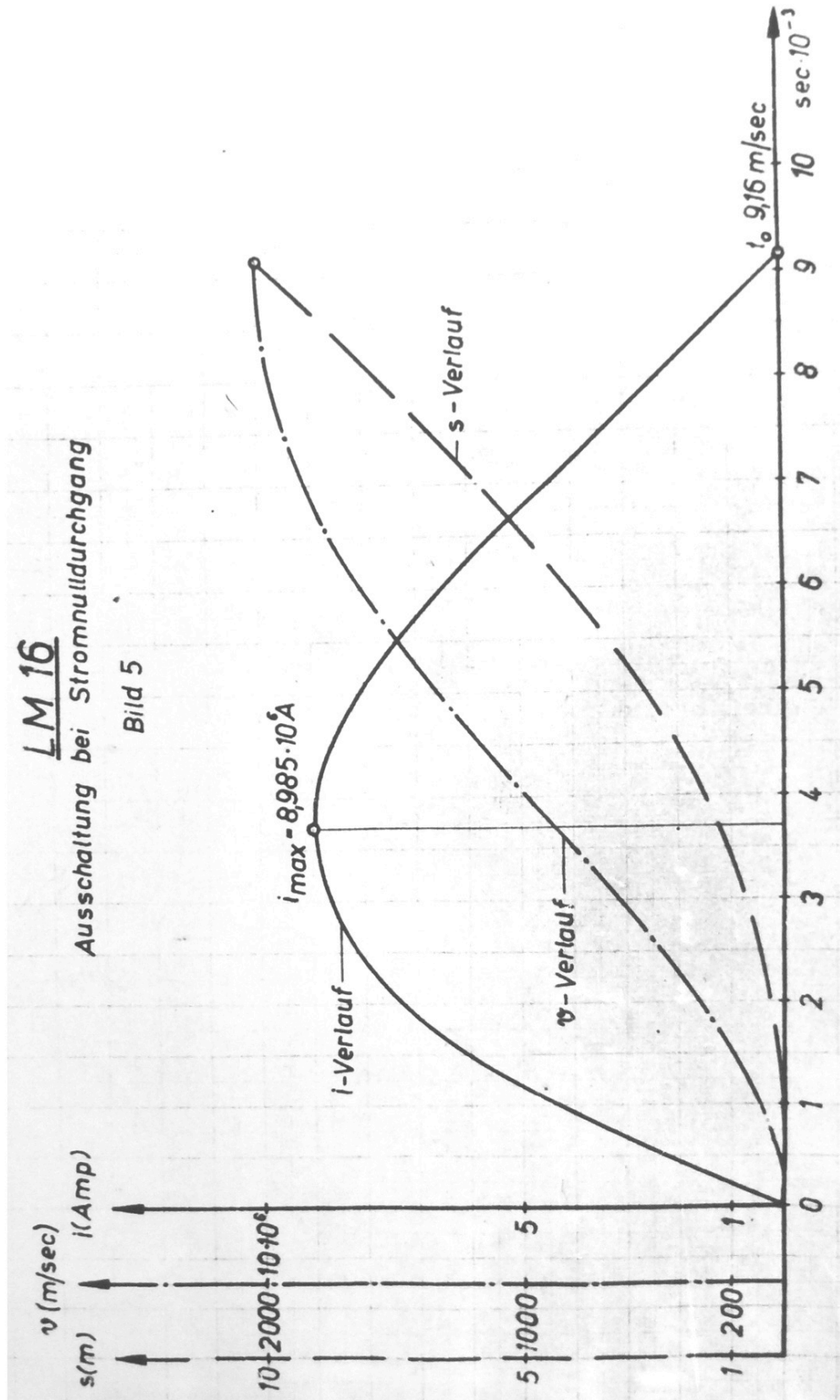


Figure C.139: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
 Box 15, Folders OB-27 and OB-28

DECLASSIFIED  
 Authority *MD755001*

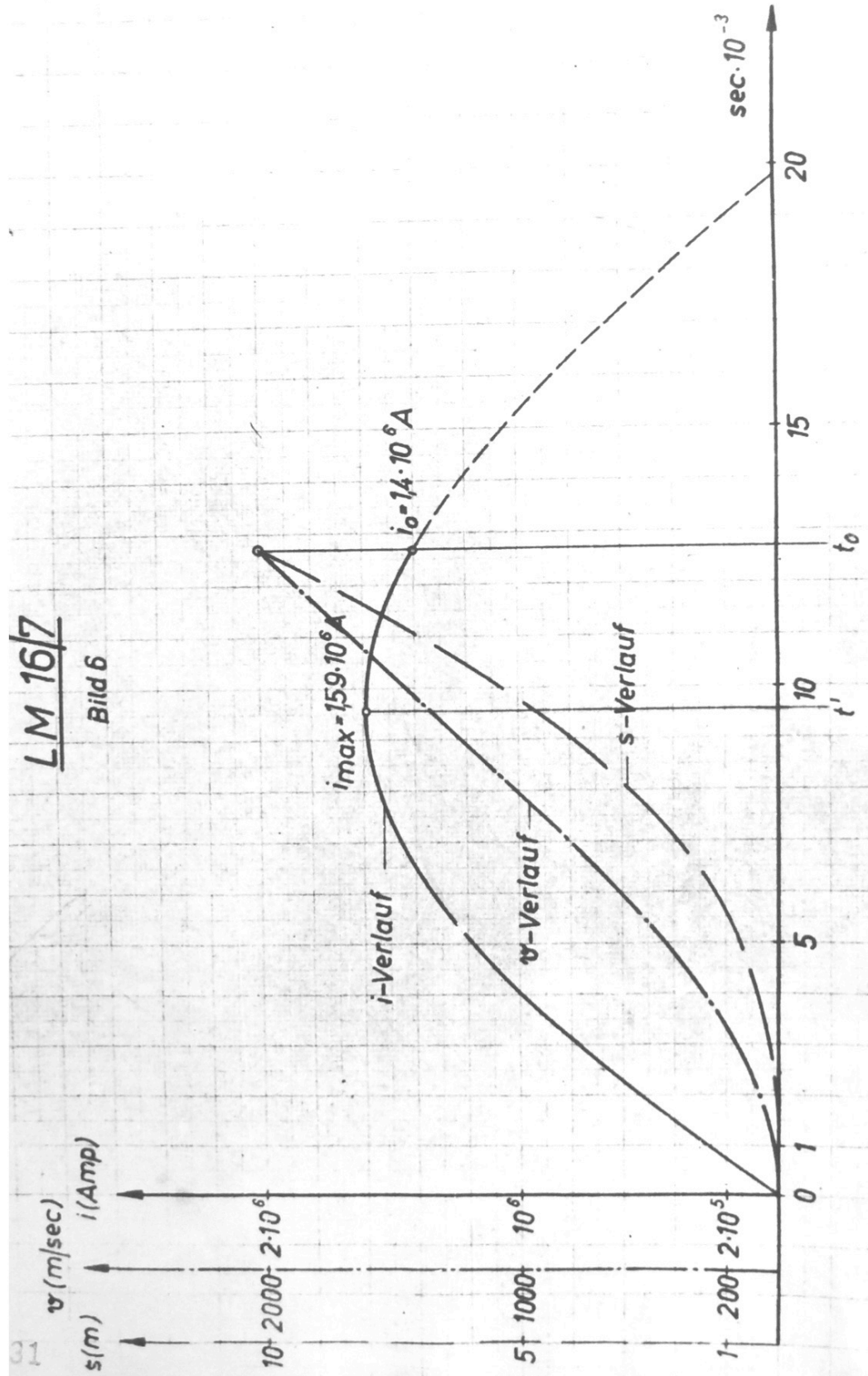


Figure C.140: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

Gesellschaft für  
Gerätebau m.b.H.

Schloss Kranzbach, den 31.5.45

Anlage

zum Entwurf

für eine Elektrische 4 cm Flak.

