

# Henri Moissan: Chemie-Nobelpreisträger 1906

Alain Tressaud\*

## Stichwörter:

Elektrochemie · Fluor · Hochtemperaturchemie · Wissenschaftsgeschichte

Am 10. Dezember 1906 wurde Henri Moissan (1852–1907; Abbildung 1) als erster französischer Chemiker mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Bei der Preisverleihung in Stockholm würdigte der Präsident der Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften, P. Klason, die beiden wichtigsten Errungenschaften dieses großen Wissenschaftlers, nämlich „die Untersuchung und Isolierung des Elements Fluor und die Einführung des nach ihm benannten elektrischen Ofens in den Dienst der Wissenschaft – beides Erfolge, die neue Felder für die wissenschaftliche Forschung und für industrielle Aktivitäten erschlossen haben.“<sup>[1]</sup> Moissan hatte zwanzig Jahre zuvor in einem historischen Experiment elementares Fluor isoliert, und er gilt als der Wegbereiter der Hochtemperatursynthese.

## In jungen Jahren

Henri Moissan wurde 1852 in Paris geboren und verbrachte einen großen Teil seiner Jugend in Meaux, wo er eine Uhrmacherlehre begann. Der Krieg gegen Preußen zwang seine Familie 1870 zur Rückkehr nach Paris. Er diente ein Jahr in der Armee und meldete sich dann an der Ecole Supérieure de Pharmacie de Paris an. Moissan schwankte viele Jahre zwischen seinen beiden Vorlieben, der Pharmazie und der Experimentalchemie. 1872 schrieb er sich



Abbildung 1. Henri Moissan (1852–1907).

zunächst an der Ecole de Chimie Experimentale am Naturhistorischen Museum in Paris ein, dem Edmond Frémy vorstand. Er untersuchte dort in der Gruppe von P. P. Dehérain die Physiologie von Pflanzen und deren Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe im Dunkeln. 1879 wurde er zum leitenden Chemiker ernannt. Einen Eindruck von seinen Forschungen zur Chemie von pyrophorem Eisen und Metalloxiden der Eisengruppe vermittelt seine Doktorarbeit aus dem Jahr 1880. In diesem Jahr stieg er an der Ecole Supérieure de Pharmacie de Paris zum Maître de Conférences und zum Chef de Travaux Pratiques auf, bevor er 1882 für seine Abhandlung „Série du Cyanogène“ („Die Cyanogen-Reihe“) zum Professeur Agrégé bestellt wurde.<sup>[2,3]</sup>

Erst ab 1884 konzentrierte sich Moissan ganz auf die Isolierung von elementarem Fluor. Dieses gasförmige

Halogen war Anfang des 19. Jahrhunderts durch A. M. Ampère in Frankreich und H. Davy in England postuliert worden (siehe Kasten),<sup>[4–7]</sup> konnte aber seiner hohen Reaktivität wegen nicht isoliert werden.

