

Annotierte Transkription eines Typoskripts von Hugo Watzlawek (1912-1995) über „Interatomare Energie“, datiert 31. Oktober 1944, aus dem Nachlass von Rudolf Tomaschek (1895-1966)

Annotiert von Klaus Hentschel (Abteilung für Geschichte der Naturwissenschaften und Technik, Universität Stuttgart)

Transkribiert mithilfe von Ann M. Hentschel

Ausführlich kommentiert und kontextualisiert in einem Aufsatz von Klaus Hentschel: „Der Neue Weg“: Mit „interatomarer Energie“ zum „Herrn der Welt“ werden. Zu einem bislang unbekannten Typoskript vom Oktober 1944, online und im Druck erschienen in der Zeitschrift *NTM. Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 28 (2020)  
<https://doi.org/10.1007/s00048-020-00241-z>

/S. 0/

**Interatomare Energie.**<sup>i</sup> Technische Hochschule München, Physikalisches Institut /S. 1/<sup>ii</sup>

I. Problemstellung.

1. Notwendigkeit
2. Möglichkeiten
3. Zwei Ziele:
  - a) Energiebefreiung
  - b) Energiestapelung

II. Geschichtliches.

III. Eigenschaften der Spaltungsreaktionen.

1. Binäre und ternäre Spaltung. Anregungen.
2. Energie- und Massenverhältnisse bei der Spaltung durch Neutronen. Energie/Spaltung.
3. Strahlungen, die bei der Spaltung auftreten.
  - a) Neutronenemission
  - b)  $\beta$ -Emission.
  - c)  $\gamma$ -Emission
4. Zerfallsschemen.
5. Anzahl befreiter Neutronen/Spaltung.
6. Kettenreaktionen. Hindernde Fragmentelemente. Beispiele.
7. Isotropie und Anzahl Spaltungen/Gewichtseinheit eines Uranisotops.
8. Andere spaltbare Elemente.
9. Experimenteller Nachweis der Spaltung.

IV. Technisch wichtige Umrechnungen.

V. Weg zur technischen Verwirklichung der Kettenreaktion.

1. Zyklotron- und Neutronröhren-Technik.
2. Höhenstrahlung-Kernphysik.

VI. Anwendungsmöglichkeiten der technischen Verwirklichung der Kettenreaktion. /S. 2/

1. Friedliche Ziele.
  - a) Kraftwerke
  - b) Volksheizung
  - c) Licht- und Beleuchtungstechnik
  - d) Medizin
2. Rüstung.
  - a) Luftwaffe
  - b) Marine
  - c) Heer

VII. Der neue Weg. Mittel.

VIII. Literatur. /S. 3/

# Interatomare Energie.

## I. Problemstellung.

### 1. Notwendigkeit.

Die Technik des Motoren- und Raketenbaues ist heutzutage an der Grenze, die kommen musste, da nämlich die üblichen chemischen Reaktionen als Energiequellen nicht ausreichen, bereits angelangt.<sup>iii</sup> Es ergibt sich somit die zwingende Notwendigkeit, nach anderen Energiequellen zu suchen. Die bisher benützten chemischen Reaktionen gründen sich auf die Vorgänge in der Elektronenhülle des Atoms und auf den molekularen Aufbau von Verbindungen als energiespendende Kraftzentren. Bei einer chemischen Reaktion erhält z.B. ein beteiligtes Atom etwa die Energie von 1 bis 5 eV.<sup>1</sup> Eine lohnende Neuentwicklung kann nur darauf hinausgehen, dass den einzelnen Atomen oder Molekülen eine Energie von mindestens einigen Hundert bis Tausend eV oder mehr erteilt wird.

### 2. Möglichkeiten.

Die sich nun bietenden Möglichkeiten sind hauptsächlich doppelter Natur. Entweder begnügt man sich mit einer Zwischenlösung, oder man fasst das Problem an der Wurzel.

a) Zwischenlösung: Man benützt zwar immer noch die chemischen Reaktionen als Energiespender, aber man konzentriert die Freiwerdung der Energie derart, dass beim Entladungsvorgang ein Atom viele eV Energie erteilt bekommt. Das kann z. B. dadurch geschehen, dass man in einem entsprechend gebauten Raketenofen Stahldampf erzeugt, der einen<sup>iv</sup> einige Zehnerpotenzen grösseren Schub<sup>2</sup> erteilt, als die gewöhnlichen Gasmischungen. /S. 4/

b) Direkte Lösung: Sie ergibt sich von selbst beim weiteren Studium der Materie und der sie bewegenden Kräfte. Es ist hierbei vor allem den Erfahrungen und Erkenntnissen zweier neuer, äusserst bedeutsamer Wissensgebiete der Kernphysik und Kernchemie besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Kernphysik lieferte das Ergebnis, dass die Hauptmasse und Hauptenergie eines Atoms, in seinem von der Elektronenhülle umgebenen Kern aufgespeichert ist. Die Kernchemie ergab die Tatsache, dass zwischen verschiedenen Elementen sog. Kernreaktionen stattfinden, d.h. also, dass die als stabil betrachteten Elemente, ineinander umgewandelt werden können. Die bei Kernprozessen umgesetzten Energien sind etwa 6 Zehnerpotenzen grösser als bei chemischen Umwandlungen, also MeV statt eV. Diese grossen Energiemengen, die bei Kernumwandlungen frei werden, legen klar die ausserordentliche, technische Bedeutung der Kernphysik dar. Allerdings ist bis heute die Umwandlung grösserer Mengen der Elemente und dadurch die Freimachung grosser Energien nicht gelungen.

Einen wesentlichen Fortschritt bringt nur eine selbst fortschreitende Reaktion nach Art einer Lawine, wobei pro Kernprozess mindestens 10 bis 20 mal mehr Energie frei wird als bei den gewöhnlichen Reaktionen. Wie wir

---

<sup>1</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 3] 1 eV = kinetische Energie eines Elektrons, das ein Spannungsgefälle von 1 V durchfällt. Umrechnungen s. S. 23.

<sup>2</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 3] Impuls =  $\sqrt{2E/g}$  nach E. Senger (Raketenflugtechnik, S. 65-67, R. Oldenbourg, München, 1933).

noch sehen werden, existiert diese Reaktionsart, bisher allerdings nur in Laborversuchen, die die Verwirklichung folgender zwei Ziele nahe rückt.

### 3. Zwei Ziele.

Die technische Kernphysik bietet auf Grund der vorhin erwähnten selbst fortschreitenden Reaktion, die auch Kettenreaktion genannt wird, zwei lohnende Ziele für die weitere Forschung und die darauf zu gründende moderne Technik. Diese Ziele sind folgende:

a) Energiebefreiung. Werden pro Reaktionsprozess im Mittel Hundert MeV frei, dann bietet der lawinenmässige, selbstfortschreitende Verlauf der Kettenreaktion die Möglichkeit, in technisch grossem Masstabe Energie unvorstellbar grossen Betrages auf kleinem Raume zu erzeugen. /S. 5/

b) Energiestapelung.<sup>3</sup> Benützt man diese Kettenreaktion und die daraus sich ergebenden Energien zur Erzeugung intensiver  $\gamma$ -Strahlung, so bietet sich ein neues, grossartiges Problem, nämlich das der Energie Stapelung. In  $\gamma$ ,n-Prozessen ganz bestimmter Elemente werden Kernniveaus ohne Ausstrahlung angeregt. Erst bei einem bestimmten Auslösevorgang wird dann so viel Energie/Zeiteinheit freigemacht, wie beabsichtigt ist. Hierdurch wäre die Energiestapelung zu  $10^6$  Joule/dm<sup>3</sup> möglich, was die ideale Lösung des Akkumulator-Problems darstellen würde.

## II. Geschichtliches.<sup>v</sup>

Nach der Entdeckung des Neutrons durch Irene Curie, F. Joliot und Chadwick im Jahre 1932, untersuchte E. Fermi bei einer grossen Anzahl von Elementen, die durch Neutronenbestrahlung in ihnen erzeugte, künstliche Radioaktivität. Die Schule von O. Hahn und Mitarb. in Berlin-Dahlem versuchte nun in jahrelanger Arbeit durch Beschuss von Uran I die sog. radioaktiven Transurane mit einer Ordnungszahl  $> 92$ -97 herzustellen um auf diesem Wege zu einem äusserst brisanten Sprengstoff zu gelangen. Dieser Transuranmode stellte sich J. Noddak<sup>4</sup> entschieden entgegen, indem sie im grossen und ganzen die Bildung der Transurane bestritt und vielmehr die spontane Zerplatzung des Urankerns unter der Einwirkung der Neutronen vorhersagte.<sup>vi</sup> Leider fand J. Noddak durch O. Hahn und Mitarb. eine entschiedene Ablehnung ihrer Vorhersage. Schliesslich fanden O. Hahn, F. Strassmann<sup>5</sup> doch, dass die angenommenen Zerfallsreihen als Homologe des Bariums nicht Isotope von Radium sondern von Barium selbst sind. Hierdurch war der Nachweis der Uranspaltung in Barium und Krypton erwiesen. Sie machten das Isotop  $U_{92}^{238}$  für den Vorgang verantwortlich, da es durch Neutroneneinfang in das zerfallende Isotop  $U_{92}^{235}$  übergeht. Wir werden noch sehen, dass noch andere Isotope des Urans wesentlich wichtiger sind, d.h. dass bei ihnen die Kernzerplatzung häufiger auftritt. /S. 6/

Seither wurde in allen kernphysikalischen Laboratorien der Welt am Problem der Energiebefreiung aus Uran fieberhaft gearbeitet. Die „New York Times“ vom 5.5.1940 berichtet in ihrem Leitaufsatz,<sup>vii</sup> dass alle

---

<sup>3</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 5] H. Watzlawek (ETZ 63 (1942) 591, 592).

<sup>4</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 5] J. Noddak (Angew. Chemie 47 (1934) 654).

<sup>5</sup> [Im Original: Fußnote 3 auf S. 5] O. Hahn, F. Strassmann (Naturw. 26 (1938) 766; 27 (1939) 11, 163; Abh. d. Preuss. Akad. d. Wissensch., Berlin 1939; Phys. Z. 40 (1939) 673).

amerikanischen Wissenschaftler von Rang, zusammen mit den Nobelpreisträgern N. Bohr, E. Fermi, H. L. Anderson in Verbindung mit den tadellos ausgestatteten amerikanischen Industrielaboratorien an der Lösung dieses Problems arbeiten, um sog. „Uranbomben“ noch in diesem europäischen Krieg in Anwendung bringen zu können.<sup>6</sup>

Ferner wurde auch darauf hingewiesen,<sup>viii</sup> dass die Nutzbarmachung der in diesem furchtbaren Sprengstoff enthaltenen atomaren Energie für den Antrieb von Fahrzeugmotoren in den nächsten Jahren gelöst werden wird, da die ersten Schritte hierzu bereits getan seien.<sup>7</sup>

Selbst führende Politiker hatten mit dem führenden Kernphysiker der USA, J. R. Dunning im Weissen Hause Besprechungen, die die Verwendung der neuen Entdeckung für militärische Zwecke zum Gegenstand hatten.<sup>ix</sup> Das von Prof. A. O. Nier entwickelte Verfahren<sup>x</sup> zur ergiebigen Gewinnung des betreffenden Uranisotops wurde zum militärischen Geheimnis erklärt und bleibt nur der Regierung der U.S.A. zugänglich.

Mit Prof. G. Joos<sup>8</sup> können wir sagen:<sup>xi</sup>

„Die Selbstbeschleunigung des Prozesses durch die entstehende Reaktionswärme, also die Fortpflanzung der Explosion, muss existieren, nur durch ihn ist erklärbar, dass die Sonne trotz der ungeheuren Verluste, welche sie durch Ausstrahlung von Energie erleidet, nicht längst erkaltet ist. Man kann ruhig sagen, dass der, der dieses Problem löst, der Herr der Welt sein wird. Dann werden Projekte, über die wir bei den heutigen Mitteln lächeln, wie der Raketenflug in den Weltraum, mit einem Schlag ausführbar. Aber diese Lösung fällt nicht vom Himmel, sondern erfordert eine unendlich mühsame, nicht ungefährliche Laboratoriumsarbeit. Es ist daher eine gefährliche Kurzsichtigkeit, wenn man die Atomforschung als weltfremd abzutun sucht, weil sie nicht für den Augenblick greifbare /S. 7 / Resultate liefert. Stets galt noch der Satz, dass die Physik von heute die Technik von morgen ist.“

Es ist also wert, das vorliegende physikalische Problem mit allen Mitteln und mit grösster Energie bereits jetzt unverzüglich in Angriff zu nehmen.<sup>9</sup>

### III. Eigenschaften der Zerplatzungsreaktionen.

Um über die Möglichkeit der technischen Verwirklichung des oben geschilderten Prozesses etwas genauer urteilen zu können, wollen wir nun die wesentlichsten Merkmale der Zerplatzungsreaktionen besprechen.

Unter Spaltungsreaktion versteht man eine solche, bei der ein Kern, in den ein Teilchen eindringt, in zwei Bruchstücke etwa gleicher Masse zerplatzt. Es ist zu erwarten, dass diejenigen Kerne, die der natürlichen Stabilitätsgrenze benachbart liegen, spaltbar sind.<sup>10</sup> Das Experiment hat dies bestätigt und ergeben, dass vor allem die Elemente Th, Pa und U bei Neutronenbeschuss spaltbar sind.

