

# Carl Auer von Welsbach und sein Beitrag zur frühen Radioaktivitätsforschung

Dr. Gerd Löffler, Heinzlweg 21a)/6, A-9201 Krumpendorf am Wörthersee  
<gerd.loeffler@aon.at>

Carl Auer von Welsbach (1858-1929) ist als österreichischer Forscher (Chemiker, Physiker) in Deutschland weitgehend in Vergessenheit geraten. Chemiker mögen sich noch daran erinnern, dass er 1885 die Elemente Neodym und Praseodym und 1905 die Elemente Ytterbium und Lutetium entdeckt hat. Er galt in seiner Zeit als Spezialist für die Seltenerd-Elemente (SE), die heute eine so wichtige Rolle in vielen technischen Anwendungen spielen. Auer von Welsbach promovierte bei Robert Bunsen in Heidelberg (1880-1882).

Als erfolgreicher Unternehmer und Erfinder ist er auch heute noch der älteren Generation über die Grenzen Österreichs hinaus bekannt. Das Gasglühlicht (der Glühstrumpf), die erste Metallfadenlampe (später OSRAM-Glühbirne) und der auch heute noch produzierte Zündstein breiteten sich um 1900 über fast alle Kontinente aus. In fast allen Industrieländern gründete Auer von Welsbach Produktionsfirmen oder war als Gesellschafter an ihnen beteiligt. Im deutschen Sprachraum sind seine Firmen in Berlin die Auergesellschaft, in Wien-Atzgersdorf die Österreichische Gasglüh- und Electricitäts-AG und in Althofen (Österreich/ Kärnten) die Treibacher Chemische Werke, heute Treibacher Industrie AG. Letztere existierte bis Ende des Zweiten Weltkrieges in Deutschland und ist bis heute noch in von Österreich (Kärnten) aus auf dem internationalen Markt tätig.

Aus Anlass des 150. Geburtstages des Auer von Welsbach wurde im Jahr 2008 seine Tätigkeit als Forscher und Unternehmer ausführlicher gewürdigt als es hier möglich ist.<sup>1</sup> Dort findet sich auch die weiterführende Literatur.

Der Verfasser hat 2008 auch darauf hingewiesen, dass Carl Auer von Welsbach seit ca. 1904 auch auf dem Gebiet der Radioaktivitätsforschung tätig war.<sup>2</sup> Soweit feststellbar, ist dieser Hinweis vorher das letzte Mal in der Literatur 1958 erfolgt.<sup>3</sup> Seit 2008 wurden u.a. die im Auer von Welsbach-Museums und in dem angegliederten Auer von Welsbach-Forschungsinstituts in Althofen archivierten

ca. 250 Dokumente (Schriftwechsel) gesichtet, die sich auf dieses Gebiet, d.h. der frühen Radioaktivitätsforschung und den Kontakt von Auer von Welsbach mit anderen Forschern in Europa insbesondere mit dem damaligen Institut für Radiumforschung in Wien beziehen. Weiterhin wurden in diesem Zusammenhang die Mitteilungen dieses Forschungsinstituts – soweit ein Zusammenhang mit der Tätigkeit von Auer von Welsbach auf diesem Gebiet zu erkennen war – ausgewertet. Ebenso ausgewertet wurden die Publikationen seiner Kontaktpersonen, mit denen er im Briefwechsel stand. Diese Arbeit mündete in eine Dissertation des Verfassers an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, die Mitte 2014 abgeschlossen wurde.<sup>4</sup> In diesem Zusammenhang wurde auch versucht das einzige öffentlich zugängliche Dokument von Carl Auer von Welsbach zur Radioaktivitätsforschung, für die es in der Literatur nur eine fragmentarische Kommentierung aus dem Jahr 1918 gibt, zu verstehen und zusammenzufassen.<sup>5</sup>

### **Carl Auer von Welsbachs Weg in die Radioaktivitätsforschung**

Bereits in den 90er-Jahren des 19. Jh. war die österreichische Monarchie dem Ersuchen des Ehepaars Marie Curie und Pierre Curie in den neunziger Jahren des 19. Jh. nachgekommen, für die weitere Erforschung der ‚seltsamen‘ Strahlen, die der Franzose Becquerel beim Uranmineral entdeckt hatte, etliche Tonnen Pechblenderückstände aus St. Joachimsthal zur Verfügung zu stellen. Das ursprüngliche Silberbergwerk war dort schon längst stillgelegt worden und die Förderung von Uranoxyd (Pechblende) – vorwiegend für die Glas- und Farbenindustrie – warf keine großen Profite mehr ab.

Als 1898 die Nachricht von der Entdeckung des Poloniums und Radiums durch das französische Ehepaar Marie und Pierre Curie um die Welt ging, ergriffen wenig später im Jahr 1901 einige wenige Forscher in Wien die Initiative zur Gründung der schon erwähnten Radiumkommission, um Österreich den Einstieg in dieses neue Forschungsfeld zu ermöglichen. Die Kommission wurde am 20. Juni 1901 durch Beschluss der Akademie der Wissenschaften eingesetzt. Entscheidend in der weiteren Entwicklung war 1908 die Spende des Mäzen Dr. Karl Kupelwieser in Höhe von 500.000 Kronen, die den Bau eines Instituts für Radiumforschung in Wien ermöglichte. Damit war die finanzielle Voraussetzungen geschaffen, in Österreich selbst wissenschaftliche Radioaktivitätsforschung zu betreiben. Das Institut nahm 1910 seinen Betrieb auf und galt als die modernste Einrichtung seiner Zeit. Die über 700 Mitteilungen des Instituts für Radiumforschung und die vielen ausländischen Gäste, die sich zeitweise dort, insbesondere vor dem Ersten Weltkrieg, an den Forschungen beteiligten, sind Zeugnis für die

überregionale Bedeutung dieser Forschungsstätte. Wien war neben Paris auch Aufbewahrungsort einer international festgelegten Radiumstandardprobe, von der aus für andere Staaten geeichte Sekundärproben erstellt wurden. Das Radiuminstitut war auch Dienstleistungsbetrieb. Es übernahm die Qualitätskontrolle der Radiumpräparate in Österreich, denn Radium war schnell ein lukratives Wirtschaftsgut geworden, dessen Marktwert im Jahr 1914 in nie geahnte Höhen von bis zu 270 kg Gold für 1 G Radium steigen sollte.<sup>6</sup>

Mitglieder der Radiumkommission, die u.a. den Bau und die Einrichtung des neuen Radiuminstituts zu fördern hatte, waren 1901 die Naturwissenschaftler Franz Serafin Exner (Physiker, 1849–1926), Viktor von Lang (Physiker, 1838–1921), Adolf Lieben (Chemiker, 1836–1914) u.a.<sup>7</sup> Auer von Welsbach war nicht Mitglied dieser Kommission. Er hatte aber inoffiziellen Kontakt zu diesem Gremium durch Adolf Lieben. Der offizielle Kontakt zu dieser Kommission lief über den Vorsitzenden Franz S. Exner. Mit Exner hatte Auer von Welsbach aber auch weiteren Briefwechsel in seiner Eigenschaft als Direktor des II. Physikalischen Instituts der Universität in Wien. Diese Korrespondenz bezog sich zu Beginn weitgehend auf die Seltenen-Erd-Präparate, für die Auer von Welsbach ebenfalls weitere spektroskopische Untersuchungen wünschte. Franz S. Exner und Eduard Haschek haben u.a. Pionierleistungen mit der Herausgabe der drei Bände *Die Spektren der Elemente bei normalem Druck* (Leipzig, Wien 1911/1912) geleistet. Für damalige Verhältnisse waren sie mit den modernsten Apparaten (Spektrometern) ausgerüstet und galten als Spezialisten auf diesem Gebiet. Diese Messapparaturen versuchte Carl Auer von Welsbach zu nutzen, um seine eigenen Messungen zu kontrollieren.

Es war seitens der Radiumkommission in Zusammenarbeit mit der Akademie der Wissenschaften auch dafür Sorge zu tragen, dass nun die Pechblenderückstände aus Joachimsthal in einem industriellen Verfahren zu radiumhaltigen Präparaten aufgearbeitet wurden. Das Ehepaar Curie in Paris musste bei der Aufarbeitung der Pechblenderückstände, um 1/10 G Radiumchlorid zu erhalten, einen erheblichen Aufwand betreiben, der mit einem normalen Laborbetrieb schon damals nicht zu erreichen war. Im günstigsten Fall konnten aus 10 Tonnen Ausgangsmaterial ca. 3,4 g Radium gewonnen werden.<sup>8</sup> Gefordert war in Wien daher von vornherein eine industrielle Produktionsmethode, wenn man über ein bloßes Versuchsstadium hinauskommen wollte.

Darüber war sich auch die Akademie der Wissenschaften bzw. die Radiumkommission im Klaren. Am 16. Juni 1901 stellte die Akademie eine Anfrage an Carl Auer von Welsbach, ob er geneigt sei, seine Fabrik in Wien-Atzgersdorf für diesen Zweck unter seiner persönlichen Leitung oder der von Direktor Dr. Haitinger

(1860–1940) einzusetzen, „da derartige Untersuchungen mit gewöhnlichen Mitteln nicht auszuführen sind“.<sup>9</sup>

Carl Auer von Welsbach, bis 1904 Mitglied des Verwaltungsrates der Auergesellschaft in Wien: Atzgersdorf, unterbreitete daraufhin Mitte 1901 der Akademie der Wissenschaften ein Angebot, die Pechblenderückstände aus St. Joachimsthal aufzuarbeiten, um Radiumsalze herzustellen.<sup>10</sup> Diese Firma hatte Erfahrung mit der Gewinnung von Thorium aus dem Monazitsand im großen Stil zur Herstellung des millionenfach produzierten Glühstrumpfes und besaß die entsprechende Infrastruktur, die der Rückständeaufbereitung und Radiumgewinnung angepasst werden konnte. Auer von Welsbach schrieb dazu:

In [ ... ] der Zuschrift vom 16.07.1901 beehre ich mich mitzuteilen, dass ich gerne bereit bin, die Erforschung der Natur der radioactiven Träger nach jeder Richtung hin fördern zu helfen [ ... ] erlaube ich mir vorzuschlagen, dass die Verarbeitung der Joachimsthaler Mutterlaugen in der der Österr. Gasglühlicht und Elektrizitäts Gesellschaft gehörigen Fabrik in Atzgersdorf unter der Leitung des Herrn Directors Haitinger erfolgen möge.<sup>11</sup>

In fast überschwänglicher Form bedankte sich die Akademie für die Bereitschaft Auer von Welsbachs, wohl wissend, dass es für dieses ambitionierte Projekt zur Auergesellschaft in Wien keine Alternative gab. So heißt es im Antwortschreiben vom 12. August des gleichen Jahres an Carl Auer Freiherr von Welsbach:

Ihre [ ... ] ausgesprochene Bereitwilligkeit, an den Arbeiten für die Untersuchung der radioactiven Substanzen teilzunehmen, wurde von dem Präsidium der kaiserl. Akademie mit dem Ausdrücke der grössten Genugtuung zur Kenntnis genommen und eine Abschrift Ihres Schreibens dem Obmann der Commission [Anm.: Radiumkommission], Prof. Franz Exner zugesendet.<sup>12</sup>

Die Mine in St. Joachimsthal unterstand dem Ackerbauministerium, das zwischenzeitlich natürlich über den Marktwert des neuen Rohstoffes Pechblenderückstände und den Wert der daraus zu extrahierenden Radiumsalze bestens informiert war. Verhandlungen zwischen der Akademie und dem Ministerium ergaben schließlich, dass die Auergesellschaft in Wien (wahrscheinlich im März 1904) zehn Tonnen Pechblenderückstände, geliefert in zwei Chargen, erhielt. Die Verarbeitung durch die Auergesellschaft erfolgte zu Selbstkosten. Der Gesellschaft wurden dafür insgesamt 9.185 Kronen vergütet.

Auer von Welsbach war also auch schon von Beginn sowohl persönlich als auch in seiner Eigenschaft als Mitgesellschafter der Auergesellschaft in Wien eng in die Radioaktivitätsforschung in Österreich eingebunden.

Für die Produktion von Radiumsalzen waren verschiedene Verfahrensschritte erforderlich. Das Material wurde in Chargen von ca. 200 bis 300 kg mit chemischen Verfahren in sogenannte Fraktionen aufgeteilt. In der letzten Verarbeitungsphase, die besonders zeit- und arbeitsaufwendig war, wurden einige Fraktionen, bei denen sich Radium angereichert hatte, einer fraktionierten Kristallisation unterworfen, um das Radium in Form von Salzen soweit anzureichen, dass man schließlich aus den einzelnen Chargen Präparate gewonnen hatte, die Bruchteile eines Gramms Radiumchlorid enthielten.

Der Einsatz bei der Gewinnung des Radiums im großtechnischen Maßstab war in der Auergesellschaft in Wien für die damalige Zeit eine wissenschaftliche und technologische Herausforderung. Wie schon erwähnt, konnte dabei auf das Know-how bei der Aufschließung des Monazitsandes, also schließlich auf die Erfahrungen des Firmengründers Auer von Welsbach zurückgegriffen werden.

Die radiumarmen Fraktionen beim Aufschließen der Pechblenderückstände, so z.B. auch eine als „E“ bezeichnete Fraktion, bei der zu vermuten war, dass sich dort Thorium, Polonium und Actinium angereichert hatten, wurden vorerst aufbewahrt. 1950 sollen sich von den Hydraten sogar noch Restbestände, die auch Protactinium (wie sich später herausstellte die Muttersubstanz des Actiniums) enthielten, „in größeren Mengen“ im Keller des Radiuminstituts befunden haben.<sup>13</sup>

In den folgenden Jahren wurden in der Auergesellschaft in Wien aus den 10 Tonnen Ausgangsmaterial schließlich insgesamt 4 g Radium (weitgehend Radiumchlorid) in Form von angereicherten Präparaten gewonnen.<sup>14</sup> Eigentümer dieser Produkte war die Akademie der Wissenschaften. Bei der feierlichen Eröffnung des Radiuminstituts am 28.10.1910 konnten dieser damals modernsten Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der Radioaktivitätsforschung von der Akademie 4 g Radiumchlorid als „Morgengabe“ übergeben werden.<sup>15</sup>

Ab dem Jahr 1904, als die Belieferung der Auergesellschaft mit Pechblenderückständen und damit die Aufbereitung dieses Materials begann,<sup>16</sup> war die bis dahin großzügige Abgabe dieses früheren Abfallstoffes aus St. Joachimsthal, der nun zum Rohstoff geworden war, an andere Interessenten vorbei. Die Nachfrage nach Radium war schon fast in eine ‚Radiumeuphorie‘ umgeschlagen; denn Radium war nicht nur für Forschungszwecke gefragt, sondern auch zunehmend in der Medizin und - aus heutiger Sicht oft leichtfertig - als Allheilmittel sowie für äußerst kuriose Anwendungen im Alltag (Beleuchtungsmittel, Reklame usw.) eingesetzt worden. Damit wurde dieses neu entdeckte Element immer mehr zum Wirtschaftsgut.<sup>17</sup>

Auch Carl Auer von Welsbach hatte sich ab 1904 und dann wieder 1909 bemüht, einen Teil der radiumhaltigen Fraktionen, vielleicht auch schon erste schwach mit Radiumsalzen angereicherten Präparate, nach Kärnten in sein Labor für weitere Analysen, Anreicherungen und Forschungen zu holen. Aber seine Ansuchen wurden abgelehnt, zuletzt durch den Vorsitzenden der Radiumkommission Prof. S. Exner mit dem Argument, die Akademie der Wissenschaft habe entschieden, vor der Eröffnung des Instituts für Radiumforschung keine Präparate herauszugeben.<sup>18</sup>

Parallel zur Produktion der Radiumsalze wurden ab 1904 die Fraktionen „E“, die wegen ihres hohen Wassergehalts (ca. 78 %) auch als Hydrate bezeichnet wurden, von Carl Auer von Welsbach in Althofen-Treibach bzw. auf seinem Schloss Welsbach (bei Althofen) vorerst zwischengelagert.