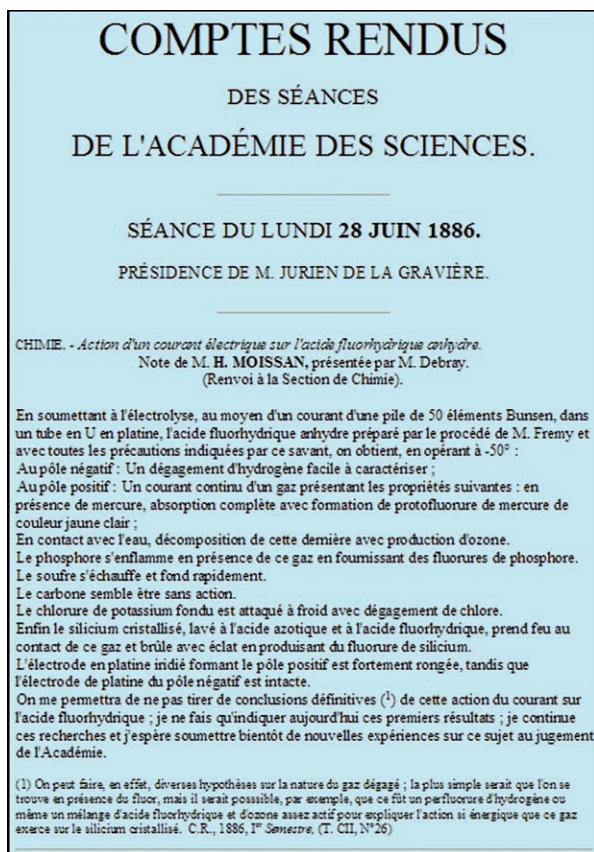
## 1886 – ein großes Jahr für das Fluor

Generationen von Chemikern hatten vergeblich versucht, Fluor zu isolieren, vorrangig durch Elektrolyse von Phosphor- oder Arsenfluoriden, doch es war Moissan vorbehalten, schließlich einen Weg zu finden. Seine geniale Idee bestand darin, das Elektrolysebad durch den Zusatz des geschmolzenen Kaliumfluoridsalzes  $\text{KHF}_2$  leitfähig zu machen (reiner Fluorwasserstoff (HF) leitet elektrischen Strom nicht gut genug). Moissan entwickelte eine Apparatur aus Platin, in der er die  $\text{HF/KHF}_2$ -Lösung bei niedriger Temperatur elektrolysierte, um die Korrosion einzudämmen. Der U-förmige Platinelektrolyseapparat wurde mit Stopfen aus Fluorit ( $\text{CaF}_2$ ) verschlossen (Abbildung 2). Kathode und Anode bestanden aus poliertem Platin, das besonders beständig gegen Fluor sein sollte. In Spuren austretender Fluorwasserstoff wurde am Ende der Apparatur bei tiefer Temperatur kondensiert oder mit Natriumfluorid aufgefangen. Am 28. Juni 1886 identifizierte Moissan ein gasförmiges Produkt an der Anode der Elektrolysezelle – damit war elementares Fluor ( $\text{F}_2$ ) isoliert und eine der schwierigsten Aufgaben der anorganischen Chemie bewältigt (Abbildung 3).<sup>[8]</sup> Das hoch giftige gelbgrüne Gas erwies sich als ein sehr starkes Oxidationsmittel, das organische Materialien bei Kontakt entflammte und sich direkt – oft auch unter heftiger Reaktion

[\*] Dr. A. Tressaud  
Institut de Chimie de la Matière  
Condensée de Bordeaux (ICMCB-CNRS)  
Université Bordeaux 1  
87 Avenue Dr. A. Schweitzer  
33608 Pessac Cedex (Frankreich)  
Fax: (+33) 5-4000-2761  
E-Mail: tressaud@icmcb-bordeaux.cnrs.fr



**Abbildung 2.** Moissans Nobelpreisurkunde und die Elektrolysezelle, in der er elementares Fluor erzeugte (mit freundlicher Genehmigung des Moissan-Museums, Faculté de Pharmacie, Université Paris 5 – René Descartes; Photo: A. Tressaud).



**Abbildung 3.** Moissans erster Bericht über die Isolierung von Fluor.<sup>[8a]</sup>

– mit fast allen anderen Elementen verband.<sup>[9–11]</sup>

## Der große Wissenschaftler

Einige Monate nach der Isolierung des Fluors wurde Moissan zum Profes-

sor für Toxikologie an der Ecole Supérieure de Pharmacie ernannt. Dieses Fach war gewiss nicht seine Paradedisziplin, und dennoch sollte er es 13 Jahre lang lehren. In dieser Zeit stellte er eine Prüfliste für Expertengutachten auf, wie sie bei der Untersuchung von Epidemien gefordert sind. Seine Studien führten

