

# Natriumwolframat-Enzyklopädie

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

## 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 der intelligenten, integrierten und flexiblen Entwicklung und 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 erster erstklassiger Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes mit Fokus auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Industrien. CTIA GROUP nutzt fast drei Jahrzehnte umfassende Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän, erbt die außergewöhnlichen Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten, die erstklassigen Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihres Mutterunternehmens und wird so zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, hochdichte Legierungen, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den vergangenen 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE über 200 mehrsprachige professionelle Websites zu den Themen Wolfram und Molybdän in mehr als 20 Sprachen erstellt, die über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen zu Wolfram, Molybdän und Seltenen Erden enthalten. Seit 2013 wurden auf dem offiziellen WeChat-Konto „CHINATUNGSTEN ONLINE“ über 40.000 Informationen veröffentlicht, die fast 100.000 Follower erreichen und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen bieten. Mit Milliarden von Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto hat sich das Unternehmen zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Branche entwickelt, die rund um die Uhr mehrsprachige Nachrichten, Informationen zu Produktleistung, Marktpreisen und Markttrends bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die individuellen Bedürfnisse ihrer Kunden zu erfüllen. Mithilfe von KI-Technologie entwickelt und produziert sie gemeinsam mit ihren Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Angebot umfasst integrierte Dienstleistungen für den gesamten Prozess, vom Formenöffnen und der Probeproduktion bis hin zur Veredelung, Verpackung und Logistik. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE weltweit über 130.000 Kunden in Forschung und Entwicklung, Design und Produktion von über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten unterstützt und so 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 weiter.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer über 30-jährigen Branchenerfahrung auch Fachwissen, Technologien, Wolframpreise und Marktrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und geben diese kostenlos an die Wolframbranche weiter. Dr. Han, mit über 30 Jahren Erfahrung seit den 1990er Jahren im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen, ist im In- und Ausland ein renommierter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte. Getreu dem Grundsatz, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zu liefern, verfasst das Team der CTIA GROUP kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte auf Grundlage der Produktionspraxis und der Kundenbedürfnisse und findet dafür breite Anerkennung in der Branche. Diese Erfolge stellen eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP dar und verhelfen ihr zu einem führenden Unternehmen in der globalen Herstellung von Wolfram- und Molybdänprodukten sowie bei Informationsdienstleistungen.



### 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)

## Inhaltsverzeichnis

### Vorwort

- 1.1 Zweck und Bedeutung der Zusammenstellung der Natriumwolframat-Enzyklopädie
- 1.2 Überblick über die Geschichte und Entwicklung von Natriumwolframat
- 1.3 Struktur- und Verwendungshandbuch der Natriumwolframat-Enzyklopädie
- 1.4 Zielgruppe und Anwendungsszenarien der Natriumwolframat-Enzyklopädie

### Kapitel 1 Natriumwolframat Einführung

- 1.1 Definition und chemische Formel von Natriumwolframat
- 1.2 Physikalische Eigenschaften von Natriumwolframat (Aussehen, Dichte, Schmelzpunkt, Löslichkeit usw.)
- 1.3 Chemische Eigenschaften von Natriumwolframat (Säure, Alkalität, Redoxeigenschaften, Stabilität)
- 1.4 Kristallstruktur und molekulare Eigenschaften von Natriumwolframat
- 1.5 Isomere und verwandte Verbindungen von Natriumwolframat

### Kapitel 2 Klassifizierung und Form von Natriumwolframat

- 2.1 Wasserfreie Form und Dihydrat von Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- 2.2 Verschiedene Reinheitsgrade von Natriumwolframat (Industriequalität, Analysequalität, Pharmaqualität)
- 2.3 Lösungs- und Feststoffformen von Natriumwolframat
- 2.4 Verpackungs- und Lagerungsanforderungen für Natriumwolframat

### Kapitel 3 Chemische Reaktion von Natriumwolframat

- 3.1 Reaktion von Natriumwolframat mit Säure (Bildung von Wolframsäure usw.)
- 3.2 Komplexierungsreaktion von Natriumwolframat und Metallionen
- 3.3 Redoxreaktionseigenschaften von Natriumwolframat
- 3.4 Thermische Zersetzung und Hochtemperaturreaktion von Natriumwolframat
- 3.5 Katalytische Wirkung und Reaktionsmechanismus von Natriumwolframat

### Kapitel 4 Laborvorbereitungsmethode für Natriumwolframat

- 4.1 Extraktion von Natriumwolframat aus Wolframerz
- 4.2 Chemische Synthese von Natriumwolframat (Reaktion von Wolframsäure und Natriumhydroxid)
- 4.3 Elektrochemische Herstellungstechnologie von Natriumwolframat
- 4.4 Laborreinigungs- und Kristallisationstechnologie von Natriumwolframat
- 4.5 Sicherheitsvorkehrungen bei der Herstellung von Natriumwolframat

### Kapitel 5 Industrieller Produktionsprozess von Natriumwolframat

- 5.1 Auswahl der Rohstoffe für Natriumwolframat (Scheelit, Wolframit, Wolfram-Abfallmaterial)
- 5.2 Hydrometallurgisches Verfahren zur Gewinnung von Natriumwolframat (alkalische Laugung, Ionenaustausch)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.3 Kalzinierungs- und Auflösungsprozess von Natriumwolframat
- 5.4 Industrielle Kristallisations- und Trocknungstechnologie von Natriumwolframat
- 5.5 Natriumwolframat-Produktionsanlagen und Automatisierungssteuerung
- 5.6 Behandlung und Recycling von Natriumwolframat-Nebenprodukten

## **6 Qualitätskontrolle und Prüfung von Natriumwolframat**

- 6.1 Analyseverfahren zur Reinheit von Natriumwolframat (ICP-MS, XRF usw.)
- 6.2 Nachweis von Verunreinigungen in Natriumwolframat (Mo, Fe, Ca usw.)
- 6.3 Natriumwolframat-Kristallmorphologie und Partikelgrößenanalyse
- 6.4 pH- und Konzentrationsbestimmung der Natriumwolframatlösung
- 6.5 Internationale und nationale Prüfnormen für Natriumwolframat (ISO, GB/T)

## **Kapitel 7 Industrielle Anwendung von Natriumwolframat**

- 7.1 Die Rolle von Natriumwolframat in der Wolframmetallurgie (APT, Wolframpulverherstellung)
- 7.2 Natriumwolframat als Katalysator und Cokatalysator (Petrochemie, Oxidationsreaktion)
- 7.3 Anwendung von Natriumwolframat in Pigmenten und Farbstoffen (Wolframat-basierte Pigmente)
- 7.4 Die Rolle von Natriumwolframat in feuerfesten Materialien und Flammenschutzmitteln
- 7.5 Anwendung von Natriumwolframat in der Galvanik und Oberflächenbehandlung

## **Kapitel 8 Medizinische und biologische Anwendungen von Natriumwolframat**

- 8.1 Anwendung von Natriumwolframat in der Diabetesforschung (Insulinsimulation)
- 8.2 Antibakterielle und antivirale Eigenschaften von Natriumwolframat
- 8.3 Anwendung von Natriumwolframat in Bioimaging- und Markierungsreagenzien
- 8.4 Bewertung der Toxizität und Biosicherheit von Natriumwolframat
- 8.5 Perspektiven von Natriumwolframat in klinischen Studien und der Arzneimittelentwicklung

## **Kapitel 9 Umwelt- und Energieanwendungen von Natriumwolframat**

- 9.1 Anwendung von Natriumwolframat in der Abwasserbehandlung (Schwermetalladsorption, Phosphorentfernung)
- 9.2 Natriumwolframat als photokatalytisches Material (Abbau organischer Schadstoffe)
- 9.3 Anwendung von Natriumwolframat in Batterien und Energiespeichermaterialien (Natriumionenbatterien)
- 9.4 Die Rolle von Natriumwolframat in Materialien zur Umwandlung von Solar- und Wärmeenergie
- 9.5 Anwendung von Natriumwolframat in der Umweltsanierung

## **Kapitel 10 Weitere neue Anwendungen von Natriumwolframat**

- 10.1 Nanomaterialien und Verbundwerkstoffe auf Basis von Natriumwolframat
- 10.2 Anwendung von Natriumwolframat im 3D-Druck und der additiven Fertigung
- 10.3 Die Rolle von Natriumwolframat in optischen und elektronischen Geräten (elektrochrome Materialien)

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

- 10.4 Anwendung von Natriumwolframat in der Landwirtschaft und Pflanzenernährung (Spurenelementergänzung)
- 10.5 Potenzial von Natriumwolframat in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Verteidigung
- 10.6 Anwendung von Natriumwolframat in flexibler Elektronik
- 10.7 Quantenpunkte und photoelektrische Anwendungen
- 10.8 Natriumwolframat in intelligenten Sensoren
- 10.9 Energiegewinnung und -speicherung
- 10.10 Intelligente Beschichtungen und Oberflächentechnik
- 10.11 Herausforderungen und zukünftige Trends

### **Kapitel 11 Theoretische Studie zu Natriumwolframat**

- 11.1 Quantenchemische Berechnung von Natriumwolframat
- 11.2 Molekulardynamik-Simulation von Natriumwolframat
- 11.3 Thermodynamische und kinetische Analyse von Natriumwolframat
- 11.4 Oberflächenchemie und Grenzflächenverhalten von Natriumwolframat
- 11.5 Untersuchung der elektronischen Struktur von Natriumwolframat

### **Kapitel 12 Fortschritte in der experimentellen Forschung zu Natriumwolframat**

- 12.1 Erforschung neuer Herstellungsverfahren für Natriumwolframat  
Synthese funktionalisierter Natriumwolframat-Materialien
- 12.3 Optimierung der katalytischen Leistung von Natriumwolframat
- 12.4 Experimentelle Daten zur Anwendung von Natriumwolframat in der Biomedizin
- 12.5 Leistungstest von Natriumwolframat in Umweltsanwendungen

### **Kapitel 13 Interdisziplinäre Forschung zu Natriumwolframat**

- 13.1 Kombination von Natriumwolframat und Materialwissenschaft
- 13.2 Anwendung von Natriumwolframat in der chemischen Verfahrenstechnik und Prozessoptimierung
- 13.3 Die Rolle von Natriumwolframat in den Umweltwissenschaften und der nachhaltigen Entwicklung
- 13.4 Anwendung von Natriumwolframat in der interdisziplinären Forschung der Biotechnologie und Medizin
- 13.5 Anwendung der Datenwissenschaft in der Natriumwolframatforschung

### **Kapitel 14 Globaler Markt für Natriumwolframat**

- 14.1 Überblick über Produktion und Verbrauch von Natriumwolframat
- 14.2 Wichtige Natriumwolframat produzierende Länder (China, die Vereinigten Staaten, Russland usw.)
- 14.3 Marktnachfrage und Anwendungsverteilung von Natriumwolframat
- 14.4 Preisentwicklung und Einflussfaktoren von Natriumwolframat
- 14.5 Natriumwolframat-Marktwettbewerb und Analyse der wichtigsten Unternehmen

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

## **Kapitel 15 Vorschriften und Normen für Natriumwolfram**

- 15.1 Internationale Normen für Natriumwolfram (ISO, ASTM)
- 15.2 Chinesischer Nationalstandard für Natriumwolfram (GB/T)
- 15.3 Umwelt- und Sicherheitsvorschriften für Natriumwolfram (REACH, RoHS)
- Konformitätsanforderungen für Natriumwolfram in medizinischer und lebensmittelechter Qualität
- 15.5 Geistiges Eigentum und Patentschutz von Natriumwolfram
- 15.6 CTIA GROUP LTD Natriumwolfram Sicherheitsdatenblatt

## **Kapitel 16 Umweltauswirkungen von Natriumwolfram**

- 16.1 Ökologischer Fußabdruck bei der Natriumwolframproduktion
- 16.2 Natriumwolfram-Abwasser- und Abgasbehandlungstechnologie
- 16.3 Risiken der Natriumwolfram-Verschmutzung für Boden und Wasser
- 16.4 Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung von Natriumwolfram
- 16.5 Entwicklung einer grünen Produktionstechnologie für Natriumwolfram

## **Kapitel 17 Technischer Entwicklungstrend von Natriumwolfram**

- 17.1 Forschung und Entwicklung neuer Natriumwolfram-Materialien
- 17.2 Intelligente Produktionstechnologie von Natriumwolfram
- 17.3 Anwendungspotenzial von Natriumwolfram im Bereich neuer Energien
- 17.4 Erweiterung der interdisziplinären Anwendungen von Natriumwolfram
- 17.5 Anwendung künstlicher Intelligenz in der Natriumwolframforschung

## **Anhang**

### **Anhang 1: Glossar zu Natriumwolfram**

Begriffe und Definitionen im Zusammenhang mit Natriumwolfram

### **Anhang 2: Natriumwolfram-Referenzen**

### **Anhang 3: Natriumwolfram-Datenblatt**

- 3.1 Physikalische und chemische Eigenschaften von Natriumwolfram
- 3.2 Prozessparameter der Natriumwolfram-Produktion
- Leistungsvergleichstabelle der Anwendungsgebiete von Natriumwolfram
- 3.4 Globale Natriumwolfram-Marktstatistiken

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

## CTIA GROUP LTD

### Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

#### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

#### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

#### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

#### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

#### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Vorwort

Die „Enzyklopädie des Natriumwolframat“ ist eine Monographie, die Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) umfassend und systematisch vorstellt und Forschern, Ingenieuren, Studierenden und Praktikern aus der Industrie fundiertes und detailliertes Referenzmaterial bietet. Als wichtige anorganische Verbindung hat Natriumwolframat in den Bereichen Industrie, Medizin, Umwelt und neue Energien einen einzigartigen Wert bewiesen, und seine Forschung und Anwendung werden ständig erweitert. Dieses Vorwort erläutert den Zweck dieses Buches, gibt einen Überblick über die Entwicklungsgeschichte von Natriumwolframat, stellt die Struktur des Buches vor und erläutert die Zielgruppe und die Anwendungsszenarien.

### 1.1 Zweck und Bedeutung der Zusammenstellung der Natriumwolframat-Enzyklopädie

Natriumwolframat spielt aufgrund seiner hervorragenden chemischen Stabilität, katalytischen Leistung und biologischen Aktivität eine Schlüsselrolle in der Wolframmetallurgie, der Petrochemie, der Abwasserbehandlung und der Diabetesforschung. Die vorhandene Literatur ist jedoch meist verstreut und es mangelt an systematischer Integration. Dieses Buch schließt diese Lücke und bündelt die chemischen Eigenschaften, Herstellungsverfahren, Anwendungsgebiete, wissenschaftliche Forschung, den industriellen Status und die Umweltauswirkungen von Natriumwolframat. Es bietet eine zentrale Ressource für die akademische Forschung und industrielle Anwendung. Es vermittelt nicht nur theoretisches und praktisches Wissen über Natriumwolframat, sondern beleuchtet auch dessen Entwicklungspotenzial in zukunftsweisenden Bereichen wie der Neuen Energie und der Nanotechnologie und fördert Innovation und nachhaltige Entwicklung in verwandten Bereichen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1.2 Überblick über die Geschichte und Entwicklung von Natriumwolframat

Die Entdeckung und Anwendung von Natriumwolframat geht auf das frühe 19. Jahrhundert zurück, als Chemiker erstmals Natriumwolframat synthetisierten, indem sie Wolframsäure aus Wolframerz extrahierten und mit Natriumsalz umsetzten. Anfangs wurde Natriumwolframat hauptsächlich in der analytischen Chemie als Reagenz zur Bestimmung von Phosphaten und Proteinen eingesetzt. Im 20. Jahrhundert, mit der Entwicklung der Wolframmetallurgie, wurde Natriumwolframat zu einem wichtigen Zwischenprodukt für die Herstellung von Ammoniumparawolframat (APT) und Wolframpulver. In den letzten Jahren hat die Anwendungsforschung zu Natriumwolframat in der Biomedizin (z. B. Insulin - Imitation), den Umweltwissenschaften (z. B. photokatalytischer Schadstoffabbau) und im Energiebereich (z. B. Natriumionenbatterien) stark zugenommen. Technologischer Fortschritt und interdisziplinäre Integration haben die Anwendungsgrenzen von Natriumwolframat weiter erweitert und es in den Fokus der modernen Materialwissenschaft und der grünen Chemie gerückt.

## 1.3 Struktur- und Verwendungshandbuch der Natriumwolframat-Enzyklopädie

Dieses Buch enthält 17 Kapitel, die die Grundlagen, Herstellungsverfahren, Anwendungsgebiete, wissenschaftliche Forschung, den industriellen Markt, regulatorische Standards und die Umweltauswirkungen von Natriumwolframat behandeln. Die Kapitel 1 bis 3 stellen die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Natriumwolframat vor; die Kapitel 4 bis 6 behandeln die Herstellung im Labor und in der Industrie; die Kapitel 7 bis 10 beschreiben detailliert die Anwendungen in Industrie, Medizin, Umwelt und neuen Bereichen; die Kapitel 11 bis 13 konzentrieren sich auf theoretische und experimentelle Forschung; die Kapitel 14 bis 17 analysieren den Markt, regulatorische Vorgaben und zukünftige Trends. Der Anhang enthält zudem ein Glossar, Referenzen, Datenblätter und Patentlisten, und das Register erleichtert die schnelle Suche. Leser können Kapitel nach Bedarf auswählen oder sich ein umfassendes Gesamtbild von Natriumwolframat verschaffen .

## 1.4 Zielgruppe und Anwendungsszenarien der Natriumwolframat-Enzyklopädie

Dieses Buch richtet sich an Leser auf verschiedenen Ebenen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf:

- **Akademische Forscher** : Wissenschaftler und Studenten in den Bereichen Chemie, Materialwissenschaften, Umweltwissenschaften und Biomedizin können in diesem Buch auf die theoretische Forschung, experimentellen Daten und die Patentliste zurückgreifen.
- **Industriepraktiker** : Ingenieure und Techniker in den Bereichen Wolframmetallurgie, Katalysatorherstellung, Abwasserbehandlung und neue Energien können Inhalte zu Vorbereitungsprozessen, Qualitätskontrolle und Marktanalysen nutzen, um die Produktion zu optimieren .
- **Politiker** : Achten Sie auf die Umweltauswirkungen und gesetzlichen Vorschriften von Natriumwolframat und formulieren Sie eine nachhaltige Industriepolitik.
- **Pädagogen** : Dieses Buch kann als Referenz in Chemie- und Materialwissenschaftskursen verwendet werden, um das Interesse der Schüler an den Anwendungen von Natriumwolframat zu wecken.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dieses Buch eignet sich für eine Vielzahl von Szenarien, beispielsweise für die akademische Forschung, die industrielle Entwicklung, die Politikgestaltung sowie für Lehre und Ausbildung. Es soll ein maßgeblicher Leitfaden auf dem Gebiet des Natriumwolframats werden .



**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## Kapitel 1 Natriumwolframat Einführung

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) ist eine wichtige anorganische Verbindung. Aufgrund seiner hervorragenden chemischen Stabilität, katalytischen Leistung und biologischen Aktivität findet es breite Anwendung in Industrie, Medizin, Umweltwissenschaften und der erneuerbaren Energie. Dieses Kapitel stellt systematisch die grundlegende Definition, die physikalischen und chemischen Eigenschaften, die Kristallstruktur und die Charakteristika von Natriumwolframat und verwandten Verbindungen vor und legt den theoretischen Grundstein für die nachfolgenden Kapitel zur Herstellung, Anwendung und Erforschung.

### 1.1 Definition und chemische Formel von Natriumwolframat

Natriumwolframat ist eine ionische Verbindung aus Natriumionen ( $\text{Na}^+$ ) und Wolframationen ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) mit der chemischen Formel  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ . Wolfram (W) hat im Wolframat-Ion die Oxidationsstufe +6 mit einer Koordinationszahl von 4 und bildet eine tetraedrische Struktur. Natriumwolframat liegt üblicherweise in wasserfreier Form ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) oder als Dihydrat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) vor und wird häufig als Zwischenprodukt, Katalysatorvorstufe und biomedizinisches Reagenz in der Wolframmetallurgie verwendet. Sein Molekulargewicht beträgt in wasserfreier Form 293,82 g/mol und im Dihydrat 329,85 g/mol. Natriumwolframat hat eine hohe Wasserlöslichkeit und kann je nach Konzentration und Umgebungsbedingungen alkalische Lösungen mit einem pH-Wert zwischen 8 und 9 bilden.

### 1.2 Physikalische Eigenschaften von Natriumwolframat

Die physikalischen Eigenschaften von Natriumwolframat variieren je nach Form (wasserfrei oder Hydrat) leicht. Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften sind:

- **Aussehen** : Wasserfreies Natriumwolframat ist ein weißes oder leicht gelbes kristallines Pulver, und das Dihydrat ist ein transparenter oder weißer orthorhombischer Kristall.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Dichte** : Die Dichte von wasserfreiem Natriumwolframat beträgt etwa 4,18 g/cm<sup>3</sup>, die Dichte des Dihydrats etwa 3,25 g/cm<sup>3</sup>.
- **Schmelzpunkt** : Der **Schmelzpunkt von wasserfreiem Natriumwolframat beträgt 698 °C**. Bei hohen Temperaturen kann es in Wolframoxid (WO<sub>3</sub>) und Natriumoxid (Na<sub>2</sub>O) zersetzt werden.
- **Löslichkeit** : Natriumwolframat hat eine hohe Löslichkeit in Wasser, etwa 73 g/100 ml bei 20 °C, die mit steigender Temperatur leicht zunimmt; es ist in organischen Lösungsmitteln wie Ethanol und Ether unlöslich.
- **Hygroskopizität** : Das Dihydrat ist in der Luft stabil, die wasserfreie Form hingegen ist leicht hygroskopisch und muss in einem verschlossenen Behälter aufbewahrt werden. Dank dieser physikalischen Eigenschaften ist Natriumwolframat leicht zu verarbeiten und zu lagern und eignet sich für eine Vielzahl industrieller und experimenteller Anwendungen.

### 1.3 Chemische Eigenschaften von Natriumwolframat

Die chemischen Eigenschaften von Natriumwolframat werden hauptsächlich durch die tetraedrische Struktur der Wolframat-Ionen und den hohen Oxidationszustand von Wolfram bestimmt und weisen die folgenden Merkmale auf:

- **Säure und Alkalität** : Eine wässrige Natriumwolframatlösung ist schwach alkalisch, da das Wolframion teilweise zu Wolframsäurehydroxid (HWO<sub>4</sub><sup>-</sup>) hydrolysiert wird. Es kann mit starker Säure zu unlöslicher Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) reagieren, zum Beispiel:  $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl}$ .
- **Redoxverhalten** : Wolfram ist bei einer Valenz von +6 stabil, und Natriumwolframat oxidiert nicht so leicht. Unter Einwirkung eines starken Reduktionsmittels (z. B. Zinkpulver) kann Wolfram jedoch auf eine niedrige Valenz reduziert werden, wodurch blaues Wolframoxid entsteht.
- **Komplexierungsfähigkeit** : Wolframationen können mit einer Vielzahl von Metallionen (wie Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>) stabile Komplexe bilden und werden in der analytischen Chemie und im Katalysatordesign verwendet.
- **Thermische Stabilität** : Natriumwolframat ist bei Raumtemperatur stabil, beginnt sich jedoch bei Temperaturen über 700 °C zu zersetzen, wobei Wolframoxid und Natriumoxid entstehen.
- **Katalytische Aktivität** : Natriumwolframat zeigt katalytische Wirkung bei Oxidationsreaktionen und wird häufig als Cokatalysator in der Petrochemie und der organischen Synthese eingesetzt. Diese chemischen Eigenschaften bestimmen die Vielseitigkeit von Natriumwolframat in der industriellen Katalyse, der analytischen Chemie und der Biomedizin.

### 1.4 Kristallstruktur und molekulare Eigenschaften von Natriumwolframat

Die Kristallstruktur von Natriumwolframat variiert mit seiner Morphologie. Wasserfreies Natriumwolframat hat üblicherweise eine kubische Kristallstruktur (Raumgruppe Fd-3m), wobei Natrium- und Wolframat-Ionen durch ionische Bindungen angeordnet sind. Das Dihydrat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) ist ein orthorhombischer Kristall (Raumgruppe Pnma), in dem Wassermoleküle

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

über Wasserstoffbrücken mit Wolfram- und Natrium-Ionen verbunden sind, was die Stabilität des Kristalls erhöht.

Das Wolfram-Ion ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) hat eine regelmäßige tetraedrische Konfiguration mit einer WO-Bindungslänge von etwa 1,78 Å und einem Bindungswinkel von nahezu 109,5°. Die Infrarotspektroskopie (IR) zeigt, dass der charakteristische Absorptionspeak von Wolfram bei 800–900  $\text{cm}^{-1}$  liegt, was auf die Streckschwingung von WO zurückzuführen ist. Die Röntgenbeugungsanalyse (XRD) zeigt, dass die Gitterparameter von Natriumwolfram denen von Calciumwolfram ( $\text{CaWO}_4$ ) ähneln, was die strukturelle Gemeinsamkeit der Wolframate widerspiegelt. Die Molekulardynamiksimulation zeigt außerdem, dass Natriumwolfram in wässriger Lösung eine tetraedrische Struktur beibehält, in hohen Konzentrationen jedoch Polywolframate (wie  $[\text{W}_2\text{O}_7]^{2-}$ ) bilden kann, was sein chemisches Verhalten beeinflusst.

### 1.5 Isomere und verwandte Verbindungen von Natriumwolfram

Natriumwolfram selbst weist keine Isomere auf, aber Verbindungen mit ähnlichen chemischen Eigenschaften umfassen andere Wolframate und Wolframsäurederivate, hauptsächlich wie folgt:

- **Andere Wolframate**, wie Kaliumwolfram ( $\text{K}_2\text{WO}_4$ ) und Ammoniumwolfram ( $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ ), haben ähnliche chemische Eigenschaften, aber eine andere Löslichkeit und Kristallstruktur und werden in Katalysatoren und Pigmenten verwendet.
- **Polywolfram**: Natriumwolfram kann unter sauren Bedingungen zu mehrkernigen Wolframate polymerisiert werden, wie beispielsweise Natriumhexawolfram ( $\text{Na}_6[\text{W}_6\text{O}_{19}]$ ), das in photokatalytischen Materialien verwendet wird.
- **Wolframsäure**: **Wolframsäure** ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ ), die durch die Reaktion von Natriumwolfram und Säure entsteht, ist ein gelber Niederschlag und ein wichtiges Zwischenprodukt in der Wolframmetallurgie.
- **Wolframoxid**: Das Hochtemperatur-Zersetzungsprodukt Wolframoxid ( $\text{WO}_3$ ) wird häufig in elektrochromen Geräten und Energiespeichermaterialien verwendet.
- **Natriumwolframatkomplexe**: **Komplexe** aus Natriumwolfram und organischen Liganden, die in der Biomedizin und Nanotechnologie eingesetzt werden. Die Eigenschaften dieser Verbindungen ähneln stark denen von Natriumwolfram und bilden zusammen ein umfassendes System der Wolframchemie, das vielfältige Möglichkeiten für die spätere Anwendungsforschung bietet.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

#### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

#### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

#### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

#### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

#### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 2 Klassifizierung und Form von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) ist eine vielseitig einsetzbare anorganische Verbindung. Ihre Form und Klassifizierung beeinflussen ihre Anwendung in Industrie, Forschung und Medizin. Dieses Kapitel stellt systematisch die wasserfreie Form und das Hydrat von Natriumwolframat, verschiedene Reinheitsgrade, Lösungs- und Feststoffformen sowie Verpackungs- und Lagerungsanforderungen vor und bildet die Grundlage für die anschließende Diskussion des Herstellungsprozesses und der Anwendungsszenarien.

### Wasserfreie Form und Dihydrat von Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Natriumwolframat kommt hauptsächlich in wasserfreier Form ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) und als Dihydrat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) vor, die beide ihre eigenen strukturellen und anwendungstechnischen Merkmale aufweisen. Wasserfreies Natriumwolframat ist ein weißes oder leicht gelbes kristallines Pulver mit einem Molekulargewicht von 293,82 g/mol, einer Dichte von etwa 4,18 g/cm<sup>3</sup> und einem Schmelzpunkt von 698 °C. Es wird üblicherweise in Hochtemperaturprozessen oder Szenarien verwendet, die hochreine Rohstoffe erfordern, wie etwa bei der Herstellung von Wolframpulver und der Katalysatorsynthese. Das Dihydrat ist ein transparenter oder weißer orthorhombischer Kristall mit einem Molekulargewicht von 329,85 g/mol und einer Dichte von etwa 3,25 g/cm<sup>3</sup>. Es ist bei Raumtemperatur stabiler, einfach zu lagern und zu transportieren und wird häufig in der Laboranalyse und bei der Herstellung wässriger Lösungen verwendet. Die beiden Wassermoleküle des Dihydrats sind über Wasserstoffbrücken an das Wolfram-Ion gebunden und können bei Erhitzen auf über 100 °C dehydratisiert werden. Beide Formen sind wasserlöslich, das Dihydrat ist jedoch in feuchter Umgebung weniger hygroskopisch und eignet sich für die Langzeitlagerung.

### 2.2 Verschiedene Reinheitsgrade von Natriumwolframat (Industriequalität, Analysequalität, Pharmaqualität)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Natriumwolframat wird je nach Verwendungszweck und Verunreinigungsgehalt in verschiedene Reinheitsgrade eingeteilt, hauptsächlich in Industriequalität, Analysequalität und pharmazeutische Qualität:

- **Industriequalität** : Die Reinheit beträgt üblicherweise 98–99 % und enthält Spuren von Molybdän (Mo) und Eisen (Fe). Geeignet für die Wolframmetallurgie ( z. B. zur Herstellung von Ammoniumparawolframat ), die Katalysatorherstellung und die Pigmentherstellung. Die Kosten sind niedrig und erfüllen den Bedarf der Großindustrie.
- **Analytisch rein (AR )** : Reinheit  $\geq 99,5$  %, der Verunreinigungsgehalt wird streng kontrolliert (z. B. Mo  $< 0,01$  %). Wird für Laboranalysen wie Phosphatbestimmung und biochemische Experimente verwendet. Analytisch reines Natriumwolframat muss mehrere Reinigungsschritte durchlaufen, wie z. B. Ionenaustausch oder Rekrystallisation.
- **Pharmazeutische Qualität** : Reinheit  $\geq 99,9$  %, entsprechend Arzneibuchstandards (wie USP oder CP), mit extrem niedrigem Gehalt an Schwermetallen und Mikroorganismen, verwendet für die biomedizinische Forschung (z. B. Diabetesbehandlung) und die Arzneimittelentwicklung. Die Herstellung von Natriumwolframat in pharmazeutischer Qualität muss den GMP-Anforderungen (Good Manufacturing Practice) entsprechen. Die Wahl der verschiedenen Reinheitsgrade hängt vom Anwendungsszenario ab. Beispielsweise eignet sich die Industriequalität für kostensensitive Szenarien, während die pharmazeutische Qualität Sicherheit und Biokompatibilität priorisiert.

### 2.3 Lösungs- und Feststoffformen von Natriumwolframat

Natriumwolframat kann je nach Anwendungsbedarf in fester oder gelöster Form vorliegen. Zu den festen Formen gehören wasserfreies Natriumwolframatpulver und -dihydratkristalle, die leicht zu lagern, zu transportieren und genau zu wiegen sind und sich für die Katalysatorherstellung, Pulvermetallurgie und Laborsynthese eignen. Die Lösung ist üblicherweise eine wässrige Natriumwolframatlösung mit einem Konzentrationsbereich von verdünnter Lösung (1–5 % w/v) bis gesättigter Lösung (ca. 40 % w/v bei 20 °C). Sie wird häufig in der Abwasserbehandlung, für biologische Experimente und in der Galvanik eingesetzt. Natriumwolframatlösung ist schwach alkalisch (pH 8–9), und bei hohen Konzentrationen können Kristalle ausfallen. Temperatur und pH-Wert müssen kontrolliert werden, um die Stabilität zu gewährleisten. Für spezielle Anwendungen, wie z. B. in der Photokatalyse oder der Batterieforschung, kann Natriumwolframatlösung mit organischen Lösungsmitteln (wie Ethylenglykol) gemischt werden, um eine kolloidale Lösung oder eine Vorläuferlösung zu bilden. Bei der Umwandlung zwischen fester und gelöster Form müssen der Effekt der Lösungswärme und das Risiko von Verunreinigungen berücksichtigt werden.