Die Akademie der Wissenschaften hatte die Verarbeitung der Reststoffe in der Auergesellschaft unter Kontrolle. Sie handelte stellvertretend für den Eigentümer der Pechblenderückstände, also für den Staat, in diesem Fall für das Ackerbaumministerium. Das zeigt auch die Zuweisung der Hydrate an Auer von Welsbach, wie sich aus dem folgenden Schreiben vom 21.11.1904 ergibt:

An die Direktion der chem[ischen] Gasglühgesellschaft in Atzgersdorf  
Sehr geehrter Herr,  
Im Namen der Radiumkommission der Kais[erlichen] Akad[emie] der Wissenschaften in Wien ersuche ich Sie, dass in Ihrer Fabrik befindliche als „Hydrat“ bezeichnete Abfallprodukt der Radiumherstellung von ca. 2800 kg in 6 Fässern an Herrn Baron Dr. Auer von Welsbach nach Schloss Rastefeld in Kärnten zu senden. Die Transportkosten trägt die K[aiserliche] Akademie d[er] W[issenschaften] Hochachtungsvoll  
Das Präs[idium] d[er] Rad[ium] Comission.<sup>19</sup>

Es ist nicht bekannt, dass Carl Auer von Welsbach speziell darum nachgesucht hat. Es kann natürlich ein Signal der Akademie der Wissenschaften gewesen sein, ihn in die Forschung auf diesem Gebiet auch persönlich als Chemiker einzubinden oder man war sich in der Akademie darüber im Klaren, dass die weitere Extraktion radioaktiver Substanzen (wie Thorium, Polonium, Actinium) aus den schwach radioaktiven Hydraten, ein feuchtes Gemisch von Kieselsäuren, Seltenerd-Elementen und Thoriumverbindungen, besondere Erfahrung voraussetzte.<sup>20</sup>

Auer von Welsbach stellte sich der Herausforderung. Sie sollte ihn ungefähr ein- einhalb Jahrzehnte mit vielen Höhen und Tiefen beschäftigen. Allerdings geht aus der Häufigkeit des Schriftwechsels, u.a. mit dem Radiuminstitut bzw. mit Franz S. Exner, sowie aus speziellen handschriftlichen Notizen, die den Charak-

ter eines Laborbuches haben und als „Notizen über radioaktiven Arbeiten“ gekennzeichnet sind, hervor, dass eine intensive weitere Aufbereitung und Analyse der Hydrate durch Carl von Welsbach in Kärnten erst 1907/1908 begann.<sup>21</sup>

Besonders zeitaufwendig war die Herstellung von Actinium-Präparaten, also Actinium (z.B. als Ammoniumoxalate der Seltene-Erden-Elemente) anzureichern. Der Franzose A. Debierne (1874-1949) hatte das Actinium bei seiner Zusammenarbeit mit M. Curie in Paris bei der Pechblendeverarbeitung in einer speziellen Fraktion, die durch Fällungsmittel des Titans als Niederschlag entstanden war, 1899 als einen radioaktiven Strahler entdeckt.<sup>22</sup> Ebenso hatte der deutsche Chemiker F. Giesel bei seinen Forschungen 1902 dieses Element anreichern können.<sup>23</sup> In der Pechblende war es noch ungefähr 1000 Mal seltener als Radium anzutreffen. Es galt nun, die chemischen Eigenschaften und die Einordnung dieses stark radioaktiven Elements in die radioaktiven Zerfallsreihen genauer zu untersuchen. Das Wissen über dieses Element war 1904 aus heutiger Sicht äußerst fragmentarisch. Der amerikanische Chemiker B.B. Boltwood (1870–1927) glaubte festgestellt zu haben, dass das Verhältnis von Uran zu Actinium in Uranminerale immer konstant sei. Daher wurde vermutet, dass die Actinium-Zerfallsreihe als Abzweigung der Uranradiumreihe anzusehen sei.<sup>24</sup> Über die Muttersubstanz wurde spekuliert. Die Halbwertszeit stützte sich auf Überlegungen, denen zufolge sie relativ kurz sein müsse (20 bis 30 Jahre). Wegen der engen Vergesellschaftung mit den SE-Elementen war auch noch kein eindeutiges Spektrum bekannt. Der Begriff der Isotopie war ebenfalls noch unbekannt. Von der Existenz einer Actinoiden-Reihe in der 7. Periode, die mit dem radioaktiven Actinium (<sup>227</sup>Ac) beginnt, ähnlich der Reihe der Seltenerd-Elemente (heute in der Fachliteratur als Lanthanoide bezeichnet) in der 6. Periode des Periodensystems, war bis Ende des 2. Jahrzehnts des 20. Jahrhunderts gleichfalls nichts bekannt.

In den ersten Jahren der Radioaktivitätsforschung waren aber auch die experimentellen Möglichkeiten der Chemiker und Physiker im Vergleich zur heutigen Laborausstattung äußerst beschränkt. Die Radioaktivität musste mühsam mit einem Spinthariskop durch Abzählen der durch  $\alpha$ -Strahlen erzeugten Lichtblitze auf einer Zinksulfidschicht (Sidot-Blende) oder später durch Einsatz von Elektrometern bzw. Elektroskopen ermittelt werden. Wobei die letztgenannte Technik schon einen großen Sprung nach vorne darstellte, erstaunlich genaue Messwerte lieferte und seit 1905 auch von Carl Auer von Welsbach genutzt wurde. Es gab auch noch keine international genormte Maßeinheit für die Aktivität radioaktiver Strahler, d.h. für die Anzahl der radioaktiven Zerfälle pro Zeiteinheit, was den Vergleich von Messergebnissen verschiedener Forscher äußerst schwierig machte und zu Fehlinterpretationen führte. Auer von Welsbach klassifizierte die Strah-

lungensintensität seiner radioaktiven Präparate entsprechend der nachstehenden Kopie aus seinen Laboraufzeichnungen (Abb. 1).<sup>25</sup>

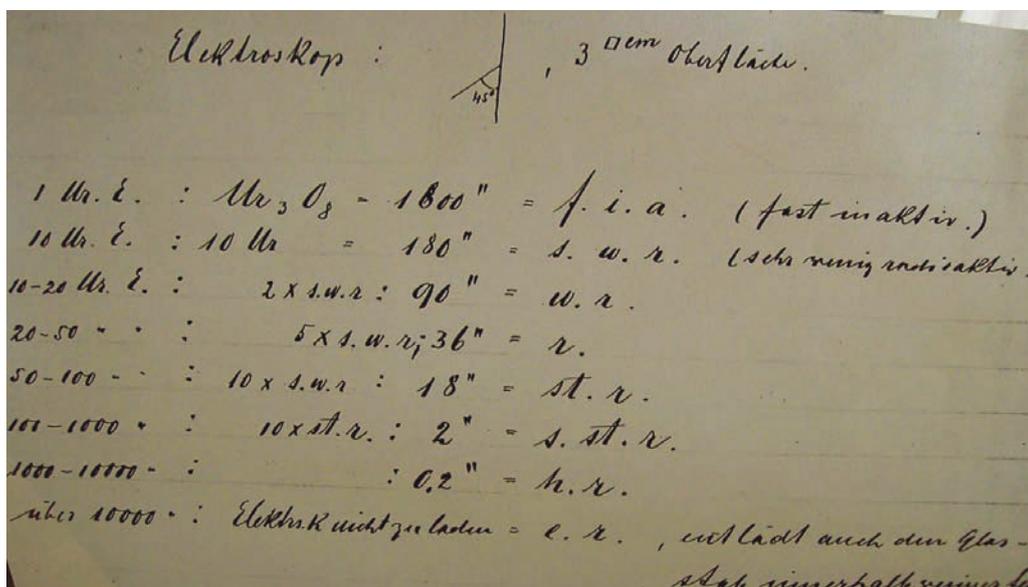


Abb. 1: Maßeinheiten für die Radioaktivität. Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Sonstige Druckwerke; Auer von Welsbach Museum Althofen (Kärnten).

Als Eichprobe wurde offenbar ein Pechblendepreparat ( $U_3O_8$ ) eingesetzt. Es lässt sich nicht nachweisen, woher Auer von Welsbach dieses Präparat bezogen oder ob er sein Elektroskop z.B. in Wien bei Franz S. Exner geeicht hat. Die Zeit, in der das elektrostatisch aufgeladene Elektroskop durch die radioaktive Strahlung entladen wurde, setzte von Welsbach zu sogenannten Uran-Einheiten (Ur. E.) in Relation.<sup>26</sup> Betrug die Entladezeit z.B. 0,2 Sekunden, so war die Probe hoch radioaktiv (h.r.) und entsprach 1000 bis 10000 Uran-Einheiten (Ur. E.). Bei einer Strahlungsintensität von 10.000 Ur. E. (e.r. = extrem radioaktiv) ließ sich das Elektroskop nicht mehr mit einem Glasstab aufladen, da dieser selbst innerhalb weniger Sekunden seine Ladung verlor. Ein geeichtes Radiumchlorid-Präparat besaß von Welsbach erst ab Mitte 1913.<sup>27</sup>

Im Auer von Welsbach Museum befinden sich Exponate, die darauf hinweisen, dass Carl Auer von Welsbach nach 1910, spätestens wohl nachdem er ein geeichtes Radiumpräparat erhalten hatte, auch modernere Messgeräte als einfache (Einblättchen)-Elektroskope zur Bestimmung der radioaktiver Strahlung einsetzte. Die Technik schritt weiter fort und immer mehr setzten auch andere Forscher neue Geräte in die Messtechnik ein. Im Zuge dieser Entwicklung spielte die 1901 gegründete Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig zunehmend eine wichtige Rolle.<sup>28</sup> Die Inhaber griffen oft die Ideen und Vorschläge von Techni-

kern, Physikern und Chemikern auf und bauten entsprechende Geräte bis zur Marktreife. Soweit es die messtechnische Registrierung radioaktiver Strahlung anbetrifft, zählten zu den Entwicklern insbesondere die Physiker Julius Elster (1854-1920) und Hans Geitel (1855-1923) aus Wolfenbüttel sowie der Priester und Physiker Theodor Wulf (1868-1946) aus Westfalen. Elster und Geitel sind mit ihrem Blättchen-Elektrometer und Wulf mit seinem Wulfschen Faden-Elektrometer in die Geschichte der Physik eingegangen. Gebaut und verkauft wurden diese Geräte von Günther & Tegetmeyer in Braunschweig. Weniger bekannt ist, dass auch österreichische Wissenschaftler auf die gerätetechnische Entwicklung der Blättchen-Elektrometer Einfluss genommen haben. Unerwähnt bleiben darf nicht Franz Exner, Leiter des II. Physikalischen Instituts, der die Radioaktivitätsforschung und Forschung zur Messung der Höhenstrahlung entscheidend vorangetrieben hat. Weiterhin sind die Physiker Stefan Meyer und Heinrich Mache (1876-1954) zu erwähnen, die im September 1909 bei Günther & Tegetmeyer ein sogenanntes Fontaktometer als Weiterentwicklung eines schon auf dem Markt befindlichen ähnlichen Geräts bestellten und es damit praktischer für den Feldeinsatz (z.B. zur Messung der Radioaktivität der Gewässer) machten.<sup>29</sup> Ein Fontaktometer ist ein Gerät, das sich dadurch auszeichnet, dass bei ihm an einem Zweiplättchen-Elektroskop (im Prinzip nach Geitel und Elster<sup>30</sup>) eine zylindrische Zerstreuungskammer (Ionisationskammer) angeflanscht wird, die wahlweise

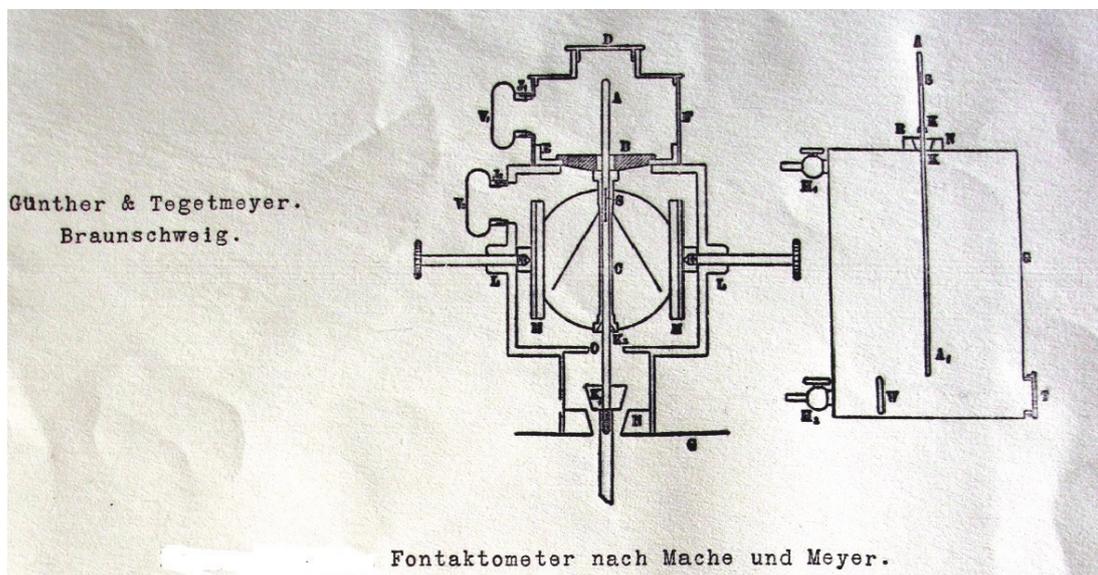


Abb. 2: Skizze eines Fontaktometers nach Stefan Meyer und Heinrich Mache. Günther & Tegetmeyer: „Bemerkungen zu einem Fontaktometer nach Mache und Meyer“ (Braunschweig o.D.). Archiv Auer von Welsbach Museum, Fotokopie, s. Ordner: Sonstige Druckwerke, Standort Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).