ihn unter anderem in Felder wie Berufshygiene, Fabrikluftanalyse, Stadtreinigung und Ernährungsverhalten. Für seine neue Lehre der Toxikologie wurde er 1888 mit einem Sitz in der Académie de Médecine geehrt. Doch auch als Professor für Toxikologie versiegt Moissans Begeisterung für die anorganische Chemie nicht. Seine Forschungen auf diesem Gebiet etablierten ihn bald in Frankreich und brachten ihm internationale Anerkennung ein. Im Jahre 1891 wurde er in die Académie des Sciences aufgenommen, und im Juli 1900 folgte der Ruf auf eine Professur für anorganische Chemie an der Faculté des Sciences der Université de Paris. Bis 1890 befasste er sich in seinen Forschungen, die er zusammen mit seinen Studenten Lebeau, Meslans und Poulen<sup>[12–14]</sup> und so berühmten Kollegen wie Becquerel oder Berthelot betrieb, gänzlich mit den Eigenschaften des Fluors und seiner Derivate. Der ausgezeichnete Lehrer Moissan verfasste außerdem eine Vielzahl von Büchern zu den wichtigsten Themen der anorganischen Chemie jener Zeit.<sup>[15]</sup>

Später feierte Moissan dann große Erfolge auf dem Gebiet der anorganischen Synthese. Er erhielt reines Bor sowie eine stattliche Zahl von Boriden. Nach 1890 verfolgte er ein noch höheres Ziel als die Isolierung von Fluor: die Herstellung künstlicher Diamanten.<sup>[16a]</sup> Die extrem hohen Temperaturen für die Umwandlung von Kohlenstoff in Diamant sollte ein von ihm entworfener elektrischer Ofen liefern, in dem zwischen zwei Kalksteinblöcken ein Lichtbogen erzeugt wurde (Abbildung 4). In einem Bericht aus dem Jahr 1892<sup>[16b]</sup> erklärte er, wie mit diesem Ofen Temperaturen von 3000–3500 °C erreicht werden könnten, die zu jener Zeit wahrhaft außergewöhnlich waren. Er erhitzte ein Gemisch aus Eisen und Zuckerkohle auf 3000 °C und schreckte es mit kaltem Wasser ab. Dadurch wurde im Festkörperinneren ein hoher Druck erzeugt, und tatsächlich fand Moissan in den Rückständen wenige Milligramm mikroskopischer Kristalle unterschiedlicher Diamantsorten.

Zwar blieb Moissan der große Erfolg letztlich verwehrt, zumal seine Methoden von Le Chatelier und Parsons angefochten wurden. Doch seine visionären Ideen bereiteten den Weg für

## Die Suche nach dem fehlenden Halogen im 19. Jahrhundert: von A.-M. Ampère und H. Davy bis zu E. Frémy

Als die Entdeckung von Natrium und Kalium durch den englischen Chemiker Humphrey Davy (1778–1829) im Jahre 1809 in Frankreich die Runde machte, kam André-Marie Ampère (1775–1836) die Idee, dass auch Chlor und Fluor chemische Elemente sein könnten; er veröffentlichte diese Hypothese aber nicht. Aus der erstaunlichen Analogie zwischen Muriatischer Säure (Salzsäure) und Fluorsäure (Fluorwasserstoffsäure) und mit dem sicheren Nachweis, dass Fluorwasserstoffsäure keinen Sauerstoff enthielt, schloss er, dass ein Element vorliegen müsse (das zunächst *oxy-fluoric*, später dann *fluorine* genannt wurde). Während zwischen England und Frankreich der Krieg tobte, äußerte Ampère gegenüber Davy am 1. November 1810 im Zuge eines Briefwechsels sogar, dass es möglich sein könnte, elementares Fluor durch Elektrolyse von wasserfreier Fluorwasserstoffsäure zu erhalten.<sup>[4]</sup> „Wenn wir das meiste Wasser entfernt haben, wird es sich zeigen, ob die Elektrizität die Fluorwasserstoffsäure zersetzen und den Wasserstoff zu einer und das Fluor zur anderen Seite bringen wird.“ Davy antwortete im Februar 1811, widersprach aber Ampère und vermutete, dass auch Sauerstoff vorhanden sei. Davy wollte sich zu diesem Zeitpunkt nicht darauf festlegen, dass Fluor ein Element ist: „Nach den Anschauungen, die ich entwickelt habe, sind weder Wasserstoff noch Chlor oder Fluor mit Sicherheit Elemente.“ Dennoch ließ es Ampère zu, dass Davy, der nach dreijähriger Korrespondenz von den Anschauungen des Franzosen überzeugt war, den Ruhm einstrich und 1813 die Entdeckung eines neuen Elements verkündete.<sup>[5]</sup> In einer autobiographischen Notiz schreibt sich Ampère – in der dritten Person sprechend – jedoch das Vorrecht seiner Entdeckung zu. Dies wurde von Davy in vollem Umfang anerkannt: „Während ich diese Untersuchungen ausführte, erhielt ich zwei Briefe von Herrn Ampère aus Paris, in denen er viele geistreiche und eigene Argumente für eine Analogie zwischen den Muriatischen Verbindungen und den Fluorverbindungen hervorbrachte. Herr Ampère teilte seine Ansichten offen mit; sie gründeten auf meinen Ideen zum Chlor, und sie wurden durch Schlüsse aus Experimenten der Herren Gay-Lussac und Thénard gestützt.“

