

# Gut präpariert

Carl Auer von Welsbach (1858 – 1929) leistete wichtige Beiträge zur frühen Quantentheorie.

Gerd Löffler

Der österreichische Chemiker Carl Auer von Welsbach wurde vor 130 Jahren mit der Erfindung des Gasglühstrumpfs weltberühmt. Durch die industrielle Herstellung dieses ersten grellweißen Leuchtmittels stieg er zum Großunternehmer auf. Doch auch als Forscher erwarb er sich große Verdienste, etwa durch die Entdeckung von Seltenerd-Elementen. Weit weniger bekannt ist, dass er die von ihm produzierten hochreinen Proben dieser Elemente einem Netzwerk von Chemikern und Physikern zur Verfügung stellte und so die Entwicklung der Quantentheorie voranbrachte.

Carl Auer von Welsbach wurde 1858 in Wien geboren und studierte dort Chemie, Physik und Mathematik. Anschließend studierte er bei Robert Bunsen in Heidelberg und promovierte dort 1882. Mit der von Bunsen und Kirchhoff entwickelten Spektralanalyse entdeckte er bis 1905 vier Elemente der Seltenerd-Reihe. Diese Elemente bildeten neben der Radioaktivität das Hauptinteresse seines Lebens als Unternehmer und Forscher. Als erfolgreicher Unternehmer produzierte Auer seine Erfindungen, darunter das Gasglühlicht, die Metallfaden-Glühlampe und der Zündstein für Feuerzeuge, in den eigenen Betrieben in Österreich, Deutschland, USA, Kanada, England und Frankreich [1]. Für seine Leistungen wurde ihm unter anderem 1920 der Siemensring verliehen.

Nicht nur als Industrieller, sondern auch als Naturwissenschaftler erhielt er zahlreiche Würdigungen, darunter fünf Ehrendoktorate. Max Planck berief ihn 1913 als kooptiertes Mitglied an die Königliche Akademie von Preußen. Planck und Wilhelm Wien nominierten Carl Auer von Welsbach 1925 für



Auer-von-Welsbach-Museum, Althofen

Carl Auer von Welsbach stellte in seinem Labor hochreine Präparate von Seltenerd- und anderen Elementen her. Anhand des Thorium-Ionium-Präparats (links) gelang ihm ein erster Hinweis auf die Isotopie der Elemente.

den Chemie-Nobelpreis [2].<sup>1)</sup> Wien begründete seinen Vorschlag mit der Zerlegung des vermeintlichen Elements „Didyms“ in Praseodym (Ordnungszahl 59) und Neodym (60) sowie der Entdeckung von Aldebaranium (70) und Cassiopeium (71), also in der heutigen Nomenklatur Ytterbium und Lutetium.

Die Seltenerd-Elemente (Lanthanoide) mit Ordnungszahlen von 57 bis 71 kommen in der Natur wegen ihrer ähnlichen chemischen Eigenschaften stark vergesellschaftet vor und sind schwer zu trennen. Auer von Welsbach beherrschte in seinen chemischen Laboratorien die dafür nötige Technik der fraktionierten Kristallisation (Infokasten) und galt besonders auf diesem Gebiet als Koryphäe. Zu seiner Zeit waren diese Elemente auch in den Fokus der Physiker geraten, denn ihre Einordnung in das Periodensystem war umstritten, zumal das Periodensystem noch Lücken aufwies,

da beispielsweise die Elemente mit Ordnungszahl 61 und 72 noch nicht entdeckt waren. Außerdem fehlte ein schlüssiges Modell, um die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften der Elemente, also auch die der Lanthanoiden, zu erklären. Zwar vermuteten die Physiker, dass dafür die Elektronen verantwortlich sein könnten. Diese Vermutung erwies sich aber im konkreten Einzelfall als nicht haltbar, wie Niels Bohr in seiner Dissertation 1911 nachwies, solange das Thomsonsche Atommodell die Grundlage für den Aufbau der Atome bildete. Die weitere experimentelle und theoretische Entwicklung führte zu den Anfängen des Rutherford-Bohrschen Atommodells (1912) und zur Einführung von (Haupt-)Quantenzahlen für die Energiezustände der Elektronen eines Atoms.

Diese Ausgangslage macht es plausibel, dass Carl Auer von Wels-

1) Ein entsprechendes Dokument von Max Planck scheint nicht mehr auffindbar.