radioaktive Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe aufnehmen kann.<sup>31</sup> In der Literatur ist dieses Gerät als Foto abgebildet.<sup>32</sup> Eine Skizze aus einer kurzen Betriebsanleitung befindet sich in im Archiv des Auer von Welsbach Museums in Althofen (Abb. 2).<sup>33</sup> Links ist das Elektroskop mit zwei Blättchen und rechts die Zerstreuungskammer zu sehen. Ebenso befindet sich ein Teil dieses Geräts, nämlich das Elektroskop (leicht beschädigt) in gleicher Ausführung mit Spiegelablesung und Lupe von der Firma Günther & Tegetmeyer mit der Fabriknummer 6362 unter den Exponaten des Auer von Welsbach Museums. (Abb.3).<sup>34</sup> Diese Geräte wurden mit Eich Tabellen ausgeliefert. Eine Eich Tabelle befindet sich ebenfalls im vorgenannten Archiv.<sup>35</sup> Carl Auer von Welsbach hat nach 1910 kaum etwas über die von ihm eingesetzte Messtechnik zur Bestimmung der Radioaktivität schriftlich hinterlassen. Die Betriebsanleitung und der Fotovergleich geben jetzt einen

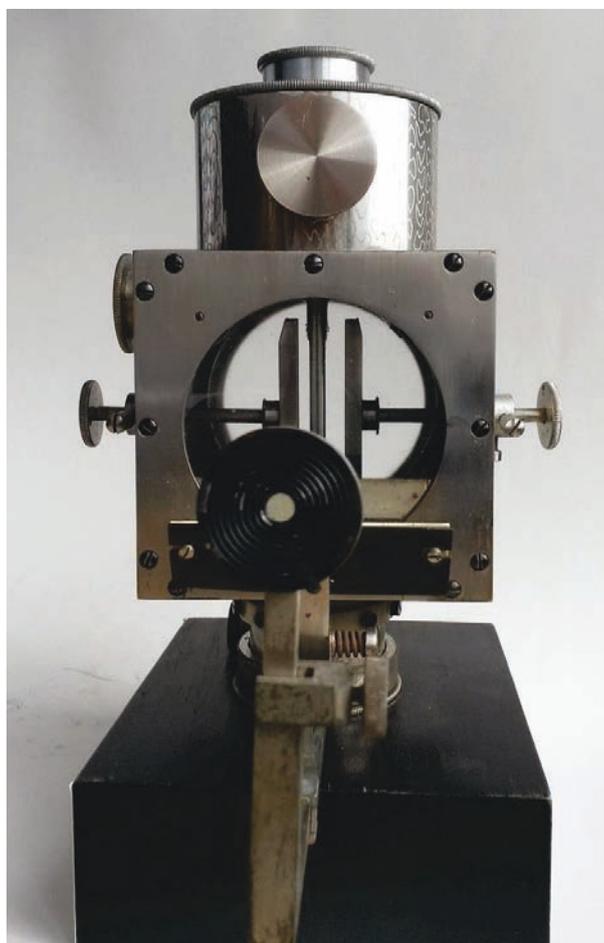


Abb. 3: Zweiblättchen-Elektroskop. Auer von Welsbach Museum, Foto erstellt am 27.06.2014, Fotokopie, s. Ordner: Sonstige Dokumente; Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Standort Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).

kleinen Einblick. Er hat sich offensichtlich auch der gleichen Technik bedient wie sie neben anderen Techniken im II. Physikalischen Institut und später im Institut für Radiumforschung in Wien eingesetzt wurde. Diese Übereinstimmung kann als weiteres Zeichen der guten Vernetzung zwischen den Akteuren in Wien und Schloss Rastendorf in Kärnten gesehen werden.

Auer von Welsbach war bei seiner Forschungstätigkeit ein Experimental-Chemiker, der sich vorwiegend in seinem Labor aufgehalten hat. Wir würden heute sagen, er war ein ausgesprochener Praktiker, der fast alle manuellen Tätigkeiten selbst erledigte. Die Spanne reichte von der Glasbläserei bis zum Bau mancher Laborgeräte, die er selbst anfertigte oder nach seinen Angaben von Fachfirmen angefertigt wurden (z.B. Funkenspektrometer). Gleichzeitig musste er aber bis 1904 als Vorsitzender des Verwaltungsrates der Auergesellschaft in Wien und spätestens ab 1907 seinen Verpflichtungen als Hauptgesellschafter der Treibacher Chemischen Werke in Althofen gerecht werden. Im Zusammenhang mit der Radioaktivitätsforschung in Wien-Atzgersdorf ist dazu neben der Grundsatzentscheidung zur Aufarbeitung der St. Joachimsthaler Pechblenderückstände im Jahr 1901 noch zusätzlich auf eine Entscheidung unter seiner Verantwortung hinzuweisen.

In der Sitzung des Verwaltungsrates der Auergesellschaft in Wien im Jahr 1903 stimmte Carl von Welsbach dem Antrag seines Direktors Haitinger zu, den Radiumanteil im Monazitsand (Rohstoff für den Auer-Glühstrumpf) zu bestimmen, was in Anbetracht des zu erwartenden geringen Gehalts ein anspruchsvolles Unterfangen war.<sup>36</sup> Veröffentlicht wurde das Ergebnis im Jahr 1904.<sup>37</sup> Nach heutigem Wissensstand ist dabei das Radiumisotop Mesothorium 1 (<sup>228</sup>Ra) gefunden worden, das Otto Hahn (1879–1968) 1907 in die Thorium-Zerfallsreihe einordnete. Durch die Entscheidung 1903 stellte Carl Auer von Welsbach den frühen Einstieg seiner Firmen in diese wichtige Technologie sicher. Das war deswegen von Bedeutung, weil das Mesothorium als preiswerter Ersatzstoff für Radium auf dem Markt bei medizinischen Anwendungen (u.a. zur Krebsbehandlung) bald eine wichtige Rolle spielen sollte.<sup>38</sup>

### **Radioaktive Präparate: Das Sulfat-(Manganit)-Verfahren**

Der Direktor der Auergesellschaft Ludwig C. Haitinger und sein Mitarbeiter Carl Ulrich legten 1908 einen Bericht über die Verarbeitung der Uranerzrückstände (Pechblenderückstände) aus Joachimsthal vor, aus dem hervorgeht, wie in Atzgersdorf das Radium angereichert und Radiumpräparate hergestellt wurden.

Zwangsläufig wird dort auch berichtet, wie die „Hydrat“-Fraktion, die Auer von Welsbach für Forschungsarbeiten (Anreicherung des Actiniums und Thoriums) überlassen wurde, im Verarbeitungsprozess zustande kam.<sup>39</sup> Insgesamt ist dieser Bericht aus historischer und technischer Sicht interessant, weil er zeigt, welcher Aufwand betrieben werden musste, um 10 Tonnen Pechblenderückstände zu ca. 4 g Radiumsalzen (vorwiegend Radiumchlorid) aufzuarbeiten, und weil deutlich wird, dass auch während der Zeit bis 1907/1908 spezielles Know-how von Auer von Welsbach bei der Trennung der Seltenerd-Elemente (SE), nicht zuletzt durch seinen früheren Mitarbeiter Ludwig Camillo Haitinger, in die Phase der fraktionierten Kristallisation eingeflossen ist, nämlich bei der Umsetzung des sog. „Oxydverfahrens“, das Auer von Welsbach alternativ bei der Verarbeitung der Hydrate zur Anreicherung actiniumhaltiger Präparate entwickelt hat. Im Jahr 1910 veröffentlicht Auer von Welsbach die Details bezüglich der Verarbeitung der Hydrate in einer umfassenden Arbeit unter dem Titel „Über die chemische Untersuchung der Actinium enthaltenden Rückstände der Radiumgewinnung (I. Teil)“.<sup>40</sup>

In Erinnerung gerufen werden muss in diesem Zusammenhang, dass das Periodensystem der Elemente damals noch etliche Lücken aufwies. Denn das Rutherford-Bohrsche Atommodell war erst in den kommenden drei Jahren Gegenstand öffentlicher Diskussion (1911,  $\alpha$ -Streuversuch von E. Rutherford). Auch das Institut für Radiumforschung in Wien wurde erst 1910 eröffnet. Wir haben es also hier mit Ergebnissen aus den Anfängen der Radioaktivitätsforschung zu tun. Die genannte Publikation von 1910 ist als ein erster Teil seiner Forschungen angekündigt und stellt daher nicht den Abschluss seiner Ac(tinium)-Forschung dar. Anfang 2010 wurde ein handschriftlich verfasster Teil 2 dieser Arbeit in den Archivunterlagen des Auer von Welsbach Forschungsinstituts in Althofen entdeckt, der allerdings kein Datum trägt.<sup>41</sup>

Es mutet eigenartig an, dass die Publikation von Auer von Welsbach aus dem Jahr 1910 in der Fachliteratur zwar zur Kenntnis genommen und dass in kurzen Erwähnungen, u.a. in Fußnoten, auf sie hingewiesen wurde. Die Ergebnisse seiner Bemühungen sind zwar hier und dort auch erwähnt worden, aber es folgte keine konkrete inhaltliche Diskussion oder Kommentierung der Trennungs- und Anreicherungsverfahren der Elemente, insbesondere der damals besonders interessierenden Elemente Actinium und Thorium (bzw. Ionium).<sup>42</sup>

Deutlicher wurde erst 3 Jahre später Ernest Rutherford, indem er die von Carl Auer von Welsbach beschriebene, erfolgreiche Trennungsmethode der Actiniumverbindungen von den übrigen Bestandteilen der Hydrate skizzierte:

Auer von Welsbach made a number of experiments to separate Aktinium from the rare elements. He concludes that it has the properties of an element between Calcium und Lanthanum. He found that Aktinium could be completely precipitated in the presence of Manganese from basic solutions as a manganate, and used this method in separating the Aktinium from mineral residues.<sup>43</sup>

In der publizierten Arbeit (1910) beschreibt Carl Auer von Welsbach ein „Sulfatverfahren“ und ein „Hydratverfahren“, woraus sich dann zur Anreicherung des Actiniums auch ein „Oxalatverfahren“ entwickelte. Als Ausgangsstoffe standen ihm ja nur die Hydrate, die aus den Joachimsthaler Pechblenderückständen durch Zusatz von Ammoniak als Fraktion herausgefallen waren, zur Verfügung.<sup>44</sup> Diese schon erwähnten Hydrate waren ein Konglomerat verschiedener Elemente. Vermutet wurde, dass sie neben Spuren von Polonium und Actinium auch Thorium und das dem Thorium so ähnlich scheinende Ionium enthielten. Carl Auer von Welsbach nahm sich Chargen in einer Menge von 200 bis 300 kg vor, um mit dem Sulfat- und Hydrat-Verfahren Erfahrungen für die weitere Vorgehensweise zu sammeln. Um nun die u.U. nur in Spuren vorhandenen radioaktiven Bestandteile (neben dem Uran) zu eliminieren und ihnen auf die Spur zu kommen, mussten verschiedene weitere chemische Prozesse, die oft tage-, wochen- oder sogar monatelang andauerten, Schritt für Schritt in Gang gesetzt werden. Beim Sulfatverfahren, wobei Carl Auer von Welsbach versuchsweise ca. 120 kg einsetzte, wurde das vorher mit Wasser verdünnte Hydrat (es entstand ein dicker Brei) zuerst mit starker Schwefelsäure behandelt. Dabei fielen naturgemäß einige schwerlösliche Sulfate aus (z.B. Gips, Wismut, Kalk und Sulfatverbindungen der SE-Elemente usw.).

Auer von Welsbach bezeichnete diese Vorgehensweise ‚Niederschlag Nr. 1‘. Hier soll nur die Verarbeitung dieses Niederschlages in groben Zügen weiter verfolgt werden, weil sie letztendlich zu einem für damalige Zeit fast schon spektakulären Erfolg führte.<sup>45</sup> Es gelang Auer von Welsbach nach verschiedenen Zwischenschritten die SE von den anderen Elementen zu trennen und durch Zusatz von Oxalsäure als Oxalate zu fällen. Diese wurden gegläht, so dass sie als Oxyde vorlagen. Schon diese Oxyde waren stark radioaktiv (nach der Nomenklatur von Auer von Welsbach als ‚st.r.‘ bezeichnet). Eine von ihm vorgenommene spektroskopische Untersuchung ergab, dass es sich bei den SE-Elementen vorwiegend um Cer und Lanthan handelte. Auer von Welsbach berichtete, dass er bei seinen Oxalatfällungen, also seinen Cer-Lanthan-Oxalaten durch weitere Behandlung mit verdünntem Ammoniak und abermaliger Fällung mit Oxalsäure eine ‚bei weitem radioaktiver(e)‘ Strahlung beobachten konnte als vorher. Teilweise wurden diese Salze in ‚Glasröhrchen‘ eingeschmolzen. Nach vier Monaten färbten sie die Gläschen violett. Nun informierte Auer von Welsbach die Radi-

umkommission durch Übersendung einiger Proben dieser radioaktiven Präparate. Er berichtet über das Ergebnis der Untersuchungen in Wien wie folgt: „Laut Mitteilung Prof. E. Meyer’s: Sehr starkes Actiniumpräparat mit allen Spaltprodukten des Actiniums“.

Der eigentliche Durchbruch bei der Isolierung des Actiniums im Rahmen dieses Sulfatverfahrens stand aber noch bevor. Er sollte unmittelbar folgen: Carl Auer von Welsbach stellte nach diesem Zwischenerfolg manganhaltige Oxalate her und behandelte sie mit konzentrierter Salpetersäure.<sup>46</sup> Ein Teil ging in Lösung und diese Lösung wurde nun mit Ammoniak versetzt. Nach einigen Tagen entstand ein kleiner brauner Niederschlag, der sehr stark radioaktiv war. Dieser Niederschlag, so eine spektroskopische Untersuchung, war ein Calcium-Lanthan-Mangan-Gemisch, also ein Manganit. Die Radioaktivität dieses „Körpers“ stieg ständig an. Auer von Welsbach schreibt:

Erst nach einem Jahr erreichte sie die volle Stärke. Das Filterchen, auf dem ich den Niederschlag sammelte, war nach 10 Monaten an allen Stellen, wo das Salz das Papier berührte, gebräunt und dem Zerfall nahe. Ich sammelte ihn in einem kleinen Glasröhrchen. Im Dunkeln fluoreszierte das Glas wie unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen mit hellem Lichte. Die Substanz hatte kein Eigenlicht. Sie entlud auf 30 cm Entfernung das geladene Elektroskop fast plötzlich. Sie war demnach von außerordentlicher Stärke. Ich habe sie Prof. Exner, dem Vorsitzenden der Radiumkommission übergeben.

