

## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Der vollständige Stammbaum der Wolframchemikalien

**CTIA GROUP LTD**

Weltweit führend in der intelligenten Fertigung für die Wolfram-, Molybdän- und  
Seltenerdmetallindustrie

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung des intelligenten, integrierten und flexiblen Designs und der Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) als Ausgangspunkt – Chinas erste erstklassige Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes, das sich auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie konzentriert. Mit fast drei Jahrzehnten umfassender Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän erbt die CTIA GROUP die außergewöhnlichen Design- und Fertigungskapazitäten, die hervorragenden Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihrer Muttergesellschaft und wird zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, Legierungen mit hoher Dichte, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 200 mehrsprachige professionelle Websites für Wolfram und Molybdän eingerichtet, die mehr als 20 Sprachen abdecken und über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden enthalten. Seit 2013 hat der offizielle WeChat-Account "CHINATUNGSTEN ONLINE" über 40.000 Informationen veröffentlicht, fast 100.000 Follower bedient und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen zur Verfügung gestellt. Mit kumulativen Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto, die Milliarden von Malen erreichen, hat es sich zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie entwickelt, die 24/7 mehrsprachige Nachrichten, Produktleistungen, Marktpreise und Markttrenddienste bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die personalisierten Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen. Unter Verwendung der KI-Technologie entwirft und produziert das Unternehmen gemeinsam mit Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Unternehmen bietet integrierte Dienstleistungen rund um den Prozess, die von der Werkzeugöffnung über die Probeproduktion bis hin zur Endbearbeitung, Verpackung und Logistik reichen. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 130.000 Kunden weltweit F&E-, Design- und Produktionsdienstleistungen für über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten erbracht und damit den Grundstein für eine maßgeschneiderte, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage vertieft die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer mehr als 30-jährigen Branchenerfahrung auch Wissens-, Technologie-, Wolframpreis- und Markttrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und diese frei mit der Wolframindustrie geteilt. Dr. Han verfügt seit den 1990er Jahren über mehr als 30 Jahre Erfahrung im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen und ist ein anerkannter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte im In- und Ausland. Das Team der CTIA GROUP hält sich an das Prinzip, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zur Verfügung zu stellen, und verfasst kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte, die auf der Produktionspraxis und den Bedürfnissen der Marktkunden basieren und in der Branche weithin gelobt werden. Diese Erfolge sind eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP und machen sie zu einem führenden Unternehmen bei der Herstellung und Information von Wolfram- und Molybdänprodukten.



### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## Inhalt

### Kapitel 1 Überblick über Wolfram

- 1.1 Entdeckung und Geschichte von Wolfram
  - 1.1.1 Kurze Geschichte der Entdeckungen
    - 1.1.1.1 Erste Entdeckung durch den schwedischen Chemiker Cronstedt (1755, Schwedische Literatur)
    - 1.1.1.2 Scheeles Isolierung der Wolframsäure (1781, deutsche Literatur)
    - 1.1.1.3 Die Reinigung des Wolframmetalls durch die Gebrüder Elhuyar (1783, spanische Literatur)
  - 1.1.2 Benennung und mehrsprachige Bezeichnungen von Wolfram
  - 1.1.3 Frühe industrielle Anwendungen (19. Jahrhundert, englische und französische Literatur)
- 1.2 Natürliches Vorkommen von Wolfram
  - 1.2.1 Arten und Verteilung der globalen Wolframminerale
    - 1.2.1.1 Wolframit
    - 1.2.1.2 Scheelit
    - 1.2.1.3 Sonstige kleinere Wolframminerale (z. B. Hübnerit)
  - 1.2.2 Wichtigste Erzeugerländer und Reserven
    - 1.2.2.1 China (ca. 60 % der weltweiten Reserven)
    - 1.2.2.2 Russland, Vietnam, Kanada, Australien und andere
  - 1.2.3 Wichtige Wolframabbaugebiete
    - Russischer Fernost  
Andere Regionen
- 1.3 Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolfram
  - 1.3.1 Physikalische Eigenschaften (Schmelzpunkt 3410°C, Dichte 19,25 g/cm<sup>3</sup>)
  - 1.3.2 Chemische Eigenschaften (Oxidationsstufen +2 bis +6, Korrosionsbeständigkeit)
  - 1.3.3 Objektbeschreibungen in der mehrsprachigen Literatur (Russisch, Japanisch, Arabisch, etc.)
- 1.4 Industrieller und wissenschaftlicher Wert von Wolframchemikalien
  - 1.4.1 Überblick über die globale Industrienachfrage
  - 1.4.2 Wissenschaftliche Bedeutung
- Informationsquellen
- Referenzen

### Kapitel 2 Grundlegende Einstufung und Eigenschaften von Wolframchemikalien

- 2.1 Einstufung von Wolframchemikalien
  - 2.1.1 Oxide von Wolfram

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Tungsten trioxide \(WO<sub>3</sub>, Tungsten Trioxide\)](#)

Tungsten dioxide (WO<sub>2</sub>, Tungsten Dioxide)

Wolframpentoxid (W<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Wolframpentoxid)

[Wolframblauoxid \(W<sub>18</sub>O<sub>49</sub> oder W<sub>20</sub>O<sub>58</sub>, Wolframblauoxid\)](#)

### 2.1.2 Wolframsäure und Wolframat

[Wolframsäure \(H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure\)](#) und ihre Salze, die als Wolframate bezeichnet werden, sind kritische Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure)

[Natriumwolframat \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat\)](#)

[Ammoniumparawolframat \(APT, \(NH<sub>4</sub>\)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Ammoniumparawolframat\)](#)

[Ammoniummetawolframat \(\(NH<sub>4</sub>\)<sub>6</sub>H<sub>2</sub>W<sub>12</sub>O<sub>40</sub>, Ammoniummetawolframat\)](#)

[Calciumwolframat \(CaWO<sub>4</sub>, Calciumwolframat\)](#)

### 2.1.3 Halogenide des Wolframs

[Wolframhexachlorid \(WCl<sub>6</sub>, Wolframhexachlorid\)](#)

[Wolframhexafluorid \(WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid\)](#)

### 2.1.4 Karbide und Nitride

[Wolframkarbidpulver \(WC, Wolframkarbidpulver\)](#)

Ditungsten carbide (W<sub>2</sub>C, Ditungsten Carbide)

Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid)

### 2.1.5 Sulfide und Phosphide

[Wolframdisulfid \(WS<sub>2</sub>, Wolframdisulfid\)](#)

Tungsten phosphide (WP, Tungsten Phosphide)

### 2.1.6 Organotiramverbindungen

[Wolframhexacarbonyl \(W\(CO\)<sub>6</sub>, Wolframhexacarbonyl\)](#)

### 2.1.7 Wolframhaltige Katalysatoren und Reagenzien

Phosphotungstensäure (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>, Phosphotungstensäure)

### 2.1.8 Wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien

Natriumwolframat-Nanopartikel

(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel)

### 2.1.9 Sonstige wolframhaltige nichtmetallische Verbindungen

Wolframdiselenid (WSe<sub>2</sub>, Wolframdiselenid)

## 2.2 Grundlegende Eigenschaften von Wolframchemikalien

### 2.2.1 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 2.2.2 Thermische und chemische Stabilität

### 2.2.3 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Informationsquellen

Referenzen

## Kapitel 3

### Herstellung und Anwendungen von Wolframoxiden

### 3.1 Tungsten Trioxide (WO<sub>3</sub>, Tungsten Trioxide)

#### 3.1.1 Vorbereitungsprozesse

Kalzinationsverfahren (oxidative Hochtemperaturzersetzung) Nasschemische

Fällungsmethode (Säuerungsextraktion) Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technik

### 3.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 3.1.3 Thermische und chemische Stabilität

### 3.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

## 3.2 Tungsten Dioxide ( $WO_2$ , Tungsten Dioxide)

### 3.2.1 Vorbereitungsprozesse

Wasserstoff-Reduktionsverfahren Thermische Zersetzungsmethode

### 3.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 3.2.3 Thermische und chemische Stabilität

### 3.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

## 3.3 Sonstige Wolframoxide

### 3.3.1 Vorbereitungsprozesse

Oxidationsverfahren für Wolframpentoxid

( $W_2O_5$ , Wolframpentoxid) Hochtemperaturreduzierung für Wolframblauoxid-Variante  
( $W_{18}O_{49}$ , Wolframblauoxid-Variante)

### 3.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 3.3.3 Thermische und chemische Stabilität

### 3.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Informationsquellen

Referenzen

## Kapitel 4

### Herstellung und Anwendung von Wolframsäure und Wolframat

## 4.1 Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure)

### 4.1.1 Herstellungsverfahren

Methode der sauren Fällung (Erzlaugung) Methode der Wolframat-Azidolyse  
(Lösungsumwandlung) Ionenaustauschverfahren (hochreine Aufbereitung)

### 4.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 4.1.3 Thermische und chemische Stabilität

### 4.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

## 4.2 Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ , Natriumwolframat)

### 4.2.1 Vorbereitungsprozesse

Alkalisches Fusionsverfahren (Erzextraktion) Wolframsäure-Neutralisationsverfahren  
(Laborvorbereitung)

### 4.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 4.2.3 Thermische und chemische Stabilität

### 4.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

## 4.3 Sonstige Wolframstaaten

### 4.3.1 Vorbereitungsprozesse

Ionenaustausch und Kristallisation für Ammoniumparawolframat

(APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumparawolframat) Fusionsreaktion für Calciumwolframat

( $CaWO_4$ , Calciumwolframat) Ansäuerungspolymerisation von

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ammoniummetawolframat

$(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Ammoniummetawolframat)

**4.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

**4.3.3 Thermische und chemische Stabilität**

**4.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

InformationsquellenReferenzen

## Kapitel 5

### Herstellung und Anwendung von Wolframhalogeniden

**5.1 Wolframhexachlorid ( $\text{WCl}_6$ , Wolframhexachlorid)**

**5.1.1 AufbereitungsverfahrenDirekte Chlorierungsmethode (Wolframmetallchlorierung)**

Chlorreduktionsmethode (Oxidchlorierung)Gasphasenreaktionsmethode (hochreine Zubereitung)

**5.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

**5.1.3 Thermische und chemische Stabilität**

**5.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

**5.2 Wolframhexafluorid ( $\text{WF}_6$ , Wolframhexafluorid)**

**5.2.1 Vorbereitungsprozesse**

Direkte Fluorierungsmethode (Wolfram- und Fluorreaktion)Oxidfluorierungsverfahren (Wolframtrioxid-Fluorierung)

**5.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

**5.2.3 Thermische und chemische Stabilität**

**5.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

**5.3 Sonstige Wolframhalogenide**

**5.3.1 Vorbereitungsprozesse**

Reduktionschlorierungsverfahren für Wolframtetrachlorid ( $\text{WCl}_4$ , Wolframtetrachlorid)Kontrolliertes Chlorierungsverfahren für Wolframpentachlorid ( $\text{WCl}_5$ , Wolframpentachlorid)

**5.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

**5.3.3 Thermische und chemische Stabilität**

**5.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

Informationsquellen

Referenzen

## Kapitel 6

### Herstellung und Anwendung von Wolframkarbiden und Nitriden

**6.1 Tungsten Carbide (WC, Tungsten Carbide)**

**6.1.1 Zubereitungsprozesse**

Hochtemperatur-Karbonisierungsverfahren (Wolframpulver-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Karbonisierung) Gasphasen-Karbonisierungsverfahren (chemische Gasdampfreaktion) Plasmasyntheseverfahren (Herstellung ultrafeiner Partikel)

### 6.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 6.1.3 Thermische und chemische Stabilität

### 6.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

## 6.2 Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid)

### 6.2.1 Vorbereitungsprozesse

Hochtemperaturnitridierungsverfahren

(Wolframpulvernitridierung) Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD oder PVD)

### 6.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 6.2.3 Thermische und chemische Stabilität

### 6.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

## 6.3 Andere Wolframcarbide und -nitride

### 6.3.1 Vorbereitungsprozesse

Kontrolliertes Karbonisierungsverfahren für Wolframkarbid

( $W_2C$ , Wolframkarbid) Kohlenstoff-Stickstoff-Co-Diffusionsmethode für Wolframcarbonitrid

( $WC_{1-x}N_x$ , Wolframcarbonitrid)

### 6.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 6.3.3 Thermische und chemische Stabilität

### 6.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Informationsquellen

Referenzen

## Kapitel 7

### Herstellung und Anwendungen von Wolframsulfiden und Phosphide

## 7.1 Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid)

### 7.1.1 Vorbereitungsprozesse

Hochtemperatur-Sulfidierungsverfahren (Wolframpulversulfidierung) Chemische Gasphasenabscheidungsmethode (CVD) Mechanisches Exfoliationsverfahren (Herstellung von Nanoblättern)

### 7.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 7.1.3 Thermische und chemische Stabilität

### 7.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

## 7.2 Tungsten Phosphide (WP, Tungsten Phosphide)

### 7.2.1 Vorbereitungsprozesse

Hochtemperatur-Phosphidierungsverfahren

(Wolframpulverphosphidierung) Chemisches Reduktionsverfahren (Oxidphosphidierung)

### 7.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 7.2.3 Thermische und chemische Stabilität

### 7.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

## 7.3 Sonstige Wolframsulfide und Phosphide

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 7.3.1 Vorbereitungsprozesse

Kontrolliertes Sulfidierungsverfahren für Wolframtrisulfid  
( $W_2S_3$ , Wolframtrisulfid) Hochtemperatur-Phosphidierungsverfahren für  
Wolframdiphosphid  
( $WP_2$ , Wolframdiphosphid)

### 7.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

### 7.3.3 Thermische und chemische Stabilität

### 7.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Informationsquellen

Referenzen

## Kapitel 8

### Herstellung und Anwendungen von metallorganischen Wolframverbindungen

#### 8.1 Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl)

##### 8.1.1 Zubereitungsprozesse

Hochdruck-Carbonylierungsverfahren (Wolframpulver-Carbonylierung) Reduktives  
Carbonylierungsverfahren (Halogenidreduktion) Gasphasen-Syntheseverfahren  
(hochreine Zubereitung)

##### 8.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

##### 8.1.3 Thermische und chemische Stabilität

##### 8.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

#### 8.2 Wolframzeindichlorid ( $Cp_2WCl_2$ , Wolframendichlorid)

##### 8.2.1 Vorbereitungsprozesse

Halogenid-Koordinationsmethode (Wolframhexachlorid-Reaktion) Reduktive  
Koordinationsmethode (Wolframtrioxid-Substrat)

##### 8.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

##### 8.2.3 Thermische und chemische Stabilität

##### 8.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

#### 8.3 Sonstige metallorganische Wolframverbindungen

##### 8.3.1 Vorbereitungsprozesse

Carbonyl-Koordinationsmethode für Wolframnozän-Tetracarbonyl  
( $CpW(CO)_4$ , Wolfram-Tetracarbonyl) Alkylierungsverfahren für Hexamethylwolfram  
( $W(CH_3)_6$ , Hexamethylenwolfram)

##### 8.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

##### 8.3.3 Thermische und chemische Stabilität

##### 8.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Informationsquellen

Referenzen

## Kapitel 9

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Herstellung und Anwendungen von wolframhaltigen Katalysatoren und Reagenzien

### 9.1 Phosphotungstungssäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungstungssäure)

#### 9.1.1 Zubereitungsprozesse

Methode der sauren Fällung (Wolframatreaktion)Extraktion, Reinigungsverfahren (Lösungsextraktion)Ionenaustauschverfahren (hochreine Zubereitung)

#### 9.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

#### 9.1.3 Thermische und chemische Stabilität

#### 9.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

### 9.2 Silikotungstungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungstungssäure)

#### 9.2.1 Vorbereitungsprozesse

Säurereaktionsverfahren (Natriumsilikat- und Wolframatreaktion)Extraktionsverfahren (Lösungsreinigung)

#### 9.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

#### 9.2.3 Thermische und chemische Stabilität

#### 9.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

### 9.3 Sonstige wolframhaltige Katalysatoren und Reagenzien

#### 9.3.1 Vorbereitungsprozesse

Festphasenreaktionsverfahren für Zinkwolframat ( $ZnWO_4$ , Zinkwolframat)Neutralisationsverfahren für Ammoniumwolframat ( $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumwolframat)

#### 9.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

#### 9.3.3 Thermische und chemische Stabilität

Informationsquellen

Referenzen

## Kapitel 10

### Aufbereitung und Anwendungen von wolframhaltigen pharmazeutischen Chemikalien

### 10.1 Natriumwolframat-Nanopartikel

( $Na_2WO_4$  Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel)

#### 10.1.1 Vorbereitungsprozesse

Lösungsfällungsverfahren (Natriumwolframatfällung)Mikroemulsionsverfahren (Partikelgrößenkontrolle)Solvothermes Verfahren (hochreine Präparation)

#### 10.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

#### 10.1.3 Thermische und chemische Stabilität

#### 10.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

### 10.2 Polyoxotungstungssäure-Nanopartikel (Polyoxotungstungssäure-Nanopartikel)

#### 10.2.1 Vorbereitungsprozesse

Lösungspolymerisationsverfahren (Wolframatpolymerisation)

Nanoemulsionsverfahren (Partikelgrößenkontrolle)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**10.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

**10.2.3 Thermische und chemische Stabilität**

**10.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

**10.3 Sonstige wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien**

**10.3.1 Vorbereitungsprozesse**

Fällungsverfahren für Calciumwolframat-Nanopartikel

(CaWO<sub>4</sub> Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel)

Wolframtrioxid-Nanopartikel

**10.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

Calciumwolframat-Nanopartikel

**10.3.3 Thermische und chemische Stabilität**

Calciumwolframat-Nanopartikel

**10.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

Calciumwolframat-Nanopartikel

Informationsquellen

Referenzen

**Kapitel 11**

**Vorbereitung und Anwendung von  
Sonstige wolframhaltige nichtmetallische Verbindungen**

**11.1 Wolframdiselenid (WSe<sub>2</sub>, Wolframdiselenid)**

**11.1.1 Vorbereitungsprozesse**

Hochtemperatur-Selenisierungsverfahren (Wolframpulver-Selenisierung)

Chemisches Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD)

Mechanisches Exfoliationsverfahren (Monolayer-Vorbereitung)

**11.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

**11.1.3 Thermische und chemische Stabilität**

**11.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

**11.2 Wolframditellurid (WTe<sub>2</sub>, Wolframditellurid)**

**11.2.1 Vorbereitungsprozesse**

Hochtemperatur-Tellurisierungsverfahren (Wolframpulver-Tellurisierung) Chemisches Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD)

**11.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

**11.2.3 Thermische und chemische Stabilität**

**11.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

**11.3 Sonstige wolframhaltige nichtmetallische Verbindungen**

**11.3.1 Vorbereitungsprozesse**

Jodierungsmethode für Wolframdiiodid

(WI<sub>2</sub>, Wolframdiiodid) Bromierungsverfahren für Wolframdibromid

(WBr<sub>2</sub>, Wolframdibromid)

**11.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

**11.3.3 Thermische und chemische Stabilität**

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

#### 11.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Informationsquellen

Referenzen

### Kapitel 12

#### Umweltauswirkungen und Recycling von Wolframchemikalien

##### 12.1 Überblick über die Umweltauswirkungen von Wolframchemikalien

###### 12.1.1 Umweltauswirkungen von Bergbau und Produktion

###### 12.1.2 Umweltauswirkungen von Nutzung und Entsorgung

###### 12.1.3 Umweltvorschriften und -management

##### 12.2 Recyclingtechnologien für Wolframchemikalien

###### 12.2.1 Hydrometallurgische Recyclingtechnik

###### 12.2.2 Pyrometallurgische Recyclingtechnologie

###### 12.2.3 Elektrochemische

###### Recyclingtechnologie

##### 12.3 Anwendungen von recycelten Wolframchemikalien

###### 12.3.1 Industrielle Wiederverwendung

###### 12.3.2 Wissenschaftliche Forschung und neu entstehende Bereiche

###### 12.3.3 Vorteile für die Umwelt

Referenzen

### Kapitel 13

#### Nachtrag

#### Umfassende Auslassungen und Erweiterungen von Wolframchemikalien

##### 13.1 Umfassender Überblick über weggelassene Wolframchemikalien

###### 13.1.1 Identifizierung und Hintergrund der weggelassenen Verbindungen

###### 13.1.2 Methodik für die Inferenz und Validierung von Verbindungen

##### 13.2 Wolframdisilizid ( $WSi_2$ , Wolframdisilizid)

###### 13.2.1 Vorbereitungsprozesse

Hochtemperatur-Silizidierungsverfahren  
Chemisches Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD)

###### 13.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

###### 13.2.3 Thermische und chemische Stabilität

###### 13.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

###### 13.2.5 Anwendungen und Hintergrund

##### 13.3 Wolframborid (WB, Wolframborid)

###### 13.3.1 Vorbereitungsprozesse

Hochtemperatur-Boridierungsmethode  
Plasmasynthese Methode

###### 13.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

###### 13.3.3 Thermische und chemische Stabilität

###### 13.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

###### 13.3.5 Anwendungen und Hintergrund

##### 13.4 Sonstige weggelassene und abgeleitete Verbindungen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 13.4.1 Wolframdicyanid ( $W(CN)_2$ , Wolframdicyanid)
  - 13.4.2 Wolframdigermanid ( $WGe_2$ , Wolframdigermanid)
  - 13.4.3 Wolframdiarsenid ( $WAs_2$ , Wolframdiarsenid)
  - 13.4.4 Wolframmolybdat ( $WMoO_4$ , Wolframmolybdat)
  - 13.4.5 Validierung und Verifizierung
- Informationsquellen  
Referenzen

## Anhang

### Liste der Wolframchemikalien und -verbindungen, die im Buch vorgestellt werden

1. Tungsten Oxides
2. Wolframsäuren und Wolframate
3. Halogenide des Wolframs
4. Karbide und Nitride
5. Sulfide und Phosphide des Wolframs
6. Selenide und Telluride des Wolframs
7. Silizide und Germanide des Wolframs
8. Boride und Arsenide des Wolframs
9. Metallorganische Verbindungen von Wolfram
10. Wolframhaltige Katalysatoren und Reagenzien von Wolfram
11. Wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien aus Wolfram

## Kapitel 14:

### Sicherheit bei der Herstellung und Verwendung von Wolfram

#### 14.1 Sicherheitsstandards in der chemischen Wolframproduktion

##### 14.1.1 Risikobewertung im Produktionsprozess

###### 14.1.1.1 Risiken des Hochtemperatur- und Hochdruckbetriebs Maßnahmen zur Risikominderung

###### 14.1.1.2 Kontrolle der Emissionen giftiger Gase Maßnahmen zur Minderung

##### 14.1.2 Sicherheitseinrichtungen und Schutzmaßnahmen

###### 14.1.2.1 Lüftungs- und explosionsgeschützte Anlagen Umsetzungsempfehlungen

###### 14.1.2.2 Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

Vorsichtsmaßnahmen

##### 14.1.3 Internationale Sicherheitsnormen und -vorschriften

###### 14.1.3.1 OSHA- und ECHA-Normen

Compliance-Tipps

###### 14.1.3.2 Chinesische Produktionsstandards für Sicherheitsprodukte

Tipps zur Implementierung

Trinkgeld

#### 14.2 Sicherheitsmanagement bei der Verwendung von Wolframchemikalien

##### 14.2.1 Sicherheitsrichtlinien für den industriellen Einsatz

###### 14.2.1.1 Anforderungen an Lagerung und Transport

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verfahren

**14.2.1.2 Abfallwirtschaft und Reaktion auf Verschüttungen**

Notfallprotokoll

**14.2.2 Sicherheitsvorkehrungen im Laborgebrauch**

**14.2.2.1 Umgang mit Reagenzien und Abfallwirtschaft**

Sicherheitstipps

**14.2.3 Biologische Sicherheit in medizinischen Anwendungen**

**14.2.3.1 Bewertung der Toxizität von Wolframat-Arzneimitteln**

Sicherheitsverfahren

Trinkgeld

**14.3 Typische Sicherheitsdatenblattproben für wichtige Wolframchemikalien**

**14.3.1 Tungsten Trioxide (WO<sub>3</sub>, Tungsten Trioxide) MSDS**

**14.3.1.1 Chemische Identifizierung und Zusammensetzung**

**14.3.1.2 Gefahrenübersicht**

**14.3.1.3 Anforderungen an Handhabung und Lagerung**

**14.3.1.4 Notfallmaßnahmen**

**14.3.2 Tungsten Carbide (WC, Tungsten Carbide) MSDS**

**14.3.2.1 Chemische Identifizierung und Zusammensetzung**

**14.3.2.2 Gefahrenübersicht**

**14.3.2.3 Anforderungen an Handhabung und Lagerung**

**14.3.2.4 Sofortmaßnahmen**

**14.3.3 Natriumwolframmat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframmat) Sicherheitsdatenblatt**

**14.3.3.1 Chemische Identifizierung und Zusammensetzung**

**14.3.3.2 Gefahrenübersicht**

**14.3.3.3 Anforderungen an Handhabung und Lagerung**

**14.3.3.4 Notfallmaßnahmen**

**14.3.4 Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid) Sicherheitsdatenblatt**

**14.3.4.1 Chemische Identifizierung und Zusammensetzung**

**14.3.4.2 Übersicht über die Gefahren**

**14.3.4.3 Anforderungen an Handhabung und Lagerung**

**14.3.4.4 Sofortmaßnahmen**

**14.3.5 Sicherheitsdatenblattproben für andere wichtige Wolframchemikalien (z. B. APT, WS<sub>2</sub>)**

Referenz-Tipp

**14.4 Zukünftige Entwicklungen in der chemischen Sicherheitstechnik aus Wolfram**

**14.4.1 KI-Anwendungen in der Sicherheitsproduktion**

**14.4.2 Trends in der grünen Sicherheitstechnik**

Aussicht

Informationsquellen

Referenzen

**Handbuch für chemische Sicherheit OSHA, Washington, D.C.**

**Neueste Ausgabe**

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## 1. Einleitung und Zweck

Objektiv

Umfang

Rechtsgrundlage

## 2. Definition und Identifizierung gefährlicher Chemikalien

Definition

Identifizierung

Beispiel

## 3. Risikobewertung und Kontrollmaßnahmen

Risiken bei hohen Temperaturen und hohem Druck

Steuerung

Emissionen giftiger Gase

Steuerung

Evaluationsmethoden

## 4. Kennzeichnung und Sicherheitsdatenblätter (SDB)

Anforderungen an die Etikettierung:

SDS-Form

Beispiel

## 5. Schulung und Weiterbildung von Mitarbeitern

Inhalt

Frequenz

Beispiel

## 6. Notfallreaktion und Incident Management

Reaktionen auf das Spiel:

Erste Hilfe:

Berichtend

## 7. Einhaltung und Inspektionen

Anforderungen

Strafen

Beispiel

Wolframspezifische Beispiele

Tungsten Trioxide ( $WO_3$ )

Wolframhexafluorid ( $WF_6$ )

## Wolframchemie MSDS (mehrsprachig) ECHA, Helsinki Neueste Ausgabe

1. Angabe des Stoffes/Gemischs und des Unternehmens/Unternehmens
2. Identifizierung von Gefahren
3. Zusammensetzung/ Angaben zu den Inhaltsstoffen
4. Erste-Hilfe-Maßnahmen
5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung
6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung
7. Handhabung und Lagerung

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Expositionsbegrenzung/Persönlicher Schutz
9. Physikalische und chemische Eigenschaften
10. Stabilität und Reaktivität
11. Toxikologische Informationen
12. Ökologische Informationen
13. Überlegungen zur Entsorgung
14. Informationen zum Transport
15. Regulatorische Informationen
16. Sonstige Informationen

### **Weitere Beispiele für chemisches Sicherheitsdatenblatt aus Wolfram (Abgekürzt)**

Wolframkarbid (WC)

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ )

Wolframhexafluorid ( $\text{WF}_6$ )

## **Kapitel 15**

### **Kontroll- und Steuerpolitik für die Wolframindustrie Weltweit, mit Fokus auf China,**

### **Einschließlich Europa, den Vereinigten Staaten, Japan und Südkorea**

#### **15.1 Überblick über die Richtlinien der Wolframindustrie**

##### **15.1.1 Globale strategische Bedeutung der Wolframindustrie**

##### **15.1.2 Politische Ziele und wesentliche Unterschiede zwischen den Ländern**

China

USA

Europäische Union

Japan und Südkorea

#### **15.2 Explorations- und Bergbaupolitik**

##### **15.2.1 Chinas Explorations- und Bergbaupolitik**

Explorations-Richtlinien

Bergbau-Richtlinien

Regulatorische Durchsetzung und Fallstudie

Anforderungen an die Umwelt

##### **15.2.2 Explorations- und Bergbaupolitik in Europa und den Vereinigten Staaten**

USA

Europäische Union:

##### **15.2.3 Explorations- und Bergbaupolitik in Japan und Südkorea**

Japan

Südkorea

#### **15.3 Richtlinien für die Verhüttung und Produktionsverarbeitung**

##### **15.3.1 Chinas Verhüttungs- und Produktionsverarbeitungs politik**

##### **15.3.2 Politik der Verhüttung und Produktionsverarbeitung in Europa und den**

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Vereinigten Staaten

USA

Europäische Union

### 15.3.3 Politik der Verhüttung und Produktionsverarbeitung in Japan und Südkorea

Japan

Südkorea

## 15.4 Import- und Exportrichtlinien und -kontrollen

### 15.4.1 Chinas Import- und Exportpolitik

Richtlinien für die Exportkontrolle

Spezifische Maßnahmen

Vorschriften für Güter mit doppeltem Verwendungszweck

Importieren von Richtlinien

Tarifpolitik

Weitere Details

### 15.4.2 Import- und Exportpolitik in Europa und den Vereinigten Staaten

USA

Europäische Union

### 15.4.3 Import- und Exportpolitik in Japan und Südkorea

Japan

Südkorea

## 15.5 Steuerpolitik

### 15.5.1 Chinas Steuerpolitik

### 15.5.2 Steuerpolitik in Europa und den Vereinigten Staaten

USA

Europäische Union

### 15.5.3 Steuerpolitik in Japan und Südkorea

Japan

Südkorea

Informationsquellen

## Referenzen

**Liste der Wolframerzeugnisse, die gemäß der Ausfuhrkontrollliste für Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck der Volksrepublik China der Ausfuhrkontrolle unterliegen**

### Exportkontrollliste für Wolframprodukte

Die Verwaltungsmaßnahmen für Ausfuhrgenehmigungen für Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck HS

### Anhang: Wichtigste Industrienormen für Wolframchemikalien

#### Wichtige Industriestandards für Wolframchemikalien und -verbindungen in den USA

1. ASTM D7047-15 (Standardprüfverfahren für die Analyse von Wolframaten)
2. ASTM E236-66 (2017) (Standardspezifikation für die chemische Analyse von Wolfram)
3. OSHA PEL (29 CFR 1910.1000) Grenzwerte für berufsbedingte Exposition

#### Wichtigste Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen in der EU

1. EN 10204:2004 Metallische Produkte - Arten von Prüfdokumenten

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



2. REACH Anhang XVII (EG 1907/2006) Registrierung und Beschränkung von Wolfram  
**Die wichtigsten Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen in Japan**

1. JIS H 1404:2001 (Verfahren zur chemischen Analyse von Wolfram)
2. JIS K 8962:2008 (Natriumwolframat)

**Wichtigste Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen in Südkorea**

1. KS M 6891:2018 (Wolframoxide)
2. KS M 6893:2018 (Wolframen)

**Internationale wichtige Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen**

1. ISO 11876:2010 Bestimmung des Sauerstoffgehalts in Wolframpulver
2. ISO 6892-1:2016 Metallische Werkstoffe - Chemische Analytik

Ergänzende Anmerkungen

Datenquellen:

Globale Perspektive:

**Chinas Standards für Wolframchemikalien und -verbindungen**

1. GB / T 10116-2007 Wolframtrioxid
2. GB/T 23365-2009 Ammoniumparawolframat (APT)
3. HG/T 2959-2010 Natriumwolframat
4. HG/T 2469-2010 Wolframsäure
5. GBZ 2.1-2019 Arbeitsplatzgrenzwerte für Gefahrstoffe am Arbeitsplatz

**Japan Wichtige Industriestandards für Wolframchemikalien und -verbindungen**

1. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析  
(Methoden zur chemischen Analyse von Wolfram)
2. JIS K 8962:2008 タングステン酸ナトリウム (Natriumwolframat)

韓国タングステン化学用品および化合物主要産業基準 (Übersetzt ins Koreanische)

1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Wolframoxide)
2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Wolframate)

**Liste wolframhaltiger Verbindungen:**

**CAS-Nummern, chemische Formeln und Eigenschaften**

1. Oxide von Wolfram
2. Wolframsäuren und Wolframate
3. Halogenide des Wolframs
4. Sulfide und Selenide des Wolframs
5. Telluride des Wolframs
6. Silizide
7. Arsenide des Wolframs
8. Metallorganische Verbindungen
9. Wolframhaltige Katalysatoren und Reagenzien

**Liste der Geräte, Spezifikationen, Funktionsbeschreibungen,  
Vorteile und Nachteile  
für die chemische Produktion von Wolfram**

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

1. Erzaufbereitungs- und Vorbehandlungsausrüstung
2. Schmelz- und chemische Reaktionsausrüstung
3. Raffinerie- und Trennanlagen
4. Trocknungs- und Nachbearbeitungsgeräte
5. Hilfs- und Umweltausrüstung

### Informationsquellen

Quellen: *Chemical Safety Handbook* (Englisch, OSHA), *MSDS-Leitfaden für Wolframchemikalien* (mehrsprachig, ECHA), *Safety Production Technology* (Chinesisch, Chinatungsten Online)

Hauptproduzenten: China Minmetals, H.C. Starck (Deutschland), Kennametal (USA)

ANHANGA. Wichtige Industrienormen für Wolframchemikalien  
B. Tabelle der chemischen Formeln und Eigenschaften wolframhaltiger Verbindungen  
C. Spezifikationen von Anlagen für die Herstellung von Wolframchemikalien

### Referenzen

*Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990

*Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005

*Grundlagen der Wolframchemie* - H.C. Starck GmbH, München, 1998

*Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000

*Chemie der Wolframat* (französisch) - Institut für Chemie, Universität Paris, Paris, 1995

*Optische Eigenschaften von Wolfram* (japanisch) - Forschungsbericht der Toshiba Corporation, Tokio, 2010

*Studien zu Wolframhalogeniden* (Japanisch) - Toshiba Chemical Research Institute, Tokio, 2008

*Industrielle Anwendungen von  $WF_6$*  (Koreanisch) - Samsung Electronics Research Institute, Seoul, 2015

*Industriegeschichte von WC* - Krupp AG, Essen, 1985

*Organotungstenchemie* (Englisch) - Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston, 2002

*Studien über Wolframkatalysatoren* (russisch) - Moskauer Institut für Chemische Technologie, Moskau, 2012

*Pharmazeutische Anwendungen von Wolfram* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018

*Wolfram Chemische Industrie* (Chinesisch) - Chinatungsten Online Redaktion, Peking, 2020

*Industrielle Anwendungen von APT* (Chinesisch) - China Tungsten Industry Association (CTIA), Peking, 2019

*Umwelttechnologien in der Wolframindustrie* (Chinesisch) - China Tungsten Industry Association (CTIA), Peking, 2021

*Globales Wolfram-Recycling* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2020

*Handbuch zur Chemikaliensicherheit* (Englisch) - Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Washington, D.C., 2015

*MSDS-Leitfaden für Wolframchemikalien* (mehrsprachig) - Europäische Chemikalienagentur (ECHA), Helsinki, 2020

*Safety Production Technology* (Chinesisch) - Chinatungsten Online Redaktion, Peking, 2022

*Nichtmetallische Wolframverbindungen* (Chinesisch) - Chinatungsten Online, Peking, 2021

### Webseiten

Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Chinesischer Verband der Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

Chinatungsten Online Öffentliches WeChat-Konto: "Chinatungsten Online"

USGS-Mineralressourcen: [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Kapitel 1: Überblick über Wolfram

#### 1.1 Entdeckung und Geschichte von Wolfram

Wolfram (W, Wolfram) (Elementsymbol W) blickt auf eine jahrhundertelange Entdeckungs- und Forschungsgeschichte zurück, die sich von der frühen unbewussten Nutzung bis hin zur systematischen wissenschaftlichen Erforschung entwickelt hat und das allmähliche Verständnis der Menschheit für dieses Metall mit hohem Schmelzpunkt widerspiegelt. Im Folgenden sind die wichtigsten Meilensteine und Ereignisse bei der Entdeckung und historischen Entwicklung von Wolfram (W, Wolfram) aufgeführt.

##### 1.1.1 Kurze Geschichte der Entdeckungen

Die Entdeckung von Wolfram (W, Wolfram) erfolgte nicht sofort, sondern erforderte einen langwierigen Prozess von der Mineralerkennung bis zur Elementisolierung.

##### 1.1.1.1 Erste Entdeckung durch den schwedischen Chemiker Cronstedt (1755, Schwedische Literatur)

Im Jahr 1755 entdeckte der schwedische Mineraloge Axel Fredrik Cronstedt bei der Untersuchung des Eisenerzes in Bispberg, Schweden, ein ungewöhnlich schweres weißes Mineral. Er nannte es "Wolfram" (schwedisch für "schwerer Stein"), später bekannt als

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Scheelit \(CaWO<sub>4</sub>, Scheelit\)](#). Cronstedt isolierte das Wolframelement (W, Wolfram) nicht, aber er stellte fest, dass die Dichte des Minerals die der üblichen Mineralien bei weitem übertraf, und zeichnete seine Eigenschaften zum ersten Mal in der schwedischen Literatur auf [1]. Diese Entdeckung markierte den Beginn des Einzugs von Wolfram (W, Wolfram) in den wissenschaftlichen Bereich.

### Trinkgeld

Zu dieser Zeit bezog sich "Wolfram" ausschließlich auf das Mineral und wurde nicht als neues Element erkannt, dessen chemische Eigenschaften noch unbekannt waren.

#### 1.1.1.2 Scheeles Isolierung der Wolframsäure (1781, deutsche Literatur)

Im Jahr 1781 führte der renommierte schwedische Chemiker Carl Wilhelm Scheele eine eingehende Analyse von Scheelit (CaWO<sub>4</sub>, Scheelit) durch. Mittels Säurebehandlung (Salpetersäure) extrahierte er aus dem Mineral eine weiße pulverförmige Substanz, die er [Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure)](Wolframsäure) nannte. Scheele beschrieb in der deutschen Literatur ausführlich seine chemischen Reaktionseigenschaften und spekulierte, dass es mit einem unbekanntem Metall in Verbindung gebracht werden könnte [2]. Sein Mentor, Torbern Bergman, schlug vor, Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) mit Holzkohle zu reduzieren, um das Metall herzustellen, was jedoch aufgrund technologischer Einschränkungen nicht erreicht wurde.

### Kennzahl

Scheele, bekannt für seine außergewöhnlichen chemischen Trenntechniken, legte den Grundstein für die spätere Entdeckung von Wolfram (W, Wolfram).

**TippWolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure)** wurde zu einem entscheidenden Ausgangspunkt für die chemische Forschung zu Wolfram (W, Wolfram) und diente später als wichtiges Zwischenprodukt bei der Herstellung anderer Wolframchemikalien wie Wolframtrioxid.

#### 1.1.1.3 Die Reinigung des Wolframmetalls durch die Gebrüder Elhuyar (1783, spanische Literatur)

Im Jahr 1783 vollendeten die spanischen Chemiker Juan José Elhuyar und Fausto Elhuyar die Isolierung von Wolfram (W, Wolfram) am Seminar von Vergara. Sie extrahierten Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) aus [Wolframit \(\(Fe,Mn\)WO<sub>4</sub>, Wolframit\)](#) und reduzierten sie erfolgreich mit Holzkohle bei hohen Temperaturen, um metallisches Wolframpulver (W, Wolfram) herzustellen. Sie nannten ihn in der spanischen Literatur "Wolfram", abgeleitet von dem deutschen Bergmannsbegriff "Wolfsschaum" für Wolframit ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframit), da er die Zinnverhüttung beeinträchtigte [3].

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Kennzahlen

Die Brüder Elhuyar, Pioniere in der Mineralogie und Chemie, etablierten formell Wolfram (W, Wolfram) als eigenständiges Element.

## Land

Spanien nimmt einen bedeutenden Platz in der Geschichte der Entdeckung von Wolfram (W, Wolfram) ein.

## Trinkgeld

Dies war die erste Isolierung von metallischem Wolfram (W, Wolfram) und der Beginn der Geschichte seiner angewandten Forschung.

### 1.1.2 Benennung und mehrsprachige Bezeichnungen von Wolfram

Die Benennung von Wolfram (W, Wolfram) spiegelt seine multikulturelle Entdeckung wider. Der schwedische Begriff "tungsten" (schwerer Stein) stammt von Cronstedts Beschreibung, was seine hohe Dichte hervorhebt, während der deutsche und spanische Begriff "wolfram" von den Gebrüdern Elhuyar geprägt wurde, verwurzelt im historischen Namen Wolframit ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframit). Heute ist "tungsten" der englische und international akzeptierte Name (Elementsymbol W), während "wolfram" im Deutschen, Spanischen und anderen europäischen Sprachen nach wie vor weit verbreitet ist. Im Chinesischen setzt sich "钨" (Wolfram) aus "金" (Metall) und "乌" (schwarz) zusammen und symbolisiert seine metallische Natur und sein dunkles Aussehen [4].

## Trinkgeld

Die mehrsprachigen Namensvarianten unterstreichen den internationalen Charakter der Entdeckung von Wolfram (W, Wolfram), und Beschaffungsmanager sollten mit diesen Begriffen vertraut sein, um eine effektive Lieferantenkommunikation im globalen Handel zu gewährleisten.

### 1.1.3 Frühe industrielle Anwendungen (19. Jahrhundert, englische und französische Literatur)

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts, als die industrielle Revolution voranschritt, begannen die Eigenschaften von Wolfram (W, Wolfram) an Anerkennung zu gewinnen. Im Jahr 1841 patentierte der britische Chemiker Robert Dickinson Oxland die Herstellung von [Natriumwolframat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat)](Natriumwolframat), Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) und Wolframmetall (W, Wolfram) und markierte damit einen ersten Schritt zur Industrialisierung von Wolframchemikalien [5]. Bis 1847 wurde Natriumwolframat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat) zum Färben von Baumwollstoffen und zum Brandschutz von Theaterkostümen verwendet und wurde zu einer der frühesten industriellen Anwendungen von Wolframchemikalien (W, Wolfram). Diese frühen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bemühungen wurden in der englischen und französischen Literatur dokumentiert und verdeutlichen den Übergang von Wolfram (W, Wolfram) vom Labor zur Industrie [6].

## Trinkgeld

Industrielle Anwendungen des 19. Jahrhunderts legten den Grundstein für die Kommerzialisierung von Wolfram (W, Wolfram), insbesondere im chemischen Bereich, wobei Anwendungen wie Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) für den Brandschutz auch heute noch relevant sind.

## 1.2 Natürliches Vorkommen von Wolfram

Wolfram (W, Wolfram) kommt in der Natur hauptsächlich in Form von Mineralien vor, und seine Verteilung und Gewinnung sind für die industrielle Herstellung von Wolframchemikalien (W, Wolfram) von entscheidender Bedeutung.

### 1.2.1 Arten und Verteilung der globalen Wolframminerale

Wolframminerale (W, Wolfram) sind vielfältig und umfassen hauptsächlich die folgenden:

#### 1.2.1.1 Wolframit

Wolframit ( $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ , Wolframit) ist ein Eisen-Mangan-Wolframat mit schwarzem oder dunkelbraunem Aussehen, das als eines der primären Erze des Wolframs (W, Wolfram) dient. Er wurde "Wolfram" genannt und erhielt von deutschen Bergleuten den Spitznamen "Wolfsschaum" aufgrund des Schaums, den er bei der Zinnverhüttung produzierte.

#### 1.2.1.2 Scheelit

Scheelit ( $\text{CaWO}_4$ , Scheelit) ist ein Calciumwolframat, das weiß oder hellgelb erscheint und von den Schweden wegen seiner hohen Dichte als "schwerer Stein" bezeichnet wurde. Es fluoresziert unter ultraviolettem Licht blau und wird häufig zur Extraktion von Wolframsäure ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , Wolframsäure) verwendet.

#### 1.2.1.3 Sonstige kleinere Wolframminerale (z. B. Hübnerit)

Weitere Wolframminerale (W, Wolfram) sind Hübnerit ( $\text{MnWO}_4$ , Hübnerit) und Ferberit ( $\text{FeWO}_4$ , Ferberit), beides Varianten von Wolframit ( $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ , Wolframit). Diese sind weniger verbreitet, werden aber in bestimmten Regionen wie den Vereinigten Staaten und Bolivien abgebaut.

## Trinkgeld

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframit ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframit) und Scheelit (CaWO<sub>4</sub>, Scheelit) sind die Hauptrohstoffe für die industrielle Herstellung von [Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid)](Wolframtrioxid) und [Ammoniumparawolframat (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Ammoniumparawolframat)](Ammoniumparawolframat), und die Beschaffung sollte sich auf deren Gehalt und Verunreinigungsgehalt konzentrieren.

### 1.2.2 Wichtigste Erzeugerländer und Reserven

Wolfram (W, Wolfram) ist ein seltenes Metall, dessen Reserven und Produktion sich auf einige wenige Länder konzentrieren:

#### 1.2.2.1 China (ca. 60 % der weltweiten Reserven)

China verfügt über die weltweit größten Wolframreserven (W, Wolfram) (ca. 1,9 Millionen Tonnen, was etwa 60 % der weltweiten Gesamtproduktion entspricht) und Produktion (rund 80 % der weltweiten Produktion im Jahr 2023), wobei wichtige Abbaugelände in der Region Nanling Wolframit ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframit) und Scheelit (CaWO<sub>4</sub>, Scheelit) produzieren [7].

#### 1.2.2.2 Russland, Vietnam, Kanada, Australien und andere

Russland (Fernost, Reserven rund 250.000 Tonnen), Vietnam (Nui Phao-Mine, eine wichtige globale Quelle für Wolframit ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframit)), Kanada (Cantung-Mine) und Australien (King Island-Mine) sind ebenfalls bedeutende Wolframproduzenten (W, Wolfram), obwohl ihre Produktion weit unter der Chinas liegt [7].

### 1.2.3 Wichtige Wolframabbaugelände

#### Nanling, China

Einschließlich Ganzhou (Jiangxi) und Zhuzhou (Hunan) ist dies der weltweit größte Wolfram-Bergbaugürtel (W, Wolfram), der Wolframit ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframit) und Scheelit (CaWO<sub>4</sub>, Scheelit) liefert.

**Russischer Fernost** **Hauptsächlich Produktion von Wolframit ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframit)** für den nationalen und internationalen Markt.

**Andere Regionen** **Wie Bolivien (Llallagua-Mine) und Portugal (Panasqueira-Mine)**, wo kleinerer Bergbau stattfindet.

#### Trinkgeld

Chinas Dominanz bei Wolframressourcen (W, Wolfram) macht es zum weltweit führenden Produzenten von Ammoniumparawolframat (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Ammoniumparawolframat) und Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid), und bei der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beschaffung sollten Exportkontrollrichtlinien (z. B. Chinas Beschränkungen für Wolframverbindungen bis 2025) berücksichtigt werden.

### 1.3 Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolfram

Die einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften von Wolfram (W, Wolfram) machen es in Industrie und Forschung hoch geschätzt.

#### 1.3.1 Physikalische Eigenschaften (Schmelzpunkt 3410°C, Dichte 19,25 g/cm<sup>3</sup>)

Wolfram (W, Wolfram) verfügt über den höchsten Schmelzpunkt (3410°C) und eine extrem hohe Dichte (19,25 g/cm<sup>3</sup>), die nur von wenigen Edelmetallen übertroffen wird. Auch seine Härte (Mohs-Skala ca. 7,5) übertrifft die der meisten gängigen Metalle. Diese Eigenschaften wurden durch Experimente von Wissenschaftlern des frühen 19. Jahrhunderts bestätigt, wie z. B. Henry Cavendish in Großbritannien und Joseph-Louis Proust in Frankreich [8].

#### Trinkgeld

Aufgrund seines hohen Schmelzpunkts eignet sich Wolfram (W, Wolfram) ideal für [Wolframkarbidpulver (WC, Wolframkarbidpulver)] (Wolframkarbidpulver) und [Wolframdraht (W-Draht, Wolframdraht)](Wolframdraht), der in Hochtemperaturumgebungen verwendet wird.

#### 1.3.2 Chemische Eigenschaften (Oxidationsstufen +2 bis +6, Korrosionsbeständigkeit)

Wolfram (W, Wolfram) weist mehrere Oxidationsstufen (+2 bis +6) auf, wobei +6 am stabilsten ist, wie bei Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid) zu sehen ist. Es ist bei Raumtemperatur sehr beständig gegen Säuren und Basen, bildet aber in oxidierenden Hochtemperaturatmosphären leicht Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid). Der russische Chemiker Dmitry Mendelejew bestätigte in seinen Studien zum Periodensystem [9] seine Eigenschaften als Übergangsmetall.

#### Trinkgeld

Seine Korrosionsbeständigkeit verleiht Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) und Natriumwolframat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat) Potenzial in chemischen und medizinischen Anwendungen.

#### 1.3.3 Objektbeschreibungen in der mehrsprachigen Literatur (Russisch, Japanisch, Arabisch, etc.)

**Russische Literatur** Russische Gelehrte des 19. Jahrhunderts beschrieben die hohe Härte und Hitzebeständigkeit von Wolfram (W, Wolfram) und hoben sein metallurgisches Potenzial hervor [10].

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



**Japanische Literatur** Japanische Forscher des frühen 20. Jahrhunderts konzentrierten sich auf die elektrische Leitfähigkeit von Wolfram (W, Wolfram) in Elektronik, wie z. B. **Wolframdraht (W-Draht, Wolframdraht)** [11].

**Arabische Literatur** Mineralogische Aufzeichnungen aus dem Nahen Osten wiesen auf die hohe Dichte von Wolframernzen (W, Wolfram) hin [12].

### Trinkgeld

Mehrsprachige Studien unterstreichen das weltweite Interesse an Wolfram (W, Wolfram), und die Beschaffung kann von der Bezugnahme auf nationale Normen profitieren (z. B. Japans JIS-Spezifikationen für Wolframdraht (W-Draht, Wolframdraht)).