---

<sup>6</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 6] C.P. Snow (Discovery 18 (1939) 443), s.a. (Discovery 19 (1939).

<sup>7</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 6] D.W.F. Mayer (Discovery 18 (1939) 459).

<sup>8</sup> [Im Original: Fußnote 3 auf S. 6] G. Joos (Physik und Energiewirtschaft, S. 10, G. Fischer, Jena 1934).

<sup>9</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 7] E. Fermi (Electrical Engineering 59 (1940) 57).

<sup>10</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 7] N. Bohr, J.A. Wheeler (Phys. Rev. 56 (1939) 426).

## 1. Binäre und ternäre Spaltung. Anregungsarten.

Der mit Neutronen beschossene Kern kann sich binär oder ternär teilen, wobei die binäre Teilung viel häufiger ist. Dementsprechend sind auch die Massen- und Energieverhältnisse, wie noch ausgeführt wird. Ausser Spaltung durch Einwirkung von Neutronen kennt man auch Spaltung durch Einwirkung von Deuteronen und Protonen sowie mittels  $\gamma$ -Strahlen die sog. Photo-Spaltung. Deuteronen nicht allzu grosser Energie können mit Kernen hoher Ladung durch Polarisierung und Dissoziation der Neutron-Proton-Bindung reagieren, wobei das Neutron absorbiert und das Proton evt. zurückgestossen wird. Nur dann, wenn sich die Energie des Deuterons dem Werte 10 MeV nähert besteht die Möglichkeit, dass es als Ganzes eingefangen wird, was zur Bildung eines Zwischenkerns mit der Anregungsenergie der Grössenordnung

$$E_d + 2E_n - J \sim E_d + 10\text{MeV} \dots (1)$$

führt, worin bedeuten:

$E_d$  = Energie des Deuterons;

$E_n$  = Bindungsenergie des Neutrons im Produktkern; /S. 8/

$J$  = Dissoziationsenergie des Deuterons.

Im Bereich der Deuteronenenergie von 8 bis 9 MeV wächst der Zerplatzungswirkungsquerschnitt  $\sigma_{sp}$  stark an.<sup>11</sup> Die Frage über die Wirksamkeit der  $\gamma$ -Strahlen für die Spaltung ist noch nicht entschieden, obwohl F.A. Heyn, A.H.W. Aton, C.J. Bakker<sup>12</sup> bei Bestrahlung von Uran mittels  $\gamma$ -Strahlen aus dem Li (p, $\gamma$ )-Prozess keine Aktivität beobachteten, denn die Theorie ergibt für den Zerplatzungswirkungsquerschnitt etwa dieselbe Grösse, wie für 6 MeV-Deuteronen, nämlich  $\sim 10^{-27}$  bis  $10^{-28}$  cm<sup>2</sup>. Die wichtigste Anregung ist die durch langsame und schnelle Elektronen.

## 2. Energie- und Massenverhältnisse bei der Spaltung durch Neutronen.

Werden die Elemente Th, Pa und U mittels Neutronen bestrahlt, dann treten fast ausschliesslich binäre Spaltungen auf. Wesentlich ist hierbei, ob man langsame, sog. thermische Neutronen einer Energie von etwa 1/30 eV oder schnelle Neutronen einer Energie grösser als  $10^4$  eV verwendet, da einige Isotopen dieser Elemente auf das Neutronenenergiespektrum selektiv ansprechen.

Nach G. Gamow<sup>13</sup> tritt, ohne dass man zur Erklärung vom Tröpfchenmodell des Kerns Gebrauch zu machen braucht, die Emission eines Teilchens der Ordnungszahl  $Z_1$  aus einem schweren Kern nur dann ein, wenn die bei dieser Zweiteilung freiwerdende kinetische Energie grösser ist als die zu überwindende Potentialschwelle:

$$M(Z)c^2 - M(Z_1)c^2 - M(Z_2)c^2 > \frac{Z_1 Z_2 e^2}{R} \dots (2)$$

worin bedeuten:

$M$  Massen,  $Z_1$ ,  $Z_2$  Ordnungszahlen der Teilkerne

$Z$  Ordnungszahl des Ausgangskerns

$R$  Radius des Ausgangskerns.

---

<sup>11</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 8] R.S. Krishan, T.E. Banks (Nature **145** (1940) 860).

<sup>12</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 8] F.A. Heyn, A.H.W. Aton, C.J. Bakker (Nature **143** (1939) 516).

<sup>13</sup> [Im Original: Fußnote 3 auf S. 8] G. Gamow (Int. Conf. on Physics, London 1934, S. 60).

Wird die durch Gl. (2) gegebene Abhängigkeit als Funktion von  $Z$  aufgetragen, dann ergeben sich zwei Bereiche der Ordnungszahlen der Fragmente, die für die Spaltung günstig sind, u.zw.  $Z_1 = 37$  (Rb) und  $Z_2 = 55$  (Cs), während die symmetrische Spaltung energetisch sehr ungünstig ist.<sup>14</sup> /S. 9/

Freiwerdende Energie / Zerplatzung: Bei der Zerplatzung des U wird ein ungewöhnlich grosser Energiebetrag frei. Diese Energie tritt als kinetische Energie der Fragmentkerne, sowie als Anregungsenergie derselben in Erscheinung.

Der theoretische Wert der freiwerdenden Energie / Zerplatzung, wie er sich auf Grund der Massendefekt-Kurve ergibt, beträgt etwa 200 MeV.<sup>15</sup>

Durch Messung der Wärmetönung, der Reichweite und der Energieverteilung der Rückstosskerne wird experimentell der Betrag der freiwerdenden Energie zu etwa 100 bis 170 MeV bestimmt.<sup>16</sup> Die Differenz vom experimentellen auf den theoretischen Wert wird zur Anregung der Spaltungsfragmente verwendet, die als  $\beta$ -,  $\gamma$ - und Neutronemission in Erscheinung tritt. Die mittlere Gesamtenergie beträgt 150 MeV. Aufspaltungen in gleich schwere Kerne kommen nicht vor wie bereits erwähnt wurde.

Untersucht man die statistische Verteilung der Kerntrümmer mittels Ionisationskammer und Röhrenelektrometer, dann erhält man aus dem Massenverhältnis dasjenige der Energien und umgekehrt. Die grösste und die kleinste vorkommende Teilchenenergie beträgt 110 und 40 MeV. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieser Energien ist jedoch klein.

#### Massen und Energieverhältnisse:

Da der Spaltprozess aller Voraussicht nach nicht einfach sein wird, so hat man statistische Verteilungskurven für die Energien und Massen zu erwarten. Dies wurde vom Experiment<sup>17</sup> bestätigt, wie nachfolgende Kurvendiagramme zeigen:

Die Massenbilanz besteht aus den Massen der Fragmentkerne plus der Masse der beim Zerplatzungsprozess weg dampfenden Neutronen plus Anregungsenergie der Fragmente.

Für die Abhängigkeit der statistischen Teilchenzahl von der Energie der Trümmer ergibt sich Fig. 1 [im getippten Original auf Seite 10]. Das Verhältnis der Maximalenergien beträgt 1,66.

Für die Abhängigkeit der Teilchenzahl von der Grösse der kinetischen Gesamtenergien gilt Fig. 2 [im Original-Typoskript auf Seite 10]. [Figur 1 & 2:]

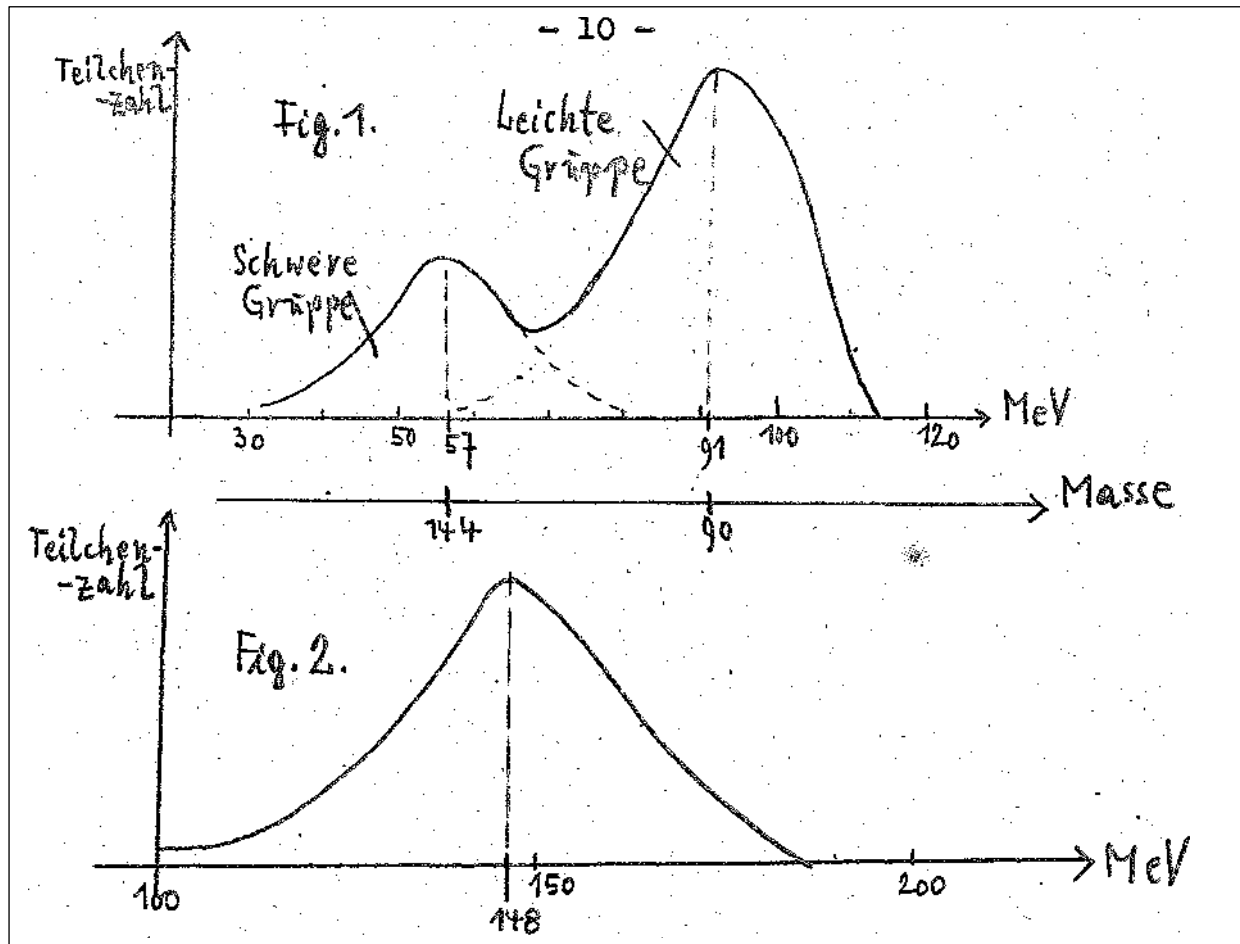
---

<sup>14</sup> [Im Original: Fußnote 4 auf S. 8] G. Beck, P. Havas (C.r. 208 (1939) 1084).

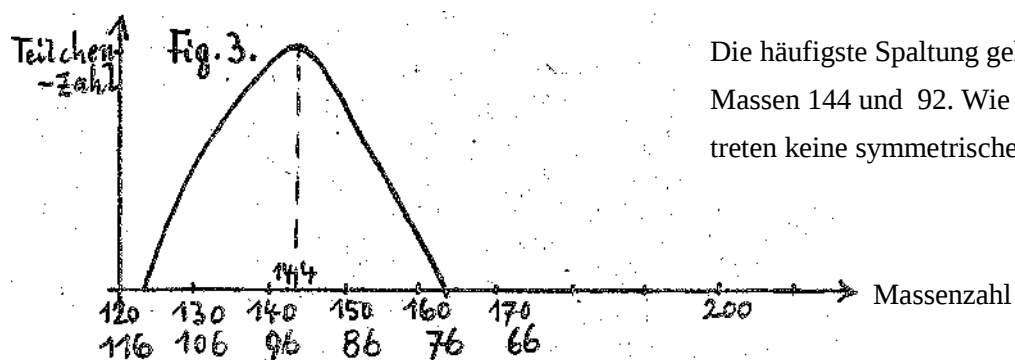
<sup>15</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 9] O.R. Frisch (Nature 143 (1939) 276), H.v. Halban, F. Joliot, L. Kowarski (Nature 143 (1939) 939), F. Joliot (J. Phys. Rad. (7) 10 (1939) 159).

<sup>16</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 9] M.D. Henderson (Phys. Rev. 56 (1939) 703), F. Joliot (C.r. 208 (1939) 341), J. Thibaud, A. Mousser (C.r. 208 (1939) 744).

<sup>17</sup> [Im Original: Fußnote 3 auf S. 9] W. Jentschke, F. Prankl (Z. Phys. 119 (1942) 696-712).



Die grossen Schwankungen der Gesamtenergie sind auf kernphysikalische Ursachen zurückzuführen. Für die Abhängigkeit der Teilchenzahl von den Massen der entstehenden Kernfragmente gilt Fig. 3:



Die häufigste Spaltung gehört zu den Massen 144 und 92. Wie bereits erwähnt, treten keine symmetrischen Spaltungen auf.

Wie die Figuren 1 bis 3 zeigen, muss die Spaltung statistisch in verschiedener Weise innerhalb energetisch möglicher Grenzen stattfinden, d.h. also, man hat mit einer Vielfalt von Spaltungsarten und Fragmentkernen zu rechnen. Bei Aufstellung der Zerfallsschemen wird dies ganz klar werden.