Exner muss wohl über das Ergebnis fasziniert gewesen sein und kündigte eiligst die dazu wenig später von Carl Auer von Welsbach zu erwartende Publikation in den Sitzungsberichten der Akademie an.<sup>47</sup> Stefan Meyer, zu dieser Zeit noch Assistent bei Exner im II. Physikalischen Institut in Wien, schrieb am 4. Juni 1909 an Carl Auer von Welsbach u.a.: „Es ist das stärkste Actiniumpräparat, das wir bisher in den Händen hatten [ ... ]. Wir beabsichtigen, über die sehr aktuellen physikalischen Eigenschaften in der nächsten Akademiesitzung zu berichten“. Meyer kannte also die Publikation von Auer von Welsbach noch nicht. Er schien wohl etwas überrascht, dass Auer von Welsbach mit dem Manganitverfahren zu diesem Erfolg gekommen war, denn er fragte den bei der Auergesellschaft tätigen Chemiker Carl Ulrich, mit dem er auch in einem regen Schriftwechsel und auch im Austausch von Präparaten stand,<sup>48</sup> ob er mit dem Manganitverfahren schon Erfolg gehabt hätte. Gemeint war mit dieser Frage die Anreicherung von Actinium.<sup>49</sup>

Carl Auer von Welsbach zog daraus in diesem Stadium der Untersuchung – es war das Jahr 1909 wohl erreicht –folgendes Resümee: Actinium lässt sich bei Gegenwart von Ammoniumsalzen weder durch Ammoniumoxalat noch durch

Ammoniak vollständig niederschlagen. Es kann aber bei Gegenwart von Mangan aus basischen Lösungen gefällt werden. Das ist der Grund, warum Rutherford im Zusammenhang mit der Erwähnung der Actinium-Darstellung, nicht vom Sulfat-, sondern vom Manganit- bzw. Mangan-Verfahren sprach.

Die Beschreibung macht deutlich, wie im wahrsten Sinn des Wortes im Labor experimentiert werden musste, um zu brauchbaren Ergebnissen zu kommen und immer wieder die Technik der zeitaufwendigen fraktionierten Kristallisation eingesetzt wurde. Nicht unerwähnt bleiben sollte, dass z.B. die Thoriumverbindungen, auf die in folgenden Kapiteln näher eingegangen wird, aus den Hydraten vorher entfernt werden mussten, bevor Actinium angereichert werden konnte.

Wie bereits vermerkt, fand in der internationalen Literatur diese Ac-Anreicherungsmethode nur bei Rutherford eine zeitnahe Erwähnung (1913), die trotz ihrer Kürze eine fachliche Information darstellte. Dies weist darauf hin, dass Rutherford und seine Mitarbeiter die Entwicklung in Österreich bzw. Wien genau verfolgten und dorthin gute Kontakte pflegten.

### **Das Hydrat-Verfahren**

Das von Carl Auer von Welsbach in seiner 1910 erschienenen Publikation genannte „Hydratverfahren“ darf nicht in direkte Verbindung mit den „Hydraten“ gebracht werden, die ihm von der Akademie der Wissenschaften zur Verfügung gestellt wurden und deshalb auch nicht mit der Methode, die Ludwig C. Haitinger und Carl Ulrich anwendeten, um die „Hydrate“ bzw. die Fraktion „E“ aus den Pechblenderückständen herzustellen.<sup>50</sup> Die etwas unglückliche mehrfache Verwendung des Begriffes „Hydrate“ führt zur Verwirrung. Für Auer von Welsbach zählte in diesem Stadium seiner Forschung das „Hydratverfahren“ zu den Vorversuchen mit einer Teilmenge der ursprünglich angelieferten „Hydrate“ von Haitinger und Ulrich, die für ihn das Ausgangsmaterial waren. Auch das Sulfat- (bzw. Manganit-) Verfahren – obwohl sehr erfolgreich, um Actinumsalze zu separieren – war für Auer von Welsbach nur ein Vorversuch. Mit dem Hydratverfahren testete er, wie er die vielen Bestandteile (Elemente) des Ausgangsmaterials voneinander u.a. durch geschicktes Hinzufügen von Ammoniak, mit der er die Basizität seiner Lösungen steuerte, sukzessive ausfällen und sich damit einen Überblick über die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials verschaffen konnte. Bei diesen Versuchen gelang es ihm – und das ist wieder ein bemerkenswerter Erfolg – zwei verschiedene, aber hochradioaktive (nach seiner Nomenklatur mit ‚h.r.‘ bezeichnet) Thorammonoxalat-Präparate herzustellen.

Das Thorium hatte er eindeutig mit seinem Spektralapparat nachgewiesen, wobei ein Präparat wenig, das andere aber noch relativ stark mit Yttererden verunreinigt war. Beide Präparate schickte Auer von Welsbach zu Stefan Meyer in Wien am II. Physikalischen Institut. Dieser stellte fest, dass das stärker verunreinigte Präparat doppelt so aktiv war wie das andere und dass die Präparate starke Actinium-Emanationen emittierten. Carl Auer von Welsbach zog aus diesen Vorversuchen dann folgenden Schluss:

Aus diesen Versuchen folgt, daß die in den Erdammonsulfaten enthalten gewesenen radioaktiven Körper<sup>51</sup> nicht zu den Elementen der Cergruppe gehören, sondern sich fast ausschließlich an die in Ammomoxalatlösung leicht löslichen Thor- oder Yttererden knüpfen.<sup>52</sup>

Mit diesen Erfahrungen ausgestattet, steuerte er dann auf das Oxalatverfahren zu. Auer von Welsbach ging sicher zu Recht davon aus, dass er mit dem Sulfat-(Manganit-) Verfahren nicht alle radioaktiven Bestandteile des Ausgangsmaterials separiert hatte, möglicherweise auch nicht den gesamten Gehalt an Actinium.

### **Das Oxalat-Verfahren und die Actinium-Versuche<sup>53</sup>**

Carl Auer von Welsbach ging nun an die „Hauptverarbeitung“ der ihm zur Verfügung gestellten „Hydrate“. Es handelte sich jetzt noch um 1.200 kg. Allerdings verweist er darauf, dass er je nach Chargengröße und offensichtlich doch etwas verschiedener Zusammensetzung das nun von ihm benutzte sogenannte Oxalat-Verfahren etwas variierte. Schon die Menge, die Auer von Welsbach sich hier vorgenommen hat, lässt darauf schließen, dass das Stadium der Laborversuche überschritten war. Das ließ sich kaum in seinem Privatlabor im Schloss Welsbach realisieren, sondern ist wahrscheinlich in der Fabrik in Treibach (heute Althofen-Treibach) in Angriff genommen worden. Das Ziel bestand nach wie vor darin, aus dem Gemisch (aus den Hydraten) alle nichtradioaktiven Elemente und deren Verbindungen zu trennen, um an den „Körper“, der die starke Radioaktivität verursachte, heranzukommen. Da sich beim Hydratverfahren gezeigt hatte, dass auch Thoriumverbindungen in den „Hydraten“ zu isolieren waren, hatte Auer von Welsbach auch im Auge, äußerst reine Thoriumverbindungen, in denen Ionium vermutet wurde, herzustellen. Dies war deswegen interessant, weil über den Uran-Zerfallsweg, also in der Pechblende, sehr wenig Thorium/Ionium festgestellt wurde und im Monazitsand relativ gesehen doch einige Prozente enthalten waren, die ja zur Massenproduktion des Glühstrumpfes von der Auergesellschaft eingesetzt wurden. War hier wie dort das gleiche Thori-

um/Ionium-Verhältnis festzustellen und war u.U. im vorliegenden Fall das Thorium vom Ionium zu trennen? Darauf wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

Zunächst wurden die Hydrate, also das Ausgangsmaterial, wieder mit konzentrierter Salzsäure behandelt. Der Niederschlag wurde abermals mit Salzsäure versetzt. Dem dann entstandenen Niederschlag wurde mit Wasser verdünnter Ammoniak zugesetzt. Der Niederschlag, der nun entstand, war eine Wismutverbindung und damit war dieses Element „beseitigt“. Ähnlich vorgegangen wurde, um andere Verbindungen zu eliminieren. Dabei spielt der Zusatz von Oxalsäure eine wichtige Rolle. So wurden z.B. thoriumhaltige Hydrate „herausgezogen“. Die Laugen dieser ersten Oxalatfällungen wurden mit Ammoniak fraktionsweise gefällt. Es entstanden 10 verschiedene Fraktionen. Nimmt man die vorherigen Laugen hinzu, so waren es 12 Fraktionen, mit denen weitergearbeitet wurde. Parallel wurde immer die Radioaktivität dieser Fraktionen mit einem Elektroskop beobachtet und die Weiterbehandlung durch Zusatz von Salpetersäure und/oder wieder Oxalsäure mit Ausglühen der Niederschläge vorab so weit getrieben, dass man weitere nicht radioaktive Elemente beseitigen konnte und sich die Radioaktivität im jeweils anderen Teil des Stoffgemisches erhöhte. Um an das Actinium „heranzukommen“, mussten also mit dieser Methode, die hier nur grob skizziert werden kann, neben Wismut und Eisen natürlich auch die SE-Elemente beseitigt und das Thorium abgetrennt werden.

Keineswegs war das nun der Königsweg zum schnellen Erfolg. Auer von Welsbach musste zwischendurch die Arbeit wegen eines Unfalls für mehrere Wochen unterbrechen. Danach war bei etlichen Fraktionen die Radioaktivität völlig abgeklungen. Es gab also auch Sackgassen, die nur durch Ausdauer und neue Versuche überwunden werden konnten.

Der Versuch mit dem Oxalatverfahren endete bei der Isolierung des Actiniums schließlich wieder beim Sulfat-, d.h. beim Manganitverfahren. Insofern hat Rutherford 1913 die Arbeit, die Auer von Welsbach in dieser Hinsicht vollbracht hat, richtig dargestellt und zitiert.

### **Thorium-Ionium-Präparate im Rahmen des Oxalatverfahrens**

Thoriumhaltige Minerale waren 1910 schon länger Gegenstand der Forschung. Auch ihre leichte Radioaktivität war schon seit über 10 Jahren bekannt und wurde von verschiedenen Forschern, u.a. Marie Curie, näher untersucht.<sup>54</sup> Man vermutete hinter dieser Strahlung ein dem Thorium chemisch sehr ähnliches

Element und nannte es Ionium, ohne es aber separieren zu können. Die Vermutung lag nahe, dass es sich um die Muttersubstanz des Radiums handeln könnte. Auch Auer von Welsbach versuchte, Konzentrate mit einem erhöhten Ioniumanteil herzustellen, um ggf. in weiteren Schritten zu einer Trennung zu kommen, noch nicht ahnend, dass das Ionium ein Isotop des Thoriums (nämlich  $^{230}\text{Th}$ ) und Muttersubstanz des Radiums ( $^{226}\text{Ra}$ ) ist. Die Isotopie der Elemente war während dieser Arbeit um 1908 noch unbekannt. Das Ganze war mit Mitteln der Chemie unmöglich, also ein hoffnungsloses Unterfangen.

Im Zuge des Hydratverfahrens waren auch Thorium (Th)-enthaltende Hydrate angefallen.<sup>55</sup> Es steht außer Zweifel, dass Carl Auer von Welsbach besondere Erfahrungen mit der Gewinnung von Thorium-Verbindungen, speziell Thorium-Oxyd zugesprochen werden kann, denn der millionenfach produzierte Glühstrumpf, der zu ca. 99 % aus Thorium (und zu ca. 1 % aus Cer) bestand (und aus dem Monazitsand gewonnen worden war), ist seine Erfindung in Zusammenarbeit mit Ludwig C. Haitinger (1885). Ihm waren folglich die Eigenschaften der Thorium-Verbindungen bestens bekannt. Es war also naheliegend, die ihm vorliegenden Verbindungen genauer zu untersuchen.

Zu den Th(orium)-haltigen Hydraten schrieb Auer von Welsbach:

Sie bildeten eine gelbe, amorphe, stark radioaktive Masse, die durchdringende Strahlung gab und viel Emanationen [gasförmige radioaktive Zerfallsprodukte] entwickelten; im Dunkeln leuchtete sie.<sup>56</sup>

Die Th-Hydrate wurden über mehrere Verfahrensschritte in Thorammonoxalate umgewandelt. Sie „führten,, – wie Auer von Welsbach feststellte – die Radioaktivität, doch kristallisierten sie sehr langsam aus. Außerdem bestand die Schwierigkeit in diesen Oxalaten vorhandenes Scandium (-oxalat) zu entfernen. Solche „Verunreinigungen,, stellte Auer von Welsbach zwischendurch immer durch (flammen-) spektroskopisches Überprüfen der Zwischenprodukte fest. Schließlich gelang es ihm, auch diese Hürde zu überwinden und er kam (durch Mehrfachbehandlung mit Ammoniak, Salpetersäure und Ausfällungen) zur ersten Thorammonnitratreihe (Kristalle). Die nach dem Ausfällen jeweils übriggebliebenen salpetersauren Laugen wurden jeweils eingedampft. Dabei entstanden wieder Kristalle. Ein starkes Ausglühen dieser Kristalle führte zu Präparaten, die Auer von Welsbach entsprechend seiner Nomenklatur wie folgt kennzeichnete: „h.r.; Sp.pfg.: Th, rein“ [hoch radioaktiv, spektroskopische Prüfung ergibt: Thorium, rein].<sup>57</sup> Mitte Dezember 1908 hatte Auer von Welsbach mit dieser Vorgehensweise ca. 10 Gramm angesammelt, die er als Präparat zur Untersuchung an die Radiumkommission in Wien schickte, u.a. um den Ioniumanteil zu bestimm-

men. Von den Kristallen der Thoriumnitratreihe, die sich zu trüben begannen, schickte Auer von Welsbach nach ca. 14 Monaten 3,94 Gramm als zweites Präparat dieser Untersuchungsphase ebenfalls zur Radiumkommission.

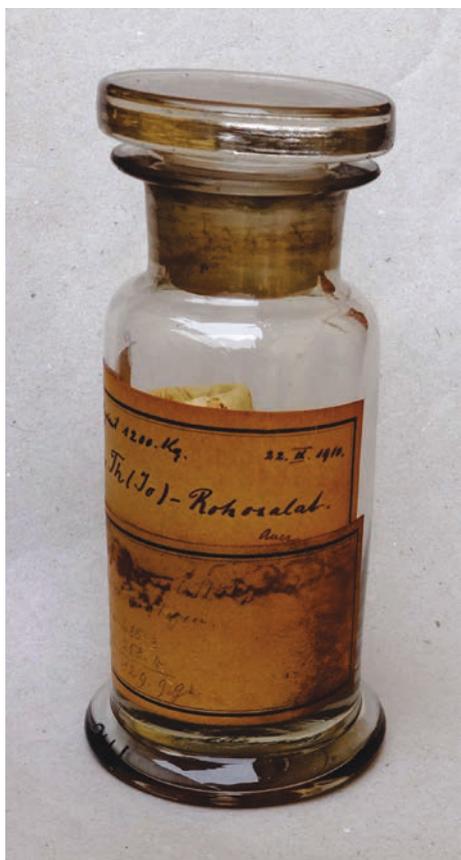


Abb. 4: Thorium-Ionium-Oxalat-Präparat aus dem Jahr 1910. Auer von Welsbach Museum, Foto erstellt am 27.06.2014, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).