DECLASSIFIED  
Authority MMB755001

Der vorliegende Entwurf ist seinerzeit lediglich als Diskussionsgrundlage zusammengestellt worden. Er ist kurz, weil vieles als bekannt vorausgesetzt werden konnte. Insbesondere fehlen alle experimentellen Ergebnisse.

In zweifacher Hinsicht bedarf der Entwurf aber einer Korrektur

- 1) Die Seite 10 näherungsweise abgeleitete Kraftformel (43) differiert zu stark mit der exakt durch Integration gewonnenen. Es ist (siehe Bild)

$$P = \frac{\mu_0}{2\pi} i^2 \ln \frac{2a-b}{b} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{cm}} \right]$$

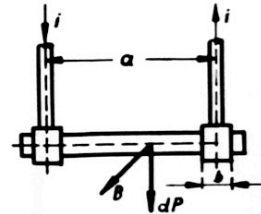
und mit  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-9}$  wird

$$P = 2 \cdot 10^{-9} i^2 \ln \frac{2a-b}{b} \quad [\text{kp}]$$

Vor allem fehlt in (43) die - wenn auch schwache - Abhängigkeit von den geometrischen Dimensionen.

- 2) Wir forderten, dass die Induktion der Unipolarmaschine von 20 000 auf 40 000 Gauss heraufgesetzt werde (Seite 15 f.). Eine Prüfung ergab, dass diese Änderung nicht durchführbar ist. Auch nach dieser Änderung wäre diese Maschine nur ein Behelf gewesen. Man hätte drei Maschinen in Serie schalten müssen, um die erforderliche Spannung aufzubringen. Die Selbstinduktion aber könnte man niemals auf den gewünschten kleinen Wert reduzieren.

Es musste daher auch hier ein völlig neuer Weg gesucht werden. Wir glauben ihn in der Umkehrung des Lineararmotorprinzips



NARA RG 319, Entry NME-82A, Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.141: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.



*Gesellschaft für Gerätebau m.b.H.*



## ***Versuchsbericht Nr.1***

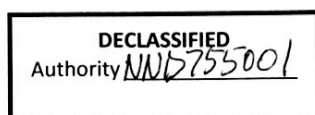
*Schiessperiode vom 4.9. 13.9.44*

## ***Versuchsbericht Nr.2***

*Schiessperiode vom 26.9. - 24.9.44*

## ***Versuchsbericht Nr.3***

*Schiessperiode vom 7.11. - 12.12.44*



**NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28**

Figure C.142: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

Gesellschaft für  
Gerätebau m.b.H.

Klais/Obb., den 18. Sept.1944



Versuchsbericht Nr. 1

Schiessperiode vom 4.9. bis 13.9.44

Am 4.9.44 waren die Vorbereitungen soweit gediehen, dass wieder mit Schiessversuchen begonnen werden konnte.

Aufgabe der ersten Schiessversuche ist, mit einem LM 2 die nach der Rechnung mit 2 m Rohrlänge größtmögliche  $V_0$ , d.h. etwa 1500 m/sec, zu erreichen und damit die maximale Stromdichte festzustellen. Die weitere Steigerung der Anfangsgeschwindigkeit wird dann in bekannter Weise durch Ansetzen weiterer Linearmotore gemacht werden,.

Bei den letzten Versuchen in Berlin wurde ausschließlich mit Lichtbogenkontakt als Stromzuführung zum Treibflügel gearbeitet. Mit Hilfe dieses Kontaktes war bei 4 m langer Rohr - zwei LM 2 - die größtmögliche  $V_0$  800 m/sec. Die maximale Stromdichte betrug dabei etwa  $600 \text{ A/mm}^2$ . Rechnerisch war gezeigt worden, dass man mit Berührungskontakt zu ganz erheblich grösseren Stromdichten und damit auch Geschwindigkeiten vordringen kann.

Die jetzigen Versuche haben diese Überlegenheit des Berührungskontaktes erwiesen. Es wurden insgesamt 76 Schuss geschossen. Die Feldstromstärke betrug bei allen Schüssen 9500 bis 10 000 Amp., was einer effektiven Feldstärke von 43 000 Gauss im Luftspalt entspricht. Die mittlere Ankerstromstärke wurde von 2400 Amp. auf 7400 Amp. gesteigert. Die Geschwindigkeit stieg dabei von 310 auf 630 m/sec (Bild 1). Die Kontaktstücke wurden bei den verwendeten Ankerstromstärken bis 7400 Amp. mittlerer Stromstärke (Spitze 8900 Amp.) nur ausserordentlich wenig angegriffen. (Siehe Bild 2). Der Kontaktdruck betrug etwa 5 kg. Das Oszillogramm des Stromverlaufes zeigt den absolut einwandfreien Kontakt (siehe Bild 3). Dabei ist die bisher verwendete grösste Stromdichte  $1300 \text{ A/mm}^2$ , also über doppelt so gross wie früher die maximale Stromdichte bei Lichtbogenkontakt.

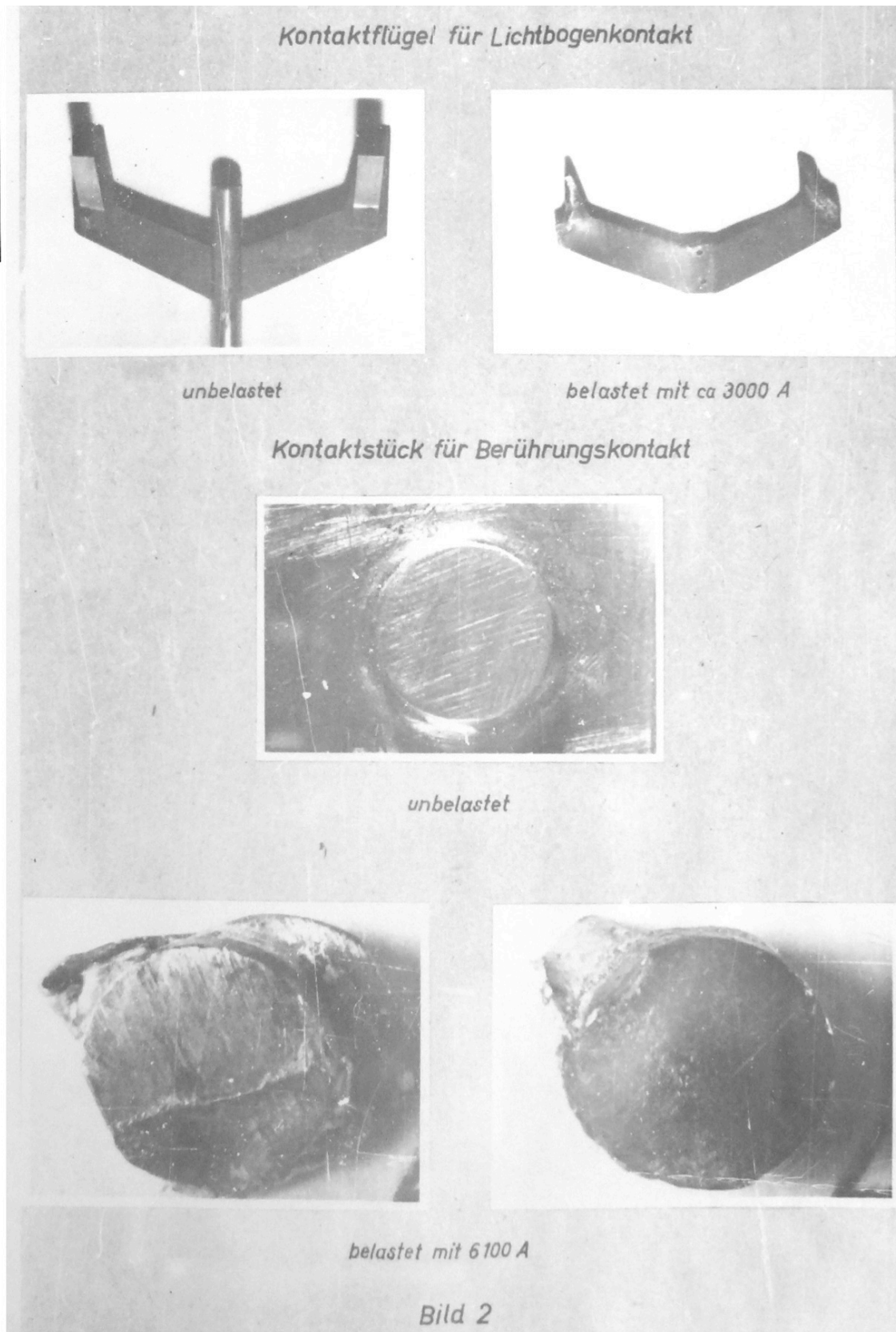
Dadurch, dass sich die Gleitkontakte bei allen Schüssen absolut einwandfrei verhielten, konnte ein weiterer Fehler der Anordnung klar erkannt und schrittweise beseitigt werden. Der Luftspalt des Linearmotors LM 2 war so eng wie möglich (2,5 mm).