Dr. Dr. Gerd Löffler, Auer-von-Welsbach-Museum, Burgstraße 8, 9330 Althofen, Österreich

bach in Kontakt mit den Physikern kam, welche die frühe Atom- und Quantenphysik vorantrieben.

### Kontakte nach Berlin ...

Wie das Netzwerk zwischen Auer von Welsbach und den Quantenphysikern entstand, war bisher ein weitgehend unbekanntes Kapitel der Physikgeschichte. Doch dieses lässt sich nicht zuletzt durch seinen erhaltenen Briefwechsel, die Dokumente im Auer-von-Welsbach-Museum in Althofen (Österreich) und die damalige wissenschaftliche Literatur weitgehend rekonstruieren.

In Berlin befand sich der Sitz der 1892 gegründeten größten Auer-Gesellschaft in Europa (Abb. 1). Daher war es kein Zufall, dass die Physiker um 1900 auf das Auer-Gasglühlicht als Strahlungsquelle zurückgriffen, um das Emissionsspektrum eines schwarzen Körpers genauer zu untersuchen. Der Physiker Heinrich Rubens, ein enger Freund von Planck, nutzte diese Strahlungsquelle, da ihr Spektrum besonders intensiv im Infraroten strahlte. Rubens konnte nachweisen, dass Plancks berühmte Strahlungsformel auch diesen Bereich des Spektrums richtig beschrieb [3] und bestätigte damit die Existenz von Lichtquanten der Energie  $h\nu$ . Das markiert den Beginn der Quantenphysik.

Es ist nicht verbrieft, wann genau Max Planck auf Carl Auer von Welsbach als Forscher aufmerksam wurde, spätestens aber wohl



Auer-von-Welsbach-Museum, Althofen

Abb. 1 Auer von Welsbach gründete 1892 mit dem Bankier Leopold Koppel die Auer-Gesellschaft in Berlin. Sie wurde am 15. März 1945 durch einen Bombenangriff zerstört.

mit der Entdeckung der Elemente Ytterbium und Lutetium im Jahr 1905. Um das Lutetium, welches noch eine wichtige Rolle für die frühe Quantenphysik spielen sollte, entspann sich ein langjähriger Prioritätenstreit mit dem französischen Chemiker Georges Urbain, der auch den Physikern nicht entgangen sein kann. Auer von Welsbach wurde so weltbekannt und im Laufe der Jahre zu einem gefragten Lieferanten von hochreinen Seltenerd-Verbindungen.

Die im Auer-von-Welsbach-Museum archivierten Versandlisten dokumentieren, dass Auer in großzügiger Weise über 500 Präparate von unschätzbarem Wert an sein Netzwerk von Chemikern und Physikern – vorwiegend in Europa – unentgeltlich zur Verfügung gestellt hat. Gewiss war Auer von Welsbach als Unternehmer dafür wohlhabend

genug, aber seine Großzügigkeit sollte nicht den Arbeitseinsatz in seinen Labors vergessen lassen: Jedes Präparat hat er in langwierigen Prozessen wie der erwähnten fraktionierten Kristallisation selbst hergestellt. Bis auf einen angelernten Labordiener hatte er dabei keine weitere Unterstützung und zählte so zu den letzten Privatforschern.

### ... und Wien

Nach seiner Zeit bei Robert Bunsen war Carl Auer von Welsbach Privatgelehrter im Institut des berühmten Chemikers Adolph Robert Lieben, der in Wien gut vernetzt war. Auer von Welsbach stand in sehr guter Verbindung zu den Experten für Spektralanalyse Josef M. Eder und Eduard Valenta in Wien, welche die von ihm erstellten (optischen) Spektren seiner Seltenerd-Elemente überprüften. Weiterhin pflegte er Kontakte zum „Vater der Physik“ in Österreich, Serafin Franz Exner, dem Leiter des II. Physikalischen Instituts der Universität Wien und späteren Vorsitzenden der österreichischen Radiumkommission. Exners Assistent war damals der Physiker Stefan Meyer, der insbesondere durch die Leitung des Instituts für Radiumforschung über Europa hinaus bekannt wurde. Mit Exner und Meyer intensivierte sich der Kontakt, als Meyer ab etwa 1900 begann, die magnetischen Eigenschaften der Präparate von

### FRAKTIONIERTE KRISTALLISATION

Mehrstoffgemische, die bei erhöhter Temperatur bis zur Sättigung gelöst sind, lassen sich in einzelne Bestandteile, beispielsweise in Oxide und Salze oder in einzelne Elemente des Stoffgemisches, trennen, indem diese erhitzte Lösung abgekühlt wird. Da die Komponenten dieses Stoffgemisches in der Regel eine unterschiedliche Löslichkeit abhängig von der Temperatur besitzen, kristallisieren diese Elementverbindungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus.