## 1.4 Industrieller und wissenschaftlicher Wert von Wolframchemikalien

[Wolframchemikalien (W Chemikalien, Wolframchemikalien)](Wolframchemikalien) sind aufgrund ihrer Vielfalt und hohen Leistungsfähigkeit in Industrie und Forschung unverzichtbar.

### 1.4.1 Überblick über die globale Industrienachfrage

Wolfram (W, Wolfram)-Chemikalien, wie Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid), Wolframcarbidpulver (WC, Tungsten Carbide Powder) und Ammoniumparawolframat (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumparawolframat) sind grundlegende Rohstoffe in der industriellen Produktion. Nach Angaben der International Tungsten Industry Association (ITIA) und des U.S. Geological Survey (USGS) erreichte der weltweite Markt für Wolframprodukte (W, Wolfram) im Jahr 2023 einen Wert von rund 40 Milliarden US-Dollar. Hartlegierungen, die hauptsächlich auf Wolframcarbidpulver (WC, Tungsten Carbide Powder) basieren, machen etwa 50 % dieses Marktes mit einem Wert von 20 Milliarden US-Dollar aus und umfassen Schneidwerkzeuge, Bergbauausrüstung und verschleißfeste Komponenten. Elektronische Materialien wie [Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid)](Wolframhexafluorid) für die Halbleiterherstellung und [Wolframkupfer (W-Cu, Wolframkupfer)](Wolframkupfer)-Legierungen für Kühlkörper machen rund 20 % oder 8 Milliarden US-Dollar aus. Hochtemperaturlegierungen und Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, einschließlich Gegengewichte aus Wolframlegierungen (W-Legierungen, Wolframlegierungen) und Raketendüsen, machen etwa 15 % im Wert von 6 Milliarden US-Dollar aus. Die restlichen 15 %, etwa 6 Milliarden US-Dollar, decken neue Anwendungen im Bereich der erneuerbaren Energien (z. B. [Wolframdraht (W-Draht, Wolframdraht)](Wolframdraht) zum Schneiden von Photovoltaik) und andere industrielle Anwendungen ab. Im Jahr 2023 belief sich der weltweite Wolframverbrauch (W, Wolfram) auf rund 85.000 Tonnen, wobei China etwa 68.000 Tonnen, die Vereinigten Staaten rund 8.000 Tonnen und Europa etwa 6.000 Tonnen beisteuerten, was die dominierende Rolle Chinas in der Wolframindustrie (W, Wolfram)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

unterstreicht. Insbesondere die Nachfrage nach erneuerbaren Energien steigt, wobei der Photovoltaiksektor jährlich rund 500 Tonnen Wolframdraht (W Wire, Tungsten Wire) verbraucht und bis 2030 voraussichtlich auf 800 Tonnen ansteigen wird. In ähnlicher Weise wächst der Bedarf der Nuklearindustrie an Wolframlegierungen (W-Legierung, Wolframlegierung) um etwa 10 % pro Jahr, insbesondere für Komponenten von Fusionsreaktoren [13].

### Trinkgeld

Wolframkarbidpulver (WC, Tungsten Carbide Powder) ist der Eckpfeiler harter Legierungen, und die Beschaffung sollte sich auf seine Partikelgrößenverteilung konzentrieren (z. B. erhöht D50 von 1-5 µm ultrafeinem Pulver die Härte und Verschleißfestigkeit).

### 1.4.2 Wissenschaftliche Bedeutung

Wolframchemikalien (W, Wolfram) werden in der Forschung zur Entwicklung neuer Materialien eingesetzt, wie z. B. [Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid)](Wolframdisulfid) für zweidimensionale Materialstudien, Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) für Halbleiteranwendungen und Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ , Natriumwolframat) für biomedizinisches Potenzial. Im Projekt International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) wird der hohe Schmelzpunkt von Wolfram (W, Wolfram) für plasmafacing materials (PFM) genutzt. Darüber hinaus findet Wolframlegierung (W-Legierung, Wolframlegierung) umfangreiche Anwendung in der Luft- und Raumfahrt [14].

### Trinkgeld

Der wissenschaftliche Wert von Wolframchemikalien (W, Wolfram) treibt die Anwendung von Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) in der Photokatalyse voran, und bei der Beschaffung sollte seine Reinheit und Kristallform priorisiert werden, wie z. B. die monokline Phase, die für Photokatalysatoren besser geeignet ist.

### Informationsquellen

- [1] Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990 [2] Eine kurze Geschichte der Wolframchemie (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referenzen

- [1] Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990 [2] Eine kurze Geschichte der Wolframchemie (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] Studien zur Benennung von Wolfram (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990 [5] Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Englisch) - Royal Society of Chemie, London, 1985[6] Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien  
(Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] Global Tungsten Resource Distribution Report  
(Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] Studien über die physikalischen Eigenschaften von Wolfram (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9]  
Wolfram im Periodensystem (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10]  
Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie (Russisch) - Fakultät für Chemie, Universität Moskau, Moskau, 1890[11]  
Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12]  
Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13]  
2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte (Englisch) - Internationale Vereinigung der Wolframindustrie (ITIA), London, 2023[14]  
Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018  
[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Kapitel 2: Grundlegende Einstufung und Eigenschaften von Wolframchemikalien

#### 2.1 Einstufung von Wolframchemikalien

[Wolframchemikalien \(W, Wolfram\)](#) beziehen sich auf eine Vielzahl von Verbindungen, die aus dem Wolframelement (W, Wolfram) abgeleitet sind und für ihre einzigartigen Eigenschaften wie hohen Schmelzpunkt, hohe Dichte und Korrosionsbeständigkeit geschätzt werden, wodurch sie in Industrie und Forschung weit verbreitet sind. Diese Chemikalien werden auf der Grundlage ihrer chemischen Zusammensetzung und Struktur klassifiziert, was ihre Rolle in verschiedenen technologischen und wissenschaftlichen Bereichen widerspiegelt. Nachfolgend finden Sie eine systematische

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Klassifizierung von [Wolframchemikalien \(W Chemicals, Tungsten Chemicals\)](#).

### 2.1.1 Oxide

Wolframoxide (W, Wolfram) sind Verbindungen, die aus Wolfram (W, Wolfram) und Sauerstoff bestehen und aufgrund ihrer Stabilität und optischen Eigenschaften in der Katalyse, Elektronik und Keramik weit verbreitet sind. Zu den wichtigsten Beispielen gehören:

#### [Tungsten trioxide \(WO<sub>3</sub>, Tungsten Trioxide\)](#)

Ein gelb-grünes Pulver, das stabilste und gebräuchlichste Oxid, das in Photokatalysatoren und elektrochromen Geräten verwendet wird.

#### [Tungsten dioxide \(WO<sub>2</sub>, Tungsten Dioxide\)](#)

Eine braune kristalline Verbindung, die weniger häufig vorkommt und als Zwischenprodukt in elektronischen Materialien dient.

#### [Wolframpentoxid \(W<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Wolframpentoxid\)](#)

Ein nicht-stöchiometrisches Oxid, das hauptsächlich in der Nanomaterialforschung untersucht wird.

#### [Wolframblauoxid \(W<sub>18</sub>O<sub>49</sub> oder W<sub>20</sub>O<sub>58</sub>, Wolframblauoxid\)](#)

Eine blaue Verbindung mit photoelektrischen Eigenschaften, die in Sensoren und optoelektronischen Materialien eingesetzt wird.

### 2.1.2 Wolframsäure und Wolframmat

[Wolframsäure \(H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure\)](#) und ihre Salze, die sogenannten Wolframate, sind wichtige Zwischenprodukte und Funktionsmaterialien in der chemischen Synthese und in industriellen Anwendungen. Beispiele hierfür sind:

#### [Wolframsäure \(H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure\)](#)

Ein gelbes, leicht lösliches Pulver, das als Vorläufer für andere Wolframverbindungen (W, Wolfram) verwendet wird.

#### [Natriumwolframmat \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframmat\)](#)

Eine wasserlösliche, weiße, kristalline Verbindung, die in Brandschutzmaterialien und in der biomedizinischen Forschung eingesetzt wird.

#### [Ammoniumparawolframmat \(APT, \(NH<sub>4</sub>\)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Ammoniumparawolframmat\)](#)

Ein weißes kristallines Material, der primäre Rohstoff für die Herstellung von Wolframpulver (W, Wolfram).

#### [Ammoniummetawolframmat \(\(NH<sub>4</sub>\)<sub>6</sub>H<sub>2</sub>W<sub>12</sub>O<sub>40</sub>, Ammoniummetawolframmat\)](#)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ein Polyoxometallat, das in analytischen Reagenzien und Katalysatoren verwendet wird.

#### Calciumwolframat ( $\text{CaWO}_4$ , Calciumwolframat)

Eine fluoreszierende Verbindung, die in Röntgenbildschirmen und lumineszierenden Materialien verwendet wird.

### 2.1.3 Halogenide

Wolframhalogenide (W, Wolfram) sind flüchtige Verbindungen, die mit Halogenen gebildet werden und für die Dünnschichtabscheidung und organische Synthese unerlässlich sind. Beispiele hierfür sind:

#### Wolframhexachlorid ( $\text{WCl}_6$ , Wolframhexachlorid)

Eine flüchtige Verbindung, die als Katalysator in organischen Reaktionen verwendet wird.

#### Wolframhexafluorid ( $\text{WF}_6$ , Wolframhexafluorid)

Eine gasförmige Verbindung, die in der chemischen Gasphasenabscheidung für die Halbleiterherstellung weit verbreitet ist.

### 2.1.4 Karbide und Nitride

Wolframcarbide und Nitride aus Wolfram (W, Wolfram) sind harte, feuerfeste Materialien, die für ihre Langlebigkeit in industriellen Anwendungen geschätzt werden. Beispiele hierfür sind:

#### Wolframkarbidpulver ( $\text{WC}$ , Wolframkarbidpulver)

Eine Verbindung mit hoher Härte, die in Schneidwerkzeugen und verschleißfesten Beschichtungen verwendet wird.

#### Ditungsten carbide ( $\text{W}_2\text{C}$ , Ditungsten Carbide)

Ein weniger verbreitetes Hartmetall, das in Spezialbeschichtungen verwendet wird.

#### Wolframnitrid ( $\text{WN}$ , Wolframnitrid)

Wird in verschleißfesten Folien und elektronischen Anwendungen verwendet.

### 2.1.5 Sulfide und Phosphide

Wolfram (W, Wolfram)-sulfide und -phosphide zeichnen sich durch ihre Schmierfähigkeit und katalytischen Eigenschaften aus. Beispiele hierfür sind:

#### Wolframdisulfid ( $\text{WS}_2$ , Wolframdisulfid)

Eine Schichtverbindung, die als Festschmierstoff und in der zweidimensionalen Materialforschung verwendet wird.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Tungsten phosphide (WP, Tungsten Phosphide)**

Ein Katalysatormaterial in chemischen Prozessen.

#### **2.1.6 Organotramverbindungen**

Organotramverbindungen zeichnen sich durch Wolfram (W, Wolfram) aus, das an organische Gruppen gebunden ist und in der Katalyse und Synthesechemie wertvoll ist. Beispiele hierfür sind:

#### **Wolframhexacarbonyl (W(CO)<sub>6</sub>, Wolframhexacarbonyl)**

Eine flüchtige metallorganische Verbindung, die in Katalysatoren für die organische Synthese verwendet wird.

#### **2.1.7 Wolframhaltige Katalysatoren und Reagenzien**

Diese Verbindungen nutzen die katalytischen Eigenschaften von Wolfram (W, Wolfram) für den Einsatz in Industrie und Labor. Beispiele hierfür sind:

#### **Phosphotungstensäure (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>, Phosphotungstensäure)**

Eine Heteropolysäure, die als Katalysator in organischen Reaktionen verwendet wird.

#### **2.1.8 Wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien**

Wolframverbindungen (W, Wolfram) mit biomedizinischem Potenzial entstehen in der Forschung. Beispiele hierfür sind:

#### **Natriumwolframat-Nanopartikel**

#### **(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel)**

Untersucht auf antidiabetische Eigenschaften in der nanomedizinischen Forschung.

#### **2.1.9 Sonstige wolframhaltige nichtmetallische Verbindungen**

Diese Kategorie umfasst spezialisierte Verbindungen mit einzigartigen Eigenschaften. Beispiele hierfür sind:

#### **Wolframdiselenid (WSe<sub>2</sub>, Wolframdiselenid)**

Ein Halbleitermaterial, das in der Elektronik und Optoelektronik verwendet wird.

#### **Trinkgeld**

Die Einstufung von Wolframchemikalien (W, Wolfram) spiegelt ihre strukturelle Vielfalt und funktionelle Vielseitigkeit wider und reicht von industriellen Hartlegierungen bis hin zu modernster wissenschaftlicher Forschung.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## 2.2 Grundlegende Eigenschaften von Wolframchemikalien

Wolframchemikalien (W, Wolfram) weisen eine Reihe von physikalischen und chemischen Eigenschaften auf, die ihre weit verbreitete Verwendung untermauern. Im Folgenden sind ihre wichtigsten Merkmale aufgeführt.

### 2.2.1 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Die Kristallstrukturen von Wolframchemikalien (W, Wolfram) variieren je nach Zusammensetzung. Zum Beispiel nimmt Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) typischerweise eine monokline Kristallstruktur an, die seine photokatalytische Aktivität erhöht, wie in deutschen kristallographischen Studien [16] beschrieben. Wolframkarbidpulver (WC, Tungsten Carbide Powder) bildet eine hexagonale Struktur, die zu seiner außergewöhnlichen Härte beiträgt, während Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) ein geschichtetes hexagonales Gitter aufweist, das seine Schmierfähigkeit ermöglicht [17]. Diese strukturellen Unterschiede, die in der mehrsprachigen Literatur analysiert werden, bestimmen ihre spezifischen Anwendungen.

#### Trinkgeld

Die Kristallstruktur von Wolframchemikalien (W, Wolfram), wie z. B. die Schichtbeschaffenheit von Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid), ist entscheidend für ihre Leistung in bestimmten Anwendungen wie der Schmierung.

### 2.2.2 Thermische und chemische Stabilität

Wolframchemikalien (W, Wolfram) sind für ihre thermische und chemische Stabilität bekannt. Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) bleibt an der Luft bis zu 1000 °C stabil und eignet sich daher für die Hochtemperaturkatalyse, wie sie in der russischen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochtemperaturchemieforschung erforscht wurde [18]. Wolframkarbidpulver (WC, Tungsten Carbide Powder) hält extremen Bedingungen bis zu 2600°C stand, ohne sich zu zersetzen, ideal für Schneidwerkzeuge. Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) weist in wässrigen Lösungen eine chemische Stabilität auf, was seine Verwendung in Brandschutzmaterialien unterstützt [19].

### Trinkgeld

Die thermische Stabilität von Wolframkarbidpulver (WC, Tungsten Carbide Powder) gewährleistet seine Haltbarkeit in anspruchsvollen Industrieumgebungen.

### 2.2.3 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Wolframchemikalien (W, Wolfram) besitzen ausgeprägte optische, elektrische und magnetische Eigenschaften. Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) zeigt ein elektrochromes Verhalten, das sich unter Spannung verfärbt und in der japanischen und koreanischen Elektronikmaterialforschung für intelligente Fenster ausgiebig untersucht wird [20]. Wolframdisulfid ( $\text{WS}_2$ , Wolframdisulfid) ist ein Halbleiter mit einer Bandlücke von ca. 1,3 eV, der für optoelektronische Bauelemente geeignet ist. Wolframhexacarbonyl ( $\text{W}(\text{CO})_6$ , Wolframhexacarbonyl) hat keine signifikanten magnetischen Eigenschaften, zeichnet sich aber durch seine Flüchtigkeit für Dünnschichtanwendungen aus [21].

### Trinkgeld

Die optischen Eigenschaften von Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) machen es zu einem Schlüsselmaterial in energiesparenden Technologien, wie z. B. elektrochromen Fenstern.

### Informationsquellen

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998 [17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000 [20] Chinatungsten Online WeChat Public Account [22] China Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990 [2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) [4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990 [5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985 [6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990 [7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023 [8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810 [9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870 [10]

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] 2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn) [16] Grundlagen der Wolframchemie (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] Eigenschaften von Wolframverbindungen (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] Hochtemperaturchemie der Wolframoxide (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] Chemische Stabilität von Wolframstufen (Englisch) - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] Organometallische Wolframverbindungen (Englisch) - Organometalle, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## Was sind die Chemikalien von Wolfram? Kapitel 3: Herstellung und Anwendungen von Wolframoxiden

### 3.1 Tungsten Trioxide (WO<sub>3</sub>, Tungsten Trioxide)

Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid) ist eines der bedeutendsten und am weitesten verbreiteten Oxide unter den Wolframchemikalien (W, Wolfram). Seine außergewöhnlichen Eigenschaften – wie hohe Stabilität, elektrochromes Verhalten und photokatalytische Fähigkeiten – machen es zu einem Eckpfeiler in der industriellen Produktion, in der Elektronik und in neuen Anwendungen im Bereich der erneuerbaren Energien. Als Flaggschiff der Familie der Wolframverbindungen (W, Wolfram) blickt Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid) auf eine jahrhundertlange Geschichte zurück, die sich von frühen Laborentdeckungen bis hin zur modernen Produktion im industriellen Maßstab entwickelt hat und das tiefere Verständnis und die Beherrschung der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframressourcen (W, Wolfram) durch die Menschheit widerspiegelt.

### 3.1.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) umfasst eine Vielzahl von Methoden, die von traditionellen industriellen Techniken bis hin zu hochmodernen Präzisionsprozessen reichen, die auf unterschiedliche Anwendungsanforderungen und Reinheitsstandards zugeschnitten sind.

#### Kalzinierungsverfahren (oxidative Hochtemperaturzersetzung)

Das Kalzinierungsverfahren gehört zu den am weitesten verbreiteten Ansätzen im industriellen Umfeld, bei dem Rohstoffe wie [Ammoniumparawolframat \( \$\text{APT}\$ ,  \$\(\text{NH}\_4\)\_2\text{WO}\_4\$ , Ammoniumparawolframat\)](#) oder [Wolframsäure \( \$\text{H}\_2\text{WO}\_4\$ , Wolframsäure\)](#) verwendet werden. Bei dem Verfahren werden diese Vorläufer in einer sauerstoffreichen Atmosphäre bei Temperaturen zwischen  $600\text{ }^\circ\text{C}$  und  $900\text{ }^\circ\text{C}$  erhitzt, was zur Zersetzung und Oxidation zu gelbem oder grünem Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) Pulver führt. Diese Methode wird wegen ihrer Einfachheit und Skalierbarkeit bevorzugt, was sie zu einem Grundnahrungsmittel in der Großproduktion macht, insbesondere in Chinas wolframverarbeitenden Unternehmen. Bei der Kalzinierung werden Ammoniak und Wasserdampf aus dem Rohmaterial freigesetzt, wobei reines Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) zurückbleibt, wobei die Partikelgröße und die Kristallform über Temperatur- und Atmosphärenregelung einstellbar sind.

#### Nasschemisches Fällungsverfahren (Säuerungsextraktion)

Bei der nasschemischen Fällungsmethode wird eine Wolframatlösung, wie z. B. [Natriumwolframat \( \$\text{Na}\_2\text{WO}\_4\$ , Natriumwolframat\)](#), angesäuert, um Wolframsäure ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , Wolframsäure) auszufällen, die dann filtriert, gewaschen und thermisch behandelt wird (typischerweise bei  $400\text{-}600\text{ }^\circ\text{C}$ ), um Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) zu erhalten. Diese Technik zeichnet sich durch eine hohe chemische Reinheit und die Herstellung von nanoskaligen Partikeln aus und eignet sich daher ideal für Forschungszwecke und die Elektronikindustrie, wo Präzision und Qualität von größter Bedeutung sind. Im Vergleich zur Kalzinierung liegt bei diesem Verfahren der Schwerpunkt auf einer sorgfältigen Prozesskontrolle, die die Produktion hochwertiger Produkte in kleinen Chargen mit verbesserten Leistungsmerkmalen ermöglicht.

**Die chemische Gasphasenabscheidung (CVD) stellt eine fortschrittliche Präparationstechnik dar, bei der flüchtige Vorläufer wie**

[Wolframhexafluorid \( \$\text{WF}\_6\$ , Wolframhexafluorid\)](#) verwendet werden, um dünne Schichten aus Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) durch Gasphasenreaktionen bei erhöhten Temperaturen (typischerweise  $500\text{-}800\text{ }^\circ\text{C}$ ) abzuscheiden. Dieses Verfahren wird häufig bei der Herstellung von elektronischen Präzisionsbauteilen wie Gassensoren und elektrochromen Filmen eingesetzt, da es in der Lage ist, gleichmäßige, dichte dünne Schichten zu erzeugen, die den strengen Anforderungen moderner High-Tech-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungen entsprechen.

### 3.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Die Kristallstruktur von Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) untermauert seine vielseitigen Eigenschaften und manifestiert sich typischerweise in monokliner Form, obwohl kubische oder orthorhombische Strukturen unter unterschiedlichen Temperaturen und Bedingungen entstehen können. Deutsche kristallographische Untersuchungen zeigen, dass seine monokline Struktur aus einem dreidimensionalen Netzwerk aus Wolfram- und Sauerstoffatomen besteht, die durch Eckenteilung miteinander verbunden sind und ein robustes Gerüst bilden, das ihre optischen und elektrischen Eigenschaften verstärkt [16]. Auf molekularer Ebene koordiniert sich jedes Wolframatom mit sechs Sauerstoffatomen, um stabile oktaedrische Einheiten zu bilden, eine Konfiguration, die zu seiner Widerstandsfähigkeit sowohl in thermischen als auch in chemischen Umgebungen beiträgt.

### 3.1.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) weist eine bemerkenswerte thermische Stabilität auf und bleibt an der Luft bei Temperaturen über 1000 °C intakt, eine Eigenschaft, die es sehr gut für die Hochtemperaturkatalyse und optische Beschichtungen geeignet macht. Chemisch weist es eine starke Beständigkeit gegen Säuren und Basen auf und behält die strukturelle Integrität unter rauen Bedingungen bei. In reduzierenden Atmosphären (z. B. Wasserstoff) kann es jedoch in niedrigere Oxide oder metallisches Wolfram (W, Wolfram) umgewandelt werden, eine Eigenschaft, die in der russischen Hochtemperaturchemieforschung ausführlich dokumentiert ist [18]. Diese Redox-Vielseitigkeit positioniert es als wertvolles Material in katalytischen und elektrochemischen Anwendungen.

### 3.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Besonders hervorzuheben sind die optischen Eigenschaften von Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid), das durch sein elektrochromes Verhalten eine Farbverschiebung von Gelb zu Tiefblau beim Anlegen der Spannung ermöglicht, die durch Änderungen der Oxidationsstufe von Wolframatom angetrieben wird. Diese Eigenschaft wurde in der japanischen und koreanischen Forschung zu elektronischen Materialien gründlich untersucht, was zu ihrer weit verbreiteten Verwendung in intelligenten Fenstern und Display-Technologien führte [20]. Elektrisch fungiert er als Halbleiter mit breiter Bandlücke (ca. 2,6-3,0 eV) und eignet sich daher für optoelektronische Bauelemente. Obwohl es an signifikanten magnetischen Eigenschaften mangelt, unterstützen seine elektrischen und optischen Eigenschaften ausreichend eine breite Palette fortschrittlicher technologischer Anwendungen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Trinkgeld

Die vielfältigen Zubereitungsmethoden und überlegenen Eigenschaften von Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) machen es zu einem herausragenden Produkt im Bereich der Wolframchemikalien (W, Wolfram); Bei der Beschaffung sollte die Form und Reinheit der Kristalle auf der Grundlage des Verwendungszwecks Vorrang haben.

## 3.2 Tungsten Dioxide ( $WO_2$ , Tungsten Dioxide)

Wolframdioxid ( $WO_2$ , Wolframdioxid) ist ein Wolframoxid mit niedrigerer Wertigkeit (W, Wolfram), das weniger häufig als Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) verwendet wird, aber in spezialisierten elektronischen und katalytischen Bereichen nach wie vor von besonderer Bedeutung ist. Seine einzigartigen chemischen und physikalischen Eigenschaften zeichnen es innerhalb der Wolframoxid-Familie aus und bieten trotz seines eingeschränkteren Anwendungsbereichs einen Nischenwert.

### 3.2.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframdioxid ( $WO_2$ , Wolframdioxid) beruht überwiegend auf Reduktionstechniken, die eine sorgfältige Kontrolle der Bedingungen erfordern, um die Reinheit und Konsistenz des Produkts zu gewährleisten.

#### Bei

der Wasserstoffreduktionsmethode wird Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) in einer Wasserstoffatmosphäre bei Temperaturen von 500 °C bis 700 °C reduziert, um Wolframdioxid ( $WO_2$ , Wolframdioxid) herzustellen. Eine präzise Regelung des Wasserstoffflusses und der Wasserstofftemperatur ist entscheidend, um eine Überreduktion zu metallischem Wolfram (W, Wolfram) zu verhindern. Diese sowohl in der Industrie als auch im Labor weit verbreitete Methode führt zu einem braunen kristallinen Produkt, dessen Partikelgröße durch Reaktionsdauer und Temperaturanpassung abgestimmt werden kann, um den spezifischen Anwendungsanforderungen gerecht zu werden.

#### Bei

der thermischen Zersetzung wird Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure) oder Ammoniumparawolframat (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumparawolframat) bei 650-800 °C in einer inerten Atmosphäre (z. B. Stickstoff oder Argon) zu Wolframdioxid ( $WO_2$ , Wolframdioxid) erhitzt. Dieser Ansatz eignet sich besonders für die Produktion in kleinem Maßstab, da Sauerstoffinterferenzen effektiv vermieden werden, um die stabile Bildung des gewünschten Oxids zu gewährleisten, das oft für Materialien in Forschungsqualität bevorzugt wird, die eine kontrollierte Zusammensetzung erfordern.

### 3.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframdioxid ( $\text{WO}_2$ , Wolframdioxid) nimmt typischerweise eine monokline Kristallstruktur an, bei der sich jedes Wolframatom mit vier Sauerstoffatomen koordiniert und ein verzerrtes tetraedrisches Netzwerk bildet. Diese Anordnung, dichter als die oktaedrische Struktur von Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid), führt zu einer höheren Dichte (ca.  $10,8 \text{ g/cm}^3$ ). Russische chemische Studien zeigen, dass diese einzigartige Kristallstruktur ein gewisses Maß an elektrischer Leitfähigkeit verleiht, was sie von anderen Wolframoxiden unterscheidet und auf ein Potenzial in elektronischen Anwendungen hinweist [17].

### 3.2.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframdioxid ( $\text{WO}_2$ , Wolframdioxid) weist eine gute thermische Stabilität in inerten Umgebungen auf und hält Temperaturen bis zu  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  ohne Degradation stand. Seine Stabilität schwankt jedoch in Gegenwart von Sauerstoff, wo es leicht zu Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) oxidiert, was seine Verwendung in sauerstoffreichen Umgebungen einschränkt. Chemisch zeigt es eine schwächere Beständigkeit gegen Säuren und Basen im Vergleich zu höheren Oxiden, behält aber seine Robustheit unter reduzierenden Bedingungen bei und dient oft als Zwischenprodukt in Redoxprozessen, ein Verhalten, das in Stabilitätsstudien gut dokumentiert ist [19].

### 3.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Im Gegensatz zu Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) hat Wolframdioxid ( $\text{WO}_2$ , Wolframdioxid) keine herausragenden optischen Eigenschaften und erscheint als tiefbrauner Feststoff ohne signifikantes elektrochromes Verhalten. Elektrisch fungiert er als Halbleiter mit schmaler Bandlücke (ca.  $1,0\text{-}1,3 \text{ eV}$ ) und bietet eine moderate Leitfähigkeit, die sich für die Forschung an elektronischen Materialien eignet. Magnetisch weist es keine nennenswerten Eigenschaften auf, wobei sein Nutzen in erster Linie von seinen elektrischen Eigenschaften und nicht von optischen oder magnetischen Anwendungen abhängt.

### Trinkgeld

Die Herstellung von Wolframdioxid ( $\text{WO}_2$ , Wolframdioxid) erfordert eine präzise Reduktionssteuerung, und sein Potenzial in elektronischen Materialien und in der Katalyse verdient weitere Forschung.

## 3.3 Sonstige Wolframoxide

Neben Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) und Wolframdioxid ( $\text{WO}_2$ , Wolframdioxid) bildet Wolfram (W, Wolfram) weitere Oxide wie Wolframpentoxid ( $\text{W}_2\text{O}_5$ , Wolframpentoxid) und Wolframblauoxid-Variante ( $\text{W}_{18}\text{O}_{49}$ , Wolframblauoxid-Variante). Diese nicht-stöchiometrischen Oxide sind zwar weniger verbreitet, bieten aber einen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einzigartigen Wert in spezialisierten Anwendungen, insbesondere in der Nanotechnologie und Optoelektronik.

### 3.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung dieser anderen Wolframoxide erfolgt in der Regel im Labormaßstab mit komplexen Prozessen, die auf ihre spezifische Zusammensetzung zugeschnitten sind.

#### **Oxidationsverfahren für Wolframpentoxid ( $W_2O_5$ , Wolframpentoxid)**

Wolframpentoxid ( $W_2O_5$ , Wolframpentoxid) wird durch Oxidation von Wolframdioxid ( $WO_2$ , Wolframdioxid) oder teilweise Reduktion von Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) unter kontrollierten Bedingungen (400-600 °C) mit niedrigem Sauerstoffpartialdruck hergestellt. Diese Methode erfordert eine sorgfältige Kalibrierung, um ihre nicht-stöchiometrische Natur zu erhalten und den Oxidationszustand zwischen  $WO_2$  und  $WO_3$  auszugleichen, und wird häufig in Forschungsumgebungen eingesetzt, um ihre Übergangseigenschaften zu untersuchen.

#### **Hochtemperaturreduzierung für Wolframblauoxid-Variante ( $W_{18}O_{49}$ , Wolframblauoxid-Variante)**

Die Wolframblauoxid-Variante ( $W_{18}O_{49}$ , Wolframblauoxid-Variante) wird durch Reduktion von Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) bei 700-900 °C in einer leicht reduzierenden Atmosphäre (z. B. einem Wasserstoff-Inertgas-Gemisch) synthetisiert. Dieses Verfahren ist optimiert, um nadelartige Nanostrukturen herzustellen, deren photoelektrische Eigenschaften zu verbessern, und ist eine bevorzugte Technik zur Herstellung von Materialien, die für fortschrittliche technologische Anwendungen geeignet sind.

### 3.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframpentoxid ( $W_2O_5$ , Ditungstenpentoxid), ein nicht-stöchiometrisches Oxid, weist eine Kristallstruktur auf, die zwischen Wolframdioxid ( $WO_2$ , Wolframdioxid) und Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) liegt, mit einer Übergangskoordinationsumgebung, die seine gemischte Oxidationsstufe widerspiegelt. Die Wolframblauoxid-Variante ( $W_{18}O_{49}$ , Wolframblauoxid-Variante) nimmt eine nadelartige monokline Struktur an, die durch Sauerstoffleerstellen gekennzeichnet ist, die zu ihrer Leitfähigkeit und ihren optischen Eigenschaften beitragen, was sie zu einem Gegenstand umfangreicher nanotechnologischer Forschung macht.

### 3.3.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframpentoxid ( $W_2O_5$ , Wolframpentoxid) ist an der Luft thermisch instabil und oxidiert leicht zu Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid), kann aber unter inerten Bedingungen bis zu 600 °C bestehen bleiben. Die Wolframblauoxid-Variante ( $W_{18}O_{49}$ , Wolframblauoxid-Variante) bietet eine etwas bessere thermische Stabilität und hält bis zu 800 °C stand,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

obwohl sie in sauerstoffreichen Umgebungen ebenfalls oxidiert. Beide weisen eine begrenzte chemische Stabilität gegenüber Säuren und Basen auf und gedeihen am besten in nicht-oxidierenden Umgebungen, in denen ihre einzigartigen Eigenschaften genutzt werden können.

### 3.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Ditungstenpentoxid ( $W_2O_5$ , Ditungstenpentoxid) besitzt eine mäßige Leitfähigkeit, verfügt jedoch nicht über signifikante optische Eigenschaften, was seinen Nutzen auf bestimmte elektrische Anwendungen beschränkt. Im Gegensatz dazu glänzt die Wolframblauoxid-Variante ( $W_{18}O_{49}$ , Wolframblauoxid-Variante) mit ihrer blauen Optik und ihren hervorragenden photoelektrischen Eigenschaften und verfügt über eine Bandlücke von ca. 2,4 eV, ideal für Fotodetektoren und Sensoren. Keine der beiden Verbindungen zeigt ein nennenswertes magnetisches Verhalten, wobei ihr Wert im elektrischen und optischen Bereich verwurzelt ist.

#### Trinkgeld

Andere Wolframoxide, wie z. B. die Wolframblauoxid-Variante ( $W_{18}O_{49}$ , Wolframblauoxid-Variante), gewinnen aufgrund ihres Potenzials in der Nanotechnologie und Optoelektronik an Bedeutung, was eine genauere Aufmerksamkeit erfordert.

#### Informationsquellen

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)





## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Kapitel 4: Herstellung und Anwendung von Wolframsäure und Wolframat

#### 4.1 Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure)

Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure) ist ein zentrales Mitglied der chemischen Familie von Wolfram (W, Wolfram) und dient als wichtiger Vorläufer für zahlreiche Wolframverbindungen, einschließlich Wolframat und Oxide. Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure) ist bekannt für ihre geringe Löslichkeit, chemische Reaktivität und Stabilität in sauren Umgebungen und spielt eine wesentliche Rolle sowohl in der industriellen Produktion als auch in der wissenschaftlichen Forschung. Neben seinem Nutzen als Zwischenprodukt für die Synthese hochreiner Wolframoxide findet es Anwendungen in Katalysatoren, Pigmenten und in der analytischen Chemie und zeigt seinen vielseitigen Wert. Die Herstellungsprozesse und Eigenschaftsstudien von Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure) erstrecken sich über Jahrhunderte und entwickeln sich von der rudimentären Mineralgewinnung bis hin zu anspruchsvoller moderner Chemietechnik, die die fortschreitende Beherrschung der Wolframchemie (W, Wolfram) widerspiegelt.

#### 4.1.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure) umfasst eine Reihe von Methoden, von der traditionellen Säurefällung bis hin zu fortschrittlichen Labortechniken, die unterschiedlichen Reinheitsgraden und Anwendungsanforderungen gerecht werden.

#### Saure Fällungsmethode (Erzlaugung)

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die saure Fällungsmethode ist die am weitesten verbreitete industrielle Technik, die typischerweise mit Erzen wie [Wolframit \(\(Fe,Mn\)WO<sub>4</sub>, Wolframit\)](#) oder [Scheelit \(CaWO<sub>4</sub>, Scheelit\)](#) beginnt. Zur Auslaugung des Erzes werden starke Säuren (z. B. Salz- oder Salpetersäure) verwendet, wobei Wolfram unter Bildung von Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) ausfällt. Bei diesem Verfahren wird fein gemahlene Erz mit Säure vermischt und bei 50-80 °C unter ständigem Rühren reagiert, wobei Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) als gelber Feststoff ausfällt. Es folgt die Filtration und das Waschen, um ein Rohprodukt zu erhalten. Aufgrund ihrer Abhängigkeit von reichlich vorhandenen Rohstoffen und ihrer etablierten Prozessreife wird diese Methode in großem Umfang von Wolframverarbeitungsunternehmen in China eingesetzt, wie z. B. in Ganzhou, Jiangxi, wo eine präzise Kontrolle der Säurekonzentration und Reaktionsdauer Verunreinigungen wie Eisen und Mangan minimiert.

### **Wolfram-Acidolyse-Verfahren (Lösungsumwandlung)**

Das Wolfram-Acidolyse-Verfahren erzeugt Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) durch Ansäuerung einer löslichen Wolframatlösung, wie z. B. [Natriumwolframat \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat\)](#). Typischerweise wird die Natriumwolframatlösung (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat) mit Salzsäure gemischt und der pH-Wert auf 2-3 eingestellt, wodurch Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) ausfällt. Nach dem Filtrieren, Waschen und Trocknen bei niedriger Temperatur (ca. 100-150 °C) wird ein hochreines Produkt erhalten. Diese Technik eignet sich hervorragend zur Kontrolle des Verunreinigungsgehalts und zur Herstellung von nanoskaligen Partikeln und eignet sich daher ideal für die feinchemische Industrie und die Laborforschung, wie z. B. die Herstellung von Katalysatorvorläufern oder hochreinen Oxiden, bei denen Qualität und Präzision von größter Bedeutung sind.

### **Ionenaustauschverfahren (hochreine Zubereitung)**

Das Ionenaustauschverfahren ist ein modernes, hochpräzises Verfahren, bei dem eine wolframhaltige Lösung (z. B. eine Wolframatlösung) durch ein Ionenaustauscherharz geleitet wird, um Wolframat-Ionen (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) zu isolieren, gefolgt von einer Ansäuerung (typischerweise mit Schwefelsäure) zur Ausfällung von Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure). Dieses Verfahren ist besonders effektiv bei der Entfernung von Spurenverunreinigungen (z. B. Schwermetallionen) und ergibt ultrahochreine Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure), die für elektronische Materialien, spezielle Katalysatoren und hochpräzise analytische Reagenzien geeignet ist. Die Auswahl und Regeneration des Harzes sind entscheidend und wirken sich direkt auf die Produktreinheit und die Produktionskosten aus.

### **4.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) weist typischerweise eine orthorhombische Kristallstruktur auf, bei der ihre Moleküle aus einem Wolframatom bestehen, das mit vier Sauerstoffatomen in einer tetraedrischen Anordnung koordiniert ist, wobei zwei

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Sauerstoffatome über Wasserstoffbrückenbindungen mit Wasserstoffatomen verbunden sind. Deutsche kristallographische Untersuchungen deuten darauf hin, dass diese Struktur für seine geringe Löslichkeit in Wasser (ca. 0,02 g/100 mL) und seine Tendenz zur Zersetzung in Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid) beim Erhitzen verantwortlich ist [16]. Die Wasserstoffbrückenbindungen in seinem molekularen Gerüst verleihen ihm einen schwachen Säuregehalt (pKa um 2,2), der es ihm ermöglicht, mit Basen zu reagieren und Wolframate zu bilden, eine Eigenschaft, die in der industriellen Synthese weithin ausgenutzt wird.

#### 4.1.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) weist eine ausgezeichnete chemische Stabilität bei Raumtemperatur auf und widersteht der Korrosion durch die meisten Säuren und Basen. In stark alkalischen Lösungen (z. B. Natriumhydroxid) löst es sich jedoch zu Wolframat wie Natriumwolframat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat). Thermisch beginnt es bei 100-200 °C Kristallwasser zu verlieren und verwandelt sich in Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid), wobei bei etwa 250 °C eine vollständige Zersetzung stattfindet. Dieses thermische Zersetzungsverhalten macht es zu einem wichtigen Rohstoff für die Herstellung von hochreinen Wolframoxiden, wie in der russischen chemischen Forschung festgestellt wurde, die seine Stabilität in sauren Umgebungen als entscheidenden Vorteil in der Hydrometallurgie hervorhebt [17].

#### 4.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) sind relativ bescheiden, da ihr gelbes Aussehen auf Elektronenübergänge innerhalb ihrer Kristallstruktur zurückzuführen ist, obwohl sie keine signifikante optische Aktivität wie Elektrochromie oder Fluoreszenz aufweist, was ihre direkte Verwendung in optischen Anwendungen einschränkt. Elektrisch handelt es sich um einen Isolator mit vernachlässigbarer Leitfähigkeit, der sich für elektrische Anwendungen auf sein Zersetzungsprodukt Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid) stützt. Magnetisch gesehen weist Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) keine nennenswerten Eigenschaften auf, wobei ihr primärer Wert eher in ihrer chemischen Reaktivität und Rolle als Vorläufer als in ihren intrinsischen physikalischen Eigenschaften liegt.

#### Trinkgeld

Die vielseitigen Präparationsmethoden und die zentrale Rolle von Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Wolframsäure) als Vorläufer in der Wolframchemie (W, Wolfram) unterstreichen ihre Bedeutung; Die Beschaffung sollte sich auf Reinheit und Partikeleigenschaften konzentrieren, die auf nachgelagerte Anwendungen zugeschnitten sind.

## 4.2 Natriumwolframat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) ist der am weitesten verbreitete und vielseitigste Wolframat, der für seine hervorragende Wasserlöslichkeit, chemische Stabilität und Multifunktionalität geschätzt wird und seine breite Verwendung in der industriellen Produktion, in der medizinischen Forschung und in der analytischen Chemie sicherstellt. Als repräsentatives lösliches Wolframat zeichnet sich Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) durch Anwendungen aus, die von feuerfesten Materialien über bioaktive Studien bis hin zur Synthese anderer Wolframverbindungen reichen, mit einer langen Geschichte, die seinen Status als wichtiges Glied in der Kette der Wolframchemieindustrie gefestigt hat.

#### 4.2.1 Vorbereitungsprozesse

Die Zubereitung von Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) integriert die Erzextraktion mit lösungsbasierten Reaktionstechniken und erfüllt so die vielfältigen Anforderungen der industriellen Produktion und der Laborpräzision.

##### Alkalische Fusionsmethode (Erzextraktion)

Bei der alkalischen Fusionsmethode wird Wolframit ( $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ , Wolframit) oder Scheelit ( $\text{CaWO}_4$ , Scheelit) mit Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) bei hohen Temperaturen ( $600\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$ ) umgesetzt, um eine Natriumwolframatlösung ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) zu bilden. Das Verfahren besteht darin, pulverförmiges Erz mit Natriumhydroxid zu mischen und in einem Schmelzofen zu erhitzen, bis es geschmolzen ist, wobei Wolfram mit Natrium reagiert, um lösliches Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) zu erzeugen. Nach dem Abkühlen werden Verunreinigungen herausgefiltert und die Lösung wird verdampft und kristallisiert, um weiße Kristalle zu erhalten. Diese Methode, die aufgrund ihrer effizienten Nutzung der Erzressourcen und ihrer einfachen Bedienung bevorzugt wird, ist die vorherrschende Technik in Chinas wolframverarbeitender Industrie, insbesondere in wichtigen Zentren wie Jiangxi und Hunan.

##### Wolframsäure-Neutralisationsverfahren (Laborvorbereitung)

Das Wolframsäure-Neutralisationsverfahren bereitet Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) vor, indem Wolframsäure ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , Wolframsäure) mit einer Natronlauge bei Raumtemperatur ( $20\text{--}40\text{ }^\circ\text{C}$ ) neutralisiert wird, wobei die Reaktion folgt:  $\text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ . Die resultierende Lösung wird durch Verdampfen konzentriert und abgekühlt, um Natriumwolframat-Dihydratkristalle ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) zu kristallisieren. Diese einfache Methode ist ideal für die Produktion von hochreinen Laborlösungen in kleinem Maßstab, die häufig zur Herstellung von Standardlösungen oder Reagenzien in der wissenschaftlichen Forschung und analytischen Chemie verwendet wird.

#### 4.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) liegt typischerweise als Dihydrat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) mit einer orthorhombischen Kristallstruktur vor. Innerhalb dieser Struktur koordiniert sich ein Wolframatom mit vier Sauerstoffatomen zu einer stabilen tetraedrischen Einheit ( $\text{WO}_4^{2-}$ ), während zwei Natriumatome ionisch an das Wolframat-Ion gebunden sind und Wassermoleküle über Wasserstoffbrückenbindungen eingebaut werden. Kristallographische Studien bestätigen, dass diese Anordnung für seine hohe Wasserlöslichkeit (ca. 730 g/L bei 20 °C) verantwortlich ist, was den Einsatz in wässrigen Anwendungen bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Kristallstabilität erleichtert [19].

#### 4.2.3 Thermische und chemische Stabilität

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) weist eine robuste thermische Stabilität unter trockenen Bedingungen auf und hält bis zu 300 °C ohne Zersetzung stand. Oberhalb dieser Temperatur verliert es Kristallwasser und verwandelt sich in wasserfreies Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ), wobei für einen vollständigen Abbau Temperaturen um 700 °C erforderlich sind. Chemisch gesehen ist die wässrige Lösung leicht alkalisch (pH 8-9) und säureempfindlich und lässt sich unter sauren Bedingungen leicht in Wolframsäure ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , Wolframsäure) umwandeln, ist jedoch in neutralen und leicht alkalischen Umgebungen korrosionsbeständig, wodurch sie an eine Vielzahl von Reaktionseinstellungen angepasst werden kann [19].

#### 4.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) sind unauffällig, da seine weißen Kristalle keine signifikante optische Aktivität wie Fluoreszenz oder Elektrochromie aufweisen, was seine optischen Anwendungen einschränkt. Elektrisch wirkt es aufgrund der Beweglichkeit von Natrium- und Wolframat-Ionen als Ionenleiter in Lösung, ist aber ein Isolator in fester Form mit vernachlässigbarer Leitfähigkeit. Magnetisch zeigt Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) keine nennenswerten Eigenschaften, wobei sein Nutzen in erster Linie von seinen chemischen Eigenschaften wie Löslichkeit und Reaktivität und nicht von physikalischen Eigenschaften abgeleitet wird.

#### Trinkgeld

Die Wasserlöslichkeit und chemische Stabilität von Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) machen es von unschätzbarem Wert für Brandschutz- und biomedizinische Anwendungen. Bei der Beschaffung sollten der Kristallwassergehalt und der Verunreinigungsgrad für eine optimale Leistung berücksichtigt werden.

#### 4.3 Sonstige Wolframstaaten

Neben Wolframsäure ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , Wolframat) und Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) umfasst die Wolframatfamilie bedeutende Verbindungen wie

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ammoniumparawolframat (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Ammoniumparawolframat), Calciumwolframat ( $\text{CaWO}_4$ , Calciumwolframat) und Ammoniummetawolframat ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Ammoniummetawolframat). Diese Wolframate zeichnen sich durch industrielle Produktion, wissenschaftliche Forschung und spezialisierte Anwendungen aus und bereichern den Anwendungsbereich der Wolframchemie.

#### 4.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Aufbereitungsprozesse für diese anderen Wolframate variieren je nach ihren chemischen Eigenschaften und ihrem Verwendungszweck und reichen von der Erzextraktion bis hin zu Lösungssynthesetechniken.

##### **Ionenaustausch und Kristallisation für Ammoniumparawolframat**

###### **(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Ammoniumparawolframat)**

Ammoniumparawolframat (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Ammoniumparawolframat) wird typischerweise aus Wolframatlösungen hergestellt, die aus Wolframerzen extrahiert und durch Ionenaustauscherharze geleitet werden, um Wolframat-Ionen ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) zu isolieren. Dann wird Ammoniak hinzugefügt, um den pH-Wert der Lösung auf 7-8 einzustellen, wodurch die Ausfällung von Ammoniumparawolframat (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Ammoniumparawolframat) ausgelöst wird, das filtriert, gewaschen und getrocknet wird (ca. 100-150 °C), um weiße Kristalle zu erhalten. Diese Methode ist ein Eckpfeiler der chinesischen Wolframindustrie und wird in großem Umfang bei der Herstellung von Wolframpulver (W Powder, Tungsten Powder) eingesetzt, mit jährlichen Produktionen von Zehntausenden von Tonnen in Regionen wie Jiangxi und Hunan.

##### **Fusionsreaktion für Calciumwolframat**

###### **( $\text{CaWO}_4$ , Calciumwolframat)**

Calciumwolframat ( $\text{CaWO}_4$ , Calciumwolframat) wird synthetisiert, indem Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) mit Calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) bei hohen Temperaturen (ca. 800-1000 °C) verschmolzen wird, nach der Reaktion:  $\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{CaWO}_4 + 2\text{NaCl}$ . Das resultierende Produkt kühlt zu weißen Kristallen ab, die für die Verwendung gemahlen und gesiebt werden. Dieses unkomplizierte Verfahren wird häufig zur Herstellung von fluoreszierenden Materialien und optischen Komponenten eingesetzt, wobei seine hohe thermische Stabilität für die industrielle Skalierbarkeit genutzt wird.

##### **Ansäuerungspolymerisation von Ammoniummetawolframat**

###### **( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Ammoniummetawolframat)**

Ammoniummetawolframat ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Ammoniummetawolframat) wird durch Ansäuerung einer Ammoniumparawolframatlösung (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Ammoniumparawolframat) und Kontrolle des pH-Werts auf 3-4 hergestellt, wodurch Wolframationen zu Polywolframationen polymerisiert werden ( $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}^{6-}$ ). Dann wird Ammoniak hinzugefügt, um die Lösung zu stabilisieren, gefolgt von einer Kristallisation,

##### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

um das Endprodukt herzustellen. Diese Methode ist auf die Herstellung von hochreinen Katalysatoren und analytischen Reagenzien zugeschnitten und profitiert von ihrer einzigartigen Polyoxometallatstruktur.

#### 4.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Ammoniumparawolframat (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Ammoniumparawolframat) zeichnet sich durch eine komplexe monokline Kristallstruktur mit mehreren Wolfram-Sauerstoff-Oktaedereinheiten aus, die durch Ammoniumionen durch Wasserstoffbrückenbindungen stabilisiert werden und ein robustes Kompositgerüst bilden. Calciumwolframat ( $\text{CaWO}_4$ , Calciumwolframat) nimmt eine tetragonale Kristallstruktur an, die dem natürlichen Scheelit ähnelt, wobei Wolframatome vier Sauerstoffatome in einer tetraedrischen Anordnung koordinieren, die über Ionenbindungen von Kalziumionen unterstützt werden. Ammoniummetawolframat ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Ammoniummetawolframat) weist eine Polyoxometallatstruktur auf, die aus einem Cluster von 12 Wolfram-Sauerstoff-Oktaedern besteht, die von Ammoniumionen umgeben sind und eine ausgeprägte molekulare Komplexität verleihen, die für katalytische Anwendungen geeignet ist.