Die Isolierung dieses neuen Elements beschäftigte viele Forscher über weite Strecken des 19. Jahrhunderts. Ein erster Schritt war die Herstellung reiner, wasserfreier Fluorwasserstoffsäure durch L. J. Thénard (1777–1857) und L. J. Gay-Lussac (1778–1850). Ihr Produkt rauchte stark an der Luft, löste Glas schnell auf und verursachte bei Hautkontakt unangenehme Verbrennungen – wie die Autoren ausführlich beschrieben. Später charakterisierte J. J. Berzelius (1779–1848) dann Ammoniumfluorid. Andere Forscher waren bei der Isolierung des Elements weniger erfolgreich, mussten dafür aber schmerzlich seine Giftwirkung erfahren: G. und T. Knox erlitten schwere Vergiftungen, der belgische Chemiker P. Louyet bezahlte gar mit seinem Leben. Zur gleichen Zeit, um 1860, beschrieb J. C. Marignac (1817–1894) detailliert die Synthese und Kristallmorphologie einiger wasserfreier oder hydratisierter Fluorsalze, z. B. Fluorotitanate oder Fluorozirconate, und die meisten seiner Folgerungen besitzen heute noch Gültigkeit.<sup>[6]</sup> Viele weitere anorganische Fluoride wurden durch H. Sainte-Claire Deville (1818–1881) und E. Frémy (1814–1894) charakterisiert. Dagegen erschien es nach zahlreichen Versuchen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts nahezu unmöglich, elementares Fluor zu synthetisieren.

Ein wichtiger Schritt gelang Frémy, Moissans erstem Lehrer, mit der Herstellung von reinem, wasserfreiem HF und  $\text{KHF}_2$ , dem Frémy-Salz, das seinerzeit als „KFl·HFl“ formuliert wurde.<sup>[7]</sup> Frémy war der Lösung sehr nahe, als er wasserfreies HF, geschmolzenes Calciumfluorid und Kaliumfluorid elektrolysierte, aber er setzte anstelle dieser Verbindungen niemals  $\text{KHF}_2$  ein. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass der hohe Schmelzpunkt der Verbindung (293 °C) zu unüberwindbaren technischen Problemen geführt hätte.

die Hochdruckexperimente, die fünfzig Jahre später zur industriellen Synthese von künstlichen Diamanten durch General Electric führen sollten. Weltweit werden heute schätzungsweise 450–500 Millionen Karat synthetischer Diamanten pro Jahr hergestellt.<sup>[17]</sup>

Collongues bezeichnete Moissan als den Begründer der Hochtemperaturchemie,<sup>[18]</sup> der durch den technologischen Fortschritt des elektrischen Ofens eine neue Ära der Chemiegeschichte einläutete. Zu den Errungenschaften Moissans zählen:

- die Kristallisation vieler als unschmelzbar geltender Oxide,
- die Herstellung hochschmelzender Metalle durch Reduktion ihrer Oxide in Gegenwart von Kohlenstoff,
- die Synthese einer Vielzahl von Metallcarbiden wie Calciumcarbid, die zur Entdeckung von Acetylen, aber auch zu neuen Boriden, Nitriden und Siliciden führte,
- die Herstellung von reinem Calcium durch Reduktion von Calciumiodid mit einem Überschuss an Natrium, die Entwicklung von Metallhydraten und vieles mehr.