Durch geschickte Kombination von Kristallisation, Lösen und Eindampfen

wird das am schwersten lösliche Element immer mehr angereichert und damit aus dem ursprünglichen Stoffgemisch abgetrennt. In der Praxis erforderte diese **fraktionierte Kristallisation** mehrere hundert bis tausend Schritte und war zur sauberen Trennung eines Seltenerd-Elementgemisches ein äußerst zeitraubendes Verfahren. Auer von Welsbach „fraktionierte“ vorwiegend Ammoniumdoppelnitrate dieser Elemente. Heute ist dieses Verfahren durch modernere ersetzt worden, wie die Flüssig-Flüssig-Extraktion.

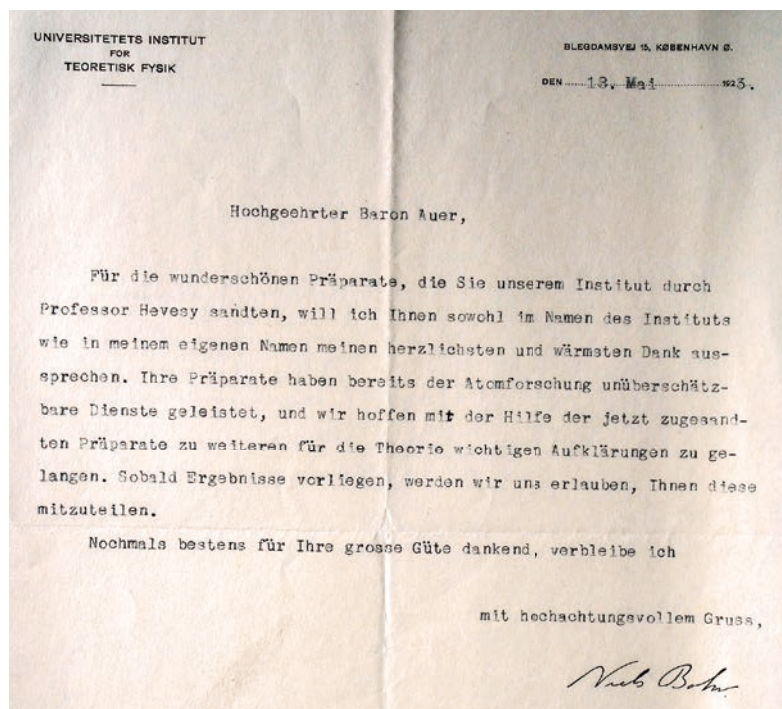
Auer von Welsbach zu bestimmen. Der Kontakt mit beiden vertiefte sich dann noch erheblich im Zuge der Gründung des Radiuminstituts im Jahr 1910, da die kaiserliche Akademie der Wissenschaften die Auer-Gesellschaft in Atzgerdorf (Wien) beauftragte, die Rückstände der Pechblendeverarbeitung aus Joachimsthal (heute Tschechien) aufzuarbeiten, um daraus Radium zu gewinnen. Österreich wurde damit zum größten Radiumproduzenten in Europa vor dem Ersten Weltkrieg und Auer von Welsbach einer der wichtigsten Korrespondenzpartner von Stefan Meyer [4].

Aus der Sicht der frühen Quantenphysik war es sehr vorteilhaft, dass Meyer die magnetischen Präparate aus Kärnten routinemäßig untersuchte. Die physikalische Erklärung des Magnetismus blieb allerdings noch bis Anfang der 1920er-Jahre in den Kinderschuhen stecken. Messtechnisch ließen sich mit einfachen Mitteln nur Dia-, Para- und Ferromagnetismus feststellen, nicht aber Ferri- oder Antiferromagnetismus. Der Erste Weltkrieg schränkte dann aber überall in Europa die Forschungsaktivitäten ein. Auch Carl Auer von Welsbachs Forschungen und seine Kontakte kamen zum großen Teil zum Erliegen. Das änderte sich erst langsam wieder ab 1920.