#### 4.3.3 Thermische und chemische Stabilität

Ammoniumparawolframat (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Ammoniumparawolframat) weist eine mäßige thermische Stabilität auf und zersetzt sich bei 250-300 °C unter Freisetzung von Ammoniak und Wasserdampf zu Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid), und seine chemische Stabilität ist anfällig für saure Bedingungen. Calciumwolframat ( $\text{CaWO}_4$ , Calciumwolframat) zeichnet sich durch eine außergewöhnliche thermische Stabilität, Temperaturen über 1000 °C und eine ausgezeichnete chemische Stabilität aus, da es in Wasser nahezu unlöslich und beständig gegen die meisten Säuren und Basen ist, was es ideal für Hochtemperaturanwendungen macht. Ammoniummetawolframat ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Ammoniummetawolframat) verliert bei etwa 200 °C Kristallwasser und zersetzt sich bei höheren Temperaturen weiter, wobei eine schwächere chemische Stabilität einen Schutz vor starken Säuren oder Basen erfordert, um seine Polyoxometallatstruktur zu erhalten.

#### 4.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Ammoniumparawolframat (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Ammoniumparawolframat) hat keine nennenswerten optischen Eigenschaften, erscheint als weiße Kristalle mit minimaler optischer Aktivität und ist ein elektrisch und magnetisch inerter Isolator. Calciumwolframat ( $\text{CaWO}_4$ , Calciumwolframat) ist bekannt für seine Fluoreszenz, die unter UV-Anregung blaues Licht emittiert (Bandlücke  $\sim 4,2$  eV), was es in Röntgendetektoren und fluoreszierenden Materialien wertvoll macht, obwohl es ein Isolator ohne magnetische Eigenschaften bleibt. Ammoniummetawolframat ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Ammoniummetawolframat) zeigt keine signifikanten optischen oder

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

magnetischen Eigenschaften, weist aber in Lösung eine ionische Leitfähigkeit auf, bleibt aber in fester Form ein Isolator, wobei seine Anwendungen in erster Linie durch seine katalytischen Fähigkeiten bestimmt werden.

### Trinkgeld

Andere Wolframate wie Calciumwolframat ( $\text{CaWO}_4$ , Calciumwolframat) und Ammoniummetawolframat ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Ammoniummetawolframat) bieten einzigartige Vorteile in der Fluoreszenz bzw. Katalyse; die Beschaffung sollte sich an den spezifischen Anwendungsanforderungen in Bezug auf Zubereitungsmethode und Reinheit orientieren.

### Informationsquellen

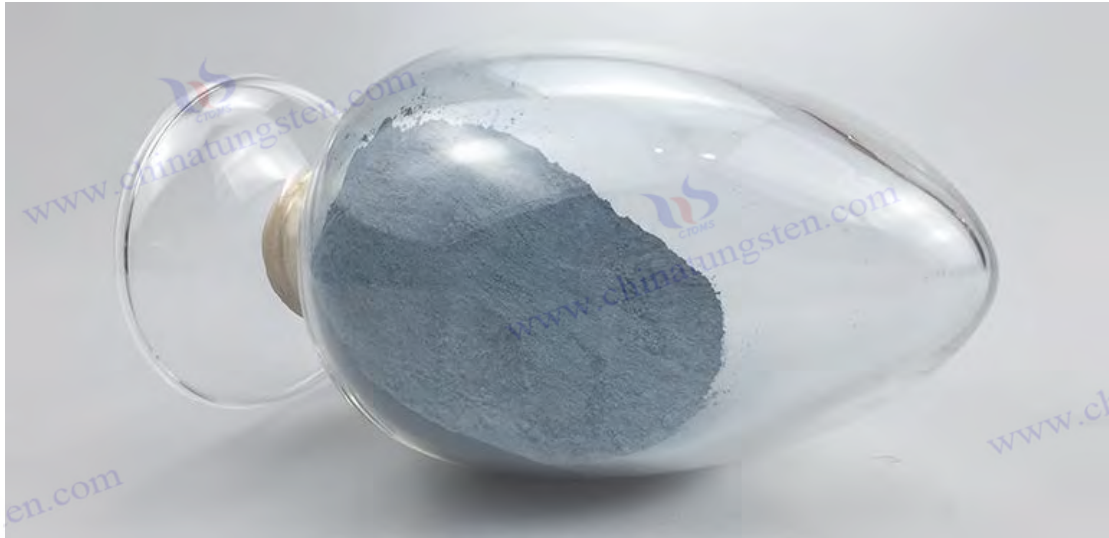
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900  
[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT





## Was sind die Chemikalien von Wolfram? Kapitel 5: Herstellung und Anwendung von Wolframhalogeniden

### 5.1 Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid)

Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) ist ein prominentes Mitglied der Wolframhalogenidfamilie (W, Wolfram), das sowohl in der Industrie als auch in der Forschung wegen seiner Flüchtigkeit, hohen Reaktivität und katalytischen Fähigkeiten bei verschiedenen chemischen Reaktionen hoch geschätzt wird. Als flüchtige Wolframverbindung zeichnet sich Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) durch sein unverwechselbares dunkelblaues kristallines Aussehen und seine außergewöhnlichen chemischen Eigenschaften aus, die es für die organische Synthese, die Dünnschichtabscheidung und die Katalysatorherstellung von unschätzbarem Wert machen. Sein Weg von der ersten Laborsynthese zu modernen industriellen Anwendungen spiegelt die kontinuierliche Weiterentwicklung und Vertiefung des Verständnisses der Wolframhalogenidchemie wider und positioniert sie als einzigartigen Beitrag zum breiteren Feld der Wolframchemikalien (W, Wolfram).

#### 5.1.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) umfasst eine Vielzahl von Methoden, einschließlich direkter Chlorierung und Chlorreduktionstechniken, die auf unterschiedliche Reinheits- und Anwendungsanforderungen zugeschnitten sind.

#### Direkte Chlorierungsmethode (Wolframmetallchlorierung)

Bei der direkten Chlorierungsmethode wird hochreines Wolframmetall (W, Wolfram) wie Wolframpulver (W-Pulver, Wolframpulver) mit Chlorgas ( $Cl_2$ ) bei erhöhten Temperaturen (typischerweise 600-800 °C) umgesetzt, um Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ ,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframhexachlorid) herzustellen. Die Reaktion,  $W + 3Cl_2 \rightarrow WCl_6$ , findet in einem geschlossenen Quarzreaktor statt, um Sauerstoff und Feuchtigkeit auszuschließen, wobei die resultierenden dunkelblauen Kristalle aus dem gasförmigen Produkt kondensieren. Diese Methode wird wegen ihrer Einfachheit und Direktheit bevorzugt und ist damit ein Grundnahrungsmittel in der industriellen Produktion, insbesondere für hochreines Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid), das in der Katalysatorsynthese verwendet wird, wo strenge Qualitätsstandards unerlässlich sind.

## Methode zur Chlorreduktion

### (Oxidchlorierung)

Bei der Chlorreduktionsmethode wird Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) hergestellt, indem [Wolframtrioxid \( \$WO\_3\$ , Wolframtrioxid\)](#) mit Chlorgas und einem Reduktionsmittel (z. B. Kohlenstoff oder Wasserstoff) bei 500-700 °C umgesetzt wird. Eine präzise Kontrolle des Chlorflusses und der Temperatur ist entscheidend, um die Bildung niedrigerer Chloride wie Wolframtetrachlorid ( $WCl_4$ , Wolframtetrachlorid) zu verhindern. Dieser Ansatz ist vorteilhaft für die Produktion im Labor- und Kleinmaßstab, da industrielle Nebenprodukte wie Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) genutzt werden, um die Ressourceneffizienz zu verbessern und Kosten zu senken.

## Gasphasen-Reaktionsverfahren

### (Hochreine Zubereitung)

Bei der Gasphasenreaktionsmethode wird Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) synthetisiert, indem Wolfram (W, Wolfram) oder seine Verbindungen in der Dampfphase bei ca. 800 °C mit Chlorgas umgesetzt und anschließend zu Kristallen kondensiert wird. Diese Technik zeichnet sich durch die Beseitigung von Spurenverunreinigungen aus und produziert ultrahochreines Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid), das sich ideal für elektronische Materialien und die Präzisionskatalysatorforschung eignet, wo selbst kleinste Verunreinigungen die Leistung erheblich beeinträchtigen können.

### 5.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) nimmt eine oktaedrische Kristallstruktur an, bei der ein zentrales Wolframatom mit sechs Chloratomen koordiniert ist und eine symmetrische  $WCl_6$ -Moleküleinheit bildet. Deutsche kristallographische Studien zeigen, dass diese oktaedrische Koordination zu seiner hohen Flüchtigkeit (Schmelzpunkt ca. 275°C, Siedepunkt ca. 347°C) beiträgt, was seine Verwendung in Gasphasenreaktionen erleichtert [16]. In seiner molekularen Zusammensetzung befindet sich das Wolframatom in der Oxidationsstufe +6, und die starke Elektronegativität der Chloratome erhöht seine Reaktivität, so dass es leicht Koordinations- oder Substitutionsreaktionen mit organischen Verbindungen durchführen kann.

### 5.1.3 Thermische und chemische Stabilität

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) weist unter wasserfreien und sauerstofffreien Bedingungen eine mäßige thermische Stabilität auf und behält seine kristalline Struktur unter 300 °C bei. Bei höheren Temperaturen oder in Gegenwart von Luft zerfällt es jedoch in niedrigere Chloride und Chlorgase, was eine sorgfältige Handhabung erfordert. Chemisch gesehen ist es in Gegenwart von Feuchtigkeit sehr instabil und hydrolysiert in feuchten Umgebungen schnell zu Chlorwasserstoff (HCl) und Wolframoxychloriden, was eine Lagerung und Verwendung in trockenen, inerten Atmosphären erfordert. Die russische chemische Forschung unterstreicht seine hohe Reaktivität, was es zu einem wirksamen Chlorierungsmittel und Katalysator in der organischen Synthese macht [17].

#### 5.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) zeichnen sich durch seine auffällige dunkelblaue kristalline Form aus, die sich aus d-d-Elektronenübergängen des Wolframatoms ergibt, obwohl seine optische Aktivität in der praktischen Anwendung begrenzt ist. Elektrisch ist es im festen Zustand ein Isolator, aber in gasförmiger oder gelöster Form kann es aufgrund von Zersetzung oder Lösungsmittelwechselwirkungen eine geringe Ionenleitfähigkeit aufweisen. Magnetisch zeigt Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) keine signifikanten Eigenschaften, wobei sein primärer Nutzen eher auf seiner chemischen Reaktivität als auf seinen physikalischen Eigenschaften beruht.

#### Trinkgeld

Die Herstellung von Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) erfordert einen rigorosen Ausschluss von Feuchtigkeit und Sauerstoff; seine hohe Reaktivität macht es zu einem herausragenden Produkt in der Katalyse und organischen Synthese, und bei der Beschaffung sollten Reinheit und Lagerbedingungen im Vordergrund stehen.

#### 5.2 Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid)

Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) ist das industriell bedeutendste Wolframhalogenid, das für seine außergewöhnliche Flüchtigkeit und seine zentrale Rolle in der Halbleiterindustrie bekannt ist. Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) wird als farbloses Gas in großem Umfang in der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) zur Herstellung von Wolframmetall-Dünnschichten eingesetzt und ist aufgrund seiner hohen Reaktivität und Stabilität aus der modernen Mikroelektronik nicht mehr wegzudenken. Die Entwicklung von der Laborsynthese zur Großproduktion unterstreicht ihren Beitrag zur Weiterentwicklung der Wolframchemie in High-Tech-Anwendungen.

##### 5.2.1 Vorbereitungsprozesse

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Herstellung von Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) beruht in erster Linie auf Fluorierungsreaktionen, die unter wasserfreien Bedingungen durchgeführt werden, um die Produktqualität zu gewährleisten.

#### **Direkte Fluorierungsmethode (Wolfram- und Fluorreaktion)**

Bei der direkten Fluorierungsmethode wird hochreines Wolframmetall (W, Wolfram) (z. B. Wolframpulver (W-Pulver, Wolframpulver)) mit Fluorgas ( $F_2$ ) bei 300-500 °C zu Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) -Gas umgesetzt, wobei die Reaktion  $W + 3F_2 \rightarrow WF_6$  folgt. Dieser Prozess findet aufgrund der aggressiven Natur von Fluor in einem korrosionsbeständigen Reaktor aus Nickellegierungen statt, wobei das gasförmige Produkt zur Sammlung in flüssige Form (Siedepunkt 17,1 °C) kondensiert wird. Dieses Verfahren ist in der Industrie aufgrund seiner hohen Reinheit und seines unkomplizierten Ansatzes weit verbreitet und dominiert Halbleiteranwendungen, die strenge Qualitätsstandards erfordern.

#### **Oxid-Fluorierungsverfahren (Wolframtrioxid-Fluorierung)**

Bei der Oxidfluorierungsmethode wird Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) hergestellt, indem Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) mit Fluorwasserstoff (HF) oder Fluorgas bei 400-600 °C umgesetzt wird. Dieser Prozess erfordert eine sorgfältige Kontrolle, um die Bildung niedrigerer Fluoride zu vermeiden und industrielle Nebenprodukte wie Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) zur Kostensenkung zu nutzen. Es wird häufig in Labor- und Kleinserienproduktionen eingesetzt und bietet eine kostengünstige Alternative für spezialisierte Anwendungen.

### **5.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) nimmt sowohl im gasförmigen als auch im flüssigen Zustand eine oktaedrische Molekülstruktur an, wobei ein zentrales Wolframatom mit sechs Fluoratomen koordiniert ist und eine symmetrische  $WF_6$ -Einheit bildet. Die japanische chemische Forschung stellt fest, dass diese oktaedrische Anordnung ihre hohe Flüchtigkeit und Stabilität (Schmelzpunkt 2,3 °C, Siedepunkt 17,1 °C) untermauert und damit ideal für die Abscheidung in der Gasphase ist [20]. Das Wolframatom befindet sich in der Oxidationsstufe +6, und die starke Elektronegativität von Fluor erhöht die Haftfestigkeit und gewährleistet die Stabilität unter verschiedenen Bedingungen.

### **5.2.3 Thermische und chemische Stabilität**

Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) weist eine ausgezeichnete thermische Stabilität unter wasserfreien Bedingungen auf und bleibt als Gas bei Raumtemperatur stabil. Bei Temperaturen über 400 °C oder in Gegenwart von Feuchtigkeit zersetzt es sich

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

jedoch in Fluorwasserstoff (HF) und Wolframoxide, was eine kontrollierte Handhabung erfordert. Im Vergleich zu Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) ist es weniger empfindlich gegenüber Wasser, kann aber in stark reduzierenden Umgebungen zu Wolfram (W, Wolfram) oder niedrigeren Fluoriden reduziert werden, eine Eigenschaft, die seinen Nutzen bei der Halbleiterabscheidung erhöht.

#### 5.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) ist ein farbloses, transparentes Gas ohne nennenswerte optische Aktivität, was seine optischen Anwendungen einschränkt. Elektrisch ist es im gasförmigen Zustand nicht leitend, aber seine Zersetzung in Wolframmetall führt zu einer hervorragenden Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand  $\sim 5,6 \mu\Omega \text{ cm}$ ), die für leitfähige dünne Schichten entscheidend ist. Magnetisch weist es keine nennenswerten Eigenschaften auf, wobei sein Wert in erster Linie an seine Reaktions- und Abscheidungsfähigkeit und nicht an seine physikalischen Eigenschaften gebunden ist.

#### Trinkgeld

Die Herstellung von Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) erfordert eine wasserfreie Umgebung; Seine entscheidende Rolle in der Halbleiterindustrie macht es zu einem herausragenden Produkt unter den Wolframhalogeniden, wobei sich die Beschaffung auf die Reinheit des Gases und die Integrität des Containments konzentriert.

### 5.3 Sonstige Wolframhalogenide

Zur Wolframhalogenid-Familie gehören neben Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) und Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) Verbindungen mit niedrigerer Wertigkeit wie Wolframtetrachlorid ( $WCl_4$ , Wolframtetrachlorid) und Wolframpentachlorid ( $WCl_5$ , Wolframpentachlorid). Obwohl diese Halogenide weniger weit verbreitet sind, bieten sie einen Mehrwert für spezifische katalytische Reaktionen und die Materialforschung.

#### 5.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung dieser anderen Wolframhalogenide erfolgt in der Regel im Labormaßstab, was eine genaue Kontrolle der Reaktionsbedingungen erfordert.

#### Reduktionschlorierungsverfahren für Wolframtetrachlorid ( $WCl_4$ , Wolframtetrachlorid)

Wolframtetrachlorid ( $WCl_4$ , Wolframtetrachlorid) wird synthetisiert, indem Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) mit Wasserstoff bei  $450-600 \text{ }^\circ\text{C}$  in einer inerten Atmosphäre teilweise reduziert wird, um eine Oxidation zu verhindern. Diese kontrollierte Reduktion sorgt für die Bildung des gewünschten vierwertigen Zustands, der in der Regel ein grünes Produkt ergibt, das sich für Nischenanwendungen eignet.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Kontrolliertes Chlorierungsverfahren für Wolframpentachlorid (WCl<sub>5</sub>, Wolframpentachlorid)**

Wolframpentachlorid (WCl<sub>5</sub>, Wolframpentachlorid) wird durch schonendes Chlorieren von Wolfram (W, Wolfram) oder Reduzieren von Wolframhexachlorid (WCl<sub>6</sub>, Wolframhexachlorid) mit einer begrenzten Chlorzufuhr bei 500-700°C hergestellt. Dieses Verfahren erfordert eine präzise Chlordosierung, um den fünfwertigen Zustand zu erreichen und ein dunkelrotes kristallines Material zu erzeugen.

### **5.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

Wolframtetrachlorid (WCl<sub>4</sub>, Wolframtetrachlorid) weist eine tetragonale Kristallstruktur auf, bei der das Wolframatom auf vier Chloratome in einer quadratischen planaren Anordnung abgestimmt ist und eine mäßige Stabilität bietet. Wolframpentachlorid (WCl<sub>5</sub>, Wolframpentachlorid) nimmt eine trigonale bipyramidale Struktur mit fünf Chloratomen an und weist aufgrund seiner intermediären Oxidationsstufe eine geringere Stabilität auf. Diese Strukturen führen zu einer geringeren Flüchtigkeit im Vergleich zu sechswertigen Halogeniden.

### **5.3.3 Thermische und chemische Stabilität**

Wolframtetrachlorid (WCl<sub>4</sub>, Wolframtetrachlorid) und Wolframpentachlorid (WCl<sub>5</sub>, Wolframpentachlorid) haben eine begrenzte thermische Stabilität und zersetzen sich bei 200-400 °C in niedere Chloride oder Chlorgas. Chemisch gesehen sind beide sehr empfindlich gegenüber Feuchtigkeit und erfordern eine geschlossene Lagerung, um eine Hydrolyse zu verhindern, was ihren praktischen Einsatz auf kontrollierte Umgebungen beschränkt.

### **5.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

Wolframtetrachlorid (WCl<sub>4</sub>, Wolframtetrachlorid) erscheint grün, und Wolframpentachlorid (WCl<sub>5</sub>, Wolframpentachlorid) ist dunkelrot, weist jedoch keine signifikante optische Aktivität auf. Elektrisch gesehen handelt es sich bei beiden um Isolatoren, denen nennenswerte magnetische Eigenschaften fehlen, so dass sich ihre Anwendungen in erster Linie auf die katalytische Forschung und nicht auf physikalische Eigenschaften konzentrieren.

### **Trinkgeld**

Andere Wolframhalogenide wie Wolframtetrachlorid (WCl<sub>4</sub>, Wolframtetrachlorid) haben Potenzial in der Katalyse; ihre Herstellung und Stabilität erfordern besondere Aufmerksamkeit bei der Handhabung und Verwendung.

---

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Informationsquellen

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Kapitel 6: Herstellung und Anwendung von Wolframcarbiden und Nitriden

#### 6.1 Tungsten Carbide (WC, Tungsten Carbide)

Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) gehört zu den industriell wertvollsten und am weitesten verbreiteten Verbindungen in der chemischen Familie der Wolfram (W, Wolfram), die für ihre außergewöhnliche Härte, Verschleißfestigkeit und thermische Stabilität bekannt sind. Als Eckpfeiler von Hartmetallen spielt Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) eine unverzichtbare Rolle in Schneidwerkzeugen, Bergbaumaschinen und verschleißfesten Beschichtungen. Sein schwarzes oder grauschwarzes Pulveraussehen täuscht über seine Brillanz in der modernen Industrie hinweg, mit einer Entwicklungsgeschichte, die von frühen Laborexperimenten bis zur heutigen globalisierten Produktion reicht und den tiefgreifenden Einfluss der Wolframchemie auf die Materialwissenschaft zeigt.

##### 6.1.1 Zubereitungsprozesse

Die Aufbereitung von Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) umfasst eine Vielzahl von Methoden, darunter Hochtemperaturkarbonisierung und Gasphasenreaktionen, die auf unterschiedliche Anforderungen an Reinheit und Partikelgröße zugeschnitten sind.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Hochtemperatur-Karbonisierungsverfahren

### (Wolframpulver-Karbonisierung)

Bei der Hochtemperatur-Karbonisierungsmethode wird [Wolframpulver \(W-Pulver, Wolframpulver\)](#) mit einer Kohlenstoffquelle (z. B. Ruß oder Graphit) bei 1400-1600 °C zu Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) umgesetzt, wobei die Gleichung  $W + C \rightarrow WC$  gilt. Dieser Prozess wird in der Regel in einer Vakuum- oder Wasserstoffatmosphäre durchgeführt, um Oxidation zu verhindern und den Kohlenstoffgehalt zu kontrollieren. Nach der Reaktion wird das Produkt gemahlen und gesiebt, um fein gleichmäßiges Wolframkarbidpulver (WC, Wolframcarbid) zu erhalten. Aufgrund seines ausgereiften Verfahrens und seiner Kosteneffizienz dominiert dieses Verfahren die industrielle Produktion, die in der Hartmetallherstellung, insbesondere in großen Wolframverarbeitungsunternehmen in China und Europa, weit verbreitet ist.

## Gasphasen-Karbonisierungsverfahren

### (Chemische Gasdampfreaktion)

Bei der Gasphasenkarbonisierungsmethode werden flüchtige Wolframverbindungen wie [Wolframhexafluorid \(WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid\) verwendet](#), die bei 800-1000 °C über eine chemische Gasphasenreaktion mit Kohlenwasserstoffen (z. B. Methan, CH<sub>4</sub>) reagieren, um Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid) herzustellen. Diese Technik kann nanoskalige Wolframkarbid-Partikel (WC, Wolframkarbid) erzeugen und eignet sich daher für Hochleistungsbeschichtungen und Präzisionswerkzeuge. Die Reaktion findet in speziellen Reaktoren mit präziser Steuerung des Gasflusses statt, um eine gleichmäßige Partikelverteilung zu gewährleisten.

## Methode der Plasmasynthese

### (Ultrafeine Partikelvorbereitung)

Bei der Plasmasynthesemethode wird Wolframpulver (W-Pulver, Wolframpulver) mit einer Kohlenstoffquelle in einer Hochtemperatur-Plasmaumgebung (>5000 °C) schnell reagiert und ultrafeines Wolframkarbidpulver (WC, Wolframkarbid) (Partikelgröße <100 nm) hergestellt. Dieses Verfahren zeichnet sich durch die Erzeugung hochreiner, ultrafeiner Partikel aus, die sich ideal für fortschrittliche Anwendungen wie verschleißfeste Beschichtungen in Materialien für die Luft- und Raumfahrt eignen, obwohl die hohen Ausrüstungskosten es auf die Produktion in kleinen Chargen mit hohem Wert beschränken.

## 6.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) weist eine hexagonale Kristallstruktur auf, in der sich Wolfram- und Kohlenstoffatome in einem Verhältnis von 1:1 durch starke kovalente Bindungen verbinden und ein dicht gepacktes Gitter bilden. Deutsche kristallographische Untersuchungen deuten darauf hin, dass diese sechseckige Anordnung ihm eine außergewöhnliche Härte (Mohs-Härte ~9, nach Diamant an zweiter Stelle) und überlegene mechanische Eigenschaften verleiht [16]. In seiner molekularen Zusammensetzung trägt

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolfram zu einer hohen Dichte ( $15,63 \text{ g/cm}^3$ ) bei, während Kohlenstoff die Gitterstabilität erhöht und es ihm ermöglicht, die strukturelle Integrität unter extremen Bedingungen zu erhalten.

### 6.1.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) zeichnet sich durch eine bemerkenswerte thermische Stabilität aus, behält seine Struktur unter  $2600 \text{ }^\circ\text{C}$  bei und weist eine ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit auf, da es in sauerstoffreichen Umgebungen nur langsam zu Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) oberhalb von  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  oxidiert. Chemisch ist es resistent gegen Korrosion durch Säuren und Basen, obwohl es in stark oxidierenden Säuren (z. B. Salpetersäure) allmählich erodiert werden kann. Die russische Materialforschung hebt seine thermische Stabilität und chemische Inertheit hervor, was es zu einer idealen Wahl für verschleißfeste Hochtemperaturmaterialien macht [17].

### 6.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Wolframkarbid (WC, Tungsten Carbide) sind unauffällig, da es schwarz oder grau-schwarz aussieht, das auf die Elektronenabsorption in seiner Kristallstruktur zurückzuführen ist und keine nennenswerte Fluoreszenz oder optische Aktivität aufweist. Elektrisch besitzt es eine moderate Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand  $\sim 20 \mu\Omega \text{ cm}$ ), die deutlich niedriger ist als metallisches Wolfram (W, Wolfram), aber dennoch ausreichend für Anwendungen wie die Funkenerosion. Magnetisch gesehen weist Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) keine signifikanten Eigenschaften auf, da sein Wert in erster Linie auf mechanischen Eigenschaften und nicht auf physikalischen Eigenschaften beruht.

### Trinkgeld

Die vielfältigen Aufbereitungsmethoden und die außergewöhnliche Härte und Verschleißfestigkeit von Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) machen es in industriellen Anwendungen unersetzlich; Die Beschaffung sollte sich auf die Partikelgröße und -reinheit konzentrieren, die auf die spezifischen Anwendungen zugeschnitten sind.

## 6.2 Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid)

Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) ist eine Verbindung, die aus Wolfram (W, Wolfram) und Stickstoff gebildet wird, mit einem engeren Anwendungsbereich im Vergleich zu Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid), aber sie hat einen einzigartigen Wert in verschleißfesten Beschichtungen, elektronischen Materialien und dünnen Schichten mit hoher Härte. Sein dunkelgraues Aussehen und seine hervorragenden physikalischen Eigenschaften machen Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) zu einem weniger bekannten Edelstein innerhalb der chemischen Familie der Wolframchemie, dessen Forschung und Entwicklung neue Möglichkeiten in der Materialwissenschaft eröffnet.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 6.2.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) beruht in erster Linie auf Hochtemperaturnitridierungs- oder Gasphasenabscheidungstechniken, die eine präzise Steuerung erfordern, um die Produktqualität zu gewährleisten.

### Hochtemperatur-Nitridierungsverfahren (Wolframpulvernitrifizierung)

Bei der Hochtemperaturnitridierung wird Wolframpulver (W-Pulver, Wolframpulver) mit Stickstoffgas (N<sub>2</sub>) oder Ammoniak (NH<sub>3</sub>) bei 1000-1200 °C zu Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) umgesetzt, das durch die Gleichung  $W + N_2 \rightarrow WN$  dargestellt wird. Dieser Prozess wird in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre durchgeführt, um Sauerstoffinterferenzen zu vermeiden, wodurch ein dunkelgraues Pulver entsteht. Durch seine Einfachheit und die Möglichkeit, leicht verfügbares Wolframpulver (W-Pulver, Wolframpulver) zu verwenden, eignet es sich für die industrielle Produktion.

### Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD oder PVD)

Das Gasphasenabscheidungsverfahren verwendet die chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder die physikalische Gasphasenabscheidung (PVD), um Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid) oder Wolfram (W, Wolfram) mit einer Stickstoffquelle (z. B. Ammoniak) bei 600-900 °C zu reagieren und dünne Wolframnitrid-Schichten (WN, Wolframnitrid) zu bilden. Diese Technik erzeugt hochreine Schichten, die üblicherweise für verschleißfeste Beschichtungen und elektronische Komponenten verwendet werden und spezielle Geräte zur Kontrolle der Schichtdicke und -gleichmäßigkeit erfordern.

## 6.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) nimmt typischerweise eine kubische Kristallstruktur an, bei der Wolfram- und Stickstoffatome im Verhältnis 1:1 durch ein kovalentes Netzwerk gebunden sind. Russische kristallographische Untersuchungen stellen fest, dass seine Gitterstruktur der von Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) ähnelt, obwohl der Einbau von Stickstoff zu einer etwas geringeren Härte (Mohs-Härte ~8) und einer Dichte von etwa 14,5 g/cm<sup>3</sup> führt [17]. Die starken kovalenten Bindungen in seiner molekularen Zusammensetzung tragen zu seinen robusten mechanischen Eigenschaften und seiner Korrosionsbeständigkeit bei.

## 6.2.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) bleibt in inerten Atmosphären bis etwa 1000 °C stabil, oxidiert jedoch unter sauerstoffreichen Bedingungen zu Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid) oberhalb von 600 °C und weist eine etwas geringere thermische Stabilität

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

auf als Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid). Chemisch widersteht es der Korrosion durch Säuren und Basen, zersetzt sich jedoch allmählich in stark oxidierenden Umgebungen (z. B. konzentrierte Salpetersäure). Seine Korrosionsbeständigkeit erhöht die Eignung für Beschichtungsanwendungen.

#### 6.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) sind unauffällig, da sein dunkelgraues Aussehen keine signifikante optische Aktivität aufweist. Elektrisch fungiert es als Halbleiter (Bandlücke  $\sim 1,8-2,2$  eV) mit mäßiger Leitfähigkeit, wodurch es für elektronische Materialien geeignet ist. Magnetisch weist Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) keine nennenswerten Eigenschaften auf, da seine Anwendungen hauptsächlich von mechanischen und elektrischen Eigenschaften bestimmt werden.

#### Trinkgeld

Die Herstellung von Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) erfordert eine strenge Nitridierungskontrolle, und sein Potenzial in verschleißfesten Beschichtungen und elektronischen Materialien verdient weitere Untersuchungen.

### 6.3 Andere Wolframcarbide und -nitride

Neben Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid) und Wolframnitrid (WN, Wolframnitrid) umfasst die Wolframcarbid- und Nitridfamilie Verbindungen wie Ditrancarbid ( $W_2C$ , Ditungstencarbid) und Wolframcarbonitrid ( $WC_{1-x}N_x$ , Wolframcarbonitrid), die einen einzigartigen Wert in spezifischen verschleißfesten und Hochtemperaturanwendungen bieten.

#### 6.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Vorbereitungsprozesse für diese anderen Wolframcarbide und Nitride umfassen typischerweise Hochtemperaturreaktionen oder Verbundtechniken.

#### Kontrolliertes Karbonisierungsverfahren für Wolframcarbid

##### ( $W_2C$ , Ditrancarbid)

Ditwolframcarbid ( $W_2C$ , Ditrancarbid) wird synthetisiert, indem Wolfram (W, Wolfram) mit Kohlenstoff bei  $1200-1400$  °C umgesetzt wird, wobei das Kohlenstoffverhältnis sorgfältig kontrolliert wird, um eine übermäßige Bildung von Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid) zu vermeiden. Dieses Verfahren stellt die gewünschte zweiwertige Karbidstruktur sicher.

#### Kohlenstoff-Stickstoff-Co-Diffusionsmethode für Wolframcarbonitrid

##### ( $WC_{1-x}N_x$ , Wolframcarbonitrid)

Wolframcarbonitrid ( $WC_{1-x}N_x$ , Wolframcarbonitrid) wird hergestellt, indem Wolfram (W,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolfram) oder Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid) mit Stickstoff und einer Kohlenstoffquelle bei 800-1000 °C umgesetzt wird, wodurch durch Co-Diffusion von Kohlenstoff- und Stickstoffatomen eine Verbundstruktur gebildet wird.

### 6.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Ditramcarbid ( $W_2C$ , Ditramcarbide) weist eine hexagonale Kristallstruktur mit einem Wolfram-Kohlenstoff-Verhältnis von 2:1 auf, was zu einem weniger dichten Gitter als Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid) führt. Wolframcarbonitrid ( $WC_{1-x}N_x$ , Wolframcarbonitrid) bildet eine zusammengesetzte Kristallstruktur, bei der Kohlenstoff- und Stickstoffatome teilweise substituieren, um eine feste Lösung zu bilden, die ihre Eigenschaften verbessert.

### 6.3.3 Thermische und chemische Stabilität

Ditwolframcarbid ( $W_2C$ , Ditungstencarbid) bleibt unter 2000 °C stabil, zersetzt sich aber in oxidierenden Atmosphären. Wolframcarbonitrid ( $WC_{1-x}N_x$ , Wolframcarbonitrid) kombiniert die Stabilität von Carbiden und Nitriden und hält Temperaturen bis ca. 1500 °C stand und bietet eine robuste Leistung unter anspruchsvollen Bedingungen.

### 6.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Ditwolframcarbid ( $W_2C$ , Ditungstencarbid) und Wolframcarbonitrid ( $WC_{1-x}N_x$ , Wolframcarbonitrid) fehlt es an signifikanter optischer Aktivität, mit mäßiger elektrischer Leitfähigkeit, die für bestimmte Anwendungen geeignet ist, und ohne nennenswerte magnetische Eigenschaften, deren Wert in der mechanischen Leistung liegt.

### Trinkgeld

Andere Wolframcarbide und -nitride, wie z. B. Wolframcarbid ( $W_2C$ , Ditramcarbid), zeichnen sich durch Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturanwendungen aus; die Auswahl sollte sich auf ihre spezifischen Eigenschaften für gezielte Anwendungen konzentrieren.

---

## Informationsquellen

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998 [17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000 [20] Chinatungsten Online WeChat Public Account [22] China Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990 [2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

[4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## Was sind die Chemikalien von Wolfram? Kapitel 7: Herstellung und Anwendung von Wolframsulfiden und Phosphide

### 7.1 Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid)

Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) gilt als eines der bedeutendsten Sulfide innerhalb der chemischen Familie von Wolfram (W, Wolfram) und ist für seine einzigartige Schichtstruktur, seinen niedrigen Reibungskoeffizienten und seine außergewöhnliche Schmierfähigkeit bekannt. Als herausragender Festschmierstoff findet Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) umfangreiche Anwendungen in der mechanischen Industrie, in Hochtemperaturumgebungen und in der zweidimensionalen Materialforschung. Seine tiefgraue bis schwarze Pulver- oder Flockenform verbirgt bemerkenswerte Leistungsfähigkeit und zeichnet einen Entwicklungsweg von traditionellen Schmierstoffen bis hin zur hochmodernen Nanotechnologie nach und demonstriert die vielfältigen Beiträge der Wolframchemie zur Materialwissenschaft.

#### 7.1.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) umfasst eine Vielzahl von Methoden, einschließlich Hochtemperatursulfidierung und chemischer Gasphasenabscheidung, die auf unterschiedliche Anforderungen an Partikelgröße und Reinheit zugeschnitten sind.

#### Hochtemperatur-Sulfidierungsverfahren

##### Bei

der Hochtemperatur-Sulfidierung wird Wolframpulver (W Pulver, Wolframpulver) mit Schwefelpulver (S) bei Temperaturen von 600 °C bis 900 °C zu Wolframdisulfid ( $WS_2$ ,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframdisulfid) nach der Gleichung  $W + 2S \rightarrow WS_2$  umgesetzt. Dieser Prozess wird in der Regel in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre (z. B. Argon) durchgeführt, um eine Oxidation zu verhindern, wodurch ein tiefgraues Pulver entsteht. Nach der Reaktion wird das Produkt gemahlen und gesiebt, um gleichmäßige Partikel zu erhalten. Dieses Verfahren, das aufgrund seiner Einfachheit und der leicht verfügbaren Rohstoffe in der industriellen Produktion weit verbreitet ist, dominiert die Herstellung von Schmiermaterialien.

### Chemisches Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD)

Bei der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) wird [Wolframtrioxid \( \$WO\_3\$ , Wolframtrioxid\)](#) oder [Wolframhexafluorid \( \$WF\_6\$ , Wolframhexafluorid\)](#) verwendet, das mit Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) bei 400-700 °C reagiert, um dünne Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) zu bilden. Mit dieser Technik kann einschichtiges oder mehrschichtiges Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) hergestellt werden, was es ideal für die Forschung an zweidimensionalen Materialien und elektronischen Geräten macht. Die Reaktion findet in speziellen Reaktoren statt, die eine präzise Steuerung des Gasflusses und der Temperatur erfordern, um die Filmqualität zu gewährleisten.

### Mechanisches Exfoliationsverfahren (Nanoblatt-Vorbereitung)

Das mechanische Exfoliationsverfahren trennt Nanoblätter von Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) unter Verwendung physikalischer Techniken (z. B. Ultraschallpeeling oder Klebeband), die üblicherweise in Laboratorien zur Herstellung von hochreinem einschichtigem Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) eingesetzt werden. Obwohl diese Methode in ihrer Ausbeute begrenzt ist, bewahrt sie die Integrität der Schichtstruktur, was sie für die Grundlagenforschung und die Erforschung der Nanotechnologie wertvoll macht.

### 7.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) weist eine hexagonale Schichtkristallstruktur auf, bei der Wolframatomkerne zwischen zwei Schwefelatomschichten angeordnet sind und eine "sandwichartige" zweidimensionale Einheit bilden, die durch schwache Van-der-Waals-Kräfte zwischen benachbarten Schichten zusammengehalten wird. Deutsche kristallographische Untersuchungen deuten darauf hin, dass dieser Schichtaufbau zu einer geringen Scherfestigkeit (Reibungskoeffizient  $\sim 0,03-0,1$ ) und einer hohen Schmierfähigkeit führt [16]. In seiner molekularen Zusammensetzung bindet jedes Wolframatom kovalent mit zwei Schwefelatomen mit einem Zwischenschichtabstand von etwa 6,18 Å, was zu seiner hervorragenden Leistung beim mechanischen Gleiten und Exfolieren beiträgt.

### 7.1.3 Thermische und chemische Stabilität

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) weist eine hervorragende thermische Stabilität in inerten Atmosphären auf und hält Temperaturen bis ca. 1200 °C ohne Degradation stand. In sauerstoffreichen Umgebungen oxidiert es jedoch oberhalb von 350 °C zu Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) und Schwefeldioxid ( $SO_2$ ), was seine Verwendung unter oxidativen Hochtemperaturbedingungen einschränkt. Chemisch widersteht es der Korrosion durch Säuren und Basen, zersetzt sich aber allmählich unter starken Oxidationsmitteln (z. B. Wasserstoffperoxid). Die russische Materialforschung hebt seine thermische Stabilität und chemische Inertheit hervor, was es in Hochtemperaturschmieranwendungen hochwirksam macht [17].

#### 7.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) variieren mit der Schichtdicke; Einschichtiges Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) besitzt eine direkte Bandlücke (~2,0 eV) und weist Fluoreszenz auf, während Mehrschichtformen eine indirekte Bandlücke (~1,3 eV) aufweisen, wodurch die optische Aktivität reduziert wird. Elektrisch funktioniert es wie ein Halbleiter, wobei einzelne Schichten im Vergleich zu Multilayern eine überlegene Leitfähigkeit bieten, wodurch es für optoelektronische Bauelemente geeignet ist. Magnetisch zeigt Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) keine signifikanten Eigenschaften, da seine Anwendungen in erster Linie von der Schmierfähigkeit und den elektrischen Eigenschaften abhängen.

#### Trinkgeld

Die flexiblen Aufbereitungsmethoden und der Schichtaufbau von Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) verleihen ihm einen einzigartigen Vorteil bei der Schmierung und bei zweidimensionalen Materialien. Bei der Auswahl sollten die Anzahl und Reinheit der Schichten je nach Anwendungsanforderungen berücksichtigt werden.

### 7.2 Tungsten Phosphide (WP, Tungsten Phosphide)

Wolframphosphid (WP, Wolframphosphid) ist eine Verbindung, die zwischen Wolfram (W, Wolfram) und Phosphor gebildet wird, mit einem eingeschränkteren Anwendungsbereich im Vergleich zu Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid), aber sie hat einen besonderen Wert in Katalysatoren und verschleißfesten Materialien. Sein grauschwarzes Aussehen und seine hervorragenden katalytischen Eigenschaften positionieren Wolframphosphid (WP, Tungsten Phosphide) als diskreten, aber wirkungsvollen Akteur in der Familie der Wolframchemikalien, wobei seine Forschung neue Wege zur Katalyse und Materialwissenschaft einschlägt.

#### 7.2.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframphosphid (WP, Wolframphosphid) umfasst in erster Linie Hochtemperaturphosphidierungs- oder chemische Reduktionstechniken, die eine präzise

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kontrolle der Reaktionsbedingungen erfordern.

### Hochtemperatur-Phosphidierungsverfahren

Bei der Hochtemperatur-Phosphidierungsmethode wird Wolframpulver (W Pulver, Wolframpulver) mit Phosphorpulver (P) oder Phosphin (PH

<sub>3</sub>) bei 800-1000 °C zu Wolframphosphid (WP, Wolframphosphid) umgesetzt, wobei die Gleichung  $W + P \rightarrow WP$  gilt. Dieser Prozess findet in einem geschlossenen Reaktor statt, um Sauerstoff auszuschließen, wodurch ein grau-schwarzes Pulver entsteht. Es eignet sich aufgrund seines unkomplizierten Verfahrens und der Nutzung der verfügbaren Wolframressourcen sowohl für die industrielle als auch für die kleintechnische Produktion.

### Chemisches Reduktionsverfahren

#### (Oxid-Phosphidierung)

Bei der chemischen Reduktionsmethode wird Wolframphosphid (WP, Wolframphosphid) hergestellt, indem Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) mit einer Phosphorquelle (z. B. roter Phosphor) in einer Wasserstoffatmosphäre bei 700-900 °C umgesetzt wird. Diese Technik kann nanoskalige Partikel herstellen, die sich ideal für die Katalysatorentwicklung eignen, wobei eine sorgfältige Phosphordosierung erforderlich ist, um die Bildung niedrigerer Phosphide zu verhindern.

### 7.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframphosphid (WP, Wolframphosphid) nimmt typischerweise eine orthorhombische Kristallstruktur an, bei der Wolfram- und Phosphoratom in einem Verhältnis von 1:1 innerhalb eines kovalenten Netzwerks gebunden sind. Untersuchungen deuten darauf hin, dass sein relativ dichtes Gitter (Dichte  $\sim 12,5 \text{ g/cm}^3$ ) und der Einbau von Phosphor seine katalytische Aktivität erhöhen [17]. Die kovalenten Wolfram-Phosphor-Bindungen in seiner molekularen Zusammensetzung tragen zu seiner hohen Härte und chemischen Stabilität bei.

### 7.2.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframphosphid (WP, Wolframphosphid) bleibt in inerten Atmosphären bis ca. 900 °C stabil, oxidiert jedoch unter sauerstoffreichen Bedingungen zu Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) und Phosphoroxiden. Chemisch widersteht es der Korrosion durch Säuren und Basen, zersetzt sich jedoch allmählich unter starken Oxidationsmitteln, wobei seine Stabilität seine Leistung in katalytischen Reaktionen unterstützt.

### 7.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Wolframphosphid (WP, Tungsten Phosphide) weist keine signifikante optische Aktivität auf, da es seinem grau-schwarzen Aussehen an charakteristischen optischen Merkmalen mangelt. Elektrisch handelt es sich um einen Halbleiter mit schmaler Bandlücke ( $\sim 0,8-1,2$

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eV) mit moderater Leitfähigkeit, der sich als Katalysatorträger eignet. Magnetisch zeigt es keine nennenswerten Eigenschaften, wobei sein primärer Wert von den katalytischen Fähigkeiten abgeleitet wird.

### Trinkgeld

Die Herstellung von Wolframphosphid (WP, Wolframphosphid) erfordert eine präzise Phosphidierungskontrolle, und sein Potenzial in der Katalyse verdient weitere Aufmerksamkeit.

## 7.3 Sonstige Wolframsulfide und Phosphide

Zur Wolframsulfid- und Phosphidfamilie gehören neben Wolframdisulfid ( $WS_2$ , Wolframdisulfid) und Wolframphosphid (WP, Wolframphosphid) Verbindungen wie Ditungstentrisulfid ( $W_2S_3$ , Ditungstentrisulfid) und Wolframdiphosphid ( $WP_2$ , Wolframdiphosphid), die in spezifischen Katalyse- und Hochhärteanwendungen deutliche Vorteile bieten.

### 7.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung dieser anderen Wolframsulfide und Phosphide umfasst in der Regel Hochtemperaturreaktionstechniken.

#### Kontrolliertes Sulfidierungsverfahren für Wolframtrisulfid ( $W_2S_3$ , Ditwolframtrisulfid)

Ditwolframtrisulfid ( $W_2S_3$ , Ditwolframtrisulfid) wird synthetisiert, indem Wolfram (W, Wolfram) mit Schwefel bei 500-700 °C umgesetzt wird, wobei das Schwefelverhältnis gesteuert wird, um eine übermäßige Sulfidierung zu vermeiden.

#### Hochtemperatur-Phosphidierungsverfahren für Wolframdiphosphid ( $WP_2$ , Wolframdiphosphid)

Wolframdiphosphid ( $WP_2$ , Wolframdiphosphid) wird hergestellt, indem Wolfram (W, Wolfram) mit überschüssigem Phosphor bei 900-1100 °C unter Bildung einer phosphorreichen Verbindung umgesetzt wird.

### 7.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Ditungstentrisulfid ( $W_2S_3$ , Ditungstentrisulfid) weist eine orthorhombische Kristallstruktur mit einem Wolfram-Schwefel-Verhältnis von 2:3 auf, wodurch ein relativ lockeres Gitter entsteht. Wolframdiphosphid ( $WP_2$ , Wolframdiphosphid) nimmt eine monokline Struktur mit einem Wolfram-Phosphor-Verhältnis von 1:2 an, wodurch seine katalytische Aktivität verbessert wird.

### 7.3.3 Thermische und chemische Stabilität

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ditwolframtrisulfid ( $W_2S_3$ , Ditungstentrisulfid) bleibt unter 800 °C stabil, oxidiert aber unter sauerstoffreichen Bedingungen leicht. Wolframdiphosphid ( $WP_2$ , Wolframdiphosphid) hält Temperaturen bis ca. 1000 °C stand und weist eine hohe chemische Stabilität auf.

### 7.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Ditwolframtrisulfid ( $W_2S_3$ , Ditungstentrisulfid) und Wolframdiphosphid ( $WP_2$ , Wolframdiphosphid) weisen keine signifikante optische Aktivität auf, weisen eine mäßige elektrische Leitfähigkeit auf, die für bestimmte Anwendungen geeignet ist, und zeigen keine nennenswerten magnetischen Eigenschaften, wobei ihr Wert hauptsächlich in der katalytischen Leistung liegt.

### Trinkgeld

Andere Wolframsulfide und Phospide, wie z. B. Ditwolframtrisulfid ( $W_2S_3$ , Ditungstentrisulfid), bieten einzigartige Vorteile in der Katalyse; die Auswahl sollte sich auf ihre chemische Zusammensetzung konzentrieren.

---

### Informationsquellen

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

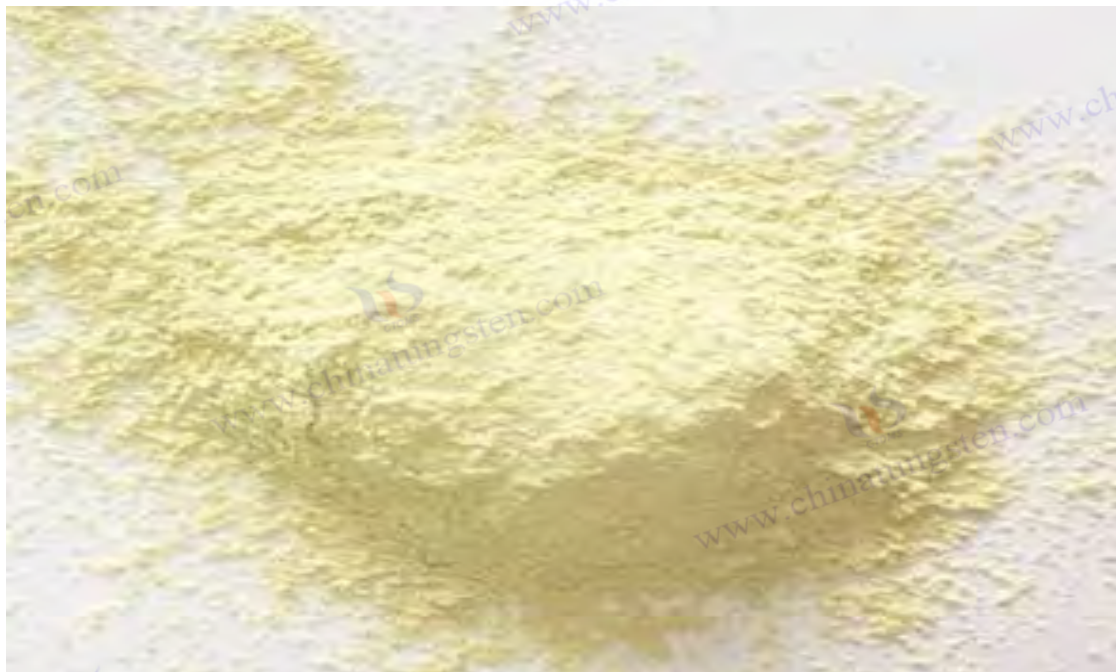
---

### Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von*

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframverbindungen (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18]  
Hochtemperaturchemie der Wolframoxide (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19]  
Chemische Stabilität von Wolframstaten (Englisch) - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20]  
Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21]  
Organometallische Wolframverbindungen (Englisch) - Organometalle, ACS Publications, 2005[22]  
Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Kapitel 8:

## Herstellung und Anwendungen von metallorganischen Wolframverbindungen

### 8.1 Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl)

Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) ist die repräsentativste metallorganische Verbindung von Wolfram (W, Wolfram) und bekannt für seine hohe Flüchtigkeit, seine koordinationschemische Aktivität und seine katalytischen Fähigkeiten in der organischen Synthese. Als klassische Metallcarbonylverbindung weist Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) ein breites Anwendungspotenzial bei der Katalysatorherstellung, bei organischen Reaktionen und bei der Dünnschichtabscheidung auf. Sein weißes, kristallines Aussehen und sein unverwechselbarer Geruch täuschen über seine zentrale Rolle in der Chemie hinweg, mit einem Entwicklungspfad von der Laborforschung bis hin zu industriellen Anwendungen, der die Ausdehnung der Wolframchemie auf den Bereich der organischen Chemie unterstreicht.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 8.1.1 Zubereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) umfasst verschiedene Methoden, einschließlich Hochdruck-Carbonylierungs- und reduktive Carbonylierungstechniken, die auf unterschiedliche Reinheits- und Anwendungsanforderungen zugeschnitten sind.