DECLASSIFIED  
Authority ND 755001

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.143: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
Authority *MB755001*



**NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28**

Figure C.144: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
Authority *MB755001*

**NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28**

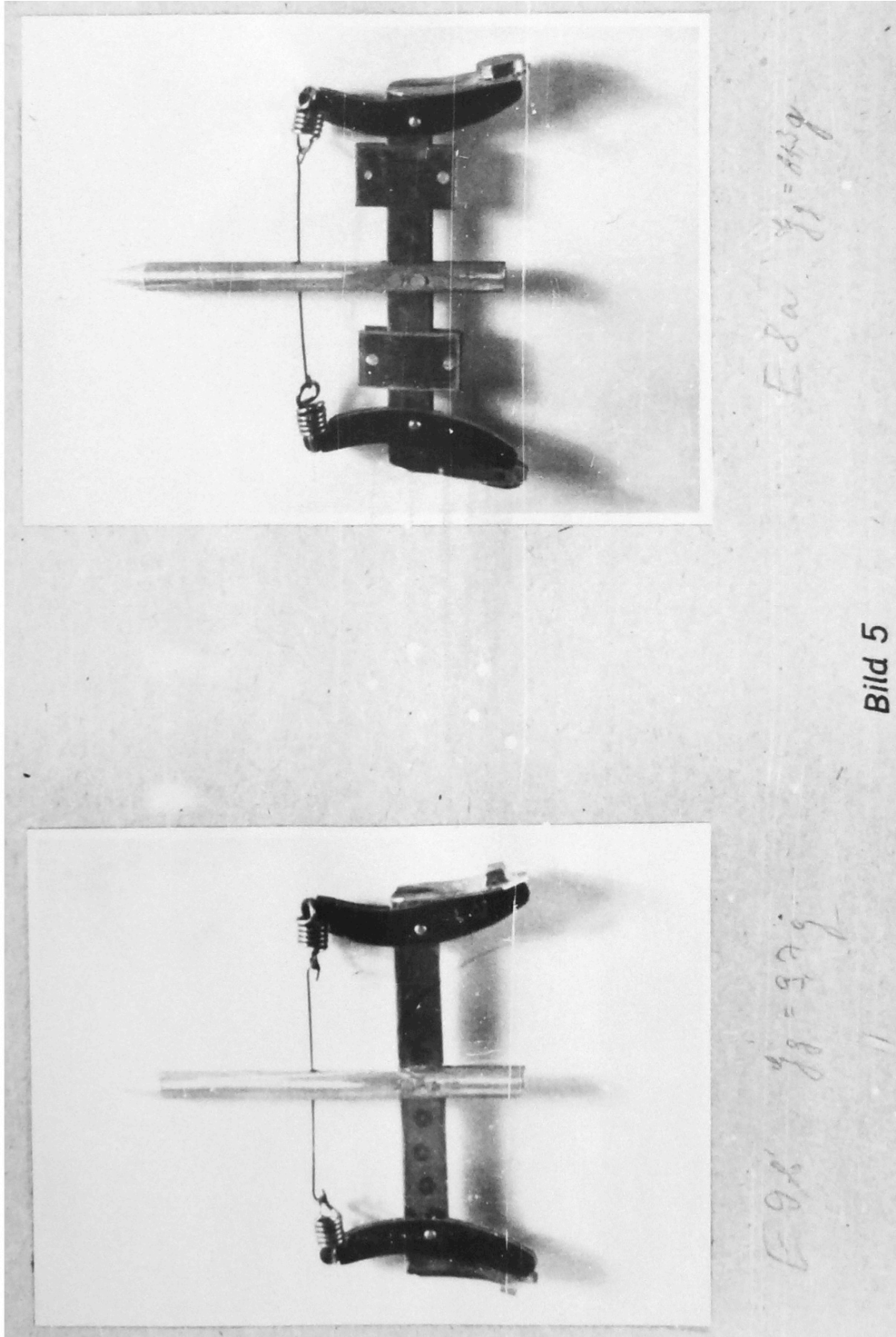


Figure C.145: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.



**Geholme Kommandosache**Gesellschaft für  
Gerätebau m.b.H.

Klein/O.B., den 7. Nov. 1944

8 Ausfertigungen  
7 Ausfertigung**Versuchsbericht Nr. 2****Betr.: Versuche mit dem elektrischen Geschütz.****A. Schießperiode vom 26.9. - 24.10.1944**

Die Polschuhe des LM 2 Nr. 12 wurden - wie im Versuchsbericht Nr. 1 beschrieben - umgebaut. Bild 1 zeigt die neuen und alten Polschuhe im Schnitt. Der Luftspalt zwischen den Polschuhen ist von 2,5 auf 3,5 mm erweitert worden, um ein Schleifen des Treibflügels an der Polschuhkante zu unterbinden. Da bei diesem Polschuh die Geschossführung aus Messing, also aus unmagnetischem Material, besteht, können hiermit auch Geschosse aus Eisen verschossen werden. Bild 2 zeigt eine Zusammenstellung der mit Eisengeschossen erhaltenen Resultate.

Entgegen der Erwartungen konnte die Geschwindigkeit mit dem LM 2 Nr. 12 zunächst nicht gesteigert werden. Es lag im Gegenteil die Maximalgeschwindigkeit nicht wie bei den ersten Versuchen um 630 m/sec - siehe Versuchsbericht Nr. 1 -, sondern um 570 m/sec. Der Grund schien allein in dem Umbau des Geschützes liegen zu können, und es wurden die Versuche mit dem LM 2 Nr. 11 wiederholt. Die Geschwindigkeit lag ebenfalls um 60 m/sec zu tief. Um den Grund dafür zu finden, wurde mit drei verschiedenen Feldstärken (15 000, 43 000, 63 000 C.G.S.) gearbeitet. In Bild 3 sind die bei den verschiedenen Feldstärken maximal erreichten Geschwindigkeiten zusammengestellt. Sowohl bei 15 000 wie bei 63 000 C.G.S. bleiben die gemessenen hinter den errechneten Werten etwas zurück. In beiden Fällen werden die Treibflügel also bereits überbeansprucht. Bei 63 000 C.G.S. ist das Hinzukommen eines weiteren Grundes wahrscheinlich. Die Feldstärken in Abhängigkeit von der Stromstärke sind in bekannter Weise berechnet worden. Bild 4 zeigt diese Abhängigkeit für LM 2/11 und LM 2/12. Möglicherweise bleiben im Gebiet der Feldstärken > 50 000 C.G.S. die tatsächlich erreichten Feldstärken gegenüber den errechneten zurück. Es wird dies noch durch Messungen geprüft werden.