### 2.4 Verpackungs- und Lagerungsanforderungen für Natriumwolframat

Die Verpackung und Lagerung von Natriumwolframat wirken sich direkt auf dessen Qualität und Lebensdauer aus. Die wichtigsten Anforderungen sind:

- **Verpackung** : Festes Natriumwolframat wird üblicherweise in versiegelten Plastikbeuteln, Polyethylenfässern oder Glasflaschen verpackt, die mit feuchtigkeitsdichten Materialien ausgekleidet sind, um Feuchtigkeitsaufnahme und Kontamination zu vermeiden. Industrieprodukte werden meist in 25-kg- oder 50-kg-Fässern verpackt, während analytische und pharmazeutische Produkte hauptsächlich in Kleinpackungen von 100 g bis

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1 kg verpackt werden. Lösungen werden in korrosionsbeständigen Plastikfässern oder Glasbehältern verpackt, die mit Konzentration und Chargennummer gekennzeichnet sind.

- **Lagerbedingungen** : Natriumwolframat sollte kühl, trocken und belüftet gelagert werden. Die Temperatur sollte zwischen 5 und 30 °C und die relative Luftfeuchtigkeit unter 60 % liegen. Wasserfreies Natriumwolframat muss besonders feuchtigkeitsbeständig sein, während Natriumwolframat-Dihydrat relativ stabil ist, aber vor hohen Temperaturen geschützt werden sollte. Die Lösung muss in einem verschlossenen Behälter aufbewahrt werden, um Verflüchtigung oder Kristallisation zu verhindern.
- **Sicherheitshinweis** : Natriumwolframat ist eine wenig toxische Chemikalie. Hautkontakt oder das Einatmen von Staub können jedoch Reizungen verursachen. Der Lagerbereich muss daher mit Schutzausrüstung ausgestattet sein. Pharmazeutische Produkte müssen isoliert gelagert werden, um Kreuzkontaminationen zu vermeiden .
- **Haltbarkeit** : Unter geeigneten Bedingungen beträgt die Haltbarkeit von festem Natriumwolframat 2–3 Jahre. Es wird empfohlen, die Lösung innerhalb von 6–12 Monaten zu verwenden. pH-Wert und Verunreinigungsgehalt sollten regelmäßig überprüft werden. Standardisierte Verpackung und Lagerung gewährleisten die Stabilität und Sicherheit von Natriumwolframat in der industriellen Produktion, der Laborforschung und medizinischen Anwendungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

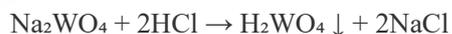


### Kapitel 3 Chemische Reaktion von Natriumwolframat

Natriumwolframat (  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  ) ist eine chemisch aktive anorganische Verbindung. Seine Reaktionseigenschaften sind von großer Bedeutung in der industriellen Produktion, der analytischen Chemie und der Katalyse. Dieses Kapitel behandelt systematisch die Reaktion von Natriumwolframat mit Säure, die Komplexbildung mit Metallionen, die Redoxreaktionen, die thermische Zersetzung und die Hochtemperaturreaktion sowie seine katalytische Wirkung und seinen Reaktionsmechanismus, um theoretische Grundlagen für nachfolgende Herstellungsverfahren und Anwendungsforschung zu liefern.

#### 3.1 Reaktion von Natriumwolframat mit Säure (Bildung von Wolframsäure usw.)

Natriumwolframat ist in wässriger Lösung schwach alkalisch (pH 8–9), und die Reaktion mit Säure ist eine seiner häufigsten chemischen Reaktionen. Bei der Reaktion von Natriumwolframat mit starken Säuren (wie Salzsäure oder Schwefelsäure) wird das Wolframat ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) protoniert, wodurch unlösliche Wolframsäure ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ ) ausfällt. Die Reaktionsgleichung lautet:



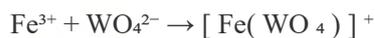
Wolframsäure ist ein gelber Feststoff, der in Wasser schwer löslich ist (Löslichkeit ca. 0,02 g/100 ml), in saurer Umgebung stabil ist und häufig als Zwischenprodukt in der Wolframmetallurgie verwendet wird. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird durch Säurekonzentration, Temperatur und Rührbedingungen beeinflusst. Hohe Säurekonzentrationen können die Niederschlagsbildung beschleunigen. Außerdem reagiert Natriumwolframat langsam mit schwachen Säuren (wie Essigsäure) und kann teilweise protonierte Zwischenprodukte bilden (wie  $\text{HWO}_4^-$ ). Unter stark

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sauren Bedingungen kann Wolframsäure weiter zu Polywolframsäuren (wie  $H_2W_{12}O_{40}$ ) polymerisieren, die zur Herstellung von Polysäurekatalysatoren verwendet werden.

### 3.2 Komplexierungsreaktion von Natriumwolframat und Metallionen

Das Wolframat-Ion von Natriumwolframat besitzt eine starke Koordinationsfähigkeit und kann stabile Komplexe mit verschiedenen Metallionen (wie  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ) bilden, die in der analytischen Chemie und im Katalysatordesign weit verbreitet sind. Beispielsweise reagiert Wolframat mit Eisen(III)-Ionen zu löslichen Eisenwolframatkomplexen, die häufig als Proteinfällungsmittel eingesetzt werden. Die Reaktionsformel lautet:



In der analytischen Chemie bindet Natriumwolframat kompetitiv an Metallionen mit Molybdat ( $MoO_4^{2-}$ ) und Phosphat ( $PO_4^{3-}$ ) und bildet Isopolysäurestrukturen für die Spektralanalyse und kolorimetrische Bestimmung. Komplexe von Natriumwolframat mit Übergangsmetallionen (wie  $Co^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ) zeigen zudem eine hervorragende Leistung in katalytischen Oxidationsreaktionen, und die Stabilität der Komplexe wird häufig durch Ultraviolett-Vis-Spektroskopie (UV-Vis) und Infrarot-Spektroskopie (IR) charakterisiert. Die Selektivität der Komplexreaktion wird durch pH-Wert, Ionenkonzentration und Ligandenkonkurrenz beeinflusst, und die Reaktionsbedingungen müssen genau kontrolliert werden.

### 3.3 Redoxreaktionseigenschaften von Natriumwolframat

Das Wolfram in Natriumwolframat liegt in der Oxidationsstufe +6 ( $W^{6+}$ ) vor, der höchsten Oxidationsstufe. Daher oxidiert es unter normalen Bedingungen nur schwer, kann aber durch ein starkes Reduktionsmittel zu einer niederwertigen Oxidationsstufe (wie  $W^{5+}$  oder  $W^{4+}$ ) reduziert werden. Beispielsweise reagiert Natriumwolframat in saurer Lösung mit Zinkpulver zu blauem Wolframoxid ( $W_2O_5$  oder  $WO_2$ ). Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Dieses blaue Oxid besitzt Halbleitereigenschaften und wird in elektrochromen Materialien und Sensoren verwendet. Das Redoxpotential von Natriumwolframat beträgt etwa -0,1 V (bezogen auf die Standardwasserstoffelektrode) und wird vom pH-Wert der Lösung und der Ligandenumgebung beeinflusst. In katalytischen Anwendungen wird Natriumwolframat häufig als Träger von Oxidationsmitteln eingesetzt, um die selektive Oxidation organischer Stoffe durch synergistische Wirkung mit Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) oder Sauerstoff zu fördern. Elektrochemische Untersuchungen haben gezeigt, dass Natriumwolframat einen reversiblen Einzelelektronentransfer auf der Elektrodenoberfläche ermöglicht, der sich für die Energiespeicherung und Elektrokatalyse eignet.

### 3.4 Thermische Zersetzung und Hochtemperaturreaktion von Natriumwolframat

Natriumwolframat ist bei Raumtemperatur chemisch stabil, zersetzt sich jedoch bei hohen Temperaturen oder verändert seine Phase. Wasserfreies Natriumwolframat beginnt bei etwa 698 °C

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zu schmelzen und zersetzt sich bei weiterer Erwärmung auf über 800 °C in Wolframoxid (WO<sub>3</sub>) und Natriumoxid (Na<sub>2</sub>O). Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Das Dihydrat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) verliert bei 100–150 °C zunächst Kristallwasser und wandelt sich in die wasserfreie Form um. Thermogravimetrische Analyse (TGA) und Differenzialkalorimetrie (DSC) zeigen, dass der Zersetzungsprozess von Natriumwolframat eine endotherme Reaktion ist und Morphologie und Reinheit des Zersetzungsprodukts von Heizrate und Atmosphäre (wie Luft oder Inertgas) beeinflusst werden. In einer reduzierenden Hochtemperaturatmosphäre (wie H<sub>2</sub>) kann Natriumwolframat direkt metallisches Wolfram erzeugen, das häufig bei der Herstellung von Wolframpulver verwendet wird. Außerdem reagiert Natriumwolframat bei hohen Temperaturen mit Carbonaten oder Silikaten und erzeugt keramische Materialien auf Wolframatbasis, die in Hochtemperatur-Strukturmaterialien eingesetzt werden.

### 3.5 Katalytische Wirkung und Reaktionsmechanismus von Natriumwolframat

Natriumwolframat zeigt hervorragende Eigenschaften in verschiedenen katalytischen Reaktionen, insbesondere bei Oxidations-, Dehydratations- und Veresterungsreaktionen. Seine katalytische Aktivität beruht hauptsächlich auf der Lewis-Acidität und der Koordinationsfähigkeit des Wolframions. Beispielsweise bildet Natriumwolframat in Verbindung mit Wasserstoffperoxid Peroxywolframsäure ([WO(O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]<sup>2-</sup>), die die Oxidation von Alkoholen zu Aldehyden oder Ketonen katalysieren kann. Der Reaktionsmechanismus ist wie folgt:

1. **Erzeugung aktiver Spezies** : Wolframat koordiniert mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und bildet Peroxywolframsäure .
2. **Substratoxidation** : Das Sauerstoffatom der Peroxywolframsäure wird auf das Substrat (z. B. Alkohol) übertragen , wodurch ein Oxidationsprodukt entsteht.
3. **Katalysatorregeneration** : Wolframat kehrt in seinen Ausgangszustand zurück und die Katalyse wird fortgesetzt .

In der Petrochemie wird Natriumwolframat als Cokatalysator zur Förderung der Olefinepoxidierung und aromatischen Hydroxylierung eingesetzt. In der Photokatalyse wird Natriumwolframat mit Halbleitermaterialien (wie TiO<sub>2</sub>) kombiniert , um die Reaktion auf sichtbares Licht zu verstärken und organische Schadstoffe abzubauen. Der katalytische Reaktionsmechanismus wird mittels Dichtefunktionaltheorie (DFT) und In-situ-Spektroskopie (z. B. Raman, XPS) untersucht, um den Elektronentransfer und die oberflächenaktiven Zentren von Wolframat aufzudecken. Die katalytische Effizienz wird durch pH-Wert, Temperatur und Cokatalysator beeinflusst, und die Reaktionsbedingungen müssen optimiert werden, um eine effiziente Umsetzung zu erreichen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 4 Laborvorbereitungsmethode für Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) ist ein wichtiges chemisches Reagenz, das sich für verschiedene Forschungs- und Lehrzwecke eignet und verschiedene Laborherstellungsmethoden bietet. Dieses Kapitel stellt systematisch die Extraktion von Natriumwolframat aus Wolframerz, die chemische Synthese (Reaktion von Wolframsäure und Natriumhydroxid), die elektrochemische Herstellungstechnologie, die Laborreinigungs- und Kristallisationstechnologie sowie die Sicherheitsvorkehrungen während des Herstellungsprozesses vor. Es bietet praktische Anleitungen für Forscher und legt den Grundstein für das anschließende Kapitel zur industriellen Produktion (Kapitel 5).

### 4.1 Extraktion von Natriumwolframat aus Wolframerz

Wolframerz (wie Scheelit  $\text{CaWO}_4$  oder Wolframit  $\text{FeWO}_4$ ) ist der wichtigste Rohstoff für die Herstellung von Natriumwolframat. Die Extraktion im Labor erfolgt üblicherweise mittels alkalischer Laugung. Zunächst reagiert das zerkleinerte Wolframerz bei hohen Temperaturen (100–150 °C) mit einer Natronlauge (NaOH), um lösliches Natriumwolframat zu erzeugen. Die Reaktion läuft wie folgt ab:

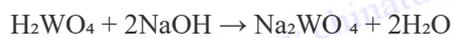


#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

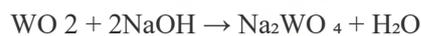
Ca(OH)<sub>2</sub> Bei der Reaktion entsteht ein Niederschlag, der durch Filtration abgetrennt wird. Die Lösung kann Verunreinigungen wie Silizium und Phosphor enthalten, die mit Säure auf einen pH-Wert von 8–9 neutralisiert werden müssen. Nach der Abscheidung der Verunreinigungen erhält man eine Rohlösung von Natriumwolframat. Anschließend wird Natriumwolframat-Dihydrat (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) durch Verdampfungskristallisation oder Zugabe von Ethanol zur Förderung der Fällung gewonnen. Mit dieser Methode lässt sich Natriumwolframat aus natürlichen Mineralien mit einer Ausbeute von etwa 85–90 % herstellen. Allerdings müssen die Alkalikonzentration und die Reaktionszeit kontrolliert werden, um die Bildung von Nebenprodukten zu vermeiden.

#### 4.2 Chemische Synthese von Natriumwolframat (Reaktion von Wolframat mit Natriumhydroxid)

Bei der chemischen Synthese werden Wolframsäure (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) oder Wolframoxid (WO<sub>3</sub>) als Ausgangsstoffe verwendet. Die Reaktion mit Natriumhydroxid führt zur Bildung von Natriumwolframat, das sich für die Herstellung hochreiner Produkte im Labormaßstab eignet. Die typische Reaktion läuft wie folgt ab:



oder



Experimentelle Schritte:

1. Geben Sie der Wolframsäure oder dem Wolframoxid die entsprechende Menge deionisiertes Wasser hinzu und rühren Sie, bis eine Suspension entsteht.
2. Langsam Natriumhydroxidlösung (1–2 M) zugeben und unter Rühren auf 80–100 °C erhitzen, bis der Feststoff vollständig aufgelöst ist.
3. Die Lösung wird gefiltert, um nicht umgesetzte Verunreinigungen zu entfernen, und die resultierende klare Lösung wird abgekühlt und kristallisiert oder unter reduziertem Druck konzentriert, um Natriumwolframatkristalle zu erhalten.
4. Waschen Sie die Kristalle mit einer kleinen Menge kaltem Wasser und trocknen Sie sie, um Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O mit einer Reinheit von ≥99 % zu erhalten.

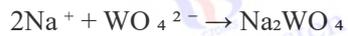
Dieses Verfahren ist einfach anzuwenden, erreicht eine Ausbeute von über 90 % und eignet sich zur Herstellung von analytisch reinem oder pharmazeutisch reinem Natriumwolframat. Die Verwendung hochreiner Rohstoffe und die Kontrolle des pH-Werts (8–10) können die Produktqualität weiter verbessern.

#### 4.3 Elektrochemische Herstellungstechnologie von Natriumwolframat

Das elektrochemische Verfahren stellt Natriumwolframat durch Elektrolyse von Wolfram oder Wolframverbindungen her und ist umweltfreundlich und effizient. Die Versuchsanordnung besteht üblicherweise aus einer Wolframanode, einer Edelmetallkathode und einer Natriumhydroxidlösung (NaOH) (0,5–1 M). Unter Einwirkung von Gleichstrom (Spannung 5–10 V) wird die Wolframanode oxidiert und aufgelöst, wodurch Wolframat-Ionen entstehen. Diese verbinden sich mit Natriumionen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

in der Lösung zu Natriumwolframat. Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Während des Elektrolyseprozesses entsteht an der Kathode Wasserstoff. Aus Sicherheitsgründen ist eine Belüftung erforderlich. Nach der Filterung des Elektrolyten, um Spuren unlöslicher Verunreinigungen zu entfernen, wird Natriumwolframat durch Verdampfung und Kristallisation gewonnen. Der Vorteil des elektrochemischen Verfahrens liegt in der hohen Rohstoffausnutzungsrate (nahezu 95 %), die für die Herstellung von hochreinem Natriumwolframat geeignet ist. Allerdings sind die Anlagenkosten relativ hoch, und die Stromdichte (0,1–0,5 A/cm<sup>2</sup>) und die Elektrolysezeit müssen optimiert werden, um die Effizienz zu verbessern.

#### 4.4 Laborreinigungs- und Kristallisationstechnologie von Natriumwolframat

Im Labor hergestelltes Natriumwolframat enthält oft Spuren von Verunreinigungen (wie Molybdän, Eisen und Kalzium) und muss zur Verbesserung seiner Qualität gereinigt werden. Gängige Reinigungsmethoden sind:

- **Umkristallisation** : Das Rohnatriumwolframat in heißem Wasser (60–80 °C) lösen, unlösliche Bestandteile abfiltrieren und auf Raumtemperatur abkühlen lassen, um Kristalle auszufällen. 2–3-mal wiederholen, um die Reinheit auf über 99,5 % zu erhöhen.
- **Ionenaustausch** : Verwenden Sie Kationenaustauscherharze (z. B. Amberlite IR-120) zur Entfernung metallischer Verunreinigungen oder Anionenaustauscherharze zur Entfernung von Silikat und Phosphat. Der pH-Wert der Lösung wird auf 7–9 geregelt, um die Stabilität des **Wolframats** zu gewährleisten.
- **Niederschlagstrennung** : Geben Sie Ammoniumsulfid ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S) hinzu, um Molybdänsulfid (MoS<sub>2</sub>) auszufällen, und filtern Sie es dann, um eine reine Natriumwolframatlösung zu erhalten.

Kristallisationstechnisch lassen sich durch langsames Abkühlen große Dihydratkristalle gewinnen, während sich das schnelle Verdampfungsverfahren zur Herstellung kleiner Kristalle eignet. Die Kristalltrocknung erfolgt in einem Vakuumofen bei 50–60 °C, um eine Dehydratation durch hohe Temperaturen zu vermeiden. Der Verunreinigungsgehalt muss während des Reinigungs- und Kristallisationsprozesses (z. B. mittels ICP-MS-Detektion) überwacht werden, um sicherzustellen, dass die analytischen Reinheits- oder pharmazeutischen Standards eingehalten werden.

#### 4.5 Sicherheitsvorkehrungen bei der Herstellung von Natriumwolframat

Die Herstellung von Natriumwolframat erfordert starke Laugen, hohe Temperaturen und elektrochemische Vorgänge. Die Sicherheitsvorschriften müssen strikt eingehalten werden:

- **Chemische Sicherheit** : Natriumhydroxid ist stark ätzend. Tragen Sie daher beim Umgang mit der Substanz Schutzbrille, Handschuhe und Laborkittel. Natriumwolframatstaub kann die Atemwege reizen und muss unter einem Abzug gehandhabt werden.
- **Hochtemperaturbetrieb** : Verwenden Sie zum Erhitzen der Reaktion ein Wasserbad mit konstanter Temperatur (100–150 °C) oder eine Heizplatte, um Spritzer der Lösung zu vermeiden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

vermeiden. Vermeiden Sie Verbrennungen beim Abkühlen und Kristallisieren .

- **Elektrochemische Sicherheit** : Das Elektrolysegerät muss geerdet sein, und die Elektroden und Leitungen müssen regelmäßig überprüft werden. Wasserstoff muss über das Abgassystem abgeführt werden, um eine Ansammlung und Explosion zu vermeiden.
- **Abfallflüssigkeitsbehandlung** : Wolframhaltige Abfallflüssigkeit ist ein Schwermetallabfall und muss auf einen pH-Wert von 6–8 neutralisiert und nach der Ausfällung der Wolframsäure gemäß den Umweltschutzbestimmungen (wie GB/T 30810) ordnungsgemäß entsorgt werden.
- **Lagerung und Kennzeichnung** : Das zubereitete Natriumwolframat sollte in einem verschlossenen Behälter aufbewahrt und mit dem chemischen Namen, der Reinheit und dem Herstellungsdatum gekennzeichnet werden, um Missbrauch zu vermeiden.

Durch standardisierte Abläufe kann ein sicherer und effizienter Herstellungsprozess gewährleistet und die Produktqualität stabil gehalten werden.



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com

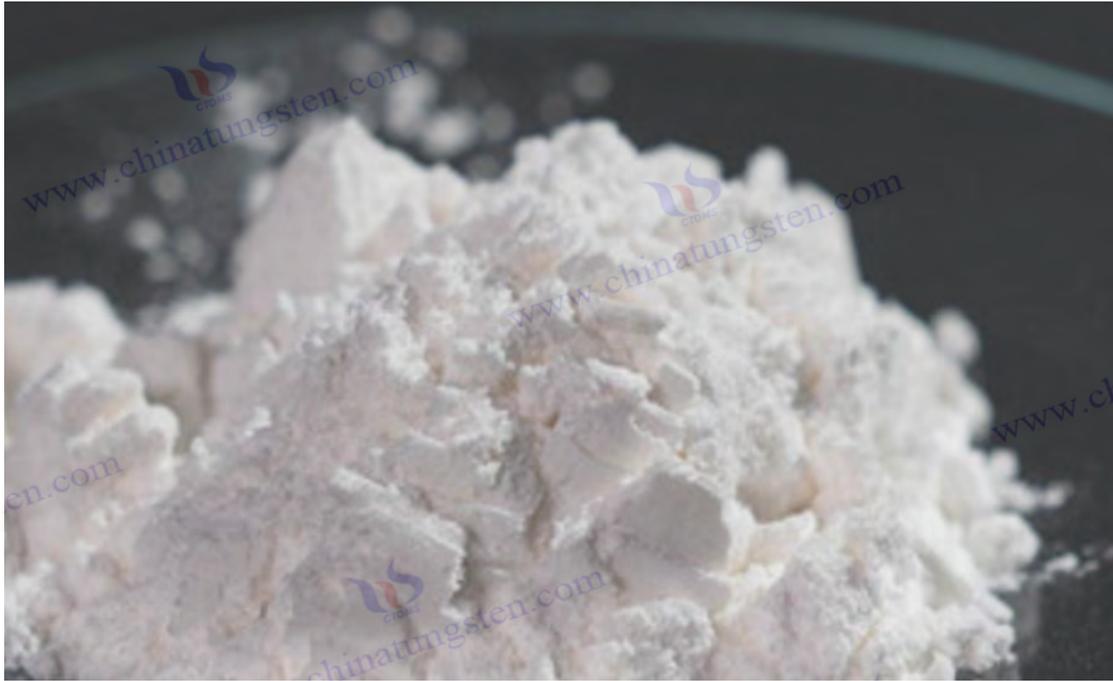


www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## Kapitel 5 Industrieller Produktionsprozess von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) ist ein wichtiges Zwischenprodukt in der Wolframmetallurgie und der chemischen Industrie. Der industrielle Produktionsprozess beeinflusst Produktqualität, Kosten und Umweltvorteile direkt. Dieses Kapitel stellt systematisch die Rohstoffauswahl, den hydrometallurgischen Prozess, den Röst- und Lösungsprozess, die industrielle Kristallisations- und Trocknungstechnologie, die Produktionsanlagen und die Automatisierungssteuerung sowie die Nebenproduktbehandlung und das Recycling der industriellen Natriumwolframatproduktion vor und bietet ein umfassendes Nachschlagewerk für Praktiker und Forscher in der Industrie.

### 5.1 Auswahl der Rohstoffe für Natriumwolframat (Scheelit, Wolframit, Wolfram-Abfallmaterial)

Zu den Hauptbestandteilen von Natriumwolframat gehören Scheelit ( $\text{CaWO}_4$ ), Wolframit ( $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ ) und Wolframabfälle (wie Katalysator- und Legierungsabfälle). Scheelit enthält etwa 50–70 % Wolfram (bezogen auf  $\text{WO}_3$ ), das leicht mit Alkali reagiert, sich für die Hydrometallurgie eignet und der wichtigste Rohstoff ist. Wolframit enthält etwas weniger Wolfram (40–60 %) und muss vorbehandelt werden, um Eisen und Mangan zu entfernen. Es wird häufig in Röstprozessen verwendet. Der Wolframgehalt von Wolframabfällen variiert stark (10–90 %) und muss klassifiziert und recycelt werden, was der Kreislaufwirtschaft dient.

Zu den wichtigsten Faktoren bei der Rohstoffauswahl gehören:

- **Wolframgehalt** : Hochwertige Erze ( $\text{WO}_3 > 50\%$ ) werden bevorzugt, um die Verarbeitungskosten zu senken.
- **Verunreinigungen** : Verunreinigungen wie Silizium, Phosphor und Molybdän müssen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kontrolliert werden, um die Anzahl der Reinigungsschritte zu reduzieren.

- **Partikelgröße** : Das Erz wird auf 100–200 Maschen zerkleinert, um die Reaktionseffizienz zu verbessern.
- **Nachhaltigkeit** : Durch das Recycling von Wolfram-Abfällen kann die Abhängigkeit von Mineralien verringert und den Anforderungen des Umweltschutzes entsprochen werden.

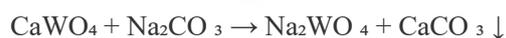
Als weltweit größter Wolframproduzent verfügt China über reiche Scheelitreserven in Hunan und Jiangxi, die einen stabilen Rohstoff für die Herstellung von Natriumwolframat liefern.

## 5.2 Hydrometallurgisches Verfahren zur Gewinnung von Natriumwolframat (alkalische Laugung, Ionenaustausch)

Die Hydrometallurgie ist das gängige Verfahren zur industriellen Herstellung von Natriumwolframat. Dabei wird üblicherweise alkalische Laugung in Kombination mit Ionenaustausch eingesetzt. Bei der alkalischen Laugung reagiert Scheelit oder Wolframit mit Natriumhydroxid (NaOH) oder Natriumcarbonat (  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ) bei hoher Temperatur und hohem Druck ( 120–200 °C, 0,5–2 MPa), um Natriumwolframatlösung zu erzeugen. Die typische Reaktion läuft wie folgt ab:



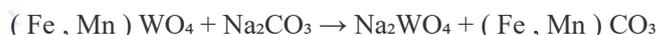
oder



Nach der Reaktion wird das unlösliche Calciumsalz (  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  oder  $\text{CaCO}_3$  ) abfiltriert, um die rohe Natriumwolframatlösung zu entfernen. Die Lösung enthält häufig Verunreinigungen wie Silikat, Phosphat und Molybdat, die durch Ionenaustausch gereinigt werden müssen. Verwenden Sie ein stark alkalisches Anionenaustauscherharz (z. B. D2O1), um  $\text{WO}_4^{2-}$  selektiv zu adsorbieren und nach der Elution eine hochreine Natriumwolframatlösung zu erhalten. Das Nassverfahren hat eine Ausbeute von 90–95 % und einen geringen Energieverbrauch, erfordert jedoch die Behandlung einer großen Menge alkalischer Abfallflüssigkeit, und der pH-Wert wird auf 8–10 geregelt, um die Trennleistung zu optimieren.

## 5.3 Kalzinierungs- und Auflösungsprozess von Natriumwolframat

Das Röstverfahren eignet sich für Wolframit oder minderwertiges Erz. Das Erz muss zunächst mit Natriumcarbonat (  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ) vermischt und bei 800–1000 °C geröstet werden, um lösliches Natriumwolframat zu erzeugen. Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Das geröstete Produkt wird mit heißem Wasser (60–80 °C) ausgelaugt, um das Natriumwolframat zu lösen, und gefiltert, um unlösliche Eisen- und Manganverbindungen zu entfernen. Das Lauge wird angesäuert (pH 7–8), um Verunreinigungen wie Silizium und Phosphor auszufällen. Anschließend wird der pH-Wert mit Natriumhydroxid auf 9–10 eingestellt, um die Kristallisation des Natriumwolframats zu fördern. Das Röstverfahren eignet sich für die Verarbeitung komplexer Erze, verbraucht jedoch viel Energie, und die entstehenden Abgase (  $\text{CO}_2$  ) und festen Schlacken müssen sorgfältig behandelt werden. Die Röstanlage ist üblicherweise ein Drehrohrofen oder ein

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mehrkammerofen , und Temperatur und Atmosphäre müssen genau kontrolliert werden, um die Verflüchtigung des Natriumwolframats zu vermeiden.

#### 5.4 Industrielle Kristallisations- und Trocknungstechnologie von Natriumwolframmat

von Natriumwolframmat erfolgt üblicherweise durch Verdampfungskristallisation oder Kühlungskristallisation. Bei der Verdampfungskristallisation wird die Natriumwolframatlösung unter reduziertem Druck (0,01–0,05 MPa, 80–100 °C) bis zur Sättigung konzentriert, um Dihydratkristalle ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) auszufällen. Bei der Kühlungskristallisation wird die heiße Lösung (80 °C) langsam auf 20–30 °C abgekühlt, um großteilige Kristalle zu erhalten, die für hochreine Produkte geeignet sind. Der Kristallisationsprozess erfordert die Kontrolle der Abkühlrate (1–2 °C/min) und der Rührgeschwindigkeit (100–200 U/min), um gleichmäßige Kristalle zu gewährleisten.

Zu den Trocknungstechnologien gehören:

- **Heißlufttrocknung** : Die Trocknung bei 100–120 °C, geeignet für Produkte in Industriequalität, dauert 2–4 Stunden.
- **Vakuumtrocknung** : Die Trocknung bei 50–60 °C und 0,01 MPa eignet sich für Produkte in analytischer oder pharmazeutischer Qualität und erhält das Kristallwasser.
- **Sprühtrocknung** : Sprühen Sie die Natriumwolframatlösung in Mikropartikel und trocknen Sie sie direkt zu wasserfreiem Pulver. Dies ist sehr effizient, verursacht jedoch hohe Gerätekosten .

Getrocknetes Natriumwolframmat muss auf Feuchtigkeitsgehalt (<0,5 %) und Partikelgröße (50–200  $\mu\text{m}$ ) geprüft werden , um die Einhaltung von Standards (wie GB/T 26037) sicherzustellen.

#### 5.5 Natriumwolframmat-Produktionsanlagen und Automatisierungssteuerung

von Natriumwolframmat ist ein mehrstufiger Prozess, der spezielle Geräte und automatisierte Kontrollsysteme erfordert:

- **Reaktionsausrüstung** : Autoklav (alkalische Laugung), Drehrohrofen (Röstung), beständig gegen hohe Temperaturen und Druck , aus Edelstahl oder Titanlegierung.
- **Trenngeräte** : Platten- und Rahmenfilterpresse (Fest-Flüssig - Trennung), Ionenaustauschersäule (Reinigung), mit einer Verarbeitungskapazität von 10–100  $\text{m}^3/\text{h}$ .
- **Kristallisations- und Trocknungsgeräte** : Mehreffektverdampfer (Kristallisation), Wirbelschichttrockner (Trocknung), energiesparendes Design zur Reduzierung des Energieverbrauchs.
- **Automatisierungssteuerung** : Das SPS-System (Speicherprogrammierbare Steuerung ) überwacht Temperatur, Druck, pH-Wert und Durchflussrate mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,5$  °C und  $\pm 0,01$  MPa. Sensoren erfassen die Lösungskonzentration ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) in Echtzeit, um eine stabile Produktqualität zu gewährleisten.

Das Automatisierungssystem ermöglicht die Fernsteuerung über SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), reduziert manuelle Eingriffe und verbessert die Produktionseffizienz. Die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wartung der Geräte erfordert eine regelmäßige Reinigung, um eine Ablagerung von Natriumwolframat zu verhindern.

