

# DIE URANLAGERSTÄTTE IN ST. JOACHIMSTAL UND DIE RADIOAKTIVITÄTSFORSCHUNG IN ÖSTERREICH

Wolfgang L. Reiter, Wien

## I.

Die im nordwestlichen Gebiet der heutigen Tschechischen Republik gelegene Erzlagerstätte von St. Joachimstal war einst nicht nur für die Wirtschaft durch ihre reichen Silbervorkommen von europäischer Bedeutung, auch die Bergbau- und Hüttenkunde hat dieser Stadt und ihrem in Glauchau in Sachsen geborenen Stadtphysikus Georg Bauer, der seinen Namen zu Georgius Agricola (1494-1555) latinisierte, das erste und bis ins 18. Jahrhundert maßgebliche Standardwerk zu verdanken, das posthum unter dem Titel "*De re metallica*" (1556) veröffentlicht wurde. Für die moderne Mineralogie wurden mit seinem Werk "*De natura fossilium*" (1546) die ersten klassifikatorischen Grundsteine gelegt, und unter anderem wurde von ihm als einer der ersten der Unterschied zwischen einfachen Substanzen und Verbindungen in die Mineralogie eingeführt.

Das in Joachimstal im 16. Jahrhundert geprägte Silbergeld gelangte zu so großer und überregionaler Bedeutung, daß das Wort "*Thaler*" in der Alltagssprache zum Synonym für Geldmünzen schlechthin wurde. Und noch heute erinnern der Dollar, in allerjüngster Zeit der slowenische Tolar und nicht zuletzt der in manchen Weltgegenden noch immer als Zahlungsmittel akzeptierte Maria-Theresien-Thaler an die einstige Blütezeit dieses westböhmisches Städtchens.

Noch ein zweites Mal sollte dem Joachimstaler Bergbaurevier eine über die bergwirtschaftliche Bedeutung weit hinausgehende Rolle zukommen, als es um die Jahrhundertwende als Uranerzlagerstätte zum Rohstofflieferanten für die junge Wissenschaft der Radioaktivitätsforschung wurde.

Österreich hatte für einige Jahrzehnte als Lieferant der Ausgangsstoffe für die Radioaktivitätsforschung eine Schlüsselposition inne. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Verflechtung von Rohstoffbasis und früher Geschichte der Erforschung der Radioaktivität.

## II.

Im Jahre 1896 entdeckte Henri Becquerel eine neuartige Eigenschaft der Materie durch den Nachweis einer von Uransalzen ausgehenden autonomen durchdringenden Strahlung, die lediglich von der vorhandenen Uranmenge abhing und somit als Eigenschaft des Urans selbst gedeutet werden mußte: die Radioaktivität. Zwei Jahre später gelangen dem Ehepaar Pierre Curie und Marie Sklodowska-Curie die entscheidenden weiteren Schritte, die zur Entdeckung bis dahin noch nicht bekannter Elemente und gänzlich neuer Eigenschaften der Materie führten. Die von Becquerel beschriebene Eigenschaft des Urans wurde 1898 von G. C. Schmidt und M. Curie auch am Element Thorium gefunden.

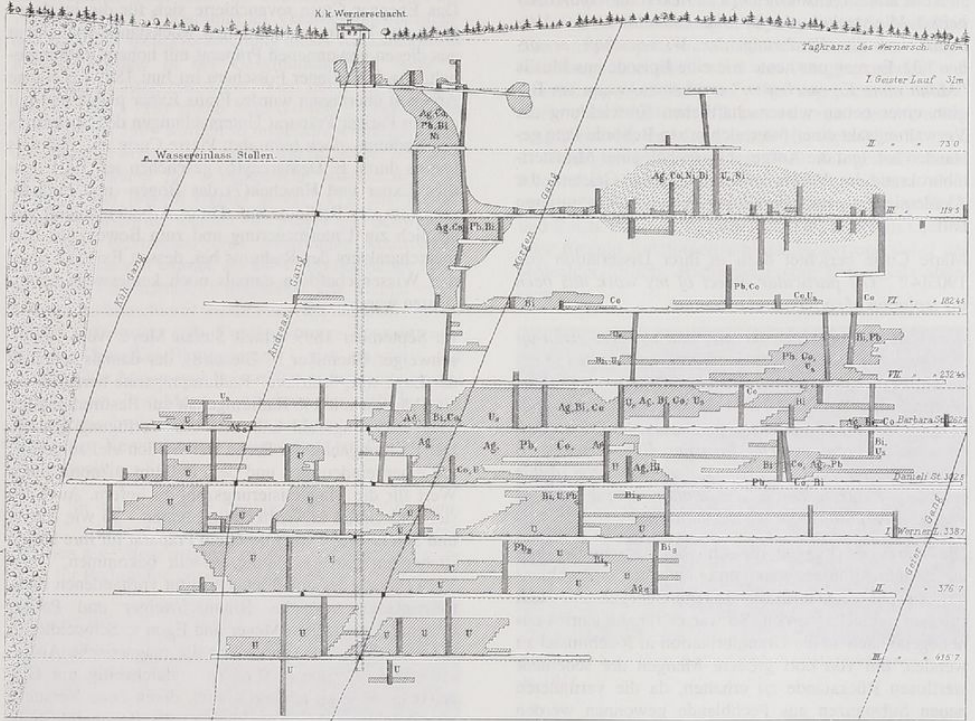
In ihrer ersten Publikation des Jahres 1898 konnte M. Curie zeigen, daß die an Uranoxyd reiche Pechblende und der an Uranylphosphat reiche Chalzit sich insofern anomal verhalten, als sie "*aktiver*" als Uran selbst waren. Die Messungen über das Ansteigen der Radioaktivität mit Erhöhung des Urangehalts der Probe waren quantitativ hinreichend abgesichert, um diesen Schluß zuzulassen. Dieser experimentelle Befund wurde von Pierre und Marie Curie nun dahingehend interpretiert, daß die untersuchten Mineralien ein weiteres Element enthalten müßten, das aktiver als Uran sei. Da die neu entdeckte Strahlung die Leitfähigkeit der Luft (durch Ionisation) erhöhte, konnte der Nachweis der (Radio-)Aktivität der untersuchten Proben durch Ionisationsmessungen geführt werden.

Am 18. Juli 1898 berichteten P. und M. Curie, daß es ihnen gelungen sei, aus Pechblende einen um das vierhundertfache aktiveren Stoff mit der Wismut enthaltenden Fraktion chemisch zu isolieren, als es dem Urangehalt ihrer Proben entsprach. Das neue Element wurde nach Marie Sklodowska-Curies Geburtsland Polonium genannt(1).