DECLASSIFIED  
Authority **NND 755001****NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28**

Figure C.146: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
Authority *NND 755001*

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28

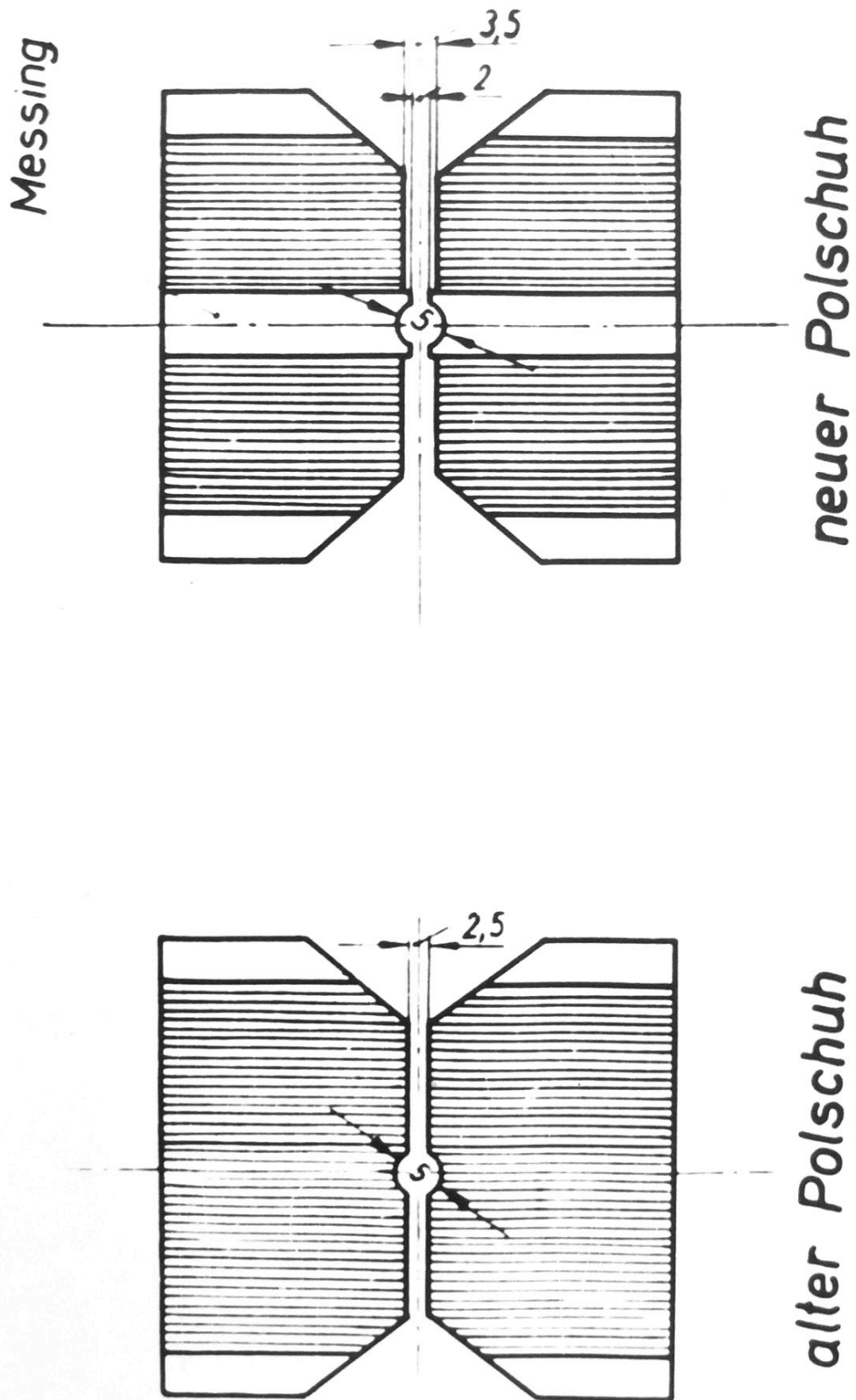


Figure C.147: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
 Authority **MD755001**

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
 Box 15, Folders OB-27 and OB-28

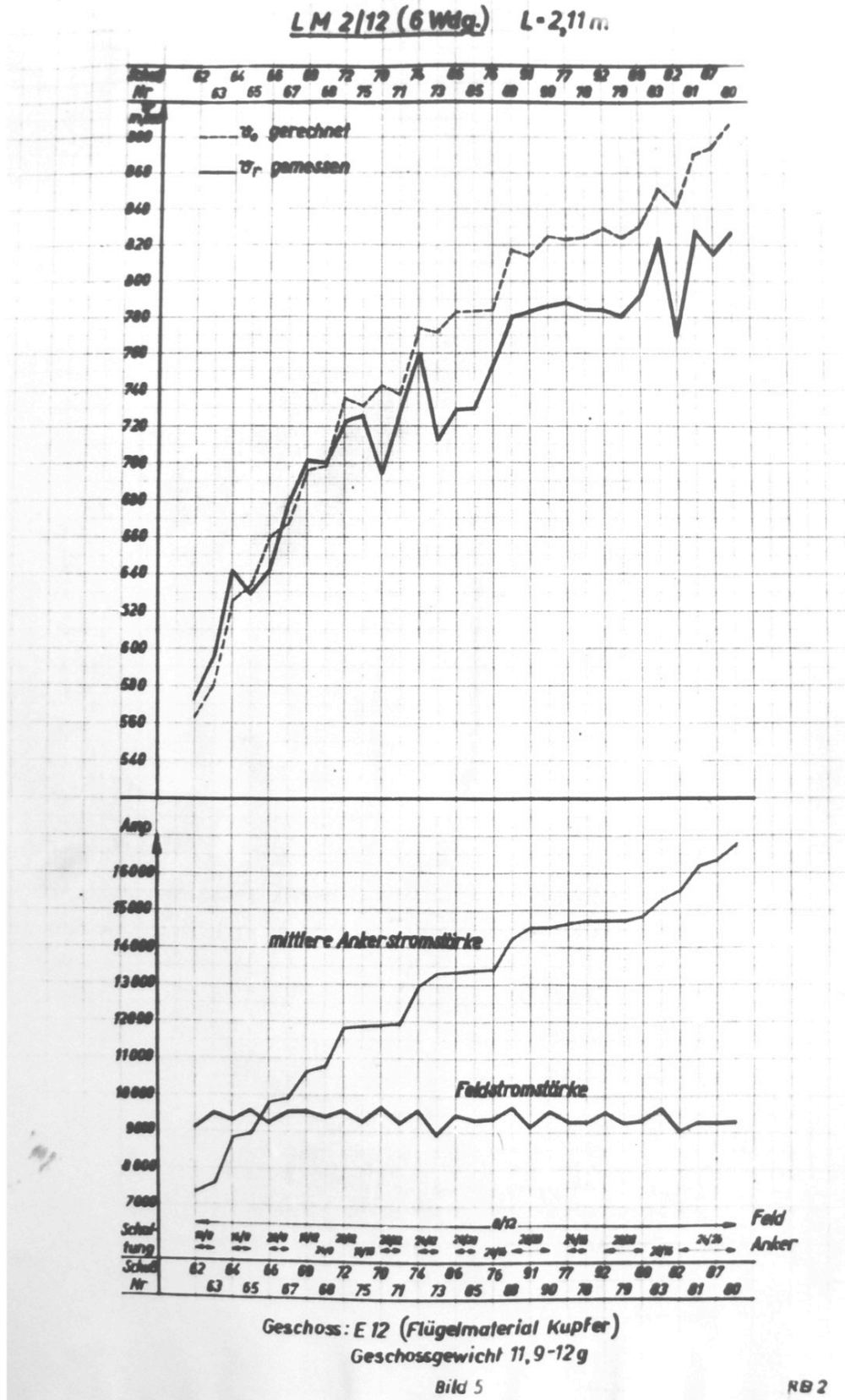


Figure C.148: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
 Authority *NND 755001*