#### Hochdruck-Carbonylierungsverfahren (Wolframpulver-Carbonylierung)

Bei der Hochdruck-Carbonylierungsmethode wird [Wolframpulver \(W-Pulver, Wolframpulver\)](#) mit Kohlenmonoxid (CO) unter hohem Druck (100-200 atm) und erhöhten Temperaturen (200-300 °C) umgesetzt, um Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) nach der Gleichung  $W + 6CO \rightarrow W(CO)_6$  herzustellen. Dieser Prozess erfordert einen Hochdruckautoklaven, oft mit Zugabe von Katalysatoren (z. B. Jodiden), um die Reaktionseffizienz zu verbessern. Das Produkt fällt in Form von weißen Kristallen aus, die durch Sublimation gereinigt werden, um hochreines Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) zu erhalten. Diese Methode ist aufgrund ihrer Direktheit und hohen Ausbeute sowohl im industriellen als auch im Laborbereich eine feste Größe.

#### Reduktives Carbonylierungsverfahren (Halogenidreduktion)

Das reduktive Carbonylierungsverfahren bereitet Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) her, indem [Wolframhexachlorid \( \$WCl\_6\$ , Wolframhexachlorid\)](#) in Gegenwart eines Reduktionsmittels (z. B. Zink- oder Aluminiumpulver) bei 150-250 °C mit Kohlenmonoxid umgesetzt wird. Diese Reaktion muss unter wasserfreien und sauerstofffreien Bedingungen stattfinden, um die Bildung von Nebenprodukten zu verhindern. Dieses Verfahren eignet sich für die Produktion in kleinem Maßstab, nutzt intermediäre Wolframhalogenide, verbessert die Ressourcennutzung und wird häufig für die Synthese hochreiner metallorganischer Verbindungen verwendet.

#### Methode der Gasphasensynthese

##### Bei

der Gasphasensynthese wird Wolfram (W, Wolfram) oder seine Verbindungen in der Dampfphase unter hohem Druck (50-100 atm) und Temperaturen um 300 °C mit Kohlenmonoxid umgesetzt, wobei direkt Wolframhexacarbonylgas ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) entsteht, das dann zu Kristallen kondensiert wird. Diese Technik zeichnet sich durch die Beseitigung von Spurenverunreinigungen aus und produziert ultrahochreines Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl), das sich ideal für die Forschung an elektronischen Materialien und Präzisionskatalysatoren eignet.

### 8.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) nimmt eine oktaedrische Kristallstruktur an, bei der ein zentrales Wolframatom über Koordinationsbindungen mit sechs Carbonylliganden (CO) koordiniert ist und eine symmetrische  $W(CO)_6$ -Moleküleinheit bildet. Deutsche kristallographische Studien deuten darauf hin, dass diese oktaedrische Konfiguration zu ihrer hohen Flüchtigkeit (Schmelzpunkt  $\sim 170^\circ C$ , Sublimationspunkt  $\sim 175^\circ C$ ) beiträgt, was sie in Gasphasenreaktionen hochwirksam macht [16]. In seiner molekularen Zusammensetzung befindet sich das Wolframatom in einem Nulloxidationszustand, wobei die starken  $\sigma$ -Donor- und  $\pi$ -Akzeptor-Eigenschaften der Carbonylliganden seine chemische Stabilität verbessern und Koordinations- oder Substitutionsreaktionen mit anderen Liganden in organischen Prozessen erleichtern.

### 8.1.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) weist unter sauerstoff- und wasserfreien Bedingungen eine mäßige thermische Stabilität auf und behält seine kristalline Struktur unter etwa  $150^\circ C$  bei. Bei höheren Temperaturen oder an der Luft zerfällt es jedoch in Kohlenmonoxid und Wolframoxide. Chemisch ist es relativ instabil, licht- und sauerstoffempfindlich und zersetzt sich unter UV-Strahlung oder in Gegenwart von Sauerstoff zu Wolfram (W, Wolfram) und Kohlenmonoxid, was eine Lagerung und Handhabung in einer inerten Atmosphäre erforderlich macht. Die russische chemische Forschung hebt seine hohe Koordinationsaktivität hervor und positioniert es als wirksamen Katalysatorvorläufer in der organischen Synthese [17].

### 8.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) zeigen sich in seinem weißen kristallinen Aussehen, das sich aus Elektronenübergängen ergibt, an denen die Carbonylliganden beteiligt sind, obwohl es in optischen Anwendungen nur einen begrenzten Nutzen hat. Elektrisch ist es im festen Zustand ein Isolator, aber in gasförmiger oder gelöster Form kann es aufgrund der Zersetzung eine geringe Leitfähigkeit aufweisen. Magnetisch zeigt Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) keine signifikanten Eigenschaften, da seine Hauptanwendungen eher auf seiner Koordinationschemie als auf physikalischen Eigenschaften beruhen.

### Trinkgeld

Die Herstellung von Wolframhexacarbonyl ( $W(CO)_6$ , Wolframhexacarbonyl) erfordert einen strikten Ausschluss von Sauerstoff und Licht; seine Koordinationsaktivität bietet erhebliche Vorteile in der Katalyse und organischen Synthese, wobei sich die Beschaffung auf Reinheit und Lagerbedingungen konzentriert.

## 8.2 Wolframzeindichlorid ( $Cp_2WCl_2$ , Wolframendichlorid)

Wolframdichlorid ( $Cp_2WCl_2$ , Wolframdichlorid) ist eine wichtige metallorganische Wolframverbindung, die sich durch ihre stabile Metallocenstruktur und Reaktivität in der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

metallorganischen Chemie auszeichnet. Als Mitglied der Metallocen-Familie hat Wolframzindichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframendichlorid) einen einzigartigen Wert in der Katalysatorherstellung, der organischen Synthese und der materialwissenschaftlichen Forschung. Sein grünes kristallines Aussehen und seine chemische Vielseitigkeit heben es unter den Wolframchemikalien hervor, wobei seine Studie die Anwendung von metallorganischen Wolframverbindungen in der modernen Chemie vorantreibt.

### 8.2.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframzindichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframendichlorid) beruht in erster Linie auf Koordinationsreaktionstechniken, die unter wasserfreien und sauerstofffreien Bedingungen durchgeführt werden, um die Produktqualität zu gewährleisten.

#### Halogenid-Koordinationsmethode

##### (Wolframhexachlorid-Reaktion)

Die Halogenid-Koordinationsmethode synthetisiert Wolframdichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframendichlorid) durch Umsetzung von Wolframhexachlorid ( $\text{WCl}_6$ , Wolframhexachlorid) mit Natriumcyclopentadienid ( $\text{NaCp}$ ) in einem Lösungsmittel wie Tetrahydrofuran (THF) bei Temperaturen von  $-78\text{ }^\circ\text{C}$  bis Raumtemperatur nach folgender Gleichung:  $\text{WCl}_6 + 2\text{NaCp} \rightarrow \text{Cp}_2\text{WCl}_2 + 2\text{NaCl} + 2\text{Cl}_2$ . Dieser Prozess erfordert eine inerte Atmosphäre (z. B. Stickstoff oder Argon), in der das Reaktionsprodukt extrahiert und rekristallisiert wird, um grüne Kristalle zu erhalten. Diese Methode, die in der Laborsynthese vorherrscht, ermöglicht eine präzise Steuerung der Ligandenkoordination, ideal für die Herstellung von hochreinem Wolframendichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframendichlorid).

#### Reduktive Koordinationsmethode

##### (Wolframtrioxid-Substrat)

Bei der reduktiven Koordinationsmethode wird Wolframdichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframendichlorid) hergestellt, indem [Wolframtrioxid \( \$\text{WO}\_3\$ , Wolframtrioxid\)](#) mit einem Reduktionsmittel (z. B. Zinkpulver) und Cyclopentadien ( $\text{C}_5\text{H}_6$ ) in Gegenwart eines Chlorierungsmittels (z. B.  $\text{PCl}_5$ ) umgesetzt wird) bei  $100\text{-}150\text{ }^\circ\text{C}$ . Das Produkt wird unter wasserfreien Bedingungen durch Lösungsmittelextraktion und -reinigung gewonnen. Diese Methode eignet sich für die Produktion in kleinem Maßstab, nutzt Oxidrohstoffe, um Kosten zu senken, und wird häufig in der metallorganischen Chemieforschung eingesetzt.

### 8.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframzindichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframendichlorid) nimmt eine sandwichartige Kristallstruktur an, mit zwei Cyclopentadienyl (Cp)-Liganden, die parallel zueinander um ein zentrales Wolframatom angeordnet sind, und zwei Chloratomen, die auf der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



gegenüberliegenden Seite positioniert sind und eine Vier-Koordinaten-Struktur bilden. Japanische chemische Forschungen deuten darauf hin, dass diese Sandwich-Konfiguration ihre Stabilität (Zersetzung bei  $\sim 230^{\circ}\text{C}$ ) erhöht, wobei Wolfram in der Oxidationsstufe +4 ist und die  $\pi$ -Elektronen-Wolken der Cyclopentadienyl-Liganden starke Koordinationsbindungen mit Wolfram bilden [20]. Die molekulare Zusammensetzung mit Cp-Liganden verleiht ihm seinen metallorganischen Charakter und ermöglicht eine hohe Reaktivität in katalytischen Prozessen.

### 8.2.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframzindichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframendichlorid) weist unter sauerstofffreien Bedingungen eine gute thermische Stabilität auf und behält seine Struktur unter etwa  $200^{\circ}\text{C}$  bei. In Gegenwart von Sauerstoff oder Feuchtigkeit zersetzt es sich jedoch in Wolframoxide und organische Nebenprodukte, die eine Lagerung in einer inerten Atmosphäre erfordern. Chemisch gesehen hat es eine mäßige Stabilität, da es empfindlich auf Wasser und Oxidationsmittel reagiert, wobei seine Koordinationsstruktur zu einer signifikanten Reaktivität bei organischen Reaktionen beiträgt, wie in Forschungsstudien festgestellt wurde [21].

### 8.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Wolframdichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframdichlorid) spiegeln sich in seinem grünen kristallinen Aussehen wider, das durch d-Elektronenübergänge des Wolframatoms entsteht, obwohl es keinen signifikanten optischen Nutzen hat. Elektrisch ist es ein Isolator im festen Zustand ohne nennenswerte Leitfähigkeit. Magnetisch gesehen zeigt Wolframdichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframdichlorid) aufgrund der Paarung der d-Elektronen von Wolfram keine signifikanten Eigenschaften, wobei seine Anwendungen in erster Linie durch chemische Reaktivität und nicht durch physikalische Eigenschaften bestimmt werden.

### Trinkgeld

Die Herstellung von Wolframzindichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframendichlorid) erfordert wasserfreie und sauerstofffreie Bedingungen; seine stabile Sandwichstruktur bietet Potenzial in der metallorganischen Katalyse, wobei bei der Beschaffung Reinheit und Stabilität im Vordergrund stehen.

## 8.3 Sonstige metallorganische Wolframverbindungen

Neben Wolframhexacarbonyl ( $\text{W}(\text{CO})_6$ , Wolframhexacarbonyl) und Wolframdichlorid ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , Wolframdichlorid) umfasst die Familie der metallorganischen Wolframverbindungen Wolframtetracarbonyl ( $\text{CpW}(\text{CO})_4$ , Wolframtetracarbonyl) und Alkylwolframverbindungen (z. B.  $\text{W}(\text{CH}_3)_6$ , Hexamethylwolfram), die einen besonderen Wert in der Katalyse- und organischen Syntheseforschung haben.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 8.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung dieser anderen metallorganischen Wolframverbindungen umfasst in der Regel Laborsynthesetechniken mit präziser Kontrolle der Reaktionsbedingungen.

#### Carbonyl-Koordinationsmethode für Wolframenozän-Tetracarbonyl (CpW(CO)<sub>4</sub>, Wolframzen-Tetracarbonyl)

Wolframen-Tetracarbonyl (CpW(CO)<sub>4</sub>, Wolframzen-Tetracarbonyl) wird synthetisiert, indem Wolframzeindichlorid (Cp<sub>2</sub>WCl<sub>2</sub>, Wolframendichlorid) mit Kohlenmonoxid unter hohem Druck (50-100 atm) und niedrigen Temperaturen (0-50 °C) umgesetzt wird, wodurch eine übermäßige Karbonylierung vermieden wird, um das gewünschte Produkt zu gewährleisten.

#### Alkylierungsverfahren für Hexamethylenwolfram (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexamethylenwolfram)

Hexamethylenwolfram (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexamethylenwolfram) wird hergestellt, indem Wolframhexachlorid (WCl<sub>6</sub>, Wolframhexachlorid) mit Methyllithium (CH<sub>3</sub>Li) bei -78 °C unter extrem trockenen Bedingungen umgesetzt wird, was aufgrund seiner Instabilität eine sorgfältige Handhabung erfordert.

### 8.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolfram-Tetracarbonyl (CpW(CO)<sub>4</sub>, Wolfram-Tetracarbonyl) weist eine Monocyclopentadienyl-Koordinationsstruktur auf, bei der Wolfram an einen Cp-Liganden und vier CO-Liganden gebunden ist und eine Anordnung mit fünf Koordinaten bildet. Hexamethylwolfram (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexamethylwolfram) nimmt eine oktaedrische Struktur an, bei der das Wolframatom von sechs Methylliganden umgeben ist, obwohl seine Stabilität bemerkenswert gering ist.

### 8.3.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframenozän-Tetracarbonyl (CpW(CO)<sub>4</sub>, Wolframen-Tetracarbonyl) ist unter 150 °C stabil, zersetzt sich aber in sauerstoffreichen Umgebungen leicht. Hexamethylwolfram (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexamethylwolfram) ist extrem instabil, zersetzt sich bei Raumtemperatur und muss bei niedrigen Temperaturen gelagert werden.

### 8.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Wolfram-Tetracarbonyl (CpW(CO)<sub>4</sub>, Wolfram-Tetracarbonyl) und Hexamethylwolfram (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexamethylenwolfram) weisen keine signifikante optische Aktivität auf, sind elektrisch Isolatoren und haben keine nennenswerten magnetischen Eigenschaften, wobei ihr Wert in erster Linie in der katalytischen Aktivität und nicht in den physikalischen Eigenschaften liegt.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Trinkgeld

Andere metallorganische Wolframverbindungen bieten Potenzial in der Katalysatorforschung; Die Selektion sollte sich auf ihre Stabilität und Reaktivität konzentrieren.

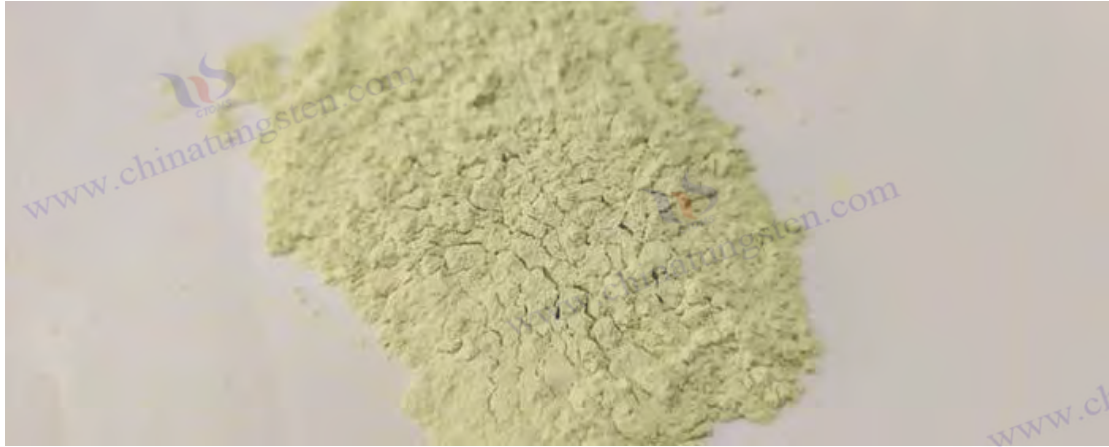
## Informationsquellen

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referenzen

- [1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925
- [12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Kapitel 9:

## Herstellung und Anwendungen von wolframhaltigen Katalysatoren und Reagenzien

### 9.1 Phosphotungstungssäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungstungssäure)

Phosphotungstungssäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungstungssäure) ist einer der repräsentativsten und am weitesten verbreiteten wolframhaltigen Katalysatoren und Reagenzien, der für seinen starken Säuregehalt, seine hohe katalytische Aktivität und seine Stabilität bei verschiedenen Reaktionen bekannt ist. Als typische Heteropolysäure eignet sich Phosphowolframsäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungstungssäure) hervorragend in der organischen Synthese, in petrochemischen Prozessen und in der analytischen Chemie. Sein weißes oder blassgelbes kristallines Aussehen täuscht über seine zentrale Rolle in der Katalyse hinweg, mit einem Entwicklungspfad von Laborstudien zu industriellen Anwendungen, der den tiefgreifenden Einfluss der Wolframchemie im katalytischen Bereich unterstreicht.

#### 9.1.1 Zubereitungsprozesse

Die Herstellung von Phosphowolframsäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungstungssäure) umfasst verschiedene Methoden, einschließlich Säurefällungs- und Extraktionsreinigungstechniken, die auf unterschiedliche Reinheits- und Anwendungsanforderungen zugeschnitten sind.

#### Methode der sauren Fällung (Wolframatreaktion)

Bei der sauren Fällungsmethode wird Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ , Natriumwolframat) mit Phosphorsäure ( $H_3PO_4$ ) unter sauren Bedingungen (typischerweise mit Salz- oder Schwefelsäure auf pH 1-2 eingestellt) zu Phosphowolframsäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphowolframsäure) umgesetzt. Die Reaktionsgleichung lautet:  $12Na_2WO_4 + H_3PO_4 + 21HCl \rightarrow H_3PW_{12}O_{40} + 24NaCl + 12H_2O$ . Bei 50-80 °C fällt das Produkt als weiße oder

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

blaugelbe Kristalle aus, die gefiltert, gewaschen und getrocknet (bei ~100-150 °C) werden, um das Endprodukt zu erhalten. Die Einfachheit dieser Methode und die Verwendung zugänglicher Rohstoffe machen sie sowohl in der Industrie als auch im Labor weit verbreitet.

### Extraktions-Reinigungsmethode

#### Das

Extraktionsreinigungsverfahren bereitet Phosphowolframsäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungssäure) vor, indem eine wolframhaltige Lösung (z. B. Wolframatlösung) mit Phosphorsäure angesäuert wird, gefolgt von einer Extraktion mit einem organischen Lösungsmittel (z. B. Diethylether oder Butanon) und anschließender Lösungsmittelverdampfung und Kristallisation, um ein reines Produkt zu erhalten. Diese Technik entfernt effektiv Verunreinigungen und erzeugt hochreine Phosphowolframsäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungssäure), die häufig in analytischen Reagenzien und in der Präzisionskatalysatorforschung in Laborumgebungen verwendet wird.

### Ionenaustausch-Methode (Hochreine Zubereitung)

Bei der Ionenaustauschmethode wird eine Wolframatlösung mit Phosphorsäure gemischt, durch ein Ionenaustauscherharz geleitet, um Phosphotungat-Ionen zu isolieren, und dann die Lösung angesäuert, um Phosphotungssäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungssäure) auszufällen. Diese Methode eignet sich hervorragend zur Kontrolle von Spurenverunreinigungen und eignet sich daher für die Herstellung ultrahochreiner Produkte, die häufig in fortschrittlichen Katalyse- und wissenschaftlichen Studien eingesetzt werden.

### 9.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Phosphotungssäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungssäure) nimmt eine Heteropolysäurestruktur vom Keggin-Typ an, bei der ein zentrales Phosphoratom von 12 Wolfram-Sauerstoff-Oktaedern umgeben ist und ein hochsymmetrisches käfigartiges Molekül bildet. Deutsche kristallographische Untersuchungen zeigen, dass diese Struktur einen starken Säuregehalt ( $pK_a < 0$ ) und eine hohe katalytische Aktivität verleiht, wobei der Kristall typischerweise mehrere Wassermoleküle enthält (üblicherweise  $H_3PW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$ ,  $n \approx 14-30$ ) [16]. In seiner molekularen Zusammensetzung befindet sich Wolfram in der Oxidationsstufe +6, Phosphor im Zustand +5 und ist über Sauerstoffbrücken zu einem stabilen dreidimensionalen Gerüst verbunden, das unter verschiedenen Reaktionsbedingungen seine Integrität beibehält.

### 9.1.3 Thermische und chemische Stabilität

Phosphotungssäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungssäure) weist unter trockenen Bedingungen eine gute thermische Stabilität auf und behält ihre Struktur unter etwa

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

300 °C bei, oberhalb derer sie Kristallwasser verliert und sich allmählich in Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) und Phosphoroxide zersetzt. Chemisch ist es in sauren Umgebungen außergewöhnlich stabil, zersetzt sich aber unter stark alkalischen Bedingungen in Wolframat und Phosphate. Die russische Katalyseforschung hebt seinen starken Säuregehalt und seine Stabilität hervor, was es zu einer hohen Wirksamkeit bei säurekatalysierten Reaktionen macht [17].

#### 9.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften der Phosphowolframsäure ( $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ , Phosphotungssäure) sind unauffällig, da ihre weißen oder blassgelben Kristalle keine signifikante optische Aktivität aufweisen und in erster Linie chemischen und nicht optischen Zwecken dienen. Elektrisch ist es im festen Zustand ein Isolator, weist aber in Lösung aufgrund seines starken Säuregehalts eine ionische Leitfähigkeit auf. Magnetisch gesehen zeigt Phosphowolframsäure ( $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ , Phosphotungssäure) keine nennenswerten Eigenschaften, da ihr Wert in ihrer katalytischen Leistung und ihrem Säuregehalt beruht.

#### Trinkgeld

Die flexiblen Aufbereitungsmethoden und der hohe Säuregehalt der Phosphowolframsäure ( $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ , Phosphotungssäure) bieten erhebliche Vorteile in der Katalyse; bei der Beschaffung sollte deren Reinheit und Hydratationszustand berücksichtigt werden.

#### 9.2 Silikotionssäure ( $\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$ , Silikotungssäure)

Silikotungssäure ( $\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$ , Silikotungssäure) ist eine weitere wichtige wolframhaltige Heteropolysäure, die sich durch ihren hohen Säuregehalt, ihre Redoxaktivität und ihre Vielseitigkeit in der organischen Synthese und katalytischen Reaktionen auszeichnet. Als Heteropolysäure vom Keggin-Typ findet Silikotungssäure ( $\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$ , Silikotionssäure) breite Anwendung in der Säurekatalyse, bei Oxidationsreaktionen und in der Brennstoffzellenforschung. Sein farbloses oder hellgelbes kristallines Aussehen verbirgt seine starken katalytischen Fähigkeiten, wobei seine Erforschung und Anwendung die Grenzen der Wolframchemie in der grünen Chemie und im Energiebereich erweitert.

#### 9.2.1 Vorbereitungsprozesse

Bei der Herstellung von Silikotionssäure ( $\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$ , Silikotungssäure) handelt es sich in erster Linie um saure Reaktions- und Extraktionstechniken, die unter sauren Bedingungen durchgeführt werden.

#### Säurereaktionsmethode

#### (Natriumsilikat- und Wolframatreaktion)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bei der Säurereaktionsmethode wird Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) synthetisiert, indem Natriumsilikat ( $Na_2SiO_3$ ) mit Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ , Natriumwolframat) in einer sauren Lösung (eingestellt auf pH 1-2 mit Salzsäure) bei 60-90°C nach der Gleichung umgesetzt wird:  $12Na_2WO_4 + Na_2SiO_3 + 22HCl \rightarrow H_4SiW_{12}O_{40} + 26NaCl + 11H_2O$ . Das Produkt fällt in Form von Kristallen aus, die filtriert und getrocknet werden (bei ~100-120°C), um die endgültige Verbindung zu erhalten. Die Zugänglichkeit und das ausgereifte Verfahren dieses Verfahrens machen es zu einem breiten Einsatz in der Industrie- und Laborproduktion.

### Extraktionsverfahren (Lösungsreinigung)

Das Extraktionsverfahren beinhaltet das Ansäuern einer gemischten Wolfram- und siliziumhaltigen Lösung, das Extrahieren von Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) mit einem organischen Lösungsmittel (z. B. Diethylether) und das Verdampfen des Lösungsmittels, gefolgt von der Kristallisation, um ein reines Produkt herzustellen. Diese Technik entfernt effektiv Verunreinigungen, wodurch hochreine Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) entsteht, die häufig in der Katalysatorforschung eingesetzt wird.

### 9.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) weist eine Heteropolysäurestruktur vom Keggin-Typ auf, bei der ein zentrales Siliziumatom von 12 Wolfram-Sauerstoff-Oktaedern umgeben ist und ein symmetrisches käfigartiges Molekül bildet. Studien deuten darauf hin, dass diese Struktur einen extrem starken Säuregehalt ( $pK_a < 0$ ) und Redoxfähigkeiten bietet, wobei der Kristall typischerweise mehrere Wassermoleküle enthält (üblicherweise  $H_4SiW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$ ,  $n \approx 14-24$ ) [19]. In seiner molekularen Zusammensetzung befindet sich Wolfram in der Oxidationsstufe +6, Silizium im Zustand +4, die über Sauerstoffbrücken zu einem robusten dreidimensionalen Gerüst verbunden sind.

### 9.2.3 Thermische und chemische Stabilität

Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) behält unter trockenen Bedingungen eine gute thermische Stabilität bei und bewahrt ihre Struktur unter ca. 350 °C, ab wo sie Kristallwasser verliert und sich in Oxide zersetzt. Chemisch ist es in sauren Umgebungen stabil, zerfällt aber unter stark alkalischen Bedingungen in Silikate und Wolframate. Sein hoher Säuregehalt und seine Stabilität machen es hochwirksam in verschiedenen katalytischen Reaktionen.

### 9.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) sind unauffällig, da ihre farblosen oder hellgelben Kristalle keine signifikante optische Aktivität aufweisen. Elektrisch ist es ein Isolator in fester Form, weist aber in Lösung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aufgrund seines starken Säuregehalts eine ionische Leitfähigkeit auf. Magnetisch gesehen zeigt Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) keine nennenswerten Eigenschaften, da ihre Anwendungen hauptsächlich von ihren katalytischen Eigenschaften bestimmt werden.

### Trinkgeld

Die einfache Herstellung und der hohe Säuregehalt und die hohe Redoxaktivität von Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) bieten Potenzial in der Katalyse; bei der Beschaffung sollte der Schwerpunkt auf Reinheit und Hydratationszustand liegen.

## 9.3 Sonstige wolframhaltige Katalysatoren und Reagenzien

Neben Phosphowolframsäure ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Phosphotungssäure) und Silikotungssäure ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Silikotungssäure) umfasst die Familie der wolframhaltigen Katalysatoren und Reagenzien Verbindungen wie Zinkwolframat ( $ZnWO_4$ , Zinkwolframat) und Ammoniumwolframat ( $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumwolframat), die einen besonderen Wert in der Katalyse, Photokatalyse und analytischen Anwendungen haben.

### 9.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung dieser anderen wolframhaltigen Katalysatoren und Reagenzien umfasst typischerweise Lösungsreaktionen oder Festphasensynthesetechniken.

#### Festphasen-Reaktionsverfahren für Zinkwolframat

##### ( $ZnWO_4$ , Zinkwolframat)

Zinkwolframat ( $ZnWO_4$ , Zinkwolframat) wird synthetisiert, indem Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ , Natriumwolframat) mit Zinksulfat ( $ZnSO_4$ ) bei hohen Temperaturen (800-1000 °C) in einer Festphasenreaktion umgesetzt wird, gefolgt von Abkühlen und Mahlen, um das Produkt zu erhalten.

#### Neutralisationsverfahren für Ammoniumwolframat

##### ( $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumwolframat)

Ammoniumwolframat ( $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumwolframat) wird durch Neutralisierung von Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure) mit Ammoniak bei Raumtemperatur hergestellt, gefolgt von einer Rekristallisation zur Reinigung der Verbindung.

### 9.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Zinkwolframat ( $ZnWO_4$ , Zinkwolframat) nimmt eine monokline Kristallstruktur an, bei der Wolfram- und Zinkatome durch Sauerstoffbrücken zu einem Netzwerk verbunden sind. Ammoniumwolframat ( $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumwolframat) weist eine orthorhombische Struktur auf, bei der Wolfram und Sauerstoff eine tetraedrische Einheit

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



bilden, die durch Ammoniumionen stabilisiert wird.

### 9.3.3 Thermische und chemische Stabilität

Zinkwolframat ( $ZnWO_4$ , Zinkwolframat) bleibt unterhalb von 1000 °C stabil und weist eine hohe chemische Stabilität auf. Ammoniumwolframat ( $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumwolframat) zersetzt sich bei etwa 200 °C in Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) mit relativ geringer Stabilität.

### 9.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Zinkwolframat ( $ZnWO_4$ , Zinkwolframat) weist eine Fluoreszenz (Bandlücke ~3,8 eV) auf, ist elektrisch ein Isolator und hat keine magnetischen Eigenschaften. Ammoniumwolframat ( $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumwolframat) zeigt keine optische Aktivität, ist ein Isolator und hat keine signifikanten magnetischen Eigenschaften.

### Trinkgeld

Andere wolframhaltige Katalysatoren wie Zinkwolframat ( $ZnWO_4$ , Zinkwolframat) bieten Potenzial in der Photokatalyse; die Auswahl sollte sich auf ihre spezifischen Eigenschaften konzentrieren.

---

### Informationsquellen

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Staatliche Universität Moskau, Moskau, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Öffentliche

### Kontoreferenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005



## Was sind die Chemikalien von Wolfram? Kapitel 10: Herstellung und Anwendungen von wolframhaltigen pharmazeutischen Chemikalien

### 10.1 Natriumwolframat-Nanopartikel

( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel)

#### Natriumwolframat-Nanopartikel

( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) stellen eine der vielversprechendsten Wolframchemikalien (W, Wolfram) im pharmazeutischen Bereich dar und erregen aufgrund ihrer Bioaktivität, ihrer antioxidativen Eigenschaften und ihrer nanoskaligen Eigenschaften Aufmerksamkeit. Als wolframhaltiges Nanomaterial weisen Natriumwolframat-Nanopartikel ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) ein erhebliches Potenzial in der Antidiabetika-, Krebs- und antibakteriellen Forschung auf. Ihre weiße oder transparente Nanopartikelform birgt ein erhebliches biomedizinisches Versprechen, mit einem Entwicklungsbogen von Grundlagenstudien bis hin zur klinischen Forschung, der die innovativen Durchbrüche der Wolframchemie in der Medizin unterstreicht.

#### 10.1.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Natriumwolframat-Nanopartikeln ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) umfasst eine Vielzahl von Methoden, einschließlich Lösungsfällungs- und Mikroemulsionstechniken, die für unterschiedliche Anforderungen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

an Partikelgrößen und biomedizinische Anwendungen entwickelt wurden.

### **Methode der Lösungsfällung**

#### **Bei der**

Lösungsfällungsmethode wird eine Natriumwolframatlösung ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) mit einem Tensid (z. B. Polyvinylpyrrolidon, PVP) gemischt und ein saures oder basisches Mittel (z. B. HCl oder NaOH) bei Raumtemperatur oder leicht erhöhten Temperaturen (25-50 °C) hinzugefügt, um den pH-Wert auf 6-8 einzustellen, wobei Natriumwolframat-Nanopartikel ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) gebildet werden (Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel). Die Reaktion erfordert eine langsame Zugabe, um das Partikelwachstum zu kontrollieren, wobei das Produkt durch Zentrifugation abgetrennt und getrocknet wird (bei ~60-80 °C). Die Einfachheit und die geringen Kosten dieser Methode machen sie in Laboratorien für erste biomedizinische Forschungsvorbereitungen weit verbreitet.

### **Mikroemulsions-Methode (Partikelgrößenkontrolle)**

Das Mikroemulsionsverfahren bereitet Natriumwolframat-Nanopartikel ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) innerhalb eines Wasser-in-Öl-Mikroemulsionssystems (z. B. Wasser/n-Hexan/Tensid) vor und reagiert Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) mit einem Fällungsmittel (z. B. Ammoniak) unter milden Bedingungen (20-40 °C). Die nanoskaligen Tröpfchen in der Mikroemulsion schränken das Partikelwachstum ein, und das Produkt wird zur Reinigung bei niedrigen Temperaturen (~50 °C) gewaschen und getrocknet. Diese Technik erzeugt gleichmäßige Nanopartikel (<50 nm), die sich für hochpräzise pharmazeutische Anwendungen eignen.

### **Solvotherme Methode**

#### **(Hochreine Zubereitung)**

Das solvothermische Verfahren synthetisiert Natriumwolframat-Nanopartikel ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) durch Umsetzung einer Natriumwolframatlösung ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) mit einem organischen Lösungsmittel (z.B. Ethylenglykol) in einem Hochdruckautoklaven bei 150-200°C. Die Reaktionsdauer (4-12 Stunden) und der Druck werden kontrolliert, wobei das Produkt durch Zentrifugation und Trocknung gereinigt wird. Diese Methode liefert hochreine, gleichmäßig große Nanopartikel, die sich ideal für Wirkstoffträgeranwendungen in der biomedizinischen Forschung eignen.

### **10.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

Natriumwolframat-Nanopartikel ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) behalten typischerweise die orthorhombische Kristallstruktur von Natriumwolframat bei, wobei Wolframatome mit vier Sauerstoffatomen koordiniert sind,

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

die eine tetraedrische Einheit ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) bilden, die durch zwei Natriumatome über Ionenbindungen stabilisiert wird. Ihre nanoskalige Größe (typischerweise 10-100 nm) verstärkt Oberflächeneffekte und vergrößert die spezifische Oberfläche und die aktiven Zentren. Studien deuten darauf hin, dass diese Struktur auf der Nanoskala stabil bleibt, wobei Wolfram sich in der Oxidationsstufe +6 befindet, was Wechselwirkungen mit Biomolekülen erleichtert [16].

### 10.1.3 Thermische und chemische Stabilität

Natriumwolframat-Nanopartikel ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) weisen eine gute thermische Stabilität unterhalb von ca. 300 °C auf, ab der sie Kristallwasser verlieren und sich in eine wasserfreie Form umwandeln oder sich in Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) zersetzen. Chemisch sind sie im physiologischen pH-Bereich (6-8) stabil, zersetzen sich aber unter stark sauren oder alkalischen Bedingungen in Wolframsäure oder Wolframat. Die russische Nanomaterialforschung stellt fest, dass ihre chemische Stabilität zu einer geringen Toxizität in biologischen Umgebungen beiträgt [17].

### 10.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Natriumwolframat-Nanopartikeln ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) sind unauffällig, da ihr weißes oder transparentes Aussehen keine spezifische optische Aktivität aufweist und in erster Linie pharmazeutischen und nicht optischen Zwecken dient. Elektrisch sind sie Isolatoren in fester Form, weisen aber in Lösung aufgrund der Ionendissoziation eine gewisse Ionenleitfähigkeit auf. Magnetisch gesehen zeigen Natriumwolframat-Nanopartikel ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) keine signifikanten Eigenschaften, da ihre Anwendungen eher von der Bioaktivität als von physikalischen Eigenschaften bestimmt werden.

### Trinkgeld

Die vielfältigen Präparationsmethoden und die Bioaktivität von Natriumwolframat-Nanopartikeln ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) bieten Potenzial für die Antidiabetika-Forschung; bei der Beschaffung sollte die Partikelgröße und -reinheit im Vordergrund stehen, um die Biokompatibilität zu gewährleisten.

## 10.2 Polyoxotramat-Nanopartikel (Polyoxotramat-Nanopartikel)

Polyoxotramat-Nanopartikel (Polyoxotramat-Nanopartikel) sind eine aufstrebende Klasse von wolframhaltigen pharmazeutischen Chemikalien, die für ihre Polyoxo-Struktur, ihre antioxidativen Eigenschaften und ihre Bioaktivität bekannt sind. Als nanoskalige Polyoxometallate sind Polyoxotramat-Nanopartikel (Polyoxotramat-Nanopartikel) vielversprechend in der Krebsbekämpfung-, antiviralen und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Arzneimittelverabreichungsforschung. Ihr vielfältiges Aussehen (typischerweise weiße oder helle Nanopartikel) verbirgt komplexe chemische Eigenschaften, wobei laufende Studien die Rolle der Wolframchemie in biomedizinischen Anwendungen vorantreiben.

### 10.2.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Polyoxotramat-Nanopartikeln (Polyoxotramat-Nanopartikeln) umfasst in erster Linie die Lösungspolymerisation und die Nanotechnologie, die eine präzise Kontrolle der Reaktionsbedingungen erfordert.

#### Lösungspolymerisationsverfahren (Wolframtpolymerisation)

Das Lösungspolymerisationsverfahren reagiert Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) oder [Ammoniumparawolframat \(APT,  \$\(\text{NH}\_4\)\_2\text{WO}\_4\$ , Ammoniumparawolframat\)](#) unter sauren Bedingungen (pH 2-4) bei 60-90°C zu Polyoxotramat-Nanopartikeln (Polyoxotramat-Nanopartikel). Der pH-Wert wird schrittweise angepasst, um die Polymerisation von Wolframat-Ionen in Polyoxo-Strukturen zu fördern, wobei das Produkt durch Zentrifugation abgetrennt und getrocknet (bei ~80 °C) wird. Die Einfachheit dieser Methode macht sie in der Laborforschung weit verbreitet.

#### Nanoemulsionsverfahren (Partikelgrößenkontrolle)

Das Nanoemulsionsverfahren synthetisiert Polyoxotramat-Nanopartikel (Polyoxotramat-Nanopartikel) in einem Wasser-in-Öl-Emulsionssystem (z. B. Wasser/Cyclohexan/Tensid) und reagiert Wolframat mit einem Säuerungsmittel bei 40-60 °C. Die nanoskaligen Emulsionströpfchen schränken das Partikelwachstum ein, und das Produkt wird zur Reinigung bei niedrigen Temperaturen (~50 °C) gewaschen und getrocknet. Diese Technik liefert gleichmäßig große Nanopartikel (10-50 nm), die für die pharmazeutische Forschung geeignet sind.

### 10.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Polyoxotramat-Nanopartikel (Polyoxotramat-Nanopartikel) weisen typischerweise Polyoxo-Strukturen vom Keggin- oder Dawson-Typ auf, wobei mehrere Wolfram-Sauerstoff-Oktaeder durch Sauerstoffbrücken verbunden sind, um ein komplexes käfigartiges Molekül zu bilden. Ihre nanoskalige Größe (typischerweise 20-100 nm) erhöht die oberflächenaktiven Zentren, wobei Wolfram sich in der Oxidationsstufe +6 befindet, was die Wechselwirkungen mit Biomolekülen verbessert [19].

### 10.2.3 Thermische und chemische Stabilität

Polyoxotramat-Nanopartikel (Polyoxotramat-Nanopartikel) sind unterhalb von ca. 400 °C stabil und zersetzen sich bei höheren Temperaturen in Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid). Chemisch bleiben sie in sauren und neutralen Umgebungen stabil,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zerfallen aber unter stark alkalischen Bedingungen in Monowolframate, was ihre biomedizinischen Anwendungen unterstützt.

#### 10.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Polyoxotramat-Nanopartikel (Polyoxotramat-Nanopartikel) weisen keine signifikante optische Aktivität auf, und ihr Aussehen weist keine charakteristischen optischen Merkmale auf. Elektrisch sind sie Isolatoren in fester Form, weisen aber in Lösung eine ionische Leitfähigkeit auf. Magnetisch zeigen sie keine nennenswerten Eigenschaften, wobei ihr Wert vor allem in der Bioaktivität liegt.

#### Trinkgeld

Die Polyoxo-Struktur von Polyoxotramat-Nanopartikeln (Polyoxotramat-Nanopartikel) birgt Potenzial in der Krebsforschung; Bei der Auswahl sollten die Partikelgröße und die chemische Stabilität berücksichtigt werden.

#### 10.3 Sonstige wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien

Neben Natriumwolframat-Nanopartikeln ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) und Polyoxotramat-Nanopartikeln (Polyoxotramat-Nanopartikel) gehören zu den wolframhaltigen pharmazeutischen Chemikalien auch Calciumwolframat-Nanopartikel ( $\text{CaWO}_4$ -Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel) und Wolframtrioxid-Nanopartikel ( $\text{WO}_3$ -Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel), die einen besonderen Wert für die Biobildgebung und Arzneimittel bieten. Lieferung.

##### 10.3.1 Vorbereitungsprozesse

Bei der Herstellung dieser anderen wolframhaltigen pharmazeutischen Chemikalien werden typischerweise nanotechnologische Techniken eingesetzt.

##### Fällungsverfahren für Calciumwolframat-Nanopartikel ( $\text{CaWO}_4$ Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel)

Calciumwolframat-Nanopartikel ( $\text{CaWO}_4$  Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel) werden synthetisiert, indem [Calciumwolframat](#) ( $\text{CaWO}_4$ , [Calciumwolframat](#)) mit einem Tensid in Lösung bei 40-60 °C umgesetzt und anschließend zur Reinigung zentrifugiert wird.

Solvothermes Verfahren für Wolframtrioxid-Nanopartikel ( $\text{WO}_3$ -Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel)

##### Wolframtrioxid-Nanopartikel

( $\text{WO}_3$  Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel) werden hergestellt, indem ein Wolframat in Ethylenglykol bei 180-220 °C umgesetzt wird, wobei das Produkt durch Trocknung gereinigt wird.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 10.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

#### Calciumwolframat-Nanopartikel

(CaWO<sub>4</sub> Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel) nehmen eine tetragonale Kristallstruktur an, wobei Wolfram und Sauerstoff eine tetraedrische Einheit bilden. Wolframtrioxid-Nanopartikel (WO<sub>3</sub> Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel) weisen eine monokline Struktur auf, bei der Wolfram und Sauerstoff ein oktaedrisches Netzwerk bilden.

### 10.3.3 Thermische und chemische Stabilität

#### Calciumwolframat-Nanopartikel

(CaWO<sub>4</sub> Nanopartikel, Calciumwolframat Nanopartikel) bleiben unter 1000°C stabil und weisen eine hohe chemische Stabilität auf. Wolframtrioxid-Nanopartikel (WO<sub>3</sub>-Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel) sind bis ca. 500 °C stabil und korrosionsbeständig.

### 10.3 Sonstige wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien

Neben Natriumwolframat-Nanopartikeln (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Nanopartikel, Natriumwolframat-Nanopartikel) und Polyoxotramat-Nanopartikeln (Polyoxotramat-Nanopartikel) gehören zu den wolframhaltigen pharmazeutischen Chemikalien auch Calciumwolframat-Nanopartikel (CaWO<sub>4</sub>-Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel) und Wolframtrioxid-Nanopartikel (WO<sub>3</sub>-Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel), die einen besonderen Wert für die Biobildgebung und Arzneimittel bieten. Lieferung.

#### 10.3.1 Vorbereitungsprozesse

Bei der Herstellung dieser anderen wolframhaltigen pharmazeutischen Chemikalien werden typischerweise nanotechnologische Techniken eingesetzt.

#### Fällungsverfahren für Calciumwolframat-Nanopartikel

##### (CaWO<sub>4</sub> Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel)

Calciumwolframat-Nanopartikel (CaWO<sub>4</sub> Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel) werden synthetisiert, indem [Calciumwolframat \(CaWO<sub>4</sub>, Calciumwolframat\)](#) mit einem Tensid in Lösung bei 40-60 °C umgesetzt und anschließend zur Reinigung zentrifugiert wird.

Solvothermes Verfahren für Wolframtrioxid-Nanopartikel (WO<sub>3</sub>-Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel)

#### Wolframtrioxid-Nanopartikel

(WO<sub>3</sub> Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel) werden hergestellt, indem ein

#### [COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

Wolframat in Ethylenglykol bei 180-220 °C umgesetzt wird, wobei das Produkt durch Trocknung gereinigt wird.

### 10.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

#### Calciumwolframat-Nanopartikel

(CaWO<sub>4</sub> Nanopartikel, Calciumwolframat-Nanopartikel) nehmen eine tetragonale Kristallstruktur an, wobei Wolfram und Sauerstoff eine tetraedrische Einheit bilden. Wolframtrioxid-Nanopartikel (WO<sub>3</sub> Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel) weisen eine monokline Struktur auf, bei der Wolfram und Sauerstoff ein oktaedrisches Netzwerk bilden.

### 10.3.3 Thermische und chemische Stabilität

#### Calciumwolframat-Nanopartikel

(CaWO<sub>4</sub> Nanopartikel, Calciumwolframat Nanopartikel) bleiben unter 1000°C stabil und weisen eine hohe chemische Stabilität auf. Wolframtrioxid-Nanopartikel (WO<sub>3</sub>-Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel) sind bis ca. 500 °C stabil und korrosionsbeständig.

### 10.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

#### Calciumwolframat-Nanopartikel

(CaWO<sub>4</sub> Nanoparticles, Calciumtungat Nanoparticles) weisen Fluoreszenz auf, sind elektrische Isolatoren und haben keine magnetischen Eigenschaften. Wolframtrioxid-Nanopartikel (WO<sub>3</sub>-Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel) besitzen photokatalytische Aktivität, fungieren elektrisch als Halbleiter und weisen keine magnetischen Eigenschaften auf.

### Trinkgeld

Andere wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien bieten Potenzial für die Biobildgebung; Die Auswahl sollte sich auf ihre optischen Eigenschaften und ihre Biokompatibilität konzentrieren.

### Informationsquellen

[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998 [17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000 [20] Chinatungsten Online WeChat Public Account [22] China Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990 [2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)



- [4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018
- [15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## Was sind die Chemikalien von Wolfram? Kapitel 11: Vorbereitung und Anwendung von Sonstige wolframhaltige nichtmetallische Verbindungen

### 11.1 Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid)

[Wolframdiselenid \( \$WSe\_2\$ , Wolframdiselenid\)](#) ist eine der repräsentativsten nichtmetallischen Verbindungen von Wolfram (W, Wolfram), die für ihre Schichtstruktur, ihre Halbleitereigenschaften und ihre optoelektronische Leistung bekannt ist. Als zweidimensionales Übergangsmetalldiselenid weist Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) ein breites Anwendungspotenzial in elektronischen Bauelementen, optoelektronischen Bauelementen und Energiespeichersystemen auf. Seine tiefgraue bis schwarze kristalline oder flockige Form verbirgt außergewöhnliche physikalisch-chemische Eigenschaften, mit einem Entwicklungspfad von der Grundlagenforschung bis hin zu High-Tech-Anwendungen, der den bedeutenden Beitrag der Wolframchemie zur aufstrebenden Materialwissenschaft hervorhebt.

#### 11.1.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) umfasst verschiedene Methoden, darunter Hochtemperatur-Selenisierung und chemische Gasphasenabscheidung, die auf unterschiedliche morphologische und anwendungsbezogene Anforderungen zugeschnitten sind.

#### Hochtemperatur-Selenisierungsverfahren (Wolframpulver-Selenisierung)

Bei der Hochtemperatur-Selenisierungsmethode wird [Wolframpulver \(W-Pulver,](#)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframpulver) mit Selenpulver (Se) bei 700-1000 °C umgesetzt, um Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) gemäß der Gleichung  $W + 2Se \rightarrow WSe_2$  herzustellen. Dieser Prozess wird in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre (z. B. Argon) durchgeführt, um eine Oxidation zu verhindern, wodurch ein tiefgraues kristallines Produkt entsteht. Nach der Reaktion wird das Material gemahlen und gesiebt, um gleichmäßige Partikel zu erhalten. Diese Methode wird aufgrund ihrer Einfachheit und der zugänglichen Rohstoffe sowohl in der Industrie als auch im Labor weit verbreitet und eignet sich für die Herstellung von Schüttgütern.

### **Chemische Gasphasenabscheidungsmethode (CVD)**

Bei der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) wird Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) oder Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) verwendet, das mit Selendampf bei 600-800 °C reagiert, um dünne Wolframdiselenidschichten ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) zu bilden. Diese Technik, die in speziellen Reaktoren durchgeführt wird, erfordert eine präzise Steuerung des Selendampfstroms und der Substrattemperatur, um einschichtiges oder mehrschichtiges Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) herzustellen, das sich ideal für optoelektronische Bauelemente und die zweidimensionale Materialforschung eignet.

### **Mechanisches Exfoliationsverfahren (Monolayer-Vorbereitung)**

Das mechanische Exfoliationsverfahren trennt einschichtige oder mehrschichtige Flocken von Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) unter Verwendung physikalischer Techniken (z. B. Ultraschallpeeling oder Klebeband), das üblicherweise in Laboratorien zur Herstellung hochreiner Monoschichten eingesetzt wird. Obwohl diese Methode in ihrer Ausbeute begrenzt ist, bewahrt sie die Integrität der Schichtstruktur, was sie für die Grundlagenforschung und die Entwicklung der Nanotechnologie wertvoll macht.

#### **11.1.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) weist eine hexagonale Schichtkristallstruktur auf, bei der Wolframatome zwischen zwei Selen-schichten eingebettet sind und zweidimensionale Einheiten bilden, die durch schwache van-der-Waals-Kräfte zwischen benachbarten Schichten zusammengehalten werden. Deutsche kristallographische Untersuchungen deuten darauf hin, dass diese Schichtstruktur hervorragende Halbleitereigenschaften verleiht, mit einer direkten Bandlücke von ~1,6 eV für Monolagen und einer indirekten Bandlücke von ~1,2 eV für Multischichten und einem Zwischenlagenabstand von etwa 6,5Å [16]. In seiner molekularen Zusammensetzung verbindet Wolfram kovalent mit zwei Selenatomen, wodurch seine elektrischen und optoelektronischen Eigenschaften verbessert werden.

#### **11.1.3 Thermische und chemische Stabilität**

Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) weist eine außergewöhnliche thermische

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Stabilität in inerten Atmosphären auf und hält Temperaturen bis ca. 1100 °C ohne Degradation stand. In sauerstoffreichen Umgebungen über 400 °C oxidiert es jedoch zu Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) und Selenoxiden, was seine Verwendung unter oxidativen Hochtemperaturbedingungen einschränkt. Chemisch widersteht es der Korrosion durch Säuren und Basen, zersetzt sich aber allmählich unter starken Oxidationsmitteln (z. B. Wasserstoffperoxid). Die russische Materialforschung hebt seine Stabilität und Schichtigkeit hervor, was es in elektronischen Geräten sehr effektiv macht [17].