Carl Auer von Welsbach verlor sein ursprüngliches Ziel, das Ionium vom Thorium zu trennen oder zumindest anzureichern, nicht aus dem Auge. In der Folge beschreibt er in seiner Publikation aus dem Jahr 1910 insgesamt 11 unterschiedliche Versuche, um zum Ziel zu kommen. Ein Präparat aus dieser Reihe ist erhalten geblieben (Abb. 4) und als Exponat im Auer von Welsbach Museum (Althofen/ Kärnten) zu besichtigen. Ausgangsmaterial war das gleiche Material, von dem er im Dezember 1908 einen Teil als Präparat zur Radiumkommission geschickt hatte, und die bei den bisherigen Versuchen abgesonderten und zurückgestellten Fraktionen, bei denen er Beimengungen von Thoriumverbindungen vermutete. Dazu gehörten die Fraktionierung des vorgenannten Präparats mit Fluorwasserstoff, mit Kieselfluorwasserstoff, ebenso verschiedene Glühver-

suche in der Flamme und im Kohlebogen, womit ungefähr die Bandbreite seiner Bemühungen skizziert werden soll. Diese speziellen Versuche ergaben aber „kein positives Ergebnis“. <sup>58</sup> Auch Versuche an den übrigen thorhaltigen Fraktionen verliefen negativ. <sup>59</sup> Nachdem die Isotopie der Elemente erkannt war und der Elementbegriff bei Chemikern und Physikern eine allgemein akzeptierte neue Bedeutung erhalten hatte, konnte das keine Überraschung mehr sein. <sup>60</sup> Mit chemischen Methoden sind die Isotope <sup>232</sup>Thorium und Ionium (<sup>230</sup>Thorium) nicht zu trennen. Carl Auer von Welsbach hat damit einen wesentlichen Beitrag zur Akzeptanz der Isotopie geleistet.

Hier muss erwähnt werden, dass der Chemiker Bruno Keetman (1883–1918) – zur gleichen Zeit im Labor der Auergesellschaft in Berlin tätig und später der Leiter dieses Labors – sich ebenfalls mit der Herstellung von Actiniumpräparaten und der Anreicherung von Ionium in Thorium-Präparaten intensiv unter der Leitung von Prof. Willy Marckwald (1881–1954) beschäftigte und 1909 eine Dissertation zu diesen Problemkreisen an der Kaiser-Friedrich-Wilhelm Universität vorlegte. <sup>61</sup> Keetman gelang es, nicht verwertbare Ac-Präparate herzustellen. Er kam aber bei seinen Versuchen, Ionium aus dem Elementgemisch Thorium/ Ionium anzureichern zu den gleichen Ergebnissen wie Auer von Welsbach. Außerdem konnte er nachweisen, dass Actinium keinesfalls das Mutterelement des Radiums sein konnte und stützte damit indirekt die Auffassung des amerikanischen Chemikers Bertram Boltwood, der u.a. auch bei Rutherford tätig war, dass Ionium (also <sup>230</sup>Thorium) die Muttersubstanz sein könnte. <sup>62</sup> Anhand vorhandener Dokumente im Auer von Welsbach Forschungsinstitut ist es nicht nachweisbar, dass Carl Auer von Welsbach und Keetman sich bei der Herstellung von Actinium- und/oder Thorium/Ionium-Präparaten ausgetauscht haben bzw. in Verbindung standen. Keetman ist aber nach bisheriger Kenntnis die einzige Persönlichkeit, die sich zu der Welsbach-Publikation aus dem Jahr 1910 unmittelbar schriftlich geäußert hat. Dabei ging es um eine spezielle dort beschriebene Beobachtung durch Auer von Welsbach, dass nämlich vorher nicht radioaktive Gegenstände im Kontakt mit radioaktiven Strahlern unter Umständen radioaktiv werden, also ‚aktiviert‘ werden können. <sup>63</sup> Diese außergewöhnliche Beobachtung wurde nur von Keetman öffentlich registriert und als eine „Behauptung von ungeheurerer Tragweite“ klassifiziert. <sup>64</sup> Es gibt Hinweise, die aber noch weiter untermauert werden müssen, dass es sich dabei um Neutronenaktivierung gehandelt hat.

Im vorletzten Abschnitt seiner Publikation aus dem Jahr 1910 beschäftigt sich Carl Auer von Welsbach mit der Schilderung seiner experimentellen Bemühungen, radioaktive Körper in den Seltenerd-Elementen enthaltenen Nitratlaugen, die im Zuge seiner bisherigen Experimente angefallen und zurückgestellt wor-

den waren, zu finden. Diese Laugen waren nach seinen Angaben frei von Thorium / Ionium und enthielten Seltenerd-Elemente der Cer-Reihe. Darunter versteht man im Periodensystem die ersten 6 Elemente dieser speziellen Reihe (der Lanthanoide, beginnend mit dem Element Cer bis Europium).<sup>65</sup> Auffallend war hier, dass verschiedene nacheinander durchgeführte Fällungsmethoden zum Abscheiden dieser Elemente aufzeigten, dass die Radioaktivität „mitgewandert“ war. Dabei scheint sich Auer von Welsbach insbesondere auf die Lanthanfraktion konzentriert zu haben und er stellt fest: „Die nicht in Arbeit genommenen Fällungen der Lanthanreihe blieben dauernd radioaktiv“.<sup>66</sup> Auffallend ist, dass sich Auer von Welsbach hier aber nicht festlegt, welche radioaktiven Elemente bei den Fällungen mitgewandert waren, sondern nur allgemein von radioaktiven Körpern spricht.

Im letzten Abschnitt wird begonnen, die weitere Untersuchung bzw. Analyse der Laugen zu beschreiben, die beim Oxalatverfahren nach dem Abschluss der Fällungen zurückgestellt worden waren.<sup>67</sup> Diese Untersuchung, die also wieder die Trennung der in den Laugen zurückgebliebenen Elemente zum Ziel hatte, konnte aber nicht zu Ende geführt werden. Wegen des schon erwähnten Unfalls musste er auch diese Arbeit längere Zeit unterbrechen. Danach erschienen die bis dahin erzielten Ergebnisse in einem völlig anderem Licht:

Fast alle Fraktionen, die aus dem calciumhaltigen Produkten stammten und vormals hoch radioaktiv waren, erwiesen sich nun als f.i. [fast inaktiv], während die Radioaktivität jener Erdoxalatfraktionen,<sup>68</sup> die kurz nach ihrer Fällung nur s.w.r. [sehr wenig radioaktiv] waren, in außerordentlichem Maße sich verstärkt hatte.<sup>69</sup>

Erst dem letzten Satz seiner Publikation – bevor er auf die Fortsetzung in einem zweiten Teil verwies – ist zu entnehmen, dass er seiner Meinung nach actiniumhaltige Fraktionen vor sich hatte.

Die Zusammenfassung der Analyse der „Hydrate“ hat Carl Auer von Welsbach in der Einleitung zu seiner Publikation vorweggenommen. Dieser Teil der Einleitung soll hier wörtlich zitiert werden:

Die „Hydrate“ enthielten, vom Polonium<sup>70</sup> (RdF)<sup>71</sup> abgesehen, das übrigens seiner Begleitelemente wegen chemisch von hohem Interesse ist, hauptsächlich zwei primär radioaktive Körper: das Jonium und das Actinium. Ersteres scheint homogen, letzteres dagegen komplex zu sein.

Das Jonium folgt, wie bekannt, allen Reaktionen des Thoriums, während das Actinium sich zwischen Lanthan und Calcium etwa einstellt.

Dies gilt selbstverständlich nur für die Primärsubstanzen. Die hochaktiven Spalt-

produkte des Actiniums, die zum Teil nur kurzlebig sind, reihen sich zumeist eng an das Calcium an, ohne jedoch schwerlösliche Sulfate zu geben.<sup>72</sup>

Im Zusammenhang mit dem Actinium ist die folgende Feststellung wichtig: „Über den Gehalt der Actiniumpräparate liegen bis nun keine abgeschlossenen Bestimmungen vor.“<sup>73</sup>

### **Eine mögliche Entdeckung der Neutronenaktivierung im Jahr 1910?**

In einem parallel zu dieser Arbeit laufenden Forschungsprojekt<sup>74</sup> wird der Frage nachgegangen, ob Carl von Welsbach u.U. schon 24 Jahre vor dem Ehepaar Irène Joliot-Curie (1897–1956) und Frédéric Joliot-Curie (1900–1958) die künstliche Radioaktivität<sup>75</sup> und u.U. die Neutronenaktivierung beobachtet hat. Dieses Projekt stützt sich auf Aufzeichnungen experimenteller Untersuchungen von Präparaten, die im Carl Auer von Welsbach Museum noch vorhanden sind. Das Projekt ist noch nicht abgeschlossen. Der bisherige Stand der Erkenntnis ergibt sich aus der vorgenannten Publikation.

Aus Auer von Welsbachs „Notizen über radioactive Arbeiten“ und ebenso aus seiner Publikation aus dem Jahr 1910 ergibt sich, dass er bei seinen Laborversuchen auch radioaktive Platinschalen beobachtet hat. Nach seiner Beschreibung ist eine Kontamination dieser Schalen auszuschließen, da er versucht hat, eine vermeintliche Kontamination durch Scheuern zu beseitigen. 2015 konnte im Nachlass eine Schale gefunden werden, die eindeutig Scheuerspuren aufweist. Sie ist z.Zt. Gegenstand genauerer radioanalytischer Untersuchungen.<sup>76</sup>

### **Der Nutzwert der radioaktiven Carl Auer von Welsbach-Präparate<sup>77</sup>**

Der bekannte Chemiker Frederick Soddy, der den Isotopie-Begriff definierte, bittet Auer von Welsbach 1910 um leihweise Überlassung eines Ionium-Thorium-Präparats und schreibt u.a.:

Solange die Periode (Halbwertszeit des Ioniums ( $^{230}\text{Th}$ )) unbekannt bleibt, solange besteht eine sehr ernste Schranke für den Fortschritt in der Erforschung der genetischen Zusammenhänge zwischen den Radio-Elementen.<sup>78</sup>

Auer von Welsbach antwortet am 27.07.1910, dass die Präparate Eigentum der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften sind und dass er anfragen will, ob er ein Präparat versenden darf.<sup>79</sup>

1914 publizierten die Physiker Stefan Meyer, Victor Hess (1883–1964), Entdecker der Höhenstrahlung, und Fritz Paneth (1887–1958), später Leiter des Max Planck Instituts für Chemie in Berlin (1953–1958), am Radiuminstitut in Wien eine Arbeit, mit der sie die Ergebnisse ihrer Reichweitemessungen von  $\alpha$ -Strahlen präsentierten.<sup>80</sup> Diese Strahler waren fast ausschließlich die Polonium-, Ionium- und Actinium-Präparate, die Auer von Welsbach hergestellt hatte. Bereits 1911 hatten Geiger und Nuttall gezeigt, dass über die Reichweite der Strahlen die Halbwertszeit der Elemente bestimmt werden kann.<sup>81</sup>

Mit einer geschickten Versuchsanordnung gelang es den Forschern in Wien, die Zerfallskonstante und damit auch die Halbwertszeiten der genannten Elemente (bzw. beim Actinium auch die  $\alpha$ -strahlenden Zerfallsprodukte) zu überprüfen und neu zu bestimmen. Mit der Reichweitebestimmung von  $\alpha$ -Strahlen und aus deren (diskreten) Reichweitespektren konnten andere Methoden der Halbwertszeitbestimmung überprüft werden. Weiterhin lassen sich mit dieser Methode Rückschlüsse auf die radioaktiven Zerfallsreihen ziehen, da nicht selten auch die Folgeprodukte  $\alpha$ -Strahler sind. Hervorgehoben wird von den Autoren die „große Intensität“ der strahlenden Actinium-Präparate des Auer von Welsbach als eine gute Voraussetzung für dieses Forschungsprojekt.

1916 wurden diese Arbeiten von Stefan Meyer<sup>82</sup> fortgesetzt und schließlich publizierten im Januar 1918 Stefan Meyer und Fritz Paneth unter Nutzung der Welsbach-Präparate im Radiuminstitut in Wien eine Arbeit über die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlen der Actinium-Präparate.<sup>83</sup> Eine Arbeit, die sich ausschließlich mit dem Actinium und seinen radioaktiven Folgeprodukten beschäftigte. U.a. wurde die Geiger-Nuttallsche Regel getestet.

1919 überprüfen die Physiker Stefan Meyer und Victor Hess in einer aufwendigen Untersuchung die bisherige Annahme in der Fachwelt, dass das Verhältnis von Uran zu Actinium (U/Ac) in natürlichen Erzen konstant ist. In die Untersuchung wurden auch Thorium-Präparate einbezogen, die Auer von Welsbach aus Thorianit (aus Ceylon) hergestellt und die der Chemiker und Experte für Atomgewichtsbestimmungen Otto Hönigschmid (1878–1945) in den Jahren 1914 und 1916 zur Feststellung des Ionium-Thorium-Gehalts im Radiuminstitut in Wien weiter bearbeitet hatte. Die Konstanz des U/Ac-Verhältnisses wurde unabhängig von der Herkunft der Erze bestätigt.

1928 war die Halbwertszeit des Actiniums offensichtlich immer noch umstritten. Die Angaben verschiedener Forscher (M. Curie, O. Hahn, L. Meitner, St. Meyer) schwankten zwischen ca. 14 bis 30 Jahren. Das veranlasste Stefan Meyer am Radiuminstitut in Wien unter Verwendung von bis zu 14 Jahre alten

Präparaten, unter denen sich auch Welsbach-Ac-Präparate fanden, abermals eine experimentelle Bestimmung durchzuführen, in der Hoffnung durch eine größere Probenzahl zu einem besser abgesicherten Ergebnis zu kommen. Er kam zu einer Halbwertszeit von „wahrscheinlich“ 13,5 Jahren. Dieser Wert liegt um ca. 30 % unter der heute akzeptierten Halbwertszeit von 21,8 Jahren für  $^{227}\text{Ac}$ . Das Ergebnis zeigt, dass es einige Jahrzehnte gedauert hat, bis die experimentelle Technik sowohl in der anorganischen Chemie als auch in der Physik ausgereift war. Rückblickend hatten in diesem Fall Lise Meitner und Otto Hahn, da sie in Spuren die Muttersubstanz des Actiniums, nämlich das Protactinium isolieren konnten, bereits 1918/1919 den genauesten Wert für die Ac-Halbwertszeit mit ca. 20 Jahren ermittelt.

Ausgehend vom Material (der sog. „Kopffraktion“), das Haitinger und Ulrich aus den Pechblenderückständen in der Auergesellschaft in Wien extrahiert hatten, bestimmte der Chemiker Otto Hönigschmid 1911 das Atomgewicht des Radiums (appr.  $A=226$ ) und stellte aus dem hochreinen Radiumchlorid 5 Radiumstandardpräparate her, von denen eines von der neu gegründeten internationalen Radium-Standard-Kommission als Normalstandard eingeführt und in Wien deponiert wurde.<sup>84</sup> Ein Präparat von M. Curie, mit gleichem Atomgewicht innerhalb der Fehlergrenzen, wurde in Paris aufbewahrt.