## Auf Umwegen zu Niels Bohr

Die Lanthanoiden rückten im Zuge der Entwicklung der Atomtheorie und Entdeckung weiterer Quantenzahlen nicht zuletzt durch Niels Bohr und Arnold Sommerfeld (Bohr-Sommerfeldsches Atommodell, 1916) in den Fokus der Physiker. Bohr versuchte, ein Periodensystem der Elemente aufzustellen, dass experimentell allen Nachprüfungen stand hielt. Bei der Nobelpreisträgertragung 1922 machte er folgende Vorhersagen:

■ Die Reihe der Seltenerd-Elemente muss in der 3. Gruppe und 6. Periode des Periodensystems mit dem Lutetium (Ordnungszahl 71) abgeschlossen sein, da alle möglichen Energieniveaus bei diesem



Auer-von-Welsbach-Museum, Althofen

**Abb. 2** Niels Bohr dankte im Mai 1923 Carl Auer von Welsbach brieflich für die zugesandten Proben.

Element ausgehend vom Lanthan (Ordnungszahl 57) sukzessive mit Elektronen besetzt sind.<sup>2)</sup>

■ Lutetium muss wegen der abgeschlossenen Elektronenschalen diamagnetisch sein.

■ Nach Lutetium muss ein Element mit der Ordnungszahl 72 existieren. Dieses müsste sich in Zirkon-Mineralien finden, weil es diesem chemisch ähnlicher wäre als dem Lutetium.

Dmitri Medelejew und Lothar Meyer hatten in ihrem Periodensystem der Elemente das Atomgewicht als Ordnungsprinzip gewählt. Bohr ging dagegen von der Ordnungszahl aus, die sich nach dem Rutherford-Bohrschen-Atommodell als Anzahl der Protonen herausstellen sollte. Dieses Ordnungsprinzip hatte den Vorteil, dass die Elemente in den Gruppen des Periodensystems aus chemischer Sicht ähnlicher waren als benachbarte Elemente in den Perioden dieses Systems, deren chemische Eigenschaften primär durch die Valenzelektronen bestimmt sind. Bei den Seltenerd-Elementen versagte aber diese Überlegung und Theorie, da sich bei diesen Elementen mit Ordnungszahlen 57 (Lanthan) bis 71 (Lutetium) die chemischen Eigenschaften kaum änderten, also offenbar alle die gleiche Anzahl von Elektronen in der äußeren fünften

und sechsten Elektronenschale besitzen.

Es war nun Bohrs mutige Überlegung, dass eine tiefer liegende Elektronenschale ( $n = 4$ ), die keinen Einfluss mehr auf die chemischen Eigenschaften hat, vorhanden sein muss, die sich sukzessive vom Lanthan bis Lutetium auffüllt. Der Theorie entsprechend ist die maximal mögliche Anzahl (32) mit dem Lutetium erreicht, und das gesuchte Element mit der Ordnungszahl 72 kann kein Seltenerd-Element sein. Deswegen sollte dieses noch nicht entdeckte Element in der 4. Gruppe (Titangruppe) des Periodensystems zu finden sein. Naheliegender war es nach damaliger Kenntnis, dass es homolog zum Zirkonium ist.<sup>3)</sup> Umso wichtiger war es für die weitere Forschung, dass sich anhand reiner Präparate die chemisch-physikalischen Eigenschaften von Lutetium bestimmen ließen.

Die Physiker und Chemiker in Kopenhagen versuchten mit Röntgenspektroskopie, die Struktur der Elemente wie Lutetium zu verstehen und die vermuteten Spektrallinien des Elements 72 zu finden.<sup>4)</sup> Zum Kreis der beteiligten Forscher gehörten insbesondere der ungarische Physiker und Chemiker Georg Hevesy und der niederländische Physiker Dirk Coster. Beide pflegten eine beson-

2) Wir wissen heute, dass es sich um die 14 noch fehlenden 4f-Elektronen handelt.

3) Diese Schlussfolgerung konnten Bohr, Hevesy und Coster ziehen, weil nach der von ihnen vertretenen Atomtheorie z. B. die vorletzte „Elektronenschale“ beim Hafnium und Zirkon identisch mit Elektronen besetzt ist und beide Elemente zwei Valenzelektronen haben.

