

Uran(VI)-fluorid

Uran(VI)-fluorid (UF₆), meistens **Uranhexafluorid** genannt, ist eine chemische Verbindung aus den Elementen Uran und Fluor. Es ist ein farbloser, kristalliner Feststoff, der leicht flüchtig, radioaktiv und chemisch äußerst giftig ist. Es ist eine sehr aggressive Substanz, die nahezu jeden Stoff und auch jedes biologische Gewebe angreift. Uranhexafluorid ist beständig in trockener Luft, reagiert jedoch sehr heftig mit Wasser. In den meisten Fällen wird es aus Uran(IV)-fluorid (UF₄) durch Umsetzung mit elementarem Fluor (F₂) gewonnen.

Bei Normaldruck und einer Temperatur von 56,5 °C geht Uranhexafluorid durch Sublimation direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über. Es ist die einzige Uranverbindung, die sich leicht in die Gasphase überführen lässt. Uran(VI)-fluorid hat eine besondere technische Bedeutung bei der Uran-Anreicherung erhalten. Durch Gasdiffusionsverfahren oder Gasultrazentrifugen erfolgt eine graduelle Trennung des für nukleare Anwendungen wichtigen und seltenen Uranisotops ²³⁵U vom weitaus häufigeren Uranisotop ²³⁸U.

Inhaltsverzeichnis

Geschichte

Darstellung

Standardmethode

Mit anderen Fluorverbindungen

Eigenschaften

Physikalische Eigenschaften

Kristall- und Molekülstruktur

Spektroskopische Eigenschaften

Chemische Eigenschaften

Verwendung

Transport und Lagerung

Physiologische Wirkungen und Sicherheitshinweise

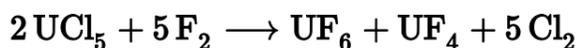
Literatur

Einzelnachweise

Weblinks

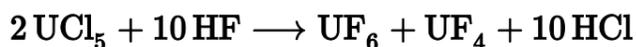
Geschichte

Die Erstsynthese von Uranhexafluorid wurde von Otto Ruff und Alfred Heinzelmann an der Technischen Hochschule Danzig durchgeführt und am 15. Januar 1909 zur Veröffentlichung eingereicht. Diese Synthese lief in einem Platinrohr bei −20 °C unter Feuchtigkeitsausschluss durch die Umsetzung von Uran(V)-chlorid mit Fluor:^[6]

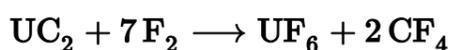


Im Zuge der abgeschlossenen Dissertation Alfred Heinzelmanns mit Veröffentlichungsdatum zum 27. Juni 1911^[7] reichten am 25. Juni 1911 Ruff und Heinzelmann einen ersten Überblick über das Uranhexafluorid bei der Zeitschrift für anorganische Chemie ein.^[8] Neben der oben vorgestellten Synthese wurden zwei weitere Varianten vorgestellt und einige Eigenschaften und Reaktionen beschrieben.

Die Reaktion von Uran(V)-chlorid mit Fluorwasserstoff (HF) ist zur Darstellung von reinem UF₆ nicht geeignet, da es sich nur schlecht von HF trennen lässt.^[8]



Lässt man Uranmetall oder Urandicarbide (UC₂) mit Fluor (in Gegenwart geringer Mengen von Chlor als Katalysator) zur Reaktion kommen, so ist eine vollständige Umwandlung zu UF₆ zu beobachten.^[8]



Schon 1880 beschrieb Alfred Ditte die Umsetzung eines grünen Uranoxids (U³O⁴^[9]) mit einem Überschuss an konzentrierter Flusssäure, wobei zum Teil eine gelbe Flüssigkeit entstand, die beim Erhitzen verdampfte und sich in Form gelber transparenter Kristalle niederschlug mit der Formel *U²F²,4HF*^[9]. Er beschrieb ferner ein „Oxyfluorure“ (U²OF²^[9]), das sehr flüchtig ist; beim Kontakt mit Luftsauerstoff zersetzte sich der „weiße Schnee“ zu einem schwarzen Stoff.^[10] Diese Ergebnisse wurden 1884 in größerem Zusammenhang erneut publiziert.^[11] Diese Angaben stellten sich später als Irrtum heraus.^{[12][13]}

Lange Zeit blieb Uranhexafluorid lediglich für Laborstudien interessant. Erst mit der Entdeckung der Kernspaltung im Jahre 1938 erlangte diese Verbindung größere Bedeutung, da sie die einzige deutlich flüchtige und gleichzeitig stabile Verbindung des Urans ist.^[14] Da Fluor nur ein stabiles Isotop hat, eignet sich die Verbindung Uranhexafluorid zum Trennen der verschiedenen Uran-Isotope. Aristid von Grosse fasste 1941 die bisher bekannten Eigenschaften zusammen und beschrieb zudem das chemische Verhalten gegenüber anorganischen und organischen Stoffen sowie in

Glasgefäßen in Gegenwart von Verunreinigungen.^[15] Dampfdruck und Tripelpunkt wurden von Bernard Weinstock und Ray Crist gemessen. Die Arbeiten wurden am 9. Februar 1942 abgeschlossen. Das 1943 erstellte Manuskript wurde 1947 freigegeben und 1948 veröffentlicht.^[16] Isidor Kirshenbaum fasste 1943 die physikalischen Eigenschaften zusammen.^[17]

Darstellung

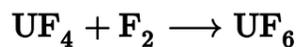
Uranhexafluorid kann grundsätzlich aus Uranmetall sowie praktisch allen Uranverbindungen durch Umsetzung mit elementarem Fluor sowie Chlor- und Bromfluoriden dargestellt werden.^[18]

Man kann die Bildungsmethoden unterteilen in:

- Darstellung aus Uran(VI)-verbindungen ohne Änderung der Oxidationsstufe, z. B. Umhalogenierung von Uran(VI)-chlorid (UCl₆), Fluorierung von Uranylfluorid (UO₂F₂) sowie die thermische Zersetzung von UOF₄, UO₂F₂ oder von Fluoruranaten(VI).
- Darstellung aus Uran oder Uranverbindungen mit niedrigeren Oxidationsstufen, z. B. die oxidierende Fluorierung von Uranmetall, von Uran(V)-chlorid (UCl₅), der verschiedenen Uranoxide, Urancarbide und Uranfluoride.^[19]
- Verwendung anderer Fluorierungsmittel wie Interhalogenverbindungen und Edelgasfluoride.