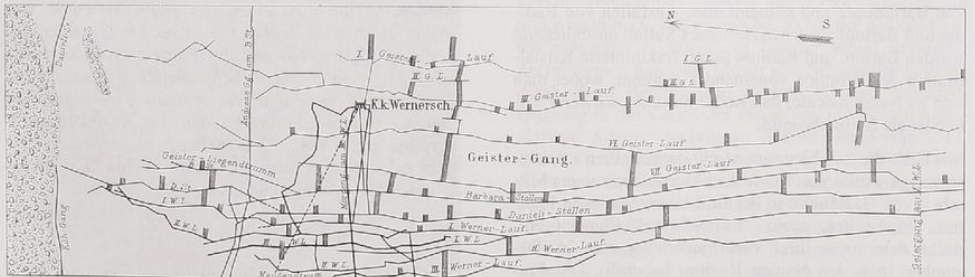
Im September 1898, zwei Monate nach der Entdeckung des Poloniums und drei Monate vor der Entdeckung des Radiums durch das Pariser Forscherpaar, traf in Wien, vermittelt durch die französische Botschaft, beim Ministerium des Äußeren ein Ansuchen ein, den Curies Material von den Rückständen aus der Uranverarbeitung in Joachimstal zu überlassen. Auf Empfehlung der Wiener Akademie der Wissenschaften, die vom zuständigen Ministerium für Ackerbau in dieser Angelegenheit konsultiert wurde, erhielt das Ehepaar Curie unentgeltlich eine erste Lieferung von 100 Kilogramm Rückständen aus Joachimstal. Die Vorräte waren, als das Ansuchen aus Paris gestellt wurde, in Joachimstal deshalb greifbar, weil die Rückstände entgegen den sonstigen Gepflogenheiten nicht auf Halde gekippt worden waren. Wegen des eher schlechten Geschäftsgangs des Bergwerks sollten Versuche angestellt werden, die Rückstände aus der Uranverarbeitung auf verwertbare Substanzen, insbesondere Silber, zu überprüfen(2). Aufgrund dieses Umstands konnte dem Ersuchen rasch entsprochen werden.

Besondere Unterstützung fand das französische Ansuchen auf Seiten der Wiener Akademie durch den Professor für Physik an der Universität Wien, Franz S. Exner. Exner seinerseits wiederum hatte zu dem Chemiker, Technologen und Industriellen Carl Auer v. Welsbach gute persönliche Beziehungen und so gelang es, im Verein mit dem Geologen und Präsidenten der Akademie der Wissenschaften, Eduard Suess, das Interesse der österreichischen Bergwerksbehörden, bzw. des Ackerbau-Ministeriums, dem der Uranbergbau in St. Joachimstal unterstand, zu wecken, wodurch das Ausgangsmate-

ÜBERSICHTSKARTE ÜBER DIE ERZFÜHRUNG DES GEISTERGANGES DER K.K. WESTLICHEN GRUBE ZU ST JOACHIMSTHAL.  
 Zusammengestellt nach Detail-Karten und Grubenberichten.  
 von  
 Josef Stép, k.k. Bergverwalter.



Grundriss.

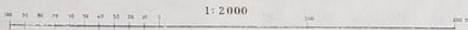


Fitzerwacke  
 Joachimsthaler Schiefer  
 mit Perphyr.

Abgebaute Gangflächen.  
 Alte Abbaus von unbekannter  
 Ausdehnung.

U = Uranpecher.  
 Us = Diverse Uranerze in Spuren.

Ag, Co, Pb, Bi, Ni = Silber-, Zink-,  
 Blei-, Wismut-, Nickel-Erz.  
 Ag<sub>u</sub>, Pb<sub>u</sub> = Silber-, Blei-Erzen in Spuren.



Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wiss., math.-naturw. Klasse, Bd. CXXII Abt. I, 1909.

Bild 1: Grund- und Saigerriß vom Silber- und Uranerzbergbau St. Joachimsthal (um 1904).

rial für die Forschungen des Ehepaars Curie, die zur Entdeckung des Radiums im Dezember 1898 führen sollten, gesichert werden konnte. *„Durch sein großzügiges Entgegenkommen“*, schreibt Stefan Meyer, *„hat sich das damalige österreichische Ackerbau- (später Arbeits-) Ministerium ein für alle Zeit ehrenvolles Verdienst um die Förderung der Wissenschaft erworben“*(3). Es mag uns heute wie eine Episode aus Musils *„Mann ohne Eigenschaften“* erscheinen, wenn am Beginn einer neuen wissenschaftlichen Entwicklung ein Verwaltungsakt einer österreichischen Behörde Pate gestanden hat, und die Aufgeschlossenheit einer Ministerialbürokratie im Verein mit aufgeklärten Geistern der Akademie ein neues Forschungsgebiet zu inaugrieren half.

Marie Curie berichtet dazu in ihrer Dissertation von 1903(4): *„The particular object of my work has been the isolation of radium and polonium...“*

*Pitchblende is an expensive ore, and we have given up the treatment of it in large quantities. In Europe the extraction of this ore is carried out in the mine of Joachimstal, in Bohemia.... This residue contains radio-active substances; its activity is four and a-half times that of metallic uranium. The Austrian Government, to whom the mine belongs, presented us with a ton of this residue for our research, and authorised the mine to give us several tons more of the material.“*

Die Voruntersuchungen, die schließlich zur Entdeckung des Radiums führten, waren unter anderem an Pechblende aus St. Joachimstal, Johann-Georgenstadt und Příbram gemacht worden. So war es für die Curies naheliegend, sich an die Uranfabrikation in Joachimstal zu wenden, um von dort größere Mengen der scheinbar wertlosen Rückstände zu erhalten, da die vermuteten neuen Substanzen aus Pechblende gewonnen werden konnten, nachdem das Uran schon abgeschieden worden war.

Die Aufarbeitung der Pechblende erfolgte durch Zusatz von Bariumsulfat und gemeinsames Ausfällen von Radium und Barium als schwerlösliches Sulfat; anschließend wurden Barium und Radium durch fraktionierte Kristallisation der Bromide voneinander getrennt, wobei man sich zu Nutze machte, daß Radiumbromid schwerer löslich ist als Bariumbromid.

Mit Hilfe dieses - hier vereinfacht dargestellten - Analysegangs wurde von Marie und Pierre Curie unter Mitarbeit von G. Bémont in der Barium enthaltenden Fraktion ein zweites, neues *„radioaktives“* Element entdeckt, dem sie in ihrer Veröffentlichung vom 26. Dezember 1898 den Namen Radium gaben(5). Die Entdeckung des Radiums im Dezember des Jahres 1898 durch Marie und Pierre Curie auf der Basis des von Österreich gelieferten Materials mußte somit schon zum frühest möglichen Zeitpunkt das Interesse auch der Wiener Forscher wecken.

Franz Exner, der in der Folge des von Pierre Curie an die offiziellen Wiener Stellen gerichteten Ersuchens auch in brieflichen Kontakt mit den Pariser Forschern getreten war, begann am alten Physikalischen Institut in der Türkenstraße 3 zusammen mit seinen Mitarbeitern

mit ersten Untersuchungen an den neuen radioaktiven Substanzen fast unmittelbar nach deren Entdeckung. Die ersten wichtigen Arbeiten aus Wien erschienen bereits 1899.

Das Ehepaar Curie revanchierte sich für die im Jahre 1898 zur Verfügung gestellten Rückstände mit einem aus diesen gewonnenen Präparat mit hohem Radiumgehalt, das den Wiener Forschern im Juni 1899 für eigene Arbeiten überlassen wurde. Franz Exner plante nun mit diesem Pariser Präparat Untersuchungen des Spektrums des Radiums, doch teilte ihm Pierre Curie mit, daß dies bereits durch E. Demarcay(6) geschehen sei. 1901 nahmen Exner und Haschek(7) das Bogen- und Funkenspektrum des Radiums auf. Diese Arbeiten trugen wesentlich zur Untermauerung und zum Beweis des Elementcharakters des Radiums bei, dessen Existenz unter den Wissenschaftlern damals noch keineswegs unumstritten war.