4) So untersuchte z. B. auch der später bekannt gewordene japanische Kernphysiker Jōshio Nishina in Kopenhagen Präparate von Auer von Welsbach ([5], S. 46/47).

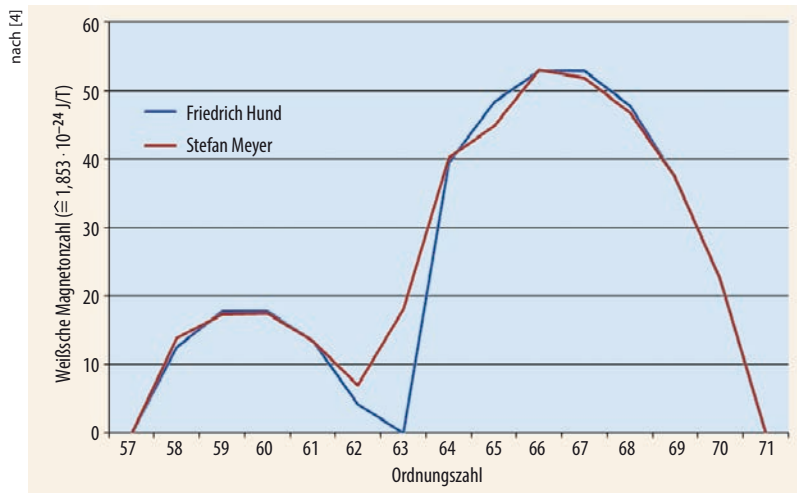


Abb. 3 Stefan Meyer erhielt durch Carl Auer von Welsbach hochreine Proben von Seltenerd-Elementen (Lanthan bis

Lutetium). Meyers gemessene Magnetisierungszahlen bestätigten Friedrich Hunds Theorie.

ders enge Zusammenarbeit mit Bohr und arbeiteten zeitweise in seinem Institut in Kopenhagen. George Hevesy, der unermüdlich an verschiedenen Orten in Europa tätig war (der „Reisende“), hielt sich mehrmals in Wien, unter anderem am Radiuminstitut als Gast auf. Dort ist er – wahrscheinlich durch Stefan Meyer oder Franz Exner – genauer über die Aktivitäten von Carl Auer von Welsbach auf dem Gebiet der Seltenen Erden informiert worden. Von dort aus sind Welsbachs Präparate offensichtlich nach Kopenhagen gelangt, wie ein ausführlicher Brief von Niels Bohr an ihn vom 5. Juli 1922 belegt. Bohr bat darin um weitere Präparate, unter anderem damit Dirk Coster seine röntgenspektroskopischen Untersuchungen fortsetzen konnte. Schließlich gelang es Coster und Hevesy, das Element 72 nachzuweisen [6], das den Namen Hafnium erhielt, den lateinischen Namen für Kopenhagen. Diese Entdeckung war ein Triumph und Höhepunkt der frühen Quantenphysik, von der die breite Öffentlichkeit durch Niels Bohrs Nobelpreis-Vortrag am 11. Dezember 1922 erfuhr.

Hevesy suchte weiter den engen Kontakt zu Auer von Welsbach. Galt es doch, das Element Hafnium, das sich stark mit dem Zirkonium vergesellschaftet und sich so „hartnäckig versteckt“ hatte, zu isolieren. Am 1. Mai 1923 besuchte er ihn für acht Tage in Kärnten auf seinem Schloss und Laboratorium

in Rastendorf bei Althofen. Mit Seltenerd-Präparaten und zehn Kilogramm Zirkon-Mineralien versehen, reiste Hevesy anschließend nach Kopenhagen. Carl Auer von Welsbach konnte auf große Mengen Zirkoniumverbindungen zugreifen, da Zirkoniumoxid bei der ersten Generation der Glühstrümpfe eingesetzt wurde.<sup>5)</sup>