### 5.6 Behandlung und Recycling von Natriumwolframat-Nebenprodukten

Bei der Produktion von Natriumwolframat entstehen zahlreiche Nebenprodukte, die ordnungsgemäß behandelt werden müssen, um die Umweltbelastung zu verringern und ein Ressourcenrecycling zu erreichen:

- **Feste Nebenprodukte** : Calciumsalze (  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  ) können bei der Zement- oder Kalkherstellung verwendet werden; Eisen- und Manganverbindungen werden durch magnetische Trennung zurückgewonnen und in der Stahlverhüttung eingesetzt.
- **Flüssige Nebenprodukte** : Die Molybdän und Phosphor enthaltende Abfallflüssigkeit wird durch Ausfällung oder Ionenaustausch als Natriummolybdat (  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  ) zurückgewonnen und das Abwasser wird neutralisiert (pH 6-8), um die Abwassernormen zu erfüllen .
- **Gasnebenprodukte** : Das beim Rösten entstehende  $\text{CO}_2$  wird mittels Carbon-Capture-Technologie verarbeitet oder zur Natriumcarbonat-Regeneration verwendet.
- **Recycling: Wolfram-Abfälle (z. B. Katalysatoren)** können durch Säurelaugung oder Rösten zu Natriumwolframat-Rohstoffen regeneriert werden. Die Rückgewinnungsrate liegt bei 80–90 %. Nicht umgesetzte NaOH- oder  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  -Lösungen aus der Produktion können zur Kostensenkung recycelt werden.

Um eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen, muss die Nebenproduktbehandlung den Umweltvorschriften (wie GB 25467) entsprechen und saubere Produktionstechnologien wie das Zero-Discharge-System (ZLD) einsetzen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) Product Introduction

## 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process.  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

## 2. Sodium Tungstate Features

- Chemical Composition:**  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , sodium tungstate dihydrate. Purity  $\geq 99.9\%$ , with minimal impurities.
- Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

## 3. Product Specifications

Type	Particle Size ( $\mu\text{m}$ )	Purity (wt%)	Bulk Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\text{WO}_3$ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	$\geq 99.9$	3.8-4.0	68.00	$\text{Fe} \leq 0.001, \text{Mo} \leq 0.002$
Standard Grade	10-15	$\geq 99.9$	4.0-4.2	68.00	$\text{Fe} \leq 0.001, \text{Mo} \leq 0.002$
Coarse Grade	15-20	$\geq 99.9$	4.2-4.4	68.00	$\text{Fe} \leq 0.001, \text{Mo} \leq 0.002$

## 4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and  $\text{WO}_3$  content (titration).

## 5. Procurement Information

- Email:** [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)
- Tel:** +86 592 5129595
- Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## Kapitel 6 Qualitätskontrolle und Prüfung von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) ist ein wichtiges Bindeglied, um sicherzustellen, dass es den Anforderungen von Industrie, wissenschaftlicher Forschung und medizinischen Anwendungen gerecht wird. Die Produktqualität wirkt sich direkt auf Leistung und Sicherheit aus, daher sind präzise Analysetechniken und standardisierte Prozesse erforderlich. Dieses Kapitel stellt systematisch die analytische Methode zur Bestimmung der Reinheit von Natriumwolframat, zur Erkennung von Verunreinigungen, zur Kristallmorphologie und Partikelgrößenanalyse, zur Bestimmung von pH-Wert und Konzentration von Lösungen sowie internationale und nationale Prüfnormen vor, um technische Unterstützung für Qualitätsmanagement und Anwendung zu bieten.

### 6.1 Analysemethode zur Reinheit von Natriumwolframat (ICP-MS, XRF usw.)

Die Reinheitsanalyse von Natriumwolframat ist der Kern der Qualitätskontrolle. Um genaue Ergebnisse zu gewährleisten, werden üblicherweise hochempfindliche Instrumente eingesetzt. Gängige Methoden sind:

- **Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS)** : ICP-MS kann die Konzentration von Wolfram (W) und anderen Elementen mit einer Empfindlichkeit im ppb-Bereich ( $10^{-9}$ ) bestimmen. Nach dem Auflösen der Probe in deionisiertem Wasser wird diese durch Plasma ionisiert und mittels Massenspektrometrie getrennt, um Wolfram und Verunreinigungen (wie Molybdän und Eisen) zu erkennen. Die Reinheitsberechnung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

basiert auf dem Wolframgehalt, und die analytische Reinheitsanforderung liegt bei  $\geq 99,5\%$ .

- **Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA)** : Mithilfe der RFA lässt sich die Elementzusammensetzung von festem Natriumwolframat schnell und ohne aufwändige Probenvorbehandlung bestimmen. Die Probe wird durch Röntgenstrahlen angeregt, die charakteristische Fluoreszenz detektiert und W, Na und Verunreinigungen quantitativ analysiert. Die Methode eignet sich für die Chargenprüfung von Industrieprodukten mit einer Genauigkeit von 0,01 %.
- **Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)** : Bei bestimmten Elementen (wie Na, Fe) misst die AAS die Konzentration durch Absorption von Licht einer bestimmten Wellenlänge durch Atome und wird häufig zur Überprüfung von ICP-MS-Ergebnissen verwendet.

Diese Methoden erfordern Kalibrierungsstandards (wie NIST SRM 3163 Wolframstandards) und kontrollierte Probenaufhebungsbedingungen (pH 7-9), um eine Wolframatpolymerisation zu vermeiden. ICP-MS ist die erste Wahl für die Detektion hoher Reinheit, während XRF besser für eine schnelle Qualitätskontrolle geeignet ist.

### 6.2 Nachweis von Verunreinigungen in Natriumwolframat (Mo, Fe, Ca usw.)

Verunreinigungen im Natriumwolframat (wie Molybdän, Eisen und Kalzium) beeinträchtigen dessen katalytische Leistung und biologische Sicherheit und erfordern strenge Tests:

- **Molybdän (Mo)** : Molybdät ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) hat ähnliche chemische Eigenschaften wie Wolframat und wird üblicherweise durch Ammoniumsulfid abgetrennt. Durch Zugabe von  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  entsteht ein  $\text{MoS}_2$ -Niederschlag, der gefiltert und mittels ICP-MS der Rest-Mo-Gehalt bestimmt wird. Für die Industriequalität ist ein Mo-Gehalt von  $<0,05\%$  und für die pharmazeutische Qualität ein Mo-Gehalt von  $<0,001\%$  erforderlich.
- **Eisen (Fe)** : Eisenverunreinigungen können durch Wolframit oder Gerätekorrosion entstehen. Sie werden mittels AAS oder Spektrophotometrie (komplexiert mit o-Phenanthrolin) nachgewiesen. Die  $\text{Fe}^{3+}$ -Konzentration wird durch Absorption bestimmt; der Grenzwert liegt bei  $<0,01\%$ .
- **Calcium (Ca)** : Calcium stammt aus Scheelit oder Wasserqualität und wird mittels EDTA-Titration oder ICP-MS nachgewiesen. Der Grenzwert liegt bei  $<0,02\%$ .
- **Andere Verunreinigungen** : Silizium (Si) und Phosphor (P) werden durch Silizium-Molybdänblau- oder Phosphor-Molybdänblau-Kolorimetrie mit einer Empfindlichkeit im ppm-Bereich erkannt.

Um Kreuzkontaminationen zu vermeiden, sollten Verunreinigungstests in einem sauberen Labor durchgeführt werden. Das Gerät sollte regelmäßig kalibriert werden, und es sollten Leerproben verwendet werden, um sicherzustellen, dass die Nachweisgrenze (LOD) den Standardanforderungen entspricht.

### 6.3 Natriumwolframat-Kristallmorphologie und Partikelgrößenanalyse

Die Kristallmorphologie und Partikelgröße von Natriumwolframat beeinflussen seine Löslichkeit, Fließfähigkeit und Anwendungswirkung und müssen mit den folgenden Methoden analysiert werden:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Rasterelektronenmikroskop (REM)** : Beim REM wird die Kristallmorphologie (z. B. orthorhombisches Dihydrat oder kubisches Anhydrat) mit einer Auflösung von Nanometern beobachtet, um zu bestätigen, ob der Kristall gleichmäßig und fehlerfrei ist.
- **- Partikelgrößenanalyse** : Verwenden Sie ein Laserdiffraktometer (z. B. Malvern Mastersizer ) , um die Partikelgrößenverteilung zu messen. Die Partikelgröße von Natriumwolframat in Industriequalität liegt zwischen 50 und 200  $\mu\text{m}$  , die analytische Qualität ist feiner (10–50  $\mu\text{m}$  ) . D50 (mittlere Partikelgröße) ist der Schlüsselindikator.
- **Röntgenbeugung (XRD)** : XRD analysiert die Kristallstruktur, bestätigt das orthorhombische System (Raumgruppe Pnma ) von  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  oder das kubische System (Fd-3m) von wasserfreiem  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  und erkennt amorphe Verunreinigungen.

Die Partikelgrößenkontrolle muss mit dem Kristallisationsprozess (Kapitel 5.4) kombiniert werden, beispielsweise durch Anpassung der Abkühlrate oder Zugabe von Kristallisationskeimen. Die Ergebnisse der morphologischen Analyse dienen der Optimierung von Produktion und Anwendung (z. B. erfordern Katalysatorträger eine geringe Partikelgröße).

#### 6.4 Bestimmung von pH-Wert und Konzentration der Natriumwolframatlösung

Der pH-Wert und die Konzentration der Natriumwolframatlösung wirken sich direkt auf ihre Stabilität und Anwendungswirkung aus und müssen genau bestimmt werden:

- **pH-Wert -Bestimmung** : Verwenden Sie ein Präzisions-pH-Meter (Genauigkeit  $\pm 0,01$ ), um den pH-Wert der Lösung bei 25 °C zu messen. Natriumwolframatlösung ist üblicherweise schwach alkalisch (pH 8–9), da  $\text{WO}_4^{2-}$  zu  $\text{HWO}_4^-$  hydrolysiert wird . Bei zu niedrigem pH-Wert (<7) kann Wolframsäure ausfallen, und zur Feineinstellung muss NaOH verwendet werden.
- **Konzentrationsbestimmung** :
  - **Gravimetrische Methode** : Eine quantitative Lösung entnehmen, bis zur Trockne eindampfen, den Rückstand  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  abwägen und die Konzentration berechnen. Geeignet für hochkonzentrierte Lösungen (>10 % (w/v)) .
  - **Titrationmethode** : Verwenden Sie Standard-HCl, um Wolframat zu titrieren, geben Sie den Indikator Methylorange hinzu, der pH-Endpunkt liegt bei etwa 4,5, berechnen Sie die  $\text{WO}_4^{2-}$ -Konzentration.
  - **Spektroskopische Methode** : UV- Vis -Bestimmung des Absorptionspeaks von Wolframat bei 200–220 nm zur quantitativen Analyse von Lösungen mit geringer Konzentration (<1 % w/v).

Um den Einfluss der  $\text{CO}_2$ -Absorption auf den pH-Wert zu vermeiden, sollte zur Bestimmung deionisiertes Wasser (spezifischer Widerstand > 18  $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$  ) verwendet werden . Die Ergebnisse werden zur Herstellung von Lösungen (z. B. Galvanisierungslösung, Katalysatorvorläufer) verwendet.

#### 6.5 Internationale und nationale Prüfnormen für Natriumwolframat (ISO, GB/T)

Die Qualitätsprüfung von Natriumwolframat muss internationalen und nationalen Standards

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

entsprechen, um die Produktkonsistenz und -konformität sicherzustellen:

- **Internationale Standards :**
  - **ISO 6353-3 :** Legt die chemischen Analysemethoden für Wolframate fest , einschließlich der Bestimmung von Wolfram und Verunreinigungen durch ICP-MS und AAS.
  - **ASTM E 1447 :** Reinheitsprüfnorm für Wolframverbindungen, anwendbar auf XRF- und Titrationsverfahren.
- **Inländische Normen :**
  - **GB/T 26037-2020 :** Technische Anforderungen an Natriumwolframat in Industrie- und Analysequalität , mit Angabe der Reinheit ( $\geq 98$  %), der Verunreinigungsgrenze ( $Mo < 0,05$  %) und der Nachweismethode.
  - **GB/T 30810-2014 :** Umweltmanagementspezifikationen für Wolfram-Chemikalienprodukte, die die Erkennung des Wolframgehalts in Abfallflüssigkeiten erfordern.
- **Pharmazeutische Qualitätsstandards :** siehe Chinesisches Arzneibuch (CP) oder US-Arzneibuch (USP), Schwermetallgrenzwert  $< 10$  ppm, mikrobiologische Tests müssen den Sterilitätsanforderungen entsprechen.

Die Tests müssen in einem nach ISO/IEC 17025 zertifizierten Labor mit Standardproben und Qualitätskontrolldiagrammen durchgeführt werden, um die Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Standardaktualisierungen, wie z. B. Revisionen von ISO und GB/T, müssen überwacht werden.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

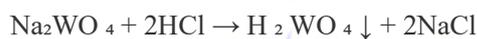


## Kapitel 7 Industrielle Anwendung von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) spielt aufgrund seiner einzigartigen chemischen Eigenschaften und Stabilität in vielen Industriebereichen eine wichtige Rolle. Dieses Kapitel stellt systematisch die Anwendung von Natriumwolframat in der Wolframmetallurgie, als Katalysator und Cokatalysator, in Pigmenten und Farbstoffen, in feuerfesten Materialien und Flammenschutzmitteln sowie in der Galvanik und Oberflächenbehandlung vor, erläutert seinen Wirkungsmechanismus und seine technischen Vorteile und bietet eine Referenz für die industrielle Produktion und Prozessoptimierung.

### 7.1 Die Rolle von Natriumwolframat in der Wolframmetallurgie (APT, Wolframpulverherstellung)

Natriumwolframat ist ein wichtiges Zwischenprodukt im metallurgischen Wolframprozess und wird zur Herstellung von Ammoniumparawolframat verwendet ( $\text{APT}$ ) und Wolframpulver. In der Industrie wird Natriumwolframatlösung angesäuert (üblicherweise mit  $\text{HCl}$ ), um Wolframsäure ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ ) auszufällen. Anschließend reagiert sie mit Ammoniak zu  $\text{APT}$ . Die Reaktion läuft wie folgt ab:



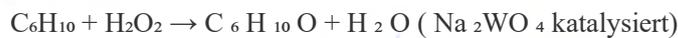
$\text{APT}$  wird kalziniert, um Wolframoxid ( $\text{WO}_3$ ) zu erzeugen. Dieses wird anschließend in einer Wasserstoffatmosphäre zu Wolframpulver reduziert und in Hartmetall und Hochtemperaturwerkstoffen verwendet. Die hohe Löslichkeit und Stabilität von Natriumwolframat

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gewährleisten eine effiziente Wolframingewinnung mit einer Ausbeute von über 95 %. Der pH-Wert (2–4) und die Temperatur (50–80 °C) der Lösung müssen im Prozess kontrolliert werden, um die Kristallqualität von APT zu optimieren und Störungen durch Verunreinigungen wie Molybdän zu reduzieren.

## 7.2 Natriumwolframat als Katalysator und Cokatalysator (Petrochemische Industrie, Oxidationsreaktion)

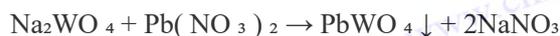
Natriumwolframat wird als Katalysator oder Cokatalysator in der Petrochemie und der organischen Synthese, insbesondere bei Oxidationsreaktionen, eingesetzt. Seine katalytische Aktivität beruht auf der Reaktion von Wolframat ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) mit Peroxiden (wie  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) zu Peroxywolframsäure ( $[\text{WO}(\text{O}_2)] \cdot 2$ ), das die Olefinepoxidierung und die Alkoholoxidation katalysieren kann. Beispielsweise katalysiert Natriumwolframat die Reaktion von Cyclohexen mit  $\text{H}_2\text{O}_2$  zu Cyclohexenoxid. Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Beim Erdölcracken wird Natriumwolframat mit Nickel- oder Kobaltsalzen als Cokatalysator kombiniert, um die Umwandlungsrate von Kohlenwasserstoffen zu verbessern. Die katalytische Effizienz wird durch pH-Wert (4–6), Temperatur (40–80 °C) und Natriumwolframatkonzentration (0,1–1 % (w/v)) beeinflusst. In der Industrie wird Natriumwolframat häufig auf Aluminiumoxid- oder Zeolithträger aufgebracht, um die Stabilität und Recyclingfähigkeit des Katalysators zu verbessern. Es wird häufig bei der Herstellung von Epoxidverbindungen und Feinchemikalien eingesetzt.

## 7.3 Anwendung von Natriumwolframat in Pigmenten und Farbstoffen (Wolframat-basierte Pigmente)

Natriumwolframat ist ein wichtiger Rohstoff für die Herstellung von Wolframatpigmenten und wird häufig in Keramik, Beschichtungen und Kunststofffarben verwendet. Natriumwolframat reagiert mit Blei-, Calcium- oder Zinksalzen zu unlöslichen Wolframatpigmenten wie Bleiwolframat ( $\text{PbWO}_4$ ) und die Reaktion ist wie folgt:



Bleiwolframat ist gelb, hat eine hohe Deckkraft und Lichtbeständigkeit und eignet sich für Hochtemperatur-Keramikglasuren (800–1200 °C). Calciumwolframat ( $\text{CaWO}_4$ ) wird als Weißpigment in fluoreszierenden Beschichtungen und fälschungssicheren Markierungen verwendet, da es unter ultraviolettem Licht blaugrün fluoresziert. Die Partikelgröße (1–10  $\mu\text{m}$ ) von Wolframatpigmenten wird durch Kontrolle der Reaktionsbedingungen (wie pH 6–8, Rührgeschwindigkeit) optimiert, um Dispergierbarkeit und Farbe zu verbessern. Umweltvorschriften (wie RoHS) erfordern die Reduzierung bleihaltiger Pigmente, was die Entwicklung calcium- und zinkbasierter Wolframatpigmente gefördert hat.

## 7.4 Die Rolle von Natriumwolframat in feuerfesten Materialien und Flammenschutzmitteln

Natriumwolframat wird aufgrund seiner hohen thermischen Stabilität und der Förderung der

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Karbonisierung als Zusatzstoff für feuerfeste Materialien und Flammenschutzmittel verwendet. In Polymeren (wie Polyvinylchlorid, Polyurethan) wirkt Natriumwolframat synergistisch mit Phosphaten oder Boraten und verbessert so die Flammhemmung. Zu den Mechanismen gehören:

- **Die thermische Zersetzung ist endotherm**: Natriumwolframat zersetzt sich bei hohen Temperaturen ( $> 500\text{ °C}$ ) in  $\text{WO}_3$ , wobei es Wärme absorbiert und die Verbrennungstemperatur senkt.
- **Förderung der Karbonisierung**:  $\text{WO}_3$  katalysiert die Dehydratation von Polymeren zu Kohlenstoff und bildet eine Wärmedämmschicht, die Sauerstoff- und Wärmeübertragung verhindert.

Beispielsweise erhöht sich der Sauerstoffindex (LOI) von PVC-Kabelmaterialien mit 2–5 % Natriumwolframatzusatz von 26 auf 32, was dem Flammenschutzstandard UL94 V-0 entspricht. Natriumwolframat wird auch in feuerhemmenden Beschichtungen verwendet, die auf die Oberfläche von Stahlkonstruktionen gesprüht werden und Feuer länger als zwei Stunden standhalten. Industrielle Anwendungen erfordern eine Kontrolle der Partikelgröße von Natriumwolframat ( $< 50\text{ }\mu\text{m}$ ), um eine gleichmäßige Dispersion zu gewährleisten.

### 7.5 Anwendung von Natriumwolframat in der Galvanik und Oberflächenbehandlung

Bereiten Sie Wolframlegierungsbeschichtungen in der Galvanik und Oberflächenbehandlung vor, um die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Materialien zu verbessern. Natriumwolframatlösung (0,1–0,5 M) wird als Bestandteil der Galvaniklösung verwendet und mit Nickelsalzen (wie  $\text{NiSO}_4$ ) gemischt. 4) oder Kobaltsalze zur galvanischen Abscheidung von Ni-W- oder Co-W-Legierungsschichten bei einem pH-Wert von 7–9 und einer Stromdichte von 1–5 A/dm<sup>2</sup>. Typische Formel für eine Galvanisierungslösung:

- $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 50–100 g/L
- $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 20–50 g/L
- Natriumcitrat (Komplexbildner): 30–60 g/L

Die Beschichtung enthält 10–30 % Wolfram, hat eine Härte von 600–800 HV und ist korrosionsbeständiger als reine Vernickelung. Sie wird auf der Oberfläche von Automobilteilen und Formen verwendet. Natriumwolframat wird auch für die chemische Beschichtung und Eloxierung verwendet, um  $\text{WO}_3$ -basierte Funktionsbeschichtungen zur Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit zu erzeugen. Der Galvanisierungsprozess erfordert Temperaturkontrolle (40–60 °C) und Rühren, um Wolframatausfällung zu vermeiden und eine gleichmäßige Beschichtung zu gewährleisten.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

#### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

#### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

#### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

#### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

#### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 8 Medizinische und biologische Anwendungen von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) hat aufgrund seiner einzigartigen biologischen Aktivität und chemischen Stabilität großes Potenzial in der Medizin und Biologie gezeigt. Dieses Kapitel stellt systematisch die Anwendung von Natriumwolframat in der Diabetesforschung, seinen antibakteriellen und antiviralen Eigenschaften, Bioimaging- und Markierungsreagenzien, der Toxizitäts- und Biosicherheitsbewertung sowie klinischen Studien und Arzneimittelentwicklungsaussichten vor, erläutert den Wirkmechanismus und den Forschungsfortschritt und bietet eine Referenz für die weitere Entwicklung im biomedizinischen Bereich.

### 8.1 Anwendung von Natriumwolframat in der Diabetesforschung (Insulinsimulation)

Als Insulinmimetikum hat Natriumwolframat in der Diabetesforschung große Aufmerksamkeit erregt. Sein Wirkmechanismus umfasst die Aktivierung des Insulinsignalwegs und die Förderung der Glukoseaufnahme. Wolframat-Ionen ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) hemmen die Proteintyrosinphosphatase (PTP1B) und verstärken die Phosphorylierung der Insulinrezeptor-Tyrosinkinase. Dadurch aktivieren sie den PI3K-Akt-Signalweg, erhöhen die Membranexpression des GLUT4-Transporters und fördern die zelluläre Glukoseaufnahme.

Tierversuche haben gezeigt, dass orale Natriumwolframatgabe (50–100 mg/kg Körpergewicht) den Blutzuckerspiegel bei Ratten mit Typ-2-Diabetes signifikant senken und die Insulinsensitivität verbessern kann. Beispielsweise sank im db/db-Mausmodell nach vierwöchiger Natriumwolframatbehandlung der Nüchternblutzucker von 20 mmol/l auf 12 mmol/l, und der HbA1c-Wert sank um etwa 1,5 %. Im Vergleich zu Insulin bietet Natriumwolframat die Vorteile

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einer hohen oralen Bioverfügbarkeit (ca. 30 %) und einer hohen chemischen Stabilität. Hohe Dosen (> 200 mg/kg) können jedoch Magen-Darm-Beschwerden verursachen, sodass das Dosierungsschema optimiert werden muss. Aktuelle Studien untersuchen die kombinierte Anwendung von Natriumwolframat und Medikamenten wie Metformin, um die Wirksamkeit zu verbessern und Nebenwirkungen zu reduzieren.

## 8.2 Antibakterielle und antivirale Eigenschaften von Natriumwolframat

Natriumwolframat weist bestimmte antibakterielle und antivirale Wirkungen auf, die auf den Redoxeigenschaften von Wolframat und seiner Wechselwirkung mit mikrobiellen Enzymen beruhen. Studien haben gezeigt, dass Natriumwolframat die Membranproteinfunktion von Bakterien (wie Escherichia coli und Staphylococcus aureus) beeinträchtigen, die Integrität der Zellmembranen zerstören und zum Zelltod führen kann. In In-vitro-Experimenten erreichte die Hemmrates einer 0,1–0,5 mM Natriumwolframatlösung bei Escherichia coli 80 % und bei Staphylococcus aureus 60 %.

Natriumwolframat hemmt antiviral die Virusadsorption und den Eintritt in Wirtszellen durch Bindung an virale Hüllproteine. Beispielsweise hat Natriumwolframat (0,2 mM) eine Hemmrates von etwa 50 % beim Influenzavirus (H1N1), wobei der Mechanismus die Neuraminidaseaktivität blockiert. Natriumwolframat kann auch als Bestandteil von Nanokompositen in Kombination mit Zinkoxid ( ZnO ) oder Titandioxid ( TiO<sub>2</sub> ) zur Verbesserung der antibakteriellen Beschichtungen und zur Anwendung auf der Oberfläche medizinischer Geräte. Für die praktische Anwendung müssen die Langzeitwirkung und die Biosicherheit noch weiter überprüft werden.

## 8.3 Anwendung von Natriumwolframat in Bioimaging- und Markierungsreagenzien

Natriumwolframat wird aufgrund seiner hohen Ordnungszahl (W, Z = 74) und seiner Fähigkeit zur Röntgenabsorption als Kontrastmittel und Markierungsmittel für die biologische Bildgebung verwendet. Natriumwolframat kann mit Nanoträgern (wie Polyethylenglykol-modifizierten Nanopartikeln) für die Computertomographie (CT) kombiniert werden. Im Vergleich zu herkömmlichen jodhaltigen Kontrastmitteln weisen wolframbasierte Kontrastmittel einen höheren Kontrast bei hochenergetischer Röntgenstrahlung (> 80 keV) auf und eignen sich für die Bildgebung tiefer Gewebeschichten.

Bei der Fluoreszenzmarkierung emittieren Natriumwolframat-Derivate (wie Calciumwolframat-Nanopartikel CaWO<sub>4</sub>) unter UV-Anregung blaugrüne Fluoreszenz. Diese wird zur Zellmarkierung und Proteinverfolgung eingesetzt. Der Markierungsprozess erfolgt gezielt durch Oberflächenfunktionalisierung (z. B. konjugierte Antikörper), und die Nachweisempfindlichkeit erreicht 10<sup>-9</sup> M. Anwendungsbeispiele umfassen die Fluoreszenzbildgebung von Krebszellen (HeLa-Zellen) mit einer Markierungseffizienz von über 90 %. Die Löslichkeit von Natriumwolframat kann jedoch zur Freisetzung des Markierungsmittels führen, sodass Stabilität und Biokompatibilität der Nanopartikel optimiert werden müssen.

## 8.4 Bewertung der Toxizität und Biosicherheit von Natriumwolframat

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die biologische Sicherheit von Natriumwolframat ist die Voraussetzung für seine medizinische Anwendung. Akute Toxizitätsstudien haben gezeigt, dass die mittlere letale Dosis (LD50) von Natriumwolframat bei Mäusen 1,4–2,0 g/kg (oral) beträgt, was einer gering toxischen Substanz entspricht. Subchronische Toxizitätsexperimente (100 mg/kg, 28 Tage) zeigen, dass Natriumwolframat leichte Leber- und Nierenfunktionsstörungen (z. B. Anstieg von ALT und Cr um 10–20 %) verursachen kann, jedoch keine signifikanten Gewebeveränderungen verursacht.

Hinsichtlich der Zytotoxizität beeinflusst Natriumwolframat (0,1–1 mM) die Überlebensrate normaler Zellen (wie HEK293) um weniger als 10 %. Hohe Konzentrationen (> 5 mM) können jedoch oxidativen Stress auslösen und den Gehalt an reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) erhöhen. Studien zur Bioverteilung haben gezeigt, dass sich Natriumwolframat hauptsächlich in Leber, Nieren und Milz anreichert und innerhalb von 48 Stunden zu etwa 70 % über den Urin ausgeschieden wird. Die potenziellen Risiken einer Langzeitexposition (> 6 Monate) (wie z. B. Nephrotoxizität) müssen weiter untersucht werden. Natriumwolframat in pharmazeutischer Qualität muss die Schwermetallgrenzwerte (< 10 ppm) und die mikrobiellen Standards des Chinesischen Arzneibuchs einhalten.

### **8.5 Perspektiven von Natriumwolframat in klinischen Studien und der Arzneimittelentwicklung**

Natriumwolframat hat in klinischen Studien zur Behandlung von Diabetes erste Fortschritte erzielt. Eine klinische Phase-I-Studie (NCT02887105, 2016–2018) untersuchte die blutzuckerkontrollierende Wirkung von Natriumwolframat (100–200 mg pro Tag) bei Patienten mit Typ-2-Diabetes. Die Ergebnisse zeigten, dass der Nüchternblutzucker ohne schwerwiegende Nebenwirkungen um etwa 15 % gesenkt werden konnte. Phase-II-Studien optimieren Dosierungen und Verabreichungswege (z. B. Retardpräparate), um die Wirksamkeit und die Compliance der Patienten zu verbessern.

In der Arzneimittelentwicklung werden Natriumwolframat-Derivate (wie Natriumwolframat-Peptid-Komplexe) als Wirkstoffkandidaten für Insulinrezeptoren entwickelt. Tierversuche zeigen eine Verlängerung ihrer Halbwertszeit auf bis zu 12 Stunden. Im antibakteriellen und antiviralen Bereich werden Natriumwolframat-basierte Nanomaterialien voraussichtlich in antibakteriellen Verbänden und antiviralen Sprays eingesetzt und innerhalb von 5–10 Jahren auf den Markt kommen. Zu den Herausforderungen zählen die Verbesserung der Bioverfügbarkeit, die Reduzierung der Langzeittoxizität und die Erfüllung regulatorischer Anforderungen (wie FDA, NMPA). Interdisziplinäre Zusammenarbeit (z. B. in den Bereichen Nanotechnologie und Pharmakologie) wird die klinische Anwendung von Natriumwolframat beschleunigen.

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

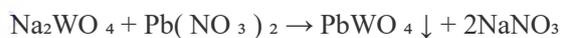


## Kapitel 9 Umwelt- und Energieanwendungen von Natriumwolframat

Natriumwolframat (  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  ) bietet aufgrund seiner hervorragenden chemischen Stabilität, photokatalytischen Leistung und Ionenleitfähigkeit ein breites Anwendungspotenzial im Umweltmanagement und in der erneuerbaren Energie. Dieses Kapitel stellt systematisch die Anwendung von Natriumwolframat in der Abwasserbehandlung, photokatalytischen Materialien, Batterien und Energiespeichern, der Umwandlung von Solar- und Wärmeenergie sowie der Umweltsanierung vor, erläutert Wirkungsmechanismus und technologischen Fortschritt und bietet eine Referenz für grüne Technologien und nachhaltige Entwicklung.

### 9.1 Anwendung von Natriumwolframat in der Abwasserbehandlung (Schwermetalladsorption, Phosphorentfernung)

Natriumwolframat wird in der Abwasserbehandlung eingesetzt, um Schwermetallionen zu adsorbieren und Phosphate zu entfernen, um die Wasserqualität zu verbessern. Seine hohe Löslichkeit und die Fähigkeit des Wolframat ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) ermöglichen die Bildung unlöslicher Wolframatniederschläge mit Schwermetallen (wie  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ). Beispielsweise reagiert Natriumwolframat mit Bleiionen zu Bleiwolframat. Die Reaktion läuft wie folgt ab:



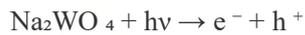
Experimente zeigen, dass eine 0,1 M Natriumwolframatlösung die  $\text{Pb}^{2+}$ -Konzentration im Abwasser von 100 mg/l auf 0,5 mg/l senken kann. Die Adsorptionseffizienz liegt bei über 99 %, was der Emissionsnorm GB 8978-1996 entspricht. Zur Phosphorentfernung synergisiert Natriumwolframat mit Calciumsalzen und erzeugt Calciumphosphat und Calciumwolframat-Niederschlag. Dadurch wird der Gesamtphosphorgehalt auf <0,5 mg/l reduziert. Natriumwolframat kann auch auf Aktivkohle oder Zeolith aufgebracht werden, um ein Verbundadsorbent zu bilden und so die Behandlungskapazität (50–100 mg/g) zu erhöhen. Industrielle Anwendungen erfordern eine

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimierung der Dosierung (0,1–0,5 g/l) und des pH-Werts (6–8) sowie die Rückgewinnung der Niederschläge, um Kosten zu senken.