### 3. Strahlungen, die beim Spaltungsprozess auftreten.

Ein Teil der beim Spaltungsprozess freiwerdenden Energie wird, wie bereits erwähnt, zur Anregung der Fragmentkerne verwendet.

Geladene Teilchen sind noch nicht beobachtet worden, d.h. die Ladungs- /S. 11/ bilanz muss noch zutreffen, aber die Massen können wegen der vielen auftretenden Isotopen der Fragmentelemente nicht genau vorher angegeben werden. Die Fragmente sind alle wegen ihres grossen Neutronenüberschusses  $\beta$ -aktiv, sodass die meisten von ihnen nicht primär bei der Spaltung, sondern durch nachfolgenden  $\beta$ -Zerfall entstehen. Wie später noch gezeigt wird, gibt es hauptsächlich nur 7 primäre Spaltungsarten, die zur Komplizierung und zur Erzeugung des statistischen Charakters der gesamten Erscheinung bereits hinreichen.

#### a) Neutronenemission.

Bei der Spaltung des Urans sind zwei Neutronemissionen beobachtet worden. Dies ist durch die Tatsache verständlich, dass das Verhältnis von Neutronen zu Protonen in den Kernen rascher anwächst als die Atomnummer.<sup>18</sup>

- A) Die unverzögerte oder primäre Neutronemission tritt sofort, innerhalb einer sehr kurzen Zeit, bis  $10^{-12}$  sec, nach der Spaltung auf. Die Ausbeute ist 2 bis 3 Neutronen pro Spaltung und ist für die Entstehung der Kettenreaktionen von grösster Wichtigkeit.

Hierfür bietet sich aus dem Vergleich mit dem Tröpfchenmodell<sup>xii</sup> folgende naheliegende Erklärungsweise:

Teilt sich nämlich eine flüssige Masse instabiler Form in zwei kleinere Massen grösserer Stabilität, dann wird im allgemeinen im Zwischenraum, wo die ursprünglich umschliessende Oberfläche auseinandergerissen worden ist, die Bildung winziger Tropfen beobachtet. Die dynamische Erklärung des Spaltungsprozesses ist für einen Kern komplizierter als für eine Flüssigkeitsmasse, aber trotzdem lässt das Tröpfchenmodell des Kerns vermuten, dass man aus dem Kern im Augenblick der Spaltung die Bildung von Neutronen erwarten kann, ähnlich der obigen Bildung der Tröpfchen.

- B) Die verzögerte oder sekundäre Neutronemission, die einige Sekunden nach Beendigung der Neutronbeschussung einer Th- oder U-Scheibe auftritt, kann nicht während des Spaltungsprozesses selbst und auch nicht aus einem während der Spaltung angeregten Fragmentkern, sondern nur aus einem Fragmentkern, der durch seine vorhergehenden  $\beta$ -Zerfälle angeregt worden ist, entstehen. Ist die Neutronbindungsenergie eines Fragmentkerns nur etwas geringer als die totale freiwerdende Energie /S. 12/ der  $\beta$ -Umwandlung, dann ist eine beträchtliche Wahrscheinlichkeit für Neutronemission vorhanden.

#### b) $\beta$ -Emission.

Fast sämtliche Spaltungsfragmente sind  $\beta$ -aktiv. Die Auslösezeit der  $\beta$ -Strahlen beträgt  $< 10^{-6}$  sec und die Untersuchung der Energie der  $\beta$ -Strahlen ergibt, dass bei mindestens 90% aller Spaltungen die  $\beta$ -Energie der primären Spaltungsprodukte  $< 1$  MeV ist. Übereinstimmend mit der Theorie wurde gefunden, dass praktisch keine  $\beta$ -Teilchen mit mehr als 10 MeV-Energie vorkommen. Aus dem primären Spaltungsprodukt entsteht so lange durch  $[\alpha]$ -Emission eine Folge von  $\beta$ -aktiven Elementen, bis ein stabiles Isotop eines Elementes der Folge erreicht ist.

c)  $\gamma$ -Emission. Die Untersuchung der verzögerten  $\gamma$ -Emission mittels Nebelkammer ergab, dass wesentlich mehr

---

<sup>18</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 11] C.Haenny, A. Rosenberg (C.r. 208 (1939) 898).

$\gamma$ -Strahlen während der Zerplatzung als nach einer Verzögerungszeit von 1/2 bis mehreren sec auftreten. Nach 30 sec treten keine  $\gamma$ -Strahlen mit mehr als 2 MeV Energie auf. Als Erklärung für das Entstehen der hochenergetischen  $\gamma$ -Strahlen mit Energien über 10 MeV kann man annehmen, dass sie von einer Mehrfachzerplatzung herrühren, die wiederum auf einen regenerativem oder Kettenprozess zurückzuführen ist.<sup>19</sup>

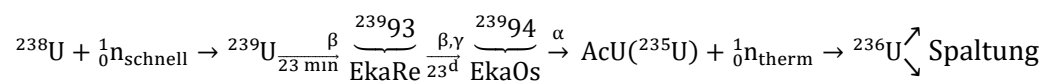
#### 4. Zerfallsschemen.

Um die Erfahrungen der vorigen zwei Punkte zusammenzufassen, und um die Frage nach der Bildung des wirklich zerplatzenden Zwischenkerns zu klären, untersuchen wir die Aktivität des Uran[s] selbst, sowie die Zerfallsschemen.

Vorerst entsteht die Frage, warum in der Natur Elemente mit  $Z > 92$  nicht vorkommen? Die Transurane, wie auch die U-Isotopen  $U^{236}$  und  $U^{237}$  ergeben mit thermischen Neutronen Spaltung und können somit, falls sie früher häufig waren, durch Neutronen in einer letzten Phase der Entwicklung des Sonnensystems zerstört worden sein, da die Neutronendichte in Sternatmosphäre hoch gewesen sein muss, falls die relativen Verhältnisse der verschiedenen Atomarten jene waren, die dem Gleichgewicht bei /S. 13/ hoher Temperatur entsprechen. Die Frage, warum die Zerplatzung des Urans in der Natur nicht schon zu plötzlichen, katastrophalen Energiebefreiungen geführt hat, kann durch das geologische Auftreten der Uranerze erklärt werden, die nie in einer Mächtigkeit auftreten, die mehr als einem cm reinen Urans entspricht, ferner kommen viele, Neutronen wegfangende Verunreinigungen vor.

Bei Anwendung thermischer, d. h. langsamer Neutronen rühren 75% aller Spaltungen von ungereinigtem Uran vom Isotop  $U^{235}$  her, das durch Neutroneinfang den leicht zerplatzenden Zwischenkern  $U^{236}$  bildet. Es ist hierbei von grösster Bedeutung, dass der Auslösevorgang für die freiwerdende Energie von durchschnittlich 150 MeV, nur eines einzigen langsamen Neutrons bedarf, d.h. es genügt, das Uran in Wasser zu legen.

Schnelle Neutronen wirken vorwiegend auf das Isotop  $U^{238}$  und ergeben folgende Zerfallskette bis zur Zerplatzung:

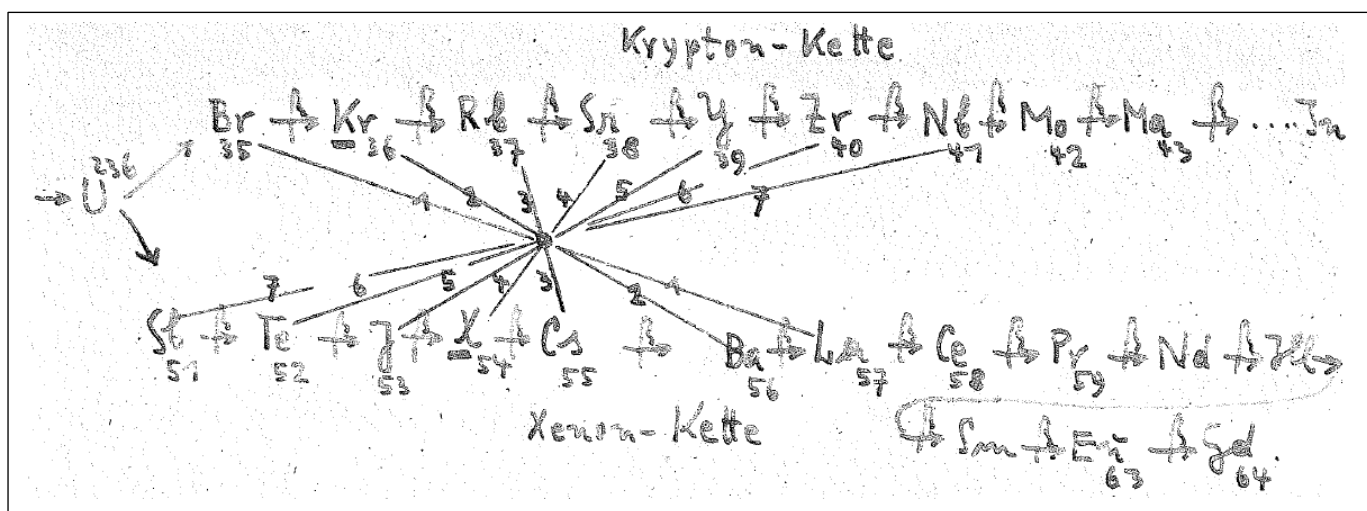


Wie bereits Fig. 1 zeigt, entstehen zwei Fragmentgruppen, u[nd]. zw[ar]. werden sie nach den dabei auftretenden Edelgasen Krypton-Kette oder leichte Gruppe und Xenon-Kette oder schwere Gruppe benannt.<sup>xiii</sup>

Wichtig ist zwischen primär aus der Spaltung entstehenden Fragmentkernen und den aus diesen durch  $[\beta]$ -Zerfall folgenden Ketten-Gliedern zu unterscheiden. Im nachfolgenden Diagramm Fig. 4 sind die möglichen Paare primärer Fragmentkerne durch eine Gerade miteinander verbunden, d.h. es sind bis jetzt 7 mögliche Spaltungsarten nachgewiesen worden. /S.14/

<sup>19</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 12] J.C. Mouzon, R.D. Park (Phys.Rev. 56 (1939) 238).

Fig. 4. Krypton-Kette [Abb. im Original noch auf S. 13 unten]



Jedes dieser primären oder sekundären Fragmentelemente kann in mehreren Isotopen vorkommen, sodass sich eine grosse Mannigfaltigkeit<sup>20</sup> der auftretenden Aktivitäten ergeben. Besondere Aufmerksamkeit müssen wir den in der Xenon-Kette auftretenden seltenen Erden widmen. Verwendet man einen Uran-Phosphor, dann kann man das Linien-Fluoreszenz-Verfahren nach Prof. Dr. R. Tomaschek<sup>21</sup> zum Nachweis der sich plötzlich bildenden seltenen Erden verwenden, wodurch ein ganz bedeutender Schritt in der Nachweisttechnik der Fragmentelemente getan wäre.<sup>xiv</sup>

#### 5. Anzahl befreiter Neutronen / Zerplatzung, = $\nu$ .<sup>xv</sup>

Oben haben wir erfahren, dass mit der Zerplatzung spontan 2 bis 3 Neutronen mit einer mittleren Energie von 2 MeV frei werden. Diese für die ganze weitere Entwicklung des vorliegenden Problems wichtigste Grösse wurde hauptsächlich durch Bestimmung der Dichteverteilung der Neutronen in einer Uranylösung zu 2 bis 3 ermittelt. Eine sehr genaue Messung ergibt  $\nu = 2,3$ <sup>22</sup> und bei Berücksichtigung der Wirkung schneller Neutronen  $\nu = 2,95 \pm 0,5$ .<sup>23</sup> Eine Neutronen-vervielfachung von  $\nu = 6$  ist von J. Rotblat<sup>24</sup> und eine von  $\nu = 8$  von H. v. Halban, F. Joliot, L. Kowarski, F. Perrin<sup>25</sup> beobachtet worden, wodurch der experimentelle Beweis für die Entstehungsmöglichkeit einer Kettenreaktion gegeben ist. Diese pro Spaltung frei werdenden primären oder sekundären Elektronen (s. [Orig.-]S. 11) besitzen eine mittlere Energie von etwa 2 bzw. 1 MeV. Sollten diese Neutronen weitere Spaltungen auslösen, dann müssen deren Geschwindigkeiten auf thermische Geschwindigkeit durch mehrmalige Stösse gegen H-Atome wasserstoffhaltiger Stoffe verlangsamt werden. Hierzu kann Paraffin, Wasser, sowie auch Stickstoff verwendet werden, sodass die Uranatome am besten in diese Stoffe eingebettet werden.

<sup>20</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 14] O. Hahn (Abh. preuss. Akad. d. Wissensch., phys.math. Kl. (1942) Nr. 3). J. Mattauch, S. Flügge (Kernphysikalische Tabellen, S.150; Springer, Berlin 1942).

<sup>21</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 14] R. Tomaschek (Strukturerforschung fester und flüssiger Körper mit Hilfe der Linien-Fluoreszenz-Spektren, in: Erg. d. ex. Naturw. 20 (1942) 268-302).

<sup>22</sup> [Im Original: Fußnote 3 auf S. 14] W.H. Zinn, E. Szillard (Phys. Rev. 56 (1939) 619).