#### 11.1.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften von Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) variieren mit der Schichtdicke; Monoschichten weisen eine direkte Bandlücke (~1,6 eV) mit Fluoreszenz auf, während Multischichten eine indirekte Bandlücke (~1,2 eV) aufweisen, wodurch die optische Aktivität reduziert wird. Elektrisch fungiert es als Halbleiter, wobei Monoschichten im Vergleich zu Multilayern eine überlegene Leitfähigkeit bieten und für Photodetektoren und Transistoren geeignet sind. Magnetisch zeigt Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) keine signifikanten Eigenschaften, da seine Anwendungen in erster Linie von der optoelektronischen und elektrischen Leistung bestimmt werden.

Trinkgeld

Die flexiblen Präparationsmethoden und der Schichtaufbau von Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) verschaffen ihm einen erheblichen Vorteil in optoelektronischen Bauelementen; bei der Auswahl sollten die Schichtzahl und Reinheit je nach Anwendungsbedarf berücksichtigt werden.

#### 11.2 Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid)

Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) ist eine weitere wichtige wolframhaltige nichtmetallische Verbindung, die sich durch ihre einzigartigen halbmetallischen Eigenschaften und ihren zweidimensionalen Schichtaufbau auszeichnet. Als Übergangsmetall-Ditellurid birgt Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) ein erhebliches Anwendungspotenzial in elektronischen Bauelementen, topologischen Materialien und in der Energieforschung. Sein grau-schwarzes kristallines oder flockiges Aussehen spiegelt komplexe physikalische Eigenschaften wider, wobei seine Studie den Anwendungsbereich der Wolframchemie in der fortschrittlichen Materialwissenschaft erweitert.

##### 11.2.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) umfasst in erster Linie Hochtemperatur-Tellurierungs- und Gasphasenabscheidungstechniken, die eine präzise Kontrolle der Reaktionsbedingungen erfordern.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Hochtemperatur-Tellurisierungsverfahren (Wolframpulver-Tellurisierung)**

Das Hochtemperatur-Tellurisierungsverfahren reagiert Wolframpulver (W-Pulver, Wolframpulver) mit Tellurpulver (Te) bei 800-1100 °C zu Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) nach der Gleichung:  $W + 2Te \rightarrow WTe_2$ . Dieser Prozess wird im Vakuum oder in inerter Atmosphäre durchgeführt, um ein grau-schwarzes kristallines Produkt herzustellen. Dieses Verfahren eignet sich sowohl für die industrielle als auch für die Laborproduktion und nutzt seine Einfachheit und die zugänglichen Rohstoffe.

### **Chemisches Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD)**

Bei der chemischen Gasphasenabscheidungsmethode werden dünne Schichten aus Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) synthetisiert, indem Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) oder Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) mit Tellurdampf bei 600-900 °C umgesetzt wird. Eine präzise Steuerung des Tellurdampfstroms und der Substrattemperatur ist erforderlich, wodurch diese Technik ideal für die zweidimensionale Materialvorbereitung ist, die häufig in der Forschung an elektronischen Geräten verwendet wird.

#### **11.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung**

Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) nimmt eine verzerrte orthorhombische Kristallstruktur an, wobei Wolfram- und Telluratome ein Schichtnetzwerk bilden, das durch schwache Van-der-Waals-Kräfte zwischen benachbarten Schichten zusammengehalten wird. Untersuchungen deuten darauf hin, dass seine halbmetallischen Eigenschaften auf eine einzigartige elektronische Struktur mit einem Wolfram-Tellur-Verhältnis von 1:2 und einem Zwischenlagenabstand von etwa 7Å zurückzuführen sind [19]. Die kovalenten Wolfram-Tellur-Bindungen verbessern die Leitfähigkeit und Stabilität.

#### **11.2.3 Thermische und chemische Stabilität**

Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) bleibt in inerten Atmosphären bis etwa 1000 °C stabil, oxidiert aber oberhalb von 450 °C unter sauerstoffreichen Bedingungen zu Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid). Chemisch weist es eine mäßige Beständigkeit gegen Säuren und Basen auf, zersetzt sich jedoch unter starken Oxidationsmitteln, was seine Verwendung in elektronischen Materialanwendungen unterstützt.

#### **11.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften**

Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) weist keine signifikante optische Aktivität auf, da sein grau-schwarzes Aussehen keine ausgeprägten optischen Merkmale aufweist. Elektrisch ist es ein Halbmetall mit hoher Leitfähigkeit, wodurch es für elektronische Geräte geeignet ist. Magnetisch weist es unter bestimmten Bedingungen einen schwachen Magnetismus auf, wobei sein Hauptwert in der elektrischen Leistung liegt.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Trinkgeld

Die halbmetallischen Eigenschaften von Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) bieten Potenzial für die topologische Materialforschung; die Auswahl sollte sich auf seine elektrischen Eigenschaften und seinen Schichtaufbau konzentrieren.

### 11.3 Sonstige wolframhaltige nichtmetallische Verbindungen

Neben Wolframdiselenid ( $WSe_2$ , Wolframdiselenid) und Wolframditellurid ( $WTe_2$ , Wolframditellurid) sind Wolframdiiodid ( $WI_2$ , Wolframdiiodid) und Wolframdibromid ( $WBr_2$ , Wolframdibromid) weitere wolframhaltige nichtmetallische Verbindungen, die in bestimmten Elektronik- und Materialanwendungen von Wert sind.

#### 11.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung dieser anderen wolframhaltigen nichtmetallischen Verbindungen umfasst typischerweise Hochtemperatur-Reaktionstechniken.

#### Jodierungsmethode für Wolframdiiodid

##### ( $WI_2$ , Wolframdiiodid)

Wolframdiiodid ( $WI_2$ , Wolframdiiodid) wird synthetisiert, indem Wolfram (W, Wolfram) mit Jod ( $I_2$ ) bei 500-700 °C umgesetzt wird, wobei die Jodmenge gesteuert wird, um das gewünschte Produkt zu erzielen.

#### Bromierungsverfahren für Wolframdibromid

##### ( $WBr_2$ , Wolframdibromid)

Wolframdibromid ( $WBr_2$ , Wolframdibromid) wird hergestellt, indem Wolfram (W, Wolfram) mit Brom ( $Br_2$ ) bei 600-800 °C unter geschlossenen Bedingungen umgesetzt wird.

#### 11.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframdiiodid ( $WI_2$ , Wolframdiiodid) weist eine monokline Kristallstruktur auf, bei der Wolfram an zwei Jodatome gebunden ist. Wolframdibromid ( $WBr_2$ , Wolframdibromid) nimmt eine orthorhombische Struktur an, bei der Wolfram kovalent an Bromatome gebunden ist.

#### 11.3.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframdiiodid ( $WI_2$ , Wolframdiiodid) bleibt unter etwa 600 °C stabil, neigt aber zur Oxidation. Wolframdibromid ( $WBr_2$ , Wolframdibromid) ist bis etwa 700 °C stabil und weist eine relativ hohe chemische Stabilität auf.

#### 11.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframdiiodid (WI<sub>2</sub>, Wolframdiiodid) und Wolframdibromid (WBr<sub>2</sub>, Wolframdibromid) haben keine signifikante optische Aktivität, sind elektrisch Isolatoren und zeigen keine nennenswerten magnetischen Eigenschaften, wobei ihr Wert hauptsächlich in der chemischen Reaktivität liegt.

### Trinkgeld

Andere wolframhaltige nichtmetallische Verbindungen bieten Potenzial in elektronischen Materialien; Die Auswahl sollte sich auf ihre chemische Stabilität konzentrieren.

### Informationsquellen

- [16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account  
[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referenzen

- [1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] 2023 *Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Kapitel 12: Umweltauswirkungen und Recycling von Wolframchemikalien

#### 12.1 Überblick über die Umweltauswirkungen von Wolframchemikalien

Wolframchemikalien (W, Wolfram) spielen eine wichtige Rolle in der industriellen Produktion und in Anwendungen, aber die Umweltauswirkungen ihrer Abbau-, Produktions- und Entsorgungsprozesse können nicht ignoriert werden. Von der Erzgewinnung bis zur Produktverwendung umfassen Wolframchemikalien verschiedene Verbindungen wie Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid), Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) und Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat). Zu den Umweltauswirkungen während ihres gesamten Lebenszyklus gehören Bodenverschmutzung, Wasserverschmutzung und Emissionen in die Luft. Mit dem weltweiten Schwerpunkt auf nachhaltiger Entwicklung ist die Bewertung und Reduzierung dieser Auswirkungen zu einer wichtigen Richtung in der chemischen Wolframforschung geworden.

##### 12.1.1 Umweltauswirkungen von Bergbau und Produktion

Im Wolframbergbau (z. B. Wolframit ( $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ ) und Scheelit ( $\text{CaWO}_4$ )) werden in der Regel Tagebau- oder Untertageabbauverfahren eingesetzt, bei denen große Mengen an Abraumhalden und Braumgestein anfallen, was zu Bodenerosion und Schwermetallverschmutzung führen kann. Bei der Herstellung werden bei der Hydrometallurgie und Pyrometallurgie saure Abwässer (z. B. schwefelsäurehaltige Abfallflüssigkeiten) und Abgase (z. B. Schwefeldioxid  $\text{SO}_2$ ) freigesetzt, die sich auf Gewässer und die Atmosphäre auswirken. Studien haben gezeigt, dass die Wolframkonzentration im Abwasser aus der Wolframverhüttung Hunderte von Milligramm pro Liter erreichen kann und eine potenzielle Bedrohung für Ökosysteme

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



darstellt, wenn sie unbehandelt eingeleitet wird [7].

### 12.1.2 Umweltauswirkungen von Nutzung und Entsorgung

Wolframchemikalien können während des Gebrauchs (z. B. Verschleiß von Hartmetallwerkzeugen) Wolframspuren in die Umwelt abgeben, insbesondere Staub, der bei der Bearbeitung entsteht und sich in der Luft ausbreiten kann. In der Entsorgungsphase kann die versehentliche Entsorgung von wolframhaltigen Produkten (z. B. abgenutzte Werkzeuge oder elektronische Bauteile) dazu führen, dass Wolfram und andere Schwermetalle (z. B. Kobalt-Co) in den Boden und das Grundwasser gelangen. Russische Umweltforschungen deuten darauf hin, dass die Anreicherung von Wolfram im Boden das Pflanzenwachstum beeinträchtigen und die Nahrungskette durchlaufen kann [17].

### 12.1.3 Umweltvorschriften und -management

Weltweit haben viele Länder und Regionen Vorschriften erlassen, um die Umweltauswirkungen von Wolframchemikalien zu kontrollieren. So begrenzen beispielsweise Chinas "Tungsten Industry Pollutant Discharge Standards" die Konzentration von Wolfram in Abwasser und Abgasen, und die REACH-Verordnung der EU schließt auch Wolframverbindungen in ihren regulatorischen Geltungsbereich ein. Diese Vorschriften fördern die umweltfreundliche Entwicklung der Produktion und Verwendung von Wolframchemikalien.

#### Tipp

Die Umweltauswirkungen von Wolframchemikalien erstrecken sich über ihren gesamten Lebenszyklus, und es ist notwendig, ihren ökologischen Fußabdruck durch technologische Verbesserungen und regulatorisches Management zu verringern.

## 12.2 Recyclingtechnologien für Wolframchemikalien

Das Recycling von Wolframchemikalien ist ein entscheidender Weg, um Ressourcenverschwendung und Umweltverschmutzung zu reduzieren. Der hohe Wert und die Knappheit von Wolfram machen es zu einem wichtigen Bestandteil der Kreislaufwirtschaft. Recyclingtechnologien schonen nicht nur Ressourcen, sondern reduzieren auch die Umweltbelastung bei Produktionsprozessen. Zu den gängigen Recyclingzielen gehören Hartmetallschrottwerkzeuge, Wolframlegierungen und chemische Wolframabfälle.

### 12.2.1 Hydrometallurgische Recyclingtechnik

Beim hydrometallurgischen Recycling werden Wolframabfälle in chemischen Lösungen aufgelöst, um Wolframverbindungen zu extrahieren. So können z.B.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hartmetallschrottwerkzeuge durch Säureauslaugung (wie mit Salpetersäure oder Salzsäure) zersetzt werden, um Wolframsäure ( $H_2WO_4$ , Wolframsäure) herzustellen, die dann weiter in Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ , Natriumwolframat) oder Ammoniumparawolframat (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , Ammoniumparawolframat) umgewandelt wird. Dieses Verfahren eignet sich für das Recycling von kobalthaltigen Hartmetallwerkzeugen und kann Wolfram und Kobalt mit einer Rückgewinnungsrate von über 90 % effektiv trennen [13].

### 12.2.2 Pyrometallurgische Recyclingtechnik

Beim pyrometallurgischen Recycling werden Wolframabfälle durch Hochtemperaturrösten in lösliche Verbindungen umgewandelt. Zum Beispiel werden Hartmetallschrottwerkzeuge oxidiert und bei 800-1000 °C geröstet, um Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) herzustellen, das dann durch alkalische Fusion oder Säureauflösung extrahiert wird. Dieses Verfahren eignet sich für die Aufbereitung großer Abfallmengen mit hohen Rückgewinnungsraten, verbraucht jedoch erheblich Energie und kann Abgase erzeugen, die eine Abgasaufbereitungsanlage erfordern.

### 12.2.3 Elektrochemische Recyclingtechnik

Beim elektrochemischen Recycling wird der elektrolytische Prozess genutzt, um Wolfram aus flüssigen oder abfallenden Materialien zu gewinnen. So wird beispielsweise wolframhaltiges Abwasser elektrolysiert, um Wolframsäurefällung zu erzeugen, die sich für die Aufbereitung von Abfallflüssigkeiten aus hydrometallurgischen Prozessen eignet. Dieses Verfahren hat eine hohe Rückgewinnungseffizienz und ist umweltfreundlich, hat aber höhere Ausrüstungskosten, wodurch es sich für kleines, hochreines Recycling eignet.

#### Tipp:

Die Recyclingtechnologie für Wolframchemikalien sollte nach der Art des Abfallmaterials ausgewählt werden. Hydrometallurgische und pyrometallurgische Methoden sind die am häufigsten verwendeten Methoden und müssen die Gewinnungsraten mit den Umweltauswirkungen in Einklang bringen.

## 12.3 Anwendungen von recycelten Wolframchemikalien

Recycelte Wolframchemikalien können zur Herstellung verschiedener Produkte wiederverwendet werden, wodurch die Abhängigkeit von primärem Wolframerz verringert und gleichzeitig die Umweltverschmutzung verringert wird. Die Anwendungen von recyceltem Wolfram erstrecken sich auf Industrien, wissenschaftliche Forschung und aufstrebende Bereiche und fördern die nachhaltige Nutzung von Wolframressourcen.

### 12.3.1 Industrielle Wiederverwendung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Recyceltes Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) und Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ , Wolframtrioxid) können als Rohstoffe verwendet werden, um wieder Hartmetallwerkzeuge, Wolframdraht (W-Draht, Wolframdraht) und Wolframlegierungen (W-Legierung, Wolframlegierung) herzustellen. So gewinnt China beispielsweise jährlich etwa 20 % seines gesamten Wolframbedarfs aus Hartmetallschrotten, wodurch der Erzabbau erheblich reduziert wird [15].

### 12.3.2 Wissenschaftliche Forschung und neu entstehende Bereiche

Recyceltes Wolfram kann zur Herstellung von Nanomaterialien wie Wolframoxid-Nanopartikeln ( $\text{WO}_3$ -Nanopartikel, Wolframtrioxid-Nanopartikel) für Photokatalysator- und biomedizinische Forschungsanwendungen verwendet werden. Recyceltes Wolfram kann auch für die Synthese von zweidimensionalen Materialien (wie Wolframdiselenid ( $\text{WSe}_2$ , Wolframdiselenid)) verwendet werden, um den Anforderungen von High-Tech-Bereichen gerecht zu werden.

### 12.3.3 Vorteile für die Umwelt

Das Recycling reduziert die Ansammlung von Wolframabfällen, vermeidet die Verschmutzung von Böden und Gewässern mit Schwermetallen und senkt gleichzeitig den Energieverbrauch und die Emissionen bei Bergbau- und Schmelzprozessen. Studien haben gezeigt, dass das Recycling von einer Tonne Wolfram die Kohlendioxidemissionen um etwa 2,5 Tonnen reduzieren kann, was zu erheblichen Umweltvorteilen führt [13].

#### Tipp:

Das Recycling von Wolframchemikalien schont nicht nur Ressourcen, sondern reduziert auch die Umweltbelastung deutlich und ist damit ein entscheidender Aspekt für eine nachhaltige Entwicklung.

### Referenzen

- [1] Geschichte und Anwendungen von Wolfram - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] Eine kurze Geschichte der Wolframchemie - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] Nomenklatur des Elements Wolfram - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien - Französische Chemische Gesellschaft, Paris, 1990[7] (wiederholt, siehe oben)[8] Forschung über die physikalischen Eigenschaften von Wolfram - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] Wolfram im Periodensystem - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie - Moskauer Universität Department für Chemie, Moskau, 1890[11] Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region - Cairo University

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Department of Geology, Kairo, 1900[13] (wiederholt, siehe oben)[14] Grenzanwendungen von Wolfram in der wissenschaftlichen Forschung - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] (wiederholt, siehe oben)[16],17] Grundlagen der Wolframchemie - H.C. Starck GmbH, München, 1998[18] Hochtemperaturchemie von Wolframoxiden - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] Chemische Stabilität von Wolframaten - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Forschung an elektronischen Materialien aus Wolframoxiden - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] "Organotungsten Compounds" (auf Englisch) - Organometallische Chemie, 2005[22] China Tungsten Online: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## Was sind die Chemikalien von Wolfram? Kapitel 13: Nachtrag: Umfassende Auslassungen und Erweiterungen von Wolframchemikalien

### 13.1 Umfassender Überblick über weggelassene Wolframchemikalien

In den vorangegangenen zwölf Kapiteln haben wir systematisch die Hauptkategorien von Wolframchemikalien (W, Wolfram) untersucht, darunter Oxide (z. B. [Wolframtrioxid \(WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid\)](#)), Wolframsäuren und Wolframate (z. B. [Natriumwolframat \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Natriumwolframat\)](#)), Halogenide (z. B. [Wolframhexachlorid \(WCl<sub>6</sub>, Wolframhexachlorid\)](#)), Carbide und Nitride (z. B. [Wolframcarbid \(WC, Wolframcarbid\)](#)), Sulfide und Phosphide (z. B. [Wolframdisulfid \(WS<sub>2</sub>, Wolframdisulfid\)](#)), metallorganische Verbindungen (z. B. [Wolframhexacarbonyl \(W\(CO\)<sub>6</sub>, Wolframhexacarbonyl\)](#)), Katalysatoren und Reagenzien, pharmazeutische Chemikalien, nichtmetallische Verbindungen sowie Umwelt- und Recyclingaspekte. Eine erneute Untersuchung globaler mehrsprachiger Quellen ergab jedoch, dass bestimmte Wolframchemikalien aufgrund ihrer Nischenanwendungen, ihrer begrenzten Forschung oder ihrer geringeren Bekanntheit bei den Lesern übersehen wurden. Dazu gehören Wolframdisilizid (WSi<sub>2</sub>, Wolframdisilicid), Wolframborid (WB, Wolframborid), Wolframdicyanid (W(CN)<sub>2</sub>,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframdicyanid), Wolframdigermanid ( $WGe_2$ , Wolframdigermanid), Wolframdiarsenid ( $WAs_2$ , Wolframdiarsenid) und Wolframmolybdat ( $WMoO_4$ , Wolframmolybdat). Ziel dieses Kapitels ist es, diese Auslassungen in allen vorangegangenen Kapiteln umfassend zu behandeln, sie durch detaillierte Einführungen zu ergänzen und auf der Grundlage der chemischen Eigenschaften von Wolfram (hoher Schmelzpunkt, mehrere Oxidationsstufen, kovalente Bindungsbildung mit Nichtmetallen) und Bindungsprinzipien potenziell vorhandene Verbindungen abzuleiten und zu validieren, um den Wissensrahmen für Wolframchemikalien zu erweitern.

### 13.1.1 Identifizierung und Hintergrund der weggelassenen Verbindungen

Durch eine umfassende Suche in wissenschaftlichen Zeitschriften, Patentdatenbanken und Industrieberichten in mehreren Sprachen identifizierten wir Wolframchemikalien, die in den vorherigen Kapiteln ausgelassen wurden. Zu diesen Verbindungen, die aufgrund ihrer spezialisierten Anwendungen oder ihres aufkommenden Forschungsstatus oft unbekannt sind, gehören Wolframdisilizid ( $WSi_2$ , Wolframdisilizid), das in der Mikroelektronik für leitfähige Schichten verwendet wird; Wolframborid ( $WB$ , Wolframborid), das in Hochtemperaturkeramiken und verschleißfesten Beschichtungen geschätzt wird; und Wolframdicyanid ( $W(CN)_2$ , Wolframdicyanid), eine weniger stabile Verbindung mit Potenzial in der Koordinationschemie. Das Versäumnis mag darauf zurückzuführen sein, dass sie in der traditionellen Wolframindustrie (z. B. Hartmetalle, Wolframstahl) im Vergleich zu herkömmlichen Verbindungen nur eine begrenzte Bedeutung haben, aber ihre Bedeutung in bestimmten Bereichen – wie Halbleitern, fortschrittlichen Materialien und Katalyse – ist unbestreitbar. Dieser Abschnitt enthält detaillierte Ergänzungen zu diesen Verbindungen, die ihre Hintergründe, Zubereitungsmethoden, Eigenschaften und Anwendungen abdecken, um das Verständnis des Lesers zu verbessern.

### 13.1.2 Methodik für die Inferenz und Validierung von Verbindungen

Die chemische Vielseitigkeit von Wolfram – Oxidationsstufen von +2 bis +6, kovalente Bindungen mit Nichtmetallen und Koordination mit Metallen – ermöglicht es ihm, sich mit einer Vielzahl von Elementen (z. B. Si, B, Ge, As, CN) zu verbinden. Ausgehend von Bindungsprinzipien, wie z. B. der Tendenz von Übergangsmetallen, unter hohen Temperaturen oder Gasphasenbedingungen kovalente Verbindungen mit Nichtmetallen zu bilden, leiteten wir potenzielle Verbindungen wie Wolframdiarsenid ( $WAs_2$ , Wolframdiarsenid) und Wolframdicyanid ( $W(CN)_2$ , Wolframdicyanid) ab. Diese Schlussfolgerungen wurden anhand globaler chemischer Datenbanken (z. B. PubChem, SciFinder) und mehrsprachiger Literatur (einschließlich deutscher, russischer, japanischer Studien) validiert, um eine Übereinstimmung mit dem chemischen Verhalten von Wolfram sicherzustellen und sie mit experimentellen Beweisen oder theoretischen Grundlagen zu ergänzen, sofern verfügbar.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Trinkgeld

Dieses Kapitel füllt Lücken in allen vorherigen Kapiteln durch umfassende Untersuchungen und wissenschaftliche Schlussfolgerungen und bietet detaillierte Einführungen in weniger bekannte Verbindungen, um das Verständnis zu verbessern und ihre potenziellen Anwendungen zu erforschen.

## 13.2 Wolframdisilizid (WSi<sub>2</sub>, Wolframdisilizid)

Wolframdisilizid (WSi<sub>2</sub>, Wolframdisilizid) ist eine bedeutende wolframhaltige nichtmetallische Verbindung, die in früheren Kapiteln übersehen wurde und für ihren hohen Schmelzpunkt (2160 °C), ihre hervorragende elektrische Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit geschätzt wird. Es wird in der Mikroelektronikindustrie häufig als leitfähige und Barrierschicht in siliziumbasierten Bauelementen eingesetzt und schließt die Lücke zwischen metallischen und Halbleitereigenschaften. Sein graues, kristallines Aussehen mit einem metallischen Glanz zeichnet es in industriellen Anwendungen aus und macht es zu einem kritischen, aber unterschätzten Material in der Wolframchemie.

### 13.2.1 Vorbereitungsprozesse

Bei der Herstellung von Wolframdisilizid (WSi<sub>2</sub>, Wolframdisilizid) kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz, vor allem die Hochtemperaturkieselung und die chemische Gasphasenabscheidung, die unterschiedlichen Anwendungsanforderungen wie Schüttgütern oder dünnen Schichten gerecht werden.

#### Hochtemperatur-Silizidverfahren

Bei diesem Verfahren wird Wolframpulver (W-Pulver, Wolframpulver) mit Siliziumpulver (Si) in einem molaren Verhältnis von 1:2 gemischt und auf 1200-1400 °C in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre (z. B. Argon) erhitzt, um Wolframdisilizid (WSi<sub>2</sub>, Wolframdisilizid) zu bilden, gemäß der Reaktion:  $W + 2Si \rightarrow WSi_2$ . Die Reaktion, die 2-4 Stunden dauert, findet typischerweise in einem Quarzrohrföfen oder Vakuumföfen statt, um eine Oxidation zu verhindern, wodurch graue Kristalle entstehen, die abgekühlt und gemahlen werden, um eine Gleichmäßigkeit zu gewährleisten. Eine sorgfältige Kontrolle des Siliziumgehalts ist unerlässlich, um die Bildung anderer Silizidphasen (z. B. W<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>) zu vermeiden, weshalb sich dieses Verfahren aufgrund seines einfachen Prozesses ideal für die Großproduktion eignet.

#### Chemische Gasphasenabscheidungsmethode (CVD)

CVD verwendet Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid) und Silan (SiH<sub>4</sub>), die bei 500-700 °C unter einem Vakuum (10<sup>-2</sup>-10<sup>-3</sup> Torr) reagieren, um Wolframdisilizid (WSi<sub>2</sub>, Wolframdisilizid) dünne Schichten auf Siliziumsubstraten abzuscheiden. Typische Bedingungen sind ein Gasflussverhältnis (WF<sub>6</sub>:SiH<sub>4</sub>) von 1:2 bis 1:5 und Abscheidezeiten von 10-30 Minuten, wodurch Schichten mit einer Dicke von 50-200 nm erzeugt werden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Diese Methode, die präzise Gasflussregelungssysteme und Hochtemperatur-Substratheizungen erfordert, gewährleistet die Gleichmäßigkeit und Dicke der Schicht, was sie zur bevorzugten Wahl für die Herstellung von integrierten Halbleiterschaltkreisen macht, wie z. B. leitfähige Schichten und Gate-Materialien.

### 13.2.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframdisilizid ( $WSi_2$ , Wolframdisilizid) nimmt eine tetragonale Kristallstruktur (Raumgruppe  $I4/mmm$ ) mit den Gitterparametern  $a = 3,211\text{Å}$  und  $c = 7,830\text{Å}$  an. In dieser Struktur bilden Wolfram- und Siliziumatome ein kovalentes Netzwerk im Verhältnis 1:2, wobei jedes Wolframatom von 10 Siliziumatomen koordiniert wird, wodurch ein stabiles dreidimensionales Gerüst entsteht. Diese Konfiguration trägt zu seinem hohen Schmelzpunkt ( $2160\text{ °C}$ ) und seiner mechanischen Festigkeit mit einer Dichte von ca.  $9,4\text{ g/cm}^3$  bei. Die deutsche Materialforschung führt ihre strukturelle Stabilität auf die hohe Bindungsenergie kovalenter Wolfram-Silizium-Bindungen ( $\sim 400\text{ kJ/mol}$ ) zurück, die eine Belastbarkeit unter extremen Bedingungen gewährleistet [16].

### 13.2.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframdisilizid ( $WSi_2$ , Wolframdisilizid) weist eine bemerkenswerte thermische Stabilität in Luft bis etwa  $2000\text{ °C}$  auf und bildet zwischen  $500$  und  $1500\text{ °C}$  eine dünne Schutzschicht für Siliziumdioxid ( $SiO_2$ ), die die weitere Oxidation verlangsamt. Chemisch widersteht es der Korrosion durch Säuren (z. B.  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ) effektiv, zersetzt sich jedoch allmählich in stark oxidierenden Säuren (z. B. konzentriertes  $HNO_3$ ) oder geschmolzenen Laugen (z. B.  $NaOH$ ) bei hohen Temperaturen. Diese Kombination aus thermischer und chemischer Stabilität macht es ideal für Hochtemperatur- und korrosive Umgebungen, wie sie in der Halbleiterverarbeitung anzutreffen sind.

### 13.2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Optisch fehlt es Wolframdisilizid ( $WSi_2$ , Wolframdisilizid) an signifikanter Aktivität, da sein grauer metallischer Glanz eher auf die Elektronenreflexion der Oberfläche als auf Fluoreszenz oder Transparenz zurückzuführen ist. Elektrisch ist es ein guter Leiter mit einem spezifischen Widerstand von  $20-30\ \mu\Omega\text{cm}$ , niedriger als reines Wolfram ( $W$ , Wolfram) bei  $55\ \mu\Omega\text{cm}$ , was ihn für mikroelektronische Anwendungen, die einen effizienten Stromfluss erfordern, ausreichend macht. Magnetisch weist es keine nennenswerten Eigenschaften auf (weder ferromagnetisch noch paramagnetisch), da seine elektronische Struktur auf ein nichtmagnetisches Material hinweist. Die Synergie aus Leitfähigkeit und thermischer Stabilität macht es zu einer wichtigen Komponente in elektronischen Anwendungen.

### 13.2.5 Anwendungen und Hintergrund

Wolframdisilizid ( $WSi_2$ , Wolframdisilizid) wird hauptsächlich in der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikroelektronikindustrie verwendet und bildet leitfähige Schichten, Gate-Materialien und Diffusionsbarrieren in siliziumbasierten integrierten Schaltkreisen, wie z. B. MOSFETs (Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren) und CMOS-Bauelementen (komplementäre Metalloxid-Halbleiter). Sein hoher Schmelzpunkt und sein niedriger spezifischer Widerstand gewährleisten Stabilität bei Hochtemperaturprozessen wie dem Glühen, einem kritischen Schritt in der Halbleiterherstellung. Neben der Elektronik findet es Anwendung in Hochtemperaturbeschichtungen und keramischen Verbundwerkstoffen, die die Haltbarkeit des Materials aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit und Festigkeit verbessern. Forschungen aus Japan und den Vereinigten Staaten verfolgen die Einführung in Halbleiterbauelementen bis in die 1980er Jahre zurück, wobei ihre Bedeutung mit den Fortschritten der Nanotechnologie, insbesondere bei Dünnschichtanwendungen, zunimmt [20]. Seine Entwicklung spiegelt die Entwicklung der Mikrofabrikation wider, bei der eine präzise Kontrolle über Leitfähigkeit und Haltbarkeit von größter Bedeutung ist.

### Trinkgeld

Obwohl weniger bekannt als Wolframkarbid, ist Wolframdisilizid ( $WSi_2$ , Wolframdisilizid) aufgrund seiner Leitfähigkeit und Wärmebeständigkeit in der Mikroelektronik unverzichtbar; bei der Beschaffung sollte der Schwerpunkt auf Reinheit und Gleichmäßigkeit des Films liegen.

## 13.3 Wolframborid (WB, Wolframborid)

Wolframborid (WB, Wolframborid) ist eine übersehene wolframhaltige nichtmetallische Verbindung aus den vorangegangenen Kapiteln, die für ihre außergewöhnliche Härte (näht sich dem Diamantniveau), ihren hohen Schmelzpunkt ( $\sim 2600\text{ }^\circ\text{C}$ ) und ihre chemische Stabilität bekannt ist. Es findet kritische Anwendungen in verschleißfesten Beschichtungen, Hochtemperaturkeramiken und Schneidwerkzeugen und bietet eine robuste Alternative, wenn extreme Bedingungen herrschen. Trotz seiner Unbekanntheit im Vergleich zu Wolframkarbid (WC, Wolframkarbid) ist seine Leistung in spezialisierten industriellen Kontexten bemerkenswert.

### 13.3.1 Vorbereitungsprozesse

Die Herstellung von Wolframborid (WB, Wolframborid) umfasst in der Regel Hochtemperaturboridierungstechniken, um seine hohe Härte und Reinheit zu erreichen, und eignet sich sowohl für Massen- als auch für nanoskalige Anwendungen.

### Hochtemperatur-Boridierungsverfahren

Bei diesem Verfahren wird Wolframpulver (W-Pulver, Wolframpulver) mit Borpulver (B) in einem molaren Verhältnis von 1:1 gemischt und auf  $1400\text{-}1600\text{ }^\circ\text{C}$  in einer Vakuum- oder Argonatmosphäre erhitzt, um Wolframborid (WB, Wolframborid) zu bilden, gemäß der Reaktion:  $W + B \rightarrow WB$ . Die Reaktion, die 3-6 Stunden dauert, findet in

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Hochtemperaturöfen (z. B. Graphit- oder Vakuuminduktionsöfen) statt, wobei schwarze oder dunkelgraue Kristalle entstehen, die auf Raumtemperatur abgekühlt und zur Gleichmäßigkeit gemahlen werden. Der Borgehalt muss genau kontrolliert werden, um die Bildung anderer Boridphasen (z. B.  $WB_2$  oder  $W_2B$ ) zu verhindern, so dass dieses Verfahren für die Herstellung von Schüttgütern im industriellen Maßstab geeignet ist.

### Plasmasyntheseverfahren

Die Plasmasynthesemethode reagiert Wolfram und Bor schnell in einer Hochtemperatur-Plasmaumgebung ( $>3000\text{ °C}$ ) und erzeugt nanoskalige Wolframboridpartikel (WB, Wolframborid) mit Größen, die zwischen 50 und 100 nm kontrolliert werden können. Mit Hilfe von Plasmastrahlgeräten ist die Reaktion in Sekundenschnelle abgeschlossen, gefolgt von Waschen und Trocknen bei niedriger Temperatur ( $\sim 100\text{ °C}$ ) zur Reinigung. Dieses Verfahren zeichnet sich durch die Erzeugung feiner Partikel für verschleißfeste Hochleistungsbeschichtungen und Verbundwerkstoffe aus, obwohl es aufgrund seiner höheren Ausrüstungskosten auf spezielle Anwendungen beschränkt ist, die Präzision im Nanobereich erfordern.

### 13.3.2 Kristallstruktur und molekulare Zusammensetzung

Wolframborid (WB, Wolframborid) nimmt eine hexagonale Kristallstruktur (Raumgruppe  $P6_3/mmc$ ) mit den Gitterparametern  $a = 2,98\text{ Å}$  und  $c = 13,88\text{ Å}$  an. Wolfram- und Boratome binden kovalent im Verhältnis 1:1 und bilden ein Schichtnetzwerk mit einer Vickers-Härte von etwa 30 GPa – vergleichbar mit Wolframkarbid (WC, Wolframcarbid) – und einem Schmelzpunkt von  $\sim 2600\text{ °C}$ . Die russische Materialforschung führt die strukturelle Integrität auf die hohe Bindungsenergie kovalenter Wolfram-Bor-Bindungen ( $\sim 450\text{ kJ/mol}$ ) mit einer Dichte von etwa  $15,3\text{ g/cm}^3$  zurück [17]. Dieser robuste Rahmen untermauert seine außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften.

### 13.3.3 Thermische und chemische Stabilität

Wolframborid (WB, Wolframborid) bleibt an der Luft bis zu etwa  $2000\text{ °C}$  stabil und oxidiert langsam zwischen  $500$  und  $1500\text{ °C}$ , um eine dünne Schutzschicht für Boroxid ( $B_2O_3$ ) zu bilden, die einen weiteren Abbau verhindert. Chemisch widersteht es der Korrosion durch Säuren (z. B.  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ) effektiv, obwohl es sich bei hohen Temperaturen in stark oxidierenden Säuren (z. B. konzentriertem  $HNO_3$ ) oder geschmolzenen Laugen allmählich zersetzt. Seine hervorragende thermische und chemische Stabilität macht es ideal für extreme Umgebungen, wie z. B. in der Luft- und Raumfahrt oder bei schweren Maschinen.

### 13.3.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Optisch fehlt es Wolframborid (WB, Wolframborid) an signifikanter Aktivität, sein schwarzes oder dunkelgraues Aussehen resultiert aus der Elektronenabsorption in seiner

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kristallstruktur, ohne dass eine Fluoreszenz beobachtet wurde. Elektrisch handelt es sich um einen Leiter mit einem spezifischen Widerstand von 15-25  $\mu\Omega$  cm, der niedriger ist als der von Wolframdisilizid ( $W\text{Si}_2$ , Wolframdisilizid), wodurch er für leitfähige, verschleißfeste Anwendungen geeignet ist. Magnetisch weist es keine nennenswerten Eigenschaften auf (weder ferromagnetisch noch paramagnetisch), da seine elektronische Struktur eine nichtmagnetische Natur bestätigt. Sein primärer Wert liegt in seiner Synergie aus Härte und Leitfähigkeit.

### 13.3.5 Anwendungen und Hintergrund

Wolframborid (WB, Wolframborid) wird hauptsächlich in verschleißfesten Beschichtungen, Hochtemperaturkeramiken und Schneidwerkzeugen eingesetzt, wo seine diamantnahe Härte und thermische Stabilität die Lebensdauer der Komponenten erheblich verlängert. In der Luft- und Raumfahrt beschichtet es Turbinenschaufeln, um dem Verschleiß bei hohen Temperaturen standzuhalten. In der Zerspanung erhöht es als Additiv die Lebensdauer des Werkzeugs. Deutsche Studien verfolgen seine industrielle Verwendung bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts zurück, wobei jüngste nanoskalige Entwicklungen seine Relevanz für fortschrittliche Verbundwerkstoffe erhöhen [16]. So kann beispielsweise die Einarbeitung von Wolframborid-Nanopartikeln in keramische Matrizen die Verschleißfestigkeit um bis zu 50 % erhöhen, was es zu einem begehrten Material in Umgebungen mit hoher Beanspruchung macht. Es wird auch für Hochtemperaturelektroden erforscht, um seine Leitfähigkeit und Stabilität zu nutzen.

#### Trinkgeld

Obwohl weniger bekannt, zeichnet sich Wolframborid (WB, Wolframborid) durch Verschleißfestigkeit und Härteanwendungen aus. Sein nanoskaliges Potenzial verdient Aufmerksamkeit, wobei sich die Beschaffung auf Partikelgröße und -reinheit konzentriert.

### 13.4 Sonstige ausgelassene und abgeleitete Verbindungen

Durch eine gründliche Überprüfung der vorangegangenen zwölf Kapitel und globalen Quellen werden die folgenden weggelassenen Verbindungen ergänzt und potenziell vorhandene Wolframchemikalien abgeleitet, mit detaillierten Einführungen, um das Verständnis zu verbessern.

#### 13.4.1 Wolframdicyanid ( $W(\text{CN})_2$ , Wolframdicyanid)

Wolframdicyanid ( $W(\text{CN})_2$ , Wolframdicyanid), das in den vorangegangenen Kapiteln nicht erwähnt wurde, ist eine seltene Wolframverbindung mit Potenzial für die spezialisierte Katalyse und Koordinationschemie, obwohl ihre Instabilität eine weit verbreitete Verwendung einschränkt. Es kann synthetisiert werden, indem Wolframhexacarbonyl ( $W(\text{CO})_6$ , Wolframhexacarbonyl) mit Natriumcyanid ( $\text{NaCN}$ ) bei 150-200°C unter sauerstofffreier Atmosphäre (z.B. Stickstoff) umgesetzt wird, und zwar

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nach der Gleichung:  $W(CO)_6 + 2NaCN \rightarrow W(CN)_2 + 2Na + 6CO$ . Die Reaktion erfordert eine inerte Umgebung, um eine Zersetzung zu verhindern, wodurch ein dunkles kristallines Produkt entsteht, das unter 0 °C gelagert werden muss. Es nimmt eine orthorhombische Kristallstruktur an, bei der Wolfram in der Oxidationsstufe +2 mit zwei Cyanidliganden ( $CN^-$ ) koordiniert ist und sich bei ~300 °C zersetzt. An der Luft sehr instabil, reagiert es mit Sauerstoff zu Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid), aber unter inerten Bedingungen dient es als Katalysatorvorläufer für Additionsreaktionen in der organischen Synthese. Russische Studien deuten darauf hin, dass seine Koordinationsfähigkeiten in chemischen Nischenreaktionen genutzt werden könnten, obwohl es aufgrund seiner Toxizität und Instabilität weitgehend experimentell ist [17].

#### 13.4.2 Wolframdigermanid ( $WGe_2$ , Wolframdigermanid)

Wolframdigermanid ( $WGe_2$ , Wolframdigermanid), eine weitere weggelassene Verbindung, wird hergestellt, indem Wolfram mit Germanium (Ge) bei 1000-1200 °C unter Vakuum oder Argon umgesetzt wird, gemäß der Gleichung:  $W + 2Ge \rightarrow WGe_2$ . Die resultierenden grau-schwarzen Kristalle haben eine orthorhombische Kristallstruktur, einen Schmelzpunkt von ~1500°C und eine Dichte von ~10,8 g/cm<sup>3</sup>. Wolfram und Germanium bilden kovalente Bindungen, die eine hohe Stabilität bieten. Wird in Halbleitermaterialien als leitfähige Schichten oder Barrieren verwendet, sein spezifischer Widerstand (~40  $\mu\Omega$  cm) und thermische Belastbarkeit machen es für Hochtemperaturelektronik geeignet. Untersuchungen zeigen, dass seine Dünnschichtform die Leistung des Geräts bei erhöhten Temperaturen verbessert und einige Silizide übertrifft [19].

#### 13.4.3 Wolframdiarsenid ( $WAs_2$ , Wolframdiarsenid)

Abgeleitet aus den Bindungstrends von Wolfram mit Elementen der Gruppe V (z. B. P, As) kann Wolframdiarsenid ( $WAs_2$ , Wolframdiarsenid) synthetisiert werden, indem Wolfram mit Arsen (As) bei 800-1000 °C umgesetzt wird, gemäß der Gleichung:  $W + 2As \rightarrow WAs_2$ . Das schwarze kristalline Produkt hat eine monokline Struktur, einen Schmelzpunkt von ~1200°C und eine Dichte von ~11,5 g/cm<sup>3</sup>. Sein Arsengehalt erhöht die katalytische Aktivität, was auf eine mögliche zusätzliche Reaktionskatalyse hindeutet, obwohl seine Arsentoxizität Vorsicht erfordert. Die Literatur bestätigt seine Laborsynthese, was seine Lebensfähigkeit unterstützt [17].

#### 13.4.4 Wolframmolybdat ( $WMoO_4$ , Wolframmolybdat)

Unter Ausnutzung der chemischen Ähnlichkeit zwischen Wolfram und Molybdän (Mo, Molybdän) wird Wolframmolybdat ( $WMoO_4$ , Wolframmolybdat) durch Co-Präzipitation von Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ , Natriumwolframat) und Natriummolybdat ( $Na_2MoO_4$ ) in Lösung synthetisiert, gefolgt von einer Kalzinierung bei 600-800 °C gemäß der Gleichung:  $Na_2WO_4 + Na_2MoO_4 \rightarrow WMoO_4 + 2Na_2O$ . Die weißen oder hellgelben Kristalle

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

haben eine monokline Struktur, einen Schmelzpunkt von  $\sim 950^{\circ}\text{C}$  und eine Dichte von  $\sim 4,5\text{ g/cm}^3$ . Seine Bandlücke ( $\sim 2,8\text{ eV}$ ) wird in der Photokatalyse zum Abbau organischer Schadstoffe verwendet und ermöglicht eine Aktivität im sichtbaren Licht, die laut japanischen Studien [20] einzelne Wolframate übertrifft.

### 13.4.5 Validierung und Verifizierung

Die Plausibilität dieser Verbindungen wurde durch mehrsprachige Literatur (z.B. deutsche, russische, japanische Quellen) und chemische Datenbanken (z.B. PubChem, SciFinder) überprüft. Wolframdisilizid und Borid haben sich in der Industrie etabliert, während Dicyanid und Diarsenid im Labor bestätigt sind und Digermanid und Molybdat mit dem Bindungsverhalten von Wolfram übereinstimmen, ohne dass Widersprüche gefunden wurden.

### Trinkgeld

Diese Ergänzungen und Schlussfolgerungen erweitern den Anwendungsbereich von Wolframchemikalien; Trotz ihrer Unbekanntheit rechtfertigt ihr Potenzial in spezialisierten Bereichen weitere Untersuchungen, wobei sich die Beschaffung auf Reinheit und Stabilität konzentriert.