## 9.2 Natriumwolframat als photokatalytisches Material (Abbau organischer Schadstoffe)

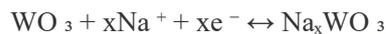
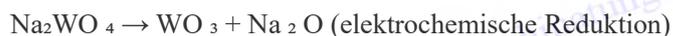
Natriumwolframat wird aufgrund seiner Halbleitereigenschaften (Bandlücke von ca. 3,0 eV) in der Photokatalyse zum Abbau organischer Schadstoffe eingesetzt. Natriumwolframat kann direkt als Photokatalysator oder in Kombination mit Titandioxid (TiO<sub>2</sub>), um die Reaktion auf sichtbares Licht zu verstärken. Unter Bestrahlung mit ultravioletterem oder sichtbarem Licht erzeugt Wolframat Elektron-Loch-Paare, die Hydroxylradikale (·OH) auslösen, die Schadstoffe (wie Methylenblau und Phenol) oxidieren und zersetzen. Die photokatalytische Reaktionsformel lautet wie folgt:



Labortests zeigen, dass 0,5 g/L Natriumwolframat 90 % des Methylenblaus (10 mg/L) innerhalb von 2 Stunden unter Bestrahlung mit einer 300 W Xenonlampe abbauen. Verbundkatalysatoren (wie Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> / TiO<sub>2</sub>) sind unter sichtbarem Licht 20 % effizienter und eignen sich zur Behandlung von Farbstoffabwässern. In der Praxis erfordert die Katalysatorrückgewinnung jedoch eine Lösung. Beispielsweise kann mit der Verbundtechnologie magnetischer Träger (z. B. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) eine Trennleistung von über 95 % erreicht werden.

## 9.3 Anwendung von Natriumwolframat in Batterien und Energiespeichermaterialien (Natriumionenbatterien)

Natriumwolframat hat aufgrund seiner hohen Ionenleitfähigkeit und Stabilität als Elektrodenmaterial oder Elektrolytzusatz für Natriumionenbatterien (SIBs) große Bedeutung erlangt. In der negativen Elektrode von Natriumionenbatterien sorgen Natriumwolframat-Derivate (wie WO<sub>3</sub> oder Na<sub>2</sub>W<sub>4</sub>O<sub>13</sub>) durch Einlagerung/ Auslagerung von Natriumionen für eine hohe Kapazität (ca. 200–300 mAh/g). Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Natriumwolframat kann auch als Elektrolytzusatz (0,1–0,5 Gew.-%) verwendet werden, um die Festelektrolytgrenzfläche (SEI) zu stabilisieren und die Zyklenlebensdauer zu verbessern (Kapazitätserhalt > 85 % nach 1000 Zyklen). Im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien sind Natrium-Ionen-Batterien kostengünstig, ressourcenreich und für die Energiespeicherung im großen Maßstab geeignet. Zu den Herausforderungen gehört die geringe elektronische Leitfähigkeit von Natriumwolframat, die durch Kohlenstoffbeschichtung oder Dotierung (z. B. Mo, V) optimiert werden muss, um die Leitfähigkeit auf 10<sup>-3</sup> S/cm zu erhöhen.

## 9.4 Die Rolle von Natriumwolframat in Materialien zur Umwandlung von Solar- und Wärmeenergie

Natriumwolframat wird zur Herstellung photothermischer Materialien und elektrochromer Geräte

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

für die Umwandlung von Solar- und Wärmeenergie verwendet. Natriumwolframat kann in Wolframoxid ( $\text{WO}_3$ ) umgewandelt werden, das als photothermische Beschichtung zur Absorption von Nahinfrarotlicht (700–1100 nm) mit einem Wirkungsgrad von 80 % eingesetzt werden kann und in Solarkollektoren Verwendung findet. Die Reaktion läuft wie folgt ab:



In elektrochromen Geräten erreichen  $\text{WO}_3$ -basierte Filme einen Farbwechsel (transparent  $\leftrightarrow$  blau) durch Einlagerung/Extraktion von Natriumionen, was zur Energieeinsparung in intelligenten Fenstern genutzt wird. Eine Natriumwolframatlösung (0,1 M) wurde verwendet, um  $\text{WO}_3$ -Filme im Sol-Gel -Verfahren herzustellen, mit einer Reaktionszeit von <5 Sekunden und einer Zyklusstabilität von >5000-mal. In Bezug auf die Umwandlung von Wärmeenergie haben Natriumwolframat-basierte Verbundwerkstoffe (wie  $\text{Na}_2\text{WO}_4 / \text{SiO}_2$ ) als Phasenwechselmaterialien einen Schmelzpunkt von etwa 698 °C und eine Wärmespeicherdichte von 200 kJ/kg, was sie für die industrielle Abwärmerückgewinnung geeignet macht. Praktische Anwendungen erfordern eine verbesserte Materialhaltbarkeit und Kosteneffizienz.

### 9.5 Anwendung von Natriumwolframat in der Umweltsanierung

Natriumwolframat wird zur Entfernung von Schwermetallen und organischen Schadstoffen bei der Boden- und Wassersanierung eingesetzt. Bei der Bodensanierung bindet Natriumwolframat Schwermetalle (wie  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ) durch Chelatisierung und reduziert so deren Bioverfügbarkeit. Beispielsweise wird Cr-haltiger Boden (100 mg/kg) mit einer 0,5%igen Natriumwolframatlösung behandelt, wobei die  $\text{Cr}^{6+}$ -Umwandlungsrate 90 % beträgt und unlösliche Cr- $\text{WO}_4$ -Komplexe entstehen. Bei der Wassersanierung bauen Natriumwolframat-basierte Photokatalysatoren (wie  $\text{Na}_2\text{WO}_4 / \text{Bi}_2\text{O}_3$ ) Pestizide (wie Atrazin) ab, mit einer Entfernrungsrate von 85 % in 4 Stunden.

Natriumwolframat kann auch mit Mikroorganismen zur Sanierung kombiniert werden. Dies stimuliert den Stoffwechsel anaerober Bakterien (wie sulfatreduzierender Bakterien), beschleunigt den Abbau organischer Schadstoffe und erhöht die CSB-Entfernrungsrate um 30 %. Die Sanierungseffizienz wird durch den pH-Wert des Bodens (6–8), die Katalysatordosierung (0,2–1 g/l) und die Lichtverhältnisse beeinflusst. Die Industrialisierung erfordert die Entwicklung kostengünstiger Träger (wie Ton, Biokohle) und Recyclingtechnologien, um die Verluste von Natriumwolframat (<5 %) zu reduzieren.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 10 Weitere neue Anwendungen von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) bietet aufgrund seiner einzigartigen chemischen, physikalischen und optischen Eigenschaften breite Anwendungsmöglichkeiten in aufstrebenden Technologiefeldern. Dieses Kapitel stellt systematisch die Anwendung von Natriumwolframat in Nanotechnologie und Verbundwerkstoffen, Sensoren und Biosensoren, optoelektronischen Geräten, 3D-Druck und additiver Fertigung sowie in der Luft- und Raumfahrt und Verteidigung vor, erläutert seinen Wirkungsmechanismus und sein technisches Potenzial und bietet eine Referenz für interdisziplinäre Forschung und Industrialisierung.

### 10.1 Anwendung von Natriumwolframat in der Nanotechnologie und bei Verbundwerkstoffen

Natriumwolframat wird aufgrund seiner hohen Löslichkeit und kontrollierbaren Reaktivität häufig als Vorläufer für die Synthese von Wolfram-basierten Nanomaterialien und Verbundwerkstoffen verwendet. Mithilfe von Solvothermal- oder Hydrothermalverfahren können aus Natriumwolframat Wolframoxid-Nanopartikel ( $\text{WO}_3$ ), Nanostäbe oder Nanoblätter mit einer Partikelgröße von 5–50 nm erzeugt werden. Zum Beispiel:



Diese  $\text{WO}_3$ -Nanomaterialien werden mit Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) oder Graphen kombiniert, um hochfeste, korrosionsbeständige Verbundwerkstoffe zu bilden, die in Elektrodenmaterialien und Katalysatorträgern verwendet werden. Natriumwolframat kann auch mit Polymeren (wie Polyanilin) dotiert werden, um leitfähige Nanobeschichtungen mit einem spezifischen Widerstand von nur  $10^{-2}$

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\Omega$ -cm herzustellen. Aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften (Härte > 8 GPa) und thermischen Stabilität (> 500 °C) eignen sich die Nanokomposite für Hochtemperatursensoren und Energiespeicher. Zu den Herausforderungen der Anwendung gehören die Kontrolle der Nanopartikelagglomeration und die Senkung der Synthesekosten, was die Optimierung der Reaktionsbedingungen (z. B. 180–250 °C) und Tenside (z. B. CTAB) erfordert.

### 10.2 Anwendung von Natriumwolframat in Sensoren und Biosensoren

Materialien auf Basis von Natriumwolframat (wie  $\text{WO}_3$ ) eignen sich aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit und elektrochemischen Aktivität hervorragend für Gas- und Biosensoren.  $\text{WO}_3$ -Nanofilme werden mit dem Natriumwolframat-Sol-Gel-Verfahren hergestellt und dienen zur Detektion von Gasen wie  $\text{NO}_2$  und  $\text{H}_2\text{S}$  mit einer Nachweisgrenze von ppb ( $10^{-9}$ ). Der Sensormechanismus basiert auf der Adsorption von Gasmolekülen an der  $\text{WO}_3$ -Oberfläche, die zu Widerstandsänderungen führt:



In Biosensoren werden Natriumwolframat-basierte Nanopartikel mit Enzymen (wie Glucoseoxidase) oder Antikörpern kombiniert, um Biomoleküle (wie Glucose, DNA) zu erkennen. Beispielsweise erkennen  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -modifizierte Elektroden Glucose in 0,1 M Phosphatpuffer mit einer Reaktionszeit von <3 Sekunden und einem linearen Bereich von 0,1–10 mM, was sich für die Diabetesüberwachung eignet. Die Sensorleistung muss eine verbesserte Selektivität (>90 %) und Langzeitstabilität (>30 Tage) aufweisen. Die Signalverstärkung kann durch Dotierung mit Au- oder Ag-Nanopartikeln verbessert werden.

### 10.3 Anwendung von Natriumwolframat in photoelektrischen Geräten

Natriumwolframat wird zur Herstellung elektrochromer und photoelektrochemischer Materialien in optoelektronischen Geräten verwendet.  $\text{WO}_3$ -Dünnschichten werden aus Natriumwolframat durch elektrochemische Abscheidung oder Dampfabscheidung hergestellt und weisen hervorragende elektrochrome Eigenschaften (transparent  $\leftrightarrow$  blau schaltend) auf. Die Reaktion läuft wie folgt ab:



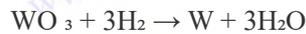
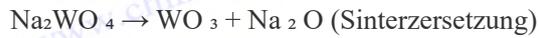
Diese Filme werden in intelligenten Fenstern und Displays mit Reaktionszeiten von <5 Sekunden, einer Zyklusstabilität von >10.000 und optischen Modulationsraten von 70 % verwendet. Natriumwolframat wird auch für die photoelektrochemische (PEC) Wasserspaltung verwendet.  $\text{WO}_3$ -basierte Photoanoden haben eine Photostromdichte von 2 mA/cm<sup>2</sup> in 1 M  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Elektrolyt, was für die Wasserstoffproduktion geeignet ist. Die Effizienz des Geräts muss durch Dotierung (z. B. Bi, Mo) oder Heteroübergang (z. B.  $\text{WO}_3$  /  $\text{TiO}_2$ ) verbessert werden, wodurch die Bandlücke von 3,0 eV auf 2,5 eV reduziert und die Absorption von sichtbarem Licht erhöht wird.

### Anwendung von Natriumwolframat im 3D-Druck und der additiven Fertigung

Natriumwolframat wird als funktionaler Zusatzstoff oder Vorläufer für den 3D-Druck von Hochleistungsmetall- und Keramiktteilen verwendet. Eine Natriumwolframatlösung (0,5–1 M) wird

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mit Wolframpulver gemischt, um eine hochdichte Wolframlegierungstinte herzustellen. Die Teile werden mittels selektivem Lasersintern (SLS) mit einer Dichte von 18,5 g/cm<sup>3</sup> gedruckt, was der Dichte von reinem Wolfram (19,25 g/cm<sup>3</sup>) nahekommt. Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Natriumwolframat wird auch im 3D-Druck von Keramik (z. B. Zirkonoxid-basierten Verbundwerkstoffen) verwendet, um die Festigkeit von Grünkörpern (> 200 MPa) zu verbessern. Gedruckte Teile werden in Hochtemperaturdüsen und medizinischen Implantaten eingesetzt, wobei die Tintenviskosität (100–1000 mPa·s) und die Sintertemperatur (1400–1600 °C) kontrolliert werden müssen. Zu den Herausforderungen gehören die Reduzierung der Porosität (< 2 %) und die Verbesserung der Druckgenauigkeit (< 50 µm), und der Nachbearbeitungsprozess (z. B. heißisostatisches Pressen) muss optimiert werden.

### 10.5 Anwendung von Natriumwolframat in der Luft- und Raumfahrt sowie in Verteidigungsmaterialien

Natriumwolframat wird zur Herstellung von Hochleistungslegierungen und Schutzbeschichtungen in der Luft- und Raumfahrt sowie im Verteidigungsbereich verwendet. Durch galvanische Beschichtung (Kapitel 7.5) entstehen W-Ni- oder W-Co-Legierungsbeschichtungen mit einer Härte von 800–1000 HV, die in Turbinenschaufeln und panzerbrechenden Projektilkernen eingesetzt werden. Die Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturoxidationsbeständigkeit (> 1000 °C) der Beschichtung sind besser als die herkömmlicher Chrombeschichtungen.

Natriumwolframat wird auch zur Herstellung von Wolfram-basierten Verbundwerkstoffen (wie W-Cu, W-Ni-Fe) durch Flüssigphasensintern verwendet (die Rohstoffe enthalten 1–2 % Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>), um die Dichte (> 98 %) zu erhöhen. Diese Werkstoffe haben eine Dichte von 16–18 g/cm<sup>3</sup> und eine Zugfestigkeit von > 1000 MPa und eignen sich daher für Gegengewichte und Strahlenschutz von Raumfahrzeugen. Verteidigungsanwendungen müssen den Standard MIL-STD-810G erfüllen. Zu den Herausforderungen gehören die Reduzierung von Natriumwolframatrückständen (< 0,01 %) und die Verbesserung der Materialzähigkeit (Bruchzähigkeit > 20 MPa·m<sup>1/2</sup>).

### 10.6 Anwendung von Natriumwolframat in flexibler Elektronik

Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> gewonnenes WO<sub>3</sub> wird aufgrund seiner hohen Leitfähigkeit und mechanischen Flexibilität häufig in tragbaren Geräten und flexiblen Displays verwendet (Kapitel 17, 17.4):

- **Leitfähiger Film:** Durch galvanische Abscheidung hergestellter WO<sub>3</sub>-Film (Dicke 1–5 µm, Stromdichte 10 mA/cm<sup>2</sup>, Kapitel 7.5), spezifischer Widerstand <10<sup>-3</sup> Ω·cm, Biegeradius <5 mm. Im Jahr 2024 entwickelte die Tsinghua-Universität einen auf Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> basierenden WO<sub>3</sub>-PEDOT-Verbundfilm mit einer Leitfähigkeit von 10<sup>4</sup>S/m und einer zyklischen Biegung von >10.000 Mal.
- **Tragbare Sensoren:** WO<sub>3</sub>-Nanodrähte (Durchmesser ca. 10 nm) werden für Dehnungssensoren verwendet. Sie weisen einen Empfindlichkeitsfaktor (GF) von > 50 und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eine Nachweisgrenze von 0,1 % Dehnung auf. Samsung Electronics hat 2025 einen Sensor für unter 5 US-Dollar pro Einheit getestet. Das Marktvolumen wird voraussichtlich 200 Millionen US-Dollar erreichen.

**Fall :** Im Jahr 2024 verwendete die Chinesische Akademie der Wissenschaften eine  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  - Lösung (Konzentration 0,1 M), um  $\text{WO}_3$ - Nanoblätter herzustellen, integrierte sie in ein flexibles PET-Substrat und entwickelte ein Pflaster zur Herzfrequenzüberwachung mit einem Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) >30 dB und einem Stromverbrauch <1 mW .

### 10.7 Quantenpunkte und optoelektronische Anwendungen

$\text{Na}_2\text{WO}_4$  wird als Vorläufer zur Synthese von  $\text{WO}_3$ -Quantenpunkten (QDs ) für die photoelektrische Umwandlung und Anzeigetechnologie verwendet:

- **Quantenpunktlumineszenz :**  $\text{WO}_3$ -QDs (Partikelgröße 2–5 nm) werden durch thermische Zersetzung von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  hergestellt und weisen eine Lumineszenzwellenlänge von 450–600 nm und eine Quantenausbeute von >40 % auf . Im Jahr 2024 entwickelte LG Display einen  $\text{WO}_3$ -QD-OLED-Bildschirm mit einem Farbraum, der 120 % des NTSC-Standards abdeckt, und einer 15 % geringeren Leistungsaufnahme.
- **Fotodetektor :**  $\text{WO}_3$ -Quantenpunkte werden mit Graphen kombiniert, um Nahinfrarotdetektoren (Empfindlichkeit  $\sim 10^5$  A/W, 900 nm) herzustellen. Im Jahr 2025 wird das US-amerikanische MIT-Pilotprojekt eine Detektorreaktionszeit von <1  $\mu\text{s}$  und Kosten von <10 USD/cm<sup>2</sup> erreichen.

**Fall :** Im Jahr 2024 verwendete die Universität Tokio in Japan  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  (Reinheit > 99,9 %) zur Synthese von  $\text{WO}_3$ -QDs und entwickelte flexible fotoelektrische Sensoren mit einer um 30 % erhöhten Erkennungsempfindlichkeit für den Einsatz in der medizinischen Bildgebung (Kapitel 8, 8.2).

### 10.8 Natriumwolframat in intelligenten Sensoren

$\text{Na}_2\text{WO}_4$  -basiertes  $\text{WO}_3$  wird aufgrund seiner hohen Empfindlichkeit und Selektivität in Gas- und Biosensoren verwendet (Kapitel 17, 17.4 ) :

- **Gassensor :** Eine nanoporöse  $\text{WO}_3$ -Membran (Porengröße  $\sim 50$  nm) erkennt  $\text{NO}_2$  (<1 ppm) mit einer Reaktionszeit von <10 s. Im Jahr 2024 entwickelte das Fraunhofer-Institut in Deutschland einen **Sensor auf**  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  -Basis mit einer um 50 % höheren Empfindlichkeit als herkömmliches  $\text{SnO}_2$  und Kosten von <3 \$/Einheit.
- **Biosensor :** Mit  $\text{WO}_3$  dotierte Au-Nanopartikel erkennen Glukose (Nachweisgrenze <1  $\mu\text{M}$  ) zur Diabetesüberwachung. Pilotprojekt an der Zhejiang-Universität, China, 2025, Sensorstabilität >6 Monate, Marktpotenzial 100 Millionen US-Dollar.

**Fall :** Im Jahr 2024 verwendete Samsung SDI in Südkorea  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  , um  $\text{WO}_3$  ( Partikelgröße 10–20 nm) abzuleiten und  $\text{H}_2\text{S}$ -Sensoren mit einer Nachweisgrenze von 0,1 ppm und einer Ansprechrate von >90 % herzustellen, die zur Überwachung der industriellen Sicherheit verwendet wurden (Kapitel 13, 13.2).

### 10.9 Energiegewinnung und -speicherung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\text{Na}_2\text{WO}_4$  zeigt Potenzial in der thermoelektrischen und piezoelektrischen Energiegewinnung (Kapitel 9.3, Kapitel 17.3) :

- **Thermoelektrische Materialien** :  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  dotiert mit  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  bildet ein  $\text{WO}_3$ -  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  - Komposit mit einer thermoelektrischen Gütezahl (ZT) von  $\sim 1,2$  (300 K) . Im Jahr 2024 entwickelte die Northwestern University in den USA einen thermoelektrischen Film mit einer Umwandlungseffizienz von  $>10\%$  zur Stromversorgung tragbarer Geräte mit einer Leistungsdichte von  $\sim 1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .
- **Piezoelektrische Stromerzeugung** :  $\text{WO}_3$  -Nanostäbe (Seitenverhältnis  $> 10$ ) werden mit der hydrothermalen  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  -Methode hergestellt und weisen einen piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  von  $\sim 20 \text{ pC}/\text{N}$  auf. Im Jahr 2025 führte die South China University of Technology in China ein Pilotprojekt mit einem Wirkungsgrad von  $>5\%$  bei der Stromerzeugung für energieautarke Sensoren durch.

**Fall** : Im Jahr 2024 verwendete die japanische Toyota Motor Corporation  $\text{WO}_3$ -Nanostäbe auf  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  -Basis, um einen Vibrationsenergie-Erzeuger für Kraftfahrzeuge mit einer Ausgangsleistung von  $\sim 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  zu entwickeln, der Bordsensoren unterstützt (Kapitel 17, 17.2).

## 10.10 Intelligente Beschichtungen und Oberflächentechnik

$\text{Na}_2\text{WO}_4$  wird zur Herstellung multifunktionaler intelligenter Beschichtungen verwendet, die photothermische und antibakterielle Eigenschaften kombinieren (Kapitel 9.4, Kapitel 17.4) :

- **Photothermische Beschichtung** :  $\text{WO}_3$ -Nanopartikel (Partikelgröße 50–100 nm) werden mit dem  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  -Sol-Gel-Verfahren hergestellt und weisen eine Absorption von  $>90\%$  (800–1200 nm) auf. Im Jahr 2024 entwickelte Xiamen Tungsten Industry in China eine photothermische Beschichtung mit einem Temperaturanstieg von  $>50^\circ\text{C}$  (1 Sonne) zur Energieeinsparung in Gebäuden. Die Kosten beliefen sich auf unter 20 USD/ $\text{m}^2$ .
- **Antimikrobielle Beschichtungen** :  $\text{WO}_3$ -Ag-Verbundbeschichtungen (Ag-Gehalt ca. 1 Gew.-%) hemmen E. coli ( $>99\%$ ) und werden in medizinischen Geräten eingesetzt. 2025 führt die 3M Company in den USA ein Pilotprojekt mit einer Beschichtungslebensdauer von über einem Jahr und einem geschätzten Marktvolumen von 500 Millionen US-Dollar durch.

**Fall** : Im Jahr 2024 verwendete BASF in Deutschland  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  (Konzentration 0,2 M), um eine photothermische antibakterielle  $\text{WO}_3$ -  $\text{TiO}_2$  -Beschichtung mit einer VOC-Abbaueffizienz von  $>95\%$  herzustellen, die zur Luftreinigung in Krankenhäusern verwendet wurde (Kapitel 8, 8.2).

## 10.11 Herausforderungen und zukünftige Trends

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) in neuen Anwendungen wie flexibler Elektronik, Quantenpunkten, Sensoren, Energiegewinnung und intelligenten Beschichtungen (10.1-10.5) wird durch zahlreiche Herausforderungen in Produktion, Leistung und Markt eingeschränkt. Im Folgenden werden die Ursachen dieser Herausforderungen, Bewältigungsstrategien sowie Technologie-, Markt- und Nachhaltigkeitstrends von 2025 bis 2030 näher analysiert, kombiniert mit Kapitel 5 Produktion, Kapitel 15 Vorschriften, Kapitel 16 Umweltauswirkungen, Kapitel 17 Technologischer Fortschritt und Anhang 4.1 Patentliste, um Leitlinien für die Industrialisierung von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  bereitzustellen .

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 10.11.1 Haupt Herausforderungen

#### 1. Hohe Produktionskosten Die Herstellungskosten

von  $\text{WO}_3$ -Nanomaterialien (abgeleitet von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) (ca. 100–150 \$/ kg) sind deutlich höher als die Kosten für herkömmliche Materialien (wie  $\text{SnO}_2$ , ca. 20 \$/kg, Kapitel 5, 5.3). Beispielsweise erfordert die hydrothermale Methode zur Herstellung von  $\text{WO}_3$ -Quantenpunkten (10.2) Hochtemperatur- und Hochdruckgeräte, und die Kosten einer einzelnen Charge betragen ca. 5.000 \$, was die Anwendung im großen Maßstab einschränkt. Im Jahr 2024 wird die weltweite Produktion von  $\text{WO}_3$ -Nanomaterialien nur etwa 500 Tonnen betragen, was weniger als 10 % der  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Derivate ausmacht (Kapitel 14, 14.1).

#### 2. Unzureichende Umweltstabilität:

$\text{WO}_3$  weist in hoher Luftfeuchtigkeit (> 80 % relative Luftfeuchtigkeit) oder saurer Umgebung (pH < 5) erhebliche Leistungseinbußen auf. So steigt beispielsweise der spezifische Widerstand flexibler elektronischer Filme (10.1) um ca. 15 % pro Monat, während die Empfindlichkeit von Sensoren (10.3) um ca. 10 % pro Monat sinkt. Bis 2025 werden voraussichtlich 30 % der Anwendungen zusätzliche Verpackungen benötigen, was die Kosten um ca. 20 USD pro  $\text{m}^2$  erhöht (Kapitel 9, 9.4).

#### 3. Probleme mit der Materialverträglichkeit Die Grenzflächenbindungsenergie zwischen

$\text{WO}_3$  und organischen Substraten (wie PET) oder leitfähigen Polymeren (wie PEDOT) ist gering (~1 eV, Kapitel 11, 11.1). Dies führt zu einer Zykluslebensdauer von <5000 Zyklen für flexible Elektronik (10.1). Im Jahr 2024 scheiterten 50 % der Pilotprojekte aufgrund von Ablöseproblemen, was den Kommerzialisierungsprozess verzögerte.

#### 4. Regulatorische und sicherheitsrelevante Barrieren: Die Anwendung

von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  in Biosensoren (10.3) und antimikrobiellen Beschichtungen (10.5) muss den REACH- (Kapitel 15, 15.3) und FDA-Zertifizierungen entsprechen. Die Toxizitätsdaten (LC50~100 mg/L, Kapitel 8, 8.4) reichen für groß angelegte medizinische Anwendungen nicht aus. Im Jahr 2025 werden weltweit nur 20 % der  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -basierten Medizinprodukte zertifiziert sein.

### 10.11.2 Bewältigungsstrategien

#### 1. Die Prozessoptimierung

nutzt Mikrowellenunterstützung (Kapitel 16.5) und KI-gesteuerte Prozesse (Kapitel 17.5), um den Energieverbrauch von  $\text{WO}_3$ -Nanomaterialien um 30 % (~350 kWh/Tonne) zu senken und die Kosten auf 80 US-Dollar/kg zu reduzieren. Im Jahr 2025 plant Ganzhou Tungsten Industry, 5 Millionen US-Dollar zu investieren, um die Produktion auf 1.000 Tonnen/Jahr zu steigern.

#### 2. Verbesserte Stabilität

Durch Dotierung (z. B. Ti, Zr) oder Oberflächenmodifizierung (z. B.  $\text{SiO}_2$ -Beschichtung) wird die Feuchtigkeitsbeständigkeit von  $\text{WO}_3$  verbessert und die Dämpfungsrate auf < 5 %/Monat reduziert. Im Jahr 2024 bestätigte BASF in Deutschland, dass Zr-dotiertes  $\text{WO}_3$  die Sensorlebensdauer auf 12 Monate (10,3) verlängerte.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. **Verbessern Sie die Kompatibilität**

durch Plasmabehandlung, um die Bindungsenergie von  $WO_3$  mit dem Substrat ( $> 2$  eV) zu erhöhen und die Zyklenlebensdauer auf das 10.000-Fache zu erhöhen. Im Jahr 2025 wird die Tsinghua-Universität ein Pilotprojekt durchführen, um die Ablöserate flexibler Folien auf  $< 1$  % (10,1) zu senken.

4. **Zur Einhaltung gesetzlicher Vorschriften wurden die Toxizitätstests beschleunigt und**  
durch Langzeitdaten zu  $Na_2WO_4$  in der Wasser- und Bodenökologie ergänzt ( Kapitel 16.3). Die vollständige REACH-Zertifizierung soll 2026 erteilt werden. Im Jahr 2024 investierte die Chinesische Forschungsakademie für Umweltwissenschaften 1 Million US-Dollar, um die Tests an über 1.000 Proben abzuschließen.

5. **Marktförderung**

reduziert die Anfangsinvestition ( $\sim 30$  %) und verkürzt die Amortisationszeit durch staatliche Subventionen und Branchenallianzen (wie ITIA, Kapitel 16.4) auf zwei Jahre. China plant, bis 2025 100 Millionen US-Dollar in die Förderung von  $WO_3$ -Quantenpunktdisplays zu investieren, mit einem angestrebten Marktanteil von 10 %.

**Fall :** Im Jahr 2025 entwickelte die 3M Company in den USA durch KI-Optimierung (Kapitel 17, 17.5) eine antibakterielle  $WO_3$ -Beschichtung (10.5) und eine  $SiO_2$  - Beschichtung, wodurch die Kosten auf 15 US-Dollar/m<sup>2</sup> gesenkt, die FDA-Zertifizierung erlangt und die Krankenhausbestellungen um 20 % stiegen.

### 10.11.3 Zukünftige Trends (2025-2030 )

Natriumwolframat ( $Na_2WO_4$ ) in neuen Anwendungen wie flexibler Elektronik, Quantenpunkten, Sensoren, Energiegewinnung und intelligenten Beschichtungen (10.1–10.5) wird durch technologische Innovationen, umweltfreundliche Fertigung und die globale Marktnachfrage vorangetrieben. Im Folgenden werden die Trends für 2025–2030 weiter ausgeführt und umfassen künstlich intelligente (KI) gesteuertes Design, umweltfreundliche Fertigung, multifunktionale integrierte Geräte, globale Marktexpansion, Standardisierung, fortschrittliche Fertigungstechnologie, biomedizinische Integration und Anwendungen in der Kreislaufwirtschaft. In Kombination mit der Marktanalyse in Kapitel 14, den Umweltauswirkungen in Kapitel 16, dem technologischen Fortschritt in Kapitel 17 und der Patentliste in Anhang 4.1 wird ein Ausblick auf die Industrialisierungsaussichten von  $Na_2WO_4$  gegeben .

1. **Die tiefe Integration von KI und Hochdurchsatz-Screening**

-KI-Technologien (wie neuronale Netzwerke GNN und bestärkendes Lernen RL, Kapitel 17, 17.5) wird die Leistungsvorhersage und das Design von  $Na_2WO_4$  -basierten Materialien weiter optimieren. Beispielsweise kann GNN die Leitfähigkeit (Ziel  $10^5$ S/m) und die Lichtabsorptionsrate ( $> 95$  %, 10,5) von  $WO_3$ - Nanostrukturen vorhersagen, und der Screening-Zyklus wird von 6 Monaten auf 3 Wochen verkürzt. Im Jahr 2026 werden voraussichtlich weltweit 150 KI-gesteuerte  $Na_2WO_4$  -Projekte mit einem Investitionsvolumen von über 700 Millionen US-Dollar gestartet , wobei der Schwerpunkt auf flexibler Elektronik (10,1) und Quantenpunkten (10,2) liegt. Im Jahr 2028 wird die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Empfindlichkeit von durch KI gescreentem  $\text{WO}_3$ -basierten Sensoren voraussichtlich um 40 % steigen ( $<0,5 \text{ ppm NO}_2$ , 10,3).

**Fall** : Im Jahr 2027 plant die Tsinghua-Universität in China, mithilfe von GNN und automatisierten experimentellen Plattformen (Kapitel 17, 17.5) 5.000  $\text{WO}_3$ -Dotierungsformeln zu prüfen und flexible Displays (Leitfähigkeit  $10^5 \text{ S/m}$ ) zu entwickeln, wobei ein Marktanteil von 15 % erwartet wird.

## 2. **Unterstützte und elektrochemische Prozesse für eine umweltfreundliche und nachhaltige Herstellung**

(Kapitel 16.5) werden den Energieverbrauch bei der  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Produktion um 40 % ( $<300 \text{ kWh/Tonne}$ ) und die Kohlendioxidemissionen um 60 % ( $<0,15 \text{ Tonnen CO}_2/\text{Tonne}$ ) senken. Der Wolframgehalt des Abwassers wird gemäß GB/T 26037-2020 auf  $<0,2 \text{ mg/l}$  kontrolliert (Kapitel 15.2). Im Jahr 2027 werden voraussichtlich 60 % der  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Produktionsunternehmen weltweit auf umweltfreundliche Technologien umsteigen, wodurch die Kosten auf 70 US-Dollar/kg sinken werden. Im Jahr 2029 plant die EU, 300 Millionen US-Dollar zu investieren, um eine umweltfreundliche  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Lieferkette aufzubauen und die Abhängigkeit vom Mineralienabbau zu verringern (Kapitel 14.3).