**NARA RG 319, Entry NME-82A,  
 Box 15, Folders OB-27 and OB-28**

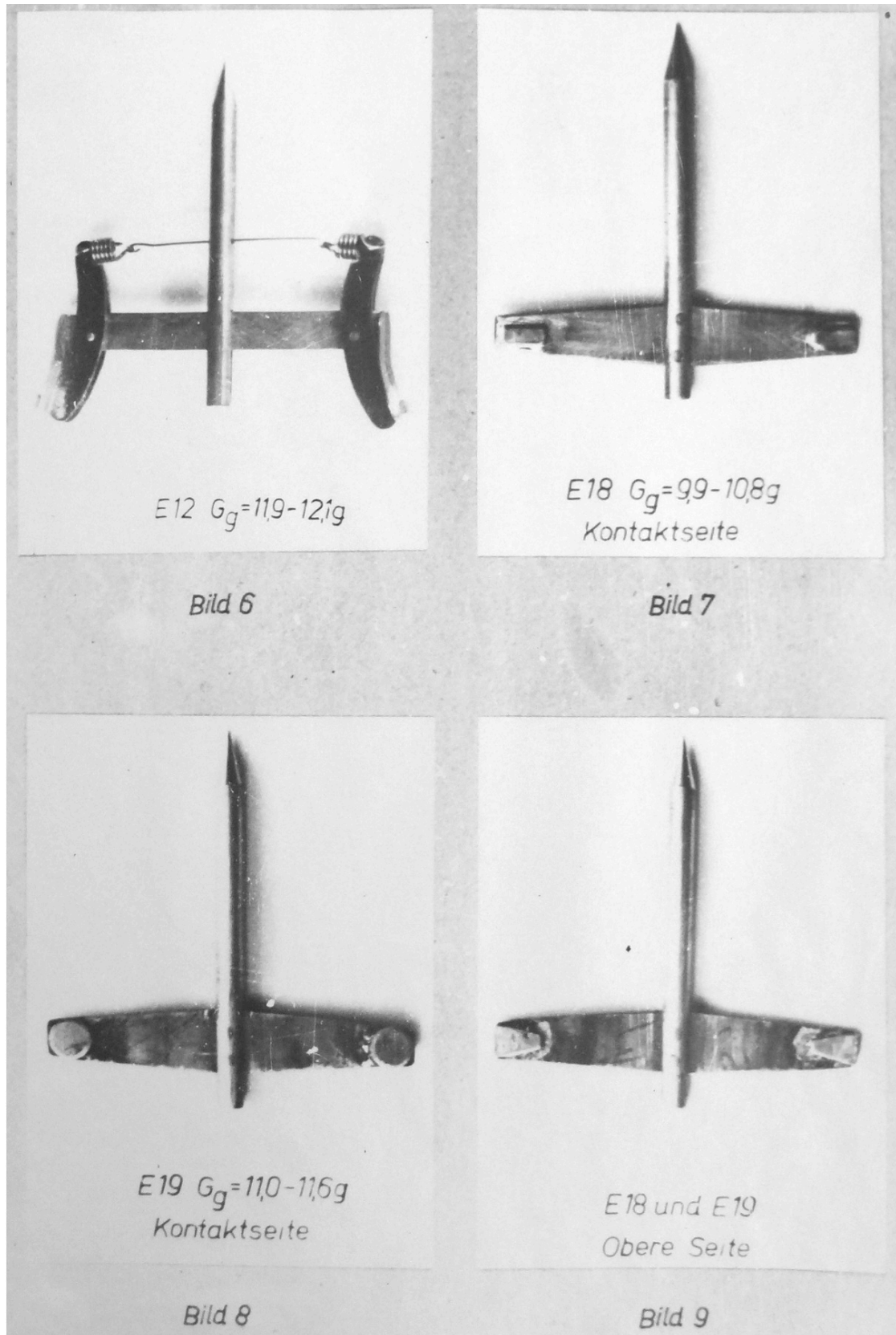


Figure C.149: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.





## Geheime Kommandosache

Gesellschaft für Gerätebau  
m.b.H.

Klais/Obb., den 18. Januar 1945

8 Ausfertigungen:  
6. Ausfertigung

### Versuchsbericht Nr. 3

Betr.: Versuche mit dem elektrischen Geschütz.

A. Versuche in der Zeit vom 7.11. bis 12.12.1944 mit dem  
LM 2/13.

Mit dem Linearmotor LM 2/13 (Rohrlänge 2 m) wurden die im Versuchsbericht Nr. 2 beschriebenen Versuche fortgesetzt mit dem Ziel, die bisher erreichte Geschwindigkeit von 930 m/sec. weiter zu steigern. Bei diesem LM ist, wie bereits berichtet wurde, die Federung in die Kontaktschienen verlegt. Der Treibflügel hat keine Federung. Es wurden verschiedene Geschoßausführungen mit Treibflügeln aus 1 mm starkem Kupferblech mit aufgelöteten Kontaktstücken aus Wolfram erprobt. Schwierigkeiten bereitete es, die richtige Ausführung der Kontakte zu finden und sie so aufzulöten, dass sie sich beim Schuß nicht lösen. Sich ablösende Kontakte stellen sich in den Kontaktschienen quer und beschädigen diese. Aus Blech gestanzte Kontakte sind nicht so haltbar wie von Rundmaterial abgestochene. Mit letzterem hergestellte Geschosse wurden etwa 130 aus einem LM verschossen, ohne dass die Kontaktschienen beschädigt oder nennenswert abgenutzt wurden.

Das Geschöß E 22 mit rechteckigem Kontakt (Bild Nr. 3 und 4) hat sich neben dem Geschöß mit rundem Kontakt von 8 mm  $\phi$  (E 19, Bericht Nr. 2, Bild 8) gut bewährt. Bei mittleren Ankerstromstärken von 21 000 A (max. 27 500 A) wurden

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28

Figure C.150: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
 Authority **NND755001**