Standardmethode

Die gängige Methode zur Darstellung von Uranhexafluorid ist die Umsetzung von Uran(IV)-fluorid (UF₄) mit elementarem Fluor (F₂). Bei Temperaturen über 250 °C findet die Reaktion statt und wird meist bei 300 °C durchgeführt; die Reaktion ist endotherm.^[20]



Setzt man Fluor mit etwa 50 % Überschuss ein, so verläuft die Reaktion vollständig. Dieser Prozess wird auch technisch genutzt. Das Fluor wird aus dem Anodenprozess der Elektrolyse einer Kaliumfluorid-Fluorwasserstoff-Mischung gewonnen.

In gleicher Weise entstehen Neptuniumhexafluorid (NpF₆) bei 500 °C aus Neptuniumtetrafluorid (NpF₄) und F₂ sowie Plutoniumhexafluorid (PuF₆) bei 750 °C aus Plutoniumtetrafluorid (PuF₄) und F₂.^[21]

Mit anderen Fluorverbindungen

Mit Chlortrifluorid (ClF₃), Bromtrifluorid (BrF₃) und Brompentafluorid (BrF₅) reagieren sämtliche Uranoxide zu UF₆. Die Reaktivität der Halogenfluoride ist dabei höher als die von elementarem Fluor. UO₂ setzt sich mit BrF₃ schon bei etwa 50 °C um, die Reaktion mit Fluor läuft dagegen erst bei etwa 400 °C ab.^[22] Die Halogenfluoride setzen sich heftig mit Uranmetall um; die Reaktion mit BrF₃-Dampf kann zur Explosion führen.^[23]

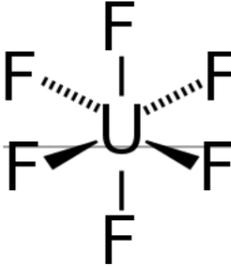
Auch mit Edelgasfluoriden wie z. B. Xenondifluorid (XeF₂) wird UF₄ bei höherer Temperatur unter Druck oder in flüssigem HF zu UF₆ umgesetzt.^[22]

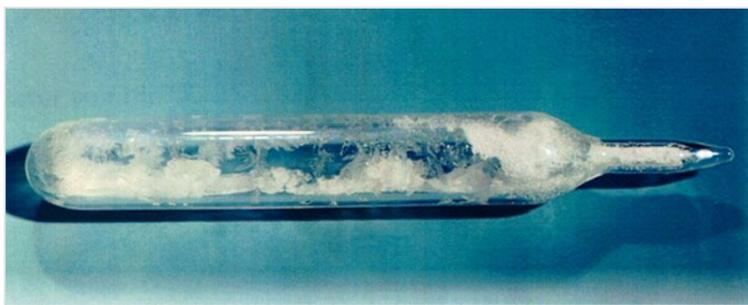
Stickstofftrifluorid (NF₃) fluoriert Uranmetall, UO₂, UF₄, UO₃, U₃O₈ und UO₂F₂ · 2 H₂O bei Temperaturen zwischen 100 und 550 °C zu UF₆. NF₃ wird daher als potenzieller Ersatz bisheriger Fluorierungsmittel im bestehenden nuklearen Brennstoffkreislauf sowie in der Wiederaufarbeitung der flüchtigen Actinoidenverbindungen angesehen.^[24] Beim gegenwärtigen „Standardverfahren“ der Wiederaufarbeitung, dem PUREX-Verfahren werden die so genannten minoren Actinoide nicht vom restlichen Abfall getrennt. Die Verwendung fluorbasierter Methoden könnte sowohl UF₆ als auch rückgewinnbare Fluoride anderer Actinoide erzeugen und damit die Radioaktivität im restlichen Abfall stark verringern.

Eigenschaften

Physikalische Eigenschaften

Uranhexafluorid bildet farblose Kristalle, die unter Normaldruck (1.013,25 hPa) bei 56,54 °C sublimieren,^[25] das heißt direkt vom festen in den gasförmigen Zustand übergehen.

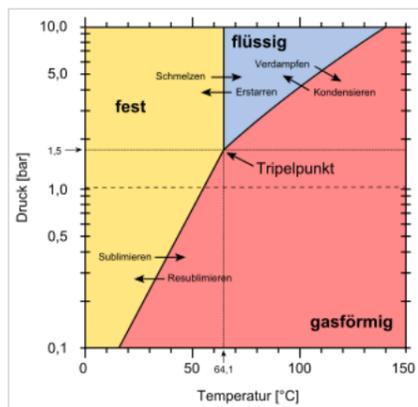
| | |
|---|--|
| Strukturformel | |
|  | |
| <u>Kristallsystem</u> | <u>orthorhombisch</u> |
| <u>Raumgruppe</u> | <i>Pnma</i> (Nr. 62) |
| <u>Gitterparameter</u> | a = 990,0 pm b = 896,2 pm c = 520,7 pm |
| Allgemeines | |
| <u>Name</u> | Uran(VI)-fluorid |
| <u>Andere Namen</u> | Uranhexafluorid |
| <u>Summenformel</u> | UF ₆ |
| <u>Kurzbeschreibung</u> | farblose Kristalle ^[1] |
| Externe Identifikatoren/Datenbanken | |
| <u>CAS-Nummer</u> | 7783-81-5 (https://commonchemistry.cas.org/detail?ref=7783-81-5) [+] |
| Eigenschaften | |
| <u>Molare Masse</u> | 351,99 g·mol ^{−1} |
| <u>Aggregatzustand</u> | fest |
| <u>Dichte</u> | 5,09 g·cm ^{−3} (20,7 °C) ^[2] |
| <u>Sublimationspunkt</u> | 56,5 °C ^[1] |
| <u>Dampfdruck</u> | 153 hPa (25 °C) ^[1] |
| <u>Löslichkeit</u> | heftige Zersetzung mit Wasser ^[1] |
| Gefahren- und Sicherheitshinweise | |
|  | |
| GHS-Gefahrstoffkennzeichnung aus <u>Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP)</u> , ^[3] ggf. erweitert ^{[1][4]} | |
|  | |
| Gefahr | |
| <u>H- und P-Sätze</u> | H: 330-300-373-411 P: ? |
| <u>MAK</u> | 1 mg·m ^{−3} ^[1] |
| Thermodynamische Eigenschaften | |