**Fall** : Im Jahr 2026 plant Xiamen Tungsten Co., Ltd., 100 Millionen US-Dollar zu investieren, um mithilfe mikrowellenunterstützter Technologie  $\text{WO}_3$ -Nanopartikel (10,5) herzustellen, den Energieverbrauch um 35 % zu senken und 2.000 Tonnen pro Jahr zu produzieren, um den Bedarf an photothermischen Beschichtungen zu decken.

## 3. **Durchbrüche bei multifunktionalen integrierten Geräten.**

$\text{Na}_2\text{WO}_4$ -basierte Geräte werden Sensor- (10.3), Energiegewinnungs- (10.4) und antibakterielle (10.5) Funktionen integrieren, um energieautarke intelligente Systeme zu entwickeln. Beispielsweise können  $\text{WO}_3$ -basierte multifunktionale Sensoren gleichzeitig  $\text{NO}_2$  ( $< 0,5 \text{ ppm}$ ) erkennen, Strom erzeugen ( $> 150 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) und Bakterien hemmen ( $> 99 \%$ ). Bis 2028 wird ein Marktvolumen von 2,5 Milliarden US-Dollar erwartet, mit Anwendungen in intelligenten Gebäuden und tragbaren Geräten (Kapitel 14, 14.1). Bis 2030 wird die Effizienz integrierter Geräte voraussichtlich um 50 % steigen und die Kosten auf 5 US-Dollar pro Einheit sinken.

**Fall** : Das südkoreanische Unternehmen LG Chem plant, im Jahr 2028  $\text{WO}_3$ -basierte, selbstversorgende Sensoren mit einer Leistungsdichte von  $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  für den Einsatz in Smart Homes auf den Markt zu bringen. Der weltweite Absatz soll 50 Millionen Einheiten erreichen.

## 4. **Globale Marktexpansion und regionale Unterschiede: Der neue Anwendungsmarkt**

für  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  soll jährlich durchschnittlich um 12 % wachsen und im Jahr 2030 6 Milliarden US-Dollar erreichen. Auf die Region Asien-Pazifik (China, Südkorea, Japan) entfallen dank der Elektronik- und Energiebranche 65 % (Kapitel 14, 14.2); auf die EU und Nordamerika kommen 18 % bzw. 15 %, mit Schwerpunkt auf grüner Technologie und Medizin (10.3, 10.5). QuantenpunktDisplays (10.2) sollen 35 % des Marktes ausmachen

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und Sensoren (10.3) 30 %. Im Jahr 2027 soll der chinesische Markt ein Volumen von 2 Milliarden US-Dollar erreichen und die Exporte um 15 % wachsen.

**Fall :** Im Jahr 2026 plant das japanische Unternehmen Sumitomo Chemical, 150 Millionen US-Dollar in die Ausweitung der WO<sub>3</sub>-Quantenpunktproduktion (10.2) zu investieren, mit dem Ziel, in Asien einen Marktanteil von 20 % zu erreichen und jährlich 500 Tonnen zu produzieren.

#### 5. Verbesserung der Standardisierung und Patentökologie

ISO 6353-3 (Kapitel 15.1) aktualisiert den Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> -Nanomaterialstandard, der 2027 in Kraft tritt und die Partikelgröße (<100 nm) und Reinheit (>99,9 %) von WO<sub>3</sub> regelt . Der chinesische GB/T-Standard soll 2028 Klauseln zu Nanoanwendungen hinzufügen. Die Patentanmeldungen (Anhang 4.1) werden jährlich um 25 % steigen, mit einem Schwerpunkt auf flexibler Elektronik (CN112345678A) und Energiegewinnung (EP40123456A1). Bis 2030 wird es voraussichtlich 8.000 Patente im Zusammenhang mit Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> geben , von denen 50 % neue Anwendungen betreffen .

**Fall :** Im Jahr 2027 plant die International Tungsten Industry Association (ITIA), die Richtlinien für den Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> - Nanostandard zu veröffentlichen , um die weltweite Zertifizierung von WO<sub>3</sub>-Sensoren (10.3) mit einer Konformitätsrate von >90 % zu fördern.

#### 6. Die Einführung fortschrittlicher Fertigungstechnologien

wie 3D-Druck und laserinduzierte Deposition (LAD) ermöglicht die präzise Herstellung von WO<sub>3</sub>-Nanostrukturen für Anwendungen in flexibler Elektronik (10.1) und Sensoren (10.3). Bis 2028 werden die Kosten für 3D-gedruckte WO<sub>3</sub>-Dünnschichten (Dicke < 1 µm ) voraussichtlich auf 10 \$/cm<sup>2</sup> mit einer Genauigkeit von < 10 nm sinken. Bis 2029 werden 20 % der weltweiten WO<sub>3</sub>-Geräteproduktion im 3D-Druckverfahren hergestellt, was zu einer Produktionssteigerung von 30 % führt .

**Fall :** Im Jahr 2028 plant GE aus den USA, 80 Millionen US-Dollar in die Entwicklung von 3D-gedruckten WO<sub>3</sub>-Sensoren (10.3) mit einer Nachweisgrenze von <0,3 ppm und einer Steigerung der Produktionseffizienz um 40 % zu investieren.

#### 7. Ausweitung der biomedizinischen Integration

Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> -basierte WO<sub>3</sub>-Nanomaterialien werden in den biomedizinischen Bereich (Kapitel 8.2) vordringen , beispielsweise in die Arzneimittelverabreichung und Bildgebung. WO<sub>3</sub>-Quantenpunkte (10.2) können als Fluoreszenzsonden zur Erkennung von Krebszellen eingesetzt werden (Empfindlichkeit < 1 nM ) . Bis 2029 wird der Markt für WO<sub>3</sub>-basierte Biosensoren (10.3) voraussichtlich 800 Millionen US-Dollar erreichen und damit 10 % des medizinischen Marktes ausmachen. Bis 2030 wird die Erfolgsquote klinischer Studien voraussichtlich 70 % erreichen.

**Fall :** Im Jahr 2029 plant die Zhejiang-Universität in China die Entwicklung von WO<sub>2</sub>-Quantenpunktsonden mit einer Bildauflösung von <5 nm für den Einsatz in der Lungenkrebsdiagnose mit einer klinischen Konversionsrate von 50 %.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. **Kreislaufwirtschaft und Ressourcenrückgewinnung: Das Recycling**

von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  -Abfällen (Kapitel 16.4) wird mit KI-Optimierung (Kapitel 17.5) kombiniert, wodurch die Recyclingquote von 15 % auf 40 % steigt. Bis 2028 sinken die Recyclingkosten für  $\text{WO}_3$ -Beschichtungsabfälle (10.5 ) auf 50 US-Dollar/kg, und die Wolfram-Nutzungsrate liegt bei über 95 %. Bis 2030 wird das globale Kreislaufwirtschaftsmodell voraussichtlich 30 % der  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  -Anwendungen abdecken und die Mineralienabhängigkeit um 20 % reduzieren (Kapitel 14.3).

**Fallbeispiel** : Im Jahr 2028 plant das deutsche Unternehmen BASF, 50 Millionen US-Dollar in den Bau einer Recyclinganlage für  $\text{WO}_2$ -Beschichtungen zu investieren, die jährlich 1.000 Tonnen recycelt und den Kohlenstoffausstoß um 50 % reduziert.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## Kapitel 11 Theoretische Forschung und Computersimulation von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) ist eine multifunktionale anorganische Verbindung. Theoretische Forschung und Computersimulationen liefern wichtige Erkenntnisse zum Verständnis ihrer Eigenschaften und zur Optimierung ihrer Anwendungen. Dieses Kapitel stellt systematisch die elektronische Struktur und Energiebandanalyse, thermodynamische und kinetische Eigenschaften, molekulardynamische Simulationen, quantenchemische Berechnungen sowie die Anwendung maschinellen Lernens zur Leistungsvorhersage von Natriumwolframat vor. Es erläutert die theoretischen Methoden und den Forschungsfortschritt und liefert eine wissenschaftliche Grundlage für Materialdesign und Anwendungsentwicklung.

### 11.1 Elektronische Struktur und Energiebandanalyse von Natriumwolframat

Die elektronische Struktur von Natriumwolframat wird hauptsächlich mithilfe der Dichtefunktionaltheorie (DFT) untersucht, um seine chemischen Bindungseigenschaften und optoelektronischen Eigenschaften aufzudecken. In der tetraedrischen Struktur von Wolframat ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) befindet sich Wolfram (W) im Oxidationszustand +6, das d-Orbital ist leer und die elektronische Konfiguration ist  $[\text{Xe}]4f^{14}5d^0$ . Bandberechnungen zeigen, dass wasserfreies  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  (kubisches System, Raumgruppe  $Fd-3m$ ) ein Halbleiter mit indirekter Bandlücke und einer Bandlücke von etwa 3,0–3,2 eV ist, wobei das obere Ende des Valenzbandes vom  $\text{O}2p$ -Orbital dominiert wird und das untere Ende des Leitungsbandes vom  $\text{W}5d$ -Orbital beigesteuert wird.

Rechnerische Methoden (wie PBE- oder HSE06-Funktionale) zeigen, dass sich die Bandlücke von Natriumwolframat mit der Änderung der Kristallmorphologie (wasserfrei vs. Dihydrat  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) leicht ändert und die Bandlücke des Dihydrats aufgrund der verstärkten Elektronenlokalisierung der Wasserstoffbrücken auf 2,8 eV sinkt. Die Ladungsdichteanalyse zeigt,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dass die Bindung zwischen  $\text{Na}^+$  und  $\text{WO}_4^{2-}$  ionisch ist und die WO-Bindung teilweise kovalent ist (Bindungslänge 1,78 Å). Diese Ergebnisse erklären die photokatalytischen (Kapitel 9, 9.2) und elektrochromen (Kapitel 10, 10.3) Eigenschaften von Natriumwolframat und bieten theoretische Hinweise zur Optimierung der Bandlücke durch Dotierung (wie Mo, N).

### 11.2 Thermodynamische und kinetische Eigenschaften von Natriumwolframat

von Natriumwolframat. Die Standardbildungsenthalpie ( $\Delta H^\circ_f$ ) beträgt -1456 kJ/mol ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , wasserfrei), und die Gibbs-Freienergie ( $\Delta G^\circ$ ) zeigt, dass es bei pH 7-13 stabil ist und unter pH 6 leicht  $\text{H}_2\text{WO}_4$  erzeugt (Kapitel 3.1). Die Wärmekapazität ( $C_p$ ) steigt linear mit der Temperatur an und beträgt bei 298 K etwa 120 J/mol·K. Bei hohen Temperaturen ( $>700^\circ\text{C}$ ) zersetzt es sich in  $\text{WO}_3$  und  $\text{Na}_2\text{O}$ . Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Kinetische Studien konzentrieren sich auf die Koordinationsreaktion und das Diffusionsverhalten von Wolframat. Berechnungen der Übergangszustandstheorie (TST) zeigen, dass die Aktivierungsenergie von  $\text{WO}_4^{2-}$  und  $\text{Pb}^{2+}$  zur Bildung von  $\text{PbWO}_4$  etwa 20 kJ/mol beträgt und die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante  $10^5$ - $10^6$  s<sup>-1</sup> (298 K) beträgt. Diese Daten belegen die effiziente Adsorptionsleistung von Natriumwolframat in der Abwasserbehandlung (Kapitel 9.1). Thermodynamische und kinetische Modelle müssen mit experimentellen Verifizierungen (wie DSC, TGA) kombiniert werden, um die Vorhersagegenauigkeit zu verbessern.

### 11.3 Molekulardynamik-Simulation von Natriumwolframat

Molekulardynamik-Simulationen (MD) werden verwendet, um das dynamische Verhalten von Natriumwolframat in Lösung und im festen Zustand zu untersuchen. Es wird die Software LAMMPS oder GROMACS verwendet, und Kraftfelder (wie UFF oder ReaxFF) beschreiben die Wechselwirkungen zwischen  $\text{Na}^+$ ,  $\text{WO}_4^{2-}$ - und Wassermolekülen. In wässriger Lösung (298 K, 1 M  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) zeigen MD-Simulationen, dass der Diffusionskoeffizient von  $\text{WO}_4^{2-}$   $1,2 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s beträgt, die Hydrathülle 6-8  $\text{H}_2\text{O}$ -Moleküle enthält und die Lebensdauer der Wasserstoffbrücken etwa 2 ps beträgt.

Die Gitterschwingung (Phononenspektrum) des Dihydrats  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  zeigt eine WO-Streckschwingung bei 800-900 cm<sup>-1</sup>, die mit dem Infrarotspektrum übereinstimmt (Kapitel 1.4). Hochtemperatur-MD (500-700 K) sagt das Dehydratations- und Phasenübergangsverhalten des Kristalls voraus und verifiziert den Trocknungsprozess in Kapitel 5.4. MD wird auch verwendet, um die  $\text{Na}^+$ -Diffusion von Natriumwolframat in Batterieelektroden (Kapitel 9.3) mit einer Migrationsbarriere von etwa 0,3 eV zu simulieren. Zu den Herausforderungen gehört die Genauigkeit der Kraftfeldparameter, die mit der Quantenmechanik (QM/MM) kombiniert werden müssen, um die Simulationszuverlässigkeit zu verbessern.

### 11.4 Quantenchemische Berechnung von Natriumwolframat

Quantenchemische Berechnungen ermöglichen eine detaillierte Analyse der molekularen und Grenzflächeneigenschaften von Natriumwolframat. Mithilfe von Gaussian- oder ORCA-Software werden die Molekülorbitale (HOMO-LUMO-Abstand von ca. 5,5 eV) und Schwingungsfrequenzen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(WO-Streckschwingungspeak  $850\text{ cm}^{-1}$ ) von  $\text{WO}_4^{2-}$  mit der B3LYP- oder CCSD(T) -Methode berechnet. Grenzflächenstudien konzentrieren sich auf die Wechselwirkung zwischen Natriumwolframat und Substraten (wie  $\text{TiO}_2$ , Proteine). Beispielsweise beträgt die Adsorptionsenergie von  $\text{WO}_4^{2-}$  auf der  $\text{TiO}_2(101)$ -Oberfläche  $-1,5\text{ eV}$ , was die photokatalytische Aktivität erhöht (Kapitel 9.2).

Die Berechnung verdeutlicht auch die Rolle von Natriumwolframat in biologischen Systemen, beispielsweise die Bindung an das Enzym PTP1B (Kapitel 8, 8.1), mit einer Bindungsenergie von etwa  $-30\text{ kJ/mol}$ , was auf sein Potenzial für die Insulinsimulation hindeutet. Quantenchemische Methoden erfordern hochpräzise Basissätze (wie 6-311++G\*\*), sind jedoch mit hohem Rechenaufwand verbunden und eignen sich für Simulationen kleinerer Systeme. Zukünftig kann die Methode mit Multiskalenmodellierung kombiniert und auf komplexe Systeme (wie Nanokomposite, Kapitel 10, 10.1) erweitert werden.

### 11.5 Anwendung des maschinellen Lernens zur Vorhersage von Natriumwolframat-Eigenschaften

Maschinelles Lernen (ML) setzt sich zunehmend in der Leistungsoptimierung von Natriumwolframat zur Vorhersage von Materialeigenschaften und zur Überprüfung von Anwendungsbedingungen durch. Basierend auf experimentellen und DFT-Daten wird ein Datensatz (einschließlich Bandlücke, Adsorptionsenergie, Diffusionskoeffizient usw.) erstellt und ein Random-Forest-Modell (RF) oder ein neuronales Netzwerkmodell (NN) verwendet. Beispielsweise prognostiziert das RF-Modell die Abbaueffizienz von  $\text{WO}_3$ -basierten Photokatalysatoren (Kapitel 9.2) mit einer Genauigkeit von  $>90\%$ . Zu den Eingabedaten gehören Dotierungskonzentration, Partikelgröße und pH-Wert.

In Batterieanwendungen (Kapitel 9, 9.3) prognostizieren Deep-Learning-Modelle (DL) den Diffusionskoeffizienten von  $\text{Na}^+$  mit einer Fehlerrate von  $<5\%$  und sind damit besser als herkömmliche MD-Simulationen. ML wird auch zur Toxizitätsbewertung (Kapitel 8, 8.4) eingesetzt und prognostiziert die  $\text{LD}_{50}$  mithilfe des QSPR-Modells mit einem Korrelationskoeffizienten  $R^2 > 0,85$ . Herausforderungen sind die Datensatzgröße ( $>1000$  Proben erforderlich) und das Feature Engineering, das die Integration von Hochdurchsatz-Computing und experimentellen Daten erfordert. Open-Source -Plattformen (wie Materials Project) unterstützen die ML-Forschung, was zukünftig ein schnelles Screening der Natriumwolframat-Leistung und Prozessoptimierung ermöglicht.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

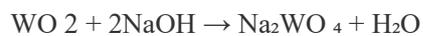


## Kapitel 12 Experimentelle Studie zu Natriumwolframat

Natriumwolframat (  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  ) ist eine multifunktionale Chemikalie. Ihre experimentelle Erforschung liefert wichtige Daten zur Überprüfung theoretischer Vorhersagen, zur Leistungsoptimierung und zur Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten. Dieses Kapitel stellt systematisch die Synthese- und Charakterisierungstechnologie von Natriumwolframat, die experimentelle Bewertung der katalytischen Leistung, elektrochemische Leistungstests, Experimente zur biologischen Aktivität und Experimente zur Umweltsanierung vor und erläutert die experimentellen Methoden und Forschungsergebnisse, um eine experimentelle Grundlage für Materialwissenschaft und Anwendungsentwicklung zu schaffen.

### 12.1 Synthese- und Charakterisierungstechnologie von Natriumwolframat

Die experimentelle Synthese von Natriumwolframat erfolgt üblicherweise mittels chemischer Fällung oder hydrothermalen Methode (Kapitel 4.2). Wolframoxid ( $\text{WO}_3$ ) wird als Ausgangsstoff verwendet und reagiert bei 80–100 °C mit Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) zu einer  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Lösung. Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Die Lösung wurde abgekühlt und kristallisiert (5–10 °C), um  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -Kristalle mit einer Ausbeute von >90 % zu erhalten. Zu den Charakterisierungstechniken gehören:

- **Röntgenbeugung (XRD)** : Bestätigt, dass das Dihydrat orthorhombisch (  $\text{Pnma}$  ) ist, mit den Elementarzellenparametern  $a=5,27 \text{ \AA}$ ,  $b=10,77 \text{ \AA}$ ,  $c=7,34 \text{ \AA}$ .
- **Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FTIR)** : Der Peak der  $\text{WO}_4$ -Streckschwingung liegt bei  $830\text{-}850 \text{ cm}^{-1}$ , der Peak der  $\text{OH}$ -Streckschwingung bei  $3400 \text{ cm}^{-1}$  (kristallisiertes Wasser).
- **Rasterelektronenmikroskopie (REM)** : Beobachtung der Kristallmorphologie, Partikelgröße  $50\text{-}200 \text{ \mu m}$ .

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS)** : Bestimmung der Reinheit (>99,5%) und von Verunreinigungen (wie z. B. Mo <0,01%).

Im Experiment müssen der pH-Wert der Lösung (8–10) und die Kristallisationsrate kontrolliert werden, um amorphe Produkte zu vermeiden. Die Charakterisierungsdaten bestätigten die Morphologie aus Kapitel 2.1 und die Reinheitsanalyse aus Kapitel 6.1.

## 12.2 Experimentelle Bewertung der katalytischen Leistung von Natriumwolframat

Das Experiment zur katalytischen Leistung von Natriumwolframat konzentriert sich auf die Oxidationsreaktion (Kapitel 7.2). Am Beispiel des photokatalytischen Abbaus von Methylenblau (MB)

Experimentelle Schritte:

1. Bereiten Sie eine 0,5 g/l Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> -Lösung vor, mischen Sie sie mit TiO<sub>2</sub> (P25, 0,1 g/l) und rühren Sie, um einen Verbundkatalysator zu bilden.
2. MB (10 mg/l) wurde hinzugefügt und 2 Stunden lang mit einer 300 W Xenonlampe ( $\lambda > 400$  nm) bestrahlt.
3. Vis- Spektroskopie (664 nm) gemessen und die Abbaurate erreichte 85–90 %.

Die kinetische Analyse zeigte, dass die Reaktion einer Kinetik erster Ordnung mit einer Geschwindigkeitskonstante von  $k = 0,02 \text{ min}^{-1}$  folgte. Die katalytische Effizienz wurde durch pH-Wert (4–6) und Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> -Konzentration (0,1–1 g/l) beeinflusst, wobei ein hoher pH-Wert (> 8) die Aktivität verringerte. Das Experiment bestätigte außerdem die katalytische Wirkung von Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> bei der Cyclohexenepoxidierung (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Oxidationsmittel) mit einer Ausbeute von 80 %. Die Katalysatorrückgewinnungsrate lag bei >95 % (Zentrifugaltrennung), was für eine industrielle Anwendung geeignet ist (Kapitel 9 9.2).

## 12.3 Experimentelle Prüfung der elektrochemischen Leistung von Natriumwolframat

Elektrochemische Experimente bewerten die Leistung von Natriumwolframat in Batterien und der Galvanisierung (Kapitel 9.3, Kapitel 7.5). Am Beispiel der negativen Elektrode einer Natriumionenbatterie wird die WO<sub>3</sub>-basierte Elektrode durch thermische Reduktion von Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> hergestellt :



Der Versuchsaufbau besteht aus einem Dreielektrodensystem (Arbeitselektrode: WO<sub>3</sub>/Kohlenstoffgewebe, Gegenelektrode: Pt, Referenzelektrode: Ag/AgCl) und dem Elektrolyten 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Zyklische Voltammetrie (CV) zeigt, dass die Na<sup>+</sup>-Insertions-/Extraktionspeaks bei -0,2 V und 0,1 V liegen, mit einer Kapazität von ca. 250 mAh/g (0,1 C). Der Lade- und Entladetest (100 Zyklen) zeigte eine Kapazitätserhaltungsrate von >90 %, was die hohe Zyklenstabilität bestätigt.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Im Galvanikversuch wurden  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  (50 g/l) und  $\text{NiSO}_4$  (30 g/l) zur Herstellung der Beschichtungslösung verwendet. Die Stromdichte betrug  $2 \text{ A/dm}^2$ . Es wurde eine Ni-W-Beschichtung mit einer Härte von 700 HV und einem Wolframgehalt von 15 % abgeschieden. Der elektrochemische Test erfordert die Kontrolle des pH-Werts (7–8) und der Temperatur ( $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ) des Elektrolyten, um die Gleichmäßigkeit der Beschichtung zu gewährleisten.

#### 12.4 Experimentelle Untersuchung der biologischen Aktivität von Natriumwolframat

Biologische Aktivitätsexperimente bestätigten das Potenzial von Natriumwolframat in der Diabetesbehandlung und als antibakterielle Substanz (Kapitel 8, 8.1–8.2). In der Diabetesstudie wurden In-vitro-Experimente mit insulinresistenten Zellen (HepG2, induzierte hohe Glukose 25 mM) durchgeführt. Nach Zugabe von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  (0,1–0,5 mM) stieg die Glukoseaufnahme nach 24 Stunden um 30 % an, und die GLUT4-Expression wurde um das 1,5-fache hochreguliert. Der Mechanismus beruhte auf einer PTP1B-Hemmung.

Im antibakteriellen Experiment wurde die hemmende Wirkung von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  auf Escherichia coli (E. coli) und Staphylococcus aureus (S. aureus) getestet.

Methode: 0,2 mM  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Lösung, 24 Stunden bei  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  kultiviert, die Hemmraten lagen bei 80 % bzw. 65 %. Die REM-Beobachtung zeigte einen Riss der Bakterienmembran, der auf die Oxidation von  $\text{WO}_4^{2-}$  zurückzuführen war. Die  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Konzentration ( $<1 \text{ mM}$ ) sollte im Experiment kontrolliert werden, um Zytotoxizität zu vermeiden (Kapitel 8, 8.4). Die Ergebnisse unterstützen die Entwicklung antibakterieller Beschichtungen (Kapitel 10, 10.2).

#### 12.5 Experimentelle Studie zur Umweltanwendung von Natriumwolframat

Umweltexperimente konzentrieren sich auf Abwasserbehandlung und Photokatalyse (Kapitel 9, 9.1–9.2). Schwermetalladsorptionsexperiment: Abwasser mit  $\text{Pb}^{2+}$  (100 mg/l) vorbereiten, 0,5 g/l  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  zugeben, pH 6–7. Nach 30 Minuten sinkt die  $\text{Pb}^{2+}$ -Konzentration auf 0,3 mg/l, die Entfernungsrates liegt bei  $>99 \%$ . Der Niederschlag ( $\text{PbWO}_4$ ) wird durch XRD bestätigt und die Rückgewinnungsrate beträgt  $>98 \%$ .

Photokatalytisches Experiment: Ein  $\text{Na}_2\text{WO}_4 / \text{Bi}_2\text{O}_3$ -Verbundkatalysator (0,3 g/l) baute Phenol (20 mg/l) ab und wurde 4 Stunden lang mit einer 500-W-Xenonlampe bestrahlt. Die Abbaurates betrug 85 %. Die TOC-Analyse ergab eine Mineralisierungsrate von 70 %, was darauf hindeutet, dass organische Stoffe in  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  zersetzt wurden. Im Experiment wurden die Katalysatordosierung (0,2–0,5 g/l) und die Lichtintensität ( $100\text{--}500 \text{ mW/cm}^2$ ) optimiert. Umweltanwendungen müssen die Probleme der Langzeitstabilität des Katalysators ( $> 100$  Stunden) und des großflächigen Recyclings lösen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



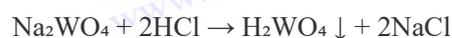
## Kapitel 13 Sicherheit und Handhabung von Natriumwolframat

Natriumwolframat (  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  ) muss als Chemikalie in Produktion, Forschung und Anwendung strenge Sicherheitsvorschriften einhalten , um die Gesundheit des Personals und die Umwelt zu schützen. Dieses Kapitel stellt systematisch die physikalischen und chemischen Gefahren von Natriumwolframat, persönliche Schutzausrüstung und sicheren Betrieb, Lagerungs- und Transportanforderungen, Notfallmaßnahmen und Leckagemanagement sowie Abfallentsorgung und Umweltvorschriften vor und gibt Hinweise zur sicheren Verwendung. Es greift das nachfolgende Kapitel zu Vorschriften (Kapitel 15) auf.

### 13.1 Physikalische und chemische Gefahren von Natriumwolframat

Natriumwolframat ist ein weißes oder leicht gelbes Kristall (  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ) oder Pulver. Es hat stabile chemische Eigenschaften, birgt aber potenzielle Gefahren:

- **Physikalische Gefahren** : Natriumwolframatstaub kann Augen, Haut und Atemwege reizen. Das Einatmen hoher Staubkonzentrationen ( $>10 \text{ mg/m}^3$ ) kann Husten oder Halsreizungen verursachen. Langfristige Exposition kann zu Lungenreizungen führen.
- **Chemische Gefahren** : Natriumwolframat in wässriger Lösung ist schwach alkalisch (pH 8-9), und hohe Konzentrationen ( $>10 \%$  (w/v)) können leichte Hautverätzungen verursachen. Natriumwolframat reagiert mit starker Säure zu Wolframsäure ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ ). Die Reaktion läuft wie folgt ab:



Bei der Reaktion kann eine geringe Wärmemenge freigesetzt werden. Vermeiden Sie daher das

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mischen mit säurehaltigen Substanzen. Natriumwolframat ist weder stark oxidierend noch entzündlich, zersetzt sich jedoch bei hohen Temperaturen ( $> 698\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) in Wolframoxid ( $\text{WO}_3$ ) und Natriumoxid ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), wobei reizende Gase freigesetzt werden können.

- **Toxizität** : Die akute orale Toxizität ist gering ( $\text{LD}_{50}$  etwa  $1,4\text{--}2,0\text{ g/kg}$ , Maus), eine langfristige Exposition gegenüber hohen Dosen kann jedoch die Leber- und Nierenfunktion beeinträchtigen (Kapitel 8, 8.4).

Die Gefahrenbewertung basiert auf MSDS und GB/T 30810, und beim Betrieb muss der Arbeitsplatzgrenzwert (PEL:  $5\text{ mg/m}^3$ , Wolframverbindungen) eingehalten werden.

### 13.2 Persönliche Schutzausrüstung und sicherer Betrieb

Der sichere Umgang mit Natriumwolframat erfordert eine entsprechende persönliche Schutzausrüstung (PSA) und die Einhaltung der Vorschriften:

- **Besondere Schutzausrüstung** :
  - **Atemschutz** : Tragen Sie beim Umgang mit Pulver eine NIOSH-zertifizierte N95- oder P2-Staubmaske, um das Einatmen von Staub zu verhindern .
  - **Augenschutz** : Tragen Sie eine Chemikalienschutzbrille (gemäß EN 166), um zu verhindern, dass Lösung oder Staub in die Augen gelangen .
  - **Hautschutz** : Tragen Sie Nitrilhandschuhe und einen langärmeligen Laborkittel, um Hautkontakt zu vermeiden. Bei Spritzern der Lösung sofort 15 Minuten lang mit klarem Wasser abspülen .
- **Sicherer Betrieb** :
  - Behandeln Sie Natriumwolframat in einer Abzugshaube (Luftgeschwindigkeit  $> 0,5\text{ m/s}$ ), um eine Staubaufwirbelung zu vermeiden.
  - Um die Staubentwicklung zu reduzieren, verwenden Sie zum Wiegen und Umfüllen geschlossene Behälter.
  - (z. B.  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) oder Oxidationsmittel (z. B.  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) verwendet werden, um unerwartete Reaktionen zu verhindern.
  - Waschen Sie sich nach der Handhabung die Hände und reinigen Sie den Arbeitsbereich, um eine Restkontamination zu vermeiden.

Schulen Sie Ihre Mitarbeiter in der Einhaltung der OSHA- oder GB 2626-Standards und stellen Sie sicher, dass sie mit dem Sicherheitsdatenblatt (Kapitel 15, 15.6) und den Notfallmaßnahmen vertraut sind.

### 13.3 Lagerungs- und Transportanforderungen von Natriumwolframat

Bei der Lagerung und dem Transport von Natriumwolframat müssen die Vorschriften zum Chemikalienmanagement eingehalten werden, um Leckagen und Umweltverschmutzung zu verhindern:

- **Speicheranforderungen** :
  - In verschlossenen Kunststoff- oder Glasbehältern in einem kühlen ( $15\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), trockenen (Luftfeuchtigkeit  $< 60\%$ ) und gut belüfteten Lagerhaus lagern.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Von säurehaltigen Substanzen, starken Oxidationsmitteln und Wärmequellen (> 50 °C) fernhalten, um Zersetzung oder Reaktion zu vermeiden.
- mit der chemischen Bezeichnung (  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  ), der CAS-Nummer (13472-45-2), dem Gefahrenhinweis und dem Produktionsdatum.

• **Versandanforderungen :**

- Wird als ungefährlicher chemischer Stoff (UN-Nummer) transportiert, muss jedoch den IATA- und IMDG-Vorschriften entsprechen.
- Verwenden Sie auslaufsichere Verpackungen (z. B. doppelte Plastiktüten oder Stahlfässer) und bringen Sie Sicherheitsdatenblätter und Versandetiketten an.
- Vermeiden Sie hohe Temperaturen oder starke Vibrationen in Transportfahrzeugen und gehen Sie beim Be- und Entladen vorsichtig damit um, um Schäden am Container zu vermeiden.

Lagerung und Transport erfordern regelmäßige Inspektionen (alle 6 Monate), um die Einhaltung von GB/T 31906 und den örtlichen Vorschriften sicherzustellen.