**NARA RG 319, Entry NME-82A,  
 Box 15, Folders OB-27 and OB-28**

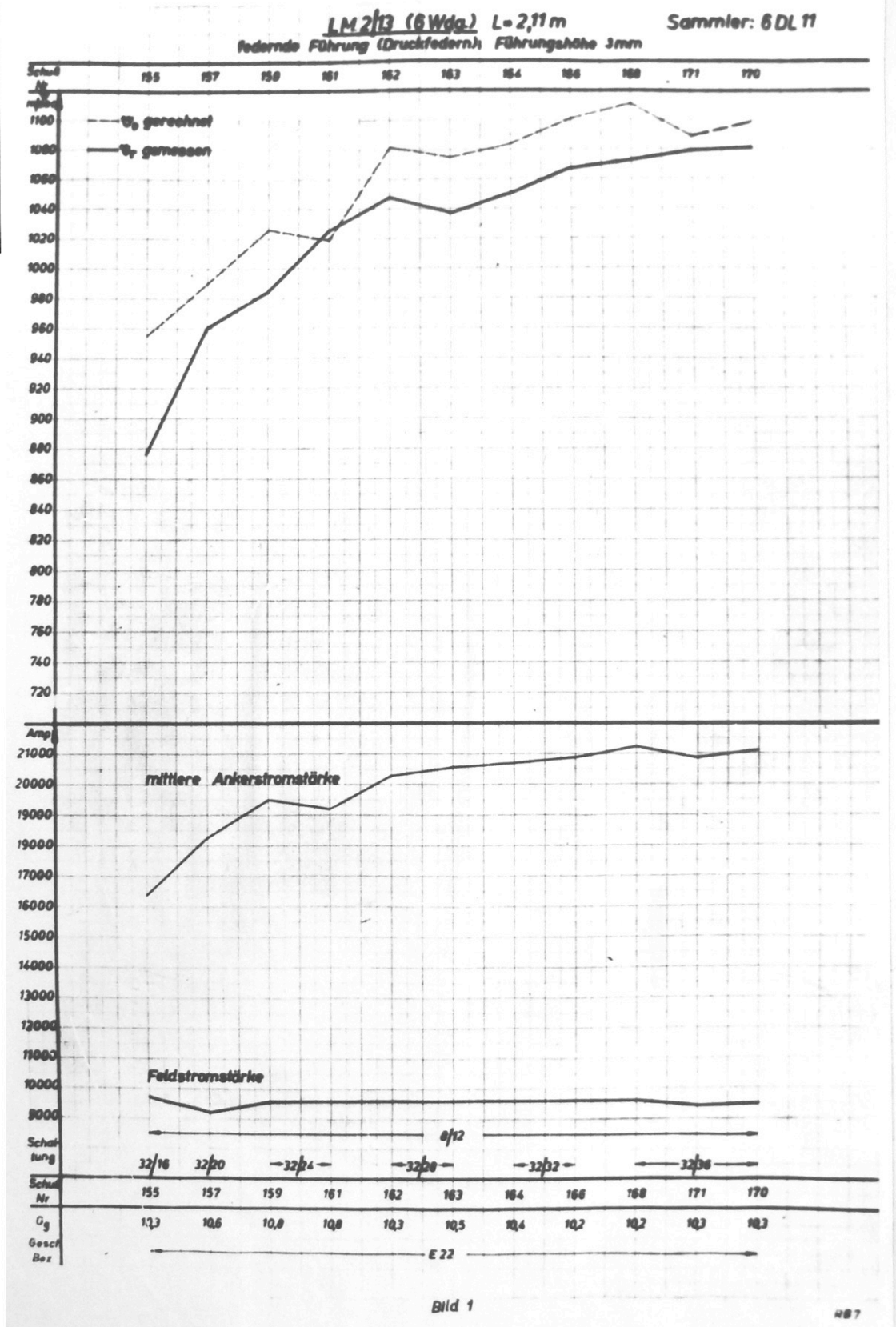


Figure C.151: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.

DECLASSIFIED  
Authority NND 755001

NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28

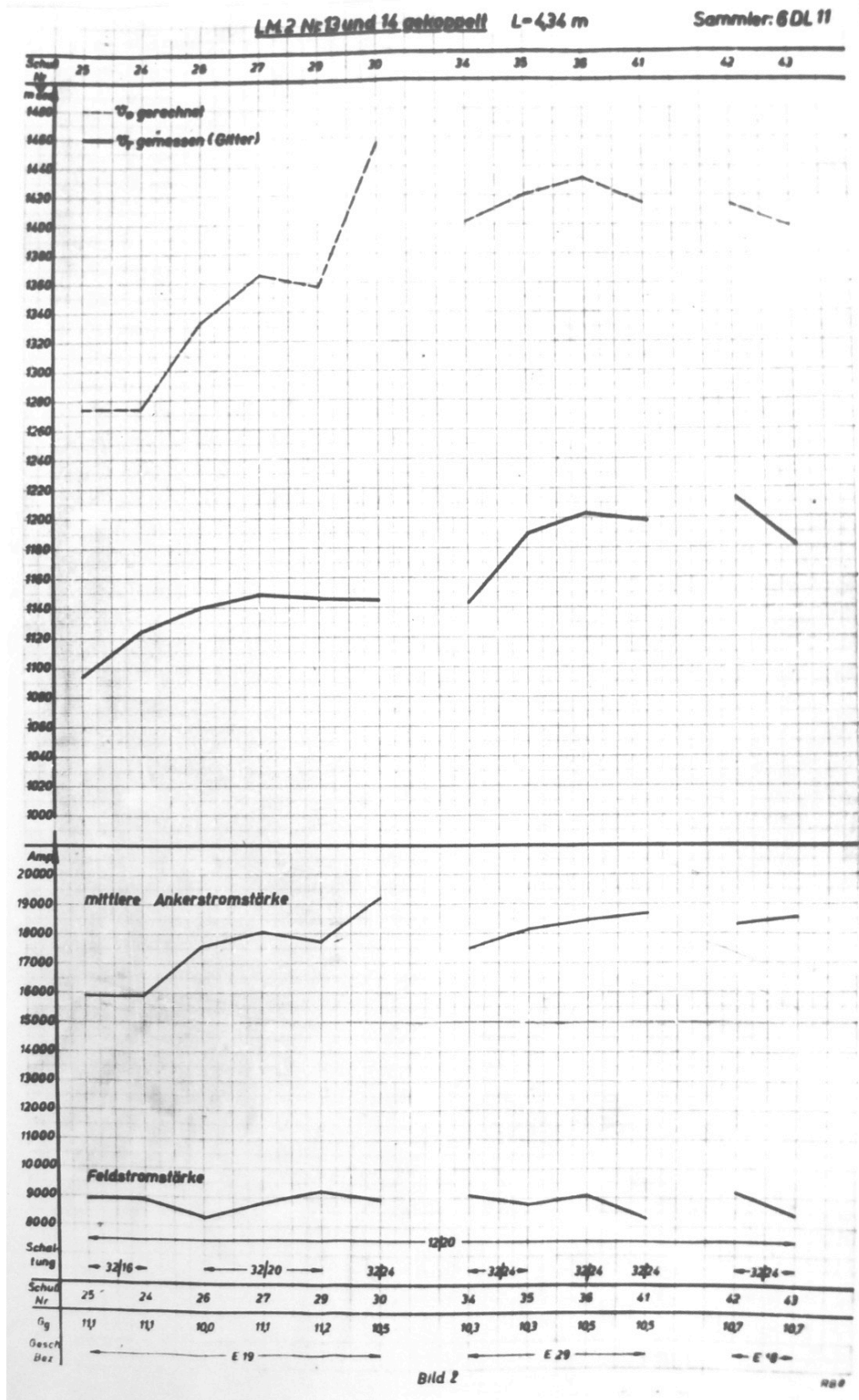
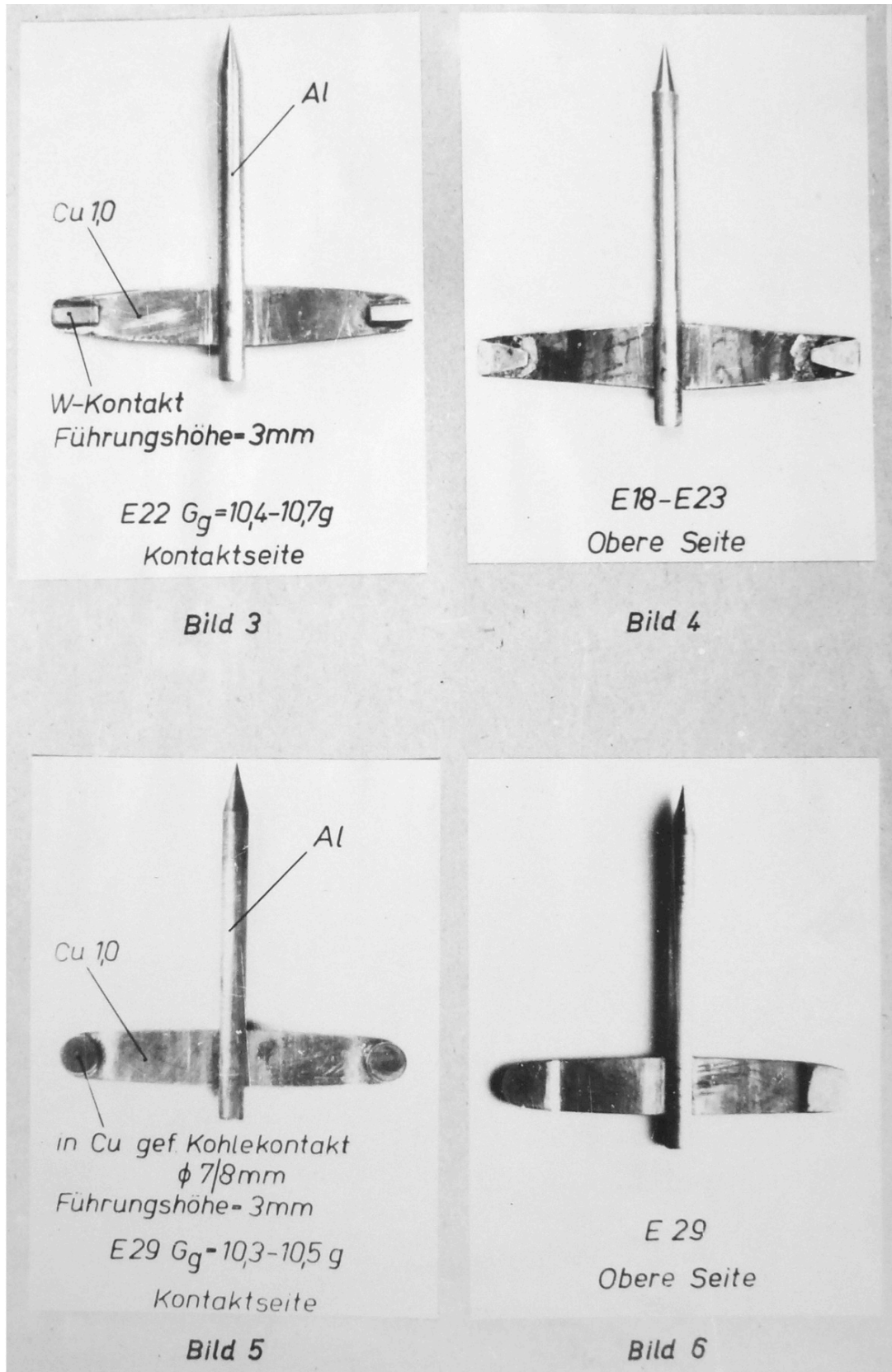


Figure C.152: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.