Im September 1899 erhielt Stefan Meyer vom Braunschweiger Chemiker F. Giesel(8), der damals schon in der Lage war, *„stärkere“* Radiumpräparate herzustellen, ein Präparat mit 1% Radiumgehalt zur Bestimmung der Magnetisierungszahl leihweise zur Verfügung gestellt. Der Radiumgehalt der Probe war freilich viel zu gering, um einen eindeutigen und dem Radium zuzuordnenden Wert für die Magnetisierungszahl zu liefern. Auch Elster und Geitel in Wolfenbüttel hatten - so wie Meyer und Schweidler - von Giesel ein Präparat für ihre Untersuchungen zur Verfügung gestellt bekommen. Unter Verwendung des am Wiener Institut vorhandenen Elektromagneten und des Braunschweiger und Pariser Präparates entdeckten Meyer und Egon v. Schweidler(9) jedoch in weiteren Versuchen die magnetische Ablenkung der *„Becquerel-Strahlen“*, gleichzeitig mit Giesel(10), sowie Elster und Geitel, deren erste Versuche zum Nachweis der Ablenkbarkeit der Becquerel-Strahlen jedoch ergebnislos verliefen(11). Diese für die Natur der radioaktiven Strahlung fundamentale Entdeckung konnte wenig später von Henri Becquerel(12) bestätigt werden. In ihren Arbeiten von 1899(13) wurde von Meyer und Schweidler der Unterschied der Strahlen des Radiums ( $\beta$ -Strahlen) und des Poloniums ( $\alpha$ -Strahlen) an Hand der unterschiedlichen Ablenkung dieser beiden Strahlenarten im Magnetfeld erstmals richtig gedeutet und der Nachweis erbracht, daß der Ablenkungssinn derselbe ist, wie bei Kathodenstrahlen. Meyer und Schweidler fanden dabei auch, daß sich die *„Poloniumstrahlen“* nicht ablenken ließen(14).

### III.

Aufgrund der aktiven Rolle der Wiener Akademie der Wissenschaften bei der Überlassung des benötigten Ausgangsmaterial für die Curie'schen Untersuchungen und insbesondere durch die schon kurz vor der Entdeckung des Radiums geschlossenen brieflichen Kontakte zwischen Franz Exner und Pierre Curie ist es nicht verwunderlich, daß schon 1901 die Akademie der Wissenschaften eine *„Kommission für radioaktive Substanzen“* unter Exners Vorsitz gründete und sich nunmehr intensiv mit Fragen der Radioaktivitätsforschung zu beschäftigen begann. Neben Exner gehörten der Kommission u.

a. Eduard Suess, Ludwig Boltzmann, Viktor v. Lang und Carl Auer v. Welsbach an.

Auf Anregung dieser Kommission kaufte die Akademie der Wissenschaften vom St. Joachimstaler Bergwerk 1904/05 10 000 Kilogramm an Verarbeitungsrückständen (15). Die Weiterverarbeitung dieser Rückstände auf Radium erfolgte in der Gasglühlichtfabrik Auer v. Welsbach in Atzgersdorf bei Wien durch L. Haitinger und C. Ulrich (16) gegen Selbstkosten. In den Jahren von 1904 bis 1907 wurden so insgesamt 4 Gramm Radiumchlorid gewonnen und damit, wie St. Meyer bemerkt, *„das Fundament für systematische wissenschaftliche Tätigkeit auf diesem Gebiet gelegt“* (17). Die chemischen Trennschritte wurden von Meyer und Schweidler mit Hilfe elektrometrischer Messungen kontrolliert. Diese Messungen wurden am alten Physikalischen Institut in der Türkenstraße durchgeführt. Die Menge von 4 Gramm Radiumchlorid wurde zunächst am Exner'schen Institut aufbewahrt (18). Durch die enge Zusammenarbeit der Chemiker Haitinger und Ulrich einerseits und der Physiker Meyer und Schweidler andererseits erwarben sich vor allem Meyer und Schweidler auch die nötigen chemisch-physikalischen experimentellen und methodischen Kenntnisse im Umgang mit größeren Mengen radioaktiver Stoffe.

Dieser in seiner Menge damals einmalige *„Radiumschatz“* wurde dann von der Akademie der Wissenschaften als *„Morgengabe“* in das 1910 gegründete Institut für Radiumforschung eingebracht.



Bild 2: "Radiuminstitut", Boltzmannstraße 3, Wien 9.

Das Verfahren der Darstellung von Radium, wie es auch von Haitinger und Ulrich und in der Uran-Radium-Fabrik in St. Joachimstal - wenn auch in abgewandelter Form - angewendet wurde, geht auf das Ehepaar Curie und A. Debiere zurück (19). Die Uranlaugrückstände, die nach der Behandlung des Röstguts mit Schwefeliger Säure und Salpetersäure nach Abtrennung der Uranyl-sulfatlaug entstehen, sind das Ausgangsprodukt zur Darstellung des Radiums. Die sogenannten *„Rück-Rückstände“* nach der *„3. guten Lauge“* des Verarbeitungsprozesses enthalten (nach Haitinger/Ulrich) noch 27 Milligramm Radium in 1000 Kilogramm dieser Rückstände. Das entstandene Rohsulfat wird zum *„Rohchlorid“* weiterverarbeitet, dem schlechtlöslichen  $\text{RaCl}_2$  und  $\text{BaCl}_2$ . Das *„Rohchlorid“* wird entweder als Chlorid oder Bromid fraktioniert umkristallisiert und dabei das schlechter lösliche Radiumsalz vom Bariumsalz abgetrennt.

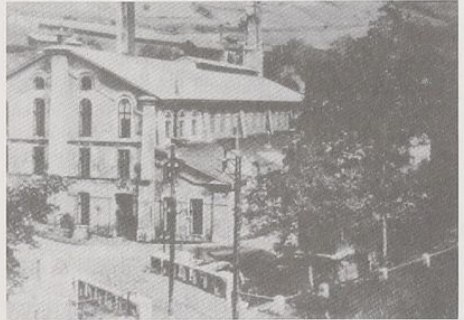


Bild 3: Die k. k. Uran-Radium-Fabrik in St. Joachimstal ca. 1912.

Auf der Basis des nunmehr in Wien zur Verfügung stehenden beachtlichen Vorrats an radioaktivem Material wandten sich Meyer und Schweidler der Aufklärung der Zerfallsprodukte des Radiums und der Zerfallsreihen zu und wiesen nach, daß es sich bei vielen der neu entdeckten radioaktiven Stoffe um Glieder schon bekannter Zerfallsreihen handelte. Meyer und Schweidler konnten durch diese Bemühungen wesentlich dazu beitragen, Ordnung in das Chaos der vielen neu entdeckten radioaktiven *„Körper“* zu bringen. In einem Brief vom 5. 11. 1904 (20) beglückwünschte Rutherford die Wiener Forscher zu ihrer Arbeit, mit der der Nachweis der Identität des Radiobleis mit Polonium gelungen war (21), eine Vermutung, die Rutherford ausgesprochen hatte (22). Weiters konnten Meyer und Schweidler in Arbeiten zwischen 1904 und 1906 zeigen, daß Polonium kein stabiles Element ist, sondern mit einer Halbwertszeit von 140 Tagen zerfällt (23).