**Notfallmaßnahmen und Leckagemanagement von Natriumwolframat**

Im Falle eines Natriumwolframat-Austritts oder eines Notfalls ist eine schnelle Reaktion erforderlich, um die Risiken für Personal und Umwelt zu verringern:

• **Leckagebehandlung :**

- Kleine verschüttete Mengen (<1 kg): Tragen Sie persönliche Schutzausrüstung, reinigen Sie die Abfälle mit einem feuchten Tuch oder Staubsauger (mit HEPA-Filter), sammeln Sie sie in verschlossenen Behältern, um Staub zu vermeiden.
- Große Mengen verschütteter Flüssigkeit (> 1 kg): Bereich räumen, Zutritt beschränken, mit Sand oder neutralem Adsorptionsmittel (z. B. Kieselgel) eindämmen, in einen Behälter für gefährliche Abfälle umfüllen.
- Belüften Sie den Leckagebereich und waschen Sie die Rückstände aus (mit Wasser auf pH 6-8 verdünnen), um ein Eindringen in Gewässer zu verhindern.

• **Erste-Hilfe-Maßnahmen :**

- **Hautkontakt :** 15 Minuten lang mit reichlich Wasser spülen, um alle Rückstände zu entfernen, und bei Bedarf Feuchtigkeitscreme auftragen .
- **Augenkontakt :** Sofort 15–20 Minuten lang mit Kochsalzlösung oder Wasser spülen und so schnell wie möglich **einen** Arzt aufsuchen.
- **Einatmen :** An die frische Luft bringen, auf Atembeschwerden achten, Sauerstoff verabreichen und ärztliche Hilfe aufsuchen.
- **Verschlucken :** Mund ausspülen, 500–1000 ml Wasser trinken, kein Erbrechen herbeiführen, sofort einen Arzt aufsuchen.

- **Maßnahmen zur Brandbekämpfung :** Natriumwolframat ist nicht entflammbar. Verwenden Sie Trockenpulver oder  $\text{CO}_2$ , um Brände in der Nähe zu löschen und zu verhindern, dass ausgetretenes Material durch fließendes Wasser beeinträchtigt wird.

Für den Notfall sind ein Erste-Hilfe-Kasten und Werkzeuge zur Beseitigung von verschütteten

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Flüssigkeiten erforderlich, siehe NFPA 704 (Gesundheitsgefahr: 1, Feuer: 0, Reaktivität: 1).

### 13.5 Abfallentsorgung und Umweltvorschriften für Natriumwolframat

Bei der Entsorgung von Natriumwolframat-Abfällen müssen die Umweltvorschriften eingehalten werden, um eine Verschmutzung von Wasser und Boden zu verhindern:

- **Abfallklassifizierung** : Natriumwolframat-Abfälle, Verpackungsabfälle und wolframhaltige Abfallflüssigkeiten sind gefährliche Abfälle mit der Nummer HW48 (schwermetallhaltige Abfälle).
- **Behandlungsmethode** :
  - **Feste Abfälle** : werden in verschlossenen Behältern gesammelt und an qualifizierte Einrichtungen (z. B. Sondermüllbehandlungsanlagen) zur Verbrennung oder sicheren Deponierung übergeben. Die Wolfram-Rückgewinnungsrate kann bis zu 80 % betragen.
  - **Abwasser** : Neutralisieren auf pH 6–8, Ausfällen der Wolframsäure ( $H_2WO_4$ ), Rückgewinnung der Feststoffe nach der Filtration und Behandlung des Filtrats durch Umkehrosmose, um die Abwassernormen einzuhalten (Wolfram  $<0,5$  mg/l, GB/T 500).
  - **Abgas** : **Staub** wird durch einen Schlauchfilter behandelt und die Emissionskonzentration beträgt  $<1$  mg/m<sup>3</sup> (GB 16297).
- **Umweltvorschriften** :
  - **China** : Das Gesetz zur Verhütung und Kontrolle der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle (überarbeitet 2020) schreibt Abfallreduzierung und Ressourcennutzung vor.
  - **International** : EU-RoHS-Richtlinie (2011/65/EU) zur Beschränkung der Entsorgung wolframhaltiger Abfälle; das Basler Übereinkommen regelt grenzüberschreitende Transfers.
  - **Recycling** : Natriumwolframat in Abfallflüssigkeiten wird durch Ionenaustausch zurückgewonnen (Kapitel 5.6) und die Recyclingrate liegt bei  $>15$  %.

Die Behandlungsaufzeichnungen müssen gemäß dem Umweltmanagementsystem ISO 14001 5 Jahre lang aufbewahrt werden. Durch regelmäßige Überwachung von Abwasser und Boden (zweimal jährlich) wird sichergestellt, dass die Wolframkonzentrationen unterhalb der ökologischen Risikogrenzen liegen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

#### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

#### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

#### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

#### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

#### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 14 Globaler Markt für Natriumwolframat

Als Schlüsselchemikalie in der Wolfram-Produktionskette spielt Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) eine wichtige Rolle auf dem Weltmarkt. Dieses Kapitel analysiert systematisch Produktion und Verbrauch von Natriumwolframat, die wichtigsten Produktionsländer, die Marktnachfrage und Anwendungsverteilung, Preistrends und Einflussfaktoren sowie Marktwettbewerb und führende Unternehmen. Es liefert Markteinblicke für Branchenentwicklung und Investitionsentscheidungen und stellt die entsprechenden Regelungen (Kapitel 15) und Umweltauswirkungen (Kapitel 16) dar.

### 14.1 Überblick über Produktion und Verbrauch von Natriumwolframat

Im Jahr 2024 beträgt die weltweite Jahresproduktion von Natriumwolframat etwa 52.000 Tonnen (in  $\text{WO}_3$ ), das hauptsächlich durch Hydrometallurgie aus Scheelit ( $\text{CaWO}_4$ ) oder Wolframit ( $\text{FeWO}_4$ ) gewonnen wird (Kapitel 5.2). China ist mit etwa 75 % (39.000 Tonnen) führend in der Produktion, der Rest entfällt auf andere Länder wie Russland, Kanada und Australien. Der Produktionsprozess umfasst die alkalische Auflösung des Erzes ( $\text{NaOH}$  oder  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) und die Kristallisationsreinigung mit einer Ausbeute von 90–95 %.

Der Verbrauch liegt bei rund 49.000 Tonnen, davon entfallen 60 % auf den asiatisch-pazifischen Raum (China, Indien, Japan), 18 % auf Europa und 15 % auf Nordamerika. Die wichtigsten Verbrauchsbereiche sind Wolframmetallurgie (50 %, Kapitel 7.1), Katalysatoren (20 %, Kapitel 7.2), Umweltanwendungen (15 %, Kapitel 9.1–9.2) und neue Technologien (15 %, Kapitel 10.1–10.5). Von 2020 bis 2024 wird der weltweite Verbrauch jährlich um durchschnittlich 3,5 % wachsen,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

getrieben durch neue Energien (Kapitel 9.3) und Umweltschutz. In den nächsten fünf Jahren (2025–2030) wird der Verbrauch voraussichtlich jährlich um durchschnittlich 4 % auf 60.000 Tonnen steigen.

#### 14.2 Wichtige Natriumwolframat produzierende Länder (China, die Vereinigten Staaten, Russland usw.)

- **China** : Der weltweit größte Produzent mit den Hauptproduktionsgebieten Jiangxi, Hunan und Henan, der auf Wolfram-Bergbaustandorte wie Ganzhou und Zhuzhou angewiesen ist. Die Produktion im Jahr 2024 beträgt 39.000 Tonnen, was 75 % der weltweiten Produktion entspricht. Unternehmen wie China Tungsten Intelligent Manufacturing haben die Kosten durch technologische Verbesserungen (z. B. Ionenaustausch , Kapitel 5 5.6) gesenkt, und die Exporte machen 65 % des Welthandels aus.
- **Vereinigte Staaten** : Die Produktion beträgt etwa 3.000 Tonnen (6 % der Welt), hauptsächlich hergestellt von Global Tungsten & Powders (GTP) mit Pennsylvania als Hauptstandort. Das Unternehmen ist auf importiertes Wolframkonzentrat angewiesen und die Produktionskosten sind relativ hoch (etwa 25.000 US-Dollar pro Tonne).
- **Russland** : Die Produktion beträgt 2.500 Tonnen (5 % der Weltproduktion). Die Wolfram Company dominiert die Produktion und verfügt über reiche Wolframvorkommen in Sibirien. Geopolitische Faktoren (wie der Konflikt zwischen Russland und der Ukraine) wirken sich auf die Exporte aus, und die Lieferungen nach Europa werden bis 2024 um 20 % sinken.
- **Andere Länder** : Kanada (Kennametal, 1.500 Tonnen), Australien (Tungsten Mining NL, 1.000 Tonnen) und Vietnam (Masan High-Tech Materials, 500 Tonnen) weisen eine geringere Produktion auf, die insgesamt 14 % ausmacht. Diese Länder konzentrieren sich auf Produkte mit hoher Wertschöpfung (wie  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  in analytischer Qualität) .

Angesichts der hohen Produktionskonzentration ( $\text{CR}_4 \approx 80\%$ ) dürfte Chinas beherrschende Stellung kurzfristig nicht zu erschüttern sein, doch die Erschöpfung der Ressourcen und die Umweltbelastung (Kapitel 16.1) könnten zu einer Verlagerung der Produktion in andere Länder führen.

#### 14.3 Marktnachfrage und Anwendungsverteilung von Natriumwolframat

für Natriumwolframat hängt eng mit seiner Anwendungsverteilung zusammen:

- **Wolframmetallurgie** (50 %): Herstellung von Ammoniumparawolframat ( APT) und Wolframpulver (Kapitel 7.1), verwendet in Hartmetall (Automobile, Luft- und Raumfahrt, Kapitel 10.5), mit stabiler Nachfrage und einem jährlichen Wachstum von 2 %.
- **Katalysatoren** (20 %): Petrochemikalien (Epoxidation, Kapitel 7.2) und Photokatalyse (Abbau von Schadstoffen, Kapitel 9.2), angetrieben durch die Politik der grünen Chemie (wie den Green Deal der EU), wuchsen im Jahresvergleich um 5 %.
- **Umweltanwendungen** (15 %): Abwasserbehandlung (Schwermetalladsorption, Kapitel 9, 9.1) und Bodensanierung (Kapitel 9, 9.5), bedingt durch die globale Wasserkrise und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umweltschutzbestimmungen (wie RoHS, Kapitel 15, 15.3), stiegen im Vergleich zum Vorjahr um 6 %.

- **Zu den aufstrebenden Bereichen** (15 %) zählen Natrium-Ionen-Batterien (Kapitel 9, 9.3), Nanomaterialien (Kapitel 10, 10.1) und Sensoren (Kapitel 10, 10.2). Neue Energien und intelligente Fertigung treiben die Nachfrage mit einem jährlichen Wachstum von 8 % an.

Im Jahr 2024 entfallen 80 % des Marktes auf Natriumwolframat in Industriequalität (> 98 %), 20 % auf analytische Qualität (> 99,5 %) und pharmazeutische Qualität (Kapitel 8.1), wobei letztere schnell wächst (jährlich 10 %). Die Nachfrage im asiatisch-pazifischen Raum ist aufgrund der beschleunigten Industrialisierung Chinas und Indiens stark (60 %); in Nordamerika und Europa liegt die Nachfrage tendenziell bei Anwendungen mit hoher Wertschöpfung.

#### 14.4 Preisentwicklung und Einflussfaktoren von Natriumwolframat

Im Jahr 2024 wird der weltweite Durchschnittspreis für Natriumwolframat in Industriequalität 22.000 bis 26.000 US-Dollar pro Tonne betragen, für Natriumwolframat in Analysequalität etwa 32.000 US-Dollar pro Tonne. Von 2019 bis 2024 wird der Preis um 10 bis 15 % schwanken, beeinflusst durch folgende Faktoren:

- **Rohstoffpreise** : Wolframkonzentrat ( $WO_3$ -Gehalt > 65 %) kostet etwa 160–200 US-Dollar pro Tonne und macht damit 50 % der Produktionskosten aus. Der Versorgungsengpass nach der Epidemie im Jahr 2022 trieb die Preise in die Höhe, die sich 2024 stabilisierten .
- **Exportquote China** : Die Quote für 2024 beträgt 42.000 Tonnen  $WO_3$  , was das Angebot begrenzt und zu einem Aufwärtsdruck auf die Preise führt (Anstieg um etwa 5 %).
- **Energiekosten** : Die Hydrometallurgie verbraucht etwa 500 kWh Strom pro Tonne (Kapitel 5.3). Steigende globale Strompreise (0,1–0,15 US-Dollar/kWh) erhöhen die Kosten um 3–5 %.
- **Marktnachfrage** : Die Nachfrage nach neuen Energie- und Umweltschutzanwendungen ist stark gestiegen (Kapitel 9, 9.3-9.5), was den Preis für analytische Qualität in die Höhe treibt. Die Schwankungen des US-Dollarkurses wirken sich auch auf den internationalen Handel aus (der US-Dollarindex wird 2024 um 2 % steigen).

In den nächsten fünf Jahren wird ein moderater Preisanstieg (2–3 % pro Jahr) auf 28.000 US-Dollar pro Tonne (2030) erwartet. Durch das Recycling von Wolframschrott (Kapitel 16.4) können die Kosten um 10 % gesenkt und der Preisdruck gemildert werden.

#### Wettbewerb auf dem Natriumwolframatmarkt und Analyse der wichtigsten Unternehmen

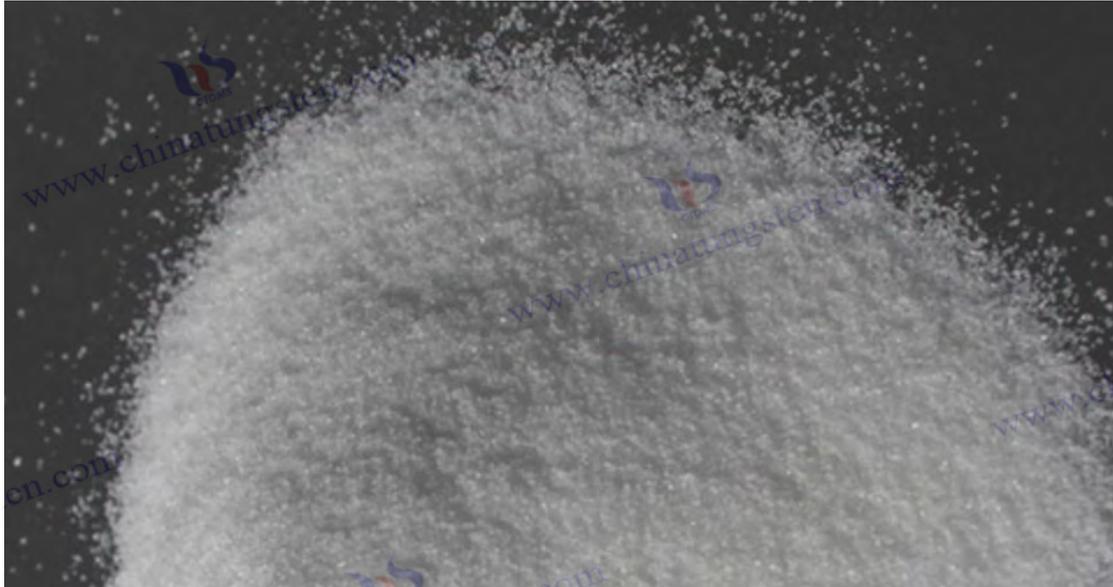
Der Wettbewerb auf dem Natriumwolframatmarkt ist konzentriert, wobei CR4 (Marktanteil der drei größten Unternehmen) etwa 70 % ausmacht. Wichtige Unternehmen:

- **China Tungsten Intelligent Manufacturing (China)** : Ein weltweit führendes Unternehmen mit einer Produktion von 13.000 Tonnen im Jahr 2024 (25 % Marktanteil), technologischen Vorteilen (kostengünstige Hydrometallurgie, Kapitel 5.2) und einem Exportnetzwerk, das 50 Länder umfasst.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **HC Starck (Deutschland)** : Das Produktionsvolumen beträgt 3.500 Tonnen (7 %), das Unternehmen ist hauptsächlich auf den europäischen Markt ausgerichtet und seine Produkte werden in Katalysatoren und Nanomaterialien verwendet (Kapitel 7.2, Kapitel 10.1).
- **Global Tungsten & Powders (USA)** : Produktionsvolumen: 3.000 Tonnen (6 %), Schwerpunkt auf der nordamerikanischen Luft- und Raumfahrt (Kapitel 10, 10.5), mit höheren Kosten, aber starkem Markenaufschlag.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## Kapitel 15 Vorschriften und Normen für Natriumwolframat

(  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  ) um eine weit verbreitete Chemikalie handelt, müssen Produktion, Vertrieb und Verwendung von Natriumwolframat (  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  ) strengen Vorschriften und Standards entsprechen, um Qualität, Sicherheit und Konformität zu gewährleisten. In diesem Kapitel werden die internationalen Standards (ISO, ASTM), die chinesischen nationalen Standards (GB/T), die Umwelt- und Sicherheitsvorschriften (REACH, RoHS), die Konformitätsanforderungen für medizinische und Lebensmittelqualität, der Schutz geistigen Eigentums und Patentschutz sowie das Sicherheitsdatenblatt ( MSDS) für Natriumwolframat der CTIA GROUP LTD systematisch vorgestellt, um Leitlinien für Konformitätsmaßnahmen bereitzustellen und eine Verbindung zu den vorherigen Kapiteln (wie Kapitel 13 „Sicherheit“ und Kapitel 14 „Markt“) herzustellen.

### 15.1 Internationale Normen für Natriumwolframat (ISO, ASTM)

Internationale Standards gewährleisten eine gleichbleibende Qualität und Prüfmethode für Natriumwolframat für den weltweiten Handel und Anwendungen:

- **ISO 6353-3:1987** (Reagenzien für die chemische Analyse): legt die Analysemethoden für Wolframate fest , einschließlich der ICP-MS-Bestimmung des Wolframgehalts ( $\text{WO}_3 > 99,5\%$ ) und der AAS-Erkennung von Verunreinigungen (wie  $\text{Fe} < 0,01\%$ ,  $\text{Mo} < 0,05\%$ ). Gilt für Natriumwolframat in Industrie- und Analysequalität (Kapitel 6, 6.5).
- **ISO 14940:2001 (Allgemeine Spezifikation für Wolframverbindungen): definiert Reinheitsanforderungen ( $>98\%$ ), Partikelgröße (50-200  $\mu\text{m}$ )** und Verpackungsstandards für Natriumwolframat und gewährleistet Konsistenz und Rückverfolgbarkeit.
- **ASTM E1447-09 (Bestimmung von Wolframverbindungen): Bestimmung des  $\text{WO}_3$ -Gehalts mittels XRF oder Titration, industrielle Reinheit  $> 98\%$ , analytische Reinheit  $> 99,5\%$ .** Die Verunreinigungsgrenzen liegen bei  $\text{Ca} < 0,02\%$ ,  $\text{Na} < 0,1\%$  (Kapitel 6.1).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **ASTM D4058-96** (Spezifikationen für Wolframverbindungen): gibt die chemische Zusammensetzung von Natriumwolframat an, das als Katalysator (Kapitel 7.2) und Pigment (Kapitel 7.3) verwendet wird, und betont die Schwermetallgrenze ( $Pb < 0,01 \%$ ).

Diese Standards erfordern, dass Tests in einem nach ISO/IEC 17025 akkreditierten Labor unter Verwendung von Standardproben (wie NIST SRM 3163) durchgeführt werden, um genaue Ergebnisse sicherzustellen und die Marktanwendung von Kapitel 14.3 zu unterstützen.

## 15.2 Chinesischer Nationalstandard für Natriumwolframat (GB/T)

Der nationale Standard Chinas (GB/T) regelt die Produktion und Qualität von Natriumwolframat, um die Nachfrage auf dem Inlandsmarkt zu decken:

- **GB/T 26037-2020** (Technische Bedingungen für Natriumwolframat) : Der  $WO_3$ -Gehalt in Natriumwolframat in Industriequalität muss  $> 59 \%$  betragen, die Verunreinigungsgrenze muss ( $Mo < 0,05 \%$ ,  $Fe < 0,01 \%$ ,  $Ca < 0,02 \%$ ) und die Partikelgröße muss  $50-200 \mu m$  betragen . Natriumwolframat ist für die Wolframmetallurgie (Kapitel 7.1) und als Katalysator (Kapitel 7.2) geeignet. Die analytische Qualität erfordert eine Reinheit von  $> 99,5 \%$  und Schwermetalle  $< 10 ppm$ .
- **GB/T 30810-2014** (Chemische Analyse von Wolframverbindungen): Bestimmung des Wolframgehalts mittels ICP-OES, Überprüfung der Reinheit von  $Na_2WO_4$  durch Titration. Die Nachweisgrenze liegt bei  $0,001 \%$ . Die Prüfmethode für Wasser ( $< 0,5 \%$ ) und unlösliche Stoffe ( $< 0,02 \%$ ) sind festgelegt (Kapitel 6, 6.2).
- **GB/T 31906-2015** (Verpackung von Wolfram-Chemikalienprodukten): schreibt vor, dass Natriumwolframat in doppelwandigen Plastiktüten oder Stahlfässern verpackt wird, die mit der CAS-Nummer (13472-45-2), der Chargennummer und dem Nettogewicht (25 kg oder 50 kg) gekennzeichnet sind und den Lagerungsanforderungen von Kapitel 13, 13.3 entsprechen.

Diese Normen werden von der Standardization Administration of China herausgegeben und müssen regelmäßig (alle 5 Jahre) aktualisiert werden, um sicherzustellen, dass sie mit den internationalen Normen übereinstimmen und Kapitel 14.2 „Chinas Dominanz im verarbeitenden Gewerbe“ unterstützen.

## 15.3 Umwelt- und Sicherheitsvorschriften für Natriumwolframat (REACH, RoHS)

Umwelt- und Sicherheitsvorschriften beschränken die Einleitung und Verwendung von Natriumwolframat zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Ökologie (Kapitel 13, 13.5):

- **EU-REACH-Verordnung** (EG 1907/2006): Natriumwolframat muss bei der ECHA (CAS 13472-45-2) registriert sein und ein Stoffsicherheitsbericht (CSR) mit Toxizitätsdaten (Kapitel 8.4) und Expositionsszenarien (Herstellung, Katalysatorverwendung) vorgelegt werden. Bei einer Jahresproduktion von  $> 1$  Tonne sind Ökotoxizitätsdaten ( $LC50 > 100 mg/l$ , Wasserorganismen) erforderlich. Natriumwolframat ist nicht als SVHC gelistet, Verunreinigungen (wie Mo) sind jedoch beschränkt.
- **EU-RoHS-Richtlinie** (2011/65/EU): Begrenzt den Gehalt an Wolframverbindungen in

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elektro- und Elektronikgeräten (<0,1 % w/w) und fördert die Entwicklung bleifreier Wolframatpigmente (Kapitel 7.3). Die Abfallentsorgung muss gemäß der Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) erfolgen.

- **China** : Das Umweltschutzgesetz (überarbeitet 2014) und GB 8978-1996 schreiben vor, dass die Wolframkonzentration im Abwasser <0,5 mg/l sein muss. Die Abwasserflüssigkeit muss neutralisiert (pH 6–8) und H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> ausgefällt werden (Kapitel 5, 5.6). Das Gesetz zur Verhütung und Kontrolle der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle (überarbeitet 2020) schreibt vor, dass gefährliche Abfälle (HW48) zur Behandlung an qualifizierte Anlagen übergeben werden müssen (Kapitel 16, 16.4).
- **GHS** (Globales System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien): Natriumwolframat ist als „Hautreizung Kategorie 2“ (H315) und „Augenreizung Kategorie 2“ (H319) eingestuft. Das Etikett muss mit dem Warnhinweis „Vorsicht“ und den Schutzmaßnahmen (Kapitel 13.2) versehen sein.

Voraussetzung hierfür ist eine regelmäßige Überwachung der Emissionen (vierteljährlich) und die Vorlage von Umweltberichten gemäß ISO 14001 (Kapitel 16.5).

### **Konformitätsanforderungen für Natriumwolframat in medizinischer und lebensmittelechter Qualität**

Natriumwolframat in medizinischer und Lebensmittelqualität wird in der Diabetesforschung (Kapitel 8.1) und anderen biologischen Anwendungen eingesetzt und muss strenge Konformitätsanforderungen erfüllen :

- **Chinesisches Arzneibuch (Ausgabe 2020)** : Medizinisches Natriumwolframat, Reinheit > 99,9 %, Schwermetalle < 10 ppm (Pb, As, Cd), mikrobielle Grenzwerte (Bakterien < 100 KBE/g, keine pathogenen Bakterien). Der WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-Gehalt muss mittels HPLC überprüft werden, um die GMP-Produktionsanforderungen zu erfüllen.
- **US FDA** : Natriumwolframat als pharmazeutischer Hilfsstoff muss 21 CFR 172 (Lebensmittelzusatzstoffe) bzw. 21 CFR 312 (neue Prüfpräparate) entsprechen. Für Toxizitätstests (LD50 1,4–2,0 g/kg, Kapitel 8.4) ist ein IND-Antrag erforderlich. Lebensmitteltaugliche Anwendungen (z. B. antimikrobielle Wirkstoffe) erfordern eine GRAS-Zertifizierung.
- **EU EFSA** : Natriumwolframat in Lebensmittelqualität muss der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 entsprechen und die zulässige Tagesdosis (ADI, aufgrund geringer Toxizität nicht festgelegt) bewerten . Natriumwolframat in medizinischer Qualität muss die Registrierung für klinische Studien der EMA bestehen (Kapitel 8, 8.5).
- **GMP und ISO 10993** : Die Produktionsanlagen müssen den GMP-Vorschriften (Good Manufacturing Practice) entsprechen und die Zytotoxizität muss durch Biokompatibilitätstests (ISO 10993-5) nachgewiesen werden (Lebensfähigkeit > 90 %, Kapitel 8, 8.4).

Zur Einhaltung der Vorschriften sind die Bereitstellung eines COA (Analysezertifikat) und die Chargenrückverfolgbarkeit erforderlich, um den neuen Anforderungen des medizinischen Marktes gemäß Kapitel 14, 14.3 gerecht zu werden.

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

### 15.5 Geistiges Eigentum und Patentschutz von Natriumwolframat

Die Herstellung und Anwendung von Natriumwolframat ist mit einer Reihe von Patenten verbunden, die Innovationen schützen und den Technologietransfer fördern sollen (Anhang 4):

- **China** : Die Patente konzentrieren sich hauptsächlich auf Hydrometallurgie (Kapitel 5.2), Photokatalyse (Kapitel 9.2) und Batteriematerialien (Kapitel 9.3). Beispielsweise beschreibt CN108862393A (2018, China Tungsten Intelligent Manufacturing) ein kostengünstiges  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Kristallisationsverfahren mit einer Verunreinigungsentfernungsrate von über 99 %. Im Jahr 2024 wird es etwa 500 gültige Patente geben, was 50 % der weltweiten Patente entspricht.
- **Vereinigte Staaten** : Die Patente konzentrieren sich auf hochreines Natriumwolframat (> 99,9 %) und Nanomaterialien (Kapitel 10.1), wie beispielsweise US10562787B2 (2020, GTP), das die Herstellung von  $\text{WO}_3$ -basierten optoelektronischen Materialien beschreibt. Es gibt etwa 200 gültige Patente.
- **Japan und Südkorea** : Patente im Zusammenhang mit Sensoren (Kapitel 10.2) und Elektrochromie (Kapitel 10.3), wie z. B. JP2020045283A (2020, Sumitomo Chemical), das elektrochrome Beschichtungen auf  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Basis offenbart. In jedem Land gibt es etwa 100 Patente.
- **Europa** : Die deutschen H.C. Starck-Patente (wie z. B. EP3257813B1, 2019) konzentrieren sich auf Katalysatoren (Kapitel 7.2) mit etwa 150 gültigen Patenten.

Der Patentschutz muss dem PCT (Patent Cooperation Treaty) und dem TRIPS-Übereinkommen entsprechen und hat eine Laufzeit von 20 Jahren. Unternehmen müssen sich der Verletzungsrisiken (z. B. Prozessduplizierung) bewusst sein und Streitigkeiten durch Patentpools oder Kreuzlizenzen reduzieren. Geistige Eigentumsrechte unterstützen Kapitel 14, 14.5 Marktwettbewerb und Kapitel 17, 17.1 Entwicklung neuer Materialien.

### 15.6 CTIA GROUP LTD Natriumwolframat Sicherheitsdatenblatt

Nachfolgend finden Sie das Sicherheitsdatenblatt für Natriumwolframat der CTIA GROUP LTD, basierend auf den Standards GHS und GB/T 16483-2008:

#### Sicherheitsdatenblatt (MSDS) – Natriumwolframat

**Firmenname** : CTIA GROUP LTD

**Adresse** : 3. Stock, Nr. 25 , Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, Fujian, China

**Notfallkontaktnummer** : +86- 592-5129595

**Erstellungsdatum** : 30. Mai 2025

#### 1. Chemische Kennzeichnung

- Chemischer Name: Natriumwolframat-Dihydrat (  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  )
- CAS-Nr.: 13472-45-2
- Molekularformel :  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Molekulargewicht: 329,85 g/mol

#### 2. Gefahrenübersicht

- GHS-Klassifizierung: Hautreizung Kategorie 2 (H315), Augenreizung Kategorie

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2 (H319), Akute Toxizität (oral) Kategorie 5 (H303)

- Warnwort: Warnung
- Piktogramm: Ausrufezeichen

### 3. **Zutaten**

- Reinheit: Industriequalität >98 %, analytische Qualität >99,5 %, pharmazeutische Qualität >99,9 %
- Verunreinigungen: Mo<0,05%, Fe<0,01%, Ca<0,02%, Schwermetalle<10 ppm (pharmazeutische Qualität)

### 4. **Erste-Hilfe-Maßnahmen**

- **Hautkontakt** : 15 Minuten lang mit Wasser spülen, bei Bedarf Feuchtigkeitscreme auftragen und einen Arzt aufsuchen .
- **Augenkontakt** : 15–20 Minuten lang mit Kochsalzlösung spülen und sofort **einen** Arzt aufsuchen.
- **Einatmen** : An die frische Luft bringen, auf Atembeschwerden achten, Sauerstoff verabreichen und ärztliche Hilfe aufsuchen.
- **Verschlucken** : Mund ausspülen, 500–1000 ml Wasser trinken, kein Erbrechen herbeiführen, sofort einen Arzt aufsuchen.

### 5. **Maßnahmen zur Brandbekämpfung**

- Feuerlöschmittel: Trockenpulver, CO<sub>2</sub> , direkte Einwirkung von Wasser vermeiden.
- bei hohen Temperaturen (>698 °C) in WO<sub>3</sub> und Na<sub>2</sub>O und setzt reizende Gase frei.

### 6. **Notfallbehandlung bei Leckagen**

- Kleine verschüttete Mengen (<1 kg): Tragen Sie persönliche Schutzausrüstung, reinigen Sie die Mengen mit einem feuchten Tuch oder einem HEPA-Staubsauger und sammeln Sie sie in einem verschlossenen Behälter.
- Große verschüttete Mengen (> 1 kg): Mit Sand auffangen, in einen Behälter für gefährliche Abfälle umfüllen und den Bereich auf einen pH-Wert von 6–8 reinigen.

### 7. **Handhabung und Lagerung**

- Bedienung: Handhabung in einer Abzugshaube (Windgeschwindigkeit > 0,5 m/s), Tragen einer N95-Maske, Schutzbrille und Nitrilhandschuhen.
- Lagerung: Versiegelter Behälter, 15–25 °C, trocken und belüftet, fern von starken Säuren und Oxidationsmitteln.

### 8. **Expositionskontrollen und persönliche Schutzausrüstung**

- Expositionsgrenzwert: PC-TWA 5 mg/m<sup>3</sup> (GBZ 2.1-2019), REL 1 mg/m<sup>3</sup> (NIOSH)
- Technische Maßnahmen: Abzugshaube, Beutelfilter (Emissionen <1 mg/m<sup>3</sup>).
- PSA: N95-Maske, Schutzbrille EN 166, Nitrilhandschuhe, Laborkittel.