**NARA RG 319, Entry NME-82A,  
Box 15, Folders OB-27 and OB-28**

Figure C.153: Part of Joachim Hänsler's 1945 reports on the development and testing of electromagnetic railguns.



May 1944 U.S. intelligence summary [AFHRA 25216 electronic version p. 423]

HEADQUARTERS  
MEDITERRANEAN ALLIED AIR FORCES  
Target Intelligence Section  
APO 650

COUNTRY POLAND Location & Coord:  
LOCALITY POSEN  
TARGET **Seven unidentified factories**  
CATEGORY SECRET WEAPONS SUB CATEGORY **Electromagnetic Rocket**

I. SUMMARY OF CURRENT INTELLIGENCE

The apparatus is in course of being perfected and is under research by the Electric Research Society of Van Arden [[Manfred von Ardenne](#)]. (OSS. B-3 6/900 R.G. 22.5.44)

Manufacture of electrical part will be transferred from Siemens & Halske at Siemenstadt, suburb of Berlin (Factory destroyed) to the annex of Posen. Moving has been set for 22.4.44. (OSS 21.4.44)

**Secret Weapons: Electromagnetic Rocket. 31 May 1944. [AFHRA 25193 No. 2641 Posen]**

ALGIERS, 31 May 1944

D. G. S. S.  
DIRECTION TECHNIQUE  
S.R. "OPERATIONS"

Source: Good  
Value: B.3  
Date: 16 May 1944

No. 7280 /R.G.

INFORMATION  
FRANCE

SECRET WEAPONS

ELECTROMAGNETIC ROCKET

ELEKTROMAGNETISCHE RÜCKSTOSSRAKETE

(Reference Note No. 6.900/R.G. of 22 May 1944).

This rocket is under research by the Electric Research Society of Von Arden [[Manfred von Ardenne](#)].

The apparatus is in course of being perfected, its manufacture is being carried out on seven factories of Posen. Launching emplacements have been completed. The wave length used is 2 m 40.

ELECTROMAGNETIC ROCKET  
ELEKTROMAGNETISCHE RÜCKSTOSSRAKETE

It concerns a rocket of a caliber of 603 mm, launched electromagnetically through a smooth barrel of a length of 8 meters, by the successive cutting off of the current through a coil around the barrel.

The rocket is propelled through regeneration. The closing is controlled by a cathode oscillator loading the condenser blades. The apparatus is under research by Von Ardenne.

The direction of the rocket is controlled by means of ailerons. The principal difficulty is the low speed of the rocket, estimated at 150 m/sec at the exit of the barrel, which makes it subject to atmospheric disturbances.

The construction controlled by the Navy is carried on in two groups:

- 1) Mechanical part: Barrel and rocket by MAGIRUS at Ula.  
 Electrical part: by Siemens Schuckert at Nuremberg.  
 This group has only been working for a few months.
- 2) Mechanical part: by Borsig at Borsigwald -Berlin-. Factory destroyed, manufacture transferred to Schwartzkoff, turbine constructor (in the suburb of Berlin) not yet ready. Electrical part: by Siemens & Halske at Siemensstadt, suburb north of Berlin. Factory destroyed—manufacture will be transferred to the annex of Posen. Moving has been set for the 22nd of April 1944.

Electrical control material: constructed by the research group Von Ardenne, is in course of being transferred to Posen.

Rocket ailerons are constructed by Karl Mahr at Esslingen (Württemberg).

Precision material necessary for the equipment of the factories is collected in France for a total of 120 million francs at the official rate.

[In some of Igor Witkowski's books, he published an archival document that was an English translation of French intelligence reports from February 1944 [Witkowski 2010, pp. 129–131, and 2013, pp. 93–94]. See Figs. C.154–C.156. The document summarized several somewhat contradictory and garbled French intelligence reports, but they described French coastal emplacements for very large electromagnetic railguns with powers up to “10,000 kilowatts.” The document may be related to the above French intelligence report. Witkowski did not give an archival source for the document in his books. Can the archive and archival location be identified?

Collectively these reports appear to demonstrate that during the war, electromagnetic railguns had moved beyond the stage of simple experiments. Very large railguns were being mass-produced in several factories, and sites were being built to house and power them on the battlefield.]

TRANSLATION

SF 7196

Date of { Feb. 44  
 { 5 Mar 44  
 { Diffusion: 8/3/44

GERMANY ARMY  
 FRANCE  
 Various Information - Secret Weapon

Previsions on the characteristics of Guns and Shells.

3 Feb 44

We were able to show the outline of the "secret weapon" gun to an officer of the "Preparation of Terrain", who participated in the installation operations for these guns. He confirmed the exactitude of the outline, but as to the caliber of the rocket grenades, he thinks that they are 700 millimeters.

The grenade: man's height.

7 Feb 44

The rocket shell placed on a car crosses a tunnel about 3 kilometers long. (in concrete). The attraction is effected by an electromagnetic system. The power for the launching of the shell is that of 7,000 kilowatts, raised to 10,000 kilowatts. The tunnel exist is inclined at a 50° angle.

Contrary to everything we have previously said, the container is propelled with the shell; the latter detaches itself only after it has been ejected.

Many accidents and breakdowns are caused by magnetic fields formed in the tunnel.

Diameter of the shell: 650 - weight: 13 tons of which 8 tons are explosives.

(During the construction, the excavations were camouflaged and painted in green.)

9 Feb 44

We are concerned with a gun, firing shells which functions not by flashes or explosion, but by emission of cold wave - reaching 160°.

About 100 guns have already been set and numerous emplacements are being arranged.

(These guns will only be used in case of debarkation).

Intelligence on New Weapon Emplacements in the Hilly North Section.

CONFIDENTIAL

Figure C.154: English translation of French intelligence reports from February 1944 describing French coastal emplacements for very large electromagnetic railguns with powers up to "10,000 kilowatts" [Witkowski 2010, pp. 129-131, and 2013, pp. 93-94].

Cleaned from a train conversation with a workman, employed by the Germans, 3 large operations (secret weapon) are in progress, in the Cherbourg vicinity: At Vilognes, Couville and Martinvast.

11 Feb 44

From a conversation held at Woissac with the workers, it appears that all along the coast from the cape of the Hague to Frouville there are being constructed platforms of reinforced concrete destined to received pieces of long range artillery. According to one of the workers who seemed to be chief of the crew, or a foreman, these platforms have a surface of 100 square meters, the lower portion is arranged in strong rooms (3 or 4), intended to receive the munitions, a command post and, in the case of the largest, probably an electro-gun group, since all this has to do with an electric cannon capable of bombing the English coast and a considerable distance inland.

Allied airplanes come frequently to bomb and destroy some of these works, which must be reconstructed at top speed. To accomplish this the occupying authorities offer 19 Francs, 90 centimes an hour to the workers, who are volunteers for the city and port of Cherbourg.