Auer von Welsbach pflegte mit seinem Netzwerk infolge eines Gehörschadens vor allem intensiven Briefkontakt. So war er über alle neuen Forschungen und Erkenntnisse informiert, die uns heute ein lebendiges Bild seiner vielseitigen Aktivitäten und Kontakte vermitteln. Bohr bedankte sich bereits am 13. Mai 1923 (Abb. 2). Bald darauf, am 19. Mai, teilte Hevesy von Kopenhagen aus Auer von Welsbach schriftlich mit, welchen Hafnium-Gehalt er in den verschiedenen Zirkon-Mineralien (0,5 bis 6 Prozent) ermitteln konnte und bat um weitere Zusendung von Präparaten. In Kopenhagen waren er und Coster bemüht, das Hafnium aus den Zirkon-Mineralien zu isolieren und versuchten in ganz Europa, Mineralien dieser Art zu erhalten. Diese Bemühungen zogen sich hin, denn am 5. Januar 1924 schrieb Hevesy abermals an Auer von Welsbach und bat um detaillierte Auskunft über die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Lutetium und Zirkonium sowie deren Sulfate und Chloride. Die Anfrage endet mit der Feststellung: „Bitte nehmen

Sie es mir nicht übel, dass ich Sie mit so vielen Fragen plage. Ich tue es wirklich ungern. Sie sind aber der einzige Mensch auf dieser Welt, der die Fragen beantworten kann und es ist auch ein eminentes Interesse der Chemie.“

Schließlich gelang es Hevesy, das Element Hafnium darzustellen, d. h. das Hafnium vom Zirkonium zu trennen, in den ersten Versuchen durch fraktionierte Kristallisation des Ammoniumzirkoniumhexafluorids (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub>. Hevesy erwähnt in seiner dazugehörigen Publikation: „Die Ausführung der fraktionierten Kristallisation erfolgt in der bekannten von Auer von Welsbach angegebenen Weise, der diese Methode zur Trennung der Seltenen Erden eingeführt hat“ ([7], S. 4 f.).

### Magnetische Präparate

Experimentelle wie theoretische Physik entwickelten sich nach dem Ersten Weltkrieg stürmisch. Das Bohrsche Atommodell konnte eine Vielzahl von Beobachtungen nicht mehr erklären und bedurfte einer Weiterentwicklung, vorangetrieben von einer neuen Generation von Physikern wie Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli und anderen. So gelang es nachzuweisen, dass das Elektron einen halbzahligen Spin besitzen muss und damit auch ein magnetisches Moment [8]. Die Unschärferelation und das Pauli-Prinzip für Fermionen waren Meilensteine dieser neuen Entwicklung, die in die moderne Quantenmechanik mündete.

Nun ließ sich auch der Magnetismus der Elemente besser verstehen. Die konsequente Bestimmung der magnetischen Eigenschaften, insbesondere der Seltenerd-Elemente, also der Präparate von Auer von Welsbach, durch Stefan Meyer hatte sich gelohnt. Es mag Zufall sein, dass sich zu dieser Zeit wieder ein Schriftwechsel zwischen Stefan Meyer und Auer von Welsbach entwickelte, der leider nicht mehr zur Gänze vorhanden ist. Möglicherweise bat Auer von Welsbach abermals um Vermessung speziell seiner

5) Patentschrift Nr. 39162, Klasse 26 (Deutsches Reich), eingereicht am 23. September 1885

6) S. Meyer an C. Auer von Welsbach, 16. Juni 1922, Archiv Auer-von-Welsbach-Museum, Ordner: Briefwechsel; Standort: Auer-von-Welsbach-Museum, Althofen (Kärnten)

7) Datenmaterial gleicher Qualität lieferte nur der spanische Physiker Blas Cabrera, der ebenfalls zu dem kleinen Kreis der Spezialisten auf diesem Gebiet zählte. Auch er erhielt für seine Messungen Präparate der Seltenen Erden von Auer von Welsbach.

Lutetium-Präparate. Mit Datum von 29. Februar 1924 traf folgender Brief von Meyer in Kärnten ein: „Wie ich Ihnen bereits schrieb, ist Ihr reines  $\text{Cp}_2(\text{SO}_4) \times 8 \text{H}_2\text{O}$  diamagnetisch, was von hohem Interesse ist. Ebenso ist  $\text{HfO}_2$  diamagnetisch.“