So ergaben sich aus den Aktivitäten der Akademie und ihrer Kommission und den Forschungen Meyers, Schweidlers und der anderen Mitarbeiter am Physikalischen Institut, unter ihnen auch Lise Meitner, bald rege Kontakte zu den Pionieren dieses neuen und faszinierenden Gebiets der Physik, so zu P. und M. Curie in Paris (ab 1898), zu F. Giesel in Braunschweig (ab 1899), zu J. Elster in Wolfenbüttel (ab 1899), zu E. Rutherford

in Manchester (ab 1904), zu W. Ramsey in London (ab 1907), zu O. Hahn in Berlin (ab 1907), später zu B. B. Boltwood in New Haven, Conn. (ab 1910), zu F. Soddy in Glasgow (ab 1911), zu S. C. Lind in Washington D. C. (ab 1911), zu H. Geiger in Berlin (ab 1913) und zu K. Fajans in Karlsruhe (ab 1913) (24).

Besonders eng waren die Beziehungen der Wiener Forscher, namentlich die von Stefan Meyer als Leiter und späterer Direktor des Wiener Radiuminstituts, zu Ernest Rutherford in Manchester (und später in Cambridge), zu Marie Curie in Paris, sowie zu Otto Hahn und Lise Meitner in Berlin. Die Grundlage dieser engen Beziehungen war - vom wissenschaftlichen Gedanken- und Erfahrungsaustausch der Forscher, wie er für ein junges und dynamisches Arbeitsgebiet unabdingbar und selbstverständlich ist und den zahlreichen Forschungsaufenthalten ausländischer Wissenschaftler am Wiener Radiuminstitut ab dem Jahre 1910 einmal abgesehen - nicht zuletzt auch "materieller Natur": Es war die Joachimstaler Uranerzlagstätte, auf damals österreichischem Gebiet in Böhmen gelegen, und die damit verbundene Monopolstellung Österreichs für die Rohstoffbasis der "Radiumforschung" (25).

#### IV.

Im Erzgebirge (Krusné Hory) im nordwestlichen Böhmen liegen mehrere Uranerz führende Gebiete: Jáchymov (St. Joachimstal), Johann-Georgenstadt und Horni Slavkov (Schlaggenwald). Weniger bedeutende Vorkommen der uranreichen Pechblende befinden sich in Schneeberg, Marienberg und Freiberg. Ein weiteres Uranerz führendes Gebiet liegt im westlichen Tschechien um Příbram. Das Bergbaugbiet von Joachimstal, ca. 20 Kilometer nördlich von Karlsbad gelegen, umfaßt ein Gebiet von ca. 35 Quadratkilometer mit ungefähr 200 Erzgängen.

In der Region des Erzgebirges treten die Uranvorkommen vornehmlich in Klüften auf; die Lage der Pechblende in den Erzgängen scheint von der Muttergesteinslithologie bestimmt zu sein. Der größte Teil der Pechblende wurde dort abgeschieden, wo die Gänge auf chloritisierte und pyritisierte Gneise, Amphibolite, Skarne bzw. andere mafische oder graphitische Gesteinsarten trafen. Im Erzgebirge ist die Pechblende das einzige bedeutende hydrothermale Uranmineral (26). Karbonate sind die dominierenden Gangminerale; Uran ist in der Natur mit Thorium und den seltenen Erden vergesellschaftet.

Der Bergbau in St. Joachimstal wurde von Graf Schlick in Schlackenwerth begründet. Der Abbau auf Silber kam 1516 sehr rasch in Gang; im Juli des Jahres wurde ein Zechenhaus errichtet und schon zu Jahresende gab es 400 Wohnstätten für die Knappen. 1520 waren ca. 1000 Zechen in Verhub; im Bergbau waren damals 400 Schichtmeister, 800 Steiger und 8000 Knappen tätig. Die Grafen Schlick hatten ein eigenes Münzrecht und bis in die Jahre um 1550 wurden an die 4 Millionen Gulden geprägt, der "Joachimstaler Guldengroschen". Im 17. Jahrhundert war die Herstellung von sogenanntem Smalte-Blau unter Verwendung von Kobalterzen

ein weiterer wichtiger Erwerbszweig des Joachimstaler Bergbaus.

Nachdem die Silbererze abgebaut waren, wandte man sich in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts der Bleierzgewinnung zu. Als auch diese Vorkommen ausgereizt waren, begann ab 1853 der systematische Abbau auf Uranerze (27). Ab dem Beginn des 19. Jahrhunderts fand Uran zur Herstellung von Farben und zur Erhöhung der Feuerfestigkeit von Glas und Porzellan Verwendung. Seit ca. 1850 wurden Uranerze in St. Joachimstal systematisch gesucht, abgebaut und verhüttet. Der Aufschluß auf Uran erfolgte mit Schwefelsäure und unter Beimischung von etwas Salzsäure, wobei Radium und Barium als Lösungsrückstand zurückblieben (28).

Das radiumreichste Mineral ist die Pechblende ( $U_3O_8$ ). Für das Verhältnis von Uran zu Radium in den Mineralen geben Meyer/Schweidler einen Wert von 3,3.  $10^{-7}$  an. Der Urangelalt in  $U_3O_8$  beträgt 0,8482; bei Annahme eines Erzes mit 50%  $U_3O_8$  erhält man für 1 Gramm Erz somit 1,4.  $10^{-7}$  Gramm Radium oder 1 Gramm Radium auf 7000 Kilogramm Erz. 10 Tonnen Erz enthalten also ca. 1,4 Gramm Radium. Der Verlust durch den Verarbeitungsprozeß betrug beim damaligen Stand der Technologie ca. 10-20% (29).

St. Joachimstal war bis zur Erschließung außereuropäischer Großvorkommen, wie die Lagerstätte in Colorado/USA (Carnotit/Uranvanadat), die in der Zeit von 1913-1923 St. Joachimstal in seiner Bedeutung ablöste und die ihrerseits durch die Entdeckung der großen Vorkommen in Shinkolobwe (Katanga/Zaire) verdrängt wurde, die marktbeherrschende Lagerstätte. Die Uranmine Shinkolobwe, die von der belgischen Firma Union Minière du Haute Katanga betrieben wurde, war in den Jahren zwischen 1920 und 1931 der fast ausschließliche Radiumlieferant für den Weltmarkt. 1930 wurden dann die Vorkommen am Great Bear Lake (Canada) entdeckt (30).



Bild 4: Ein Paket Uranoxyd aus der k. k. Uranfabrik in St. Joachimstal.

Die Entdeckung der Radioaktivität und die damit einhergehende neue Bedeutung des Minerals Pechblende kam für das marode Bergwerk in St. Joachimstal wie gerufen, da der Geschäftsgang mit Uran damals zunehmend in Schwierigkeiten geraten war. Dies wird auch durch die zum Zeitpunkt der Entdeckung des Poloniums und Radiums geplanten Aufbereitungsversuche der

Rückstände aus der Uranverarbeitung auf das Edelmetall Silber deutlich, die in einer glücklichen Fügung die Lieferung der von den Curies für ihre Untersuchungen benötigten größten Tonnagen dieses scheinbar wertlosen Materials erst ermöglichte.