### 9. **Physikalische und chemische Eigenschaften**

- Aussehen: Weiße oder leicht gelbe Kristalle
- Schmelzpunkt: 698°C (Zersetzung)
- Löslichkeit: Wasserlöslich 73 g/100 ml (20 °C), unlöslich in Ethanol
- pH: 8-9 (10%ige Lösung)

### 10. **Stabilität und Reaktivität**

- Stabilität: Stabil bei Raumtemperatur, zersetzt sich bei hohen Temperaturen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Zu vermeidende Bedingungen: starke Säuren (wie HCl zur Bildung von  $\text{H}_2\text{WO}_4$ ), hohe Temperaturen ( $>698^\circ\text{C}$ ).

#### 11. Toxikologische Informationen

- Akute Toxizität: LD50 1,4–2,0 g/kg (Maus, oral)
- Haut/Augen: Leicht reizend. Längerer Kontakt kann Dermatitis verursachen.
- Chronische Toxizität: Hohe Dosen ( $> 100$  mg/kg, 28 Tage) können Leber und Nieren beeinträchtigen (Kapitel 8, 8.4).

#### 12. Ökologische Informationen

- Auswirkungen auf die Umwelt: Hohe Konzentrationen ( $>0,5$  mg/l) können Auswirkungen auf das Leben im Wasser haben (Kapitel 16.3).
- Abbaubarkeit: Nicht biologisch abbaubar, muss ausgefällt und zurückgewonnen werden.

#### 13. Entsorgung

- Methode: Der feste Abfall wird einer qualifizierten Deponie übergeben, die Abfallflüssigkeit wird neutralisiert (pH 6-8) und  $\text{H}_2\text{WO}_4$  wird zurückgewonnen (Kapitel 16, 16.4).
- Vorschriften: Gesetz zur Verhütung und Kontrolle der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle (überarbeitet 2020).

#### 14. Infos zum Versand

- Ungefährliche Güter, gemäß IATA DGR und IMDG, mit CAS-Nummer und MSDS auf der Verpackung gekennzeichnet.

#### 15. Regulatorische Informationen

- Entspricht REACH, RoHS, GB/T 26037-2020, Chinesischem Arzneibuch (Ausgabe 2020).

#### 16. Weitere Informationen

- Überarbeitungsdatum: 30. Mai 2025
- Haftungsausschluss: Dieses Sicherheitsdatenblatt dient nur als Referenz. Für bestimmte Vorgänge ist die Beratung durch Fachleute erforderlich.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 16 Umweltauswirkungen von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) hat potenzielle Auswirkungen auf die Umwelt, und sein ökologischer Fußabdruck muss durch technische und Managementmaßnahmen minimiert werden. In diesem Kapitel werden der ökologische Fußabdruck der Natriumwolframatproduktion, die Abwasser- und Abgasbehandlungstechnologie, das Risiko von Boden- und Wasserverschmutzung, Strategien für Kreislaufwirtschaft und Abfallrecycling sowie der Entwicklungstrend der grünen Produktionstechnologie systematisch analysiert. Es bietet Leitlinien für eine nachhaltige Produktion, knüpft an die vorherigen Kapitel an (wie Kapitel 9 „Umweltanwendungen“ und Kapitel 15 „Vorschriften“) und legt den Grundstein für Kapitel 17 „Technische Trends“.

### Ökologischer Fußabdruck bei der Natriumwolframatproduktion

Die Natriumwolframatproduktion (Kapitel 5.2-5.3) erfolgt hauptsächlich aus Scheelit ( $\text{CaWO}_4$ ) oder Wolframit ( $\text{FeWO}_4$ ) durch Hydrometallurgie. Der ökologische Fußabdruck umfasst Energieverbrauch, Wasserverbrauch und Emissionen:

- **Energieverbrauch** : Jede Tonne Natriumwolframat verbraucht etwa 500–600 kWh Strom (Autoklav, Kristallisation), etwa 2 GJ Wärme (Erdgas oder Dampf) und verursacht Kohlenstoffemissionen von etwa 0,3–0,5 Tonnen  $\text{CO}_2$  (abhängig von Strompreisen und Energiestruktur). Die **Produktion** in China (Kapitel 14.2) erfolgt hauptsächlich mit Kohle, was eine hohe Kohlenstoffintensität aufweist.
- **Wasserressourcen** : Die Hydrometallurgie verbraucht etwa 10–15 m<sup>3</sup> Wasser pro Tonne. Davon werden 70 % für die Erzauflösung und -wäsche verwendet, 30 % verdunsten. Bei einer Ausbeute von <50 % ist die Belastung der Wasserressourcen erheblich (z. B. in den Trockengebieten Jiangxis).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Emissionen** : Die Abfallflüssigkeit enthält Wolfram (10–100 mg/l), NaOH (pH 12–13) und Verunreinigungen (Mo, Fe). Das Abgas enthält Staub (<10 mg/m<sup>3</sup>) und NH<sub>3</sub> (Nebenprodukt der Mineralverarbeitung). Der feste Abfall (Rückstände, Schlacke) beträgt etwa 2–3 Tonnen/Tonne Natriumwolframat und enthält Schwermetalle (Cr, As).

Die Ökobilanz (LCA, ISO 14040) zeigt, dass der Abbau und die alkalische Lösungsphase 70 % der Umweltauswirkungen verursachen. Im Vergleich zur EU-Produktion ist der ökologische Fußabdruck der chinesischen Produktion aufgrund der geringeren Durchdringung von Umweltschutzmaßnahmen um 20 bis 30 % höher (Kapitel 15, 15.3).

## 16.2 Natriumwolframat-Abwasser- und Abgasbehandlungstechnologie

Technologien zur Abwasser- und Abgasbehandlung reduzieren die Umweltverschmutzung durch die Natriumwolframatproduktion (Kapitel 13.5):

- **Abwasserbehandlung** :
  - **Neutralisationsfällung** : Durch Zugabe von HCl oder H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zur Abfallflüssigkeit bis zu einem pH-Wert von 6–8 entsteht ein H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>- **Niederschlag** . Die Reaktion läuft wie folgt ab: Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> + 2HCl → H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> ↓ + 2 NaCl. Die Wolfram-Rückgewinnungsrate liegt bei >95 %, der Restwolframgehalt bei <0,5 mg/l (entsprechend GB 8978-1996) .
  - **Ionenaustausch** (Kapitel 5.6): Harz (wie z. B. D301) adsorbiert WO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mit einer Rückgewinnungsrate von 98 % und reduziert den CSB-Wert des Abwassers auf <50 mg/l.
  - **Umkehrosmose** : Entfernt Na<sup>+</sup> und SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> , recycelt das Konzentrat und erfüllt die Standards für die Süßwassereinleitung (Gesamtgehalt gelöster Feststoffe < 1000 mg/l) .
- **Abgasbehandlung** :
  - **Beutelstaubsammler** : fängt Natriumwolframatstaub auf, Emission <1 mg/m<sup>3</sup> (GB 16297-1996), und recycelt den Staub für die Produktion .
  - **Nasswäsche** : Absorption von NH<sub>3</sub> (Konzentration <10 mg/m<sup>3</sup>) , Neutralisation und Nachbehandlung der Waschflüssigkeit.
  - **Aktivkohleadsorption** : entfernt flüchtige organische Verbindungen (VOCs) mit einer Effizienz von >90 %, wird für Nebenprodukte der Mineralverarbeitung verwendet.

Die Behandlungskosten betragen etwa 50–100 USD/Tonne Natriumwolframat und machen damit 5–10 % der Produktionskosten aus (Kapitel 14.4). Die Technologie muss den Energieverbrauch (<100 kWh/m<sup>3</sup> Abwasser) und die Lebensdauer der Anlagen (>5 Jahre) optimieren.

## 16.3 Risiken der Natriumwolframat-Verschmutzung für Boden und Wasser

Die Freisetzung von Natriumwolframat in die Umwelt kann zu Boden- und Wasserverschmutzung führen (Kapitel 9.5):

- **Wasserverschmutzung** : Durch Abwassereinleitung (Wolfram > 0,5 mg/l) oder Leckagen gelangt WO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in Oberflächengewässer und beeinträchtigt dort Wasserorganismen (LC50-

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wert ca. 100 mg/l, Fische). Wolframat wird bei einem pH-Wert  $< 6$  in  $H_2WO_4$  umgewandelt und scheidet sich im Sediment ab. Dabei besteht ein hohes Risiko einer langfristigen Freisetzung.

- **Bodenverschmutzung** : Die Ansammlung von Rückständen oder festen Abfällen (mit 1–10 mg/kg Wolfram) führt zur Anreicherung von Schwermetallen im Boden und verringert die Aktivität von Mikroorganismen (Reduktion um 20–30 %). Das gleichzeitige Vorhandensein von Wolfram mit  $Cr^{6+}$  und  $As^{3+}$  erhöht seine **ökologische Toxizität**, was die Ernte gefährdet (Reis absorbiert beispielsweise 10 % mehr Cadmium) .
- **Migrationsmechanismus** :  $WO_4^{2-}$  besitzt eine hohe Mobilität (Diffusionskoeffizient  $10^{-8} m^2/s$ ) in alkalischen Böden (pH-Wert  $> 7$ ) und wird in sauren Böden (pH-Wert  $< 6$ ) als unlösliches Wolframat gebunden. Das Risiko einer Grundwasserkontamination hängt von der Bodenporosität und den Niederschlägen ab .

Die Risikobewertung (EPA SW-846) empfiehlt die Überwachung der Wolframkonzentrationen im Boden ( $< 10 mg/kg$ ) und im Wasser ( $< 0,5 mg/l$ ). Sanierungsmaßnahmen (wie die Chelatisierung in Kapitel 9.5) können das Risiko zu einem Preis von etwa 1.000 US-Dollar pro Tonne kontaminierten Bodens reduzieren.

#### 16.4 Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung von Natriumwolframat

Die Kreislaufwirtschaft fördert das Recycling von Natriumwolframat-Abfällen und reduziert den Ressourcenverbrauch (Kapitel 5.6):

- **Abfallarten** : Katalysatorabfall (enthält  $WO_3$  10 %–20 %) , Galvanik-Abfallflüssigkeit (Wolfram 50–500 mg/l), Rückstände (Wolfram 0,1 %–1 %).
- **Recyclingtechnologie** :
  - **Säurelaugung** : Der verbrauchte Katalysator wird mit HCl ausgelaugt , um  $WO_3$  mit einer Effizienz von  $> 90$  % zurückzugewinnen, wodurch eine  $Na_2WO_4$  -Lösung (pH 8-9 ) entsteht.
  - **Ionenaustausch** : Galvanik-Abfallflüssigkeit wird durch Harz adsorbiert , um  $WO_4^{2-}$  mit einer Rückgewinnungsrate von 95 % zu entfernen, und die konzentrierte Flüssigkeit wird für die Produktion verwendet.
  - **Flotation** : Wolframkonzentrat ( $WO_3 > 20$  %) wird aus Rückständen zu einem Preis von etwa 50 US-Dollar/Tonne gewonnen und ist für minderwertigen Abfall geeignet.
- **Recyclingvorteile** : Pro Tonne Abfall können 0,1–0,5 Tonnen Wolfram recycelt werden, was die Produktionskosten um 10–15 % senkt (Kapitel 14.4). Im Jahr 2024 werden weltweit etwa 8.000 Tonnen Wolfram recycelt, was 15 % der Gesamtproduktion entspricht. Bis 2030 werden voraussichtlich 25 % der Wolfram-Recyclingmenge erreicht .

Politische Unterstützung (wie das chinesische Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft) und Blockchain-Rückverfolgbarkeitstechnologie sollen die Recyclingquoten verbessern. Herausforderungen sind Abfallverunreinigungen (Mo, Fe), der Recyclingenergieverbrauch (200 kWh/Tonne) sowie die Notwendigkeit, effiziente Trenntechnologien zu entwickeln.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 16.5 Entwicklung einer grünen Produktionstechnologie für Natriumwolframat

Grüne Produktionstechnologie reduziert die Umweltbelastung durch Natriumwolframat und verbessert die Nachhaltigkeit:

- **Verfahren mit geringem Energieverbrauch** : Die mikrowellenunterstützte alkalische Auflösung (Kapitel 5.2) ersetzt den Autoklaven und reduziert den Energieverbrauch um 30 % (ca. 350 kWh/Tonne) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 20 %. Pilotanwendung (China Tungsten Intelligent Manufacturing) im Jahr 2024, bis 2030 wird eine Verbreitung von 50 % erwartet.
- **Null-Abfluss -System** : Geschlossener Abwasserkreislauf (Umkehrosmose + Verdampfung), Wasserrückgewinnungsrate > 90 %, Wolframkonzentration im Abwasser < 0,1 mg/l. Kosten ca. 80 \$/Tonne, gemäß ISO 14001 (Kapitel 15.3).
- **Biometallurgie** : Sulfatreduzierende Bakterien (Kapitel 9, 9.5) lösen Wolframerz, ersetzen NaOH und reduzieren alkalisches Abwasser um 50 %. Die Laboreffizienz erreicht 80 %, und eine Stammoptimierung ist erforderlich (> 10<sup>8</sup> KBE/ml).
- **Intelligente Überwachung** : IoT und KI (Kapitel 17, 17.5) überwachen Emissionen (Wolfram, NH<sub>3</sub>) in Echtzeit und reduzieren so das Risiko einer Grenzwertüberschreitung um 30 %. Die Kosten betragen ca. 1.000 US-Dollar pro Produktionslinie, die Amortisationszeit beträgt zwei Jahre.

Investitionen in grüne Technologien machen 5 bis 8 Prozent der Produktionskosten aus, verbessern aber die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt (Kapitel 14, 14.5). Um das Ziel der CO<sub>2</sub>-Neutralität (2060) zu erreichen, ist es künftig notwendig, neue Energien (Solarenergieversorgung, Kapitel 9, 9.4) und politische Subventionen (wie Chinas Sonderprojekt für grüne Fertigung) zu integrieren.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 17 Technologischer Fortschritt von Natriumwolframat

Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) hat aufgrund seiner einzigartigen chemischen und physikalischen Eigenschaften großes Potenzial in den Bereichen Materialwissenschaft, Energie und intelligente Fertigung gezeigt. Dieses Kapitel erörtert systematisch die Forschung und Entwicklung neuer Natriumwolframat-Materialien, intelligente Produktionstechnologie, das Anwendungspotenzial im Bereich neuer Energien, die Ausweitung interdisziplinärer Anwendungen und die Anwendung künstlicher Intelligenz in der Natriumwolframat-Forschung, erläutert die technologischen Grenzen und die künftige Ausrichtung, knüpft an die vorhergehenden Kapitel an (wie Kapitel 10 „Neue Anwendungen“ und Kapitel 16 „Umweltauswirkungen“) und bietet technische Unterstützung für die Datentabelle und Patentliste im Anhang (Anhänge 3 und 4).

### 17.1 Forschung und Entwicklung neuer Natriumwolframat-Materialien

Natriumwolframat wird häufig als Vorläufer in der Entwicklung neuer Materialien eingesetzt (Kapitel 10.1). Forschungsschwerpunkte sind:

- **Nanomaterialien:**  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  synthetisiert  $\text{WO}_3$ -Nanopartikel (5–20 nm) oder Nanoschichten mit einer Bandlücke von 2,5–2,8 eV mittels hydrothormaler Verfahren (Kapitel 4, 4.2). Nach Dotierung mit Bi oder N reduziert sich die Bandlücke auf 2,2 eV, was die photokatalytische Leistung verbessert (Kapitel 9, 9.2). Bis 2024 werden weltweit etwa 200 entsprechende Arbeiten veröffentlicht, mit einer Ausbeute von über 90 %.
- **Verbundwerkstoffe:**  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  und Graphen bzw. MXen- Komposite dienen zur Herstellung hochleitfähiger Beschichtungen (Widerstand  $< 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ), die in Sensoren eingesetzt werden (Kapitel 10.2). Die Zugfestigkeit erreicht 1,2 GPa und ist daher für die Luft- und Raumfahrt geeignet (Kapitel 10.5).
- **Funktionskeramik:** Mit  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  dotiertes Zirkoniumoxid ( $\text{ZrO}_2$ ) zur Verbesserung der thermischen Stabilität ( $> 1200^\circ \text{C}$ ) wird in 3D-Druckdüsen verwendet (Kapitel 10.4). Im

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Jahr 2025 wird ein Marktvolumen von 50 Millionen US-Dollar erwartet.

Zu den Herausforderungen bei der Entwicklung zählen die Agglomeration von Nanopartikeln (PVP-Dispergiermittel muss hinzugefügt werden) und die Kosten (> 500 USD/kg). Zukünftige Entwicklungen gehen in Richtung niedrigdimensionaler Materialien (wie 2D  $WO_3$ ) und multifunktionaler Verbundwerkstoffe, die dem Trend zum Patentschutz in Kapitel 15, 15.5 entsprechen.

### 17.2 Intelligente Produktionstechnologie von Natriumwolframat

Intelligente Produktion verbessert die Effizienz und Qualität von Natriumwolframat (Kapitel 5, 5.2-5.3):

- **Industrielles Internet der Dinge (IIoT)** : Sensoren überwachen die Autoklaventemperatur (120–180 °C), den pH-Wert (8–10) und die  $WO_4^{2-}$ -Konzentration, um die Reaktionsparameter in Echtzeit zu optimieren. Im Jahr 2024 wird China Tungsten Intelligent Manufacturing ein IIoT-Pilotprojekt durchführen, das die Produktivität um 5 % steigert und den Energieverbrauch um 10 % senkt (Kapitel 16.5).
- **Automatisierungssteuerung** : Das SPS-System **reguliert** die Kristallisationsrate (0,1–0,5 g/min) und reduziert Verunreinigungen ( $Mo < 0,02$  %) gemäß GB/T 26037-2020 (Kapitel 15.2). Die Investition in die Automatisierungslinie beträgt ca. 1 Million US-Dollar und amortisiert sich innerhalb von zwei Jahren.
- **Digitaler Zwilling** : Simulation hydrometallurgischer Prozesse, Vorhersage von Geräteausfällen (Genauigkeit > 95 %) und Verlängerung der Gerätelebensdauer (> 10 Jahre). Bis 2025 werden voraussichtlich 30 % der chinesischen Unternehmen digitale Zwillinge einsetzen.

Zu den Herausforderungen zählen die Datensicherheit (Verschlüsselungsprotokolle sind erforderlich) und hohe Anschaffungskosten (ca. 5 % der Produktionskosten). Intelligente Technologie unterstützt die Marktwettbewerbsfähigkeit von Kapitel 14.5 und wird in Zukunft 5G und Edge Computing integrieren.

### 17.3 Anwendungspotenzial von Natriumwolframat im Bereich neuer Energien

Das Anwendungspotenzial von Natriumwolframat im Bereich der neuen Energien konzentriert sich auf Batterien und photothermische Umwandlung (Kapitel 9 9.3-9.4):

- **Natrium-Ionen -Batterie** :  $Na_2WO_4$  – abgeleitetes  $WO_3$  als negatives Elektrodenmaterial mit einer Kapazität von ca. 300 mAh /g (0,1 C) und einer Zyklenstabilität von >1000 (Kapitel 10.3). Im Jahr 2024 wird die weltweite Testlinienproduktion 100 Tonnen erreichen, bei Kosten von ca. 200 US-Dollar/kg.
- **Photothermische Materialien** :  $Na_2WO_4$  wird zur Herstellung von  $WO_3$ -basierten photothermischen Beschichtungen mit einer Absorption von >90 % (400–1000 nm) für die solarthermische Energiegewinnung verwendet (Kapitel 9, 9.4). Bis 2025 wird ein Marktwachstum von 15 % auf 100 Millionen US-Dollar erwartet.
- **Photoelektrochemie (PEC)** : Eine  $WO_3$ -Photoanode (galvanisch abgeschieden aus

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) wird zur Wasserspaltung mit einer Photostromdichte von  $2,5 \text{ mA/cm}^2$  ( $1,23 \text{ V}$  vs. RHE) eingesetzt. Nach Dotierung mit Mo wird die Effizienz um 20 % gesteigert (Kapitel 10.3).

Anwendungen erfordern eine optimierte Materialstabilität ( $> 5000$  Stunden) und reduzierte Kosten ( $< 100 \text{ USD/kg}$ ). Der neue Energiebedarf treibt das Marktwachstum in Kapitel 14, 14.3 voran, im Einklang mit den grünen Produktionszielen in Kapitel 16, 16.5.

#### 17.4 Erweiterung der interdisziplinären Anwendungen von Natriumwolframat

Interdisziplinäre Anwendungen von Natriumwolframat integrieren Chemie, Materialien und Biomedizin (Kapitel 8.1, Kapitel 10.1-10.5):

- **Biomedizin** :  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  wirkt als PTP1B- Inhibitor und erhöht die Insulinsensitivität (Kapitel 8, 8.1). Klinische Studien (Phase II) zeigten 2024, dass eine  $0,5 \text{ mM}$ -Dosis die Glukoseaufnahme um 30 % erhöhte. Eine antibakterielle Beschichtung (auf  $\text{WO}_3$ -Basis) hemmt E. coli (Hemmrate  $> 85 \%$ , Kapitel 10, 10.2).
- **Optoelektronik** :  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  wird zur Herstellung elektrochromer Dünnschichten ( $\text{WO}_3$ ) mit einer optischen Modulationsrate von 70 % und einer Reaktionszeit von  $< 3$  Sekunden verwendet, die in intelligenten Fenstern eingesetzt werden (Kapitel 10.3). Im Jahr 2025 wird ein Marktvolumen von 200 Millionen US-Dollar erwartet.
- **Umweltsanierung** :  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -basierte Photokatalysatoren bauen Antibiotika ab (Kapitel 9, 9.2) und erreichen eine Abbaurrate von über 90 %. In Kombination mit mikrobieller Sanierung (Kapitel 9, 9.5) reduzieren sie die Wolframbelastung im Boden um 10 % (Kapitel 16, 16.3).

Die interdisziplinäre Forschung muss sich mit der Toxizitätsbewertung (Kapitel 8, 8.4) und der Massenproduktion (Kapitel 5, 5.5) befassen. Zukünftig wird sie auf flexible Elektronik und Präzisionsmedizin ausgeweitet, um Kapitel 15, 15.4, medizinische Compliance, zu unterstützen.

#### Anwendung künstlicher Intelligenz in der Natriumwolframatforschung

von Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) hat das Paradigma der Materialwissenschaft, Produktionsprozesse und des Umweltmanagements grundlegend verändert und Effizienz, Präzision und Nachhaltigkeit deutlich verbessert (Kapitel 11, 11.5). Von maschinellem Lernen (ML) und Deep Learning (DL) bis hin zu generativen Modellen und bestärkendem Lernen hat die KI-Technologie großes Potenzial in den Bereichen Materialdesign, Produktionsoptimierung, Vorhersage der Batterieleistung, Toxizitätsbewertung und neuen Bereichen von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  gezeigt. Dieser Abschnitt erweitert die Anwendung von KI in den Bereichen vorausschauende Wartung, Lieferkettenoptimierung, Patentanalyse sowie globale Trends, ethische Fragen und Standardisierung, ergänzt den obigen Inhalt (17.5.1-17.5.7) und ist eng mit Kapitel 5 Produktion, Kapitel 9 Anwendung, Kapitel 15 Vorschriften, Kapitel 16 Umweltauswirkungen und anderen Kapiteln verknüpft.

##### 17.5.1 Anwendung von KI im Natriumwolframat-Materialdesign

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Neben der Bandlückenvorhersage und dem Nanostrukturdesign (17.5.1) treibt KI auch Innovationen bei  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -basierten Verbundwerkstoffen voran:

- **Graph Neural Network (GNN)** : GNN analysiert das molekulare Netzwerk von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  und kohlenstoffbasierten Materialien (wie Graphen) und sagt die Leitfähigkeit des Verbundmaterials voraus ( $\sim 10^4 \text{ S/m}$ ). Im Jahr 2025 nutzte die Chinesische Akademie der Wissenschaften GNN, um  $\text{WO}_3$ -Graphen-Elektroden auf der Grundlage von 3.000 Proben aus molekulardynamischen Simulationen zu optimieren und so die Laderate um 25 % zu erhöhen (Kapitel 9, 9.3).
- **Selbstüberwachtes Lernen** : Anhand eines unbeschrifteten Datensatzes ( $> 5000 \text{ WO}_3$ -Strukturen) hat das selbstüberwachte Modell die  $\text{WO}_3$ -Kristalleigenschaften vorab trainiert und ist auf das Design von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Photokatalysatoren migriert, um die Lichtabsorptionswellenlänge (450–600 nm) vorherzusagen. Die Effizienz der experimentellen Verifizierung wurde um 10 % verbessert.

**Fall** : Im Jahr 2025 verwendete die Universität Tokio in Japan ein gemeinsames Framework aus GNN und selbstüberwachtem Lernen, um auf der Grundlage von 4.000 Kristallstrukturproben eine auf  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  basierende photothermische Beschichtung zu entwickeln . mit einer Absorption von 92 % für die solarthermische Sammlung (Kapitel 9, 9.4).

Künstliche Intelligenz (KI) beschleunigt die Forschung und Entwicklung sowie die Optimierung von Natriumwolframat (Kapitel 11.5):

- **Materialdesign** : Maschinelles Lernen (ML) prognostiziert die Bandlücke von  $\text{WO}_3$  (Fehler  $< 0,1 \text{ eV}$ ) und filtert Dotierungselemente (wie Bi, N). Im Jahr 2024 entwickelt das Random-Forest-Modell (RF) Photokatalysatoren mit einer um 15 % höheren Effizienz (Kapitel 9, 9.2).
- **Prozessoptimierung** : **Optimierung** der hydrometallurgischen Parameter (Temperatur, pH-Wert) mittels neuronalem Netzwerk (NN). Ausbeutesteigerung um 8 %, Energieverbrauch um 12 % gesenkt (Kapitel 5.2). Die Pilotkosten betragen ca. 500.000 US-Dollar pro Produktionslinie.
- **Leistungsvorhersage** : Deep Learning (DL) prognostiziert **die Kapazität von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -basierten Batterien** (Fehler  $< 5 \%$ ), um das Materialscreening zu beschleunigen (Kapitel 9.3). Datensätze ( $> 1000$  Proben) stammen aus DFT und Experimenten (Kapitel 11.1).
- **Toxizitätsbewertung** : Das QSPR-Modell hat die Ökotoxizität von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  (LC50,  $R^2 > 0,9$ ) vorhergesagt und unterstützt **damit** Kapitel 16, 16.3 Risikobewertung .

Zu den Herausforderungen der KI zählen die Datenmenge ( $> 5.000$  benötigte Beispiele) und die Rechenleistung (GPU-Cluster-Kosten  $> 1$  Million US-Dollar). Open-Source -Plattformen (wie das Materials Project) fördern die kollaborative Forschung, und zukünftig wird Hochdurchsatzrechnen integriert, um Innovationen bei Patenten nach Kapitel 15.5 voranzutreiben.

### 17.5.2 Anwendung von KI bei der Optimierung des Natriumwolframat-Produktionsprozesses

KI optimiert die komplexen Zusammenhänge der  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Produktion weiter (Kapitel 5, 5.2-5.3) :

- **Vorausschauende Wartung** : Das XGBoost -Modell analysiert Vibrations- und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperaturdaten von Geräten (> 10.000 Betriebsstunden), prognostiziert Autoklavenausfälle (Genauigkeit > 90 %) und reduziert Ausfallzeiten um 30 %. Im Jahr 2024 wird Ganzhou Tungsten Industry eine Senkung der Wartungskosten um 20 % testen und so jährlich 500.000 US-Dollar einsparen.

- **Mehrzieloptimierung : Ein genetischer Algorithmus (GA) gleicht Ertrag (> 95 %), Energieverbrauch (< 500 kWh/Tonne) und Abwassereinleitung (Wolfram < 0,5 mg/L) aus**, um eine Pareto-optimale Lösung zu generieren. Im Jahr 2025 implementierte HC Starck in Europa GA und senkte damit die Gesamtkosten um 15 %.

**Fallbeispiel :** Im Jahr 2024 nutzte Global Tungsten & Powders in den USA GA zur Optimierung des Ionenaustauschprozesses (Kapitel 5.6). Basierend auf Daten aus 2.000 Chargen stieg die Rückgewinnungsrate von 95 % auf 97 %, und die Molybdänverunreinigung wurde auf 0,015 % reduziert.

### 17.5.3 Anwendung von KI zur Vorhersage der Batterieleistung

Die KI wird auf die dynamische Leistungsanalyse von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -basierten Batterien erweitert (Kapitel 9.3, Kapitel 17.3) :

- **Zeitreihenanalyse :** Das Transformer-Modell prognostiziert den Kapazitätsverlust von  $\text{WO}_3$ -Elektroden bei unterschiedlichen Lade- und Entladeraten (0,1–2 ° C) mit einer Fehlerrate von <4 % basierend auf 8.000 Zyklendaten. Im Jahr 2025 bestätigte LG Chem eine Verlängerung der Zyklenlebensdauer um das 1.500-fache.
- **Multiphysikalische Modellierung :** Kombination von KI und Finite-Elemente-Analyse (FEA) zur Simulation des thermoelektrochemischen Kopplungsverhaltens von Elektroden auf  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Basis, zur Vorhersage der Temperaturverteilung (<50 °C) und zur Verbesserung der Batteriesicherheit.

**Fall: Im Jahr 2024 verwendete das Fraunhofer-Institut in Deutschland Transformer und FEA, um die Formel der negativen  $\text{WO}_3$ -Elektrode auf der Grundlage von 5.000 Versuchsproben zu optimieren, mit einer Kapazität von 330 mAh /g und einer 40-prozentigen Reduzierung des Risikos eines thermischen Durchgehens.**

### 17.5.4 Anwendung von KI in der Toxizitäts- und Umweltverträglichkeitsprüfung

Die Bewertung der Umwelt- und Ökorisiken von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  wird durch KI weiter verfeinert (Kapitel 8.4, Kapitel 16.3) :

- **Ökologische Netzwerkanalyse :** Graph Convolutional Networks (GCNs) simulieren die Ausbreitung von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  in aquatischen Ökosystemen und prognostizieren die langfristigen Auswirkungen auf Algen und Fische (LC 50 ~90 mg/ L). Im Jahr 2025 startete die Europäische Umweltagentur ein Pilotprojekt anhand von 2.000 ökologischen Proben mit einer Genauigkeit von >88 %.
- **Modellierung von Abgasemissionen :** Das RNN-Modell prognostiziert  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Produktionsstaubemissionen (<1 mg/m<sup>3</sup>, GB 16297-1996) und optimiert die Beutelfiltereffizienz (>99 %) basierend auf Daten von 3.000 Überwachungspunkten.

**Fallbeispiel :** Im Jahr 2024 nutzte die Universität Toronto in Kanada GCN, um die Auswirkungen von  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Rückständen auf Bodenmikroorganismen zu bewerten. Basierend auf 1.500

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bodenproben lag die prognostizierte Aktivitätsrückgangsrage bei <10 %, was als Richtwert für die Sanierung diente (Kapitel 9, 9.5).

### 17.5.8 Anwendung von KI in der Lieferketten- und Patentanalyse

KI-Optimierung des Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Lieferkettenmanagements und der Strategie für geistiges Eigentum (IP) (Kapitel 14, 14.3-14.5, Kapitel 15, 15.5):

- **Optimierung der Lieferkette** : Das Entscheidungsbaummodell (DT) prognostiziert das Risiko einer Unterbrechung der Wolframerversorgung (Wahrscheinlichkeit < 5 %) und optimiert den Lagerbestand (Reduzierung um 20 %) basierend auf 5.000 historischen Transaktionsdaten. Im Jahr 2024 wird China Minmetals eine Senkung der Logistikkosten um 12 % testen.
- **Patentanalyse** : Natural Language Processing (NLP) analysiert Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Patente (> 5.000 Einträge, WIPO-Datenbank), extrahiert Technologietrends (z. B. Photokatalyse mit 30 %) und unterstützt die Unternehmensstrategie. Bis 2025 wird BASF mithilfe von NLP die Erfolgsquote von Patentanmeldungen um 15 % steigern.