It is estimated that there is a layer of 6 meters 50 of reinforced concrete on top of each strong room.

24 Feb 44

We are concerned with a provisional gun, electrically charged and fired. The barrel alone is 48 meters long. It launches a projectile having a diameter of from 30 to 35 centimeters, and a length of 4 meters and a weight of 450 kilograms. Range: 240 kilometers. Firing cadence: 1 shot every 30 or 45 seconds. The bore of the barrel which serves at the same time for the propulsion, is changed during a 3 hour delay.

These guns are in shelters, 120 to 450 meters, having a pyramidal or ovoidal roofing - very thick. The gun placed at ground level having only the battlement embrasure uncovered.

In the interior are found:

Central Electric Power Station and  
Munitions Depot,

There is no detonation, only a sowing announces the departure.

Many guns are set up. German industry is making a considerable effort to multiply their numbers.

In Calais and its vicinity, the Germans blow up the fortifications they had constructed. They have prepared for the flooding of this territory in the case of an invasion.

Figure C.155: English translation of French intelligence reports from February 1944 describing French coastal emplacements for very large electromagnetic railguns with powers up to "10,000 kilowatts" [Witkowski 2010, pp. 129-131, and 2013, pp. 93-94].



28 Feb 44

An informer who helped build many emplacements for shell launching rockets, claims that there are 38 of these between Dieppe and Dunkerque.

These apparatuses comprise of a hole more or less inclined of a diameter and depth X, in which a coating of concrete is poured, in this shell is installed a guide (not of the gun) which brings about the firing of the rocket shell.

This rocket shell, weighing 5 tons at departure, comprises of 4 tons of explosives on arrival at target (1 ton serving towards the engine propulsion). Its range is 400 kilometers approximately, the levelling deviation course is that of 10 kilometers - launching rockets which cannot be oriented.

An underground casemate - containing projectiles, is constructed under each rocket thrower.

#### Q-2 Comment:

Report consists of conglomerate facts poorly expressed and arranged and for the most part a probable

Special attention however is invited to following extracts:

1. Under date of 7 Feb.: Tunnel e it is inclined at a to degree angle. Weight of shell 13 tons on which 8 tons are explosives.

2. Under date of 8 Feb.: large site at Martinvast and supply site at Valognes are noted. Couville is often quoted with reference to Martinvast as it is the nearest town of fair size.

3. Under date of 24 Feb.: Firing cadence: 1 shot every 30 or 45 seconds—replacable bores.

The extract data listed above are not to be accepted as true, but represent the more important statements in the report. They should be weighed and compared with more credible information.

**Brendan Borrell. Electromagnetic Railgun Blasts Off. *Technology Review*. 6 February 2008. [<https://www.technologyreview.com/2008/02/06/128211/electromagnetic-railgun-blasts-off/>]**

A supersonic bullet is fired with a record-breaking 10 megajoules of muzzle energy.

Last week at the Naval Surface Warfare Center, in Dahlgren, VA, a seven-pound bullet emerged from a truck-sized contraption at seven times the speed of sound and sent a visible shockwave through the air before crashing into a metal bunker filled with sand. With 10.6 megajoules of kinetic energy, this aluminum slug was propelled not by explosives but by an electric field, making this the most powerful electromagnetic railgun ever fired. The device is part of the navy's railgun development program.

While propellant-driven shells have been mainstays of naval warships for the past hundred years, the cost and safety issues related to storing explosive materials have driven engineers to seek alternatives like the electromagnetic railgun. "There are physical limits to what you can do with gunpowder," says Charles Garnett, the manager at Dahlgren, referring to the maximum velocities that explosions can produce. A railgun could eventually send a 40-pound slug 200 miles in six minutes—10 times the range of the navy's primary surface support gun, the MK 45—and it could be used to support Marine troops engaged in land-based operations.

"A lot of people think a railgun is not going to make a lot of noise," Garnett says. "It's electrically fired, and they expect a whoosh and no sound." In reality, when the bullet emerges, it lets out a crack as electricity arcs through the air like lightning.

The railgun gets its name from two highly conductive rails, which form a complete electric circuit once the metal projectile and a sliding armature are put in place. When current starts flowing through the device, it creates a powerful electromagnetic field that accelerates the projectile down the barrel at 40,000 gs, launching it in a matter of milliseconds. Aerodynamic drag along with a million amps of current heats the bullet to 1,000 °C, igniting aluminum particles and leaving a trail of flame in its wake. The researchers estimate the muzzle energy based on the mass and velocity of the bullet in the barrel and from precisely timed x-ray snapshots during flight.

"What's important," says Garnett, "is that this is the first step on the way to building a tactically viable system with 64 megajoules of energy." [...]

U.S. Navy. 2008. [[https://www.navy.mil/view\\_image.asp?id=54942](https://www.navy.mil/view_image.asp?id=54942)  
<https://fortune.com/2016/05/31/navy-new-railgun-military/>  
<https://taskandpurpose.com/news/navy-electromagnetic-railgun-dead/>]



080131-N-0000X-001

DAHLGREN, Va. (Jan. 31, 2008) Photograph taken from a high-speed video camera during a record-setting firing of an electromagnetic railgun (EMRG) at Naval Surface Warfare Center, Dahlgren, Va., on January 31, 2008, firing at 10.64MJ (megajoules) with a muzzle velocity of 2520 meters per second. The Office of Naval Research's EMRG program is part of the Department of the Navy's Science and Technology investments, focused on developing new technologies to support Navy and Marine Corps war fighting needs. This photograph is a frame taken from a high-speed video camera. U.S. Navy Photograph

Figure C.157: Test firing of a modern railgun by the U.S. Navy in 2008.

**BAE Systems. 2013. Electromagnetic (EM) Railgun.**

[<https://www.baesystems.com/en/product/electromagnetic-em-railgun>]

We are honored to lead the way in the development of the Office of Naval Research (ONR) Electromagnetic (EM) Railgun Innovative Naval Prototype.

This fascinating technology, which uses high-power electromagnetic energy instead of explosive chemical propellants to launch projectiles farther and faster than any previous system, is currently in Phase 2 of the program. During this phase, we will advance the railgun by maturing the launcher and pulsed power from a single shot operation to a multi-shot capability. Auto-loading and thermal management systems will also be incorporated. We received a \$34.5M contract from ONR in 2013 to pursue these efforts.

“We’re committed to developing this innovative and game changing technology that will revolutionize naval warfare,” said Chris Hughes, vice president and general manager of Weapon Systems at BAE Systems. “The Railgun’s ability to defend against enemy threats from distances greater than ever before improves the capabilities of our armed forces.”

On December 10, 2010, the U.S. Navy made history at the Naval Surface Warfare Center-Dahlgren Division with our Laboratory Railgun. A 33-Megajoule shot was fired, the energy equivalent of 110 nmi range. In 2012, during Phase 1 of the INP program, engineers at the Naval Surface Warfare Center successfully fired our EM Railgun prototype at tactical energy levels.

Not content with just merely building the launch platform, We are also pursuing the development of a Hyper Velocity Projectile (HVP). In late 2013, we received a \$33.6 million contract from ONR to develop and demonstrate a HVP—a next-generation, guided projectile capable of completing multiple missions for the Electromagnetic Railgun, as well as existing 5-inch and 155-mm gun systems.

[Even nowadays, electromagnetic railguns are considered to be a high-tech “weapon of the future.” The best modern railguns are essentially just larger versions of Joachim Hänsler’s and Manfred von Ardenne’s 1944–1945 devices, and can now fire projectiles at approximately twice the velocity of Hänsler’s wartime railguns. Since Hänsler’s (and perhaps von Ardenne’s) detailed technical reports and even some of his equipment were brought back to the United States by the Alsos Mission, CIOS, and other teams of investigators in 1945, it appears that such modern railguns are directly derived from the wartime German work.

Much more archival research should be conducted to elucidate the history of electromagnetic railguns in the German-speaking world, as well as the impact of those innovators and innovations on postwar electromagnetic railguns in other countries.]