Durch die Entdeckung des Radiums konnte das Bergbaugesamt zum Teil wieder an seine alte Bedeutung, die es als Silberbergwerk inne hatte, anschließen und bis in die Jahre vor Beginn des 1. Weltkriegs war St. Joachimsthal der führende Lieferant für Radiumerze. Die neue Rolle des St. Joachimsthaler Bergbaus als marktbeherrschendes Unternehmen bei der Produktion von Uran und damit für die Lieferung des Ausgangsmaterials für die Darstellung von Radium war, wie dem Stiftungsbrief für das Wiener Radiuminstitut sehr deutlich zu entnehmen ist, auch von ausschlaggebender Bedeutung für die Initiative Karl Kupelwiesers, ein eigenes Forschungsinstitut in Österreich zu gründen, das sich der wissenschaftlichen Absicherung dieses Rohstoffes widmen sollte. In der Einleitung des an das Präsidium der Akademie der Wissenschaften in dieser Angelegenheit gerichteten Schreibens vom 2. August 1908 heißt es (31): *“Die Besorgnis, daß meine Heimath ‘Österreich’ etwa verasäumen könnte, sich eines der größten ihm von der Natur überlassenen Schätze, nämlich des Mineralen Uran-Pechblende wissenschaftlich zu bemächtigen, beschäftigt mich schon seit dem Bekanntwerden der räthselhaften Emanationen ihres Produktes ‘Des Radiums’. Ich wollte, soweit meine Kräfte reichen, zu verhindern trachten, daß mein Vaterland die Schande treffe, daß es eine ihm gewissermaßen als Privilegium von der Natur zugewiesene wissenschaftliche Aufgabe sich habe von Anderen entreißen lassen.*

*Es blieb mir hierzu in unserem etwas schwerfälligen Reiche unter den wirklich schon drängenden Umständen kein anderer Weg, als selbst in die Tasche zu greifen, und wenigstens den Pfad zu eben versuchen.*

*Die geehrte Akademie mit ihrem Stab von Forschern und die hohe k.k. Regierung mögen das Übrige thun.”*

Vom Jahre 1898 an, als das Ehepaar Curie in einer ersten Lieferung 100 Kilogramm Uranpechblendenrückstände erhielt, wurden bis 1906 insgesamt 23 600 Kilogramm zur Weiterverarbeitung nach Paris geliefert. Auch noch in den Jahren bis 1911 erhielten die Curies weitere Lieferungen aus St. Joachimsthal zur Gewinnung von Polonium (32). Besonders bemerkenswert im Zusammenhang mit diesen Lieferungen ist die kooperative und kulante Haltung der offiziellen österreichischen Stellen bei der Abwicklung dieser Geschäfte, was Pierre und später Marie Curie in ihrem Briefwechsel mit Stefan Meyer immer wieder dankbar erwähnten (33).

Der britische Chemiker und enge Mitarbeiter und Schüler Rutherfords, Frederick Soddy, hat in populären Vorträgen, die er 1908 an der Universität Glasgow gehalten hat, besonders eindringlich auf die Bedeutung Joachimstals als Rohstoffquelle für die Radiumforschung hingewiesen:

*“Das einzige vom Radium, was allgemein bekannt ist, ist sein enormer Preis. Wenn Sie bedenken, daß es nur ein Bergwerk in der Welt gibt, dessen Erz genug Radium*

*enthält, um die Gewinnung desselben im großen zu ermöglichen, und daß selbst von diesem Erz mehrere Zentner verarbeitet werden mußten, um die kleine Menge, die ich hier habe, zu gewinnen, so werden Sie es begreiflich finden, daß der Preis ein sehr hoher sein muß. Soweit man dem Radium einen Geldwert beilegen kann, ist ein Gran gegenwärtig wahrscheinlich mehrere hundert Pfund wert. Wir werden später sehen, daß jeder stark radioaktive Körper wie das Radium naturgemäß immer selten sein muß. Ja, in dem Grad der Radioaktivität haben wir einen wissenschaftlichen Maßstab der Seltenheit und daher des ‘Wertes’” (34).*

In seiner weiteren Diskussion macht Soddy eindringlich und klar auf einen mit diesem neuen Forschungsgebiet verbundenen Umstand aufmerksam, der nicht nur die Wissenschaftler mit neuen und noch ungewohnten Bedingungen konfrontierte, sondern auch künftig und bis heute die Erforschung der Struktur der Materie begleiten wird: die Komplexität der Forschungen und die damit verbundenen hohen finanziellen Kosten.

*“Es gibt leider einige Gebiete der wissenschaftlichen Forschung, zu denen auch die Radioaktivität gehört, die nicht ohne beständige und erhebliche Kosten gründlich bearbeitet werden können. Der alte Stolz der Wissenschaft, daß einige ihrer größten Entdeckungen mit höchst einfachen Apparaten gemacht wurden, die zum größten Teil aus Draht und Siegelack bestanden und wenig oder gar nichts kosteten, ist auf die Entdeckungen, mit denen wir uns hier beschäftigen, nicht anwendbar. Die Untersuchungen der Frau Curie haben viele tausende von Pfund gekostet, die man dem Gemeinsinn der österreichischen Regierung und den Rothschilds zu verdanken hat. Das Radium, welches ich heute abend zu meinen Versuchen benutze, verdanke ich der Arbeit eines deutschen Chemikers, Dr. Giesel, der es im großen darstellte, als das Rohmaterial noch zu haben war, und der große Mengen desselben in uneigennützigter Weise an Forscher in der ganzen Welt abgab” (35).*

Und nun kommt Soddy - mit bitterem Unterton - auf einen Umstand zu sprechen, der in scharfem Kontrast zur seinerzeit so kooperativen Haltung der österreichischen Stellen steht, als dem Ehepaar Curie großzügig Rohmaterial aus Joachimsthal zur Verfügung gestellt wurde. Inzwischen hatten die Behörden in Österreich den durch die Curie'schen Entdeckungen gestiegenen Wert der Pechblende einzuschätzen gelernt.

*“Heute ist die Ausfuhr der Joachimsthaler Erze von der österreichischen Regierung verboten, und es herrscht ein großer Mangel an Rohmaterial. Selbst diejenigen, welche dem Rohmaterial ihren Wert gegeben und das Verfahren der Bearbeitung desselben ausgebildet haben, können kein Material mehr für ihre Untersuchungen bekommen. Ein Monopol in der Wissenschaft ist eine bedauerliche Neuerung, aber leider existiert es heute für den beschränkten Radiumvorrat. Wie man erzählt, hat die Royal Society kürzlich durch den Einfluß des Prinzen von Wales beim österreichischen Hofe Rohmaterial im Werte von tausend Pfund bekommen” (36).*

V.

Wie kam es dazu, daß gerade in Wien die Initiative für Forschungen auf diesem jungen Gebiet ergriffen und wissenschaftliches und auch organisatorisches Neuland mit der Gründung eines eigenen Forschungsinstituts beschritten wurde? Wien - eine Stadt der Initiativen und Innovationen in den Naturwissenschaften? Seltsam ungewohnt ist diese Vorstellung.

Es war freilich kein Zufall, daß gerade ein österreichischer Mäzen auf ein neues Forschungsgebiet aufmerksam wurde und die Gründung eines der Erforschung der Radioaktivität gewidmeten Instituts ermöglichte, wie schon im Zusammenhang mit der Rolle des St. Joachimstaler Bergbaus für die Entdeckung des Radiums und den sich daran knüpfenden Kontakten der Wiener Wissenschaftler und den folgenden Forschungsarbeiten der Akademie und der Exner-Schüler Meyer und Schweidler ausgeführt wurde.

Aufgrund einer großzügigen Stiftung aus dem Jahr 1908 durch Dr. Karl Kupelwieser (1841-1925), Hof- und Gerichtsadvokat in Wien und Mitglied einer reichen Industriellenfamilie (37), wurde das Institut für Radiumforschung in den Jahren 1909 bis 1910 im 9. Wiener Gemeindebezirk auf den ehemaligen Gründen der Tabakregie erbaut und am 28. Oktober 1910 feierlich und in Anwesenheit des Kurators der Akademie, Erzherzog Rainer, vom Präsidenten der Akademie, Eduard Suess, seiner wissenschaftlichen Bestimmung übergeben.