Der Nobelpreis krönte die Karriere des großen Wissenschaftlers Moissan, dem darüber hinaus eine eindrucksvolle Reihe von Titeln und Ehrungen zuteil wurde, etwa die Aufnahme in die wissenschaftlichen Akademien Frankreichs und einiger anderer Länder, Ehrenpromotionen und weitere prestigeträchtige Auszeichnungen. Bei aller Hingabe an seine Arbeit kamen bei Moissan auch andere Liebhabereien nicht zu kurz. Zwar interessierten ihn Musik und Theater kaum, doch er bewunderte die Arbeiten Jean-Baptiste Corots, und er besaß einige herausragende Gemälde des Malers, die er zur Entspannung betrachtete. Sein Interesse erstreckte sich auch auf Bilder zeitgenössischer Künstler und auf alte Stiche; außerdem verfügte er über eine ausgesuchte Sammlung von Autographen zur Französischen Revolution.<sup>[19]</sup>

Moissan starb am 20. Februar 1907 im Alter von 54 Jahren an akuter Blinddarmentzündung – gerade einmal zwei Monate, nachdem er den Nobelpreis erhalten hatte. Das Fluor, seine hochgiftigen gasförmigen Derivate und





**Abbildung 4.** Moissan und sein elektrischer Ofen an der Faculté des Sciences der Université de Paris.

das Kohlenmonoxid aus seinem elektrischen Ofen hatten seinen Gesundheitszustand so sehr geschwächt, dass er der Infektion nichts entgegensetzen hatte.

### Henri Moissans Erbe

Moissan gilt als Wegbereiter in seinen Forschungsgebieten, und viele neue Technologien und wichtige Entdeckungen sind noch direkt auf seine Arbeiten zurückzuführen. Im Jahr 1986 wurde der Moissan Prize ins Leben gerufen, der wegweisende Forschungen auf dem Gebiet der Fluorchemie belohnt.<sup>[20]</sup>

Der elektrische Ofen ermöglichte große Fortschritte in der Elektrometallurgie, bei aluminothermischen Verfahren und der industriellen Acetylen- und Calciumcyanamid-Produktion. Auch die Herstellung kristalliner Oxide, die industrielle Produktion von Keramiken sowie Feuerungsverfahren haben seinen Ideen viel zu verdanken. Moissan sah die wichtige Rolle voraus, die Carbide heute in vielen Bereichen der chemischen Industrie spielen.<sup>[21]</sup>

Fluor wird auch heute noch nach dem Prinzip von Moissan elektrochemisch synthetisiert.<sup>[22,23]</sup> Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete des Prozesses ist die Umwandlung von Urantetrafluorid in Uranhexafluorid bei der Gewinnung von Kernenergie.<sup>[24]</sup> Mehr als 600 000 bekannte Verbindungen enthalten mindestens ein Fluor-

atom, und die Chemie des Fluors und fluorhaltiger Produkte hat viele Gebiete beflügelt, etwa die organische Chemie,<sup>[25]</sup> Materialwissenschaften,<sup>[26]</sup> Polymere,<sup>[27]</sup> Wirkstoffe und medizinische Anwendungen.<sup>[28]</sup> Als Beispiele sollen einige herausragende Entdeckungen des 20. Jahrhunderts dienen:

- Organische und/oder anorganische Fluorverbindungen finden Anwendung in der Energiewandlung (etwa in Lithiumionen-Batterien, Brennstoffzellen oder in der Kernenergie).<sup>[24,29]</sup>
- Fluorierte Polymere wie das bemerkenswert beständige Teflon wurden eingesetzt zum Verpacken reaktiver Verbindungen, als Beschichtungen für Kochgeschirr, als Materialien für Herz- und Gefäßimplantate und als Membranen für Brennstoffzellen.<sup>[27]</sup>
- Fluor und gasförmige Fluorverbindungen entfernen bei der Produktion von Siliciumkomponenten für die Mikroelektronik alle Verunreinigungen von der Halbleiteroberfläche, sodass unsere Computer effizient arbeiten können.
- Fluorierte Tenside dienen zur Behandlung von Fasern, Teppichen und Leder sowie als brandhemmende Materialien.
- Das Beschichten mit fluorierten Verbindungen schützt Oberflächen vor Graffiti oder verleiht ihnen UV-Absorptionseigenschaften. Mithilfe von fluorierten Polymeren können

Kulturschätze konserviert werden, bei Steinobjekten durch Injektion, bei Metallstrukturen durch Aufbringen eines Überzugs (wie beim Metallgerüst der Louvre-Pyramide und den Metallstützen des Grande Arche im Pariser Vorort La Défense geschehen).

- Unter den fluorierten Verbindungen sind Antikrebswirkstoffe, Entzündungshemmer, Antibiotika, Neuroleptika und Antihypertensiva; Perfluorkohlenstoffe könnten auch in Glaskörper- und Netzhaut-Operationen und als Blutersatz bei Notfalltransfusionen zum Einsatz kommen.<sup>[28]</sup>
- Einige Verbindungen mit einem oder mehreren Fluoratomen sind effiziente Herbizide, Fungizide oder Insektizide.
- <sup>18</sup>F-Positronenemissionstomographie und <sup>19</sup>F-NMR-Spektroskopie helfen in der medizinischen Bildgebung bei der Früherkennung von Tumoren und der Diagnose von Hirnerkrankungen (z. B. der Alzheimer-Krankheit).

Die Umweltgefahren durch fluorierte Verbindungen dürfen aber nicht unterschätzt werden,<sup>[30]</sup> und Hersteller und Anwender von Fluor oder Fluoriden müssen sich dieser Probleme bewusst sein. In diesen Themenkreis fallen auch die Überwachung fluorierter Agrochemikalien, die Entwicklung von Ersatzverbindungen für die Fluorchlor-kohlenwasserstoffe (FCKWs), die zum Abbau der Ozonschicht beitragen, und die Defluoridierung von Trinkwasser, falls ein Fluorose-Risiko für den Menschen besteht.<sup>[31]</sup>

Die Isolierung von elementarem Fluor durch Henri Moissan liegt schon über ein Jahrhundert zurück, doch die Erfolgsgeschichte dieses Elements hat gerade erst begonnen – so scheint es zumindest, wenn man nach den Entwicklungen und Perspektiven urteilt, die es in so vielen Wissenschaftsgebieten eröffnet hat.<sup>[32]</sup>

Online veröffentlicht am 7. September 2006

Übersetzt von Dr. Volker Jacob, Mannheim

[1] *Nobel Lectures, Chemistry 1901–1921*, Elsevier, Amsterdam, 1966.