Für die Isotopenforschung und damit für die Atomphysik war Hönigschmid mit seinen Atomgewichtsbestimmungen ein unersetzlicher Kontrolleur. 1916 war es geboten, das Atomgewicht des Thorium-Isotopengemisches (Ionium =  $^{230}\text{Th}$  wurde als Muttersubstanz des Radiums vermutet) von der Pechblende ausgehend zu bestimmen. Vom Monazid ausgehend war das Thorium-Atomgewicht bereits bekannt ( $A=232,12$ ). Zu Hilfe kam hierbei „ein Thor-Ionium-Präparat“ als Ausgangsmaterial, „das von Auer von Welsbach aus den Rückständen der Uran-Fabrik in St. Joachimsthal extrahiert worden war“. Auer von Welsbach hatte es in seiner Veröffentlichung 1910 als „Th-Io-Rohoxalat“ bezeichnet. Es war deutlich radioaktiv. Davon waren im Radiuminstitut ca. 100 mg vorhanden.<sup>85</sup> Nach diversen Reinigungsverfahren konnte Hönigschmid zeigen, dass das radioaktive Ionium ( $^{230}\text{Thorium}$ ) zu ca. 30 % im Thorium-Ionium-Gemisch (ausgehend von der Pechblende) vorhanden sein müsste. Die Existenz von 2 Th-Isotopen war also damit bestätigt.

Ebenfalls 1916 unterzogen Otto Hönigschmid und seine Kollegin Stefanie Horowitz in einem aufwendigen Verfahren die Bestimmung des Thorium ( $^{230/232}\text{Th}$ )-Atomgewichts einer Revision. Dazu stellte ihnen die Auergesellschaft in Wien Atzgersdorf ein von Seltenerd-Elementen völlig befreites Präparat zur Verfügung. Ein zweites Th-Präparat wurde von Prof. R.I. Meyer aus Berlin be-

reitgestellt. Der wahrscheinlichste Wert des Atomgewichts dieses Element(-gemisches) wurde zu  $232,12 \pm 0,014$  ermittelt.<sup>86</sup>

Nach der Beobachtung der künstlichen Radioaktivität 1934 durch das Ehepaar I. Joliot-Curie (1897–1956) und F. Joliot-Curie setzte eine rege Aktivität ein, radioaktive Isotope der verschiedensten Elemente, z.B. durch Bestrahlung mit  $\alpha$ -Strahlen, zu erzeugen, die bisher in der Natur nicht beobachtet wurden. Aus dieser künstlichen Herstellung von radioaktiven Isotopen entstand die Neutronenaktivierungsmethode, in der Neutronen (erzeugt z.B. über eine  $\alpha$ -Berillium-Quelle) als Geschossteilchen eingesetzt wurden. Einer der Wegbereiter dieser Methode zur Erzeugung radioaktiver Isotope war George von Hevesy.<sup>87</sup> Hevesy gehörte zu den ersten Wissenschaftlern, die SE-Elemente von Carl Auer von Welsbach mit Neutronen beschoss. Er führte dazu aus:

The great Austrian chemist Auer von Welsbach prepared shortly after the First World war all rare-earth elements in pure state. He was interested in my hafnium-studies and invited me repeatedly to stay with him in his castle in Karinthia. He usually presented me with minute amounts of his pure rare-earth double sulphate samples which proved to be of great importance for my studies. One day he was in a generous mood and offered me a large sample of one of his preparations.

I had no special reason to give any rare-earth element preference but choose dysprosium by pure chance. After the discovery of the artificial radioactivity we exposed Auer von Welsbach's samples to bombardment with slow neutrons and found dysprosium to be stronger activated than any other element, shortly followed by europium. In paper 3 we mentioned the determination of dysprosium content of yttrium samples by making the first use of activation analysis. We have soon opportunity to apply the same method in the determination of europium impurities in gadolinium oxide.<sup>88</sup>

Willibald Jentschke (1911-2002) und Kollegen wiesen 1940 durch Beschuss eines Welsbach'schen Thorium-Ionium-Präparates mit thermischen (langsamen) Neutronen in Wien nach, dass der Spaltungsquerschnitt für Ionium größer ist als für das <sup>232</sup>Thorium. Sie bestätigten damit eine theoretische Prognose, die Niels Bohr und John Archibald Wheeler (1911-2008), ausgehend vom Tröpfchenmodell für Atomkerne, abgeleitet hatten.<sup>89</sup>

Berta Karlik (1904–1990), Leiterin des Radiuminstituts von 1945-1947, gelang es 1943, das Element Astat (Element 85) in der Natur als Element und Folge eines natürlichen radioaktiven Zerfalls nachzuweisen. Auch bei diesen Experimenten nutzte sie die im Institut noch vorhandenen Ac-Präparate des Carl Auer von Welsbach. Astat ist das seltenste natürlich vorkommende Element, da die längste Halbwertszeit der 24 Isotope nur 8,5 Std. beträgt.<sup>90</sup>

## Weitere Aktivitäten zur Radioaktivitätsforschung nach 1910 in Kärnten<sup>91</sup>

Auer von Welsbach führte bei seinen Arbeiten zum Aufschließen der „Hydrate“ und der Herstellung mit Actinium angereicherten Präparate auch nach seiner Publikation 1910 einen regen Briefwechsel mit dem Institut für Radiumforschung, insbesondere mit dem geschäftsführenden Leiter, dem Physiker Stefan Meyer.<sup>92</sup> Oft fand der Austausch von Informationen per Telegramm statt, z.B. um den Versand von kostbaren Präparaten unter Kontrolle zu halten. Denn in gewissen Zeitabständen schickte er solche Präparate für weitere vorzunehmende Untersuchungen nach Wien, ab 1922/23 insbesondere für röntgenspektroskopische Analysen. Dann wollte er natürlich etwas über die Ergebnisse dieser Untersuchungen wissen. Andererseits bat Stefan Meyer um weitere spezielle Präparate, um seine eigenen Forschungen im Radiuminstitut sowohl zum Actinium als auch hinsichtlich der Untersuchungen der magnetischen Eigenschaften der Elemente, speziell der SE (Lanthanoide), voranzutreiben.

Die von Auer von Welsbach in seinem Labor auf Schloss Welsbach in Rastendorf (b. Althofen) durchgeführten chemischen Arbeiten und spektroskopischen Analysen im sichtbaren Bereich waren langwierig und mühevoll. Im Frühjahr 1917 berichtete er Stefan Meyer über die Herstellung von 4 Actinium-Proben unter Anwendung der fraktionierten Kristallisation. Auch wenn er seinen verspäteten Brief mit Gichtanfällen entschuldigte, strahlt dieser Brief Selbstbewusstsein und Optimismus aus. Die Zukunft beschrieb er mit den Worten:

Das Ac wird Ihnen ebenso wie mir noch viel Mühe machen. Ich bin überzeugt, dass es kein einheitlicher Körper ist und dass wir noch überraschende Ergebnisse erzielen werden.<sup>93</sup>

Aber einige Monate später ist in einem „vorläufigen Abschlussbericht“ an Prof. Franz S. Exner, dem Leiter der Radiumkommission, die Stimmung doch niedergeschlagen und es ist zu lesen: „Das war eine unendlich mühsame Arbeit und in Anbetracht der geringen Ausbeute an Ac so wenig lohnend“.<sup>94</sup>

In der Zeit des Ersten Weltkrieges war Auer von Welsbach in seinen Laborarbeiten stark eingeschränkt, da sein Personal zum Kriegsdienst eingezogen worden ist und er dadurch sein Guts selbst bewirtschaften musste.<sup>95</sup> Im Dezember 1917 bedankt sich Stefan Meyer abermals für die Zusendung einer Reihe von Präparaten und „wartet“ auf den angekündigten Abschlussbericht zu den Actinium-Forschungen.<sup>96</sup> Nach Wien gelangte aber nur der o.g. vorläufige Abschlussbericht an Prof. Exner.

Das Radiuminstitut und Carl Auer von Welsbach hatten bis 1918 erhebliche Energie in die Anreicherung von Ac-Präparate und die Analyse der radioaktiven Eigenschaften dieses Elements (Halbwertszeit,  $\alpha$ -Strahlen, Zerfallsprodukte usw.) investiert. Die Entdeckung der lange gesuchten Muttersubstanz des Actiniums ( $^{227}\text{Ac}$ ), nämlich des Protactiniums ( $^{231}\text{Pa}$ ), im März 1918 blieb aber Otto Hahn und Lise Meitner (1878–1968) in Berlin vorbehalten.<sup>97</sup> Vergleicht man die Aktivitäten in Berlin und Wien, so kann man schon fast von einem Wettlauf in der Actinium-Forschung sprechen, ohne dass dieser offiziell ausgerufen wurde. Möglich, dass Stefan Meyer, der in Kontakt zu den Berliner Forschern stand, nicht genau wissend, wo dort der Forschungsschwerpunkt lag und nach seinem eigenen späteren Bericht nicht nur Pechblenderückstände für Berlin, sondern auch noch die „stärksten Actinium-Präparate“ dorthin schickte (die mit großer Wahrscheinlichkeit nur von Auer von Welsbach stammen konnten), ungewollt selbst diesen Wettlauf zum eigenen Nachteil beeinflusst hatte.<sup>98</sup> Die Ac-Präparate waren in Berlin, so Stefan Meyer, für Messungen der  $\gamma$ - und  $\beta$ -Spektren gedacht.

Um den Zusammenhang mit dem neu entdeckten Element Protactinium herzustellen, sei hier abermals auf die 1914 unter der Federführung von Stefan Meyer und unter Verwendung von Ac-Präparaten aus Kärnten durchgeführte Reichweitebestimmung von  $\alpha$ -Strahlen hingewiesen. Dort heißt es, dass u.a.  $\alpha$ -Strahlung mit einer Reichweite von 3,56 cm beobachtet wurde, die nicht ein- bzw. zuzuordnen sei.<sup>99</sup> Genau diese  $\alpha$ -Strahlung, die auch Otto Hahn und Lise Meitner identifiziert und genauer untersucht haben, führte in Berlin zum Mutterelement des Actiniums. Auer von Welsbach bemerkte dazu in einem Schreiben an Stefan Meyer vom 16.04.1918, mit dem er um weitere Informationen zum Protactinium bat: „Schade, dass uns das entgangen ist“.<sup>100</sup>

Die Bedeutung der erfolgreichen Arbeit von Otto Hahn und Lise Meitner war Carl Auer von Welsbach sicher bewusst und seine Reaktion darauf deshalb verständlich. 1918 waren von 34 bekannten radioaktiven Elementen nur 5 Elemente im chemischen Sinn neu,<sup>101</sup> nämlich Radium, Actinium, Polonium, Radiumemanation (Radon) und nun das (mit dem äußerst kurzlebigen Brevium bzw.  $\text{UrX2}$  isotope) Protactinium.<sup>102</sup>

## **Resümee zur Actinium-Forschung durch Stefan Meyer**

Aus der Sicht von Carl Auer von Welsbach war bei der Herstellung seiner Actinium-Präparate Stefan Meyer im Radiuminstitut in Wien sicher sein wichtigster

Korrespondenzpartner. Aus der Sicht von Stefan Meyer kann aber ein anderes Bild entstehen – soweit es um die Darstellung der Actinium-Präparate aus den „Hydrat“-Rückständen geht, die Haitinger und Ulrich aus den (St. Joachimsthaler-) Pechblenderückständen in der Auergesellschaft in Wien extrahiert und Auer von Welsbach auf Veranlassung der Akademie der Wissenschaften zur Verfügung gestellt haben. St. Meyer hatte nämlich in dieser Frage auch einen engen Briefkontakt zum Chemiker Carl Ulrich, vormals Chemiker in der Auergesellschaft in Wien-Atzgersdorf und ab 1910 Direktor der Uranfabrik in St. Joachimsthal. Gegenüber Auer von Welsbach erwähnte Stefan Meyer dies aber nur am Rande. Stefan Meyer würdigte die stark radioaktiven Ac-Präparate, die Auer von Welsbach durch das Manganitverfahren hergestellt hat.<sup>103</sup> Die Quellen geben keinen Hinweis darauf, dass Ulrich vergleichbar starke Ac-Präparate geliefert hat.

Andererseits hat Stefan Meyer die Arbeit von Carl Auer von Welsbach in diesem speziellen Bereich – soweit es die Ac-Präparate anbetrifft – mit Skepsis betrachtet. Das ergibt sich aus einem Brief von Meyer an Ulrich vom 2.03.1918. Darin bedankt sich Stefan Meyer bei Ulrich „für die Übersendung der Proben der Seltenen Erden, Ac-Reihe“ und schreibt:

Jedenfalls bleibt es mir schleierhaft, wie Auer seine hundertfach stärkeren Präparate aus den Lanthanfraktionen erhielt. Soweit dies aus seinen spärlichen Mitteilungen zu entnehmen ist, stammen seine Hauptprodukte aus den Lanthanammonitratreihen und soweit ich ihn verstanden habe, hat er von vornherein entsprechend der Angabe, dass Ac zwischen Ca und La einzureihen wäre, überhaupt nur die Lanthanfraktionen bearbeitet und dann müssten ja die Hauptmengen an Ac bei ihm noch in den anderen seltenen Erden stecken. Beim Actinium erlebt man wirklich lauter Wunder. [ ... ] Haben Sie eigentlich das Auer'sche Manganitverfahren, mit dem ihm so gute Anreicherung gelang, ausgeprobt?<sup>104</sup>

Stefan Meyer war Physiker und griff deswegen auch auf das Wissen und die Erfahrung der Chemiker Carl Auer von Welsbach und Carl Ulrich zurück. Bei der Gründung des Instituts für Radiumforschung 1910 war offensichtlich die Chemie als Spezialgebiet im Institut kaum vertreten. Schließlich überzeugten aber die physikalischen Messungen davon, dass zu dieser Zeit die über das Manganit-Verfahren von Auer von Welsbach erstellten Ac-Präparate wirklich eine Anreicherung des Actiniums (und seiner Zerfallsprodukte) darstellten. Nach 1910 konnte Stefan Meyer den Schritten bei der Herstellung weiterer Ac-Präparate durch Auer von Welsbach immer weniger folgen. Nach außen hat Stefan Meyer darüber in der Fachliteratur geschwiegen. Sicher hat er Recht, dass die Kommunikation mit Auer von Welsbach nicht einfach war. Einerseits lag

das an der kurz gehaltenen Mitteilungsform, die Auer von Welsbach wählte (teilweise nur kurze Telegramme), andererseits zeigt sich aber auch ein Defizit an qualifizierten Chemikern im Radiuminstitut, die mit Auer von Welsbach auf der fachlichen Ebene hätten intensiver kommunizieren können. Zum Dritten bleibt festzuhalten, dass Carl Auer von Welsbach selbst zum Schluss seiner Untersuchungen auf diesem Gebiet (speziell der Herstellung von actiniumhaltigen Lanthan-Präparaten) um 1917/1918 resignierte. Für diese Auffassung spricht nicht nur sein Brief an Franz S. Exner vom 28.11.1917, in dem er von der Mühsal seiner Tätigkeit in diesem Bereich spricht, sondern auch, dass der angekündigte Teil 2 seiner Publikation aus dem Jahr 1910 nicht erschienen ist.<sup>105</sup> Dieser blieb als Entwurf liegen und wurde 2010 im Nachlass entdeckt.