Uranhexafluoridkristalle in einer Glasampulle

| | |
|--|---|
| ΔH_f^0 | <ul style="list-style-type: none"> fest: $-(2197,7 \pm 1,8) \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$^[5] gasf.: $-(2148,1 \pm 1,8) \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$^[5] |
| Soweit möglich und gebräuchlich, werden <u>SI-Einheiten</u> verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei <u>Standardbedingungen</u> . | |

Es kann unbegrenzt bei Raumtemperatur in Quarz- oder Pyrex-Ampullen aufbewahrt werden, wenn sichergestellt ist, dass keine Spuren von Feuchtigkeit vorhanden sind, das Glas selbst von allen Gaseinschlüssen frei ist und eventuell vorhandener Fluorwasserstoff (HF) restlos entfernt wurde.^[21]

Phasendiagramm von UF₆

Der Tripelpunkt, an dem die drei Phasen fest, flüssig und gasförmig im Gleichgewicht stehen, liegt bei einer Temperatur von 64,05 °C und einem Druck von 1133±7 mmHg (ca. 1510 hPa).^{[26][16][27]} Erst oberhalb dieses Drucks ist auch eine flüssige Phase möglich.

Der kritische Punkt, ab dem Flüssigkeit und Gas nicht mehr voneinander unterschieden werden können, liegt bei einer Temperatur (T_c) von 230,2 °C, einem Druck (p_c) von 45,5 atm (46,1 bar), einem molaren Volumen ($V_{m,c}$) von 256,0 cm³·mol⁻¹ und einer Dichte (ρ_c) von 1,375 g·cm⁻³.^{[25][28]} Der Dampfdruck bei 25 °C beträgt 153 mbar (153 hPa).^[1]

| Parameter für die <u>Antoine-Gleichung</u> ^[25] | | |
|--|----------|---------|
| lg P = A-B/(T+C); bei 64–116 °C | | |
| A | B | C |
| 6,99464 | 1126,288 | 221,963 |
| lg P = A-B/(T+C); bei > 116 °C | | |
| A | B | C |
| 7,69069 | 1683,165 | 302,148 |

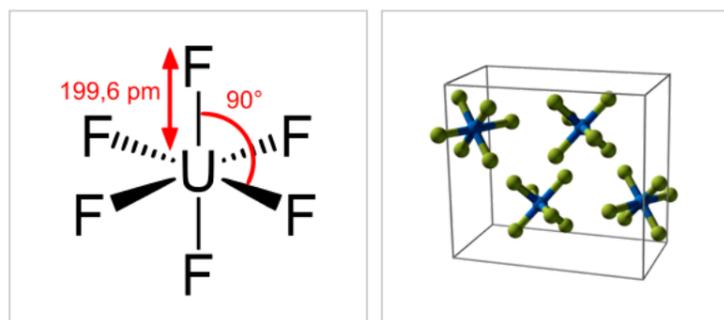
Die Flüchtigkeit von UF₆ ist ähnlich der von Neptuniumhexafluorid (NpF₆) und Plutoniumhexafluorid (PuF₆); sie gehören zusammen zu den drei bisher bekannten Hexafluoriden der Actinoidenelemente.

Die Bildungsentropie (S_m^0) beträgt für festes UF₆: $-430,4 \pm 1,5 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$, für gasförmiges UF₆: $-280,4 \pm 1,5 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$.^[5] Die Sublimationsenthalpie (ΔH_s) am Sublimationspunkt (56,54 °C) beträgt 48,23 kJ·mol⁻¹; die Verdampfungsenthalpie (ΔH_v) am Tripelpunkt (64,05 °C) beträgt 28,76 kJ·mol⁻¹.^{[16][17][29][30]}

Uranhexafluorid ist paramagnetisch; die molare magnetische Suszeptibilität χ_{mol} beträgt $43 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$.^{[31][32][33]}

Kristall- und Molekülstruktur

Uranhexafluorid ist eine kovalente Verbindung und deshalb kein Salz. Das UF₆-Molekül ist oktaedrisch (O_h); im gasförmigen Zustand beträgt die U–F–Bindungslänge 199,6 pm.^[34]

Bindungslänge und -winkel beim gasförmigen Uranhexafluorid^[34]Elementarzelle des Uranhexafluorids^[35]

Uranhexafluorid kristallisiert im orthorhombischen Kristallsystem bei 293 K (20 °C) in der Raumgruppe *Pnma* (Nr. 62) mit den Gitterparametern $a = 990,0 \text{ pm}$, $b = 896,2 \text{ pm}$ und $c = 520,7 \text{ pm}$ mit vier Formeleinheiten pro Elementarzelle.^[36] Im Kristall zeigen die Moleküle eine leichte Abweichung von der regulären oktaedrischen Koordination.^{[35][36]} Bei 293 K (20 °C) betragen die gemessenen Abweichungen aus den Librationsbewegungen der Fluor-Atome +1,5 pm für die U–F- und +2,0 pm für die F–F-Abstände. Die korrigierten Abstände betragen für U–F 199,2–200,4 pm, für F–F 280,4–282,6 pm und der F–U–F-Winkel 89,42(17)–90,20(11)°. ^[36]

Beim Abkühlen auf 193 K (–80 °C) verringern sich die Gitterparameter auf $a = 984,3 \text{ pm}$, $b = 892,0 \text{ pm}$ und $c = 517,3 \text{ pm}$.^[37] Die hexagonale Kugelpackung neigt zu größerer Regelmäßigkeit, die F–F-Abstände außerhalb eines UF₆-Oktaeders verkürzen sich. Die Oktaeder der Moleküle sind fast regelmäßig mit einem mittleren U–F-Abstand von 198 pm, einer mittleren F–F-Kantenlänge von 280 pm, und einem F–U–F-Winkel von 90,0° bei 193 K.^[37]

Bei weiterer Abkühlung auf 77 K (–196 °C) verringern sich die Metall-Fluor-Bindungslängen nicht wesentlich, aber die Atomkoordinaten nähern sich weiter an die idealen Koordinaten der hexagonalen Kugelpackung der Fluoratome an.^[38]