Neben dem schon erwähnten "Radiumschatz" stand dem Radiuminstitut weiters aufgrund eines Übereinkommens mit dem Ministerium für öffentliche Arbeit bis 1918 das in der Uran-Radium-Fabrik in St. Joachimstal erzeugte Material, das am Institut unentgeltlich geieicht wurde, bis zum jeweiligen Verkauf für Experimente zur Verfügung. Dadurch hatte das Institut insbesondere für Untersuchungen mit Gamma-Strahlen bisweilen Zugang zu Mengen in der Größenordnung von mehreren Gramm Radium.

Bis 1918 hatte Österreich durch die Uranlagerstätte in St. Joachimstal und nicht zuletzt auch durch die Verarbeitungsbetriebe in Atzgersdorf und später in St. Joachimstal selbst quasi eine Monopolstellung auf dem für das junge Forschungsgebiet relevanten Rohstoffsektor. Erst zu Beginn der Zwanzigerjahre sollte sich diese Situation ändern, als die Union Minière du Haute Katanga begann, die seit 1913 bekannten kongolesischen Uranlager von Shinkolobwe in einem Ausmaß auszubeuten, dem Joachimstal wirtschaftlich nicht gewachsen war. Ab dieser Zeit etablierte sich eine enge Kooperation zwischen dem Wiener Radiuminstitut und der Union Minière, die ohne eigene Erfahrung bei der Aufbereitung von Uranerz sich 1921 an St. Meyer mit der Bitte um Rat wandte. Die langjährige und reiche Erfahrung des Direktors der Radiumfabrik in St. Joachimstal, C. Ulrich, kam den Belgiern bei der Lösung des Problems, die zweckmäßigste Aufschlußmethode für das Katanganerz zu finden, sehr zu Gute. So stand Stefan Meyer einmal mehr an der Wiege einer auf seine Vermittlung hin zustande gekommenen engen Verbindung mit einem wichtigen ausländischen Partner. Wie vielfältig sich die

se Beziehung noch bewähren sollte, zeigte sich 1931 bei der Lieferung von 5 Gramm Radium für die Strahlenstation des Krankenhauses in Wien-Lainz und nochmals später bei der Überlassung von 3 Gramm Radium für die neuerlichen Hönigschmid'schen Atomgewichtsbestimmungen des Jahres 1933 und schließlich bei der Unterstützung Karl Przibrams, des stellvertretenden Direktors des Radiuminstituts, nach seiner Emigration aus Österreich im Exil in Belgien durch die Union Minière in den Jahren ab 1939.

War die Beziehung zu Paris durch die Lieferung des Ausgangsmaterials für die Untersuchungen der Curies etabliert worden, so profitierten die britischen Forscher - und hier vor allem Ernest Rutherford - von der im Zusammenwirken mit Meyer und Schweidler vorangetriebenen Aufbereitung und Extraktion des Radiums in der Auer'schen Fabrik in Atzgersdorf bei Wien.

1907 arrangierten Exner und Meyer seitens der Akademie die leihweise Überlassung von 350 Milligramm Radiumbromid an Rutherford und William Ramsey, Rutherfords wissenschaftlichen Konkurrenten am University College in London. Rutherford hatte ursprünglich weniger als 20 Milligramm Radiumbromid zu seiner Verfügung, als er mit seinen Untersuchungen in Manchester begann. Deshalb und im Wissen um den Wiener "Radiumschatz" wandte er sich mit der Bitte um Überlassung von 500 Milligramm Radium an Wien (38). (Das Exnersche Institut - und später das Radiuminstitut - verfügte über die größte Menge Radium in gelöster Form, die es zur damaligen Zeit in irgendeinem Labor gab.) Obwohl Ramsey seinerseits schon im Besitz einer Radiumsalzmenge von 150 Milligramm war, wollte er zudem volle Verfügungsgewalt über die Wiener Leihgabe für die Dauer von eineinhalb Jahren, um seine Forschungen prioritär vorwärtstreiben zu können. Dieses Ansinnen Ramseys führte zu einer schweren Verstimmung zwischen ihm und Rutherford. Meyer, der durch Ramseys Vorgehen die Arbeitsfortschritte Rutherfords aufs Schwerste gefährdet sah, klärte die schwierige Situation durch seine für ihn so typische diplomatische Geschicklichkeit. Auf Meyers Intervention hin stellte die Wiener Akademie zu Beginn des Jahres 1908 Rutherford ohne jegliche weitere Bedingungen und völlig zu seiner eigenen freien und uneingeschränkten Verfügung 300 Milligramm Radium als Chlorid (39) zur Verfügung und beschloß weiters, Ramsey die erste Lieferung ganz zu überlassen. Diese Leihgabe ermöglichte nun Rutherford die ungehinderte Entwicklung seines eigenen Forschungsprogramms und trug nicht unwesentlich zu seinen großen wissenschaftlichen Erfolgen bei. Nicht zuletzt etablierte Meyers Intervention des Jahres 1908 die engen freundschaftlichen und wissenschaftlichen Verbindungen zwischen den beiden Forschern und ihren Instituten.

Die leihweise Überlassung galt vorerst für zwei Jahre, wurde aber in all den Jahren darauf weiter verlängert und das Präparat verblieb auch in den Kriegsjahren 1914-1918 in England.

Auch Otto Hahn und Lise Meitner erhielten zwischen 1917 und 1920 Rückstände aus der Urangewinnung in

St. Joachimstal, die sie insbesondere für ihre Suche nach Protactinium verwendeten; weiters wurden ihnen leihweise die am Wiener Radiuminstitut vorhandenen stärksten Actiniumpräparate für Messungen der  $\beta$ - und  $\gamma$ -Spektrien überlassen.

Nach Ende des 1. Weltkriegs und mit zunehmender Verschlechterung der wirtschaftlichen Lage in Österreich fand sich auch das Wiener Radiuminstitut in einer deploralen finanziellen Situation. Rutherford, von Meyer über die schwierige Situation des Instituts informiert, erwies sich als Retter in der Not. Um die seitens der britischen Behörden drohende Konfiskation des ihm einst leihweise überlassenen Radiums als Kriegsbeute zu verhindern, arrangierte Rutherford 1921 den Kauf von 20 Milligramm im Gegenwert von 540 Pfund in harter Währung (40). Es war ein Zeichen der engen Verbundenheit und der Dankbarkeit gegenüber den Wiener Forschern und, was zu dieser Zeit wesentlicher war, eine großzügige Hilfe in den für das Radiuminstitut schwierigsten Jahren seit seinem Bestehen, als die Jahresdotations des Instituts auf weniger als umgerechnet 1 Pfund zusammengeschnitten war (41).