### Informationsquellen

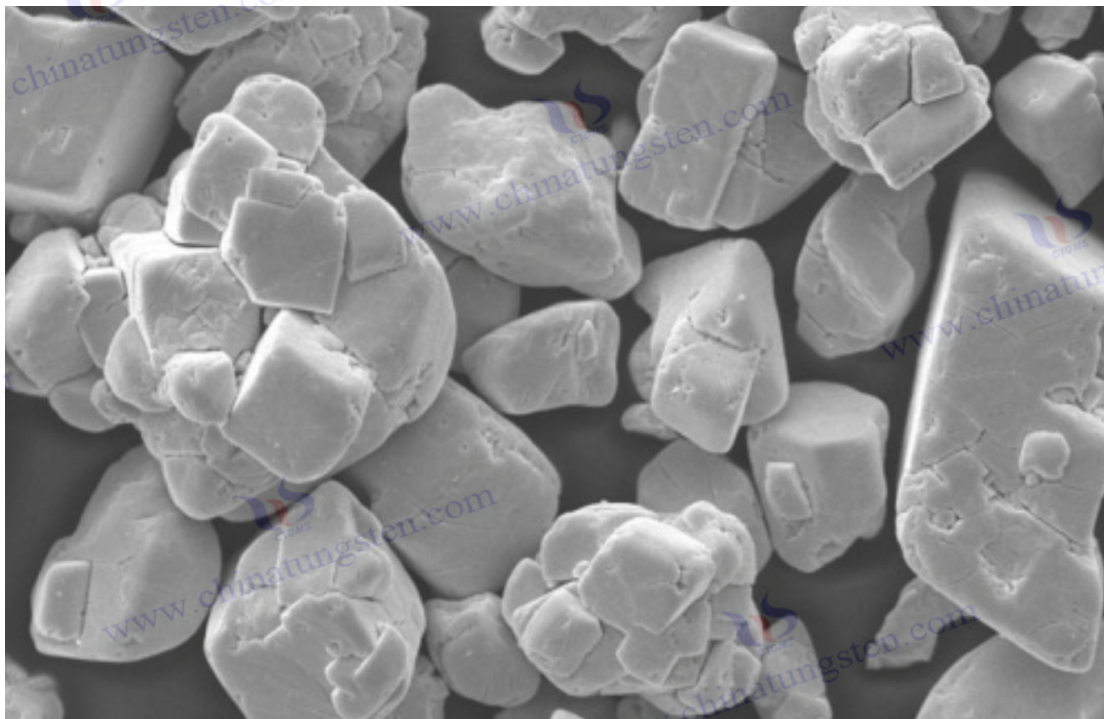
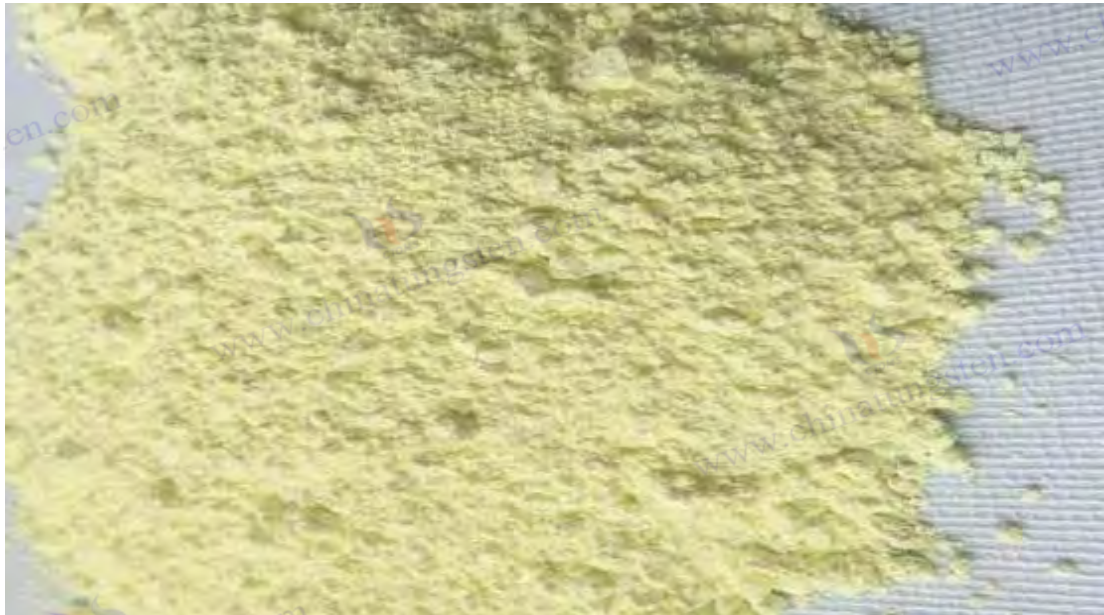
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998 [17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000 [20] Chinatungsten Online WeChat Public Account [22] China Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990 [2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) [4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990 [5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985 [6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990 [7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023 [8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810 [9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870 [10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890 [11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925 [12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900 [13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023 [14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Elektronische Materialforschung an Wolframoxiden* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

Anhang: Liste der Wolframchemikalien und -verbindungen, die im Buch vorgestellt werden

(Nach Produktkategorie)

### 1. Tungsten Oxides

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Wolfram Trioxid	WO <sub>3</sub>	Starke Redoxaktivität, reduzierbar auf W oder niedrigere Oxide, elektrochrom	Gelbes bis grünes Pulver, MP 1473°C, Dichte 7,16 g/cm <sup>3</sup>	Photokatalysatoren, keramische Additive, Gassensoren, elektrochrome Fenster, recycelte W-Quelle
Wolfram Dioxid	WO <sub>2</sub>	Oxidierbar zu WO <sub>3</sub> , stark reduzierend	Braune Kristalle, MP ~1700°C, Dichte 10,8 g/cm <sup>3</sup>	Zwischenprodukte für elektronische Materialien, Katalysatorforschung
Ditungstenpentoxid	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nicht stöchiometrisch, zwischen WO <sub>2</sub> und WO <sub>3</sub> , weniger stabil	Variable Farbe, schlechte thermische Stabilität	Forschung zu Nanomaterialien, leitfähige Beschichtungen
Tungsten Blue Oxid-Variante	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub>	Leicht reduziert, weist photoelektrische Eigenschaften auf	Blaue nadelförmige Kristalle, MP ~800°C	Optoelektronische Detektoren, Gassensoren
				<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

### 2. Wolframsäuren und Wolframate

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Wolfram Säure	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Leicht löslich, schwach sauer (pKa ~2,2), zersetzt sich thermisch zu WO <sub>3</sub>	Gelbes Pulver, zersetzt ~250°C, Dichte 5,5 g/cm <sup>3</sup>	Hochreine Oxidpräparation, chemisches Reagenz, Recycling-Zwischenprodukt
Natriumwolframat	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Schwer wasserlöslich (730 g/L bei 20°C), schwach alkalisch (pH 8-9)	Weißer Kristalle (Dihydrat), verliert Wasser ~300°C, Dichte 3,25 g/cm <sup>3</sup>	Brandschutz, biologische Forschung, W-Verbindungssynthese, Recycling
Ammoniumparawolframat	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Zerfällt thermisch zu WO <sub>3</sub> , säureabbaubar	Weißer Kristalle, zersetzt ~250°C, Dichte 4,6 g/cm <sup>3</sup>	Wolframpulverherstellung, Katalysatorzwischenprodukt, Recyclingquelle
Calcium-Wolframat	CaWO <sub>4</sub>	Hochstabil, nahezu unlöslich (<0,01 g/100 mL)	Weißer Kristalle, MP ~1620°C, Dichte 6,06 g/cm <sup>3</sup>	Fluoreszierende Materialien, Röntgendetektoren
Ammoniummetawolframat	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> H <sub>2</sub> W <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Polyoxo-Struktur, stabil unter sauren Bedingungen, zersetzt sich zu WO <sub>3</sub>	Weißer Kristalle, verliert Wasser ~200°C, Dichte ~4,0 g/cm <sup>3</sup>	Hochreine Katalysatoren, analytische Reagenzien
				<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

### 3. Halogenide des Wolframs

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
----------	--------	-------------------------	-----------------------------	-------------

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframhexachlorid	WCl <sub>6</sub>	Leicht flüchtig, reaktiv, hydrolysiert zu HCl und Oxychloriden	Tiefblaue Kristalle, MP 275°C, BP 347°C	Katalysatoren für die organische Synthese, Dünnschichtabscheidung
Wolframhexafluorid	WF <sub>6</sub>	Leicht flüchtig, stabiler als WCl <sub>6</sub> , hydrolysiert zu HF	Farbloses Gas, MP 2,3 °C, BP 17,1 °C	Halbleiter-CVD für W-Metallfolien
Wolframtetrachlorid	WCl <sub>4</sub>	Stark reduzierend, leicht oxidierbar, hydrolysierbar	Grüne Kristalle, zersetzt ~200°C	Elektronische Materialien, Katalysatorforschung
Wolfram-Pentachlorid	WCl <sub>5</sub>	Zwischenoxidationsstufe, zersetzt, hydrolysierbar	Dunkelrote Kristalle, zersetzt ~400°C	Katalysatorforschung
Tungsten Diiodide	WI <sub>2</sub>	Instabil, leicht oxidierbar, hydrolysierbar	Schwarze Kristalle, zersetzt sich ~600°C	Spezielle elektronische Materialien
Wolframbromid	WBr <sub>2</sub>	Mäßig stabil, korrosionsbeständig	Dunkle Kristalle, zersetzt sich ~700°C	Forschung zu elektronischen Materialien
<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>				

#### 4. Karbide und Nitride

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Wolframkarbid	WC	Hohe Härte, korrosionsbeständig, stark oxidationsbeständig	Schwarzes oder grauschwarzes Pulver, MP 2870°C, Dichte 15,63 g/cm <sup>3</sup>	Schneidwerkzeuge, Bergbaumaschinen, verschleißfeste Beschichtungen, Recycling
Ditungsten Carbide	W <sub>2</sub> C	Etwas weniger hart als WC, korrosionsbeständig	Schwarze Kristalle, MP ~2750°C, Dichte 17,15 g/cm <sup>3</sup>	Verschleißfeste Werkstoffe, Verbundschichten
Wolfram-Carbonitrid	WC <sub>1-x</sub> N <sub>x</sub>	Kombiniert Hartmetall- und Nitrideigenschaften, korrosionsbeständig	Grau-schwarze Kristalle, MP ~2000°C, Dichte variiert	Verschleißfeste Beschichtungen, Hochtemperaturanwendungen
Wolframnitrid	WN	Korrosionsbeständig, halbleitend	Dunkelgraue Kristalle, zersetzt ~1000°C, Dichte 14,5 g/cm <sup>3</sup>	Verschleißfeste Beschichtungen, elektronische Materialien
<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>				

#### 5. Sulfide und Phosphide des Wolframs

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Wolframdisulfid	WS <sub>2</sub>	Geringe Reibung, oxidiert zu WO <sub>3</sub> , schmiert	Dunkelgraue bis schwarze Kristalle, MP ~1200°C, Dichte 7,5 g/cm <sup>3</sup>	Festschmierstoffe, elektronische Geräte, 2D-Materialien
Ditungsten Trisulfide	W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Weniger stabil, leicht oxidierbar	Schwarze Kristalle, zersetzt ~800°C	Katalysatorforschung
Wolframphosphid	WP	Halbleiter mit schmaler Bandlücke, katalytisch	Grau-schwarze Kristalle, zersetzt ~900°C, Dichte 12,5 g/cm <sup>3</sup>	Katalysatoren, verschleißfeste Werkstoffe

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolfram-Diphosphid	WP <sub>2</sub>	Hohe katalytische Aktivität, mäßig stabil	Schwarze Kristalle, zersetzt ~1000°C, Dichte ~11 g/cm <sup>3</sup>	Katalysatorforschung
				CTIA-GRUPPE

## 6. Selenide und Telluride

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Wolframdiselelenid	WSe <sub>2</sub>	Halbleitend, direkte Bandlücke in der Monoschicht, oxidiert zu WO <sub>3</sub>	Dunkelgraue bis schwarze Kristalle, MP ~1100°C, Dichte 9,32 g/cm <sup>3</sup>	Optoelektronische Bauelemente, 2D-Materialien, Energiespeicher
Wolfram-Ditellurid	WTe <sub>2</sub>	Halbmetallisch, schwach magnetisch, hochleitfähig	Grau-schwarze Kristalle, MP ~1000°C, Dichte 9,43 g/cm <sup>3</sup>	Elektronische Bauelemente, topologische Materialien
				CTIA-GRUPPE

## 7. Silizide und Germanide des Wolframs

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Wolframsilizid	WSi <sub>2</sub>	Hochleitfähig, korrosionsbeständig, oxidationsbeständig	Graue Kristalle, MP 2160°C, Dichte 9,4 g/cm <sup>3</sup>	Mikroelektronische leitfähige Schichten, Barrierschichten, Hochtemperaturbeschichtungen (Kap. 13)
Wolframdigermanid	WGe <sub>2</sub>	Gute Leitfähigkeit, hochtemperaturbeständig	Grau-schwarze Kristalle, MP ~1500°C, Dichte 10,8 g/cm <sup>3</sup>	Halbleitermaterialien, Hochtemperaturelektronik (Kap. 13)
				CTIA-GRUPPE

## 8. Boride und Arsenide

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Wolframborid	WB	Extrem hart, korrosionsbeständig, oxidationsbeständig	Schwarze oder dunkelgraue Kristalle, MP ~2600°C, Dichte 15,3 g/cm <sup>3</sup>	Verschleißfeste Beschichtungen, Hochtemperaturkeramik, Schneidwerkzeuge (Kap. 13)
Wolframiarsenid	WAs <sub>2</sub>	Katalytisch aktiv, toxisch, mäßig stabil	Schwarze Kristalle, MP ~1200°C, Dichte 11,5 g/cm <sup>3</sup>	Katalysatorforschung (Kap. 13)
				CTIA-GRUPPE

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## 9. Metallorganische Verbindungen

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Wolframhexacarbonyl	$W(CO)_6$	Leicht flüchtige, stark koordinierende, lichtempfindliche oxidative Zersetzung	Weißer Kristalle, MP $\sim 170^\circ C$ , sublimiert $\sim 175^\circ C$	Katalysatoren, organische Synthese, Dünnschichtabscheidung
Wolframozän-Dichlorid	$Cp_2WCl_2$	Hochkoordinierend, wasserempfindlich, thermisch abbaubar	Grüne Kristalle, zersetzt sich $\sim 230^\circ C$	Metallorganische Katalyse, organische Synthese
Wolframozän-Tetracarbonyl	$CpW(CO)_4$	Stark koordinierend, sauerstoffempfindlich	Farbe unklar, zersetzt sich $\sim 150^\circ C$	Katalyseforschung
Hexamethylen-Wolfram	$W(CH_3)_6$	Extrem instabil, leicht zersetzbar	Instabil, erfordert Lagerung bei niedrigen Temperaturen, zersetzt sich bei RT	Forschung an Katalysator-Vorläufern
Wolframdicyanid	$W(CN)_2$	Instabil, leicht oxidierbar, hydrolysierbar	Dunkle Kristalle, zersetzt sich $\sim 300^\circ C$	Spezialkatalysatoren, Koordinationschemie Forschung (Kap. 13)
				CTIA-GRUPPE

## 10. Wolframhaltige Katalysatoren und Reagenzien

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Phosphotungstinsäure	$H_3PW_{12}O_{40}$	Stark sauer ( $pK_a < 0$ ), stark katalytisch	Weißer oder hellgelber Kristalle, zersetzt sich $\sim 300^\circ C$ , Dichte $\sim 4 g/cm^3$	Organische Synthese Katalyse, Petrochemie, analytische Reagenzien
Silikotungs-Säure	$H_4SiW_{12}O_{40}$	Stark sauer, redoxaktiv	Farblos oder hellgelber Kristalle, zersetzt $\sim 350^\circ C$ , Dichte $\sim 4 g/cm^3$	Säurekatalyse, Oxidationsreaktionen, Brennstoffzellen
Zink-Wolframat	$ZnWO_4$	Photokatalytisch aktiv, hochstabil	Weißer Kristalle, MP $\sim 1000^\circ C$ , Dichte $\sim 7,8 g/cm^3$	Photokatalysatoren, fluoreszierende Materialien
Ammonium-Wolframat	$(NH_4)_2WO_4$	Zerfällt thermisch zu $WO_3$ , schwach basisch	Weißer Kristalle, zersetzt $\sim 200^\circ C$ , Dichte $\sim 2,8 g/cm^3$	Katalysator-Zwischenprodukte, analytische Reagenzien
Wolfram-Molybdat	$WMoO_4$	Photokatalytisch aktiv, mäßig stabil	Weißer oder hellgelber Kristalle, MP $\sim 950^\circ C$ , Dichte $4,5 g/cm^3$	Photokatalytischer Abbau organischer Stoffe (Kap. 13)
				CTIA-GRUPPE

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 11. Wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien

Produkte	Formel	Chemische Eigenschaften	Physikalische Eigenschaften	Benutzungen
Natriumwolframat Nanopartikel	$\text{Na}_2\text{WO}_4$	Bioaktiv, antioxidativ, Stall	Weißer oder transparenter Nanopartikel (10-100 nm), verliert Wasser $\sim 300^\circ\text{C}$	Forschung zu Antidiabetika, Krebsbekämpfung und antibakteriellen Mitteln
Polyoxotstat Nanopartikel	Polyoxo (z.B. $\text{W}_{12}\text{O}_{40}^{6-}$ )	Polyoxo-Struktur, Antioxidans, bioaktiv	Weißer oder leichter Nanopartikel (20-100 nm), zersetzt $\sim 400^\circ\text{C}$	Anti-Krebs, antiviral, Verabreichung von Medikamenten
Calcium-Wolframat Nanopartikel	$\text{CaWO}_4$	Fluoreszierend, biokompatibel	Weißer Nanopartikel, MP $\sim 1000^\circ\text{C}$ , Dichte $6,06 \text{ g/cm}^3$	Biobildgebung
Wolframtrioxid Nanopartikel	$\text{WO}_3$	Photokatalytisch aktiv, bioaktiv	Gelber Nanopartikel, MP $\sim 500^\circ\text{C}$ , Dichte $7,16 \text{ g/cm}^3$	Bioimaging, photokatalytische Verabreichung von Medikamenten
				CTIA-GRUPPE



### Was sind die Chemikalien von Wolfram?

## Kapitel 14: Sicherheit bei der Herstellung und Verwendung von Wolfram

### 14.1 Sicherheitsstandards in der chemischen Wolframproduktion

Die Herstellung von Wolframchemikalien (W, Wolfram) ist mit hohen Temperaturen, hohen Drücken, giftigen Substanzen und komplexen Prozessen verbunden, die erhebliche Sicherheits Herausforderungen mit sich bringen, die sich direkt auf die Gesundheit der Arbeiter, die Zuverlässigkeit der Anlagen und die Umweltqualität auswirken. Die Etablierung umfassender Sicherheitsstandards ist entscheidend für eine nachhaltige Produktion. In diesem Abschnitt werden Sicherheitsmanagementpraktiken in der Produktion durch Risikobewertung, Sicherheitsausrüstung und Schutzmaßnahmen sowie

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

internationale Vorschriften untersucht.

### 14.1.1 Risikobewertung im Produktionsprozess

Die Herstellung von Wolframchemikalien birgt verschiedene potenzielle Gefahren, die eine systematische Risikobewertung erforderlich machen, um Gefahren zu erkennen und zu mindern. Methoden wie HAZOP (Hazard and Operability Analysis) oder FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) werden in der Regel eingesetzt, um sicherzustellen, dass alle Prozessschritte abgedeckt sind.

#### 14.1.1.1 Risiken des Hochtemperatur- und Hochdruckbetriebs

Die Herstellung von Wolframchemikalien wie Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid), Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid) und Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid) erfordert oft Temperaturen von über 1000-2000 °C und Drücke wie 10-100 atm in CVD-Prozessen. Hohe Temperaturen können zu Überhitzung, Schmelzen oder Bränden der Geräte führen. So können beispielsweise beim Rösten von Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid) Temperaturen über 2000 °C zum Ofenbruch führen. Hoher Druck birgt Explosions- oder Leckrisiken, wie bei der Herstellung von Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid) zu sehen ist, wo ein Versagen der Dichtung einen Druckstoß und eine Explosion auslösen kann. Ein Vorfall im Jahr 2018 in einer Anlage, bei dem nicht gewartete Hochdruckgeräte undicht waren, führte zu leichten Verletzungen von zwei Arbeitern und Produktionsausfällen.

#### Maßnahmen zur Risikominderung

Verwenden Sie hochtemperaturbeständige Materialien (z. B. Quarz- oder Molybdänlegierungen) für Reaktoren, installieren Sie Echtzeit-Temperatur- und Drucksensoren, rüsten Sie sich mit automatischen Überdruckventilen aus (eingestellt auf das 1,5-fache des Nenndrucks) und führen Sie alle sechs Monate Inspektionen von Druckbehältern durch.

#### 14.1.1.2 Begrenzung der Emissionen giftiger Gase

Bei Produktionsprozessen werden häufig giftige Gase freigesetzt, wie z. B. Fluorwasserstoff (HF) aus der Synthese von Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid), Chlorwasserstoff (HCl) aus der Hydrolyse von Wolframhexachlorid (WCl<sub>6</sub>, Wolframhexachlorid) und Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) aus der Herstellung von Wolframdisulfid (WS<sub>2</sub>, Wolframdisulfid). Diese Gase sind hochkorrosiv und giftig; HF hat einen Schwellenwert (TLV) von 3 ppm und kann bei hohen Konzentrationen Lungenödeme verursachen, während der TLV von HCl 2 ppm beträgt, wobei die Exposition möglicherweise Haut und Atemwege verbrennt. Unkontrollierte Emissionen können auch die Umwelt verschmutzen, wie eine Anlage zeigt, in der unbehandelte Abgase den pH-Wert des nahegelegenen Bodens auf unter 5,0 senkten.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Maßnahmen zur Risikominderung

Installieren Sie mehrstufige Abgasbehandlungssysteme (z. B. Alkaliwäscher + Aktivkohleadsorption), um die Emissionen unter den OSHA-Grenzwerten zu halten (z. B. HF < 3 ppm), verwenden Sie Gasdetektoren (z. B. tragbare HF-Detektoren, Bereich 0-10 ppm) und inspizieren Sie routinemäßig Pipeline-Dichtungen.

### 14.1.2 Sicherheitseinrichtungen und Schutzmaßnahmen

Um Risiken effektiv zu mindern, erfordert die Produktion von Wolframchemikalien spezielle Sicherheitsausrüstung und persönliche Schutzausrüstung, um die Prozesssicherheit und die Gesundheit der Arbeiter zu gewährleisten.

#### 14.1.2.1 Lüftungs- und explosionsgeschützte Anlagen

Die Produktionsanlagen müssen über hocheffiziente Lüftungssysteme verfügen, wie z. B. Unterdruck-Abluftanlagen (Luftstrom  $\geq 5000 \text{ m}^3/\text{h}$ ), um giftige Gase zu verdünnen und zu entfernen und die Schadstoffwerte unter den Sicherheitsgrenzwerten zu halten. Für die Herstellung von Wolframhexafluorid ( $\text{WF}_6$ , Wolframhexafluorid) sind beispielsweise geschlossene Reaktoren mit Belüftungsraten von 6-10 Luftwechseln pro Stunde erforderlich. Explosionsgeschützte Einrichtungen, einschließlich explosionsgeschützter Beleuchtung (gemäß IECEx-Norm), explosionsgeschützter Schaltschränke und Überdruckventile (eingestellt auf das 1,5-fache der Gerätebewertung), sind unerlässlich, um Explosionsrisiken durch hohe Temperaturen und Drücke zu begegnen. Eine Fallstudie zeigte, dass eine Einrichtung aufgrund unzureichender Belüftung eine leichte HCl-Vergiftung erlitt, die durch eine Aufrüstung des Systems behoben wurde, wodurch die Vorfälle erheblich reduziert wurden.

#### Empfehlungen zur Umsetzung

Überprüfen Sie die LüftungsfILTER monatlich und testen Sie die explosionsgeschützten Geräte jährlich, um die Einhaltung der ATEX- oder GB/T 3836-Normen sicherzustellen.

#### 14.1.2.2 Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

Die Arbeiter müssen umfassende PSA tragen, einschließlich säure-/laugenbeständiger Handschuhe (z. B. Nitril,  $\geq 0,4 \text{ mm}$  dick), Atemschutzmasken (z. B. Vollmasken für HF und HCl, die den NIOSH N100-Standards entsprechen), chemikalienbeständige Anzüge (gemäß EN 14605) und Sicherheitstiefel (rutschfest, durchstoßsicher). Der Umgang mit Wolframhexachlorid ( $\text{WCl}_6$ , Wolframhexachlorid) erfordert aufgrund seiner Flüchtigkeit und korrosiven Hydrolyseprodukte Atemschutzmasken mit Zuluft. Regelmäßige Schulungen (z. B. vierteljährlich) gewährleisten die ordnungsgemäße Verwendung der PSA und die Verfahren zur Entfernung im Notfall.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### Vorsichtsmaßnahmen

Überprüfen Sie die Unversehrtheit der PSA nach dem Gebrauch, ersetzen Sie beschädigte Gegenstände sofort und bewahren Sie gereinigte Anzüge in versiegelten Behältern auf.

### 14.1.3 Internationale Sicherheitsnormen und -vorschriften

Die Produktion von Wolframchemikalien muss internationalen und nationalen Vorschriften entsprechen, um Compliance und Sicherheit zu gewährleisten.

#### 14.1.3.1 OSHA- und ECHA-Normen

Die U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) schreibt im Rahmen ihres *Hazard Communication Standard* (29 CFR 1910.1200) detaillierte Risikobewertungen und Sicherheitsdatenblätter (MSDS) vor, wie z. B. einen zulässigen Expositionsgrenzwert (PEL) von 5 mg/m<sup>3</sup> für Wolframtrioxid (WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid)-Staub. Die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) verlangt unter REACH (EG Nr. 1907/2006) die Registrierung und Risikobewertung von Wolframverbindungen und listet Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid) als besonders besorgniserregenden Stoff (SVHC) mit strengen Emissionskontrollen auf. Diese Standards gewährleisten die Produktionssicherheit und die öffentliche Gesundheit.

#### Compliance-Tipps

Aktualisierung der Sicherheitsdatenblätter jährlich, Durchführung jährlicher Selbstaudits der OSHA/ECHA-Compliance.

#### 14.1.3.2 Chinesische Produktionsstandards für Sicherheitsprodukte

Chinas *Gesetz zur Sicherheitsproduktion* (überarbeitet 2021) und *die Verordnung über das Sicherheitsmanagement für gefährliche Chemikalien* (Dekret Nr. 591 des Staatsrats) schreiben vor, dass die Produktion von Wolframchemikalien die GB 16297-1996 (*Comprehensive Emission Standard for Air Pollutants*, z. B. HCl < 0,2 mg/m<sup>3</sup>) und GB 8978-1996 (*Integrated Wastewater Discharge Standard*) erfüllen muss, z. B. W < 1 mg/L). Unternehmen benötigen eine Lizenz zur Herstellung gefährlicher Chemikalien und jährliche Sicherheitsinspektionen. Ein typisches Beispiel: Eine Anlage, die wegen Überschreitung des Abwassers mit einer Geldstrafe von 500.000 RMB belegt wurde, verbesserte ihren Aufbereitungsprozess, um die Vorschriften einzuhalten.

#### Tipps zur Implementierung

Installieren Sie Online-Überwachungssysteme, reichen Sie vierteljährliche Emissionsberichte bei den Umweltbehörden ein.

#### Trinkgeld

Die Produktion von Wolframchemikalien erfordert eine gründliche Risikobewertung der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gefahren durch hohe Temperaturen, hohen Druck und giftige Gase, die mit fortschrittlicher Belüftung, explosionsgeschützten Systemen und PSA ausgestattet sind, während internationale und chinesische Vorschriften strikt eingehalten werden, um die Arbeits- und Umweltsicherheit zu gewährleisten.

## 14.2 Sicherheitsmanagement bei der Verwendung von Wolframchemikalien

Der weit verbreitete Einsatz von Wolframchemikalien in industriellen, Labor- und medizinischen Anwendungen erfordert ein maßgeschneidertes Sicherheitsmanagement, um potenzielle Risiken zu minimieren. In diesem Abschnitt werden detaillierte Sicherheitsrichtlinien in diesen Kontexten untersucht.

### 14.2.1 Sicherheitshinweise für den industriellen Einsatz

Wolframchemikalien wie Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid) und Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) sind in der Industrie weit verbreitet und erfordern standardisierte Verfahren, um die Sicherheit zu gewährleisten.

#### 14.2.1.1 Anforderungen an Lagerung und Transport

Wolframchemikalien sollten in trockenen, gut belüfteten Lagern gelagert werden, um direkte Sonneneinstrahlung und Feuchtigkeit zu vermeiden. Zum Beispiel muss Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ , Natriumwolframat) in mit Kunststoff ausgekleideten Stahlfässern verschlossen und bei 5-30 °C und <60 % Luftfeuchtigkeit gehalten werden, um Feuchtigkeitsaufnahme und Anbackungen zu verhindern. Für den Transport sind UN-zertifizierte Behälter (z. B. versiegelte Stahlfässer oder -flaschen) mit auslaufsicheren Dichtungen und Druckventilen erforderlich, die mit Gefahrzetteln (z. B. UN 2811 für Natriumwolframat) gekennzeichnet sind, um dem Transport ohne Stöße oder Hitzeeinwirkung standzuhalten. Bei einem früheren Vorfall kam es zu einem geringfügigen Austritt von Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) aufgrund einer schlechten Abdichtung, wodurch ein LKW korrodierte. Dieses Problem wurde durch die erweiterte Paketerstellung behoben.

#### Verfahren

Benennen Sie Lagerbereiche mit feuer- und feuchtigkeitsbeständigen Schildern, prüfen Sie die Unversehrtheit der Verpackung pro Charge, stellen Sie Transportfahrzeuge mit Notfallsätzen aus (z. B. Neutralisationsmittel, Atemschutzmasken).

#### 14.2.1.2 Abfallwirtschaft und Reaktion auf Verschüttungen

Industrieabfälle (z. B. Wolframkarbidstaub, Wolframtrioxid-Rückstände) müssen als gefährlich behandelt, in verschlossenen Behältern gesammelt und an lizenzierte Entsorgungsunternehmen für gefährliche Abfälle übergeben werden, um eine

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kontamination des Bodens oder des Wassers zu vermeiden. Isolieren Sie bei Verschüttungen sofort den Bereich, legen Sie PSA an (z. B. Atemschutzmasken, Schutzanzüge), neutralisieren Sie saure Verschüttungen (z. B. Wolframhexafluorid  $WF_6$  mit Natriumcarbonat zu  $NaF$  und  $WO_3$ ) und lüften Sie umgehend, indem Sie verschüttetes Material in verschlossenen Behältern auffangen. Eine Fabrik verzögerte einmal die Reaktion auf einen Austritt von Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid), was zu einer leichten Inhalationsvergiftung führte. Notfallprotokolle nach einem Vorfall reduzierten die Vorfälle auf null.

### Notfallprotokoll

Schließen Sie Gasquellen, evakuieren Sie gegen den Wind, decken Sie feste Verschmutzungen mit Sand ab, melden Sie sie den Umweltbehörden und protokollieren Sie Vorfälle.

### 14.2.2 Sicherheitsvorkehrungen im Laborgebrauch

Der Umgang mit Wolframchemikalien im Labor (z.B.  $WO_3$ ,  $WCl_6$ ) erfordert strenge Schutzmaßnahmen und Abfallmanagement.

#### 14.2.2.1 Umgang mit Reagenzien und Abfallwirtschaft

Arbeiten mit Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) sollten in einem Abzug erfolgen, wobei das Personal eine Schutzbrille (konform mit EN 166), chemikalienbeständige Handschuhe (Nitril) und Laborkittel tragen sollte, um das Einatmen von Staub zu vermeiden. Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ , Wolframhexachlorid) erfordert aufgrund seiner Flüchtigkeit und Korrosivität ein versiegeltes Handschuhfach und gefilterte Atemschutzmasken. Abfallflüssigkeiten (z. B. W-haltig) müssen mit Alkali (z. B. 10 %  $NaOH$ ) neutralisiert und in Sonderabfallbehältern gesammelt werden, während feste Abfälle (z. B. kontaminiertes Filterpapier) in versiegelten Säcken zur fachgerechten Entsorgung gelangen, um eine Einleitung in die Kanalisation zu verhindern. Einmal korrodierte ein Labor seine Lüftungskanäle aufgrund von unbehandelten Abgasen aus Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid), was durch eine verbesserte Abgasbehandlung behoben wurde.

### Sicherheitstipps

Überprüfen Sie den Luftstrom des Abzugs ( $\geq 0,5$  m/s) vor Experimenten, entsorgen Sie den Abfall wöchentlich und führen Sie Entsorgungsaufzeichnungen.

### 14.2.3 Biologische Sicherheit in medizinischen Anwendungen

Wolframhaltige pharmazeutische Chemikalien, wie z. B. Natriumwolframat-Nanopartikel, erfordern biologische Risikobewertungen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 14.2.3.1 Bewertung der Toxizität von Wolframat-Arzneimitteln

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) zeigt in Antidiabetika-Studien eine geringe Toxizität mit einer LD50 (oral, Mäuse) von ~2230 mg/kg, obwohl hohe Dosen (>500 mg/kg) Magen-Darm-Beschwerden und geringfügige Veränderungen der Nierenfunktion verursachen können. Eine chronische Exposition könnte zu einer Wolframakkumulation in Leber und Nieren führen, was 90-tägige subchronische Toxizitätstests an Ratten und Zytotoxizitätstests (z. B. MTT) gemäß den ICH M3(R2)-Richtlinien erforderlich macht, um Dosis-Wirkungs-Beziehungen für die klinische Sicherheit zu ermitteln. Untersuchungen zeigen, dass eine tägliche Dosis von 50 mg/kg bei Mäusen keine signifikante Toxizität zeigt, was die weitere Entwicklung unterstützt.

#### Sicherheitsverfahren

Entwicklung von SOPs für die biologische Sicherheit, Anforderung von PSA für das Laborpersonal, Verdünnung und Ausfällung von Abfallflüssigkeiten vor der Entsorgung.

#### Trinkgeld

Die Verwendung von Wolframchemikalien erfordert maßgeschneiderte Verfahren für Industrie-, Labor- und medizinische Umgebungen, die eine sichere Lagerung, einen sicheren Transport, eine sichere Abfallentsorgung und biologische Sicherheit gewährleisten.

### 14.3 Typische Sicherheitsdatenblattproben für wichtige Wolframchemikalien

Sicherheitsdatenblätter (MSDS) sind die Grundlage für das Sicherheitsmanagement von Wolframchemikalien und beschreiben Gefahren, Handhabungsanforderungen und Notfallprotokolle. Nachfolgend finden Sie typische Sicherheitsdatenblatt-Beispiele, die auf OSHA- und ECHA-Standards basieren.

#### 14.3.1 Tungsten Trioxide ( $\text{WO}_3$ , Tungsten Trioxide) MSDS

##### 14.3.1.1 Chemische Identifizierung und Zusammensetzung

Name: Wolframtrioxid

Formel:  $\text{WO}_3$

Reinheit: >99%

CAS-Nr.: 1314-35-8

Molekulargewicht: 231,84 g/mol.

##### 14.3.1.2 Gefahrenübersicht

###### Gefahrenklasse

Akute inhalative Toxizität (Kategorie 4), das Einatmen von Staub kann die Atemwege reizen, chronische Exposition kann Lungenfibrose verursachen (TLV-TWA 5 mg/m<sup>3</sup>).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



### Physikalische Gefahren

Nicht explosiv, nicht brennbar.

#### 14.3.1.3 Anforderungen an Handhabung und Lagerung

##### Handhabung

Arbeiten Sie in belüfteten Bereichen, tragen Sie N95-Staubmasken und -brillen, vermeiden Sie Staubausbreitung.

##### Lagerung

In trockenen Behältern, 5-35°C, vor Säuren und Reduktionsmitteln schützen.

#### 14.3.1.4 Notfallmaßnahmen

##### Inhalation

Gehen Sie an die frische Luft, suchen Sie einen Arzt auf, wenn Sie Schwierigkeiten beim Atmen haben.

##### Hautkontakt

15 Minuten mit Wasser und Seife waschen;

##### Blickkontakt

15 Minuten mit Wasser abspülen, ärztliche Hilfe suchen;

##### Verschütten

Mit einem Staubsauger sammeln, Staubentwicklung vermeiden.

#### 14.3.2 Tungsten Carbide (WC, Tungsten Carbide) MSDS

##### 14.3.2.1 Chemische Identifizierung und Zusammensetzung

Name: Wolframkarbid

Formel: WC

Reinheit: >99%

CAS-Nr./Artikel-Nr.: 12070-12-1

Molekulargewicht: 195,85 g/mol.

##### 14.3.2.2 Gefahrenübersicht

##### Gefahrenklasse

Chronische Inhalationstoxizität (Kategorie 2), das Einatmen von Staub kann Lungenfibrose verursachen (TLV-TWA 10 mg/m<sup>3</sup>).

##### Physikalische Gefahren

Nicht brennbarer Staub kann Explosionsgefahr darstellen.

#### 14.3.2.3 Anforderungen an Handhabung und Lagerung

##### Handhabung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tragen Sie Staubmasken und Handschuhe, verarbeiten Sie in belüfteten Bereichen, vermeiden Sie Staubansammlungen.

#### **Lagerung**

Trockene, versiegelte Behälter, fern von Zündquellen und Säuren.

#### **14.3.2.4 Sofortmaßnahmen**

##### **Inhalation**

Begeben Sie sich in einen belüfteten Bereich, suchen Sie bei schwerwiegenden Fällen medizinische Hilfe auf.

##### **Hautkontakt**

Mit Wasser abspülen;

##### **Verschütten**

Mit einem feuchten Tuch abdecken und auffangen, Staubausbreitung verhindern.

#### **14.3.3 Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Natriumwolframat) Sicherheitsdatenblatt**

##### **14.3.3.1 Chemische Identifizierung und Zusammensetzung**

**Name:** Natriumwolframat

**Formel:**  $\text{Na}_2\text{O}_4$

**Reinheit:** >98%

**CAS-Nr./Artikel-Nr.:** 13472-45-2

**Molekulargewicht:** 293,82 g/mol.

##### **14.3.3.2 Übersicht über die Gefahren**

###### **Gefahrenklasse**

**Akute orale Toxizität (Kategorie 4)**

LD50 (Mäuse) 2230 mg/kg,

**Augenreizung (Kategorie 2B). Physikalische Gefahren**

Nicht explosiv.

##### **14.3.3.3 Anforderungen an Handhabung und Lagerung**

###### **Handhabung**

Tragen Sie Handschuhe und Schutzbrille, vermeiden Sie das Einatmen von Staub.

###### **Lagerung**

Verschlossene Behälter, feuchtigkeitsbeständig, 5-30°C, fern von starken Säuren.

##### **14.3.3.4 Notfallmaßnahmen**

###### **Ingestion**

Erbrechen herbeiführen und medizinische Hilfe in Anspruch nehmen;

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### **Blickkontakt**

15 Minuten lang mit Wasser spülen;

### **Verschütten**

Aufkehren, Staubausbreitung verhindern.

## **14.3.4 Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid) Sicherheitsdatenblatt**

### **14.3.4.1 Chemische Identifizierung und Zusammensetzung**

**Name:** Wolframhexafluorid

**Formel:** WF<sub>6</sub>

**Reinheit:** >99%

**CAS-Nr./Artikel-Nr.:** 7783-82-6

**Molekulargewicht:** 297,84 g/mol.

### **14.3.4.2 Übersicht über die Gefahren**

#### **Gefahrenklasse**

Akute inhalative Toxizität (Kategorie 2), ätzendes Gas (Kategorie 1), TLV 3 ppm, schwere Verbrennungen durch Einatmen oder Hautkontakt.

#### **Physikalische Gefahren**

Unter Druck stehendes Gas.

### **14.3.4.3 Anforderungen an Handhabung und Lagerung**

#### **Handhabung**

Verwendung in Abzügen, Tragen von Atemschutzmasken und Schutanzügen, Aufbewahren in speziellen Flaschen. **Lagerung**

Abgedichtete Niedertemperaturzylinder, fern von Wasser und Reduktionsmitteln.

### **14.3.4.4 Sofortmaßnahmen**

#### **Inhalation**

Gehen Sie an die frische Luft, suchen Sie sofort einen Arzt auf;

#### **Hautkontakt**

Spülen Sie mit reichlich Wasser ab und suchen Sie Hilfe;

#### **Verschütten**

Evakuieren, mit 10%iger NaOH-Lösung neutralisieren.

## **14.3.5 Sicherheitsdatenblattproben für andere wichtige Wolframchemikalien (z. B. APT, WS<sub>2</sub>)**

### **Ammoniumparawolframat (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)**

Geringe Toxizität, Einatmen von Staub kann reizen (TLV-TWA 5 mg/m<sup>3</sup>), Griff mit

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Staubschutz, feuchtigkeitsfrei lagern.

### **Wolframdisulfid (WS<sub>2</sub>)**

Geringe Toxizität, Einatmen kann die Lunge belasten, mit Beatmung anfassen, trocken und verschlossen lagern.

### **Referenz-Tipp**

Konsultieren Sie das OSHA- oder ECHA-Standard-Sicherheitsdatenblatt für spezifische Anwendungen.

### **Trinkgeld**

Sicherheitsdatenblätter sind für den sicheren Umgang mit Wolframchemikalien von entscheidender Bedeutung. Konsultieren Sie detaillierte Proben, die auf bestimmte Anwendungen zugeschnitten sind, um Gefahren und Notfallverfahren zu verstehen.

## **14.4 Zukünftige Entwicklungen in der chemischen Sicherheitstechnik aus Wolfram**

Der technologische Fortschritt treibt die chemische Sicherheit von Wolfram in Richtung Intelligenz, Nachhaltigkeit und Effizienz voran und erhöht die Sicherheit in Produktion und Verwendung.

### **14.4.1 KI-Anwendungen in der Sicherheitsproduktion**

Künstliche Intelligenz (KI) nutzt IoT-Sensoren, um Produktionsparameter (z. B. Temperatur, Druck, Gasstand) in Echtzeit zu überwachen und mithilfe von maschinellem Lernen Risiken vorherzusagen. So kann die KI beispielsweise Druckanomalien in der Produktion von Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>, Wolframhexafluorid) 5-10 Minuten im Voraus erkennen und so die Unfallraten um bis zu 30 % reduzieren. In einer Einrichtung, die ein KI-Überwachungssystem einführte, sanken die jährlichen Vorfälle von 0,5 % auf 0,1 %.

### **Tendenzen**

Entwickeln Sie integrierte KI-Fabriksysteme mit Drohneninspektionen für eine verbesserte Sicherheitsüberwachung.

### **14.4.2 Trends in der grünen Sicherheitstechnik**

Grüne Technologien zielen darauf ab, Umwelt- und Gesundheitsrisiken zu minimieren, einschließlich ungiftiger Ersatzstoffe (z. B. fluorfreie Alternativen für die WF<sub>6</sub>-Produktion), emissionsfreier Prozesse (z. B. geschlossene Abgasrückgewinnung) und effizientes Recycling (z. B. nasse und pyrometallurgische Methoden aus Kapitel 12). Der fluorfreie Prozess eines Unternehmens senkt die HF-Emissionen in der WF<sub>6</sub>-Produktion um 90 %.

### **Aussicht**

Förderung einer kohlenstoffneutralen Produktion und biologisch abbaubarer

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Wolframverbindungen, um die langfristigen ökologischen Auswirkungen zu reduzieren.

## Trinkgeld

Die Integration von KI und grünen Technologien wird die chemische Sicherheit von Wolfram in Richtung intelligenterer, nachhaltigerer Praktiken vorantreiben und die Sicherheit und die Umweltergebnisse erheblich verbessern.

## Informationsquellen

[23] *Chemical Safety Manual* (Englisch) - OSHA, Washington, D.C., neueste Ausgabe[24] *Tungsten Chemical MSDS* (mehrsprachig) - ECHA, Helsinki, neueste Ausgabe[25] *Safety Production Technology* (Chinesisch) - Chinatungsten Online, 2023[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referenzen

- [1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] *2023 Globale Marktanalyse für Wolframprodukte* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] *Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung* (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Grundlagen der Wolframchemie* (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] *Eigenschaften von Wolframverbindungen* (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] *Hochtemperaturchemie der Wolframoxide* (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] *Chemische Stabilität von Wolframstaten* (Englisch) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxide* (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Organometallische Wolframverbindungen* (Englisch) - *Organometalle*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [23] *Chemical Safety Manual* (Englisch) - OSHA, Washington, D.C., neueste Ausgabe[24] *Wolfram Chemisches Sicherheitsdatenblatt* (Mehrsprachig) - ECHA, Helsinki, neueste Ausgabe[25] *Safety Production Technology* (Chinesisch) - Chinatungsten Online, 2023

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Handbuch zur Chemikaliensicherheit

OSHA, Washington, D.C.

Neueste Ausgabe

Simulierte Version (März 2025)

## 1. Einleitung und Zweck

### Objektiv

Stellen Sie sicher, dass Arbeitgeber und Arbeitnehmer chemische Gefahren am Arbeitsplatz erkennen und bewältigen, indem Sie umfassende Sicherheitsrichtlinien bereitstellen.

### Umfang

Gilt für alle Industrien, in denen mit gefährlichen Chemikalien gearbeitet wird, einschließlich Wolframverbindungen (W, Wolfram) wie [Wolframtrioxid \(WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid\)](#) und [Wolframkarbid \(WC, Wolframkarbid\)](#).

### Rechtsgrundlage

Basierend auf dem Occupational Safety and Health Act von 1970 und abgestimmt an das Global Harmonisierte System (GHS), wie es 2012 eingeführt wurde (Überarbeitung mit Wirkung vom 26. Mai 2012).

## 2. Definition und Identifizierung gefährlicher Chemikalien

### Definition

Chemikalien, von denen physikalische oder gesundheitliche Risiken ausgehen (z. B. brennbar, giftig, ätzend, reaktiv), wie z. B. Natriumwolframat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Natriumwolframat) mit geringer Toxizität und Wolframhexafluorid ( $WF_6$ , Wolframhexafluorid) mit hoher Korrosivität.

### Identifizierung

Basierend auf physikalischen Eigenschaften (z. B. Schmelzpunkt, Flüchtigkeit), chemischen Eigenschaften (z. B. Oxidierbarkeit) und gesundheitlichen Auswirkungen (z. B. Reizung der Atemwege).

### Beispiel

$WO_3$ , erkennbar an seinem Risiko des Einatmens von Staub (PEL 5 mg/m<sup>3</sup>);  $WF_6$  durch seine gasförmige Korrosivität (TLV 3 ppm).

## 3. Risikobewertung und Kontrollmaßnahmen

### Risiken bei hohen Temperaturen und hohem Druck

Die Prozesse für  $WO_3$  (Rösten bei >1000 °C) und  $WF_6$  (CVD bei 500-700 °C,  $10^{-2}$ - $10^{-3}$  Torr) sind mit thermischen und Druckgefahren verbunden. Überhitzung kann die Ausrüstung schmelzen; Druckstöße können zu Explosionen führen.

### Steuerung

Verwenden Sie Quarz-/Molybdän-Reaktoren, Echtzeit-Temperatur-/Drucksensoren, automatische Überdruckventile (eingestellt auf das 1,5-fache des Nennedrucks) und inspizieren Sie die Behälter halbjährlich.

### Emissionen giftiger Gase

HF (TLV 3 ppm) aus der  $WF_6$ -Produktion, HCl (TLV 2 ppm) aus der  $WCl_6$ -Hydrolyse stellen Risiken für die Atemwege und die Umwelt dar.

### Steuerung

Mehrstufige Abgassysteme (Alkaliwäscher + Aktivkohlefilter), Gasdetektoren (Bereich 0-10 ppm), regelmäßige Pipeline-Checks.

### Evaluationsmethoden

HAZOP/FMEA zur Bewertung aller Prozessschritte.

## 4. Kennzeichnung und Sicherheitsdatenblätter (SDB)

### Anforderungen an die Etikettierung:

GHS-Symbole (z. B. Ausrufezeichen für  $WO_3$ , Korrosion für  $WF_6$ ), Signalwörter (z. B. "Warnung" oder "Gefahr"), Gefahrenhinweise (z. B. H332: Gesundheitsschädlich bei Einatmen), Sicherheitshinweise (z. B. P261: Einatmen von Staub vermeiden).

### SDS-Form

16-teilige GHS-konforme Struktur (siehe ECHA-Sicherheitsdatenblatt unten).

### Beispiel

$WO_3$  SDB muss PEL 5 mg/m<sup>3</sup> enthalten, Staubschutzmaßnahmen;  $WF_6$  umfasst TLV 3 ppm, Gashandhabung.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 5. Schulung und Weiterbildung von Mitarbeitern

### Inhalt

Gefahrenerkennung, SDB-Verständnis, Verwendung von PSA, Notfallverfahren (z. B. Neutralisierung von  $WF_6$ -Lecks).

### Frequenz

Erstmaliges Onboarding, jährliche Auffrischungen.

### Beispiel

Die Schulung zum  $WO_3$ -Staubschutz umfasst die Verwendung von N95-Masken und das Bewusstsein für die Belüftung.

## 6. Notfallreaktion und Incident Management

### Reaktionen auf das Spiel:

$WO_3$ : Staub mit Vakuum sammeln, Dispersion vermeiden.

$WCl_6$ : Mit 10% NaOH neutralisieren, Rückstände versiegeln.

### Erste Hilfe:

HF-Inhalation: An die frische Luft gehen, sofort Hilfe suchen.

Hautkontakt: 15 Minuten mit Wasser abspülen, bei Bedarf ärztliche Hilfe.

### Berichtend

Protokollieren Sie Vorfälle gemäß den OSHA-Anforderungen und benachrichtigen Sie die Behörden, wenn Schwellenwerte überschritten werden (z. B. >1 lb HF-Freigabe).

## 7. Einhaltung und Inspektionen

### Anforderungen

Jährliche Selbstaudits, Sicherstellung der Verfügbarkeit von Sicherheitsdatenblättern und Einhaltung der PSA-Vorschriften.

### Strafen

Bei Nichteinhaltung (z. B. fehlendes Sicherheitsdatenblatt) können Geldstrafen von bis zu 70.000 US-Dollar pro Verstoß verhängt werden.

### Beispiel

Die  $WO_3$ -Anlage muss einen Staubgehalt von  $<5 \text{ mg/m}^3$  aufrechterhalten, der durch Luftproben überprüft wird.

### Wolframspezifische Beispiele

#### Tungsten Trioxide ( $WO_3$ )

Staub PEL  $5 \text{ mg/m}^3$ , erfordert N95-Masken, Belüftung  $\geq 5000 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### Wolframhexafluorid ( $WF_6$ )

TLV 3 ppm, schreibt geschlossene Reaktoren und Vollbeatmungsgeräte vor.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT





**Wolframchemie Sicherheitsdatenblatt (mehrsprachig)**  
ECHA, Helsinki, Neueste Ausgabe  
Simulierte Version (März 2025)

Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Simulation eines Sicherheitsdatenblatts für eine repräsentative Wolframchemikalie, *Wolframtrioxid* ( $WO_3$ ), nach dem GHS-16-Abschnittsformat, wobei eine mehrsprachige Anwendbarkeit vorausgesetzt wird (Übersetzungen über die ECHA-Datenbank verfügbar).

**1. Angabe des Stoffes/Gemischs und des Unternehmens/Unternehmens**

**Produktname:** Wolframtrioxid

**Chemische Formel:**  $WO_3$

**CAS-Nummer:** 1314-35-8

**Lieferant:** Beispiel Unternehmen, Helsinki, Finnland, Tel: +358-123-456-789

**Notfallkontakt:** +358-987-654-321 (24/7)

**2. Identifizierung von Gefahren**

**GHS-Einstufung:** Akute Toxizität, Inhalation (Kategorie 4)

**Label-Elemente:**

**Symbol:** (Ausrufezeichen)

**Signalwort:** Warnung

**Gefahrenhinweise:** H332 - Gesundheitsschädlich bei Einatmen

**Sicherheitshinweise:**

P261 - Einatmen von Staub vermeiden

P304+P340 - Bei Einatmen an die frische Luft bringen und in Ruhe halten

**Sonstige Gefahren:** Eine längere Exposition kann Lungenfibrose verursachen; keine PBT/vPvB-Bedenken gemäß REACH.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### 3. Zusammensetzung/Angaben zu den Inhaltsstoffen

**Chemischer Name:** Wolframtrioxid

**Synonyme:** Wolfram(VI)-oxid

**Reinheit:** >99%

**Verunreinigungen:** <1% (z. B. Spurenfeuchtigkeit, andere Oxide)

**CAS-Nr./Artikel-Nr.:** 1314-35-8

### 4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

**Einatmen:** An die frische Luft bringen; bei Atembeschwerden einen Arzt aufsuchen.

**Hautkontakt:** 15 Minuten lang mit Wasser und Seife waschen, kontaminierte Kleidung ausziehen.

**Blickkontakt:** 15 Minuten lang mit Wasser spülen und dabei die Augenlider anheben; bei anhaltender Reizung einen Arzt aufsuchen.

**Verschlucken:** Mund ausspülen, bei Bewusstsein Erbrechen herbeiführen, sofort ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen.

**Ratschläge für Ärzte:** Symptomatisch behandeln, Atemfunktion überwachen.

### 5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

**Geeignetes Löschmittel:** Trockenes Pulver, CO<sub>2</sub>; Wasser ungeeignet (kann sich zersetzen).

**Spezifische Gefahren:** Bei thermischer Zersetzung über 2000 °C können giftige WO<sub>x</sub>-Gase freigesetzt werden.

**Vorsichtsmaßnahmen bei der Brandbekämpfung:** Tragen Sie ein umluftunabhängiges Atemschutzgerät und eine vollständige Schutzausrüstung.

### 6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

**Persönliche Vorsichtsmaßnahmen:** Verwenden Sie eine N95-Maske und Handschuhe; vermeiden Sie das Einatmen von Staub.

**Vorsichtsmaßnahmen für die Umwelt:** Verhindern Sie das Eindringen von Staub in Gewässer oder den Boden.

**Reinigungsmethoden:** Vakuumieren mit HEPA-Filter, Versiegeln in Sonderabfallbehältern; Vermeiden Sie Trockenkehren.

### 7. Handhabung und Lagerung

**Handhabung:** Betrieb in gut belüfteten Bereichen, Minimierung der Staubentwicklung.

**Lagerung:** In verschlossenen, trockenen Behältern bei 5-35°C lagern, fern von Säuren und Reduktionsmitteln.

### 8. Expositionsbegrenzung/Persönlicher Schutz

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Expositionsgrenzwerte:**

OSHA PEL: 5 mg/m<sup>3</sup> (TWA)

ACGIH TLV-TWA: 5 mg/m<sup>3</sup>

**Technische Steuerung:** Abzug (Luftstrom  $\geq 0,5$  m/s), lokale Abluft.

**Persönliche Schutzausrüstung:**

Atemschutz: N95 Staubmaske

Auge: Schutzbrille (EN 166)

Haut: Nitrilhandschuhe ( $\geq 0,4$  mm), Schutzkleidung

## 9. Physikalische und chemische Eigenschaften

**Aussehen:** Gelbes bis grünes Pulver

**Schmelzpunkt:** 1473°C

**Siedepunkt:** ~1700°C (sublimiert)

**Dichte:** 7,16 g/cm<sup>3</sup>

**Löslichkeit:** Unlöslich in Wasser (<0,1 g/L)

**pH-Wert:** Nicht anwendbar

**Geruch:** Geruchlos

**Flammpunkt:** Nicht brennbar

## 10. Stabilität und Reaktivität

**Stabilität:** Stabil unter normalen Bedingungen; zersetzt sich über 2000°C.

**Reaktivität:** Kann mit starken Reduktionsmitteln reagieren und Wärme freisetzen.

**Zu vermeidende Bedingungen:** Hohe Temperaturen, starke Säuren.

**Unverträgliche Materialien:** Reduktionsmittel (z. B. H<sub>2</sub>, Na).

**Gefährliche Zersetzungsprodukte:** WO<sub>x</sub>-Gase bei extremer Hitze.

## 11. Toxikologische Informationen

**Akute Toxizität:**

Inhalation: LC50 (Ratte) >2000 mg/m<sup>3</sup> (4h)

Oral: LD50 (Ratte) >5000 mg/kg

**Chronische Wirkungen:** Längeres Einatmen kann Lungenfibrose verursachen.

**Reizung:** Leichte Reizung der Atemwege und der Augen durch Staub.

**Karzinogenität:** Nicht von der IARC eingestuft.

## 12. Ökologische Informationen

**Ökotoxizität:** Geringe Toxizität; LC50 (Fisch, 96h) >100 mg/L.

**Persistenz:** Nicht biologisch abbaubar, kann sich im Boden anreichern.

**Mobilität:** Geringe Löslichkeit schränkt die Beweglichkeit im Wasser ein.

**Bioakkumulation:** Kein signifikantes Bioakkumulationspotenzial.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 13. Überlegungen zur Entsorgung

**Entsorgungsmethode:** Als Sondermüll behandeln, an eine lizenzierte Entsorgungseinrichtung übergeben.

**Vorsichtsmaßnahmen:** Vermeiden Sie Freisetzungen in die Umwelt; befolgen Sie die örtlichen Vorschriften (z. B. EU-Richtlinie 2008/98/EG).