<sup>23</sup> [Im Original: Fußnote 4 auf S. 14] H. Bradt (Helv. Physica Acta 12 (1939) 553).

<sup>24</sup> [Im Original: Fußnote 5 auf S. 14] J. Rotblat (Nature 143 (1939) 852).

<sup>25</sup> [Im Original: Fußnote 6 auf S. 14] H.v. Halban, F. Joliot, L. Kowarski, F. Perrin (J. phys. Rad.(7) 10 (1939) 428).

## 6. Kettenreaktion. Hindernde Fragmentkerne. Beispiele.

Die Ausnützung der ungeheuren Energiereserven der Kerne gelingt nur dann in brauchbarem Ausmass und auf wirtschaftlicher Basis, wenn die Auslösung mit verhältnismässig geringer Energie möglich wird. /S.15/

Hierzu ist unbedingt notwendig, dass die Kettenreaktion auftritt, denn dann läuft die weitere Auslösung wie ein Perpetuum mobile von selbst ab, ohne weitere Auslöseenergie zu benötigen.

Die Regelung der frei werdenden Energie ist bei Verwendung schneller Neutronen sehr schwer, dagegen ist sie bei Anwendung thermischer Neutronen leichter, da sich die Wirkungsquerschnitte durch Temperaturerhöhung ändern, wodurch für die Regelung feste Funktionsbedingungen bestehen. Die Kettenreaktion kann nur in einem System aufrechterhalten werden, worin die Neutronen vorwiegend verlangsamt und fast nicht absorbiert werden.

Am geeignetsten erscheint somit eine Kugel aus  $U^{235}$ , die Paraffin in kolloidalem Zustand zwischen den einzelnen U-Atomen fein verteilt erhält, damit die schnellen Spaltungsneutronen verlangsamt werden. Dieses System würde die Spaltungsfragmente allein als absorbierende Substanzen enthalten, was noch keine zeitliche Steuerung des Reaktionsablaufes ermöglicht, wie später gezeigt wird. Für eine kugelsymmetrische Anordnung mit sehr grossem Radius im Verhältnis zur freien Weglänge der thermischen Neutronen lässt sich die Neutronendichte  $n$  in Abhängigkeit von der Zeit durch die Gleichung:

$$n(x, y, z, t) = n_0(x, y, z, t_0) e^{\lambda(t-t_0)} \dots (3)$$

darstellen, worin bedeutet:  $n_0$  Anfangsdichte zur Zeit  $t_0$ ,  $x, y, z$  Koordinaten,  $t$  Zeit,  $\lambda$  Zeitkonstante.

Ist die Zeitkonstante  $\lambda < 0$ , negativ, dann ergibt sich für alle möglichen Anfangsverteilungen von Neutronen eine Abnahme der Neutronendichte mit zunehmender Zeit, sodass die Neutronervielfachung aufhört, wenn sie nicht von aussen unterstützt wird.

$\lambda > 0$ , positiv, die Neutronendichte nimmt exponentiell zu.

Bevor wir auf die Abhängigkeit der Zeitkonstante von verschiedenen Faktoren näher eingehen, wollen wir einen Vergleich machen, der die Notwendigkeit der Kettenreaktion drastisch darlegt.

Wir nehmen eine Kugel aus Uran, andere absorbierende Kerne seien nicht vorhanden, vernachlässigen die Wirkung der Fragmentkerne, bzw. wir denken sie uns gleich nach deren Entstehung aus dem System herausgeschafft, und wir vernachlässigen ferner den Einfluss der Resonanzabsorption und nehmen eine durch einen Deuteronenstrom von 10 mA mittels der  $D + D$ -Reaktion erzeugte Anfangsneutronendichte von  $5 \cdot 10^9$  Neutronen/sec an. Es seien 2000 g Uranmasse vorhanden. /S. 16/

Zuerst wollen wir den Fall erörtern, dass keine Kettenreaktion zustande kommt.

a) Nichtauftretende Kettenreaktion.

Nach Experimenten ist:

4,4  $\mu\text{g } U^{235}$  ..... 10 Spaltungen/Minute

$$4,4 \cdot 10^{-6} \text{ g U}^{235} \dots\dots\dots 1/6 \text{ Spaltung/sec}$$

$$\frac{2 \cdot 10^3}{4,4 \cdot 10^{-6}} = \frac{4,55 \cdot 10^8}{6} \dots\dots\dots x/6 \text{ Spaltungen/sec} = 0,756 \cdot 10^8 \text{ xvi}$$

$$1 \text{ Spaltung} \dots\dots\dots 150 \text{ MeV} \dots\dots\dots 2,42 \cdot 10^{-12} \text{ mkg}$$

$$0,757 \cdot 10^8 \text{ Spaltungen/sec} \dots\dots 0,7[5]7 \cdot 10^8 \cdot 2,42 \cdot 10^{-12} = 1,83 \cdot 10^{-4} \text{ mkg/sec.}$$

In einer Sekunde wird der Energiebetrag von  $E_1 = 1,83 \cdot 10^{-4} \text{ mkg} = 4,29 \cdot 10^{-7} \text{ kcal}$  freigemacht, der technisch nichts bedeutet.

b) Auftretende Kettenreaktion.

$$n_0 = 5 \cdot 10^9 \text{ Neutronen/sec}$$

$$\lambda = +10^3 \text{ für metallisches Uran}$$

$$n|_{[0]}^1 = 5 \cdot 10^9 \cdot e^{10^3} = 5 \cdot 10^9 \cdot 10^{434} \text{ Neutronen/sec.}$$

Wenn nun so viele Uranatome zum Spalten da wären wie n-Neutronen da sind, dann wäre

$$E_2 = 2,42 \cdot 10^{-12} \cdot n \text{ mkg.}$$

Nun enthält eine Masse von 2000 g aber nur  $5,1 \cdot 10^{24}$  Uran-Atome, d.h. es können also ebenfalls nur  $5,1 \cdot 10^{24}$  Spaltungen auftreten, die aber einen ausserordentlich kleinen Bruchteil einer Sekunde erfordern. Man erhält somit in dieser praktisch unmöglich kurzen Zeit

$$E'_2 = 5,1 \cdot 10^{24} \cdot 2,42 \cdot 10^{-12} = 12,3 \cdot 10^{12} \text{ mkg/Bruchteil einer sec}$$

$$= 2,88 \cdot 10^{10} \text{ mkg/Bruchteil einer sec}$$

Dieser Wert hat prinzipiell physikalische Realität. Wären aber genug Uran-Atome vorhanden, dann erhielte man  $E_2 = 2,42 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^9 \cdot 10^{434} = 12,1 \cdot 10^{431} \text{ mkg/sec.}$

Dieser Wert ist wegen der fehlenden Uran-Atome physikalisch natürlich nicht mehr reell.

Der Vergleich der Werte  $E_1$  und  $E'_2$  legt die ausserordentlich explosive Wirkung und die geforderte Notwendigkeit der Kettenreaktion drastisch dar!

Ausserdem erkennt man, dass die gemachten Annahmen über das Auftreten der Kettenreaktion wohl sehr idealisiert sind, sodass wir nun daran gehen werden, die Abhängigkeit von  $\lambda$  von den einzelnen Faktoren zu untersuchen. Ferner erkennt man, dass die Steuerbarkeit der Reaktion hinsichtlich Zeit und Temperatur schon bei Beginn der Reaktion vorhanden /S. 17/ sein und in Kraft treten muss.

Die Zeitkonstante  $\lambda$  ist eine Funktion folgender Grössen:

$\sigma_{\text{Sp.therm.}}$  = Spaltungsquerschnitt von Uran für thermische Neutronen

$C_u$  = Konzentration an Uran.

$i\sigma_{\text{Abs.therm.}}$  = Absorptionsquerschnitt des Kerns der Art i für thermische Neutronen.

$C_i$  = Konzentration an Kernen der Art i

$\nu$  = mittlere Anzahl freier Neutronen/Spaltung

$\alpha$  = mittlere Wahrscheinlichkeit für ein Neutron, aus dem System vor Absorbierung zu diffundieren

Es ist somit:

$$\lambda = \lambda \left( \frac{\nu \sigma_{\text{Sp.th.}} \cdot C_u}{i \sigma_{\text{Abs.th.}} \cdot C_i} \nu (1 - \alpha) \right) = \lambda(\nu'') \dots (4)$$

$\lambda > 0$  für  $\nu'' > 0$ , dann nimmt die freiwerdende Energie der Kette  $E = N E_0$  ( $N$  = Zahl der durch die Kette verursachten Spaltungen und  $E_0$  = befreite Energie/Spaltung), mit  $N = \nu'' + \nu''^2 + \nu''^3 + \nu''^4 + \dots$  und für  $\nu'' > 1$ , sehr stark mit der Zeit zu.

Ist somit die Zahl der Neutronen, die auf einem Wege, der gleich der freien Weglänge ist, entstehen, gross, dann führt die Betrachtung der Abhängigkeit der Neutronendichte vom Kugelradius, zu einer Integralgleichung gewöhnlichen Typus mit symmetrischem Kern. Hieraus

kann bei gegebenem positivem  $\lambda$ , der für die Kettenreaktion erforderliche Kugelradius in Abhängigkeit von  $\lambda$  dargestellt werden.<sup>26</sup>

Da in Gl. (4) im Ausdruck für  $\nu''$  die Querschnitte für Zerplatzung und Absorption gleichermassen das  $1/v$ -Gesetz ( $v$  = Geschw. der Neutronen) befolgen, so ist  $\nu''$  von der Systemtemperatur unabhängig; und es besteht somit keine Möglichkeit, die Reaktionskette hinsichtlich Temperatur und Zeit zu steuern.

Macht man aber  $\nu''$  von der Temperatur abhängig, was durch Hinzufügung eines Absorbers, wie hydriertes Cd, zur U-Lösung geschieht, wodurch sich Gl. (4) schreibt:

$$\lambda = \lambda \left( \frac{\nu \sigma_{\text{sp.th.}} \cdot c_u}{i \sigma_{\text{abs.th.}} \cdot c_i + \sigma_{\text{Cd}} c_{\text{Cd}}} \nu (1 - \alpha) \right) \dots (5)$$

so sieht man, da  $\sigma_{\text{Cd}} c_{\text{Cd}}$  hinsichtlich Temperatur eine Konstante ist, dass  $\nu''$  mit zunehmender Temperatur abnimmt. Es stellt sich somit für  $\nu'' \leq 1$  eine Gleichgewichtstemperatur ein, und es ist eine Selbststabilisierung des Systems erreicht.<sup>27</sup>

Die beim Spaltungsprozess entstehenden seltenen Erden, wie Sm und Gd, besitzen einen Absorptionswirkungsquerschnitt von  $4700 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$  bzw.  $30\,000 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ . Der Zerplatzungs-wirkungsquerschnitt von  $\text{U}^{235}$  beträgt dagegen nur 400 bis  $500 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ . Das Problem der Nutzbarmachung der bei der Uranspaltung frei werdenden Energie ist erst dann lösbar, wenn es gelingt, alle Fragmentelemente, die hindernd für das Auftreten der Kettenreaktion sind, sofort nach ihrer Bildung aus der Uranmasse zu befreien, ohne dadurch einen zu grossen Verbrauch an  $\text{U}^{235}$  herbeizuführen. Ebenso wird, wie es die Frage nach einem technischen Herstellungsverfahren von  $\text{U}^{235}$  ist, nachher das Problem von fundamentaler Bedeutung sein, die schädlichen Spaltungsprodukte sofort nach ihrer Entstehung zu entfernen.<sup>xvii</sup>

Werden für eine endliche kugelförmige Uranmasse, für den stationären Zustand, d. h. für konstante Reaktionstemperatur, mit Hilfe der Diffusionstheorie die Differentialgleichungen für den Neutronfluss in Abhängigkeit von Radius und Zeit aufgestellt, dann erhält man unter folgenden Annahmen, dass die Wirkungsquerschnitte der Kerne von der Neutronengeschwindigkeit unabhängig sind, dass die Diffusionsquerschnitte gross sind im Verhältnis zu jenen der Absorption und dass ferner die mittlere freie Weglänge der Neutronen im Verhältnis zum Kugelradius  $a$  des Systems klein<sup>xviii</sup> ist, folgende Gleichung:

$$\Delta \Phi + a^2 \Phi = 0 \dots (6)$$

worin bedeuten:  $\Phi$  = Neutronfluss =  $\frac{\text{Neutronendichte}}{\text{mittlere Geschw.d.Neutronen}}$

$a$  = kritische Grösse des Kugelradius für die Entstehung der explosiven Kettenreaktion.

Wird das System mit Hilfe periodischer Wechselwirkung eines eingeführten Absorbers selbst stabilisiert, dann entsteht die Gleichung:

<sup>26</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 17] R. Peierls (Proc. Cambridge phil. Soc. 35 (1939) Teil 4, Seite 610).