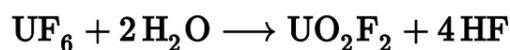
Spektroskopische Eigenschaften

Uranhexafluorid besitzt sechs Grundschwingungen. ν_1 und ν_2 sind Streckschwingungen, ν_5 und ν_6 sind Biegeschwingungen. Die Normalkoordinate von ν_3 besteht überwiegend aus einer Streckung, die von ν_4 überwiegend aus einer Biegung. Davon sind ν_1 , ν_2 und ν_5 Raman-aktiv,^[39] ν_3 und ν_4 IR-aktiv, ν_6 ist IR- und Raman-inaktiv.^{[40][41][42][43][44]}

| | | | | | | |
|--|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Grundschiwingung | ν_1 | ν_2 | ν_3 | ν_4 | ν_5 | ν_6 |
| Termsymbol | A _{1g} | E _g | F _{1u} | F _{1u} | F _{2g} | F _{2u} |
| Wellenzahl (cm ⁻¹) ^[45] | 667 ± 1 | 534 ± 1 | 626 ± 1 | 186 ± 1 | 200 ± 1 | 143 ± 2 |
| IR-aktiv | - | - | + | + | - | - |
| Raman-aktiv | + | + | - | - | + | - |

Chemische Eigenschaften

Uranhexafluorid ist beständig in trockener Luft. Es reagiert hingegen sehr heftig mit Wasser (schon durch Luftfeuchtigkeit), wobei das wasserlösliche Uranylfluorid (UO₂F₂) und Fluorwasserstoff (HF) entstehen.^[46] HF bildet im überschüssigen Wasser stark ätzende Flusssäure.



UF₆ ist ein kräftiges Fluorierungs- und Oxidationsmittel. Mit den meisten Metallen und Legierungen (z. B. Eisen, Aluminium-Magnesium-Legierungen, Edelstähle) reagiert es unter Bildung von Metallfluoriden, bei Raumtemperatur sehr langsam, bei erhöhten Temperaturen etwas schneller. Da die gebildeten Fluoride schwerflüchtig sind, bilden sie auf den betreffenden Oberflächen Ablagerungen, die die Weiterreaktion verhindern können. Vor allem Nickel ist chemisch sehr widerstandsfähig.^[47] Synthetische Hochpolymere, wie z. B. Teflon und einige Copolymere, weisen ebenfalls eine gute Beständigkeit gegenüber UF₆ auf.^[47] Organische Verbindungen reagieren dagegen bereits bei Raumtemperatur durch Fluorierung mit UF₆; dabei bilden sich HF und UF₄ unter Abscheidung von Kohlenstoff. Sauerstoffhaltige organische Verbindungen wie z. B. Ethanol oder Diethylether reagieren schnell unter Abscheidung von Uranylfluorid und Bildung von HF.^[48]

Verwendung

→ *Hauptartikel: Uran-Anreicherung*

Uranhexafluorid dient zur Trennung der Uranisotope nach dem Gasdiffusionsverfahren oder mittels Gasultrazentrifugen. Es ist hierzu ideal geeignet, da es sich im Gegensatz zu den meisten anderen Uranverbindungen leicht in die Gasphase überführen lässt und da Fluor ein Reinelement ist: Es kommt nur ein Fluorisotop (¹⁹F) in der Natur vor; alle natürlichen Fluoratome haben exakt die gleiche Atommasse. Daher sind die Massenunterschiede der Uranhexafluoridmoleküle, die bei der Isotopentrennung ausgenutzt werden – wie erwünscht – nur auf die Massenunterschiede der Uranisotope ²³⁸U und ²³⁵U zurückzuführen. Uranhexafluorid ist damit ein Bestandteil des nuklearen Brennstoffkreislaufs. Zur weiteren Verwendung in Druck- und Siedewasserreaktoren wird angereichertes Uranhexafluorid zu Brennelementefabriken transportiert, um dort erst zu Urandioxid und schließlich zu Brennelementen weiterverarbeitet zu werden.



Kaskade von Gaszentrifugen zur Urananreicherung

Für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente wurde zur Abtrennung des Urans (95 % der Gesamtmasse) vorgeschlagen, das Material fein zu zerkleinern und mit elementarem Fluor zu behandeln („direkte Fluorierung“). Die dabei entstehenden flüchtigen Fluoride (hauptsächlich UF₆ und geringe Mengen NpF₆) lassen sich leicht von den nichtflüchtigen Fluoriden, z. B. Plutonium(IV)-fluorid (PuF₄), Americium(III)-fluorid (AmF₃), Curium(III)-fluorid (CmF₃) sowie den Fluoriden der meisten Spaltprodukte, abtrennen.^[49] Neptuniumhexafluorid (NpF₆) und Plutoniumhexafluorid (PuF₆) sind gegenüber UV-Licht empfindlich und zersetzen sich zu den Tetrafluoriden und Fluor.^[21] Sie lassen sich daher photochemisch aus einem Gemisch mit UF₆ entfernen.^{[50][51]}

Transport und Lagerung

Da die Stätten der Produktion, der Isotopentrennung – genauer der Isotopenan- und -abreicherung – und der Weiterverarbeitung an unterschiedlichen Orten liegen, sind Transport und Lagerung von Uranhexafluorid erforderlich.^[52] Gebräuchlich sind vor allem zylindrische Stahltanks der Typen *48 F* oder *48 Y(d)*. Sie sind zulässig für einen Anreicherungsgrad bis 4,5 % ²³⁵U und haben einen Außendurchmesser von 48 Zoll (ca. 122 cm),^[53] eine Wandstärke von 16 mm^[54] einen Inhalt von rund 4000 l, eine Eigenmasse von rund 2,36 t und erlauben eine Füllmenge von bis zu 12,5 t UF₆.^[55] Für den Transport des angereicherten Uranhexafluorids werden kleinere Behälter des Typs *30 B* benutzt. Sie haben einen Durchmesser von 30 Zoll (ca. 76 cm) mit einem Inhalt von 2,277 Tonnen.^[53] Die Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB) enthält dazu eine Regelung zur Zulassung der Bauart von Verpackungen für nicht spaltbares oder spaltbares freigestelltes Uranhexafluorid.^[56]



UF₆-Tank

Für beliebig hoch - theoretisch bis 100 % - angereichertes UF₆ sind nach US DOE nur viel kleinere „Cylinders“ mit Durchmessern von 1,5–5 Zoll aus den hitzebeständigeren Metallen Nickel oder Monel zulässig. Notwendig sind die kleineren Gefäße, um durch Abstandhalter und eventuell Abschirmen Kritikalität vermeiden und das Anlaufen einer Kernspaltungskettenreaktion verhindern zu können.