- [2] „Vie et Œuvre de H. Moissan“: C. Viel, J. Flahaut, *J. Fluorine Chem.* **1986**, 33, 27–44, Vortrag beim *International Symposium on the Centenary of the Discovery of Fluorine*, Paris, **1986**.
- [3] „Aspects historiques de l'isolement du fluor. Travaux d'Henri Moissan et de ses collaborateurs directs jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle“, C. Viel in der Sonderausgabe von *Actualité Chimique*, Société Française de Chimie, **2006**.
- [4] „Reste à savoir si l'électricité ne décomposerait pas l'acide hydro-fluorique sous sa forme liquide, lorsqu'on en aurait écarté l'eau le plus possible, en portant l'hydrogène d'un côté et l'oxy-fluorique de l'autre.“ Aus „Correspondance du Grand Ampère“, Gauthiers-Villars, Paris, **1936**. Diese Quelle enthält den Briefwechsel der beiden Wissenschaftler zwischen 1810 und 1825.
- [5] H. Davy, *Philos. Trans. R. Soc. London* **1812**, 102, 352; H. Davy, *Philos. Trans. R. Soc. London* **1813**, 103, 263; H. Davy, *Philos. Trans. R. Soc. London* **1814**, 104, 62.
- [6] J.-C. Galissard de Marignac, *Œuvres Complètes*, Tomes 1&2 (**1840–1887**), Société de Physique de Genève, Masson, Paris, **1890**; A. De Cian, J. Fisher, *Acta Crystallogr.* **1967**, 22, 338; J. Fisher, G. Keib, R. Weiss, *Acta Crystallogr.* **1967**, 22, 340; W. Massa, *Z. Anorg. Allg. Chem.* **1977**, 436, 29.
- [7] E. Frémy, *Ann. Chim. Phys.* **1856**, 47, 5–50.
- [8] a) H. Moissan, *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci.* **1886**, 102, 1543–1544; b) H. Moissan, *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci.* **1886**, 103, 202–205; c) H. Moissan, *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci.* **1886**, 103, 256–258.
- [9] E. Banks, *J. Fluorine Chem.* **1986**, 33, 3–26; siehe auch: *Fluorine Chemistry at the Millennium: Fascinated by Fluorine* (Hrsg.: R. E. Banks), Elsevier, Dordrecht, **2000** (teilweise in *J. Fluorine Chem.* **1999**, 100).
- [10] H. Moissan, *Das Fluor und seine Verbindungen*, Krayn, Berlin, **1900**.
- [11] P. Lebeau, *Bull. Soc. Chim. Fr.* **1908**, 4, 3–4; der Text wurde auch abgedruckt in „Hommage à Henri Moissan“: *Chimie et Industrie*, Paris, **1932**.
- [12] Beispiele für Berichte über Fluor und Fluoride: „Recherches sur l'isolement du fluor“: H. Moissan, *Ann. Chim. Phys.* **1887**, 12, 472; „Nouvelles recherches sur le fluor“: H. Moissan, *Ann. Chim. Phys.* **1891**, 24, 224; „Fluorure double de chrome et potassium“: H. Moissan, *Ann. Chim. Phys.* **1894**, 2, 66; „Le bifluorure de platine anhydre“: H. Moissan, *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci.* **1889**, 109, 807.
- [13] C. Poulenc, *Ann. Chim. Phys.* **1894**, 2, 5.
- [14] H. Becquerel, H. Moissan, *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci.* **1890**, 111, 669–672.
- [15] H. Moissan, *Le Fluor et ses Composés*, Steinhel, Paris, **1900**; H. Moissan, *Le four électrique*, Steinhel, Paris, **1897**; H. Moissan, *Traité de Chimie Minérale*, Masson, Paris, **1904–1906**.
- [16] a) O. Krätz, *Angew. Chem.* **2001**, 113, 4739–4745; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001**, 40, 4604–4610; b) H. Moissan, *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci.* **1892**, 115, 1031–1033.
- [17] The Canadian Encyclopedia, **2006**, <http://www.thecanadianencyclopedia.com>; Suchbegriff „Diamonds“.
- [18] R. Collongues, F. Galtier, *Pour la Science* **1996**, 230, 46–52.
- [19] Bei der Auflösung seiner Sammlung wurden in Drouot am 14. Oktober 1921 mehr als 6000 Objekte und Manuskripte versteigert.