Unter diesen Umständen und in Anbetracht der vielfältigen Aufgaben die Meyer als Leiter des Instituts für Radiumforschung in Wien zu übernehmen hatte, waren auch seine zeitlichen Kapazitäten begrenzt, so dass er sich der Forschungstätigkeit von Auer von Welsbach nicht in dem Maße widmen konnte, wie es notwendig gewesen wäre, um in der Zeit nach 1910 die Auersche Forschungstätigkeit mit der notwendigen Konzentration verfolgen zu können. Nicht zuletzt muss festgehalten werden, dass das Radiuminstitut, zu dem Auer von Welsbach auch nach dem Ersten Weltkrieg Präparate zur weiteren röntgenspektrographischen Analyse schickte, finanziell notleidend und apparativ nicht mehr auf dem neusten Stand ausgerüstet war. Auer von Welsbach spendete wohl auch deswegen nicht nur persönlich Geld,<sup>106</sup> sondern war auch ein Fürsprecher bei anderen Forschern, denen er kostenlos Präparate zur Verfügung stellte, das Radiuminstitut in Wien zu unterstützen.<sup>107</sup>

## Summary

Carl Auer von Welsbach (1858-1929), who was trained as a chemist by Robert Bunsen in Heidelberg (1880/82), was one of the great entrepreneurs, inventors and researchers (chemist/physicist) in Austria. Prior to World War II he was well known internationally; afterwards, he fell more or less into oblivion up to his 150th birthday.

In the work presented here, Auer's contribution as a scientist of early radioactivity research is described. In radioactivity research with the company that he founded (also called Auergesellschaft in Vienna), Welsbach produced the first

large quantities of radium chloride (3-4 grams) in Europe. Thereby decisively laying the foundation for the biggest research centre for radium research at that time in Vienna (1910). The pitchblende residue from St. Joachimsthal (Czech Republic today) was used for radium extraction. From 1907/08 until approximately 1918, Carl Auer von Welsbach dedicated himself intensively to the isolation of actinium and thorium (in the form of preparations) from the waste ('hydrates') of radium extraction. His labour-intensive procedure for the production of these preparations and their benefits at that time to science is illustrated based on his publication from the year 1910 and his exchange of letters with physicist Franz S. Exner (2nd Physics Institute in Vienna) and physicist Stefan Meyer (Radium Institute in Vienna).

- <sup>1</sup> Gerd Löffler, „Pionier der Seltenen Erden“ in: *Nachrichten aus der Chemie*, 56 (2008), 889-892; Roland Adunka: „Entdecker-Erfinder-Unternehmensgründer“ in: *Nachrichten aus der Chemie*, 56 (2008), 959-960.
- <sup>2</sup> Löffler, „Pionier“ (wie Anm. 1).
- <sup>3</sup> Kurt Peters, „ Carl Freiherr Auer von Welsbach. Zum Gedenken anlässlich des 100. Geburtstages, Gedenkrede 10.10.1958“ in: *Blätter für Technikgeschichte*, 20 (1958), 25-48.
- <sup>4</sup> Gerd Löffler, *Carl Auer von Welsbach und sein Beitrag zur frühen Radioaktivitätsforschung und Quantentheorie*, Dissertation Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Klagenfurt 2014.
- <sup>5</sup> Carl Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung der Actinium enthaltenden Rückstände der Radiumgewinnung (1. Teil). Mitteilungen der Radium-Kommission 6“ in: *Sitzungsberichte d. kaiserl. Akademie d. Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Kl. Abt. 2a*, 119 (1910), 1011-1054. Ferdinand Henrich, *Chemie und chemische Technologie radioaktiver Stoffe*, Berlin 1918.
- <sup>6</sup> Franz Fattinger, „Die Radium- und Thoriumindustrie“ in: *Österreichische Chemiker*, 1 (1937), 11-15.
- <sup>7</sup> Richard Meister, *Geschichte der österreichischen Akademie der Wissenschaften*, Wien 1947, S. 297.
- <sup>8</sup> Henrich, *Chemie*, S. 298.
- <sup>9</sup> Schreiben von Eduard Suess u. Victor von Lang (Kaiserl. Akademie der Wissenschaften) an Carl Auer von Welsbach vom 16.07.1901, AÖAW, FE-Akten, Radiuminstitut, Kt.1, Allg. Akt 821/1901.
- <sup>10</sup> Rudolf Hanel (Hg.), *Jahrbuch der Industrie. 1903/04*, Wien 1903, S. 385. Handschriftliches Schreiben des Auer von Welsbach an die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien vom 31.07.1901, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Schriftwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).

- <sup>11</sup> Handschriftliches Schreiben des Auer von Welsbach an die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien vom 31.07.1901, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Schriftwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>12</sup> Brief der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften an Carl Auer von Welsbach vom 12.08.1901. Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Schriftwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>13</sup> Stefan Meyer, „Die Vorgeschichte der Gründung und das erste Jahrzehnt des Instituts für Radiumforschung“ in: *Festschrift des Instituts für Radiumforschung anlässlich seines 40-jährigen Bestandes (1910-1950)*, Wien 1950, S. 10.
- <sup>14</sup> Henrich, Chemie, 1918, S. 204, S. 298f. und S. 304-312.
- <sup>15</sup> Meyer, Die Vorgeschichte, 1950, S. 14.
- <sup>16</sup> Wolfgang Reiter, *Stefan Meyer und die Radioaktivitätsforschung in Österreich*, Wien 2000, S. 112.
- <sup>17</sup> Beate Ceranski, *Tauschwirtschaft, Reputationsökonomie, Bürokratie – Strukturen des Radiummarktes vor dem Ersten Weltkrieg*, Basel 2008, S. 413-443. Josef Braunbeck, *Der strahlende Doppeladler*, Graz 1996, S. 57, S. 110-127.
- <sup>18</sup> Brief von Prof. Franz S. Exner an Auer von Welsbach vom 08.05.1909, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>19</sup> Handschriftliches Schreiben der Radiumkommission an die Auergesellschaft vom 21.11.1904, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Schriftwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>20</sup> Dies ist ein Sammelbegriff. Gemeint sind die Salze der Kieselsäure, die heute als Silikate bezeichnet werden und die komplexe Strukturen aufweisen. Als Anionen treten häufig Magnesium-, Calcium-, Aluminium- und Eisen-Ionen auf. Siehe Holleman-Wiberg, *Anorganische Chemie* (Berlin/New York 2007), S. 957. Da Eisen als Nachbar des Elementes Mangan im Periodensystem diesem chemisch sehr ähnlich ist, werden auch komplexe Manganverbindungen in den Hydraten vorhanden gewesen sein, was Auer von Welsbach bei der Anreicherung von Actinium sehr hilfreich war.
- <sup>21</sup> Carl Auer von Welsbach, Notizen über Radioaktive Arbeiten, (Handschriftliche Notizen des Carl Auer von Welsbach, Althofen 1908-1913); Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Radioaktive Arbeiten Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>22</sup> Hans-Jürgen Quadbeck-Seeger, *Die Elemente der Welt – Periodensystem der Elemente* (Weinheim 2007), S. 76.
- <sup>23</sup> Rudolf G.A. Fricke, Friedrich Oskar Giesel, Pionier der Radioaktivitätsforschung – Opfer der Wissenschaft (Braunschweig 2001), S. 115; siehe dazu auch die Ausführungen von Siegfried Niese, [http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/10598/Entdeckung\\_des\\_Elementes\\_91.pdf](http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/10598/Entdeckung_des_Elementes_91.pdf) (14.03.2015).

- <sup>24</sup> Henrich, Chemie, 1918, S. 243.
- <sup>25</sup> Auer von Welsbach, Notizen 1908-1913.
- <sup>26</sup> Die Maßeinheit Uran-Einheit (Ur.E.) wurde ursprünglich von Antoine Henri Becquerel (1852-1908), dem Entdecker der Radioaktivität (1896), eingeführt und bezog sich auf metallisches Uran, das aber schwer zu beschaffen war. Stefan Meyer und Egon Schweidler in Wien haben eine Normallösung von Uranylнитrat vorgeschlagen. Dann haben schließlich Herbert N. McCoy et.al. (ca. 1904) Uranoxydul U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (Pechblende) als Standardmedium zu schaffen versucht. Weitere Details s. Quelle: Stefan Meyer, Egon Schweidler, Radioaktivität (Leipzig/Berlin 1916), S. 206f.
- <sup>27</sup> Zertifikat über ein geeichtes Radium-Präparat entsprechend 0,976 mg Radium (225,95) der k. k. Bergwerks-produkten-Verschleißdirektion vom 21.07.1913, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Radioaktive Arbeiten; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>28</sup> Rudolf G. A Fricke, Günther & Tegetmeyer 1901-1958. Instrumente für die Wissenschaft aus Braunschweig (Seesen 2011), S. 23.
- <sup>29</sup> Fricke, Günther & Tegetmeyer (2011), S. 181f.
- <sup>30</sup> Abbildung 83 u. 84, s. Fricke, Günther & Tegetmeyer (2011), S. 85.
- <sup>31</sup> Beschreibung der Funktionsweise s. Fricke, Günther & Tegetmeyer (2011), S. 180-183.
- <sup>32</sup> Fricke, Günther & Tegetmeyer (2011), S. 182.
- <sup>33</sup> Günther & Tegetmeyer, Bemerkungen zu einem Fontaktometer nach Mache und Meyer (Braunschweig o.D.), Archiv Auer von Welsbach Museum Standort Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>34</sup> Die beiden Plättchen sind abgebrochen. Die Bruchstellen sind im Gerät am oberen Ende beiderseits des mittleren Stabes zu erkennen (s. Abb. 3 ). Sie sind nicht korrodiert, so dass es mit großer Wahrscheinlichkeit Platinplättchen waren. Eine zugehörige Ionisationskammer von der Firma Günther & Tegetmeyer befindet sich nicht unter den Exponaten und ist wahrscheinlich verlorengegangen.
- <sup>35</sup> Eich-tabelle zu einem Fontaktometer nach Stefan Meyer und Heinrich Meyer (Braunschweig o.D.), Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Sonstige Dokumente; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten). – Die Betriebsanleitung und Eich-tabelle tragen eine andere Fabriknummer als auf dem fotografierten Gerät angegeben , was daraus schließen lässt, dass Carl Auer von Welsbach offensichtlich mindestens zwei Geräte dieses Typs angeschafft hat.
- <sup>36</sup> Sitzungsprotokoll der Auergesellschaft in Wien vom 10. Mai 1903, Archiv Auer von Welsbach Forschungs-institut, Ordner: Sonstige Druckwerke; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>37</sup> Ludwig C Haitinger, Kurt Peters „Notiz über das Vorkommen von Radium im Monazitsand“, in: Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien; Mathem.-naturw. Klasse, Abt. II a, 113 (Wien 1904), 569f.

- <sup>38</sup> Ingrid Groß, Carl Auer von Welsbach . Forscher, Chemiker, 'Entrepreneur'. Ein Beitrag zur österreichischen Unternehmensgeschichte (Dipl. Arbeit, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Klagenfurt 2010), S. 56. Franz Fattinger, „Die Radium und Mesothoriumindustrie“, Österreichische Chemikerzeitung 1 (1937), S. 15.
- <sup>39</sup> Ludwig C. Haitinger; Karl Ulrich: „Bericht über die Verarbeitung von Uranpecherzrückstände, Mitteilungen der Radium-Kommission der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften“, in: Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturwiss. Klasse, Abt. 2 a, Bd. 117 (1908), S. 619-630.
- <sup>40</sup> Carl Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung der Actinium enthaltenden Rückstände der Radiumgewinnung (I. Teil), Mitteilungen der Radium-Kommission Nr. 6“, in: Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien; Mathem.-naturw. Klasse, Abt. II a, 119 (Wien 1910), S. 1011-1054.
- <sup>41</sup> Die Auswertung von Teil 2 dieser Arbeit ist noch nicht abgeschlossen.
- <sup>42</sup> Erst später, obwohl schon vorher vermutet, wurde durch die Entdeckung der Isotopie eindeutig klar, dass das Ionium ein Isotop (Th230) des Thoriums (Th232) und die Muttersubstanz des Radiums ist. Eine Ausnahme war der Chemiker Bruno Keetman (1883-1918), damals im Labor der Auergesellschaft in Berlin tätig, der sich zu einem interessanten Detailaspekt der Welsbachschen Arbeit geäußert hat.
- <sup>43</sup> Ernst Rutherford, „Radioactive Substances and their Radiations“ (Cambridge 1913), S. 520.
- <sup>44</sup> Ammoniak (NH<sub>3</sub>) löst sich in Wasser und ergibt dabei eine schwache Base (NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O ↔ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + OH<sup>-</sup>).
- <sup>45</sup> Das konnte Carl Auer von Welsbach natürlich vorher nicht wissen und so hat er parallel natürlich auch die über dem Niederschlag stehengebliebene saure Lösung in vielen Schritten weiter untersucht. Dabei entstanden wieder weitere Niederschläge und Lösungen, die analysiert werden mussten. Diese Verfahrensweise, zu der es damals keine Alternativen gab, erklärt die Mühsal und den enormen Zeitaufwand bei der Suche nach neuen Elementen, in diesem Fall nach radioaktiven Elementen. Dabei war die Möglichkeit Zwischenergebnisse einerseits spektroskopisch (im sichtbaren Bereich) und andererseits auf radioaktive Spuren hin mit einem Elektroskop zu identifizieren schon eine relative Erleichterung und hat den weiteren Weg der chemischen Analyse und Trennung der radioaktiven Elemente von den übrigen zielführend beeinflusst.
- <sup>46</sup> Auer von Welsbach, Über die chemische Untersuchung, (1910), S. 1019f.
- <sup>47</sup> Exner, Franz: „Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse vom 11. Juni 1909“, in: Sonderdruck aus dem Akademischen Anzeiger XIV (Wien 1909), 1ff. (Kopie in: Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Radioaktive Arbeiten; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten)). Auer von Welsbach: „Über die chemische Untersuchung“ (1910), S. 1011-1054.
- <sup>48</sup> Aus einem Schreiben von Stefan Meyer an Carl Auer von Welsbach vom 21.05.1908 geht hervor, dass Meyer auch Actinium-Präparate von Ulrich erhalten hat, die zu diesem Zeitpunkt nach der Feststellung von Meyer mit denen von Carl Auer von Welsbach zumindest

bis zu diesem Zeitpunkt hinsichtlich ihrer Aktivität vergleichbar waren. Das bedeutet: In der Auergesellschaft in Wien, wurde u.U. nicht nur bei den Hydraten, sondern auch in den anderen Fraktionen der Pechblenderückstände ebenfalls mit Erfolg nach Actinium gesucht. Allerdings schweigt sich Stefan Meyer gegenüber Auer von Welsbach darüber aus, nach welcher Methode und in welcher Fraktion Ulrich Actinium separiert hat. Um welche Ac-Verbindung es sich dabei gehandelt hat, ist ebenfalls aus dem Brief nicht zu entnehmen. Quelle: Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Schriftwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).