<sup>27</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 18] F. Adler, H. v. Halban jr. (Nature 143 (1940) 793).

$$\Delta\Delta\Phi + k_1\Delta\Phi - k_2\Phi = 0 \dots (7)$$

$a^2 =$  mittels  $k_1, k_2$  ausdrückbar;  $R_{\text{krit.}} = \pi/a$ , kritischer Radius. /S. 19/

Die Konstanten  $k_1$  und  $k_2$  enthalten alle Angaben über mittlere freie Weglänge, Wirkungsquerschnitte, Anzahl der betreffenden vorhandenen Atome/cm<sup>3</sup> und der Neutronengeschwindigkeit für schnelle und thermische Neutronen. Man erhält somit z.B. bei Einführung von hydriertem Cd in die Uranmasse U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> bei Zimmertemperatur einen kritischen Radius von 65 cm<sup>xix</sup> und bei 900° C einen von 80 cm.<sup>28</sup> Wird die totale, in der Urankugel frei werdende Energie im Fall der Nichtselbststabilisierung in Abhängigkeit von Wirkungsquerschnitten, Anzahl der betreffenden Atome cm<sup>3</sup> und Neutronenstrom berechnet, dann findet man, dass diese Energie mit steigendem Anfangsneutronenstrom der Quelle zunimmt.<sup>29</sup>

Beispiele nach S. Flügge:<sup>30</sup>

1) Analog zum berechneten Energiebetrag  $E'_2$  ([Orig.-]S. 16) erhält man, falls die Reaktionskette möglich ist, bei der das ganze Uran eines Blockes verbraucht wird, nachstehende Rechnung:

1 m<sup>3</sup> U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ... 4,2 t ...  $3 \cdot 10^{27}$  Moleküle ...  $9 \cdot 10^{27}$  U-Atome

1 U-Atom ... 180 MeV =  $3 \cdot 10^{-4}$  erg =  $3 \cdot 10^{-12}$  mkg/Spaltung

$$E = 27 \cdot 10^{15} \text{ mkg} = \underbrace{1 \text{ km}^3 \text{ H}_2\text{O}}_{10^{12} \text{ kg}} \cdot 27 \text{ km. Diese Energie wird in } 1/100 \text{ sec frei! } 1 \text{ km}^3$$

Wasser wird somit in 1/100 sec 27 km gehoben!

2) Uranmaschine mit 4,2 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> und 280 kg H<sub>2</sub>O und 56 g Cd läuft bei einer stationären Verbrennungstemperatur von 350° C, gleichgültig, wie viel Energie dauernd entzogen wird. Diese obige Energie E wird nun zeitlich steuerbar. Vergleichen wir diesen Betrag  $E = 7 \cdot 10^{10}$  KWh mit der Gesamtleistung der Reichselektrowerke, d. sind die auf mitteldeutscher Braunkohle arbeitenden Grosskraftwerke, deren Gesamtleistung im Jahr 1929 rund  $7 \cdot 10^5$  KW betrug, dann erkennt man, dass diese Uranmaschine die ganze Leistung dieser Kraftwerke für 11 Jahre ersetzt. Für die genaue Durchrechnung eines derartigen Systems, die noch nicht gegeben werden kann, sind weitere Kenntnisse über die Resonanzabsorption und genauere Messungen über die Wirkungsquerschnitte aller fördernden und hindernden Elemente notwendig.<sup>xx</sup> Besonders ist die Kenntnis des zeitlichen Ablaufes der Spaltung und der Entstehung /S. 20/ der seltenen Erden erforderlich, die Neutronen einfangen. Es ist somit noch ein eingehendes Studium der Dynamik des Spaltungsvorganges notwendig, auf dass man die Spaltung selbst schon vor Beginn der Reaktion an so beeinflusst und lenkt, dass hindernde Vorgänge über die Kettenreaktion eben nicht auftreten.

## 7. Isotopie und Anzahl Spaltungen/Gewichtseinheit einiger Uran-Isotope.

<sup>28</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 19] F. Perrin (C.r. 208 (1939) Seite 1573, 1394).

<sup>29</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 19 Ebenda.]

<sup>30</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 19] S. Flügge (Naturw. 27 (1939) 402).

Zur Zeit sind in der ganzen Welt nur wenige  $\mu\text{g}$  von  $\text{U}^{235}$  gewonnen worden.<sup>xxi</sup> Die technische Gewinnung von  $\text{U}^{235}$  im grossen ist eine der Voraussetzungen, dass die U-Maschine in irgend einer Form wirklich entsteht. Für die quantitative Trennung von U-Isotopen kommt nur der Massenspektrograph in Betracht, der wiederum wegen der zu geringen Trennmenge/Stunde für die technische Gewinnung ausscheidet, sofern es nicht gelingen sollte, Ionenquellen von einigen  $\text{m}^2$  Grösse ionenoptisch abzubilden. Wegen der zu geringen Häufigkeit von  $\text{U}^{234}$  gegenüber der von  $\text{U}^{235}$  kommt nur dieses letztere für technische Zwecke in Betracht. Für die technische Gewinnung von  $\text{U}^{235}$  kommt z. B. das Ultra-Zentrifugen-Verfahren in Betracht, da der Trennfaktor der Differenz der zu trennenden Massen proportional ist, und ferner, falls man eine gasförmige Verbindung von U wählt, auch das Trennrohr-Verfahren. Am günstigsten ist es, diese beiden Verfahren miteinander zu koppeln. Auf alle Fälle ist der Erfindung einer für die technische Gewinnung von  $\text{U}^{235}$  brauchbaren Trennapparatur die grösste Aufmerksamkeit zu widmen.<sup>31</sup> Es ist von grösster Wichtigkeit, festzustellen, wie viele Zerplatzungen/Minute und  $\mu\text{g}$  metallischen Urans oder eines getrennten Isotops praktisch registriert werden können. Die Verwendung gewöhnlichen Urans ist für Grossversuche nicht zu empfehlen, da zu wenig Spaltungen auftreten, es wurden nämlich z.B. für 428 [Gramm] gewöhnlichen Urans,<sup>xxii</sup> das mit Neutronen aus 1 g Ra + Be bestrahlt wurde, bei Berücksichtigung der Neutronabsorption /S. 21/ nur 140 000 Spaltungen/Minute beobachtet.<sup>32</sup>

Um auch die Frage zu klären, welches Isotop selektiv auch langsame und welches auf schnelle Neutronen anspricht, wurden ausgedehnte Versuche an getrennten Isotopen ausgeführt:  $\text{U}^{234}, \text{U}^{235}, \text{U}^{238}$ .

#### Langsame Neutronen:

|                           |                      |                      |                  |
|---------------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| 3,1 $\mu\text{g}$ von ... | $\text{U}^{238}$ ... | $\text{U}^{235}$ ... | $\text{U}^{234}$ |
| Spaltungen/Minute ...     | 0,1 ...              | 4,4 ...              | 1,5              |
| 4,4 $\mu\text{g}$ von ... | $\text{U}^{238}$ ... | $\text{U}^{235}$ ... | $\text{U}^{234}$ |
| Spaltungen/Minute ...     | 0,5 ...              | 10,3 ...             | 7,8              |

Hieraus folgt einmal, dass die Anzahl Spaltungen/Minute mehr als einfach proportional mit der verwendeten Masse zunimmt, und dann, dass mindestens 75% aller Spaltungen in ungetrenntem Uran von  $\text{U}^{235}$  herrühren.

#### Schnelle Neutronen:

|                           |                                             |                  |
|---------------------------|---------------------------------------------|------------------|
| 4,4 $\mu\text{g}$ von ... | $\text{U}^{238}$ und 18,9 $\mu\text{g}$ von | $\text{U}^{238}$ |
| Spaltungen/Minute ...     | 0,5 ...                                     | ... 1,4          |

Diese Werte bestätigen, dass alle Spaltungen an ungetrenntem Uran mit schnellen Neutronen hervorgerufen, dem  $\text{U}^{238}$  zuzuschreiben sind.<sup>33 34</sup>

### 8. Andere spaltbare Elemente.

Nachdem wir gesehen haben, dass die Spaltung der Elemente Th, Pa und U sehr kompliziert ist, wäre daran zu denken, ob es nicht Elemente mit weniger Isotopen oder überhaupt mit niedrigerer Ordnungszahl gibt, wenn sie auch in diesem letzten Fall von der natürlichen Instabilitätsschwelle

<sup>31</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 20] A.O. Nier, J.R. Dunning, A.V. Grosse (Phys. Rev. 57 (1940) 546).

<sup>32</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 21] W.H. Zinn, L. Szilard (Phys. Rev. 56 (1939) 619).

<sup>33</sup> [Im Original: Fußnote 2 auf S. 21] A.O. Nier, J.R. Dunning, A.V. Grosse (Phys. Rev. 57 (1940) 546).

<sup>34</sup> [Im Original: Fußnote 3 auf S. 21] A.O. Nier, E.T. Booth, J.R. Dunning, A.V. Grosse (Phys. Rev. 57 (1940) 748).

weiter entfernt sind, die ebenfalls Spaltung durch langsame oder schnelle Neutronen zeigen, die aber leichter beherrschbar ist, weil sie einfacher ist. Es wurden folgende leichtere Elemente untersucht (die neueste Literatur wurde dabei allerdings nicht berücksichtigt, da sie nicht erhältlich waren<sup>xxiii</sup>): /S. 22/

| Effect |                               |                                        |                                                                          |
|--------|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Nr.    | Positiv                       | Negativ                                | Literatur                                                                |
| 1      | Sn, Ag                        | Bi, Pb, Tl, Hg, Au, Pt, W              | R.B. Roberts, R.C. Mayer, L.R. Hafstad (Phys. Rev. <u>55</u> (1939) 416) |
| 2      | Au, W, Ti                     | Bi, Ta, Te, Hf, Ag, Pd, Mo, Zr, Sr, Hg | M.Cl. Magnan (C.r. <u>208</u> (1939) 742)                                |
| 3      |                               | Bi, Au, Pt                             | L. Myssowsky, S. Idanoff (Nature <u>143</u> (1939) 794)                  |
| 4      | U und andere Elemente welche? | Pb                                     | F. Joliot (C.r. <u>208</u> (1939) 647)                                   |

Bemerkungen zur Literatur:

Zu 1) Sn und Silber zeigen einen Effekt, dessen Intensität 1/1000 jenes von U oder Th beträgt.

Zu 2) Die kinetischen Energien der Rückstoskerne von W und Ti betragen 25 MeV, die von Au 40 bis 67 MeV. Für Au wird ein Rückstoskern für 2 Minuten und für W und Ti einer für alle 2 bis 3 Minuten beobachtet.

Sollte eine neuere, genauere Überprüfung ergeben, dass z.B. die Elemente Sn, Ag, Au, W und Ti tatsächlich Spaltungseffekte zeigen, was zwar für Ti aus der Kurve der Packungsanteile schwer verständlich ist dann eröffnet sich für die technische Verwirklichung der Kettenreaktion ein neuer Weg. Zeigen Sn, Au und Ti diese Effekte und tritt wie beim U auch bei diesem eine Neutronemission von  $\nu = 2$  bis 3 Neutronen/Zerplatzung auf, dann wäre Sn wegen der grossen Häufigkeit in der Erdrinde, auch wegen seines einzigen stabilen Isotops und  $Ti_{22}$  wegen seiner niedrigen Ordnungszahl und deshalb wegen der zu erwartenden einfacheren Spaltung, für eine weitere eingehendere Untersuchung empfehlenswert. Abschliessend kann gesagt werden, da die Spaltung der Elemente Th, Pa, Io, U zu kompliziert ist, dass unter allen Umständen eine ausgedehnte Untersuchung angestellt werden muss, ob auch bei anderen Elementen als U Möglichkeiten für die Einleitung von Kettenreaktionen vorhanden sind.<sup>xxiv</sup>

#### 9. Experimenteller Nachweis der Uran-Spaltung.

Am einfachsten lässt sich die U-Spaltung auf folgende Art nachweisen und vorführen:

Ein innen mit Uransalz ausgekleidetes Proportional-Zählrohr wird mit Neutronen einer Ra-Be-Quelle bestrahlt. Zur Verlangsamung der /S. 23/ Neutronen ist das Zählrohr rings mit Paraffin umgeben. Das Zählrohr ist an einen Verstärker angeschlossen, mit dessen Hilfe das Zerplatzen der U-Kerne im Lautsprecher als starkes Knacken hörbar gemacht wird. Die Untergrundimpulse der  $\alpha$ -Teilchen des U können mittels eines Thyratrons abgeschnitten werden.

Der Nachweis der U-Spaltung gelingt auch in sehr schöner Form<sup>xxv</sup> mittels der Wilsonschen Nebelkammer.<sup>35</sup>

#### IV. Technisch wichtige Umrechnungen.

<sup>35</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 23] W. Gentner, H. Maier-Leibnitz, W. Bothe (Atlas typischer Nebelkammerbilder, S. 92, Springer, Berlin 1936).