Am 3. März 1924 antwortete Auer von Welsbach: „Es wird Bohr sehr freuen, dass sich seine Voraussage über den Diamagnetismus des [Casiopeium] bestätigt hat.“ Umfassend publizierte Meyer seine Messergebnisse erst 1925 [9]. Er wies in dieser Publikation einleitend darauf hin: „Seit der Entdeckung der ungewöhnlichen magnetischen Eigenschaften (1899) der Seltenen Erden habe ich durch die Freundlichkeit C. Auer-Welsbachs immer wieder Gelegenheit gehabt, deren Magnetisierungszahlen zu messen und habe darüber wiederholt berichtet.“

Die magnetischen Eigenschaften der Seltenen Erden waren in den Mittelpunkt des Interesses der Physiker gelangt, und der noch vorhandene Briefwechsel ist ein Beleg dafür, dass Carl Auer von Welsbach über die Bohrsche Atommodellvorstellung informiert war und sie weiter verfolgt hat. So war er, wie auch andere Briefwechsel bezeugen, die noch vereinzelt die Wirren der Zeit überstanden haben, auch mit Ernest Rutherford, Francis W. Aston, Manne Siegbahn und Frederick Soddy, die an der Entwicklung der Atom- und Kernphysik (wie z. B. der Isotopie) interessiert waren, in Kontakt. Als großzügiger Unterstützer förderte er diese Entwicklung. Direkt profitierte die Technische Universität in Wien. Als Dank schenkte der Physiker und „Röntgenspezialist“ Manne Siegbahn für erhaltene Präparate auf Veranlassung von Auer von Welsbach dieser einen Röntgenspektral-Apparat.<sup>6)</sup>

Auch im Zentrum der theoretischen Physik in den 1920er-Jahren, nämlich Göttingen, setzten sich die Physiker intensiv mit dem Phänomen des Magnetismus auseinander. So gelang es Friedrich Hund, einem Freund von Werner Heisenberg, 1925 eine theoretische Erklärung für das unterschiedliche magnetische Verhalten der Seltenen Erden zu finden, bekannt als Hund-

sche Regel (Abb. 3) [10]. Das experimentelle Datenmaterial stammte von Stefan Meyer aus Wien.<sup>7)</sup> Der Physiker John H. van Vleck beurteilte Hunds Theorie in seinem Nobelpreisvortrag 1977 als „crowning achievement of empiricism of the old quantum theory“ [11].

Ohne die hochreinen Präparate aus den Laboratorien des Chemikers und Mentors Carl Auer von Welsbach hätten sich die wissenschaftlichen Erkenntnisse in der Quantenphysik bzw. -mechanik erst um viele Jahre später gewinnen lassen. Die unkomplizierte Zusammenarbeit eines Chemikers mit Physikern war die Voraussetzung für die richtige Einordnung der Seltenen Erden in das Periodensystem und die Einsichten in das magnetische Verhalten dieser Elemente, die heute eine so wichtige Rolle in unserem Alltag spielen.

#### Literatur

- [1] R. Adunka, Carl Auer von Welsbach, Verlag des Kärntner Landesarchivs, Klagenfurt (2015)
- [2] E. Crawford, J. L. Heilbronn und R. Ulrich, The Nobel Population 1901 – 1937, Office for History of Science, Berkeley (1987), S. 233
- [3] H. Rubens, Annalen der Physik **323**, 725 (1905); ders., Verhandlungen DPG 7, 349 (1905)
- [4] G. Löffler, Carl Auer von Welsbach und sein Beitrag zur frühen Radioaktivitätsforschung und Quantentheorie, Dissertation Universität Klagenfurt (2015)
- [5] H. Rose, Das Hafnium, Vieweg, Braunschweig (1926)
- [6] D. Coster und G. Hevesy, Nature **III**, 79 (1923)
- [7] G. v. Hevesy, Das Hafnium, Springer, Berlin (1927)
- [8] G. E. Uhlenbeck und S. Goudsmit, Naturwissenschaften **13** (1925), 953 f.
- [9] S. Meyer, Physikal. Z. **26**, 53 (1925)
- [10] F. Hund, Z. für Physik **33**, 857 (1925)
- [11] [www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1977/vleck-lecture.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1977/vleck-lecture.html)

#### DER AUTOR

**Gerd Löffler** (geb. 1939) ist Physiker und war Inhaber eines Ingenieurbüros für Hard- und Softwareentwicklung. Nach der Pensionierung studierte er Geschichte an der Universität Klagenfurt, wo er mit einer Arbeit über Carl Auer von Welsbach 2014 promovierte.