- <sup>49</sup> Schreiben von Stefan Meyer an Carl Ulrich vom 2.03.1918 (Auszug): „Beim Actinium erlebt man wirklich lauter Wunder [...]. Haben Sie eigentlich das Auer'sche Manganitverfahren, mit dem ihm so gute Anreicherung gelang, ausgeprobt?“ Anmerkung: Der Chemiker Carl Ulrich war nach Abschluss der Aufarbeitung der Pechblenderückstände zusammen mit Ludwig C. Haitnger bei der Auergesellschaft (Wien) im Jahr 1910 als Direktor nach St. Joachimsthal versetzt worden. Dort hat er ebenfalls ein Labor aufgebaut und seinen regen Briefkontakt mit Stefan Meyer, d.h. mit dem Radiuminstitut in Wien aufrecht gehalten. Ulrich hat u.a. im Labor in St. Joachimsthal auch Actinium-Präparate hergestellt und Meyer zur Verfügung gestellt. Quelle: Schriftwechsel Carl Ulrich mit Stefan Meyer, Archiv der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, FE Akten, Karton 20, 31 und 68.
- <sup>50</sup> Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung“, (1910), S. 1025-1029.
- <sup>51</sup> Auer von Welsbach war sich also darüber im klaren, dass die beobachtete starke Radioaktivität, nicht dem Thorium oder den Yttererden selbst zuzuordnen war. Wahrscheinlich waren es die Folgeprodukte des Actiniums. Auer von Welsbach spricht deshalb vorsichtshalber von einem Körper, denn 1910 war der unmittelbare Zerfall des Actinium (in 1%  $\alpha$ -Strahlen und 99 %  $\beta$ -Strahlen) noch lange nicht geklärt. Manche Forscher vermuteten nur einen  $\beta$ -Zerfall, andere sprachen zu der Zeit sogar von einem strahlenlosen Zerfall des Actinium-Atoms. Quelle: s. z.B.: Henrich, „Chemie“ (1918), S. 246.
- <sup>52</sup> Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung“ (1910), 1027f.
- <sup>53</sup> Ebd., S. 1029-1054.
- <sup>54</sup> Henrich, „Chemie“ (1918), S. 3.
- <sup>55</sup> Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung“ (1910), S. 1033.
- <sup>56</sup> Ebd. S. 1036.
- <sup>57</sup> Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung“ (1910), S. 1039.
- <sup>58</sup> Ebd., S. 1041-1045.
- <sup>59</sup> Ebd., S. 1045ff.
- <sup>60</sup> Ab ca. 1909 beschäftigte sich der englische Physiker und Chemiker Francis William Aston, ein Schüler von J.J. Thomson mit dem Auffinden der Isotope des Edelgases Neon unter Einsatz der ursprünglich von Thomson entwickelten Kanalstrahlmethode. Quelle: F.W. Aston, Isotope (Leipzig 1923), S. 23-37. 1912 gab es dafür erste konkrete Ergebnisse, dass es zwei Neon-Isotope geben könnte.

Als Vorschlag eingeführt wurde der Begriff der Isotopie durch den Chemiker Frederik Soddy (1838-1922) im Jahr 1910. Auf der Tagung der British Association 1913 entstand ein allgemeiner Konsens, dass es die Isotopie der Elemente, d.h. dass es Elemente mit „identischen oder praktisch identischem chemischen und spektroskopischen Verhalten, aber mit verschiedenem Atomgewichten“ gibt. Quelle: Aston, Isotope (1923), S. 6. „Dieses Ergebnis wurde in der genauesten Weise von Auer von Welsbach bestätigt, der imstande war, seine wertvollen Erfahrungen im Arbeiten mit den seltenen Erden auf dieses Problem [Anmerkung: Untrennbarkeit des Thorium/Ionium-Elementgemisches] anzuwenden.“ Quelle: Aston, Isotope, 1923, S. 8. Ausgehend von den Erfahrungen mit der Kanalstrahlmethode und nach Unterbrechungen durch den Ersten Weltkrieg existierten erst 1918/1919 von Aston und dem amerikanischen Physiker Arthur Jeffrey Dempster (1886 – 1950) entwickelte Massenspektrometer, die eine systematische Untersuchung der Elemente ermöglichten und die Existenz ihrer Isotope unwiderlegbar nachweisen konnten. Im modernen Sprachgebrauch ausgedrückt sind Isotope Elemente mit gleicher Ordnungszahl (Protonen) im Periodensystem der Elemente aber unterschiedlicher Masse.

- <sup>61</sup> Keetman, Bruno, Über die Auffindung des Ioniums, einer neuen radioaktiven Erde in Uranerzen (Berlin 1909), Anmerkung: Gutachter dieser Dissertation waren der Physiker Heinrich Rubens und der Chemiker/ Physiker Walter Nernst.
- <sup>62</sup> Ebd., S. 10, S. 33.
- <sup>63</sup> Auer von Welsbach (1910), S. 1013
- <sup>64</sup> Zitiert nach Peters, „Carl Freiherr Auer von Welsbach“, S. 9.
- <sup>65</sup> In der älteren Literatur werden die Seltenen-Erdelementen entsprechend ihrer chemischen Eigenschaften unterteilt. Zur Cer-Gruppe gehörten die Elemente Scandium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym und Samarium, die vorwiegend in Verbindungen dreiwertig auftreten und die Yttergruppe. Zur Yttergruppe gehören die Elemente Yttrium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium, die vorwiegend vierwertig auftreten. Die erste Gruppe ist als Sulfat leicht und die zweite Gruppe schwer löslich. S. auch Anlage 3, Quelle: siehe online unter <http://seltene-erde.net/2012/05/> (30.12.2012) u.a. auch Holleman; Wiberg, 2007, 1933.
- <sup>66</sup> Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung“ (1910), S. 1050.
- <sup>67</sup> Carl Auer von Welsbach hat bei allen Verfahrensschritten, die Bestandteile, also auch die nach den verschiedenen Fällungen übriggebliebenen Laugen, einer weiteren Untersuchung unterziehen wollen, soweit er vermuten oder relativ sicher sein konnte, dass sich dort radioaktive Substanzen angesammelt haben.
- <sup>68</sup> Damit sind die Oxalate der Seltenerdmetalle gemeint.
- <sup>69</sup> Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung“ (1910), S. 1053.
- <sup>70</sup> Auf die Abtrennung des Poloniums aus den Hydraten wurde hier nicht dezidiert eingegangen, da Polonium bereits lange bekannt war, von Marie Curie 1898 sogar noch vor dem Radium entdeckt und seitdem von vielen Forschern untersucht wurde. Das Auffinden von Polonium war zwar auch ein Ergebnis der Trennverfahren, aber kein Schwerpunkt der Forschungen von Carl Auer von Welsbach.

- <sup>71</sup> Dies ist eine historische Bezeichnung für Polonium. Gängig war zu der Zeit bis ungefähr Mitte der 1930er Jahre RaF.
- <sup>72</sup> Auer von Welsbach, „Über die chemische Untersuchung“ (1910), S.1012.
- <sup>73</sup> Dieser Hinweis ist wichtig und gilt nicht nur für das Element Actinium. Wenn von Präparaten eines Elementes in dieser Arbeit die Rede ist, so handelt es sich immer nur um angereicherte Präparate eines Elementes z.B. in Form von Salzen oder Oxyden. Der Anreicherungsgrad betrug kaum mehr als wenige Prozente, beim Actinium sicher nur einige Promille.
- <sup>74</sup> Georg Steinhauser, Gerd Löffler, Roland Adunka, R. „The possible discovery of neutron activation 1910“, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 296 (2013), S. 157-163.
- <sup>75</sup> Beide bestrahlten eine Aluminiumfolie (27Al) mit  $\alpha$ -Strahlen. Dabei entstand ein Phosphorisotop (30P) und ein Neutron. Das 30Phosphor-Atom zerfiel sofort in 30Silizium-Isotop, ein Positron (e+) und ein Neutrino. Das letzte Elementarteilchen war 1934 allerdings noch nicht bekannt.
- <sup>76</sup> Georg Steinhauser, Gerd Löffler, Roland Adunka „Eine unentdeckte Entdeckung?“, *Nachrichten aus der Chemie* 62 (2014), S. 1073-1076.
- <sup>77</sup> Vgl. Ingrid Groß, Ingrid; Gerd Löffler, „Carl Auer von Welsbach (1858-1929). Erfinder, Entdecker und Entrepreneur“ (Klagenfurt 2012), S. 37-41. Vgl. Gerd Löffler, „Carl Auer von Welsbach. Der Nutzwert seiner Präparate für die frühe Radioaktivitätsforschung und Quantentheorie“, Videosammlung der Österreichischen Zentralbibliothek für Physik, siehe online unter <http://phaidra.univie.ac.at/o:73527> (10.12.2013).
- <sup>78</sup> Schreiben von Frederick Soddy an Carl Auer von Welsbach vom 27.06.1910. Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>79</sup> Antwortschreiben von Auer von Welsbach an Soddy vom 27.07.1910. Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten). Wie dieser Vorgang abgeschlossen wurde, ist aus den vorliegenden Dokumenten im Auer von Welsbach Forschungsinstitut nicht zu erkennen.
- <sup>80</sup> Stefan Meyer, Victor Hess, Friedrich A. Paneth., „Neue Reichweitenbestimmungen an Polonium, Ionium und Actiniumpräparaten, Mitteilungen des Instituts für Radiumforschung Nr. 64“, in: *Sitzungsberichten der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien; Mathem.-naturw. Klasse, Abt. II a*, 123 (Wien 1914), S 1459-1488.
- <sup>81</sup> Meyers Physik-Lexikon (Mannheim 1973), S. 339.
- <sup>82</sup> Stefan Meyer, „Über die Beziehung zwischen Zerfallskonstanten und Reichweiten, Mitteilungen des Instituts für Radiumforschung Nr. 89“, in: *Sitzungsberichten der kaiserl. Akademie der Wissenschaften, Mathem.-naturw. Klasse, Abt. II a*, 125 (Wien 1916), 723-733.
- <sup>83</sup> Stefan Meyer, Fritz Paneth, „Über die Actium-Zerfallsprodukte, Mitteilungen des Instituts für Radium-forschung Nr. 104“, in: *Sitzungsberichten der kaiserl. Akademie der Wissenschaften, Mathem.-naturw. Klasse, Abt. II a*, 127 (Wien 1918), S. 147-193.

- <sup>84</sup> Otto Hönigschmid, „Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung 8. Revision des Atomgewichts des Radiums und Herstellung von Radiumstandardpräparaten“, in: Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, CXX. Abt. IIa (Wien 1911), S. 1617-1652.
- <sup>85</sup> Otto Hönigschmid, Stefani Horovitz; „Revision des Atomgewichtes des Thoriums“, in: Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung (Wien 1916), 1-29.
- <sup>86</sup> Otto Hönigschmid, Stefani Horovitz, „Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung Nr. 86. Revision des Atomgewichts des Thoriums. Analyse des Thoriumbromids“, in: Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Klasse, Abteilung IIa, Bd. 125 (1916), S. 1-35.
- <sup>87</sup> Die Neutronenaktivierungsmethode ist zu einem unverzichtbaren Instrument bei der Untersuchung von Stoffwechselfvorgängen in der Medizin und Biologie geworden. Hevesy wird deswegen auch als Vater der Nuklearmedizin bezeichnet. Generell wird diese Methode zur Spurenanalyse eingesetzt.
- <sup>88</sup> Georg von Hevesy, „Selected Papers of George Hevesy“ (Oxford 1967), S. 16.
- <sup>89</sup> Willibald Jentschke, Friedrich Prankl, Friedrich Hernegger, „Nachweis der Kernspaltung des Joniums unter Neutronenbestrahlung“. Mitteilung des Instituts für Radiumforschung 445“, in : Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-naturwiss. Kl., Abt. 2a, Bd. 151. 1942, H. 4/6 (Wien 1942), S. 147-157.
- <sup>90</sup> Der Nachweis des Elements Astat durch Berta Karlik und Kollegen gehört zu den ganz großen Leistungen des Instituts für Radiumforschung. Quelle: Holleman, „Anorganische Chemie“ (2007), S 443.
- <sup>91</sup> Vgl. Groß; Löffler, „Carl Auer von Welsbach“ (2012), S. 30-34.
- <sup>92</sup> Von denen 40 Briefe bzw. Telegramme und 15 Präparate-Sendungen (pro Sendung oft mehrerer Präparate) für diese Arbeit ausgewertet wurden.
- <sup>93</sup> Schreiben von Carl Auer von Welsbach an Stefan Meyer vom 20.03.1917, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: AvW-Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>94</sup> Schreiben von Carl Auer von Welsbach an Hofrat Prof. F. Exner (Vorsitzender der Radiumkommission) vom 28.11.1917, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: AvW-Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>95</sup> Schreiben von Carl Auer von Welsbach an Hofrat Prof. F. Exner vom 28.11.1917, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>96</sup> Schreiben von Stefan Meyer an Carl Auer von Welsbach vom 14.12.1917, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>97</sup> Otto Hahn, Lise Meitner, „Die Muttersubstanz des Actiniums, ein neues radioaktives Element von langer Lebensdauer“, in: Physikalische Zeitschrift 19/10 (1918), S. 208-218.

- <sup>98</sup> Meyer, „Die Vorgeschichte“, (1950), S.19.
- <sup>99</sup> Meyer; Hess; Paneth, „Neue Reichweitenbestimmung“ (1914), S. 1487.
- <sup>100</sup> Schreiben von Carl Auer von Welsbach an Stefan Meyer vom 16.04.1918, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>101</sup> Groß; Löffler, „Carl Auer von Welsbach“ (2012), S. 35.
- <sup>102</sup> Hahn, Meitner, „Die Muttersubstanz“ (1918), S. 216.
- <sup>103</sup> Meyer, Schweidler, „Radioaktivität“ (1927), S. 471.
- <sup>104</sup> Schreiben von Stefan Meyer an Carl Ulrich vom 02.03.1918, Schriftwechsel Carl Ulrich mit Stefan Meyer, Archiv der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, FE Akten, Karton 20, 31 und 68.
- <sup>105</sup> Brief von Carl Auer von Welsbach an Franz S. Exner vom 28.11.1917, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort Carl Auer von Welsbach Museum (Kärnten).
- <sup>106</sup> Stefan Meyer bedankt sich für die Spende von Carl Auer von Welsbach in Höhe von 2 Mio. Kronen. Das entspricht dem Jahresetat. Quelle: Schreiben von Stefan Meyer vom 07.05.1924 an Carl Auer von Welsbach, Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).
- <sup>107</sup> Prof. Manne Siegbahn wird auf Veranlassung von Carl Auer von Welsbach einen Röntgenspektrographen liefern. Quelle: Schreiben von Stefan Meyer an vom 16.06.1922 an Carl Auer von Welsbach. Archiv Auer von Welsbach Forschungsinstitut, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer von Welsbach Museum, Althofen (Kärnten).