Umrechnung von Energieeinheiten:

$$1 \text{ TME} = 0.931 \text{ MeV} = 1.493 \cdot 10^{-6} \text{ erg}$$

$$1.074 \text{ TME} = 1 \text{ MeV} = 1.603 \cdot 10^{-6} \text{ erg}$$

|             | eV                    | TME                  |
|-------------|-----------------------|----------------------|
| 1 erg =     | $0.629 \cdot 10^{12}$ | $6.74 \cdot 10^5$    |
| 1 kWh =     | $2.26 \cdot 10^{25}$  | $2.42 \cdot 10^{19}$ |
| 1 g cal =   | $2.62 \cdot 10^{19}$  | $2.81 \cdot 10^{13}$ |
| 1 kg cal =  | $2.62 \cdot 10^{22}$  | $2.81 \cdot 10^{16}$ |
| 1 mkg =     | $6.17 \cdot 10^{19}$  | $6.6 \cdot 10^{13}$  |
| 1 PS-Stunde | $1.67 \cdot 10^{25}$  | $1.79 \cdot 10^{19}$ |

Umrechnung der mittleren freien Energie von 150 MeV/Spaltung in kg cal u. mkg:

|           | kg cal                | mkg                   |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| 150 MeV = | $5.66 \cdot 10^{-15}$ | $2.42 \cdot 10^{-12}$ |

|         | erg                   | kWh                   | g cal                  | kg cal                 | mkg                   | 1 PS-Stunde           |
|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 eV =  | $1.59 \cdot 10^{-12}$ | $4.42 \cdot 10^{-26}$ | $0.381 \cdot 10^{-19}$ | $0.381 \cdot 10^{-20}$ | $1.62 \cdot 10^{-20}$ | $0.6 \cdot 10^{-25}$  |
| 1 TME = | $1.48 \cdot 10^{-6}$  | $4.13 \cdot 10^{-20}$ | $3.66 \cdot 10^{-13}$  | $3.66 \cdot 10^{-16}$  | $1.51 \cdot 10^{-14}$ | $0.56 \cdot 10^{-19}$ |

/S. 24/ Äquivalenz von  $U^{235}$  und Benzin, auf Grund der beiden Tatsachen, 150 MeV/Spaltung und  $2.2 \cdot 10^{22}$  Atome/cm<sup>3</sup> des metallischen Urans (Dichte  $\rho = 8,6$ ):

$$1 \text{ Liter Benzin (} 10^4 \text{ kcal/Liter) } \dots 0,69 \text{ mg } U^{235}$$

$$1 \text{ g } U^{235} \dots 1,45 \cdot 10^3 \text{ Liter Benzin}$$

Äquivalenz von  $U^{235}$  mit Trinitrotoluol:

$$1 \text{ kg } U^{235} \dots \text{explosiv umgesetzt} \dots 30000 \text{ t Trinitrotoluol}$$

Dabei wird ein Druck von 200 000 Millionen at = 2 millionenmal mehr als der Druck von 1 kg Trinitrotoluol oder Nitroglyzerin entwickelt und es wird in normalem Ackergelände ein 50 bis 80 m tiefer Krater gebildet.

#### V. Weg zur technischen Verwirklichung der Kettenreaktion.

Die Verwirklichung der Kettenreaktion kann je nach den noch zu findenden, dabei herrschenden Gesetzen auf zwei Arten erfolgen:

- 1) Die U-Reaktion kann gestapelt werden, wenn eine sehr grosse Neutronenanfangsdichte die eine bedeutsame Rolle spielt, zur Verfügung steht und falls durch hindernde Elemente zu viel Neutronen weggefangen würden, müsste diese Dichte ständig aufrechterhalten werden. Vorausgesetzt ist noch, dass eine genügend grosse Menge an  $U^{235}$  mit Neutronen reflektierender Panzerung, z.B. aus Cu (50% reflektierend) vorhanden ist.<sup>xxvi</sup> Diese hohe Neutronenanfangsdichte kann bei Durchleiten der mehrere m langen Deuteronen-Strahlen eines 100 MeV-Zyklotron durch „Neutronröhren“<sup>xxvii</sup> spezieller Konstruktion erzeugt werden.<sup>xxvii</sup> Kann die Kettenreaktion auf diese Weise aufrecht erhalten werden, dann beträgt der Energiebedarf des 100 MeV-Deuteronen-Zyklotrons nur etwa 2 bis 5 % der gewinnbaren Energie, sodass dessen Betrieb überhaupt nicht ins Gewicht fällt!
- 2) Es wird nicht das Hauptgewicht auf die Neutron-Anfangsdichte, sondern auf den spaltbaren

<sup>36</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 24] H. Watzlawek (ETZ 63 (1942) 319, 325), T.F. Wall (Engineering, 17.5.1944).

Kern gelegt. Es handelt sich also um Auffindung eines in einfacher Weise ohne hindernde Folgeelemente, zerplatzenden Kerns, wobei die Anfangsintensität der Höhenstrahlung in grösseren Höhen bereits ausreicht.

Ferner wäre es möglich, dass ein derartiger Kern durch ein hoch-energetisches Mesotron zertrümmert und somit die Kettenreaktion eingeleitet werden kann. Da uns die Konkurrenz mit dem amerikanischen Zyklotrons und Elektronenturbinen<sup>xxviii</sup> kaum möglich ist, erscheint die Verfolgung dieses Weges<sup>37</sup> als der empfehlenswertere.

## VI. Anwendungsmöglichkeiten der technischen Verwirklichung der Kettenreaktion.

Die beherrschbare Verwirklichung der Kettenreaktion eröffnet ein neues Zeitalter der Technik.

Wir teilen die technischen Anwendungsmöglichkeiten ein in:

### 1) Friedliche Ziele.

#### a) Kernphysikalisches Kraftwerk.

Die Kohle braucht als Heiz- und Betriebsstoff nicht verwendet zu werden, und steht ganz anderen bedeutenderen Verwendungszwecken, z.B. organische Chemie, zur Verfügung. Es gibt dann nur derartige Kraftzentralen, die weniger Raum beanspruchen und die z.B. mit einer Füllung von etwa 500 kg  $U^{235}$  eine Millionengrosstadt auf 10 Jahre mit Licht und Heizung versorgen könnten.

#### b) Volksheizung.

Es ist ein kleiner, stets mit sich führbarer Ofen nach Art eines immer warmen Heizkissens leicht zu verwirklichen.

#### c) Die Licht[-] und Beleuchtungstechnik erfährt eine noch nicht zu ahnende Entwicklung, da z.B. eine Glühbirne mit kleinem Taschenakku auf diesem Prinzip unbegrenzt lange gebrannt werden könnte. /S. 26/

#### d) Die Medizin erfährt durch Schaffung aller notwendigen Strahlungsarten einen mächtigen Auftrieb, wodurch zu hoffen ist, dass dann endlich das Krebsproblem gelöst werden kann.

### 2) Für die Rüstung bieten sich derart ungeahnte Möglichkeiten, dass nur eine ganz kleine Auswahl von Zukunftsprojekten hier genannt werden kann:

#### a) Luftwaffe.

Es braucht z. B. ein 10 t-Flugzeug in 12 km Höhe bei einer Geschwindigkeit von 750 km/Stunde für 1000 km Weg etwa 720 Liter Benzin, wenn die propellerlosen Strahlantriebe verwendet werden. Wie viele Flüge um den Erdäquator kann dieses Flugzeug ohne tanken zu müssen mit 3 kg  $U^{235}$  ausführen? Die Rechnung lautet wie folgt:

|        |             |                                    |
|--------|-------------|------------------------------------|
| 720 l  | ... 1000 km | ... 1'33 h = $4'79 \cdot 10^3$ sec |
| 0,15 l | ...         | ... 1 sec                          |

<sup>37</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 25] H. Watzlawek (Höhenstrahlung-Kernphysik, Meteorologische Zeitschr 59 (1942) 155-166, 192-202, 224-231).

|                   |                 |                      |
|-------------------|-----------------|----------------------|
| 0,14 mg $U^{235}$ | ...             | ... 1 sec            |
| 0'503 g $U^{235}$ | ...             | ... 1 h              |
| 26,9 g $U^{235}$  | ... Äquatorflug | ... 53'4 h           |
| 1 kg $U^{235}$    | ...             | ... 37'2 Flüge       |
| 3 kg $U^{235}$    | ...             | ... 111 Äquatorflüge |

=====

Die Raketenflugtechnik wäre dann ihre Hauptsorge los und es wäre der Weg ins Weltall frei. Ebenso ist jede Raketenwaffe für größte Entfernungen leicht betreibbar.

Es kann das Universal-Luft-Wasser-Landfahrzeug mit einer geringen Menge an  $U^{235}$  jahrelang fahren.

Gepanzerte Riesenflugzeuge mit Bestückung mittels schwerer Geschütze können als Festungen der Luft tagelang in großer Höhe fliegen oder mittels Hubschrauben schweben. Dadurch ist die Absperrung weiter Meere mit wenigen solcher Flugzeuge ausführbar. Die Verwendung des  $U^{235}$  als furchtbarster Sprengstoff /S. 27/ für Bombenfüllung ist naheliegend.

#### b) Marine.

Ein Hochsee-U-Boot kann mit großer Geschwindigkeit, mit geringen Mengen  $U^{235}$  jahrelang alle Meere der Welt d[ann] durchfahren.<sup>38</sup>

Mit geringen-Mitteln kann ein Netz aus Geschossen mit einer Reichweite bis 10.000 km, in die Ozeane, knapp unter die Wasseroberfläche gelegt werden, sodass jedes Schiff, das in dieser Garbe liegt vernichtet wird.

U-Boote, gleichzeitig fliegend zu gestalten, sodass sie vom Atlantischen Ozean z.B. über die Panamastrecke, aber in der Luft, in kürzester Zeit in den Stillen Ozean gelangen können, ist durchaus im Bereich des Möglichen.

Wird um eine Insel, etwa in 2.000m Tiefe, eine Kette von  $U^{235}$ -Minen gelegt, so kann diese Insel in Bruchteilen einer Sekunde zum Verschwinden gebracht werden.

#### c) Heer.

Die Verwendung von  $U^{235}$  als furchtbarer Sprengstoff, wovon 1 Kg der Wirkung von 30 000 t Trinitrotoluol, das sind etwa 60 normale Lastenzüge zu 50 Waggonen mit 10t Ladung gleichkommt, wandelt die gesamte Ballistik vollkommen.<sup>xxix</sup>

Es können nicht nur Geschosse in den Weltenraum gesandt werden, es werden auch Raketengeschosse durch ganze Gebirgszüge hindurchgeschossen werden können, sodass es dann keinen Schutz gegen derartige Granaten gibt. Diese ungeheure Energiesteigerung macht folgender Vergleich recht anschaulich: Ein Bleiatom einer 8,8cm Flakgranate erhält

---

<sup>38</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 27] New York Times 5.V. 1940.

eine Anfangsenergie[,] weil nur gewöhnliche chem. Reaktionen zur Anwendung kommen, von nur 1 eV. Bei der Spaltungsreaktion erhält jeder Fragmentkern durchschnittlich 85 MeV. Denkt man sich nun, diese Energie dem Bleiatom erteilt, dann ergibt die auf das neue Isotopengewicht /S. 28/ umgerechnete Reichweite, einen auf das 57-Millionenfache gesteigerten Wert. Es ist somit der direkte Beschuß des Mondes durchaus realisierbar.

Das Universal-Land-Wasser-Luftfahrzeug ist bereits erwähnt worden und man kann sich ungeahnte Entwicklungen von Heeresfahrzeugen ausdenken, die wohl alle technisch realisierbar sein werden.

Abschließend muss noch gesagt werden, dass die intensivsten Bestrebungen aller Kernphysiker der USA dahingehen, gegen uns die Uranbomben in allernächster Zeit<sup>xxx</sup> in Anwendung zu bringen.<sup>39</sup>

## VII. Der neue Weg. Mittel.

Die ganze wissenschaftliche Welt glaubt das Problem der interatomaren Energie durch Realisierung der Uran-Zerplatzung lösen zu müssen. Die Möglichkeit, dass auf diesem Wege etwas in allernächster Zeit erreicht wird, ist vorhanden. Aber wahrscheinlich ist es so, wie es des öfteren in der phys. Forschung schon der Fall war, dass die Lösung dieses Problems in ganz anderer Richtung erfolgen wird. Wie bereits erwähnt, ist der Weg über die weitere Erforschung des Grenzgebietes „Höhenstrahlung-Kernphysik“, sehr bedeutungsvoll.<sup>xxx</sup> Ferner kommt der theoretischen Physik in diesem Zusammenhang eine außerordentliche Bedeutung zu.

Es ist auch denkbar weil z. B. die energiereichsten Strahlen der Höhenstrahlung, die  $10^{18}$  eV-Energie besitzen, weder durch einen Spaltungsprozeß, noch durch restlose Verwandlung von Materie in Energie nach dem Hasenöhl-Gesetz,<sup>xxxii</sup> diese Energie erhalten haben konnten, dass die Forschung diese Energiebefreiungsprozesse, die uns vorerst gänzlich unbekannt sind, studieren lernt und dass auf diesem Wege, der etwa Billionenmal mehr als der Uranprozeß Energie liefert, raschere Fortschritte erzielt werden können. Unter allen Umständen muß die Physik der Heß-Kolhörster'schen Höhenstrahlung weiter ausgebaut werden, dann wird sich der neue /S. 29/ einzuschlagende Weg von selbst ergeben.

Mittel: Es ist allgemein bekannt, dass in den USA der kernphys. Forschung und der Erforschung der Höhenstrahlung Mittel in jeder Höhe zur Verfügung gestellt werden. Dies beweisen die neuen 100 MeV-Zyklotrone mit einem Magnetjoch von 18m Länge und 9m Höhe, sowie der 100 MV-Elektronenturbine nach Wideröe, für deren Bau, ebenso viel Metall erforderlich ist, wie für den Bau eines Schlachtschiffes.<sup>xxxiii</sup> Wo mehr Intelligenz ist, dort sind weniger Mittel notwendig, aber es darf nicht übersehen werden, dass die kernphys. Forschung einen Stand erreicht hat, wo es eben ohne große Mittel nicht mehr geht. Wollen wir die Früchte der eigenen Entdeckertätigkeit zum Nutzen der Nation verwenden, dann muss auch in der Zuteilung von Mitteln eine vollständige Wandlung erfolgen.<sup>xxxiv</sup> / S. 30–31/

---

<sup>39</sup> [Im Original: Fußnote 1 auf S. 28] New York Times 5.V. 1940. C.P. Snow (Discovery 18 (1939) 443).