1927 tätigte Rutherford einen weiteren Kauf einer Menge von 250 Milligramm für die Summe von 3 000 Pfund verteilt auf 6 Jahre (42). Das für den Kauf nötige Geld wurde Rutherford von der Royal Society zur Verfügung gestellt (43). Angesichts der tristen ökonomischen Situation der wissenschaftlichen und universitären Einrichtungen in Österreich setzte diese Kaufsumme das Institut in die Lage, seine Arbeit fortführen zu können. Elisabeth Rona, damals Mitarbeiterin am Radiuminstitut, schreibt dazu (44):

*"This news was received at the Radium Institute with joy and hope; spirits were high again. Payment from the Royal Society was spread over several years until finally all the radium, initially loaned to Rutherford, had been paid for."*

Die Hilfsbereitschaft Rutherfords, eine Unterstützung des Instituts durch die Rockefeller Foundation in den Jahren 1925 bis 1929, sowie weiters durch die Notgemeinschaft deutscher Wissenschaftler und durch verschiedene anderer Organisationen und Einzelpersonen ermöglichten so überhaupt eine gedeihliche Weiterführung der Arbeiten des Instituts in der Zeit der Nachkriegskrise. Freilich konnte das Wiener Institut an seine Bedeutung aus der Pionierzeit der Radioaktivitätsforschung unter den geänderten politischen und wirtschaftlichen Bedingungen, aber auch bei den wissenschaftlichen Entwicklungen hin zu jenem neuen dynamischen Forschungsbereich, den wir heute Kernphysik nennen, nur mehr in recht begrenztem Umfang durch eigene originäre Beiträge anschließen. Nicht unerwähnt soll auch im Rahmen dieser Arbeit die Tatsache bleiben, daß nach der Okkupation Österreichs durch das Deutsche Reich im März 1938 ein Drittel der Mitarbeiter des Radiuminstituts aus ihren Positionen vertrieben wurde, unter ihnen der Direktor des Instituts, Stefan Meyer, sein Stellvertreter Karl Przibram, sowie die Mitarbeiter Franz Urbach, Elisabeth Rona und Marietta Blau (45).

## VI.

Die Joachimstaler Uranvorkommen sollten noch einmal, wenn auch nur zu politischer Bedeutung gelangen, als Albert Einstein in einem von ihm unterzeichneten und an den Präsident der Vereinigten Staaten, F. D. Roosevelt, gerichteten Schreiben vom 2. August 1939 auf die Bedeutung dieser Lagerstätte als Rohstoffbasis für den Bau einer Atombombe hinwies (46). Nach der Besetzung der Tschechoslowakei durch Nazi-Deutschland war St. Joachimstal unter deutsche Verfügung gestellt worden und eine Exportsperr für das spaltbare Material Uran, die die Deutsche Reichsregierung ausgesprochen hatte, mußte angesichts der Möglichkeit, daß Hitler den Bau einer Uran-Bombe in Erwägung zöge, als alarmierendes Signal gewertet werden. Wenn auch dem Brief Einsteins nicht jener Stellenwert für die Inaugurierung des amerikanischen Bombenprogramms und des "Manhattan District Projects" zukommt, der ihm oft zugeschrieben wird, so war doch der Hinweis auf die Deutschland nunmehr zur Verfügung stehende Rohstoffquelle, deren strategische Bedeutung offensichtlich erkannt worden war, mit ein Beweggrund für den 1942 von den USA begonnenen Bau der Atombombe.

## ANMERKUNGEN:

- (1) P. und S. Curie, Comptes Rendus 127, 175, 1898.
- (2) St. Meyer und E. v. Schweidler, Radioaktivität. B. G. Teubner, Berlin Leipzig 1916. (1. Auflage), S. 7. (Im weiteren zitiert als: Meyer/Schweidler, 1916)
- (3) St. Meyer, Die Vorgeschichte der Gründung und das erste Jahrzehnt des Instituts für Radiumforschung. In: Festschrift des Instituts für Radiumforschung anlässlich seines 40jährigen Bestandes (1910 - 1950), Wien 1950, S. 7. Sitzungsber. d. Mathem. naturwiss. Kl. Abt. IIa, 159 Bd., 1.-2. Hefte und Mitt. d. Inst. f. Radiumforsch. Nr. 470. Diese Arbeit wird im weiteren als "Vorgeschichte" zitiert. Vgl. dazu auch: Berta Karlik und Erich Schmid, "Franz Serafin Exner und sein Kreis. Ein Beitrag zur Geschichte der Physik in Österreich", Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien 1982.
- (4) M. Curie, Radioactive Substances, (Thesis), Philosophical Library, New York 1961, S. 20.
- (5) P. und S. Curie und G. Bémont, Comptes Rendus 127, 1215, 1898.
- (6) E. Demarcay, Comptes Rendus 127, 1218, 1898; 129, 716, 1899; 131, 258, 1900.
- (7) F. Exner und E. Haschek, Wien. Ber. 110, 964, 1901.
- (8) F. Giesel demonstrierte die von ihm hergestellten Radiumpräparate bei der Versammlung der Deutschen Naturforscher in München im September 1899, die Meyer besuchte und dort Kontakt mit Giesel aufnahm. St. Meyer, Naturwissenschaften 3, 129 (1949). F. Giesel, Physik. Z. 1, 16 (1899).
- (9) St. Meyer und E. v. Schweidler, Über das Verhalten von Radium und Polonium im magnetischen Felde. Anzeiger der kaiserl. Akad. d. Wiss., Mathem.- naturw. Kl., XXII, 3. Nov. 1899. St. Meyer und E. v. Schweidler, Über das Verhalten von Ra-