Die Transporte sind von der IAEO geregelt.^[57] Sie sind jedoch umstritten^[58] und führten unter anderem zu mehreren Anfragen im Deutschen Bundestag^{[59][60][61][62][63]} und im Landtag von Baden-Württemberg.^[64] In der öffentlichen Diskussion stehen diese Transporte insbesondere, nachdem am 1. Mai 2013 auf dem Uranhexafluorid befördernden Frachter Atlantic Cartier im Hamburger Hafen ein Feuer ausgebrochen war und es erhebliche Schwierigkeiten gab, dieses zu löschen.^[65]



Uranhexafluorid-Lagerplatz in Paducah (USA)

In den Vereinigten Staaten lagerten im Jahr 2000 mindestens 46.422 Fässer mit UF₆ an mindestens drei Orten: Auf dem Gelände der K-25 genannten ehemaligen Urananreicherungsanlage bei Oak Ridge im Bundesstaat Tennessee lagerten 4.683 Fässer, 28.351 in der Urananreicherungsanlage in Paducah in Kentucky und 13.388 in der Urananreicherungsanlage in Portsmouth in Ohio.^[66]

In den Vereinigten Staaten kam es zu mehreren Unfällen mit Uranhexafluorid. So ereignete sich im Jahr 1986 an einer Anlage der *Sequoyah Fuels Corporation* in der Nähe von Gore im Bundesstaat Oklahoma ein schwerer Unfall. Als man einen überfüllten Tank erwärmte, um verfestigtes Material zu entfernen, riss der Tank auf und ca. 7 bis 8 t UF₆ entwichen, ein Teil davon reagierte mit dem zum Erwärmen eingesetzten Wasserdampf, wobei Flusssäure freigesetzt wurde. Ein

Angestellter der Firma verstarb an den Folgen der Inhalation der aggressiven Mischung aus Wasserdampf, UF₆ und Flusssäure.^{[67][68]}



Leck an einem Uranhexafluorid-Zylinder

Physiologische Wirkungen und Sicherheitshinweise

Uranhexafluorid wirkt hauptsächlich auf drei verschiedene Weisen auf den menschlichen Körper:^[69]

- Es ist eine sehr aggressive Substanz, die jedes Gewebe angreift. Beim Kontakt des Gases mit Körperflüssigkeiten bildet sich Flusssäure, die auf der Haut und den Schleimhäuten der Atemwege Verätzungen hervorruft. Die Exposition des Menschen gegenüber dem Gas wirkt sich zunächst auf die Augen und Atemwege aus und verursacht Reizungen, Verlust des Sehvermögens, Husten und übermäßige Bildung von Speichel und Auswurf. Nach längerer Exposition führt dies zu Pneumonitis und Lungenödemen und kann zum Tod führen.
- Es ist – wie alle sechswertigen Uranverbindungen – sehr giftig beim Einatmen und Verschlucken. Außerdem besteht die Gefahr der Anreicherung im menschlichen Körper, was vor allem die Leber und die Nieren betrifft.
- Wie alle Uranverbindungen ist es radioaktiv. Die Aktivität ist von der Isotopenzusammensetzung des Urans abhängig. ²³⁸U hat eine Halbwertszeit von 4,468 Milliarden Jahren^[70] und ist wie die anderen natürlichen Isotope (²³⁴U und ²³⁵U) ein α-Strahler. Die spezifische Aktivität von ²³⁸U beträgt 12,35 Bq/mg.^[71] ²³⁵U hat eine Halbwertszeit von 704 Millionen Jahren.^[70] Es ist spaltbar und hat in natürlichem Uranvorkommen einen Anteil von etwa 0,7 %. Angereichertes Uranhexafluorid ist aufgrund der niedrigeren Halbwertszeit deutlich aktiver. Hierbei ist vor allem der Effekt des ²³⁴U relevant, welches in natürlichem Uran etwas weniger als die Hälfte der Aktivität bei nur 55 ppm Anteil ausmacht. Je nach Anreicherung kann es einen erheblichen Anteil der Aktivität ausmachen.

Literatur

- Alfred Heinzelmann: *Das Uranhexafluorid, ein Beitrag zur Kenntnis des sechswertigen Urans* (Dissertation, Danzig, 27. Juni 1911), 55 S. (Digitalisat (<http://www.pbc.gda.pl/dlibra/docmetadata?id=26355&dirids=7>)). – Hinweis in: *Verzeichnis der bis Ende 1912 an den Technischen Hochschulen des Deutschen Reiches erschienenen Schriften*, S. 60 (eingeschränkte Vorschau (<https://books.google.de/books?id=1aCFBwAAQBAJ&pg=PA60&q=alfred%2Bheinzelmann%2Bdanzig#v=onepage>) in der Google-Buchsuche).
- *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil A, S. 121–123.
- *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 71–163.
- R. DeWitt: *Uranium hexafluoride: A survey of the physico-chemical properties*, Technical report, GAT-280; Goodyear Atomic Corp., Portsmouth, Ohio; 12. August 1960, 164 S. (doi:10.2172/4025868).
- Ingmar Grenthe, Janusz Drożdżynski, Takeo Fujino, Edgar C. Buck, Thomas E. Albrecht-Schmitt, Stephen F. Wolf: *Uranium* (<http://radchem.nevada.edu/classes/rdch710/files/Uranium.pdf>); in: Lester R. Morss, Norman M. Edelstein, Jean Fuger (Hrsg.): *The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements*, Springer, Dordrecht 2006; ISBN 1-4020-3555-1, S. 253–698 (doi:10.1007/1-4020-3598-5_5), hier S. 530–531, 557–564.