## Literatur.

- 1.) Auswahl 2 (1940) Heft 10, S. 453
- 2.) New York Times 5. V. 1940 <sup>vi</sup>
- 3.) E. Fermi (Electrical Engineering 59 (1940) 57)
- 4.) C. P. Snow (Discovery 18 (1939) 443)
- 5.) D. W. F. Mayer (Energie aus Materie, Discovery 18 (1939) 459) <sup>xxxv</sup>
- 6.) A. Stettbacher (Der amerikanische Super-Sprengstoff-U<sup>235</sup>, Nitrozellulose 11 (1940) 203-204) <sup>xxxvi</sup>
- 7.) R. D. Potter (Is atomic power at hand?, Scient.Monthly 1940)
- 8.) E. Amaldi (Possibilita di sfruttamento dell energia nucleare, Saggiatore 1 (1940) 69-73)
- 9.) A. Troller (Die Umwandlung des Urans und die Ausnützung der interatomaren Energie, Nature (1939) 197)
- 10.) R. Peierls (Kritische Bedingungen bei der Neutronenvervielfachung; Proc. Cambridge Phil. Soc. 35 (1939) 610)
- 11.) S. Flügge (Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden?; Naturw. 27 (1939) 402)
- 12.) F. Adler, H. v. Halban (Kontrolle der beim Zerplatzen des Urankerns auftretenden Kettenreaktion. Nature 143 (1939) 793)
- 13.) H. Halban jr., F. Joliot, L. Kowarski, F. Perrin (Nachweis einer kettenförmigen Kernreaktion innerhalb einer uranhaltigen Masse; J. Phys. Rad. (7) 10 (1939) 428)
- 14.) F. Perrin. (Berechnung hinsichtlich möglicher Bedingungen bei der Kettenreaktion von Uran; C.r. 208 (1939) 1573)
- 15.) M. Vermes (Ist es möglich, die Energie des Atomkerns praktisch zu verwerten?; Termeszettudományi Közlöny 71 (1939) 538) <sup>xxxvii</sup>
- 16.) R. B. Roberts, J. B. H. Kuper (Uran und Atomkraft; J. Appl. Phys. 10 (1939) 612)
- 17.) Anonymous (Die Spaltung des Urans, Überblick über die neueren Untersuchungen über den Zerfall von Uran unter Neutroneneinwirkung; Schweiz. Bauzeitung 114 (1939) 56)
- 18.) N. Feather (Zum zeitlichen Ablauf der Kernspaltung, Nature 143 (1939) 597)

Phys. Institut, Technische Hochschule München.

31.10.1944

H. Watzlawek.

---

## Anmerkungen des Herausgebers Klaus Hentschel

---

<sup>i</sup> Diesen Text fand ich Mitte 2019 im Nachlass von Rudolf Tomaschek (1895–1966), der dem Universitätsarchiv Stuttgart (UAS) zur späteren Weitergabe an das Archiv des *Deutschen Museums* in München (DMM) übergeben wurde, in einem ungeordneten Stapel von Vortrags- und Aufsatzmanuskripten. Bereits der Titel des Typoskripts ist merkwürdig und könnte erklären, warum bislang niemand diesen Text näher studiert hat, denn „interatomare“ Energien sind nach heutigem Verständnis atomphysikalisch und basieren auf der Wirkung elektrischer Anziehungs- und Abstoßungseffekte zwischen Atomen, während „inneratomare“ Energien diejenigen sind, die im Innern des Atomkerns wirken und heute der Kernphysik zugeordnet werden. Daher lässt der Titel eher eine Abhandlung über atomare oder molekulare Wechselwirkungen als ein kernphysikalisches Traktat erwarten. Für weitergehende Kommentierung und Kontextualisierung siehe den parallel zu dieser annotierten Online-Edition erscheinenden separaten Aufsatz von mir: „Der neue Weg“ in NTM 28 (2020).

<sup>ii</sup> Mit dieser Notation /S. x/ wird in dieser Abschrift der Anbruch einer neuen Seite x im Originaltyposkript angegeben, wobei die Seitenzählung Watzlaweks mit dem Titelblatt als /S. 0/ beginnt. Die Transkription erfolgte ohne Korrektur von Schreib- oder Kommafehlern in der damaligen Orthographie. Einige wenige sinnentstellende Fehler oder Eigentümlichkeiten werden in Endnoten kommentiert bzw. korrigiert.

<sup>iii</sup> Bereits dieser erste Satz des Typoskripts macht klar, dass hier ein Ingenieur spricht, der das Thema der Kernphysik von der technischen Seite her analysiert. In Watzlaweks 1943 verfasstem und 1948 erschienenem *Lehrbuch der technischen Kernphysik* (Wien: Deuticke, 1948) wird dieser „Ingenieurstandpunkt“ in der Einleitung herausgestellt (Watzlawek 1943: 4 bzw. 1948: 1): „Die technische Kernphysik ist dasjenige Gebiet allgemeiner Atomphysik, speziell der Kernphysik, für dessen Ausgestaltung der Ingenieurstandpunkt maßgebend ist. [...] Dieser neue Ingenieurstandpunkt bietet uns die einzige Möglichkeit, eine gesunde Vereinigung zwischen Theorie und Praxis zu erlangen und soll uns daher durch das ganze Gebiet der modernen technischen Kernphysik führen“.

<sup>iv</sup> Im Originaltyposkript steht hier fälschlich: einem. Der nachfolgende Kommafehler wurde nicht korrigiert.

<sup>v</sup> Zur Geschichte der Entdeckung der Kernspaltung siehe u. a. Horst Wohlfarth: *40 Jahre Kernspaltung – Eine Einführung in die Originalliteratur*. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, 1979, Fritz Krafft: *Im Schatten der Sensation. Leben und Wirken von Fritz Straßmann*, Weinheim: Verlag Chemie 1981 sowie dort in Auswahl abgedruckte Primärquellen, ferner [https://de.wikipedia.org/wiki/Entdeckung\\_der\\_Kernspaltung](https://de.wikipedia.org/wiki/Entdeckung_der_Kernspaltung) (letzter Zugriff 4.10.2019) für zahlreiche weitere Links zu online verfügbarer Primär- und Sekundärliteratur.

<sup>vi</sup> Zu diesen in der Historiographie lange nicht ausreichend berücksichtigten Arbeiten von Ida Noddack (1896–1978) und zu ihrer bereits 1934 geäußerten Vermutung, dass „bei der Beschießung schwerer Kerne mit Neutronen diese Kerne in mehrere größere Bruchstücke zerfallen“ siehe unter anderem Ida Noddack: Über das Element 93, *Angewandte Chemie* 47 (1934): 653–655 sowie Michael Engels biographische Notiz in der *Neuen Deutschen Biographie* 19 (1999): 317–318; ferner Ernest B. Hook: Interdisciplinary Dissonance and Prematurity: Ida Noddack's Suggestion of Nuclear Fission, in: *Prematurity in Scientific Discovery: On Resistance and Neglect*, Berkeley: University of California Press, 2002: 124–150 und Gildo Magalhães Santos: A Tale of Oblivion: Ida Noddack and the “Universal Abundance” of Matter, *Notes and Records of the Royal Society* 68 (2014): 373–389. Watzlawek schreibt den Nachnamen von Ida Noddack überall falsch und kürzt ihren Vornamen irregulär mit J. ab, kannte sie also sehr wahrscheinlich nicht persönlich, was seine Außenseiterstellung untermauert.

<sup>vii</sup> Auf dem Titelblatt der *New York Times* vom 5. Mai 1940, linke Spalte, überschrieben: „Vast power source of

---

atomic energy opened by science” mit nachfolgender hochdramatisierter Darstellung der raschen Abfolge von Entdeckungsschritten und Betonung der Dringlichkeit: „Scientists ordered to devote all time to research“.

<sup>viii</sup> Der in diesem Kontext mit seinem Editorial in der in Cambridge erscheinenden Zeitschrift *Discovery* erwähnte britische Physiker Charles Percy Snow (1905–1980) war übrigens der spätere Urheber der Zwei-Kulturen-Debatte; im Oktober 1944 hatte er gerade von seinem seit 1940 bekleideten Amt als technischer Direktor des *Ministry of Labour* zu einer Leitungsfunktion in der *English Electric Company* gewechselt.

<sup>ix</sup> Zur Geschichte des Baus der amerikanischen Atombombe und des Manhattan Projects, siehe unter anderem Richard Rhodes: *The Making of the Atomic Bomb*, New York: Simon & Schuster 1995, darin insbesondere S. 380–381 zu John Dunning und zu seinem erwähnten Gespräch mit dem amerikanischen Präsidenten.

<sup>x</sup> Alfred Otto Carl Nier (1911–1994) war US-amerikanischer Pionier der Massenspektrometrie und der erste, der Massenspektrometrie zur Anreicherung von Uran 35 benutzte. Siehe A. O. C. Nier: Some reminiscences of mass spectrometry and the Manhattan Project, *Journal of Chemical Education* 66 (1989): 385–388 sowie J. H. Reynolds über Nier in: *Biographical Memoirs. National Academy of Science* 1998. Seine Kenntnis über Niers Pionierarbeiten bis 1940 und die dann einsetzende Geheimhaltung bezog Watzlawek möglicherweise aus dem *New York Times* Artikel von Laurence (1940), in dem Nier mehrfach erwähnt wird.

<sup>xi</sup> Das vorstehende und von Watzlawek selbst mittels Unterstreichung hervorgehobene Zitat stammt aus einer Broschüre von Georg Joos (1894–1959) über „Physik und Energiewirtschaft“, die dieser nach seinem Vortrag auf der Universitätswoche in Bad Frankenhausen am 5. Mai 1934 bei Fischer in Jena in Druck gegeben hatte. Joos war Mitglied im Stahlhelm sowie kurzzeitig 1922/23 in der NSDAP, hatte dann ein angespanntes Verhältnis zum NS-Regime und war als Industriephysiker bei Zeiss angestellt.

<sup>xii</sup> Zu diesem von George Gamow entwickelten und von Niels Bohr sowie John Archibald Wheeler weiterentwickelten Tröpfchenmodell des Atomkerns, das Watzlawek hier im Folgenden mehrfach benutzt, siehe Roger Stuewer: Gamow, Alpha Decay, and the Liquid-Drop Model of the Nucleus, in: *George Gamow Symposium; ASP Conference Series* 129 (1997), hrsg. v. Eamon Harper, W. C. Parke & David Anderson, S. 30–43 und dort angeführte Primärliteratur, ferner das Interview Wheelers mit Stephane Groueff aus dem Jahr 1965, online verfügbar unter <http://www.manhattanprojectvoices.org/oral-histories/john-wheelers-interview.html> (Zugriff am 22.6.2019).

<sup>xiii</sup> Das Element Plutonium (bis zur Entdeckung der Kernspaltung Eka-Osmium, <sup>239</sup>Eka Os, genannt, später bekannt unter der Bezeichnung „Element 94“ bzw. Plutonium) wurde erstmals im Dezember 1940 von den US-Amerikanern Glenn Seaborg u.a. durch Beschuss von <sup>238</sup>U mit Deuteronen in einem Zyklotron erzeugt; auch Carl Friedrich von Weizsäcker hatte in einem Geheimbericht bereits im Juli 1940 darauf hingewiesen, dass beim Neutronenbeschuss von <sup>238</sup>U ein solches neues Element 94 entstehen müsse. Das benachbarte Element 93, damals Eka Rhenium und heute Neptunium genannt, wurde erstmals 1940 von Edwin M. McMillan und Philip H. Abelson durch Beschuss von <sup>238</sup>U mit Neutronen erzeugt – das heute unter der Bezeichnung Eka-Osmium bekannte Element 108 (mit Massenzahl 265) wurde erst 1984 am Darmstädter Schwerionenzentrum experimentell erzeugt. In der experimentellen Erzeugung größerer Mengen von Plutonium und in der Untersuchung der Neutronenabsorptionseigenschaften hatten die Amerikaner einen großen, faktisch uneinholbaren Vorsprung vor den deutschen Physikern. In seinem Lehrbuch von 1948 schreibt Watzlawek konsterniert: „In Amerika wurde die Spaltung des Pu bestätigt. [...] Das Pu wird durch Bestrahlung von U mit Neutronen in den sogenannten ‚Uranbatterien‘ erzeugt und danach in einer vollautomatisch gesteuerten Fabrik chemisch vom Uran getrennt. Der Leistungsaufwand zwecks Herstellung von 1 kg Pu pro Tag beträgt 1 Million kW.“ (Watzlawek (1948: 53).

---

<sup>xiv</sup> An dieser Stelle ergibt sich der einzige Bezug zu den Arbeiten von Rudolf Tomaschek, dessen Assistent Watzlawek damals ja war und in dessen Nachlass unser Typoskript vom Herausgeber im Frühjahr 2019 gefunden wurde.

<sup>xv</sup> Watzlawek spricht stets von „Zerplatzung“ womit von ihm die Kernspaltung gemeint ist. Mit dem Symbol  $\nu$  bezeichnet er den Neutronenvermehrungsfaktor. Die Überschrift dieses Abschnitts ist merkwürdig verknapppt.

<sup>xvi</sup> Die Ziffer dieser Zehnerpotenz ist im Original abgeschnitten, da jenseits des rechten Rands positioniert. Sie ergibt sich jedoch aus der nebenstehenden Rechnung.