- dium und Polonium im magnetischen Felde. (I. Mitteilung.) Phys. Zts., I, 90, 1899. St. Meyer und E. v. Schweidler, Weitere Notizen über das Verhalten des Radiums im magnetischen Felde. Anzeiger der kaiserl. Akad. d. Wiss., Mathem.-naturw. Kl., XXII, 9. Nov. 1899. St. Meyer und E. v. Schweidler, Verhalten von Radium und Polonium im magnetischen Felde. (II. Mitteilung.) Phys. Zts., I, 113, 1899.
- (10) F. Giesel, Annal. d. Phys., 69, 834, 1899.
- (11) J. Elster und H. Geitel, Verhandlungen Deutsch. Physik. Ges. 1, 136 (1899) (Sitzung von 5. Mai 1899).
- (12) H. Becquerel, Comptes Rendus, 130, 809, 1900. Vgl. dazu auch E. Rutherford, Radioactive Transformation, New York 1906, S. 9. Zur Geschichte der Ablenkung der Becquerel-Strahlen siehe auch: Marjorie Malley, The Discovery of the Beta Particle. AJP, Vol 39, Dec. 1971, 1454.
- (13) Vgl. dazu Fußnote 9
- (14) Erst 1902 etabliert Ernest Rutherford die Begriffe  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen; ihm gelingt auch erstmals die Ablenkung der  $\alpha$ -Strahlen des Poloniums im magnetischen wie auch im elektrischen Feld. E. Rutherford, Phys. Zts., iv, 235, 1902; Phil. Mag., Feb., 1903. Radioactive Transformation, a.a.O., S. 220.
- (15) Dies entspricht einer Menge von 30 000 Kilogramm Uranpechblende.
- (16) L. Haitinger und C. Ulrich, Wien. Ber. 117, 619, 1908.
- (17) St. Meyer, Das erste Jahrzehnt des Wiener Instituts für Radiumforschung. Jahrbuch d. Radioaktivität und Elektronik XVII, 1-29, 1920.
- (18) Berta Karlik und Erich Schmid, a. a. O., S. 90. Fajans gibt an: Bei verlustfreiem Arbeiten erhält man aus 7000 kg Joachimstaler Pechblende, welches das radiumreichste Erz ist, 1 g Radium. K. Fajans, Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen, Vieweg, Braunschweig 1922, S. 10.
- (19) Vgl. dazu: Meyer/Schweidler, 1916, S. 309.
- (20) A. S. Eve, Rutherford, Cambridge University Press, Cambridge 1939, S. 114.
- (21) St. Meyer und E. v. Schweidler, Wiener Sitz. ber. CXIV. IIa, 1195, 1905.
- (22) E. Rutherford, Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., 204, 198, 1904.
- (23) St. Meyer und E. v. Schweidler, Wien. Anz. 1. Dez. 1904. Meyer/Schweidler, 1916, S. 361.
- (24) Die Jahreszahlen sind (mit Ausnahme Giesel und Rutherford) auf den Beginn der Korrespondenz mit St. Meyer, wie bei Karlik angegeben, bezogen. Vgl. dazu B. Karlik, Der wissenschaftliche Briefwechsel von Stefan Meyer, Sitz.ber. d. österr. Akad. d. Wiss., Mathem.-naturw. Klasse, Abt. II, 188. Bd., 4. bis 7. Heft, 1979.
- (25) F. A. Paneth, St. Joachimstal und die Geschichte der Chemischen Elemente, Lotus, 66, 1, Prag 1918. Engl. in: Chemistry and Beyond. A Selection of Writings of the late Professor F. A. Paneth. H. Dingle, G. R. Martin, E. Paneth (Eds.), Interscience Publishers, New York 1964, S. 20.
- (26) Die Abfolge der hydrothermalen Gangerzmineralisationsstufen: 1. frühe Sulfide, 2. Quarz, 3. Pechblende, 4. Arsenide mit Ag, 5. Arsenide mit Bi, 6. Sulfarsenide, 7. späte Sulfide. Das Alter der Hauptstufe der Pechblende beträgt 220-230 Millionen Jahre. Pechblende enthält 50-80% Uran, 0-10% Thorium; daneben  $\text{SiO}_2$ , Fe, Ca, Mg, Sb, As, V, Cu, Tl, Pb, Bi, seltene Erden.
- (27) 1789 gelang die Entdeckung des Urans durch Martin H. Klaproth (Berlin) in den Erzen von Johann-Georgenstadt. Die Darstellung von Uran als Metall erfolgte 1841 erstmals durch E. M. Péligot.
- (28) In ca. 100 000 Kilogramm dieser Lösungsrückstände befand sich ca. 1 Gramm Radiumsalz, d.h. ca. 1 Fingerhut in einem Eisenbahn-Waggon Rückstände. 1 Gramm RaBr kostete 1900 15 000 Kronen; 1905 betrug der Preis 400 000 Kronen.
- (29) Petraschek gibt an, daß die gesamte bauwürdige Menge Radiumerz aller bis zum damaligen Zeitpunkt bekannten Radiumlagerstätten eine Gesamtmenge von 425 Gramm Radium ergäbe. W. Petraschek, Die nutzbaren Radiumvorräte der Erde, 1915. Vgl. dazu auch: Meyer/Schweidler, 1916, S. 314.
- (30) Seaborg gibt für den Urangelhalt in Erzen an: Canadian pitchblende 13.5%; Belgian Congo pitchblende 38%; Colorado pitchblende 50%; Colorado carnotite 10%; Brazilian monazite 0.24%; North Carolina monazite 1.64%. G. T. Seaborg, The Transuranium Elements, Yale University Press, Reading, Mass., 1958, S. 79
- (31) Archiv der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Akte Karl Kupelwieser. Abschrift Zl. 713 ex 1908. Eine gekürzte Version des Stiftungsbriefes zitiert St. Meyer in: Das erste Jahrzehnt des Wiener Instituts für Radiumforschung. Jahrbuch d. Radioaktivität und Elektronik XVII, 2, 1920.
- (32) Briefe von M. Curie an St. Meyer vom 9. 2., 4. 4. und 2. 6. 1911. St. Meyer, Vorgeschichte, a. a. O., S. 18.
- (33) Für die Gesamtmenge von 23 600 kg Pechblenderückstände der Lieferungen 1898 bis 1906 bezahlten die Curies insgesamt ca. 13 160 Kronen, d. s. ca. 0.2% des wahren Wertes verglichen mit einer vollen theoretischen Ausbeute von 12 g Radium entsprechend einem damaligen Wert von 7 Mio. Francs. Der Preis für 1 g Ra betrug damals 600 000 Francs. St. Meyer, Vorgeschichte, a. a. O., S. 9.
- (34) Soddy, Die Natur des Radiums. Nach sechs an der Universität Glasgow im Jahre 1908 gehaltenen freien populären Experimentalvorträgen. Verlag von J. A. Barth, Leipzig 1908, S. 27 f.
- (35) F. Soddy, a. a. O., S. 28.
- (36) F. Soddy, a. a. O., S. 28 f.
- (37) Almanach der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 1911, Wien 1911, S. 212. Karl Kupelwieser war der Sohn des Malers Leopold Kupelwieser (1796-1862). Sein Bruder war der Industrielle Paul Kupelwieser, der seine Karriere als Industriemanager in der Funktion eines Direktors des Teplitzer Stahl- und Walzwerkes begonnen hatte und 1876 Generaldirektor der Wittkowitz Eisenwerke wurde.

- (38) Brief Rutherford an Exner vom 5. 10. 1907. Zit. nach: A. S. Eve, a. a. O., S 168.
- (39) E. Rona, "How It Came All About. Radioactivity, Nuclear Physics, Atomic Energy". ORAU 137 1978, S. 21. Vgl. dazu auch: Roger H. Stuewer, Artificial Disintegration and the Cambridge-Vienna Controversy. In: Peter Aichinstein and Owen Hanaway, eds., Observation, Experiment, and Hypothesis in Modern Physical Science. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1985, S. 246; A. S. Eve, a. a. O., S 167-172.
- (40) Von den ca. 20 mg stammten 13.55 mg Ra von der Hauptmenge und 6.45 mg Ra von einem Standardpräparat, das Hönigschmid 1911 hergestellt hatte. Alle wesentlichen Radiummengen, die Rutherford in seinen Laboratorien besaß, stammten aus Wien.
- (41) Brief Meyer an Rutherford vom 28. 2. 1921 und Rutherford an Meyer vom 14. 4. 1921. Zit. nach: A. S. Eve, a. a. O., S 287.
- (42) Die Summe wurde in sechs Jahresraten von 1928 bis 1933 überwiesen.
- (43) E. Rona, a. a. O., S. 21.
- (44) E. Rona, a. a. O., S. 22.
- (45) W. L. Reiter, Österreichische Wissenschaftsemigration am Beispiel des Instituts für Radiumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. In: Friedrich Stadler (Hrsg.), Vertriebene Vernunft II. Emigration und Exil österreichischer Wissenschaft. Intern. Symposion 19. bis 23. Oktober 1987 in Wien; Jugend und Volk, Wien - München 1988.
- (46) "Die Vereinigten Staaten besitzen nur sehr spärliche und mäßig ergiebige Uranerzvorkommen. Einige gute Adern befinden sich in Kanada und der früheren Tschechoslowakei; die wichtigste Uranquelle bildet aber Belgisch-Kongo. ... Ich weiß, daß Deutschland augenblicklich den Verkauf von Uran aus den tschechischen Bergwerken, die es übernahm, eingestellt hat. Daß es diese Maßnahme so frühzeitig getroffen hat, erklärt sich vielleicht daraus, daß der Sohn des deutschen Unterstaatssekretärs von Weizsäcker dem Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin, wo gewisse amerikanische Uranarbeiten jetzt wiederholt werden, zugeteilt wurde." Zit. nach: Carl Seelig (Hrsg.), Helle Zeit - Dunkle Zeit. In memoriam Albert Einstein. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1986, S. 96.