Einzelnachweise

1. Eintrag zu *Uranhexafluorid* (<https://gestis.dguv.de/data?name=490493>) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 10. Februar 2020.
2. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 90.
3. Nicht explizit in Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP) gelistet, fällt aber mit der angegebenen Kennzeichnung unter den Gruppeneintrag *uranium compounds with the exception of those specified elsewhere in this Annex* (<https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/substance/external/100.240.790>) im *Classification and Labelling Inventory* der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA), abgerufen am 10. Februar 2020. Hersteller bzw. Inverkehrbringer können die harmonisierte Einstufung und Kennzeichnung erweitern (<https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/de/CLP/Einstufung/Selbsteinstufung/Selbsteinstufung.html>).
4. Die von der Radioaktivität ausgehenden Gefahren gehören nicht zu den einzustufenden Eigenschaften nach der GHS-Kennzeichnung.
5. Gerald K. Johnson: *The Enthalpy of Formation of Uranium Hexafluoride*; in: *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 1979, 11 (5), S. 483–490 (doi:10.1016/0021-9614(79)90126-5).
6. Otto Ruff: *Über einige neue Fluoride*; in: *Chem. Ber.*, 1909, 42 (1), S. 492–497, hier S. 495–497 (doi:10.1002/cber.19090420175).
7. Alfred Heinzelmann: *Das Uranhexafluorid, ein Beitrag zur Kenntnis des sechswertigen Urans* (Dissertation, Danzig, 27. Juni 1911), 55 S. (Digitalisat (<http://www.pbc.gda.pl/dlibra/docmetadata?id=26355&dirids=7>)).
8. Otto Ruff, Alfred Heinzelmann: *Über das Uranhexafluorid*; in: *Zeitschrift für anorganische Chemie*, 1911, 72 (1), S. 63–84 (doi:10.1002/zaac.19110720106).
9. Originalschreibweise (!).
10. A. Ditte: *Sur les composés fluorés de l'uranium*; in: *Compt. Rend.*, 1880, 91, S. 115–118 (Digitalisat (<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k30485.image.f117.langDE>) auf Gallica).
11. Alfred Ditte: *Recherches sur l'uranium*; in: *Ann. Chim. Phys.*, 1884, 6 (1), S. 338–358 (Digitalisat (<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k348718.image.f330.langDE>) auf Gallica).
12. Arthur Smithells: *On some fluorine compounds of uranium*; in: *J. Chem. Soc., Trans.*, 1883, 43, S. 125–135 (doi:10.1039/CT8834300125).

13. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil A, S. 121–123.
14. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 71.
15. Aristid v. Grosse: *Chemical Properties of Uranium Hexafluoride, UF₆*; Technical Report, A-83; Columbia University, New York, NY; 25. Juni 1941 (doi:10.2172/962915).
16. B. Weinstock, R. H. Crist: *The Vapor Pressure of Uranium Hexafluoride*; in: *J. Chem. Phys.*, 1948, 16, S. 436–441 (doi:10.1063/1.1746915; Maschinoskript (12. April 1943) (<http://dodreports.com/pdf/ada321475.pdf>)).
17. I. Kirshenbaum: *The Physical Properties of Uranium Hexafluoride*; Technical Report, 2M-503; 2R-464; A-753; SAM Labs; 1. Juli 1943 (doi:10.2172/4416966).
18. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 72–85.
19. Patent US2535572A (https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?locale=de_EP&CC=US&NR=2535572A): *Preparation of UF₆*. Angemeldet am 9. April 1948, veröffentlicht am 26. Dezember 1950, Erfinder: Raymond M. Hainer.
20. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 80.
21. John G. Malm, Bernard Weinstock, E. Eugene Weaver: *The Preparation and Properties of NpF₆; a Comparison with PuF₆*; in: *J. Phys. Chem.*, 1958, 62 (12), S. 1506–1508 (doi:10.1021/j150570a009).
22. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 78–80.
23. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 76.
24. Bruce McNamara, Randall Scheele, Anne Kozeliskya, Matthew Edwards: *Thermal Reactions of Uranium Metal, UO₂, U₃O₈, UF₄, and UO₂F₂ with NF₃ to produce UF₆*; in: *Journal of Nuclear Materials*, 2009, 394 (2–3), S. 166–173 (doi:10.1016/j.jnucmat.2009.09.004).
25. George D. Oliver, H. T. Milton, J. W. Grisard: *The Vapor Pressure and Critical Constants of Uranium Hexafluoride*; in: *J. Am. Chem. Soc.*, 1953, 75 (12), S. 2827–2829 (doi:10.1021/ja01108a011).
26. Ferdinand G. Brickwedde, Harold J. Hoge, Russell B. Scott: *The Low Temperature Heat Capacities, Enthalpies, and Entropies of UF₄ and UF₆*; in: *J. Chem. Phys.*, 1948, 16, S. 429–436 (doi:10.1063/1.1746914).
27. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 95.
28. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 97.
29. Joseph F. Masi: *The Heats of Vaporization of Uranium Hexafluoride*; in: *J. Chem. Phys.*, 1949, 17, S. 755–758 (doi:10.1063/1.1747395).
30. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 100–101.
31. Paul Henkel, Wilhelm Klemm: *Magnetochemische Untersuchungen. XII. Das Magnetische Verhalten einiger flüchtiger Fluoride*; in: *Zeitschrift für anorganische Chemie*, 1935, 222, S. 70–72 (doi:10.1002/zaac.19352220110).
32. Woldemar Tilk, Wilhelm Klemm: *Magnetochemische Untersuchungen. XXXI. Über den Paramagnetismus von Verbindungen des sechswertigen Chroms, Molybdäns, Wolframs und Urans*; in: *Zeitschrift für anorganische Chemie*, 1939, 240, S. 355–368 (doi:10.1002/zaac.19392400408).
33. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 119.
34. Masao Kimura, Werner Schomaker, Darwin W. Smith, Bernard Weinstock: *Electron-Diffraction Investigation of the Hexafluorides of Tungsten, Osmium, Iridium, Uranium, Neptunium, and Plutonium*; in: *J. Chem. Phys.*, 1968, 48 (8), S. 4001–4012 (doi:10.1063/1.1669727).
35. J. C. Taylor, P. W. Wilson, J. W. Kelly: *The Structures of Fluorides. I. Deviations from Ideal Symmetry in the Structure of Crystalline UF₆: A Neutron Diffraction Analysis*; in: *Acta Cryst.*, 1973, B29, S. 7–12 (doi:10.1107/S0567740873001895).
36. John H. Levy, John C. Taylor, Paul W. Wilson: *Structure of Fluorides. Part XII. Single-crystal Neutron Diffraction Study of Uranium Hexafluoride at 293 K*; in: *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 1976, S. 219–224 (doi:10.1039/DT9760000219).
37. J. C. Taylor, P. W. Wilson: *The Structures of Fluorides X. Neutron Powder Diffraction Profile Studies of UF₆ at 193°K and 293°K*; in: *Journal of Solid State Chemistry*, 1975, 14 (4), S. 378–382 (doi:10.1016/0022-4596(75)90059-6).
38. J. H. Levy, J. C. Taylor, A. B. Waugh: *Neutron Powder Structural Studies of UF₆, MoF₆ and WF₆ at 77 K*; in: *Journal of Fluorine Chemistry*, 1983, 23 (1), S. 29–36 (doi:10.1016/S0022-1139(00)81276-2).
39. Howard H. Claassen, Gordon L. Goodman, John H. Holloway, Henry Selig: *Raman Spectra of MoF₆, TcF₆, ReF₆, UF₆, SF₆, SeF₆, and TeF₆ in the Vapor State*; in: *J. Chem. Phys.*, 1970, 53 (1), S. 341–348 (doi:10.1063/1.1673786).
40. B. Weinstock, E. E. Weaver, J. G. Malm: *Vapour-Pressures of NpF₆ and PuF₆; Thermodynamic Calculations with UF₆, NpF₆ and PuF₆*; in: *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, 1959, 11 (2), S. 104–114 (doi:10.1016/0022-1902(59)80054-3).
41. Ezra Bar-Ziv, Mira Freiberg, Shmuel Weiss: *The Infrared Spectrum of UF₆*; in: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 1972, 28 (11), S. 2025–2028 (doi:10.1016/0584-8539(72)80176-4).
42. Robin S. McDowell, Larned B. Asprey, Robert T. Paine: *Vibrational Spectrum and Force Field of Uranium Hexafluoride*; in: *J. Chem. Phys.*, 1974, 61 (9), S. 3571–3580 (doi:10.1063/1.1682537).
43. E. R. Bernstein, G. R. Meredith: *Vibrational Spectra of Transition Metal Hexafluoride Crystals: III. Exciton Band Structures of MoF₆, WF₆ and UF₆*; in: *Chemical Physics*, 1977, 24 (3), S. 311–325 (doi:10.1016/0301-0104(77)85091-X).
44. K. C. Kim, R. N. Mulford: *Vibrational Properties of Actinide (U, Np, Pu, Am) Hexafluoride Molecules*; in: *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 1990, 207 (3–4), S. 293–299 (doi:10.1016/0166-1280(90)85031-H).
45. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 126.
46. R. W. Kessie: *Plutonium and Uranium Hexafluoride Hydrolysis Kinetics*; in: *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev.*, 1967, 6 (1), S. 105–111 (doi:10.1021/i260021a018).
47. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 146–148.
48. *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, System Nr. 55, Uran, Teil C 8, S. 160.
49. Jan Uhlř, Martin Marečka: *Fluoride Volatility Method for Reprocessing of LWR and FR Fuels*; in: *Journal of Fluorine Chemistry*, 2009, 130 (1), S. 89–93 (doi:10.1016/j.jfluchem.2008.07.002).
50. James V. Beitz, Clayton W. Williams: *Photochemical Removal of NpF₆ and PuF₆ from UF₆ Gas Streams*, international symposium to commemorate the 50th anniversary of discovery of transuranium elements, Washington, DC (USA), 26.–31. August 1990 (Abstract (<https://www.osti.gov/scitech/biblio/6162248>); PDF (<https://www.osti.gov/servlets/purl/6162248>)); abgerufen am 10. Februar 2020.
51. Patent EP0733023B1 (https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?locale=de_EP&CC=EP&NR=0733023B1): *Reinigung von Uranhexafluorid*. Angemeldet am 6. Dezember 1994, veröffentlicht am 14. April 1999, Anmelder: British Nuclear Fuels Plc, Erfinder: Andrew

Philip Jeapes et al.