<sup>xvii</sup> In diesem Absatz spricht Watzlawek das Problem der ‚Vergiftung‘ von Uranmaschinen durch zurückbleibende, neutronenabsorbierende Spaltprodukte an, das auch auf amerikanischer Seite durch die Firma DuPont erkannt worden war und dessen Lösung entscheidend für die US-amerikanische Erzeugung von Plutonium war. Vgl. etwa *The Collected Works of Eugene Paul Wigner, Volume 5, Part A, Nuclear Energy*, Berlin: Springer 1992.

<sup>xviii</sup> Im Originaltyposkript steht hier fälschlich „kleine“.

<sup>xix</sup> Die hier vorgelegten Abschätzungen für den kritischen Radius beziehen sich auf nicht-angereichertes Uranoxid und sind deutlich höher als die später mit angereichertem Uran 235 benötigten kritischen Radien bzw. Massen. Auch den US-Amerikanern fiel 1942/43 die Berechnung dieser kritischen Masse für den Bau einer Atombombe schwer: siehe dazu etwa DeWolf Smyth: *Atomenergie und ihre Verwertung im Kriege*, Basel: Reinhardt 1947: 126, 130, 247.

<sup>xx</sup> Derartige Präzisionsmessungen von Wirkungsquerschnitten, Neutroneneinfangraten und anderen experimentellen Parametern wurden auf alliierter und deutscher Seite unternommen, wobei die US-Amerikaner damit sowie mit der Simulation der Spaltungsprozesse 1944 schon viel weiter gekommen waren als die Deutschen: siehe z.B. Robert Serber: *The Los Alamos Primer* (1943/2002: Kap. 4-7, 10) vs. Bernstein (2002) über Heisenbergs grobe Abschätzungen.

<sup>xxi</sup> Tatsächlich waren die USA zu diesem Zeitpunkt Mitte 1944 schon intensiv dabei, derartige Urananreicherung in industriellem Maßstab zu erreichen – siehe dazu etwa Lillian Hoddeson et al.: *Critical Assembly. A Technical History of Los Alamos during the Oppenheimer Years, 1943-1945*, Cambridge: University of Cambridge Press 1993, Kap. 11.

<sup>xxii</sup> Die Zahl 428 im Typoskript ist eine unter versehentlicher Auslassung der Gewichtseinheit ausgeführte Aufrundung von 427,7 Gramm bestrahlten Urans: Siehe W.H. Zinn & Leo Szilard: Emission of neutrons by uranium, *Physical Review* (2. Serie) 56 (1939): 619–624, insb. S. 623.

<sup>xxiii</sup> In den USA und in Deutschland wurde die Publikation von Ergebnissen kernphysikalischer Messergebnisse nach dem Kriegseintritt 1941 sowie der Austausch von Zeitschriften mit dem befeindeten Ausland im Wesentlichen eingestellt, was beiderseits den (zutreffenden) Verdacht nährte, dass nunmehr auf der anderen Seite geheime kernphysikalische Experimente und Entwicklungen unternommen wurden.

<sup>xxiv</sup> Hier fehlt der Hinweis auf die Spaltbarkeit von Plutonium oder in der Terminologie Watzlaweks, von Eka-Osmium.

<sup>xxv</sup> Über die verschiedenen Nachweistechiken und insbesondere über Nebelkammern siehe Watzlawek (1942c: 227–228. Zur Geschichte der Nebelkammern und zu ihrem Erfinder Charles Thomson Rees Wilson (1869–1959) vgl. ferner Peter Galison & Alexi Assmus: Artificial Clouds, Real Particles, in: David Gooding, Trevor Pinch & Simon Schaffer (Hg.) *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, Cambridge: Cambridge University Press 1989: 224–274.

<sup>xxvi</sup> Hier findet sich ein klarer Hinweis auf die Notwendigkeit reflektierender Außenwände (engl. *tampers*), um die langsamen Neutronen möglichst lange in dem Bereich spaltbaren Materials zu halten – ein für den Bau von Atombomben essentieller Wissensbaustein, der in Deutschland also bereits 1944 verfügbar war. Auch die Alliierten hatten die Unentbehrlichkeit derartiger *tampers* bereits 1943 erkannt: siehe deWolf Smyth (1947: 247–248.).

<sup>xxvii</sup> Das erste Zyklotron in Europa stand in Paris und wurde von einer Gruppe deutscher und österreichischer

---

Kernphysiker, der auch Watzlawek angehörte, vom 14. bis 20. Juni 1941 besichtigt, worüber Watzlawek in seiner „Übersicht und Darstellung der historischen Entwicklung der modernen technischen Kernphysik und deren Anwendungsmöglichkeit sowie Zusammenfassung eigener Arbeitsziele und Pläne“, fertiggestellt am 5. Aug. 1941, auf S. 239–259 berichtet, online verfügbar unter <https://digital.deutsches-museum.de/item/FA-002-789> (Zugriff am 27.5.2019). Nach dem deutsch-französischen Waffenstillstand wurde dieses Zyklotron von Frédéric Joliot-Curie (1900–1958) im Jahr 1942 unter Mitarbeit von Walther Bothe (1891–1957) und Wolfgang Gentner (1906–1980) fertiggestellt. 1943 wurde ein zweites Zyklotron in Heidelberg in Bothes Institut aufgebaut und in Betrieb genommen. Ein drittes, von Manfred von Ardenne in Berlin-Miersdorf seit 1941 konstruiertes Zyklotron kam wegen Lieferschwierigkeiten und Bombardierungen bis 1945 nicht zum Einsatz. Über das damals größte Zyklotron der Welt, das 4,7m Durchmesser umfassende 100MeV „Überzyklotron“ von E.O. Lawrence in Berkeley, Kalifornien, schreibt Watzlawek: „Für die technische Ausgestaltung der kernphysikalischen Energiebefreiungsverfahren der Zukunft kommt dem Überzyklotron ausschlaggebende Bedeutung zu, und zwar wegen der großen zu erzielenden Deuteronenstrahllänge im Vakuum, die einige Meter beträgt, wodurch der Bau von langen Neutronröhren für Kettenreaktionsumsetzungen im großen und somit die Verwirklichung von kernphysikalischen Kraftwerken möglich wird.“ (1942b: 325)

<sup>xxviii</sup> Zur Geschichte des Baus von Zyklotronen in den USA siehe John L. Heilbron: *Lawrence and his Laboratory: A History of the Lawrence Berkeley Laboratory*, Berkeley: Univ. of California Press 1989 sowie den in voriger Anm. zit. Bericht Watzlaweks von 1941, darin S. 78-108 und seinen detaillierten Übersichtsartikel über Zyklotrone in Watzlawek (1942b); zu den wenigen europäischen Exemplaren dort auf S. 325 vgl. vorige Anm. sowie Anm. xxxiii.

<sup>xxix</sup> Ähnliche Berechnungen hatte 1939 schon Siegfried Flügge (1912–1997) angestellt: Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden?, *Die Naturwissenschaften* 27 (1939: 402–410), in englischer Übersetzung annotiert in Hentschel (1996: 197–206).

<sup>xxx</sup> Ob Watzlawek Informationen zur Verfügung standen, die aktueller waren als die von ihm in diesem Kontext angeführten Artikel von 1939 und 1940 lässt sich wegen fehlender Quellen zur deutschen Spionagetätigkeit in den USA nicht entscheiden. Diese Formulierung ist aber deutlich stärker als die im Entwurf seines Lehrbuchs von Ende 1943, was auf neue diesbezügliche Informationen hindeutet.

<sup>xxxi</sup> Zur Frühgeschichte der Erforschung von „kosmischer Strahlung“, die 1912 mit der Entdeckung der während Ballonaufstiegen beobachteter „Höhenstrahlung“ durch Victor Franz Hess (1883–1964) begann und durch Walter Bothe und Werner Kolhörster 1929 mithilfe von Geiger-Müller-Zählrohren entscheidend vorangebracht wurde, siehe etwa Vanessa Circel-Bartelt: *Kosmische Kontroversen. Die Erforschung der kosmischen Strahlung 1912–1932*, Berlin: Europ. Univ.-Verl., 2013 und dort aufgeführte Primärliteratur. Hugo Watzlawek hat zu diesem Thema in der *Meteorologischen Zeitschrift* 59 (Juli 1942) auch selbst detailliert publiziert und in seinem Überblicksartikel insbesondere ausgezeichnete Kenntnis der photographischen Nachweismethoden unter Beweis gestellt.

<sup>xxxii</sup> Die Energie-Massen-Äquivalenz  $E=mc^2$  wird heute meist mit dem Namen Albert Einstein (1879–1955) in Zusammenhang gebracht, der sie 1905/06 allgemein bewies. Seinen Namen hier nicht zu erwähnen, sondern stattdessen den des österreichischen Physikers Friedrich Hasenöhl (1874–1915) anzuführen, der 1904 einen Aufsatz über die „scheinbare Masse der Hohlraumstrahlung“ publiziert hatte, kann in unserem Zusammenhang 1944 als geschickte Umgehung der von den Nationalsozialisten als Jude verfemten Person Einsteins interpretiert werden.

<sup>xxxiii</sup> Über die Entwicklung von Zyklotronen und andere Teilchenbeschleunigern mit Schwerpunkt auf den USA siehe John L. Heilbron: *Lawrence and his Laboratory: A History of the Lawrence Berkeley Laboratory*, Berkeley: University

---

of California Press 1989 sowie (mit Schwerpunkt auf Deutschland) Rolf Wideröe & Pedro Waloschek: *Als die Teilchen laufen lernten: Leben und Werk des Großvaters des modernen Teilchenbeschleunigers*, Braunschweig: Vieweg 1993.

<sup>xxxiv</sup> Es ist möglich, dass es sich bei dem hier in annotierter Transkription vorgelegten Typoskript um den Abschlussbericht handelt, den Watzlawek dem *Reichsluftfahrtministerium* für den von ihm bearbeiteten geheimen und mit sehr hoher Prioritätsstufe SS3123/IOV/41 im Jahr 1942 erteilten Forschungsauftrag vorlegte. Das würde ausgezeichnet zu diesem letzten Absatz passen, in dem Watzlawek die Leser dieses Textes geradezu flehentlich um erheblich intensivierte Mittel bittet. Seiner „Darstellung des Lebenswerks“ von 1950 (TUWA, Rigorosenakt, R.Z. 2/94/1950, S. 2) entnehmen wir, dass diesem Plädoyer kein Erfolg beschieden war: „Nach Berichterstattung an das Reichsluftfahrtministerium wurde ein unzureichender Betrag bewilligt, weswegen ich die Fortsetzung dieser höchst kriegswichtigen Forschungsarbeit unterbrach“.

<sup>xxxv</sup> Die korrekte Quellenangabe für diesen Artikel von Douglas W.F. Mayer lautet: Energy from Matter, *Discovery - A Popular Journal of Knowledge*, hrsg. v. C.P. Snow, Cambridge: CUP (2nd ser.) Bd. II, Heft Nr. 18 (Sept. 1939): 459–460. Am Ende seines Überblicks zur Entdeckung der Kernspaltung betont Mayer „atomic power on a practical scale is still at present as far away a dream as ever, though we can, if we like, regard the first steps towards the realization of the dream as having been taken. Those who wish to speculate can ask themselves what society will make of atomic power should it come in the next century or so. Will it create a streamlined world where a pinch of salt is sufficient fuel for the *Queen Mary*, or shall we have a Wellsian chaos with each nation dropping bouquets of uranium bombs in a policy of encirclement?“ Die Gefahr von letzterem besteht noch heute nach wie vor.

<sup>xxxvi</sup> Der hier zitierte Text stammt von einem in Zürich ansässigen Sprengstoffspezialisten und erschien in *Nitrocellulose. Fachblatt für die Nitrocellulose- und Sprengstoffindustrie, sowie für Esterlacke, Kunstleder, Linoleum* [Berlin-Wilmersdorf: Pansegrau] im Novemberheft 11 des Jahrgangs 11: 203–204 jener wenig verbreiteten Zeitschrift. Auch dieser Autor spielt mit der Spannung zwischen „hemmungsloser Phantasie der Kriegs-Erfinder“ und den Möglichkeiten, die sich aus der Herstellung von Kernsprengstoff „im Grossen“ ergäben („wogegen keine Gründe sprächen“): „dann stünde eine Revolution auf wärme- und sprengstofftechnischem Gebiete bevor.“ (ebenda, 203). Die Theorie zur „Relation zwischen Substanzvernichtung und frei werdender Energie“ sei noch nicht bewiesen, doch „Nichtsdestoweniger berechtigen die Erscheinungen des Atomzerfalls zu grossen militärischen Hoffnungen [...] sowohl zum Ausglühen ganzer Festungen als auch zum augenblicklichen Zusammenschmelzen von Tanks oder Bunkern“ (ebenda, 204).

<sup>xxxvii</sup> Dass Watzlawek hier den in Ungarisch verfassten Artikel von Dr. Miklós Vermes zitiert: Lehet séges-e az atommag energiájának gyakorlati felhasználása? [Ist es praktisch machbar, nukleare Energie zu nutzen?], *Természettudományi Közlöny* 71 (1939): 538–541, legt nahe, dass er ungarisch konnte, was für jemanden, der aus Österreich stammt, nicht ganz so unwahrscheinlich ist wie für sonstige Westeuropäer. Inhaltlich beruht der Artikel von Vermes im Wesentlichen auf einer Wiedergabe der schon von Siegfried Flügge am 9. Juni 1939 in *Die Naturwissenschaften* publizierten Abschätzungen für die aus der Kernspaltung freiwerdende Energie.