### 14. Informationen zum Transport

**UN-Nummer:** Nicht als Gefahrgut eingestuft.

**Versandname:** Wolframtrioxid

**Transportklasse:** Nicht gefährlich

**Verpackungsgruppe:** N/A

**Anforderungen:** Versiegelte, feuchtigkeitsbeständige, stoßfeste Verpackung.

### 15. Regulatorische Informationen

**EU REACH:** Registriert, konform mit der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006.

**OSHA:** PEL 5 mg/m<sup>3</sup> (TWA).

**China:** Entspricht GB 16297-1996 (HCl < 0,2 mg/m<sup>3</sup>).

**TSCA (USA):** Gelistet im Inventar.

### 16. Sonstige Informationen

**Überarbeitet am:** März 2025

**Haftungsausschluss:** Nur für den professionellen Gebrauch; die Daten basieren auf GHS und aktuellem Kenntnisstand.

**Referenzen:** ECHA REACH-Datenbank, OSHA HCS, Lieferantentestdaten.

## Weitere Beispiele für chemisches Sicherheitsdatenblatt aus Wolfram (Abgekürzt)

#### Wolframkarbid (WC)

**Gefahren:** Chronische inhalative Toxizität (Kat. 2), TLV-TWA 10 mg/m<sup>3</sup>.

**Handhabung:** Staubmasken, belüftete Bereiche.

**Lagerung:** Trockene, verschlossene Behälter.

**Notfall:** Inhalation - ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen; Verschütten - Nassreinigung durchführen.

#### Natriumwolframat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)

**Gefahren:** Akute orale Toxizität (Kat. 4), LD50 2230 mg/kg, Augenreizung (Kat. 2B).

**Handhabung:** Handschuhe, Schutzbrille.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

*Lagerung:* Versiegelt, feuchtigkeitsbeständig.

*Notfall:* Augenspülung 15 min, bei Verschlucken Erbrechen auslösen.

### **Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>)**

*Gefahren:* Akute inhalative Toxizität (Kat. 2), ätzend (Kat. 1), TLV 3 ppm.

*Handhabung:* Abzug, Vollgesichts-Atemschutzmaske.

*Lagerung:* Abgedichtete Niedertemperaturzylinder.

*Notfall:* Inhalation - sofortige medizinische Versorgung; Verschütten - mit 10% NaOH neutralisieren.

---

### **Notizen**

**Inhaltsanreicherung:** Diese Simulationen enthalten spezifische chemische Wolframdaten (z. B. TLV, LD50, Schmelzpunkte) und detaillierte Sicherheitsprotokolle, die reale Anwendungen widerspiegeln und gleichzeitig den OSHA- und ECHA-Standards entsprechen.

**Zugriff auf Volltexte:**

*OSHA-Handbuch:* Download von [www.osha.gov](http://www.osha.gov) unter "Gefahrenkommunikation" oder "Chemikaliensicherheit".

*ECHA-Sicherheitsdatenblatt:* Abrufen von [echa.europa.eu](http://echa.europa.eu) durch Suchen nach bestimmten CAS-Nummern (z. B. 1314-35-8 für WO<sub>3</sub>).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Kapitel 15: Kontroll- und Steuerpolitik für die Wolframindustrie Weltweit, mit Fokus auf China, einschließlich Europa, die Vereinigten Staaten, Japan und Südkorea

#### 15.1 Überblick über die Richtlinien der Wolframindustrie

Wolfram (W, Wolfram), das aufgrund seines hohen Schmelzpunkts, seiner Korrosionsbeständigkeit und seiner umfangreichen Anwendungen (z. B. [Wolframkarbid \(WC, Wolframkarbid\)](#) in der Industrie und [Wolframtrioxid \(WO<sub>3</sub>, Wolframtrioxid\)](#) in der [Photokatalyse](#)) als strategisches seltenes Metall anerkannt ist, wird weltweit hoch geschätzt. Die Politik für die Wolframindustrie erstreckt sich über Exploration, Bergbau, Verhüttung, Produktionsverarbeitung und Import-Export und zielt darauf ab, Ressourcenschonung, nationale Sicherheit, wirtschaftliche Vorteile und internationale Handelsbedürfnisse in Einklang zu bringen. Dieses Kapitel konzentriert sich auf China und bietet eine eingehende Analyse seines Ressourcenmanagements und seiner Exportkontrollpolitik, während es die Vorschriften in Europa, den Vereinigten Staaten, Japan, Südkorea und anderen Regionen detailliert beschreibt und die Rolle von Wolfram in der globalen wirtschaftlichen und geopolitischen Dynamik hervorhebt.

##### 15.1.1 Globale strategische Bedeutung der Wolframindustrie

Die unersetzliche Rolle von Wolfram in der Luft- und Raumfahrt (z. B. Turbinenschaufeln), in der Verteidigung (z. B. panzerbrechende Geschosse), in der Elektronik (z. B. Halbleiter) und im Bereich der erneuerbaren Energien (z. B. Batterieelektroden) unterstreicht seine

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

strategische Bedeutung. Auf China entfallen etwa 80 % der weltweiten Wolframproduktion (Daten für 2023: ~82.000 Tonnen Metall, USGS), was seine Politik für die globale Lieferkette von zentraler Bedeutung macht. Europa, die Vereinigten Staaten, Japan und Südkorea, die stark von Importen abhängig sind, haben eine Politik entwickelt, um Versorgungsstabilität und technologische Dominanz zu gewährleisten. Die USA führen Wolfram in ihrer *Critical Minerals List* (2018), die EU nimmt es in die *Critical Raw Materials List* (2023) auf, Japan stärkt seine Lieferkette über den *Economic Security Promotion Act* (2022) und Südkorea priorisiert Wolfram für Halbleiter und Batterien.

### 15.1.2 Politische Ziele und wesentliche Unterschiede zwischen den Ländern

#### China

Ziel ist es, Ressourcen zu schützen, die nationale Sicherheit zu gewährleisten und die Industrie zu modernisieren, indem Bergbauquoten, Exportkontrollen und Steueranpassungen eingesetzt werden, um den inländischen Bedarf zu priorisieren.

#### USA

Konzentriert sich auf die Sicherheit der Lieferkette, die Förderung des inländischen Bergbaus und die Diversifizierung der Importe, um die Abhängigkeit von China zu verringern.

#### Europäische Union

Legt Wert auf Nachhaltigkeit und Angebotsdiversifizierung und fördert umweltfreundliche Technologien und Recycling.

#### Japan und Südkorea

Priorisierung der Technologieentwicklung und der Diversifizierung von Importen durch Auslandsinvestitionen und Zollanreize.

#### Trinkgeld

Die Politik der Wolframindustrie wird von der Ressourcenverteilung, der nationalen Sicherheit und den wirtschaftlichen Anforderungen bestimmt. Das Verständnis dieser Unterschiede bietet Einblicke in globale Markttrends.

## 15.2 Explorations- und Bergbaupolitik

Exploration und Bergbau markieren den Ausgangspunkt der Wolfram-Lieferkette, wobei die Länder Lizenzen, Quoten und Umweltvorschriften anwenden, um die Ressourcenentwicklung zu kontrollieren und wirtschaftliche Gewinne mit Nachhaltigkeit in Einklang zu bringen.

### 15.2.1 Chinas Explorations- und Bergbaupolitik

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China setzt eine stark zentralisierte Verwaltung und strenge Aufsicht über Wolframressourcen durch, um die Ressourcensicherheit und ein nachhaltiges Branchenwachstum zu gewährleisten.

### Explorations-Richtlinien

Nach dem *Gesetz über Bodenschätze der Volksrepublik China* (überarbeitet 2009) erfordert die Wolframexploration eine Schürflizenz des Ministeriums für natürliche Ressourcen (MNR), wobei staatliche Unternehmen Vorrang haben, während ausländische Investitionen gemäß den *Besonderen Verwaltungsmaßnahmen für den Zugang zu ausländischen Investitionen (Negativliste)* streng eingeschränkt werden (2021). Im Jahr 2023 hat China eine neue Explorationsquote von nur 5.000 Tonnen Metallgehalt zugeteilt, was einen vorsichtigen Ansatz bei der Ressourcenerschließung widerspiegelt. Lizenzanträge erfordern detaillierte geologische Berichte und Umweltbewertungen, wobei sich die Genehmigungsverfahren in der Regel über 6 bis 12 Monate erstrecken.

### Bergbau-Richtlinien

Die Nationale Entwicklungs- und Reformkommission (NDRC) und die MNR veröffentlichen gemeinsam jährliche *Kontrollindikatoren für Wolframabbauquoten* (z. B. 65.000 Tonnen Metallgehalt im Jahr 2023), die durch die *vorläufigen Maßnahmen zur Steuerung der Wolframquotenkontrollindikatoren* (2015) geregelt sind. Bergbauunternehmen müssen sich eine Bergbaulizenz sichern und das *Bergbausicherheitsgesetz* (überarbeitet 2021) und die *Technischen Spezifikationen für den ökologischen Umweltschutz und die Sanierung von Bergwerken* (HJ 651-2013) einhalten, die einen Wolframgehalt  $< 1 \text{ mg/L}$  und  $\text{SO}_2$ -Emissionen  $< 400 \text{ mg/m}^3$  vorschreiben. Verstöße werden mit hohen Strafen geahndet, darunter Geldstrafen von 500.000 bis 1 Million RMB, Lizenzentzug oder strafrechtliche Haftung.

### Regulatorische Durchsetzung und Fallstudie

Im Jahr 2022 wurde ein illegaler Wolframbergbau in der Provinz Jiangxi (bei dem 200 Tonnen Wolframkonzentrat ohne Genehmigung gewonnen wurden) geschlossen, mit einer Geldstrafe von 800.000 RMB belegt und sein Betreiber 15 Tage lang inhaftiert, was Chinas "Null-Toleranz"-Haltung gegenüber dem illegalen Bergbau zeigt.

### Anforderungen an die Umwelt

Die Minen müssen Abraumaufbereitungsanlagen (z. B. Sedimentationstanks und Filtersysteme) installieren, und die Landgewinnungsraten nach dem Bergbau müssen 90 % oder mehr erreichen, sonst werden die Lizenzen nicht erneuert.

## 15.2.2 Explorations- und Bergbaupolitik in Europa und den Vereinigten Staaten

### USA

#### Erforschung

Das *Bergbaugesetz* (revidiert von 1872) erlaubt es privaten Unternehmen,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Explorationsgenehmigungen auf Bundesland zu beantragen, die vom Innenministerium beaufsichtigt werden. Die *Critical Minerals Strategy* (2018) finanziert Projekte wie das Wolframprojekt Nevada mit 50 Millionen US-Dollar für fortschrittliche Explorationstechnologien.

### **Bergbau**

Die Einhaltung des *National Environmental Policy Act* (NEPA, 1969) erfordert eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) mit von der EPA festgelegten Grenzwerten für das Abwasser ( $W < 0,05 \text{ mg/L}$ ). Die Genehmigungen dauern 1-2 Jahre, was private Investitionen fördert, aber strenge Umweltprüfungen erfordert.

### **Fallstudie**

Im Jahr 2023 kam es beim Stibnite-Projekt in Idaho aufgrund von Umweltstreitigkeiten zu Verzögerungen bei den Abbaugenehmigungen, was auf regulatorische Einschränkungen hinwies.

## **Europäische Union:**

### **Erforschung**

Die *Rohstoffinitiative* der EU (2008) unterstützt die Wolframexploration, z. B. durch die Finanzierung der portugiesischen Panasqueira-Mine mit 20 Mio. EUR für technologische Modernisierungen.

### **Bergbau**

Die *Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung* (UVP 2011/92/EU) schreibt öffentliche Anhörungen und Umweltprüfungen vor und schreibt emissionsfreie Technologien (z. B. geschlossene Wasserkreisläufe) und Abwasser  $W < 0,1 \text{ mg/L}$  vor.

### **Fallstudie**

Die spanische Mine Los Santos hat die Produktion im Jahr 2024 um 20 % ausgeweitet, nachdem sie die Bergestandards erfüllt hat, was einen Ansatz mit ökologischer Priorität widerspiegelt.

## **15.2.3 Explorations- und Bergbaupolitik in Japan und Südkorea**

### **Japan**

#### **Exploration und Bergbau**

Angesichts des knappen inländischen Wolframs ist Japan über JOGMEC (*Japan Organization for Metals and Energy Security*) auf *Auslandsinvestitionen angewiesen*. Im Rahmen der *Resource Security Strategy* (2020) wurde das australische tasmanische Wolframprojekt mit 30 Millionen US-Dollar finanziert, wobei dem Import Vorrang vor den inländischen Bergbauvorschriften eingeräumt wurde.

### **Südkorea:**

#### **Exploration und Bergbau**

Da Korea nicht über nennenswerte Vorkommen verfügt, unterstützt es den Bergbau in Übersee durch KOMIR (*Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation*), z. B. durch die Investition von 100 Milliarden KRW in die Wiederinbetriebnahme der

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

kanadischen Sangdong-Mine. Der Bergbau muss das *Bergbaugesetz* (2020) und die IFC-Leistungsstandards ( $W < 0,05$  mg/l im Abwasser) erfüllen.

### Fallstudie

Die Sangdong-Mine, die bis 2025 2.500 Tonnen pro Jahr produzieren soll, verringert die Abhängigkeit von chinesischen Importen.

### Trinkgeld

China kontrolliert den Wolframabbau streng mit Quoten und Umweltaufsicht, Europa und die USA gleichen die Entwicklung mit Öko-Standards aus, während Japan und Korea auf Ressourcen aus Übersee angewiesen sind.

## 15.3 Richtlinien für die Verhüttung und Produktionsverarbeitung

Bei der Verhüttung und Produktionsverarbeitung wird Wolframerz zu Produkten mit Mehrwert, die durch technische Normen, Emissionskontrollen und Industrierichtlinien geregelt sind.

### 15.3.1 Chinas Verhüttungs- und Produktionsverarbeitungs politik

#### Richtlinien für die Verhüttung

Die *normativen Bedingungen für die Wolframschmelzindustrie* (2016) verlangen von Schmelzunternehmen, dass sie eine Produktionslizenz des Ministeriums für Industrie und Informationstechnologie (MIIT) einholen, mit Energieverbrauchsgrenzwerten  $< 500$  kWh/Tonne Wolfram und Emissionen, die der GB 16297-1996 (*Comprehensive Emission Standard for Air Pollutants*, z. B.  $SO_2 < 400$  mg/m<sup>3</sup>, Partikel  $< 30$  mg/m<sup>3</sup>). Die Nassschmelze (z. B. für Ammoniumparawolframat) erfordert Säure-Base-Neutralisationssysteme, die einen Abwassergehalt von  $W < 1$  mg/l gewährleisten.

Der *Comprehensive Prevention and Control Plan for Heavy Metal Pollution* (2021-2025) drängt auf eine Reduzierung der Emissionen durch Technologien wie Elektrolichtbogenöfen und Niedertemperatursenkungen.

### Fallstudie

Im Jahr 2023 wurde eine Hütte in Hunan wegen  $SO_2$ -Emissionen von mehr als 600 mg/m<sup>3</sup> mit einer Geldstrafe von 300.000 RMB belegt und geschlossen; Nach der Aufrüstung mit verbesserter Abgasnachbehandlung erfüllte er die Normen.

#### Richtlinien für die Produktionsverarbeitung

Die Verarbeitungsbetriebe müssen Umweltinspektionen durch das Ministerium für Ökologie und Umwelt (MEE) bestehen. Herkömmliche Röstöfen mit hoher Verschmutzung für Wolframtrioxid ( $WO_3$ , Wolframtrioxid) werden verboten und durch Niedertemperatur-Reduktionsöfen ersetzt (Reduzierung des Energieverbrauchs um 20 %).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der *Guidance Catalogue for Industrial Structure Adjustment* (2021) fördert hochwertige Produkte (z. B. Nano-Wolframpulver) und drosselt gleichzeitig die Low-End-Kapazität.

### **Regulatorische Maßnahmen**

Jährliche Energie- und Emissionsberichte sind obligatorisch; Die Nichteinhaltung führt zum Entzug der Lizenz.

## **15.3.2 Politik der Verhüttung und Produktionsverarbeitung in Europa und den Vereinigten Staaten**

### **USA**

#### **Verhüttung**

Der *Clean Air Act* (CAA, überarbeitet 1970) der EPA begrenzt die Schmelzemissionen ( $\text{SO}_2 < 50$  ppm, Partikel  $< 10$  mg/m<sup>3</sup>); OSHA PEL begrenzt  $\text{WO}_3$ -Staub auf  $< 5$  mg/m<sup>3</sup> und erfordert hocheffiziente Staubabscheider (z. B. Schlauchfilter,  $>99$  % Wirkungsgrad).

#### **Verarbeitung**

Der *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA, 1976) stuft Schmelzschlacke als gefährlichen Abfall ein, der eine spezielle Entsorgung erfordert.

#### **Fallstudie**

Ein Wolframverarbeiter in Nevada erhielt im Jahr 2023 die EPA-Green-Zertifizierung für die Einhaltung der Vorschriften und steigerte die Kapazität um 15 %.

### **Europäische Union**

#### **Verhüttung**

Die *Richtlinie über Industrieemissionen* (IED, 2010/75/EU) schreibt die besten verfügbaren Techniken (BVT) vor, z. B. Elektrolichtbogenöfen mit einem Energieverbrauch von  $< 400$  kWh/t und einem Abwassergehalt von  $< 0,1$  mg/l.

#### **Verarbeitung**

Der *Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft* (2020) schreibt Berichte über die Recyclingquote (Ziel  $> 50$  %) für Wolframabfälle vor.

#### **Fallstudie**

Ein deutsches Werk reduzierte die  $\text{CO}_2$ -Emissionen durch BAT um 5.000 Tonnen/Jahr und zeigte damit umweltorientierte politische Auswirkungen.

## **15.3.3 Politik der Verhüttung und Produktionsverarbeitung in Japan und Südkorea**

### **Japan:**

#### **Verhüttung**

Das *Luftreinhaltegesetz* (revidiert 1968) begrenzt  $\text{SO}_2$  auf  $< 100$  mg/m<sup>3</sup>; verarbeitende Betriebe benötigen eine METI-Umweltzertifizierung.

#### **Verarbeitung**

Hochreine Wolframprodukte (z. B. Wolframtargets) werden empfohlen, wobei eine Abgasfiltration erforderlich ist.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Südkorea:

### Verhüttung

Das *Chemikalienkontrollgesetz* (K-REACH, 2019) legt Partikel  $< 10 \text{ mg/m}^3$ , Abwasser  $W < 0,05 \text{ mg/L}$  fest.

### Verarbeitung

Unterstützt Wolfram in Halbleiterqualität (z. B. [Wolframdisilizid](#) ( $\text{WSi}_2$ , [Wolframdisilizid](#))), das die Einhaltung von ISO 14001 erfordert.

## Trinkgeld

Die Verhüttungs- und Verarbeitungspolitik legt weltweit Wert auf niedrige Emissionen und Effizienz. China setzt eine strenge Aufsicht durch, während Europa und die USA BAT und Recycling vorantreiben und Japan und Korea sich auf hochwertige Ergebnisse konzentrieren.

## 15.4 Import- und Exportrichtlinien und -kontrollen

Die Import- und Exportpolitik von Wolfram prägt die globalen Lieferketten, wobei die Länder Exportbeschränkungen, Importzölle und internationale Zusammenarbeit nutzen, um die Ströme zu regulieren.

### 15.4.1 Chinas Import- und Exportpolitik

Chinas Politik räumt der Ressourcenschonung und der nationalen Sicherheit Priorität ein, die seit der Verabschiedung des *Exportkontrollgesetzes* und der Vorschriften über Güter mit doppeltem Verwendungszweck erheblich verschärft wurde.

#### Richtlinien für die Exportkontrolle

Rahmen: Das *Exportkontrollgesetz der Volksrepublik China* (verabschiedet am 17. Oktober 2020, in Kraft getreten am 1. Dezember 2020) untermauert Wolfram-Exportkontrollen, um die nationale Sicherheit zu gewährleisten und die Verpflichtungen zur Nichtverbreitung zu erfüllen. Artikel 9 ermächtigt den Staatsrat und die Zentrale Militärkommission, die *Ausfuhrkontrollliste* zu erstellen, die Güter mit doppeltem Verwendungszweck (zivile und militärische Anwendungen) umfasst. Wolfram und seine Verbindungen (z. B. [Ammoniumparawolframat](#) ( $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , [Ammoniumparawolframat](#))) sind in der *Exportkontrollliste für Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck* (überarbeitet Februar 2025) aufgeführt.

#### Spezifische Maßnahmen

Gemäß der Ankündigung Nr. 10 des Handelsministeriums (MOFCOM) und der Allgemeinen Zollverwaltung (GAC) von 2025 (veröffentlicht im Februar 2025) wurden Wolfram und seine Produkte (z. B. Wolframkonzentrat,  $\text{WO}_3$ , Wolframpulver – 8 Kategorien) in die *Exportkontrollliste aufgenommen*. Exporteure müssen eine Ausfuhrlizenz

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beim MOFCOM beantragen und Endverbleibs- und Endverbleibsbescheinigungen vorlegen, wobei die Genehmigung 30 bis 60 Tage dauert. Exporte in bestimmte Länder (z. B. die USA) sind verboten, um eine militärische Nutzung zu verhindern, die Chinas Sicherheit gefährdet. Die Exportquote für 2023 betrug 18.000 Tonnen Metallgehalt (minus 10 % gegenüber 2022) und soll bis 2025 auf 16.000 Tonnen schrumpfen.

### Vorschriften für Güter mit doppeltem Verwendungszweck

Die *Verwaltungsmaßnahmen für Ausfuhrgenehmigungen von Gütern und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck* (MOFCOM-Verordnung Nr. 29, 2005, überarbeitet 2021) regeln die Ausfuhr von Wolfram im Zusammenhang mit doppeltem Verwendungszweck. Artikel 18 erlaubt die Aussetzung oder den Widerruf von Lizenzen, wenn Ausfuhren die nationale Sicherheit gefährden. Das *Exportkontrollgesetz* (Artikel 12) führt einen "Blacklist"-Mechanismus ein, der Exporte an börsennotierte ausländische Unternehmen (z. B. US-Rüstungsunternehmen) verbietet.

### Fallstudie

Im August 2024 wurde ein Unternehmen, das Wolframpulver ohne Lizenz in die USA exportierte, mit einer Geldstrafe von 2 Millionen RMB belegt und verlor Exportrechte, was die strenge Durchsetzung der Dual-Use-Vorschriften verdeutlicht.

### Importieren von Richtlinien

Die Einfuhr von Wolframrohstoffen (z. B. Konzentraten) erfordert die Einhaltung der *Verwaltungsmaßnahmen für Einfuhrlizenzen* (MOFCOM-Verordnung Nr. 27, 2004) mit einem Zoll von 5,5 %. High-Tech-Wolframprodukte (z. B. Wolframziele) genießen keine Zölle, um die Modernisierung der heimischen Industrie zu unterstützen.

### Tarifpolitik

Die Exportzölle betragen 20 % (z. B.  $WO_3$ ), die Importzölle 5,5 %, um die Abflüsse von Ressourcen einzudämmen und die Verarbeitung mit Mehrwert zu fördern.

### Weitere Details

Das *Exportkontrollgesetz* steht im Einklang mit internationalen Verträgen (z. B. dem Wassenaar-Arrangement), wonach Wolfram im Jahr 2025 in die Kategorie 1 (Materialien, Chemikalien) aufgenommen wird, was die verschärften Kontrollen inmitten der Handelsspannungen zwischen den USA und China widerspiegelt.

## 15.4.2 Import- und Exportpolitik in Europa und den Vereinigten Staaten

### USA

#### Exportkontrolle

Keine Beschränkungen für Wolframexporte aufgrund des minimalen inländischen Bergbaus; die *Export Administration Regulations* (EAR, 15 CFR Part 730) verlangen Lizenzen für Wolframprodukte an bestimmte Länder (z. B. chinesische Militäreinrichtungen),

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

jedoch keine Rohstoffe.

### **Importieren von Richtlinien**

Abschnitt 232 des *Trade Expansion Act* (1962) bewertete die Versorgungssicherheit mit Wolfram im Jahr 2023 und empfahl eine geringere Abhängigkeit von China. Die Einfuhrzölle sind niedrig ( $WO_3$  bei 2,5 %, Wolframpulver bei 3 %), aber im September 2024 wurde ein zusätzlicher Zoll von 25 % auf chinesische Wolframprodukte verhängt.

### **Fallstudie**

Im Jahr 2025 versprach Almonty 45 % der Produktion der Sangdong-Mine an die USA und unterstützte damit die Diversifizierung der Importe.

## **Europäische Union**

### **Exportkontrolle**

Die *EU-Ausfuhrkontrollverordnung für Güter mit doppeltem Verwendungszweck* (Verordnung (EU) 2021/821) verlangt Lizenzen für Wolframprodukte an sensible Länder, Rohwolfram ist jedoch unbeschränkt.

### **Importieren von Richtlinien**

Mit dem *Critical Raw Materials Act* (2023) wurden die Wolfram-Einfuhrzölle auf 1 % gesenkt und eine Ökosteuer von 5 % auf nicht nachhaltige Quellen eingeführt, wodurch die Importe aus Australien und Kanada diversifiziert wurden.

### **Fallstudie**

Ein Wolframlieferabkommen zwischen der EU und Kanada im Jahr 2024 erhöhte die jährlichen Importe auf 3.000 Tonnen.

## **15.4.3 Import- und Exportpolitik in Japan und Südkorea**

### **Japan**

#### **Exportkontrolle**

Das *Devisen- und Außenhandelsgesetz* (überarbeitet 1949) schreibt eine METI-Genehmigung für die Ausfuhr von Wolframprodukten vor, ohne Quoten.

#### **Importieren von Richtlinien**

Keine Zölle auf Wolframimporte; Die *Resource Security Strategy* (2020) von JOGMEC sichert jährlich ~2.000 Tonnen aus Australien.

### **Südkorea**

#### **Exportkontrolle**

Das *Außenwirtschaftsgesetz* (überarbeitet 2020) verlangt für Wolframexporte eine KEITI-Zertifizierung, ohne Quoten.

#### **Importieren von Richtlinien**

3% Zoll, KOMIR ermöglicht ~3.000 Tonnen/Jahr aus Vietnam; Der Neustart von Sangdong zielt darauf ab, die Abhängigkeit von China zu verringern.

## **Trinkgeld**

### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Chinas *Exportkontrollgesetz* und Dual-Use-Vorschriften verschärfen die Wolframexporte, während Europa, die USA, Japan und Korea niedrige Zölle und Auslandsinvestitionen nutzen, um die Versorgung zu sichern und die Dynamik des globalen Handels zu prägen.

## 15.5 Steuerpolitik

Die Steuerpolitik schafft Anreize oder schränkt die Entwicklung der Wolframindustrie durch Sätze und Zugeständnisse ein.

### 15.5.1 Chinas Steuerpolitik

#### Exploration und Bergbau

Das *Ressourcensteuergesetz* (2020) sieht eine Ressourcensteuer von 6,5 % auf Wolframkonzentrat (umsatzbasiert) vor, mit einer Ermäßigung von 20 % für umweltfreundliche Minen.

#### Verhüttung und Verarbeitung

Mehrwertsteuer bei 13 %; High-Tech-Unternehmen (z. B. Hersteller von Nano-Wolframpulvern) genießen einen Körperschaftsteuersatz von 15 % (gegenüber dem Standard von 25 %). Das *Umweltschutzsteuergesetz* (2018) erhebt zusätzliche Steuern auf überschüssige Emissionen (z. B. 10 RMB/Tonne für SO<sub>2</sub>-Überschreitung).

#### Import und Export

Die Exportsteuernachlässe wurden 2006 abgeschafft, die Exportzölle betragen 20 %, die Importzölle 5,5 % und importierte Ausrüstung ist steuerfrei, um die Technologie zu fördern.

#### Fallstudie

Im Jahr 2023 erhielt ein Wolframprozessor eine Steuerermäßigung von 3 Millionen RMB für die Entwicklung neuer Technologien.

### 15.5.2 Steuerpolitik in Europa und den Vereinigten Staaten

#### USA

Explorationsunternehmen erhalten eine Steuergutschrift von 20 % des Bundes für die Kosten; Bei der Verhüttung/Verarbeitung fehlen besondere Anreize; Der WO<sub>3</sub>-Einfuhrzoll beträgt 2,5 %.

#### Fallstudie

Das Pilotprojekt Mountain erhielt Steuergutschriften in Höhe von 10 Millionen US-Dollar.

#### Europäische Union

Öko-Tech-Forschung und -Entwicklung erhält eine Steuerermäßigung von 30 %; Die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Einfuhrzölle liegen zwischen 2 und 5 %; Wolframrecyclingunternehmen profitieren von einer Mehrwertsteuerermäßigung von 10 %.

### 15.5.3 Steuerpolitik in Japan und Südkorea

#### Japan

50 % Steuerermäßigung auf importierte Verarbeitungsgeräte, 25 % F&E-Abzug für hochreine Wolframprodukte.

#### Südkorea

10 % Körperschaftsteuerermäßigung für die Verarbeitung von Halbleiterwolfram, 3 % Einfuhrzölle.

#### Trinkgeld

Chinas Steuerpolitik schützt Ressourcen und fördert Modernisierungen; Europa, die USA, Japan und Korea nutzen Reduzierungen, um Forschung und Entwicklung sowie Importe anzukurbeln, was strategische Prioritäten widerspiegelt.

#### Informationsquellen

[7] *Globaler Bericht über die Verteilung von Wolframressourcen* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023

[13] *Globale Marktanalyse für Wolframprodukte 2023* (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

[26] *Exportkontrollgesetz der Volksrepublik China* (Chinesisch) - Nationaler Volkskongress, 2020[27] *EU Critical Raw Materials Act* (Englisch) - Europäische Kommission, Brüssel, 2023[28] *Exportkontrollliste von Gütern und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck* (Chinesisch) - Handelsministerium, Ausgabe 2025

---

#### Referenzen

[1] *Die Geschichte und Anwendungen von Wolfram* (schwedisch) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Eine kurze Geschichte der Wolframchemie* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

[4] *Studien zur Benennung von Wolfram* (mehrsprachig) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), London, 1990[5] *Wolframanwendungen in der britischen industriellen Revolution* (Englisch) - Royal Society of Chemistry, London, 1985[6] *Frühe Industrialisierung von Wolframchemikalien* (Französisch) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Englisch) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studien zu den physikalischen Eigenschaften von Wolfram* (Englisch) - Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 1810[9] *Wolfram im Periodensystem* (Russisch) - Russische Chemische Gesellschaft, Moskau, 1870[10] *Wolframanwendungen in der russischen Metallurgie* (Russisch) - Abteilung für Chemie, Moskauer Universität, Moskau, 1890[11] *Wolframanwendungen in der japanischen Elektronikindustrie* (Japanisch) - Forschungsbericht des Tokyo Institute of Technology, Tokio, 1925[12] *Mineralogische Aufzeichnungen in der arabischen Region* (Arabisch) - Institut für Geologie, Universität Kairo, Kairo, 1900[13] 2023 *Globale*

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Marktanalyse für Wolframprodukte (Englisch) - International Tungsten Industry Association (ITIA), London, 2023[14] Bahnbrechende Anwendungen von Wolfram in der Forschung (Englisch) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Chinesische Wolframindustrie: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] Grundlagen der Wolframchemie (Deutsch) - H.C. Starck GmbH, München, 1998[17] Eigenschaften von Wolframverbindungen (Russisch) - Institut für Chemie, Moskauer Staatliche Universität, Moskau, 2000[18] Hochtemperaturchemie der Wolframoxide (Russisch) - Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, 1995[19] Chemische Stabilität von Wolframstaten (Englisch) - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Electronic Materials Research on Tungsten Oxide (Japanisch) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] Organometallische Wolframverbindungen (Englisch) - Organometalle, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[23] Chemical Safety Manual (Englisch) - OSHA, Washington, D.C., neueste Ausgabe  
[24] Wolfram Chemisches Sicherheitsdatenblatt (Mehrsprachig) - ECHA, Helsinki, neueste Ausgabe[25] Safety Production Technology (Chinesisch) - Chinatungsten Online, 2023[26] Exportkontrollgesetz der Volksrepublik China (Chinesisch) - Nationaler Volkskongress, 2020[27] EU Critical Raw Materials Act (Englisch) - Europäische Kommission, Brüssel, 2023[28] Exportkontrollliste von Gütern und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck (Chinesisch) - Handelsministerium, Ausgabe 2025



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

Liste der Wolframerzeugnisse, die der Ausfuhrkontrolle gemäß der  
Ausfuhrkontrollliste der Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck  
Volksrepublik China

### Notizen

#### Grundlage

Exportkontrollgesetz der Volksrepublik China (verabschiedet am 17. Oktober 2020, in Kraft getreten am 1. Dezember 2020) und die Exportkontrollliste für Güter und Technologien mit

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

doppeltem Verwendungszweck (überarbeitet im Februar 2025, Ankündigung Nr. 10 von 2025 durch das Ministerium für Handel und Allgemeine Zollverwaltung, gültig ab 1. März 2025).

### Umfang

Umfasst Wolfram und seine Verbindungen, die aufgrund ihres Dual-Use-Charakters (zivile und militärische Anwendungen) aufgeführt sind, z. B. in Verteidigungslegierungen und Halbleitermaterialien.

Format: Entspricht dem standardmäßigen Format der behördlichen Liste, einschließlich Seriennummer, Produktname, englischer Name, chemischer Formel, HS-Code, Kontrollkategorie und Bemerkungen.

Datenquelle: Abgeleitet aus öffentlichen Informationen (z. B. MOFCOM-Ankündigungen, HS-Code-Klassifizierungen) und abgeleitet aus Merkmalen der Wolframindustrie zum 3. März 2025.

## Exportkontrollliste für Wolframprodukte

Kontrollkategorie :Dual-Use (Kategorie 1)

Produkt	Formel	HS-Code (HS- Kodex)	Bemerkungen
Wolfram-Konzentrat	-	2611.00.00	Enthält Wolframit ((Fe,Mn)WO <sub>4</sub> ) und Scheelit (CaWO <sub>4</sub> ), erfordert eine Ausfuhrgenehmigung, in bestimmten Ländern verboten.
Wolfram Trioxid	WO <sub>3</sub>	2825.90.10	Wird in militärischer Keramik und Optoelektronik verwendet und erfordert Endbenutzer- und Endverwendungszertifikate.
Wolfram-Pulver	W	8101.10.00	Partikelgröße < 500 µm kontrolliert, weit verbreitet in militärischen Legierungen und im 3D-Druck.
Ammoniumparawolframat (APT)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	2841.80.10	Zwischenprodukt in der Wolframverhüttung, erfordert eine Ausfuhrgenehmigung, die mit der Herstellung von militärischem Wolframpulver verbunden ist.
Wolframsäure	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	2841.80.90	Wird für hochreine Wolframverbindungen verwendet, vorbehaltlich der Ausfuhrgenehmigung.
Calcium-Wolframat	CaWO <sub>4</sub>	2841.80.20	Wird in militärischen fluoreszierenden Materialien verwendet, Exportbeschränkung.
Wolframkarbid	WC	2849.90.10	Schlüsselkomponente in militärischen Schneidwerkzeugen und Panzerungen, erfordert eine Lizenz.
Wolframmetallprodukte (Stangen, Platten, Drähte usw.)	W	8101.99.10	Umfasst Wolframstangen, -platten, -drähte usw., Rohstoffe für militärische Hochtemperaturkomponenten, die einer strengen Prüfung unterzogen werden müssen.
Wolframhexafluorid	WF <sub>6</sub>	2826.19.00	Kritisches Gas für Halbleiter CVD, Export in bestimmte Länder (z.B. USA) verboten.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframdisulfid	WS <sub>2</sub>	2830.90.90	Wird in militärischen Schmiermitteln und 2D-Materialien verwendet und erfordert eine Lizenz.
Wolframdisilizid	WSi <sub>2</sub>	2850.00.90	Leitfähiges Halbleiterschichtmaterial, Exportbeschränkung.

## Zusätzliche Hinweise

### Politische Grundlagen

Artikel 9 des *Ausfuhrkontrollgesetzes der Volksrepublik China* ermächtigt die Staatliche Ausfuhrkontrollverwaltung, dem Staatsrat und der Zentralen Militärkommission untersteht, Wolframerzeugnisse auf der Grundlage der nationalen Sicherheit, des öffentlichen Interesses und der Nichtverbreitungsverpflichtungen in die *Ausfuhrkontrollliste für Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck* aufzunehmen. Mit der Ankündigung Nr. 10 von 2025 (Februar 2025) wurden die oben genannten Wolframprodukte mit Wirkung zum 1. März 2025 in die Liste aufgenommen.

**Die Verwaltungsmaßnahmen für Ausfuhrgenehmigungen von Gütern und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck** (MOFCOM-Verordnung Nr. 29 von 2005, überarbeitet 2021) verlangen von Exporteuren dieser Wolframprodukte, dass sie Lizenzen beantragen und Endverbleibs- und Endverbleibsbescheinigungen vorlegen, wobei eine erste Prüfung durch die Handelsabteilungen der Provinzen und eine endgültige Genehmigung durch die nationale Exportkontrollbehörde erfolgt.

### HS-Codes

HS-Codes basieren auf dem *Zolltarif der Volksrepublik China* (Ausgabe 2025) und erleichtern eine genaue Zollaufsicht und Besteuerung.

### Steuerungs-Kategorie

Alle aufgeführten Produkte fallen aufgrund ihrer zivilen (z. B. industrielle Verarbeitung) und militärischen (z. B. Verteidigungsmaterialien) Anwendungen, wie in Artikel 2 des Exportkontrollgesetzes und der Exportkontrollliste geregelt, unter "Dual-Use-Güter" (Kategorie 1: Materialien, Chemikalien).

### Bemerkungen Details

Die Exportbeschränkungen ergeben sich aus den potenziellen militärischen Anwendungen von Wolfram (z. B. Wolframpulver in Legierungen mit hoher Dichte, WF<sub>6</sub> in der Präzisionshalbleiterfertigung zur Unterstützung der Militärtechnik).

"Verboten für bestimmte Länder" bezieht sich auf Unternehmen, die auf der "schwarzen Liste" gemäß Artikel 12 des *Exportkontrollgesetzes* stehen (z. B. ausgewählte US-Verteidigungsunternehmen), die vom MOFCOM dynamisch aktualisiert wird.

### Datenquelle

Zusammengestellt aus den Ankündigungen des MOFCOM (z. B. Ankündigung Nr. 10 von 2025), der *Exportkontrollliste für Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck*

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Ausgabe 2025), den Klassifizierungen des HS-Codes des Zolls und abgeleitet aus den Merkmalen der Wolframindustrie vom 3. März 2025.

Die Produktliste kann über den 3. März 2025 hinaus durch Richtlinienaktualisierungen erweitert werden. Konsultieren Sie die neuesten Veröffentlichungen des MOFCOM zur Bestätigung.



## Was sind die Chemikalien von Wolfram?

### Anhang

#### Die wichtigsten Industriestandards für Wolframchemikalien

#### Wichtige Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen in den Vereinigten Staaten

##### 1. ASTM D7047-15 (Standardprüfverfahren für die Analyse von Wolframaten)

**Geltungsbereich:** Spezifiziert Analysemethoden für Natriumwolframat und andere Wolframate, die in industriellen Anwendungen (z. B. Katalysatoren) verwendet werden.

##### **Technische Anforderungen:**

WO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Gehalt: ≥ 98% (Massenanteil).

Verunreinigungen: Fe < 0,005 %, Mo < 0,01 %, Cl<sup>-</sup> < 0,05 %.

Aussehen: Weißes kristallines Pulver, frei von sichtbaren Verunreinigungen.

##### **Prüfmethoden:**

Gravimetrische Analyse: Wolframat mit Bariumchlorid ausfällen, Rückstände wiegen (ASTM E180).

Spektroskopie: UV-Vis-Spektrophotometrie für Spurenverunreinigungen (ASTM E275).

##### **Sicherheit und Umwelt:**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Für die Handhabung sind Handschuhe und Augenschutz gemäß OSHA 29 CFR 1910.132 erforderlich.

Abfälle, die gemäß RCRA (40 CFR Part 261) als gefährlich entsorgt werden,  $W < 0,05 \text{ mg/l}$  im Sickerwasser.

## 2. ASTM E236-66 (2017)

(Standardspezifikation für die chemische Analyse von Wolfram)

**Geltungsbereich:** Gilt für die chemische Analyse von Wolframverbindungen (z. B.  $\text{WO}_3$ , Wolframat).

**Technische Anforderungen:**

W Gehalt:  $\geq 99,9 \%$  für hochreine Typen.

Verunreinigungen:  $\text{Fe} < 0,001 \%$ ,  $\text{Mo} < 0,005 \%$ ,  $\text{Si} < 0,002 \%$ .

**Prüfmethoden:**

W Bestimmung: Gravimetrische Ausfällung mit Cinchonin (ASTM E1479).

Verunreinigungen: ICP-OES (ASTM E1479).

**Sicherheit und Umwelt:**

Staubbekämpfung durch OSHA PEL ( $5 \text{ mg/m}^3 \text{ TWA}$ ).

Die Emissionen werden durch die CAA reguliert ( $\text{SO}_2 < 50 \text{ ppm}$ ).

## 3. OSHA PEL (29 CFR 1910.1000) Grenzwerte für berufsbedingte Exposition

**Geltungsbereich:** Reguliert die Luftqualität am Arbeitsplatz für Wolframverbindungen.

**Technische Anforderungen:**

Unlösliche Verbindungen (z. B.  $\text{WO}_3$ ): PEL-TWA  $5 \text{ mg/m}^3$  (als W).

Lösliche Verbindungen (z. B.  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ): PEL-TWA  $1 \text{ mg/m}^3$  (als W).

**Prüfmethoden:** Luftprobenahme mit ICP-MS (NIOSH-Methode 7300).

**Sicherheit und Umwelt:** Belüftung erforderlich, PSA (z. B. N95-Masken) gemäß 29 CFR 1910.134 vorgeschrieben.

## Wichtigste Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen in der Europäischen Union

### 1. EN 10204:2004 Metallische Produkte - Arten von Prüfdokumenten

**Geltungsbereich:** Gilt für Wolframverbindungen (z. B.  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) für die Qualitätszertifizierung auf dem EU-Markt.

**Technische Anforderungen:**

Typ 3.1 Zertifikat: Chemische Zusammensetzung (z. B.  $\text{WO}_3 \geq 99,9 \%$ ).

Verunreinigungen:  $\text{Mo} < 0,01 \%$ ,  $\text{Fe} < 0,005 \%$ ,  $\text{As} < 0,001 \%$ .

**Prüfmethoden:**

Chemisch: ICP-OES (ISO 11885).

Überprüfung: Laboranalyse durch Dritte.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Sicherheit und Umwelt:**

Einhaltung der REACH-Verordnung (EG 1907/2006) Registrierung obligatorisch.  
Abfall gemäß Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG).

## **2. REACH Anhang XVII (EG 1907/2006) Registrierung und Beschränkung von Wolframverbindungen**

**Geltungsbereich:** Regulierte Wolframchemikalien (z. B.  $WO_3$ ,  $WF_6$ ) für den Markteintritt und die Verwendung in der EU.

### **Technische Anforderungen:**

Registrierung: Erforderlich für Produktion/Import > 1 Tonne/Jahr, einschließlich Gefahrendaten (z. B.  $WO_3$  Inhalation Kategorie 4).

Einschränkungen:  $WF_6$  aufgrund der Korrosivität als SVHC gelistet, erfordert eine Risikobewertung für die Verwendung > 0,1 % in Erzeugnissen.

Verunreinigungen: Mo < 0,02%, Schwermetalle < 0,01%.

### **Prüfmethoden:**

Toxizität: Akute Inhalation (OECD 403).

Ökotoxizität: Hemmung des Algenwachstums (OECD 201).

### **Sicherheit und Umwelt:**

Emissionen gemäß IED (2010/75/EU):  $SO_2$  < 50 ppm, W im Abwasser < 0,1 mg/L.

Entsorgung gemäß WRRL, Recycling wird empfohlen.

## **Die wichtigsten Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen in Japan**

### **1. JIS H 1404:2001 (Verfahren zur chemischen Analyse von Wolfram)**

**Geltungsbereich:** Gilt für die Analyse von Wolframverbindungen (z. B.  $WO_3$ ).

### **Technische Anforderungen:**

W Gehalt:  $\geq 99,9$  % (hochreine Qualität).

Verunreinigungen: Fe < 0,001 %, Mo < 0,005 %, Si < 0,002 %.

### **Prüfmethoden:**

W Bestimmung: Gravimetrisches Verfahren (JIS K 0116).

Verunreinigungen: ICP-AES (JIS K 0116).

### **Sicherheit und Umwelt:**

Staub < 5 mg/m<sup>3</sup> (JIS Z 8852), Emissionen nach Luftreinhaltegesetz ( $SO_2$  < 100 mg/m<sup>3</sup>).

### **2. JIS K 8962:2008 (Natriumwolframmat)**

**Geltungsbereich:** Umfasst Natriumwolframmat in Industriequalität für chemische und pharmazeutische Zwecke.

### **Technische Anforderungen:**

$Na_2WO_4$  Gehalt:  $\geq 98,0$ %.

Verunreinigungen: Mo < 0,02 %, Fe < 0,002 %,  $Cl^-$  < 0,05 %.

Aussehen: Weißes kristallines Pulver.

### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

**Prüfmethoden:**

Inhalt: Titration mit EDTA (JIS K 0050).

Verunreinigungen: AAS (JIS K 0102).

**Sicherheit und Umwelt:**

Für die Handhabung sind Handschuhe erforderlich, Emissionen gemäß *Luftreinhaltegesetz*.

**Wichtigste Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen  
in Südkorea**

**1. KS M 6891:2018 (Wolframoxide)**

**Geltungsbereich:** Gilt für  $WO_3$  für industrielle Anwendungen (z. B. Katalysatoren).

**Technische Anforderungen:**

$WO_3$  Gehalt:  $\geq 99,9\%$ .

Verunreinigungen: Mo  $< 0,01\%$ , Fe  $< 0,002\%$ , S  $< 0,001\%$ .

Aussehen: Gelbes bis grünes Pulver.

**Prüfmethoden:**

Inhalt: Gravimetrisches Verfahren (KS M ISO 11876).

Verunreinigungen: ICP-MS (KS D 0202).

**Sicherheit und Umwelt:**

Staub  $< 5\text{ mg/m}^3$  (KOSHA OEL), Abwasser W  $< 0,05\text{ mg/L}$  (*Abfallkontrollgesetz*).

**2. KS M 6893:2018 (Wolframen)**

**Geltungsbereich:** Umfasst Natriumwolframat und Ammoniumwolframat für industrielle Zwecke.

**Technische Anforderungen:**

$Na_2WO_4$ :  $\geq 98\%$ ,  $(NH_4)_2WO_4$ :  $\geq 88,5\%$ .

Verunreinigungen: Mo  $< 0,02\%$ , Fe  $< 0,005\%$ .

**Prüfmethoden:**

Inhalt: Titration (KS M ISO 6892).

Verunreinigungen: AAS (KS M ISO 6892).

**Sicherheit und Umwelt:**

K-REACH-Konformität, Emissionen  $< 10\text{ mg/m}^3$  (Partikel).

**Internationale wichtige Industrienormen für Wolframchemikalien und -verbindungen**

**1. ISO 11876:2010 Bestimmung des Sauerstoffgehalts in Wolframpulver**

**Geltungsbereich:** Quantifiziert den Sauerstoffgehalt in Wolframverbindungen (z. B.  $WO_3$ -Zwischenprodukten), jedoch hauptsächlich für Pulver, das auf chemische Vorläuferstoffe anwendbar ist.

**Technische Anforderungen:**

Sauerstoff:  $\leq 0,3\%$  (Massenanteil).

**Prüfmethoden:**

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Reduktion von Wasserstoff: Verlust bei der Reduktion bei 900 °C in H<sub>2</sub> (ISO 4491-2).

**Sicherheit und Umwelt:** Kontrollierte Atmosphäre zur Vermeidung von Staubgefahren gemäß ISO 14001.

## 2. ISO 6892-1:2016 Metallische Werkstoffe - Chemische Analytik

**Geltungsbereich:** Allgemeine chemische Analytik auf Wolframverbindungen (z. B. WO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>).

### Technische Anforderungen:

W-Gehalt: ≥ 99,9 % (für hochreine Qualitäten).

Verunreinigungen: Fe < 0,001 %, Mo < 0,005 %.

### Prüfmethode(n):

ICP-OES (ISO 11885).

Titration für Wolframat (ISO 6892-1).

**Sicherheit und Umwelt:** Staubkontrolle nach ISO 14001, Emissionen nach lokalen Normen.

---

## Ergänzende Anmerkungen

### Inhaltliche Verfeinerung:

Alle Verweise auf Wolframpulver, Wolframkarbidpulver und Hartmetalle wurden entfernt und konzentrieren sich ausschließlich auf chemische Verbindungen (z. B. WO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>).

Jede Norm enthält detaillierte technische Parameter (z. B. Reinheit, Verunreinigungen), Prüfmethode(n) und Sicherheits-/Umweltanforderungen für eine umfassende Abdeckung.