- [20] Im Anschluss an ein internationales Gedenksymposium zur Isolierung des Fluors riefen die beiden Vorsitzenden P. Hagenmüller und P. Plurien 1986 den Moissan Prize ins Leben; die Auszeichnung wird seitdem auf dem regelmäßig stattfindenden International Symposium on Fluorine Chemistry für Errungenschaften in der Fluorchemie verliehen: 1988 an G. Cady (Seattle) und N. Bartlett (Berkeley), 1991 an H. J. Emeléus (Cambridge, Großbritannien), 1994 an R. N. Haszeldine (UMIST Manchester), 1997 an P. Hagenmüller (Bordeaux), 2000 an K. O. Christe (USC Los Angeles), 2003 an R. Chambers (Durham) und 2006 an D. D. DesMarteau (Clemson). Die Fluorine Division der American Chemical Society vergibt außerdem regelmäßig Moissan-Stipendien an Studenten.
- [21] W. Krenkel, R. Naslain, H. Schneider, *High Temperature Ceramic Matrix Composites*, Wiley, New York, **2001**.
- [22] M. Jaccard, F. Nicolas, *Techniques de l'Ingénieur* **1990**, J6020–J1453.
- [23] D. Pletcher, *Industrial Electrochemistry*, Chapman and Hall, London, **1982**, Kap. 5.
- [24] „Synthèse électrochimique du fluor de 1886 à 2006: le fluor, élément clef pour l'énergie nucléaire“: H. Groult, F. Lantelme, C. Belhomme, B. Morel, F. Nicolas, J. P. Caire im Sonderheft von *Actualité Chimique*, Société Française de Chimie, **2006**.
- [25] K. Uneyama, *Organofluorine Chemistry*, Blackwell, Malden, **2006**; R. Chambers, *Fluorine in Organic Chemistry*, Blackwell, Malden, **2004**; *Handbook of Fluorine Chemistry* (Hrsg.: J. A. Gladysz, D. P. Curran, I. T. Horvath), Wiley, New York, **2004**; P. Kirsch, *Modern Organofluorine Chemistry—Synthesis and Applications*, Wiley-VCH, Weinheim, **2004**; R. E. Banks, B. E. Smart, J. C. Tatlow, *Organofluorine Chemistry: Principles and Commercial Applications*, Kluwer/Plenum, New York, **1994**; G. A. Olah, G. K. S. Prakash, R. D. Chambers, *Synthetic Fluorine Chemistry*, Wiley, New York, **1992**.
- [26] *Advanced Inorganic Fluorides: Synthesis, Characterization and Applications* (Hrsg.: T. Nakajima, B. Zemva, A. Tressaud), Elsevier, Dordrecht, **2000**; N. Watanabe, T. Nakajima, H. Touhara, *Graphite Fluorides*, Elsevier, Dordrecht, **1988**; *Inorganic Solid Fluorides: Chemistry and Physics* (Hrsg.: P. Hagenmüller), Academic Press, New York, **1985**.
- [27] B. Ameduri, B. Boutevin, *Well-Architected Fluoropolymers*, Elsevier, Dordrecht, **2004**.
- [28] J. P. Bégué, D. Bonnet-Delpon, *Chimie Bioorganique et Médicinale du Fluor*, EDP-Sciences, Paris, **2005**; I. Ojima, J. R. McCarthy, J. T. Welch, *Biomedical Frontiers in Fluorine Chemistry*, American Chemical Society, Washington, **1996**; J. T. Welch, S. Eswarakrishnan, *Fluorine in Bioorganic Chemistry*, Wiley, New York, **1991**.
- [29] *Fluorinated Materials for Energy Storage* (Hrsg.: T. Nakajima, H. Groult), Elsevier, Dordrecht, **2005**.
- [30] L. H. Weinstein, A. Davison, *Fluorides in the Environment: Effect on Plants and Animals*, CABI Publishing, Cambridge, **2004**.
- [31] Bände zu „Fluorine and the Environment“ in der Buchreihe *Advances in Fluorine Science* (Hrsg.: A. Tressaud), Elsevier, Dordrecht, **2006**.
- [32] Das hundertjährige Jubiläum von Henri Moissans Nobelpreis wurde und wird im Jahr 2006 verschiedentlich begangen: mit einer Festveranstaltung beim 18. International Symposium on Fluorine Chemistry in Bremen am 3. August 2006, mit Sonderheften der *Actualité Chimique*, Société Française de Chimie, und des *Journal of Fluorine Chemistry*, mit einem internationalen Kolloquium an der Maison de la Chimie in Paris (10. November 2006) und durch Festivitäten in Meaux.