52. Wirtschaftsverband Kernbrennstoff-Kreislauf und Kerntechnik e. V.: *Uranhexafluorid-Transporte* (<https://web.archive.org/web/20140714201104/http://www.wkk-ev.de/inhalte/brennstoffkreislauf/uran-transporte.html>) (Memento vom 14. Juli 2014 im *Internet Archive*)
53. DUF₆ Guide: *UF₆ Cylinder Data Summary* (<https://web.evs.anl.gov/uranium/guide/prodhand/sld035.cfm>) (US Department of Energy); abgerufen am 10. Februar 2020. - Korrektur; Typ 2S hat 2,5" Durchmesser.
54. Julia Reißwenger: *Zwischenlager durch Urananreicherung* (<http://www.dradio.de/dlf/sendungen/forschak/1515814/>), dradio.de, Deutschlandfunk, *Forschung Aktuell*, 28. Juli 2011; abgerufen am 10. Februar 2020.
55. Bundesamt für Strahlenschutz: *Genehmigungen gemäß § 3 Absatz 1. StrlSchV oder § 6 AtG für die Zwischenlagerung von abgereichertem bzw natürlichem und angereichertem Uran in Form von Uranhexafluorid (UF₆)* (http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_15021979_RSII35170333.htm); *Genehmigungsvoraussetzungen und Auflagen* (<http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/BMU-RS-19790215-KF-A001.htm>); abgerufen am 10. Februar 2020.
56. Bundesministerium für Justiz: *Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt – GGVSEB); § 8 Zuständigkeiten der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung; Satz 2* (<https://www.gesetze-im-internet.de/ggvseb/BJNR138900009.html>) (Stand 22. Januar 2013); abgerufen am 10. Februar 2020.
57. IAEA-TECDOC-608: *Interim guidance on the safe transport of uranium hexafluoride* (http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_608_prn.pdf); Juli 1991 (PDF; 2,7 MB); abgerufen am 10. Februar 2020.
58. Gerhard Piper: *Internationaler Uranhexafluorid-Tourismus durch Deutschland* (<https://www.heise.de/tp/features/Internationaler-Uranhexafluorid-Tourismus-durch-Deutschland-3414168.html>); Telepolis, 30. Juni 2007; abgerufen am 10. Februar 2020.
59. Deutscher Bundestag, Drucksache 14/435: *Transporte von Uranhexafluorid* (<http://dip.bundestag.de/btd/14/005/1400593.pdf>); 23. März 1999 (PDF; 213 kB); abgerufen am 10. Februar 2020.
60. Deutscher Bundestag, Drucksache 14/6692: *Transporte und Lagerung von Uranhexafluorid in der Bundesrepublik Deutschland* (<http://dip.bundestag.de/btd/14/066/1406692.pdf>); 16. Juli 2001 (PDF; 375 kB); abgerufen am 10. Februar 2020.
61. Deutscher Bundestag, Drucksache 16/5174: *Transporte und Lagerung von Uranhexafluorid* (<http://dip.bundestag.de/btd/16/051/1605174.pdf>); 27. April 2007 (PDF; 114 kB); abgerufen am 10. Februar 2020.
62. Deutscher Bundestag, Drucksache 17/253: *Uranhexafluorid – Sichere Lagerung und sachgemäßer Umgang zur Vermeidung von Umweltrisiken* (<http://dip.bundestag.de/btd/17/002/1700253.pdf>); 16. Dezember 2009 (PDF; 1,7 MB); abgerufen am 10. Februar 2020.
63. Deutscher Bundestag, Drucksache 18/1726: *Transporte und Lagerung von Uranhexafluorid und Uranoxid im Zusammenhang mit der Urananreicherung in Gronau* (<https://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/18/017/1801726.pdf>); 11. Juni 2014 (PDF; 347 kB); abgerufen am 10. Februar 2020.
64. Landtag von Baden-Württemberg, Drucksache 14/4880: *Sicherheit von Uranhexafluorid-Transporten durch Baden-Württemberg* (https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP14/Drucksachen/4000/14_4880_D.pdf); 21. Juli 2009 (PDF; 39 kB); abgerufen am 10. Februar 2020.
65. Zeit online: *Brennender Frachter hatte radioaktives Material geladen* (<http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2013-05/hamburg-hafen-brand-container-schiff>), 17. Mai 2013; abgerufen am 10. Februar 2020.
66. Mary Byrd Davis: *What's Ahead for the Nation's Depleted Uranium Hexafluoride?* (<https://web.archive.org/web/20130310103720/http://www.earthisland.org/yggdrasil/duf6.html>) (Memento vom 10. März 2013 im *Internet Archive*), 5. November 2000; Yggdrasil Institute (a project of Earth Island Institute); abgerufen am 10. Februar 2020.
67. Doug Brugge, Jamie L. deLemos, Cat Bui: *The Sequoyah Corporation Fuels Release and the Church Rock Spill: Unpublicized Nuclear Releases in American Indian Communities*. In: *American Journal of Public Health*. 97. Jahrgang, Nr. 9, 2007, S. 1595–1600, doi:10.2105/ajph.2006.103044 (<https://doi.org/10.2105/ajph.2006.103044>), PMID 17666688, PMC 1963288 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1963288/>) (freier Volltext) – (englisch).
68. *Assessment of the Public Health Impact From the Accidental Release of UF₆ at the Sequoyah Fuels Corporation Facility at Gore, Oklahoma* (<https://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0700/ML070080310.pdf>) (PDF; 5,6 MB); Docket No. 40-8027. License No. SUB-1010. Manuscript Completed: March 1986; Date Published: March 1986. Ad Hoc Interagency Public Health Assessment Task Force, U.S. Nuclear Regulatory Commission; Washington, D.C. 20555.
69. Stephen A. McGuire: *Chemical Toxicity of Uranium Hexafluoride Compared to Acute Effects of Radiation*, NUREG-1391, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1991 (PDF (<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/dgac10c3/UN-SCETDG-45-INF15-Ref.5e.pdf>)); abgerufen am 10. Februar 2020.
70. G. Audi, O. Bersillon, J. Blachot, A. H. Wapstra: *The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties*. In: *Nuclear Physics*. Band A 729, 2003, S. 3–128. doi:10.1016/j.nuclphysa.2003.11.001. (PDF (<http://amdc.in2p3.fr/nubase/nubase2003/Nubase2003.pdf>); 1,0 MB).
71. Bundesinstitut für Risikobewertung: *BfR empfiehlt die Ableitung eines europäischen Höchstwertes für Uran in Trink- und Mineralwasser* (http://www.bfr.bund.de/cm/343/bfr_empfiehl_die_ableitung_eines_europaeischen_hoechstwertes_fuer_uran_in_trink_und_mineralwasser.pdf), Gemeinsame Stellungnahme Nr. 20/2007 des BfS und des BfR vom 5. April 2007, S. 7 (Tabelle 1: Spezifische Aktivitäten von U 234, U 235 und U 238 bezogen auf 1 mg Natururan); abgerufen am 10. Februar 2020.

Weblinks

Commons: Uranhexafluorid (https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Uranium_hexafluoride?uselang=de) – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

- Simon Cotton (Uppingham School, Rutland, UK): *Uranium Hexafluoride* (<http://www.chm.bris.ac.uk/motm/uf6/uf6v.htm>); abgerufen am 10. Februar 2020.
- DUF₆ Guide: *Uranium Hexafluoride (UF₆) – Physical and chemical properties of UF₆, and its use in uranium processing – Uranium Hexafluoride and Its Properties* (<https://web.evs.anl.gov/uranium/guide/uf6/index.cfm>) (US Department of Energy); abgerufen am 10. Februar 2020.

Abgerufen von „[https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Uran\(VI\)-fluorid&oldid=236172073](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Uran(VI)-fluorid&oldid=236172073)“

Diese Seite wurde zuletzt am 6. August 2023 um 15:25 Uhr bearbeitet.

Der Text ist unter der Lizenz „Creative-Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen“ verfügbar; Informationen zu den Urhebern und zum Lizenzstatus eingebundener Mediendateien (etwa Bilder oder Videos) können im Regelfall durch Anklicken dieser abgerufen werden. Möglicherweise unterliegen die Inhalte jeweils zusätzlichen Bedingungen. Durch die Nutzung dieser Website erklären Sie sich mit den Nutzungsbedingungen und der Datenschutzrichtlinie einverstanden. Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.