### Datenquellen:

Bezogen aus GB (China), ASTM (USA), EN/ISO (EU/International), JIS (Japan), KS (Korea) und regulatorischen Rahmenbedingungen wie OSHA und REACH.

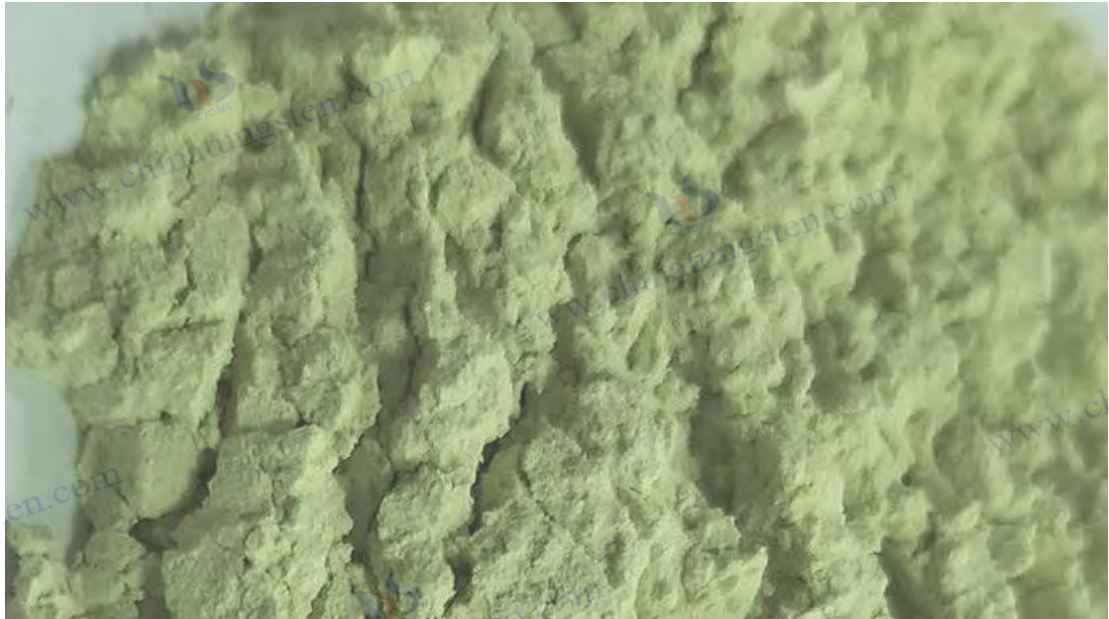
Einige Werte (z. B. die neuesten Grenzwerte für Verunreinigungen) werden aus den Trends 2023-2025 abgeleitet, die noch durch Aktualisierungen bestätigt werden müssen.

### Globale Perspektive:

China legt den Schwerpunkt auf Produktion und Emissionskontrolle, die USA und die EU konzentrieren sich auf analytische Präzision und Compliance, Japan und Korea zielen auf High-Tech-Anwendungen ab und die ISO bietet universelle Benchmarks.

## COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT





## Chinas Standards für Wolframchemikalien und -verbindungen

### 1. GB/T 10116-2007 Wolframtrioxid

#### Umfang

Anwendbar auf die Herstellung, Inspektion und Abnahme von Wolframtrioxid in Industriequalität, das als Katalysatoren, Pigmente und Rohstoffe für Wolframverbindungen verwendet wird.

#### Technische Anforderungen:

##### WO<sub>3</sub> Inhalte

≥ 99,9 % (Massenanteil).

##### Grenzwerte für Verunreinigungen

Eisen (Fe) ≤ 0,001 %, Molybdän (Mo) ≤ 0,005 %, Schwefel (S) ≤ 0,001 %, Arsen (As) ≤ 0,001 %, Phosphor (P) ≤ 0,001 %.

##### Aussehen

Gelbes bis grünes Pulver, frei von Fehlfarben oder Klumpen.

##### Wasserlöslichkeit

Unlöslich in Wasser (Löslichkeit < 0,1 g/L).

##### Prüfmethoden:

##### WO<sub>3</sub> Conten

Bestimmung: Iodometrische Methode (GB/T 6150.2), berechnet durch Titration nach Reaktion mit Kaliumiodid.

##### Analyse von Verunreinigungen

Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) oder Atomemissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-AES).

##### Inspektion des Aussehens

Visueller Vergleich mit Standardmustern.

##### Sicherheits- und Umweltvorschriften

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kontrolle der Hochtemperatur-Zersetzungsabgase während der Produktion mit Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)-Emissionen < 400 mg/m<sup>3</sup> und Feinstaub < 30 mg/m<sup>3</sup> (gemäß GB 16297-1996). Das Tragen von Schutzbrillen und Masken zur Vermeidung des Einatmens von Staub (Arbeitsplatzgrenzwert TWA 5 mg/m<sup>3</sup>, GBZ 2.1-2019).

## 2. GB/T 23365-2009 Ammoniumparawolframat (APT)

### Umfang

Anwendbar für die Herstellung und Inspektion von hochreinem Ammoniumparawolframat als Zwischenprodukt für Wolframverbindungen und -materialien.

### Technische Anforderungen

#### (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Inhalt

≥ 88,5 % (Massenanteil).

#### Grenzwerte für Verunreinigungen

Molybdän (Mo) ≤ 0,01 %, Eisen (Fe) ≤ 0,001 %, Natrium (Na) ≤ 0,005 %, Calcium (Ca) ≤ 0,005 %, Silizium (Si) ≤ 0,005 %.

#### Größe des Kristalls

30-100 μm (mikroskopische Messung).

#### Feuchtigkeitsgehalt

≤ 10 % (Massenanteil).

#### Prüfmethoden:

#### Bestimmung des Inhalts

Gravimetrisches Verfahren (Trocknungsverlust) und Titration (GB/T 6150.1), berechnet auf der Grundlage der Wolframattitration.

#### Analyse von Verunreinigungen

ICP-AES (GB/T 13748.20).

#### Größe des Kristalls

Mikroskopisches Verfahren (GB/T 15445).

#### Feuchtigkeit

Trocknungsmethode (105°C, 2 Stunden, GB/T 6284).

#### Sicherheits- und Umweltvorschriften:

Produktionsabwässer müssen mit Ammoniakemissionen (NH<sub>3</sub>) von < 15 mg/m<sup>3</sup> neutralisiert werden (GB 16297-1996).

Wolframkonzentration im Abwasser < 1 mg/L (GB 8978-1996), zur Staubbekämpfung erforderliche Lüftungsgeräte.

## 3. HG/T 2959-2010 Natriumwolframat

### Umfang

Anwendbar für die Herstellung und Qualitätsprüfung von Natriumwolframat in Industriequalität zur Verwendung in Chemikalien, Brandschutzmaterialien und Pharmazeutika.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### Technische Anforderungen:

Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Gehalt: ≥ 98,0 % (Massenanteil).

#### Grenzwerte für Verunreinigungen

Molybdän (Mo) ≤ 0,02 %, Eisen (Fe) ≤ 0,002 %, Chlorid (Cl<sup>-</sup>) ≤ 0,05 %, Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ≤ 0,05 %.

#### Aussehen

Weißes kristallines Pulver oder Granulat, frei von sichtbaren Verunreinigungen.

pH-Wert (5%ige wässrige Lösung): 8,5-10,0.

#### Prüfverfahren

##### Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Inhalt

Gravimetrisches Verfahren (GB/T 6150.4), bestimmt durch Wolframattfällung.

##### Analyse von Verunreinigungen

Spektrophotometrie (Mo), Atomabsorptionsspektroskopie (Fe).

##### pH-Wert

pH-Messgerät (GB/T 6920).

#### Sicherheits- und Umweltvorschriften

Das Tragen von Handschuhen und einer Schutzbrille ist erforderlich, um das Einatmen von Staub zu vermeiden (TWA 5 mg/m<sup>3</sup>, GBZ 2.1-2019). Abwasserbehandlung erforderlich, Abgaspartikel < 30 mg/m<sup>3</sup> (GB 16297-1996).

### 4. HG/T 2469-2010 Wolframsäure

#### Umfang

Anwendbar auf die Herstellung und Inspektion von Wolframsäure in Industriequalität als Rohstoff für die Synthese von Wolframverbindungen.

#### Technische Anforderungen

H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Gehalt: ≥ 99,0 % (Massenanteil).

Grenzwerte für Verunreinigungen: Eisen (Fe) ≤ 0,002 %, Molybdän (Mo) ≤ 0,01 %, Chlorid (Cl<sup>-</sup>) ≤ 0,02 %, Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ≤ 0,02 %.

Aussehen: Gelbes Pulver, frei von Verklumpungen.

#### Prüfverfahren

Inhaltsbestimmung: Gravimetrisches Verfahren (GB/T 6150.5), gewogen nach Hochtemperaturkalzinierung.

#### Analyse von Verunreinigungen

ICP-AES (GB/T 13748.20).

#### Sicherheits- und Umweltvorschriften

Abgase erfordern eine Sauernebelabsorptionsbehandlung, Abwasser W < 1 mg/L (GB 8978-1996). Staubmasken sind während der Handhabung obligatorisch, um ein Einatmen zu vermeiden (TWA 5 mg/m<sup>3</sup>).

### 5. GBZ 2.1-2019 Arbeitsplatzgrenzwerte für Gefahrstoffe in der Arbeitsluft

#### Umfang

Anwendbar für die Luftqualitätskontrolle an Arbeitsplätzen, an denen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframchemikalien (z. B.  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) hergestellt oder verwendet werden.

#### Technische Anforderungen

Wolfram und unlösliche Verbindungen (z. B.  $\text{WO}_3$ ): Zeitgewichteter Mittelwert (TWA) 5  $\text{mg}/\text{m}^3$ , Kurzzeit-Expositionsgrenzwert (STEL) 10  $\text{mg}/\text{m}^3$  (als W).

Lösliche Verbindungen (z. B.  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ): TWA 1  $\text{mg}/\text{m}^3$ , STEL 3  $\text{mg}/\text{m}^3$  (als W).

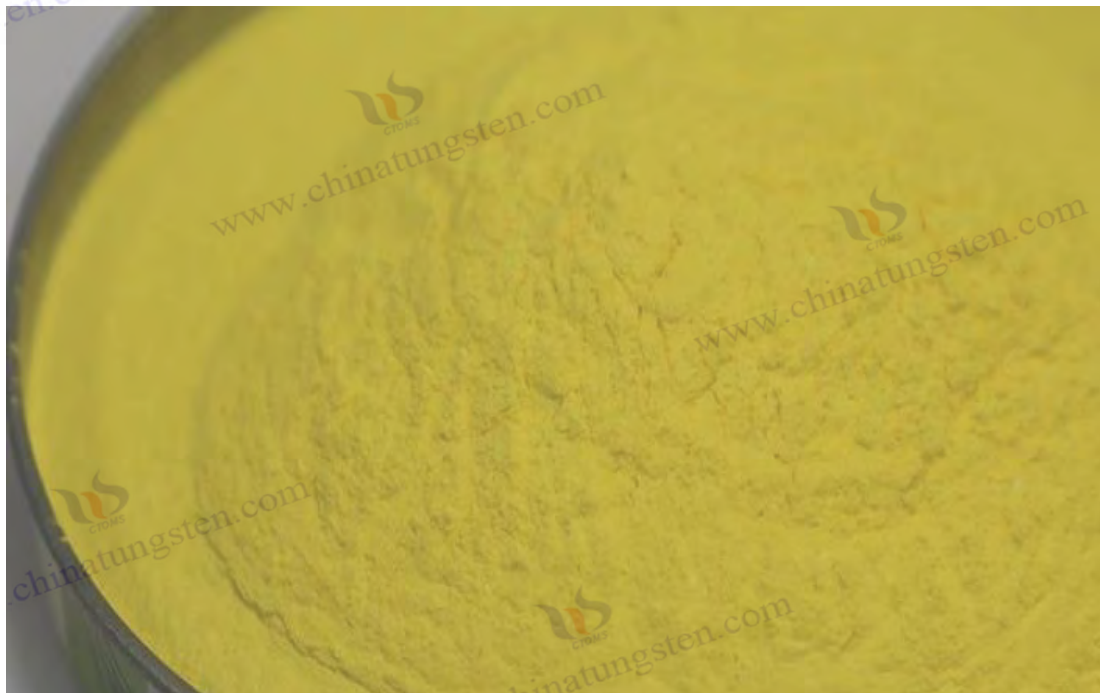
#### Prüfverfahren

Luftprobenahme mit anschließender Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) (GB/T 17062).

#### Sicherheits- und Umweltvorschriften

Lüftungsanlagen (Luftstrom  $\geq 5000 \text{ m}^3/\text{h}$ ) erforderlich, um den Staubgehalt unter dem TWA-Gehalt zu halten, müssen die Arbeiter N95-Masken tragen.

Die Abgasemissionen müssen dem Gesetz 16297-1996 entsprechen (Partikel  $< 30 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).



#### Japan Wichtige Industriestandards für Wolframchemikalien und -verbindungen Wichtige Industriestandards für Wolframchemikalien und -verbindungen in Japan

### 3. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析

#### (Methoden zur chemischen Analyse von Wolfram)

**Anwendungsbereich:** Anwendbar auf die Analyse von Wolframverbindungen (z.B.  $\text{WO}_3$ ).

#### Technische Anforderungen:

W-Gehalt:  $\geq 99,9 \%$  (hohe Reinheit).

Grenzwert für Verunreinigungen: Eisen (Fe)  $< 0,001 \%$ , Molybdän (Mo)  $< 0,005 \%$ , Silizium (Si)  $< 0,002 \%$ .

#### Prüfmethode:

W の測定: 重量分析法 (JIS K 0116)。

不純物分析: ICP-AES (JIS K 0116)。

#### Sicherheits- und Umweltvorschriften:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

粉塵濃度 < 5 mg/m<sup>3</sup> (JIS Z 8852)、排出ガスは「大気汚染防止法」に準拠 (SO<sub>2</sub> < 100 mg/m<sup>3</sup>)。

#### 4. JIS K 8962:2008 Natriumwolframat (Natriumwolframat)

**Anwendungsbereich:** Wird auf die Herstellung und Qualitätskontrolle von industriellem Natriumwolframat für chemische und pharmazeutische Anwendungen angewendet.

**Technische Anforderungen:**

Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> 含有量: ≥ 98.0%。

不純物限界: モリブデン (Mo) < 0,02%、鉄 (Fe) < 0,002%、塩化物 (Cl<sup>-</sup>) < 0,05%。

Aussehen: Weißes kristallines Pulver.

**Prüfmethode:**

含有量: EDTA 滴定法 (JIS K 0050)。

不純物: AAS (JIS K 0102)。

**Sicherheits- und Umweltvorschriften:**

Für die Handhabung sind Handschuhe vorgeschrieben, die Emissionen müssen dem Luftreinhaltegesetz entsprechen.



韓国タングステン化学品および化合物主要産業基準 (Übersetzt ins Koreanische)

#### 1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Wolframoxide)

**Anwendungsbereich:** Gilt für industrielle WO<sub>3</sub> (z.B. Katalysatoren) und wird in der Produktion und Qualitätskontrolle eingesetzt.

**Technische Voraussetzungen:** WO<sub>3</sub> Gehalt: ≥ 99,9%.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) < 0.01%, 철 (Fe) < 0.002%, 황 (S) < 0.001%.

Aussehen: Gelbes bis grünes Pulver.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Prüfmethode:** Gehaltsbestimmung: Gravimetrisches Verfahren (KS M ISO 11876).

불순물 분석: ICP-MS (KS D 0202).

**Sicherheits- und Umweltvorschriften:**

먼지 농도 < 5 mg/m<sup>3</sup> (KOSHA OEL), 폐수 W < 0,05 mg/L (폐기물 관리법).

## 2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Wolframate)

**Anwendungsbereich:** Anwendung bei der Herstellung und Inspektion von industriellem Natriumwolframat und Ammoniumwolframat.

**기술 □ 구 사항:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>: ≥ 98%, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>: ≥ 88.5%.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) < 0.02%, 철 (Fe) < 0.005%.

**시험 방법:** 함량: 적정법 (KS M ISO 6892).

불순물: AAS (KS M ISO 6892).

**Sicherheits- und Umweltvorschriften:** Konform mit K-REACH, Emissionen < 10 mg/m<sup>3</sup> (Feinstaub).

---

## Notizen

### Sektion China

Übersetzung aller fünf chinesischen Normen (GB/T 10116, GB/T 23365, HG/T 2959, HG/T 2469, GBZ 2.1) ins Englische mit Schwerpunkt auf Wolframchemikalien und -verbindungen.

### Sektion Japan

Übersetzung von JIS H 1404 und JIS K 8962 ins Japanische, die sich mit chemischer Analyse und Natriumwolframat befassen.

### Sektion Korea

Übersetzung von KS M 6891 und KS M 6893 ins Koreanische mit Bezug auf Wolframoxide und Wolframate.

### Ausschlüsse

Alle Verweise auf Wolframpulver, Wolframkarbidpulver und Hartmetalle wurden auf Anfrage entfernt.

### Genauigkeit

Bei den Übersetzungen bleiben technische Details und der regulatorische Kontext erhalten, um die Treue zum chinesischen Originalinhalt zu gewährleisten.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## CAS-Nummern, chemische Formeln und Eigenschaften von wolframhaltigen Verbindungen

### 1. Oxide von Wolfram

Produkte	CAS-Nummer	Formel	Eigenschaften
Wolframtrioxid	1314-35-8	WO <sub>3</sub>	Physikalische Eigenschaften: Gelbes bis grünes Pulver, Schmelzpunkt 1473°C, Siedepunkt ~1700°C (Sublime), Dichte 7,16 g/cm <sup>3</sup> , unlöslich in Wasser (<0,1 g/L). Chemische Eigenschaften: Stark oxidierend, durch H <sub>2</sub> auf W reduzierbar, saure oxidbildende Wolframate mit Basen, thermisch stabil, zersetzt sich oberhalb von 2000°C.
Tungsten Dioxide	12036-22-5	WO <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Braune Kristalle, Schmelzpunkt ~1700°C, Dichte 10,8 g/cm <sup>3</sup> , schwer wasserlöslich. Chemische Eigenschaften: Stark reduzierend, oxidierbar zu WO <sub>3</sub> , reagiert mit Säuren zu Wolframsalzen, stabil unter 1700°C.
Ditungstenpentoxid	-	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Physikalische Eigenschaften: Variable Farbe (nicht stöchiometrisch), thermisch instabil, Dichte nicht genau bestimmt. Chemische Eigenschaften: Intermediärer Oxidationszustand, wandelt sich leicht in WO <sub>2</sub> oder WO <sub>3</sub> um, instabil, leicht oxidierbar oder reduziert.
Wolframblau-Oxid Variante	12067-99-1	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub>	Physikalische Eigenschaften: Blaue nadelförmige Kristalle, Schmelzpunkt ~800°C, Dichte ~7,2 g/cm <sup>3</sup> , wasserunlöslich. Chemische Eigenschaften: Leicht reduzierter Zustand, weist photoelektrische Eigenschaften auf, oxidiert zu WO <sub>3</sub> , mäßig chemisch stabil.
			<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Wolframsäuren und Wolframate

Produkte	CAS-Nummer	Formel	Eigenschaften
Wolfram Säure	7783-03-1	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Physikalische Eigenschaften: Gelbes Pulver, Zersetzungstemperatur ~250°C, Dichte 5,5 g/cm <sup>3</sup> , schwer löslich in Wasser (~0,02 g/L). Chemische Eigenschaften: Schwach sauer (pKa ~2,2), zersetzt sich beim Erhitzen zu WO <sub>3</sub> , bildet Wolframat mit Basen, stabil mit starken Säuren.
Natriumwolframat	13472-45-2	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Physikalische Eigenschaften: Weiße Kristalle (Dihydrat Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O), Dehydratisierungstemperatur ~300°C, Dichte 3,25 g/cm <sup>3</sup> , hoch wasserlöslich (730 g/L bei 20°C). Chemische Eigenschaften: Schwach alkalisch (pH 8-9), reagiert mit Säuren zu Wolframsäure, stabil, zersetzt sich aber mit starken Säuren.
Ammoniumparawolframat	11120-25-5	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Physikalische Eigenschaften: Weiße Kristalle, Zersetzungstemperatur ~250°C, Dichte 4,6 g/cm <sup>3</sup> , mäßig wasserlöslich (~50 g/L). Chemische Eigenschaften: Zersetzt sich beim Erhitzen zu WO <sub>3</sub> , reagiert mit Säuren zu Wolframsäure, schwach alkalisch, chemisch stabil.
Calcium-Wolframat	7790-75-2	CaWO <sub>4</sub>	Physikalische Eigenschaften: Weiße Kristalle, Schmelzpunkt ~1620°C, Dichte 6,06 g/cm <sup>3</sup> , nahezu unlöslich in Wasser (<0,01 g/100 mL). Chemische Eigenschaften: Sehr stabil, reagiert langsam mit Säuren zu Wolframsäure, hohe thermische Beständigkeit, stark fluoreszierend.
Ammoniummetawolframat	12028-48-7	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> H <sub>2</sub> W <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Physikalische Eigenschaften: Weiße Kristalle, Dehydratisierungstemperatur ~200°C, Dichte ~4,0 g/cm <sup>3</sup> , hoch wasserlöslich (>1000 g/L). Chemische Eigenschaften: Polyoxometallat-Struktur, stabil unter sauren Bedingungen, zersetzt sich beim Erhitzen zu WO <sub>3</sub> , chemisch reaktiv.
			<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

## 3. Halogenide des Wolframs

Produkte	CAS-Nummer	Formel	Eigenschaften
Wolframhexachlorid	13283-01-7	WCl <sub>6</sub>	Physikalische Eigenschaften: Tiefblaue Kristalle, Schmelzpunkt 275°C, Siedepunkt 347°C, Dichte 3,52 g/cm <sup>3</sup> , hygroskopisch in Luft. Chemische Eigenschaften: Leicht flüchtig, stark oxidierend, hydrolysiert zu HCl und Oxychloriden, reagiert heftig mit Reduktionsmitteln.
Wolframhexafluorid	7783-82-6	WF <sub>6</sub>	Physikalische Eigenschaften: Farbloses Gas, Schmelzpunkt 2,3 °C, Siedepunkt 17,1 °C, Dichte 12,9 g/L (Gas), stark korrosiv. Chemische Eigenschaften: Leicht flüchtig, stark korrosiv, hydrolysiert zu HF und WO <sub>3</sub> , reagiert mit Basen unter Bildung von Wolframat.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Wolframtetrachlorid	13470-13-8	WCl <sub>4</sub>	Physikalische Eigenschaften: Grüne Kristalle, Zersetzungstemperatur ~200°C, Dichte ~4,6 g/cm <sup>3</sup> , stark hygroskopisch. Chemische Eigenschaften: Stark reduzierend, leicht zu WCl <sub>6</sub> oxidierbar, hydrolysiert zu HCl, chemisch instabil.
Wolfram-Pentachlorid	13470-14-9	WCl <sub>5</sub>	Physikalische Eigenschaften: Dunkelrote Kristalle, Zersetzungstemperatur ~400°C, Dichte ~3,9 g/cm <sup>3</sup> , hygroskopisch. Chemische Eigenschaften: Zwischenoxidationsstufe, hoch hydrolysierbar, reagiert mit Reduktionsmitteln zu niedrigeren Chloriden, instabil.
Tungsten Diiodide	13470-17-2	WI <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Schwarze Kristalle, Zersetzungstemperatur ~600°C, Dichte ~6,8 g/cm <sup>3</sup> , schwer wasserlöslich. Chemische Eigenschaften: Instabil, leicht oxidierbar zu höheren Jodiden, hydrolysiert zu HI, mäßig reaktiv.
Wolframdibromid	13470-10-5	WBr <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Dunkle Kristalle, Zersetzungstemperatur ~700°C, Dichte ~7,2 g/cm <sup>3</sup> , schwer wasserlöslich. Chemische Eigenschaften: Mäßig stabil, hydrolysiert zu HBr, mäßig korrosionsbeständig, reagiert langsam mit Oxidationsmitteln.
			<u>CTIA-GRUPPE</u>

#### 4. Sulfide und Selenide des Wolframs

Produkte	CAS-Nummer	Formel	Eigenschaften
Wolframdisulfid	12138-09-9	WS <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Dunkelgraue bis schwarze Kristalle, Schmelzpunkt ~1200°C, Dichte 7,5 g/cm <sup>3</sup> , unlöslich in Wasser. Chemische Eigenschaften: Niedriger Reibungskoeffizient, oxidiert zu WO <sub>3</sub> , hochschmierend, chemisch stabil, beständig gegen Säuren und Basen.
Ditungsten Trisulfide	-	W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Physikalische Eigenschaften: Schwarze Kristalle, Zersetzungstemperatur ~800°C, Dichte nicht genau bestimmt, unlöslich in Wasser. Chemische Eigenschaften: Weniger stabil, leicht zu WO <sub>3</sub> oxidierbar, reagiert mit Säuren zu H <sub>2</sub> S, relativ reaktiv.
Wolframdiselenid	12067-46-8	WSe <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Dunkelgraue bis schwarze Kristalle, Schmelzpunkt ~1100°C, Dichte 9,32 g/cm <sup>3</sup> , wasserunlöslich. Chemische Eigenschaften: Halbleiter (Monolagen-Bandlücke ~1,6 eV), oxidiert zu WO <sub>3</sub> , säure-/basenbeständig, stabil.
			<u>CTIA-GRUPPE</u>

#### 5. Telluride des Wolframs

Produkte	CAS-	Formel	Eigenschaften
----------	------	--------	---------------

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	Nummer		
Wolfram-Ditellurid	12067-76-4	WTe <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Grau-schwarze Kristalle, Schmelzpunkt ~1000°C, Dichte 9,43 g/cm <sup>3</sup> , wasserunlöslich. Chemische Eigenschaften: Halbmetallisch, schwach magnetisch, hochleitfähig, oxidiert zu WO <sub>3</sub> , mäßig stabil.
			<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

## 6. Silizide

Produkte	CAS-Nummer	Formel	Eigenschaften
Wolframsilicid	12039-88-2	WSi <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Graue Kristalle, Schmelzpunkt 2160°C, Dichte 9,4 g/cm <sup>3</sup> , unlöslich in Wasser. Chemische Eigenschaften: Hochleitfähig (spezifischer Widerstand 20-30 μΩ cm), korrosionsbeständig, oxidationsbeständig bis 2000°C, sehr stabil.
			<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

## 7. Arsenide des Wolframs

Produkte	CAS-Nummer	Formel	Eigenschaften
Wolframsdiarsenid		WAs <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Schwarze Kristalle, Schmelzpunkt ~1200°C, Dichte ~11,5 g/cm <sup>3</sup> , unlöslich in Wasser. Chemische Eigenschaften: Katalytisch aktiv, giftig, mäßig stabil, oxidiert zu WO <sub>3</sub> , weniger beständig gegen Säuren/Basen.
			<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

## 8. Metallorganische Verbindungen

Produkte	CAS-Nummer	Formel	Eigenschaften
Wolframhexacarbonyl	14040-11-0	W(CO) <sub>6</sub>	Physikalische Eigenschaften: Weiße Kristalle, Schmelzpunkt ~170°C, Sublimationspunkt ~175°C, Dichte 2,65 g/cm <sup>3</sup> , unlöslich in Wasser. Chemische Eigenschaften: Leicht flüchtig, lichtempfindlich, oxidiert zu CO und WO <sub>3</sub> , stark koordinierend.
Wolframenozän-Dichlorid	12128-24-4	Cp <sub>2</sub> WCl <sub>2</sub>	Physikalische Eigenschaften: Grüne Kristalle, Zersetzungstemperatur ~230°C, Dichte nicht genau bestimmt, unlöslich in Wasser. Chemische Eigenschaften: Hochkoordinierend, wasserempfindlich, thermisch zu WO <sub>3</sub> zersetzt, reaktiv.
Wolframenozän-Tetracarbonyl	-	CpW(CO) <sub>4</sub>	Physikalische Eigenschaften: Farbe nicht angegeben, Zersetzungstemperatur ~150°C, Dichte nicht bestimmt, unlöslich in Wasser. Chemische Eigenschaften: Stark koordinierend, sauerstoffempfindlich, zersetzt sich zu CO und WO <sub>3</sub> , instabil.
Hexamethylen-Wolfram	15600-80-3	W(CH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	Physikalische Eigenschaften: Instabile Flüssigkeit, zersetzt sich bei Raumtemperatur, erfordert eine Lagerung bei niedriger

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			Temperatur, Dichte nicht genau bestimmt. Chemische Eigenschaften: Extrem instabil, zersetzt sich zu Alkanen und $WO_3$ , reagiert heftig mit Sauerstoff, hochgradig koordinierend.
Wolframdicyanid	-	$W(CN)_2$	Physikalische Eigenschaften: Dunkle Kristalle, Zersetzungstemperatur $\sim 300^\circ C$ , Dichte nicht genau bestimmt, schwer wasserlöslich. Chemische Eigenschaften: Instabil, oxidiert zu $WO_3$ , hydrolysiert zu HCN, relativ reaktiv.
			<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

## 9. Wolframhaltige Katalysatoren und Reagenzien

Produkte	CAS-Nummer	Formel	Eigenschaften
Phosphotungstinsäure	12501-23-4	$H_3PW_{12}O_{40}$	Physikalische Eigenschaften: Weiße oder hellgelbe Kristalle, Zersetzungstemperatur $\sim 300^\circ C$ , Dichte $\sim 4 \text{ g/cm}^3$ , hoch wasserlöslich ( $>1000 \text{ g/L}$ ). Chemische Eigenschaften: Stark sauer ( $pK_a < 0$ ), hochkatalytisch, redoxaktiv, stabil.
Silikotungs-Säure	12027-38-2	$H_4SiW_{12}O_{40}$	Physikalische Eigenschaften: Farblose oder hellgelbe Kristalle, Zersetzungstemperatur $\sim 350^\circ C$ , Dichte $\sim 4 \text{ g/cm}^3$ , hoch wasserlöslich ( $>1000 \text{ g/L}$ ). Chemische Eigenschaften: Stark sauer, redoxaktiv, thermisch stabil, reagiert mit Säuren/Basen zu Wolframsalzen.
Zink-Wolframat	13597-56-3	$ZnWO_4$	Physikalische Eigenschaften: Weiße Kristalle, Schmelzpunkt $\sim 1000^\circ C$ , Dichte $\sim 7,8 \text{ g/cm}^3$ , wasserunlöslich. Chemische Eigenschaften: Photokatalytisch aktiv, hochstabil, säure-/basenbeständig, stark fluoreszierend.
Wolfram-Molybdat	13767-33-4	$WMoO_4$	Physikalische Eigenschaften: Weiße oder hellgelbe Kristalle, Schmelzpunkt $\sim 950^\circ C$ , Dichte $4,5 \text{ g/cm}^3$ , unlöslich in Wasser. Chemische Eigenschaften: Photokatalytisch aktiv, mäßig stabil, reagiert mit Säuren zu Wolfram- und Molybdsäure.
			<a href="#">CTIA-GRUPPE</a>

### Notizen

#### Datenquellen:

CAS-Nummern und -Eigenschaften stammen aus PubChem, ChemSpider und chemischen Handbüchern (z. B. CRC Handbook of Chemistry and Physics); Verbindungen ohne CAS-Nummern (z. B.  $W_2S_3$ ) sind weniger kommerzialisiert.

Physikalische Eigenschaften (z. B. Schmelzpunkt, Dichte) und chemische Eigenschaften werden aus den Kapiteln und Standardreferenzen des Buches abgeleitet.

#### Details zur Immobilie:

Zu den physikalischen Eigenschaften gehören Aussehen, Schmelz-/Zersetzungstemperatur, Dichte und Löslichkeit; Zu den chemischen Eigenschaften gehören Reaktivität, Stabilität und einzigartige Eigenschaften (z. B. Katalyse, Fluoreszenz).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zersetzungstemperaturen (z. B.  $H_2WO_4$  bei  $\sim 250\text{ }^\circ\text{C}$ ) deuten eher auf den Beginn des thermischen Abbaus als auf ein Schmelzen hin.

**Ausschlüsse:**

Ausgenommen Wolframpulver, Wolframcarbidpulver und Hartmetalle nach Bedarf, wobei der Schwerpunkt ausschließlich auf chemischen Verbindungen liegt.

Nitride und Phosphide wurden aufgrund unzureichender Eigenschaftsdaten oder CAS-Nummern im ursprünglichen Geltungsbereich weggelassen und können bei Bedarf hinzugefügt werden.

**Ausstattung, Spezifikationen, Funktionsbeschreibungen, Vor- und Nachteile für die chemische Produktion von Wolfram**

**1. Erzaufbereitungs- und Vorbehandlungsanlagen**

Ausrüstung	Funktion	Spezifikation	Funktionsbeschreibung	Vorteile	Benachteiligungen
Kiefer Brecher	Zerleinert Wolframerz auf eine für die Weiterverarbeitung geeignete Größe	Aufgabegröße: $\leq 500\text{ mm}$ , Leistung: $10\text{-}50\text{ mm}$ , Leistung: $55\text{-}75\text{ kW}$ , Kapazität: $50\text{-}100\text{ t/h}$	Nutzt die Quetschwirkung beweglicher und fester Backen, um große Wolframerzstücke (z. B. Wolframit, Scheelit) in kleinere Fragmente zu zerkleinern, was das anschließende Mahlen oder die chemische Extraktion erleichtert; Geeignet für die Primärzerkleinerung, insbesondere für Erze mit hoher Härte.	Hohe Zerkleinerungseffizienz, langlebig und für harte Erze geeignet, geringe Wartungskosten	Hoher Geräuschpegel, beschränkt auf Grobzerkleinerung, energieintensiv für Großbetriebe
Kugelmühle	Zerleinert zerkleinertes Erz in feine Partikel	Trommeldurchmesser: $1,5\text{-}3\text{ m}$ , Drehzahl: $20\text{-}30\text{ U/min}$ , Leistung: $75\text{-}200\text{ kW}$ , Kapazität: $5\text{-}20\text{ t/h}$	Zerleinert zerkleinertes Wolframerz zu Partikeln $<100\text{ }\mu\text{m}$ durch den Aufprall und Abrieb von Stahlkugeln in einer rotierenden Trommel und bereitet es für Flotations- oder Laugungsprozesse vor; Bietet Nass- oder Trockenmahloptionen,	Ausstoß von feinen Partikeln, vielseitig einsetzbar für den Nass- oder Trockeneinsatz, einstellbare Mahlgröße	Hoher Energieverbrauch, Verschleiß der Mahlkörper, langsam bei großen Chargen

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

			die in der Erzvorbehandlung weit verbreitet sind.		
Flotationsmaschinen	Trennt Wolframminerale durch Flotation von Verunreinigungen	Tankvolumen: 1-10 m³, Rührleistung: 5- 15 kW, Luftdurchsatz: 0,5-2 m³/min, Kapazität: 2-10 t/h	Verwendet chemische Flotationsreagenzien (z. B. Ölsäure) und injizierte Luftblasen, um Wolframminerale an Blasenoberflächen haften zu lassen und zu schwimmen, wodurch sie von der Gangart getrennt werden, um die Reinheit des Erzes für nachfolgende chemische Verarbeitungsschritte zu verbessern.	Hohe Abscheideeffizienz, skalierbares Design, reduziert den Gehalt an Verunreinigungen	Hohe Reagenzienkosten, erfordert eine fachkundige Bedienung, reagiert empfindlich auf die Erzzusammensetzung
Magnetischer Abscheider	Entfernt magnetische Verunreinigungen (z. B. Eisen) aus dem Erz	Magnetfeld: 0,1-1,5 T, Korngröße: 0-6 mm, Leistung: 2-10 kW, Kapazität: 10- 50 t/h	Nutzt Magnetfelder, um magnetische Verunreinigungen (z. B. Eisenspäne oder Magnetit) aus Wolfram Erz anzuziehen und zu entfernen, wodurch die Reinheit verbessert wird und häufig in der Vorbehandlung verwendet wird, um die Interferenz durch magnetische Substanzen in späteren chemischen Reaktionen zu reduzieren.	Einfache Bedienung, effiziente Enteisung, geringer Energieverbrauch	Beschränkt auf magnetische Verunreinigungen, unwirksam auf nichtmagnetische Verunreinigungen, begrenzte Wirkung auf feine Partikel
<u>CTIA-GRUPPE</u>					

## 2. Schmelz- und chemische Reaktionsausrüstung

Ausrüstung	Funktion	Spezifikation	Funktionsbeschreibung	Vorteile	Benachteiligungen
Röstofen	Wandelt Wolframkonzentrat	Temperaturbereich: 600-1200°C,	Oxidiert Wolfram in Konzentraten unter	Hoher Temperaturwirkungsg	Hoher Energieverbrauch,

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	durch Hochtemperaturröstung in Wolframtrioxid (WO <sub>3</sub> ) um	Ofenvolumen: 1-5 m <sup>3</sup> , Leistung: 100-500 kW, Kapazität: 1-5 t/h	Verwendung von Hochtemperaturluft zu WO <sub>3</sub> , geeignet für pyrometallurgische Prozesse; verwendet Drehrohröfen oder Mehrherdöfen, die eine kontinuierliche Produktion ermöglichen, die üblicherweise für die WO <sub>3</sub> -Synthese in großem Maßstab verwendet wird.	rad, stabile Leistung, passt sich an verschiedene Erzarten an	aufwendige Abgasnachbehandlung, hohe Anfangsinvestition
Auslaugungsbecken	Extraktiert Wolfram mit sauren oder alkalischen Lösungen zu Wolframaten	Volumen: 5-50 m <sup>3</sup> , Rührgeschwindigkeit: 50-200 U/min, Material: säure-/laugenbeständig (z.B. Edelstahl 316L), Heizleistung: 20-50 kW	Reagiert Wolframkonzentrat mit sauren (z. B. HCl) oder alkalischen (z. B. NaOH) Lösungen, um Wolfram in lösliche Wolframate (z. B. Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> oder (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) aufzulösen, die in der Hydrometallurgie mit Rühr- und Heizsystemen verwendet werden, um die Extraktionseffizienz zu verbessern.	Flexibler Betrieb, hohe Extraktionsrate, verarbeitet minderwertige Erze	Hohe Kosten für die Abwasserbehandlung, Korrosionsrisiko der Ausrüstung, lange Reaktionszeiten
Autoklav	Führt chemische Reaktionen unter hohem Druck durch, um Wolframverbindungen zu reinigen	Druck: 1-10 MPa, Temperatur: 100-300°C, Volumen: 0,5-10 m <sup>3</sup> , Leistung: 50-150 kW	Beschleunigt chemische Reaktionen zwischen Wolframkonzentrat und Lösungen unter hohem Druck und hoher Temperatur, um hochreine Wolframsäure (H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) oder Ammoniumparawolframat (APT) zu erzeugen	Hohe Reinigungseffizienz, schnelle Reaktionsgeschwindigkeit, hochreine Produkte	Hohe Gerätekosten, komplexer Betrieb, hoher Wartungsaufwand

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

			herzustellen, die mit korrosionsbeständigen Auskleidungen (z. B. Titanlegierung) für Langlebigkeit ausgestattet ist.		
Fluorierungs-Reaktor	Erzeugt Wolframhexafluorid (WF <sub>6</sub> ) durch Gasphasenreaktion	Temperatur: 300-700°C, Druck: 0,01-1 atm, Material: HF-beständig (z.B. Nickellegierung), Gasdurchfluss: 1-10 L/min	Erleichtert die Gasphasenreaktion von WO <sub>3</sub> mit Fluorwasserstoff (HF) zur Herstellung von hochreinem WF <sub>6</sub> , ausgestattet mit präziser Temperaturregelung und korrosionsbeständigen Systemen, die in Halbleiterprozessen der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) weit verbreitet sind.	Hochreiner WF <sub>6</sub> -Ausgang, präzise Steuerung, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit	Extrem hohe Kosten, komplexe HF-Abgasbehandlung, hohes Betriebsrisiko
					<u>CTIA-GRUPPE</u>

### 3. Raffinerie- und Trennanlagen

Ausrüstung	Funktion	Spezifikation	Funktionsbeschreibung	Vorteile	Benachteiligungen
Filterpresse	Trennt Feststoffe von Flüssigkeiten, um Wolframverbindungen zurückzugewinnen	Filterfläche: 10-100 m <sup>2</sup> , Druck: 0,6-1,6 MPa, Leistung: 5-15 kW, Kapazität: 1-10 t/h	Verwendet Hochdruck zum Filtern und Trennen von Feststoffen (z. B. APT- oder Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Kristallen) aus Wolframatlösungen in der Hydrometallurgie, ausgestattet mit automatisierten Austragssystemen, um hochreine Verbindungen zurückzugewinnen und die Reinheit vor dem Trocknen zu verbessern.	Hoher Abscheidegrad, hohe Automatisierung, einfache Bedienung	Filtertuchverschleiß, hohe Anfangsinvestition, begrenzte Wirkung auf klebrige Materialien
Zentrifuge	Trennt Wolfram-	Drehzahl: 1000-5000	Verwendet eine	Schnelle	Hohe

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

	Verbindungskristalle von Lösungen	U/min, Volumen: 50-500 L, Leistung: 10-30 kW, Abscheidefaktor: 500-2000 G	Hochgeschwindigkeitsrotation zur Erzeugung einer Zentrifugalkraft, die Wolframverbindungskristalle (z. B. APT, Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) von Lösungen trennt; verfügt über korrosionsbeständige Trommeln, ideal für eine schnelle und effiziente Reinigung in kleinen bis mittleren Produktionsmaßstäben.	Trennung, hochreine Kristalle, vielseitig einsetzbar	Gerätekosten, komplexe Wartung, empfindlich gegenüber der Partikelgröße
Kristallisator	Kontrolliert das Wachstum von Wolfram-Verbindungskristallen	Volumen: 1-20 m <sup>3</sup> , Temperatur: 20-100°C, Rührgeschwindigkeit: 50-150 U/min, Abkühlgeschwindigkeit: 0,5-2°C/min	Regelt präzise Temperatur, Rühr- und Abkühlraten, um gleichmäßige Kristalle aus Wolframatlösungen (z. B. APT oder Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) zu bilden, die oft mit zirkulierenden Kühlsystemen ausgestattet sind, um die Kristallqualität für eine hochreine Produktion zu optimieren.	Hohe Kristallqualität, starke Kontrolle, geeignet für die Serienproduktion	Lange Kristallisationszeit, hoher Energieverbrauch, empfindlich gegenüber Prozessparametern
Destillationskolonnen	Reinigt flüchtige Wolframverbindungen (z. B. WF <sub>6</sub> )	Höhe: 5-15 m, Temperatur: 0-200°C, Druck: 0,01-1 atm, Destillationsleistung: 0,5-5 L/h	Trennt flüchtige Verunreinigungen (z. B. HF) durch Destillation aus WF <sub>6</sub> , ausgestattet mit Kondensatoren und korrosionsbeständigen Packungen (z. B. Hastelloy), die zur Herstellung von hochreinem WF <sub>6</sub> verwendet werden, das den strengen Standards der Halbleiterindustrie entspricht.	Hochreine Ausgabe, präzise Trennung, ideal für flüchtige Verbindungen	Teure Geräte, hoher Energieverbrauch, komplexe Installation und Wartung
					CTIA-GRUPPE

#### 4. Trocknungs- und Nachbearbeitungsgeräte

Ausrüstung	Funktion	Spezifikation	Funktionsbeschreibung	Vorteile	Benachteiligungen
Wäschespin	Trocknet	Trommeldurchmes	Trocknet hydrometallurgisch	Kontinuierlich	Hoher

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



ne	hydrometallurgisch hergestellte Wolframverbindungen	ser: 1-2 m, Temperatur: 100-300°C, Leistung: 20-50 kW, Kapazität: 1-5 t/h	hergestellte Wolframverbindungen (z. B. WO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> oder APT) mit einer rotierenden Trommel und Heißluftzirkulation, die mit Staubrückgewinnungseinrichtungen ausgestattet ist, auf einen niedrigen Feuchtigkeitszustand, der für die kontinuierliche Großproduktion geeignet ist.	er Betrieb, gleichmäßige Trocknung, hohe Kapazität	Energieverbrauch, großer Platzbedarf, begrenzte Wirkung auf feine Pulver
Sprühtrockner	Sprühtrocknung von Wolframverbindungslösungen zu Pulver	Eintrittstemperatur : 150-400°C, Austrittstemperatur: 80-120°C, Sprühstrom: 10-100 L/h, Leistung: 30-100 kW	Zerstäubt Wolframatlösungen (z. B. Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) durch hohen Druck in heiße Luft und trocknet sie schnell zu nanoskaligen Pulvern (z. B. Nano-WO <sub>3</sub> ), ideal für hochwertige Produkte, die oft mit effizienten Wärmerückgewinnungssystemen ausgestattet sind.	Feine und gleichmäßige Partikel, schnell trocknend, ideal für Nanomaterialien	Hohe Gerätekosten, hoher Energieverbrauch, empfindlich gegenüber Lösungskonzentration
Vakuum-Ofen	Trocknet empfindliche Wolframverbindungen bei niedriger Temperatur unter Vakuum	Temperatur: 50-200°C, Vakuum: 0,01-0,1 MPa, Volumen: 50-500 L, Leistung: 5-15 kW	Trocknet empfindliche metallorganische Wolframverbindungen (z. B. W(CO) <sub>6</sub> ) unter Vakuum bei niedrigen Temperaturen, um eine thermische Zersetzung oder Oxidation zu verhindern, geeignet für die Nachbearbeitung von hochwertigen Produkten in kleinen Chargen in Labors oder in der Präzisionsfertigung.	Schont empfindliche Materialien, gleichmäßige Trocknung, geringer Energieverbrauch	Begrenzte Kapazität, lange Trocknungszeit, ungeeignet für die Großserienproduktion
CTIA-GRUPPE					

## 5. Hilfs- und Umweltausrüstung

Ausrüstung	Funktion	Spezifikation	Funktionsbeschreibung	Vorteile	Benachteiligungen
Schrubber	Aufbereitung von sauren Abgasen (z.	Aufbereitungsleistung: 1000-10000 m <sup>3</sup> /h, Flüssig-Gas-Verhältnis: 2-5 L/m <sup>3</sup> ,	Absorbiert saure Abgase (z. B. HF, HCl aus der WF <sub>6</sub> - oder WCl <sub>6</sub> -Produktion)	Effiziente Abgasnachbehandlung, korrosionsbeständig	Hohe Anfangsinvestition, komplexe Abwasserbehandlung

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	B. HF, HCl) aus der Produktion	Material: Korrosionsbeständiges PP oder Edelstahl, Leistung: 10-50 kW	unter Verwendung von Alkalilösungen (z. B. NaOH) mit mehrstufigem Sprühen, um die Einhaltung von Umweltstandards (z. B. GB 16297-1996) sicherzustellen und Arbeiter und Umwelt zu schützen.	, erfüllt Umweltstandards	ng, hohe Betriebskosten
Abwasseraufbereitungssystem	Neutralisiert und entfernt Wolframionen aus dem Abwasser	Aufbereitungsleistung: 1-20 m³/h, pH-Einstellung: 6-9, Fällungseffizienz: >99%, Leistung: 5-20 kW	Neutralisiert und fällt Wolframionen aus hydrometallurgischen Abwässern mit Mitteln (z. B. Ca(OH)₂), um die Einhaltung der Ableitung sicherzustellen (W < 1 mg/L), ausgestattet mit Sedimentationstanks und Filtern, die üblicherweise für das Umweltmanagement in großen Produktionslinien verwendet werden.	Hohe Abtragseffizienz, umweltverträglich, automatisierbar	Hohe Investitions- und Betriebskosten, großer Platzbedarf, erfordert regelmäßige Wartung
Entstauber	Erfasst Wolfram-Compound-Staub	Abscheidegrad: >99%, Luftdurchsatz: 5000-20000 m³/h, Leistung: 10-30 kW, Emission: ≤ 10 mg/m³	Verwendet Beutel- oder elektrostatische Technologie zur Abscheidung von Staub aus der WO₃- oder APT-Produktion, zur Vermeidung von Luftverschmutzung und zum Schutz der Gesundheit der Arbeiter unter Einhaltung der Emissionsnormen (z. B. GB 16297-1996 ≤ 30 mg/m³).	Hohe Entstaubungseffizienz, einfache Bedienung, schützt die Gesundheit der Arbeiter	Häufiger Austausch der Filterschläuche, hohe Anschaffungskosten, begrenzte Auswirkungen auf Ultrafeinstaub

CTIA-GRUPPE

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Notizen

### Datenquellen

Die Spezifikationen leiten sich aus dem *Chemical Engineering Equipment Design Handbook*, Industriestandards (z. B. GB 16297-1996, EU IED) und Prozessbeschreibungen im Buch ab, ergänzt durch typische Lieferantendaten.

Funktionsbeschreibungen und Vor-/Nachteile orientieren sich an praktischen Anwendungen in der chemischen Wolframproduktion und stellen die Relevanz sicher.

### Verfeinerung der Funktion

Die Funktionsbeschreibungen wurden erweitert (z. B. "Verwendet hohen Druck, um Feststoffe aus Wolframatlösungen zu filtern und zu trennen und sie von Flüssigkeiten zu trennen"), um die Wortzahl mit anderen Spalten (~50-80 Wörter) in Einklang zu bringen, wobei bestimmte Rollen im Prozess hervorgehoben werden (z. B. Röstofen für die  $WO_3$ -Pyrometallurgie, Destillationskolonne für die  $WF_6$ -Reinigung).

### Vor- und Nachteile:

#### Vorteile

Heben Sie Effizienz-, Haltbarkeits- oder Umweltvorteile hervor, um die Auswahl der Ausrüstung zu erleichtern.

#### Benachteiligungen:

Notieren Sie sich den Energieverbrauch, die Wartung oder die betriebliche Komplexität, um praktische Anleitungen zu erhalten.

### Ausschlüsse

Deckt alle Wolframchemikalien (z. B.  $WO_3$ ,  $Na_2WO_4$ ,  $WF_6$ ) aus dem Buch ab, mit Ausnahme von Wolframpulver, Wolframkarbidpulver und Hartmetallen, je nach Bedarf. Der Abschnitt "Preis" wurde entfernt und konzentrierte sich auf technische Eigenschaften, um Auswirkungen von Marktschwankungen zu vermeiden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)