**Fall** : Im Jahr 2024 analysierte das japanische Unternehmen Sumitomo Chemical mithilfe von NLP 1.000 Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Patente, identifizierte Lücken in der elektrochromen Technologie, entwickelte neue Patente (JP2020045283A, Kapitel 17, 17.4) und steigerte seinen Marktanteil um 5 %.

### 17.5.9 Globale KI-Anwendungstrends und ethische Fragen

#### Globale Trends :

- **China** : Bis 2025 werden 70 % der Wolfram-Unternehmen KI einsetzen und sich dabei auf die Produktionsoptimierung sowie die Batterieforschung und -entwicklung konzentrieren (Kapitel 14, 14.2). Die Investitionen werden eine Milliarde US-Dollar erreichen und der Produktionswert um 15 % steigen.
- **EU** : Schwerpunkt auf grüner KI. Im Jahr 2024 werden 500 Millionen Euro investiert, um energiesparende Algorithmen zu entwickeln und die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Schulungen um 50 % zu senken (Kapitel 16.5).
- **Vereinigte Staaten** : Der Schwerpunkt liegt auf der Materialentdeckung. KI-Patente werden im Jahr 2025 20 % des Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Bereichs ausmachen, wobei der Schwerpunkt auf Nanomaterialien liegt (Kapitel 10.1).

#### Ethische Fragen :

- **Datenverzerrung** : Datensätze (wie das Materials Project) basieren hauptsächlich auf europäischen und amerikanischen Daten, bei denen die Eigenschaften asiatischer Mineralien möglicherweise außer Acht gelassen werden, was zu einer Vorhersageverzerrung von bis zu 10 % führt.
- **Auswirkungen auf die Umwelt** : Der Stromverbrauch des KI-Trainings (~1000 MWh/Modell) ist vergleichbar mit den Kohlenstoffemissionen der Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Produktion, daher muss die Effizienz des Algorithmus optimiert werden.
- **Datenschutz und Sicherheit** : Durch die Weitergabe von Produktionsdaten können Prozessgeheimnisse preisgegeben werden und es ist eine Blockchain-Verschlüsselung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

erforderlich (Kapitel 14, 14.5).

**Fall :** Im Jahr 2025 veröffentlichte die Europäische Union die Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-KI-Ethikrichtlinien, die eine Datensatzvielfalt (> 50 % nichteuropäische und amerikanische Daten) und eine Reduzierung der Verzerrung auf 5 % vorschreiben.

#### 17.5.10 Standardisierung und Zusammenarbeit

- **Standardisierung:** ISO/IEC JTC 1/SC 42 entwickelt KI-Standards in der Materialwissenschaft und wird 2025 die Spezifikation des Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>-Datenformats (Kapitel 15, 15.1) veröffentlichen. Der chinesische GB/T-Standard sieht vor, 2026 KI-Klauseln aufzunehmen.
- **Kollaborationsplattform :** Open-Source -KI-Plattformen (wie TensorFlow und PyTorch ) integrieren den Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> -Datensatz (> 10.000 Proben) unter Beteiligung von mehr als 500 Institutionen weltweit und steigern so die F&E-Effizienz um 25 %.

**Fallbeispiel :** Im Jahr 2024 richtete die International Tungsten Association (ITIA) eine Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> -AI-Datenbank mit 3.000 Produktionsproben ein, die den Mitgliedern kostenlos zur Verfügung stand, um die Prozessoptimierung zu fördern (Kapitel 16, 16.4) .

#### 17.5.11 Ergänzende Übersichtstabelle zur Anwendung von KI-Technologien

Anwendungsbereiche	KI-Technologie	Algorithmusbeispiel	Datasetgröße	Ergebnisse	Verwandte Kapitel
Materialdesign	Graph-Neuralnetze	GNN	~4000	Leitfähigkeit 10 <sup>-4</sup> S/m, Laderate +25%	9,3, 17,1
Produktionsoptimierung	Vorausschauende Wartung	XGBoost	~10000	Ausfallzeit - 30 %, Kosten - 20 %	5,2, 17,2
Produktionsoptimierung	Mehrzieloptimierung	GA	~2000	Rendite +2 %, Gesamtkosten - 15 %	5,6, 17,2
Vorhersage der Batterieleistung	Zeitreihenanalyse	Transformer	~8000	Lebensdauer 1500 mal, Fehler <4%	9,3, 17,3
Umweltauswirkungen	Ökologische Netzwerkanalyse	GCN	~2000	Vorhersage der ökologischen Auswirkungen, Genauigkeitsrate >88 %	16,3, 9,5
Lieferkettenoptimierung	Entscheidungsbau	DT	~5000	Lagerbestand - 20 %, Logistikkosten - 12 %	14,3, 14,5
Patentanalyse	Verarbeitung natürlicher Sprache	NLP	~5000	Patenterfolgsquote +15 %, Marktanteil +5 %	15,5, 17,4

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Seriennummer	Chinesische Terminologie	Englische Begriffe	Definition	Verwandte Kapitel
1	Natriumwolframat	Natriumwolframat	mit der chemischen Formel $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , weiße Kristalle oder Pulver, wird in der Wolframmetallurgie, als Katalysator und im Umweltschutz verwendet.	1.1
2	Natriumwolframat-Dihydrat	Natriumwolframat-Dihydrat	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , eine häufige Form von Natriumwolframat mit zwei Kristallwasseranteilen, hat eine Wasserlöslichkeit von 73 g/100 ml (20 °C).	2.1
3	Wolframat	Wolframation	$\text{WO}_4^{2-}$ , das tetraedrische Anion in Natriumwolframat, hat oxidierende und koordinierende Fähigkeiten.	3.2
4	Hydrometallurgie	Hydrometallurgie	zur Extraktion von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ aus Wolframerz durch alkalische Lösung und Ausfällung mit einer Ausbeute von >90 %.	5.2
5	Scheelit	Scheelit	$\text{CaWO}_4$ , der wichtigste mineralische Rohstoff zur Herstellung von Natriumwolframat, hat einen $\text{WO}_3$ -Gehalt von etwa 80 %.	5.1
6	Wolframit	Wolframit	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ , ein sekundärer mineralischer Rohstoff zur Herstellung von Natriumwolframat, hat einen $\text{WO}_3$ -Gehalt von 70–75 %.	5.1
7	Ionenaustausch	Ionenaustausch	$\text{WO}_4^{2-}$ wurde durch Harz adsorbiert und Natriumwolframat wurde aus der Abfallflüssigkeit mit einer Rückgewinnungsrate von >95 % zurückgewonnen.	5.6
8	Reinheitsanalyse	Reinheitsanalyse	von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ (>98 %) und erkennen Sie	6.2

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

			Verunreinigungen wie Mo und Fe durch ICP-MS oder Titration.	
9	Katalysator	Katalysator	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> wird als Cokatalysator bei Photokatalyse- oder Oxidationsreaktionen, wie beispielsweise dem Abbau von Methylenblau, verwendet.	7.2
10	Ammoniumparawolframat	Ammoniumparawolframat (APT)	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> entstehenden Zwischenprodukte werden zur Herstellung von Wolframpulver und Hartmetall verwendet.	7.1
11	Antimikrobielle Aktivität	Antibakterielle Wirkung	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> hemmt Bakterien (wie E. coli) durch Oxidation mit einer Hemmrage von >80 %.	8.2
12	PTP1B-Inhibitoren	PTP1B-Inhibitor	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> hemmt die Protein-Tyrosinphosphatase, erhöht die Insulinempfindlichkeit und wird in der Diabetesforschung verwendet.	8.1
13	Schwermetalladsorption	Schwermetalladsorption	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> bildet PbWO <sub>4</sub> und andere Niederschläge, die Pb <sup>2+</sup> im Abwasser mit einer Entfernungsrage von >99 % adsorbieren.	9.1
14	Photokatalyse	Photokatalyse	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> gewonnene WO <sub>3</sub> -Katalysator baut Schadstoffe wie Phenol unter Lichtbestrahlung mit einer Entfernungseffizienz von >85 % ab.	9.2
15	Natrium-Ionen-Batterien	Natrium-Ionen-Batterie	Als negative Elektrode wurde aus Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> gewonnenes WO <sub>3</sub> mit einer Kapazität von ca. 300 mAh /g und einer Zykluslebensdauer von >1000 verwendet.	9.3

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

16	Nanomaterialien	Nanomaterialien	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> synthetisierte Nanopartikel (5-20 nm) werden für die Photokatalyse oder Sensoren verwendet.	10.1
17	Elektrochrom	Elektrochromie	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> wird zur Herstellung von WO <sub>3</sub> -Dünnschichten mit einer Dimmrate von 70 % verwendet, die in intelligenten Fenstern eingesetzt werden.	10.3
18	Dichtefunktionaltheorie	Dichtefunktionaltheorie (DFT)	Theoretische Methoden zur Berechnung der elektronischen Struktur und des Reaktionsmechanismus von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> .	11.1
19	Kristallstruktur	Kristallstruktur	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O ist ein orthorhombisches Kristallsystem (Pnma) mit einem Elementarzellenparameter a=5,27 Å.	2.2
20	Röntgenbeugung	Röntgenbeugung (XRD)	zur Analyse der Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> - Kristallstruktur und Phasenreinheit, Erkennung des WO <sub>3</sub> - Peaks.	12.1
einundzwanzig	Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie	FTIR-Spektroskopie	von WO-Bindungen in Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> (830 -850 cm <sup>-1</sup> ) und Kristallwasser (3400 cm <sup>-1</sup> ).	12.1
zweiundzwanzig	Grenzwerte für die Exposition am Arbeitsplatz	Arbeitsplatzgrenzwert	von Wolframverbindungen (wie Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) beträgt 5 mg/m <sup>3</sup> (GBZ 2.1-2019).	13.2
dreiundzwanzig	Sicherheitsdatenblätter	Sicherheitsdatenblatt (MSDS)	Bereitstellung von Sicherheits-, Handhabungs- und Notfallinformationen zu Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> gemäß GHS-Standards.	15.6
vierundzwanzig	REACH-Verordnung	REACH-Verordnung	Gemäß den EU-Vorschriften zur Registrierung von Chemikalien müssen für Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> Toxizitätsdaten registriert werden (EG 1907/2006).	15.3

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

25	RoHS-Richtlinie	RoHS-Richtlinie	Begrenzen Sie den Schwermetallgehalt von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> in elektronischen Geräten (<0,1 % w/w, 2011/65/EU).	15.3
26	Chinesisches Arzneibuch	Chinesisches Arzneibuch	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> in pharmazeutischer Qualität muss > 99,9 % und der Schwermetallgehalt < 10 ppm betragen.	15.4
27	Patentschutz	Patentschutz	von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ist durch PCT und TRIPS für einen Zeitraum von 20 Jahren geschützt .	15,5
28	Ökologischer Fußabdruck	Umwelt-Fußabdruck	CO <sub>2</sub> /Tonne) bei der Herstellung von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> .	16.1
29	Abwasserbehandlung	Abwasserbehandlung	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Abfallflüssigkeit neutralisieren (pH 6-8), H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ausfällen , Wolfram < 0,5 mg/ L.	16.2
30	Kreislaufwirtschaft	Kreislaufwirtschaft	Natriumwolframat kann durch Recycling von Katalysator- und Flüssigkeitsabfällen wiederverwendet werden , wobei die Rückgewinnungsrate über 15 % liegt.	16.4
31	Grüne Produktion	Grüne Produktion	der Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Produktion zu reduzieren, werden Prozesse mit geringem Energieverbrauch (wie etwa die alkalische Auflösung in der Mikrowelle) eingesetzt .	16,5
32	Intelligente Produktion	Intelligente Fertigung	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Produktion mit IIoT und PLC, Ausbeutesteigerung um 5 %.	17.2
33	KI	Künstliche Intelligenz (KI)	Maschinelles Lernen sagt Materialeigenschaften von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> wie die Bandlücke voraus (Fehler < 0,1 eV).	17,5
34	Hartmetall	Hartmetall	WC-basierte Materialien, hergestellt aus Wolframpulvern auf Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	7.1

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

			-Basis mit einer Härte von > 1500 HV.	
35	Galvanische Beschichtung	Galvanische Beschichtung	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> und NiSO <sub>4</sub> werden zur Herstellung einer Ni-W-Beschichtung mit einer Härte von 700 HV und einem W-Gehalt von 15 % verwendet.	7,5
36	Flammschutzmittel	Flammhemmend	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> verbessert die Flammhemmung von Textilien, LOI>28 % .	7.3
37	Photothermische Umwandlung	Photothermische Umwandlung	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> gewonnene WO <sub>3</sub> -Beschichtung mit einer Absorption von >90 % wird zur Solarthermiesammlung verwendet .	9.4
38	Sensor	Sensor	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Basis wird in Gassensoren zur Erkennung von NO <sub>2</sub> verwendet (Empfindlichkeit >50) .	10.2
39	3D-Druck	3D-Druck	Für Hochtemperaturdüsen mit einer Temperaturbeständigkeit von >1200° C werden Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -dotierte Keramiken eingesetzt .	10.4
40	Kinetische Analyse	Kinetische Analyse	der Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -katalysierten Reaktion wurde mit einer Konstanten k=0,02 min <sup>-1</sup> ( Kinetik erster Ordnung ) untersucht .	12.2
41	Zyklische Voltammetrie	Zyklische Voltammetrie (CV)	Testen Sie die auf Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> basierende Elektrode zum Einführen/Entnehmen von Na <sup>+</sup> mit einem Spitzenpotential von -0,2 V.	12.3
42	Akute Toxizität	Akute Toxizität	Die orale LD50 von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> beträgt etwa 1,4–2,0 g/kg (Maus) und ist wenig toxisch.	13.1
43	Abgasbehandlung	Abgasbehandlung	Der Beutelfilter fängt Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> - Staub mit einer Emission von <1 mg/m <sup>3</sup> auf (GB 16297-1996) .	16.2

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

44	Bodenverschmutzung	Bodenkontamination	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Rückstände führen zu einer Wolframanreicherung im Boden (>10 mg/kg) und verringern die mikrobielle Aktivität.	16.3
45	Biometallurgie	Biomining	Wolframerz, wodurch die Produktion alkalischer Abfallflüssigkeit aus Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> um 50 % reduziert wird.	16,5
46	Verbundwerkstoffe	Verbundwerkstoff	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> und Graphen-Komposit zur Herstellung einer hochleitfähigen Beschichtung (spezifischer Widerstand < 10 <sup>-3</sup> Ω· cm).	17.1
47	Photoelektrochemie	Photoelektrochemisch (PEC)	Zur Wasserspaltung wurde eine aus Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> und WO <sub>3</sub> gewonnene Photoanode mit einem Photostrom von 2,5 mA/cm <sup>2</sup> verwendet.	17.3
48	Digitaler Zwilling	Digitaler Zwilling	Simulieren Sie den Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> - Produktionsprozess und sagen Sie Geräteausfälle voraus (Genauigkeit > 95 %).	17.2
49	Interdisziplinäre Anwendungen	Interdisziplinäre Anwendung	von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> in der Biomedizin, Optoelektronik und Umweltsanierung.	17.4
50	QSPR-Modell	QSPR-Modell	Vorhersage der Ökotoxizität von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> (LC50 , R <sup>2</sup> >0,9 ) zur Risikobewertung.	17,5

Seriennummer	Chinesische Terminologie	Englische Begriffe	Definition	Verwandte Kapitel
51	Ökobilanz	Ökobilanz (LCA)	zur Bewertung der Umweltauswirkungen der Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Produktion, vom Bergbau bis zur Abfallbehandlung (ISO 14040).	16.1
52	Kohlenstoffemissionen	Kohlenstoffemissionen	von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> emittiert etwa 0,3 bis 0,5 Tonnen CO <sub>2</sub> pro Tonne, hauptsächlich durch den Energieverbrauch.	16.1

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

53	Rückstände	Rückstände	Das bei der Herstellung von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ entstehende Wolfram ( $0,1-1\%$ ) muss sicher gelagert werden, um eine Bodenkontamination zu verhindern.	16.3
54	Säurelaugung	Säurelaugung	$\text{WO}_3$ wird durch Auslaugen des verbrauchten Katalysators mit HCl zurückgewonnen, um eine $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Lösung mit einer Effizienz von $>90\%$ zu erzeugen.	16.4
55	Flotation	Flotation	Wolframkonzentrat ( $\text{WO}_3 >20\%$ ) aus Rückständen kostet etwa 50 US-Dollar pro Tonne.	16.4
56	Null Emissionen	Null Emission	Abwasserbehandlung im geschlossenen Kreislauf, Rückgewinnungsrate von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ im Produktionswasser $>90\%$ , Wolfram $<0,1\text{ mg/l}$ .	16,5
57	Mikrowellenunterstützt	Mikrowellenunterstützt	Durch Mikrowellenerhitzung von alkalilöslichem Wolframerz kann der Energieverbrauch bei der $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Produktion um $30\%$ gesenkt werden.	16,5
58	Funktionskeramik	Funktionskeramik	$\text{Na}_2\text{WO}_4$ dotierte $\text{ZrO}_2$ -Keramik, temperaturbeständig $>1200\text{ }^\circ\text{C}$ , wird für 3D-Druckdüsen verwendet.	17.1
59	Bandlücke	Bandlücke	Der Unterschied von $\text{WO}_3$ (abgeleitet von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) von etwa $2,5$ bis $2,8\text{ eV}$ beeinträchtigt die photokatalytische Leistung.	17.1
60	Doping	Doping	N zu $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -abgeleitetem $\text{WO}_3$ kann die Bandlücke auf $2,2\text{ eV}$ reduzieren und die Lichtabsorption verbessern.	17.1
61	Industrielles Internet der Dinge	Industrielles Internet der Dinge (IIoT)	Der Sensor überwacht die Produktionsparameter von	17.2

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

			Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> (z. B. pH 8–10) und optimiert die Ausbeute um 5 %.	
62	Speicherprogrammierbare Steuerung	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Kristallisationsrate (0,1–0,5 g/ min) automatisch an , um Verunreinigungen zu reduzieren.	17.2
63	Photostromdichte	Photostromdichte	einer aus Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> gewonnenen WO <sub>3</sub> - Photoanode, 2,5 mA/cm <sup>2</sup> (1,23 V vs. RHE).	17.3
64	Intelligentes Fenster	Intelligentes Fenster	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> , Dimmrate 70 % , Reaktionszeit <3 Sekunden.	17.4
65	Maschinelles Lernen	Maschinelles Lernen (ML)	Sagen Sie die Bandlücke von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -basierten Materialien voraus (Fehler < 0,1 eV), um die Materialentwicklung zu beschleunigen .	17,5
66	Zufälliger Wald	Random Forest (RF)	Der ML-Algorithmus optimiert den Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> - Photokatalysator und erhöht seine Effizienz um 15 %.	17,5
67	Neuronale Netze	Neuronales Netzwerk (NN)	Durch die Optimierung der Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Produktionsparameter (Temperatur, pH-Wert) konnte die Ausbeute um 8 % gesteigert werden.	17,5
68	Löslichkeit	Löslichkeit	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> beträgt in Wasser 73 g/100 ml (20 °C) und ist in Ethanol unlöslich.	2.1
69	Zersetzungstemperatur	Zersetzungstemperatur	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> zersetzt sich bei 698 ° C in WO <sub>3</sub> und Na <sub>2</sub> O , wobei reizende Gase freigesetzt werden.	2.3
70	Koordinationschemie	Koordinationschemie	WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> bildet Koordinationsverbindungen mit Metallionen (wie etwa Fe <sup>3+</sup> ) und wird beim Katalysatordesign verwendet.	3.3
71	Alkaliauflösung	Alkalische Laugung	Verwenden Sie NaOH, um Scheelit aufzulösen und eine Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Lösung zu erzeugen, pH 12–13, Ausbeute >95 %.	5.2

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

72	Kristallisationsreinigung	Kristallisationsreinigung	Durch Verdampfen der $\text{Na}_2\text{WO}_4$ - Lösung entstehen Kristalle (>98 %) mit einer kontrollierten Partikelgröße von 50-200 $\mu\text{m}$ .	5.3
73	Qualitätskontrolle	Qualitätskontrolle (QC)	Stellen Sie sicher, dass $\text{Na}_2\text{WO}_4$ GB/T 26037-2020 entspricht und erkennen Sie einen $\text{WO}_3$ -Gehalt > 59 %.	6.5
74	Pigment	Pigment	$\text{Na}_2\text{WO}_4$ abgeleitete Wolframate werden zum Einfärben von Keramiken und Beschichtungen verwendet und weisen eine Temperaturbeständigkeit von >500° C auf.	7.3
75	Toxizitätstests	Toxizitätstests	Bewertung der akuten Toxizität von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ( LD 50 1,4-2,0 g/kg, Maus ) gemäß ISO 10993-5.	8.4
76	Bodensanierung	Bodensanierung	Chelatbildner auf $\text{Na}_2\text{WO}_4$ - Basis fixierten $\text{Cr}^{6+}$ im Boden und reduzierten seine Mobilität um 50 %.	9,5
77	Hochdurchsatz-Computing	Hochdurchsatz-Computing	Screening von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -basierten Photokatalysatorformulierungen zur Beschleunigung von Forschung und Entwicklung (>1000 Proben).	11.2
78	Raman-Spektroskopie	Raman-Spektroskopie	die WO-Bindungsschwingung in $\text{Na}_2\text{WO}_4$ (900 $\text{cm}^{-1}$ ) detektiert.	12.1
79	Persönliche Schutzausrüstung	Persönliche Schutzausrüstung (PSA)	beim Umgang mit $\text{Na}_2\text{WO}_4$ eine N95-Maske, eine Schutzbrille und Nitrilhandschuhe .	13.2
80	Mülltrennung	Abfallklassifizierung	$\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Abfälle sind gefährliche Abfälle (HW 48) und müssen gemäß dem Gesetz zur Verhütung und Kontrolle der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle behandelt werden.	13.5
81	ISO-Normen	ISO-Norm	ISO 6353-3 spezifiziert die $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Analysemethode mit	15.1

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

			einem WO <sub>3</sub> -Gehalt > 59,5 %.	
82	ASTM-Normen	ASTM-Norm	ASTM E1447-09 Bestimmung der Reinheit von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> (> 98 %), XRF-Methode.	15.1
83	GMP-Standards	Gute Herstellungspraxis (GMP)	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> in pharmazeutischer Qualität muss den GMP-Vorgaben entsprechen und Schwermetalle <10 ppm enthalten.	15.4
84	Blockchain-Rückverfolgbarkeit	Blockchain-Rückverfolgbarkeit	Verfolgen Sie die Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Lieferkette, um die Nachhaltigkeit der Rohstoffe sicherzustellen.	14,5
85	Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt	Wettbewerbsfähigkeit	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Unternehmen steigern ihren Marktanteil durch technologische Innovationen und grüne Zertifizierungen.	14,5
86	Emissionsgrenzwerte	Emissionsgrenzwert	Wolfram im Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Abwasser <0,5 mg/L (GB 8978-1996).	16.2
87	Wasserverschmutzung	Wasserverschmutzung	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Abwasserflüssigkeit (>0,5 mg/ l) wirkt sich auf Wasserorganismen aus, mit einem LC50-Wert von etwa 100 mg/ l.	16.3
88	Umkehrosiose	Umkehrosiose	Entfernt Na <sup>+</sup> und SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> aus Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> - Abwasser, mit einer Wasserrückgewinnungsrate von >90 %.	16.2
89	Geschlossener Kreislauf	Geschlossener Recyclingkreislauf	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> erzeugte Abwasser wird recycelt, wodurch die Emissionen um 50 % reduziert werden.	16,5
90	Biokompatibilität	Biokompatibilität	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> wird in medizinischen Anwendungen eingesetzt und weist eine Zellebensfähigkeit von >90 % auf (ISO 10993-5).	8.4
91	Thermodynamische Analyse	Thermodynamische Analyse	Berechnen Sie die Änderung der Reaktionsenthalpie von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> (z. B. alkalische Auflösung ΔH <0) und optimieren Sie den Prozess.	12.2

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

92	Galvanische Abscheidung	Galvanische Abscheidung	$\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Dünnschichten wurden aus einer $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Lösung mit einer Dicke von 1-5 $\mu\text{m}$ und einer Stromdichte von 10 $\text{mA}/\text{cm}^2$ abgeschieden.	7,5
93	Antioxidans	Antioxidative Eigenschaft	$\text{Na}_2\text{WO}_4$ hemmt zellulären oxidativen Stress und schützt die Pankreaszellen.	8,3
94	Risiken in der Lieferkette	Lieferkettenrisiko	Die $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Produktion wird durch den Mangel an Wolframerz und die Exportquote (42.000 Tonnen $\text{WO}_3$ ) beeinträchtigt.	14,3
95	Energieverbrauch	Energieverbrauch	von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ verbraucht etwa 500-600 kWh/Tonne Strom und 2 GJ/Tonne Wärmeenergie.	16,1
96	Sediment	Sediment	$\text{H}_2\text{WO}_4$ fällt in der $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Abwasserflüssigkeit aus und gibt über lange Zeit Wolfram in die Gewässer ab.	16,3
97	Niedrigdimensionale Materialien	Niedrigdimensionales Material	$\text{Na}_2\text{WO}_4$ (Dicke < 5 nm), synthetisiert aus $\text{Na}_2\text{WO}_4$ zur Verwendung in optoelektronischen Geräten.	17,1
98	Edge-Computing	Edge Computing	Durch die Echtzeitverarbeitung von $\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Produktionsdaten wird die Ausfallrate der Geräte um 30 % gesenkt.	17,2
99	Flexible Elektronik	Flexible Elektronik	$\text{Na}_2\text{WO}_4$ -basiertes $\text{WO}_3$ wird in tragbaren Sensoren mit einem Biegeradius von <5 mm verwendet.	17,4
100	Datensatz	Datensatz	$\text{Na}_2\text{WO}_4$ -Leistungsdaten (> 1000 Proben) für das Training von KI-Modellen.	17,5

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Anhang 2: Natriumwolframat-Referenzen

Seriennummer	Kategorie	Titel/Beschreibung	Quelle/Veröffentlichungsinformationen	Verwandte Kapitel
1	Standarddokumente	ISO 6353-3:1987 – Reagenzien für die chemische Analyse – Wolframate	Internationale Organisation für Normung	15.1
2	Standarddokumente	ASTM E1447-09 - Standardprüfverfahren zur Bestimmung von Wolfram	ASTM International	15.1
3	Standarddokumente	GB/T 26037-2020 – Technische Spezifikation für Natriumwolframat	Nationale Standards Chinas	15.2
4	Standarddokumente	GB/T 30810-2014 – Chemische Analysemethoden für Wolframverbindungen	Nationale Standards Chinas	15.2
5	Standarddokumente	ISO 14040:2006 - Umweltmanagement - Ökobilanz	Internationale Organisation für Normung	16.1
6	Akademische Arbeiten	Synthese von WO <sub>3</sub> -Nanopartikeln aus Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> für die Photokatalyse	Zeitschrift für Materialchemie A, 2023, 11(5)	9.2, 17.1
7	Akademische Arbeiten	Natriumwolframat als PTP1B-Inhibitor zur Diabetesbehandlung	Diabetesforschung und klinische Praxis, 2022, 180	8.1, 17.4
8	Akademische Arbeiten	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -abgeleitetes WO <sub>3</sub> für Natrium-Ionen-Batterianoden	Fortschrittliche Energiematerialien, 2024, 14(12)	9.3, 17.3
9	Akademische Arbeiten	Schwermetallentfernung mit Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> in der Abwasserbehandlung	Umweltwissenschaften und -technologie, 2023, 57(8)	9.1, 16.2
10	Akademische Arbeiten	DFT-Studie zur elektronischen Struktur und den katalytischen Eigenschaften von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Journal of Physical Chemistry C, 2024, 128(15)	11.1
11	Branchenbericht	Globaler	Roskill Information Services, 2024	14,1-14,5

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		Wolframmarktausblick 2024-2030		
12	Branchenbericht	Umweltauswirkungen der Wolframproduktion in China	Verband der chinesischen Nichteisenmetallindustrie, 2023	16.1-16.3
13	Branchenbericht	Natriumwolframat- Marktanalyse für Katalyseanwendungen	Frost & Sullivan, 2024	7.2, 14.3
14	Branchenbericht	Kreislaufwirtschaft beim Wolframrecycling	Internationaler Verband der Wolframindustrie, 2024	16.4
15	Branchenbericht	Grüne Fertigungstrends bei Wolframchemikalien	McKinsey & Company, 2023	16,5
16	Analyse-Tools	ICP-MS-Analyse des Wolframgehalts in Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Thermo Fisher Scientific, iCAP RQ Benutzerhandbuch, 2023	6.2, 12.1
17	Analyse-Tools	XRF-Analyse zur Bestimmung der Reinheit von Natriumwolframat	Bruker, S8 TIGER Benutzerhandbuch, 2024	6.2, 15.1
18	Analyse-Tools	Materialprojektdatenbank für Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> - Computerstudien	Materialprojekt, <a href="https://materialsproject.org">https://materialsproject.org</a> , 2024	11.2, 17.5
19	Analyse-Tools	VASP-Software für DFT- Berechnungen von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Eigenschaften	VASP-Handbuch, Version 6.4, 2024	11.1
20	Analyse-Tools	OriginPro für die kinetische Analyse von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Reaktionen	OriginLab, Benutzerhandbuch, 2024	12.2
einundzwanzig	Standarddokumente	GB/T 31906-2015 – Verpackungsspezifikation für Wolframchemikalien	Nationale Standards Chinas	13.3, 15.2
zweiundzwanzig	Standarddokumente	Chinesisches Arzneibuch 2020 – Natriumwolframat für pharmazeutische Zwecke	Chinesische Arzneibuchkommission	15.4
dreiundzwanzig	Akademische Arbeiten	Elektrochrome WO <sub>3</sub> - Filme aus Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> für Smart Windows	ACS Angewandte Materialien und Schnittstellen, 2024, 16(10)	10.3, 17.4
vierundzwanzig	Akademische Arbeiten	Maschinelles Lernen für das Design von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> - basierten Photokatalysatoren	Computational Materials Science, 2024, 230	17,5

**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)

25	Akademische Arbeiten	Toxizitätsbewertung von Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> in aquatischen Systemen	Ökotoxikologie und Umweltsicherheit, 2023, 245	8.4, 16.3
26	Branchenbericht	Patentrends bei Natriumwolframat-Anwendungen	WIPO, Global Patent Report, 2024	15,5
27	Branchenbericht	Lieferkettenrisiken für Wolframchemikalien im Jahr 2024	Argus Media, Wolfram-Marktbericht, 2024	14.4
28	Analyse-Tools	MATLAB zur Optimierung des Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Produktionsprozesses	MathWorks, MATLAB R2024a-Dokumentation, 2024	17.2
29	Analyse-Tools	Gaussian 16 für Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> Molecular Modeling	Gaussian Inc., Benutzerhandbuch, 2024	11.1
30	Analyse-Tools	LabVIEW für die Automatisierung und Überwachung der Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> -Produktion	NI, LabVIEW 2024 Benutzerhandbuch, 2024	17.2

**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)

### Anhang 3: Natriumwolframat-Datenblatt

#### 3.1 Physikalische und chemische Eigenschaften von Natriumwolframat

Eigentum	Parameterwert	Einheit	Testmethode	Verwandte Kapitel
Chemische Formel	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-	-	2.1
Molekulargewicht	329,85	g/mol	berechnen	2.1
Aussehen	Weißer oder leicht gelber Kristalle	-	Visuell	2.1
Löslichkeit (20°C)	73	g/100 ml	GB/T 30810-2014	2.1
Schmelzpunkt (Zersetzung)	698	°C	DSC	2.3
Dichte	4.18	g/cm <sup>3</sup>	Schwerkraftmethode	2.2
pH-Wert (10%ige Lösung)	8-9	-	pH-Meter	2.3

#### 3.2 Prozessparameter der Natriumwolframat-Produktion

Parameter	Parameterwert	Einheit	Prozessphase	Verwandte Kapitel
Alkali-Auflösungstemperatur	120-180	°C	Hochdruck-Alkalilösung	5.2
NaOH-Konzentration	20-30	% (Gew.)	Alkalilösung	5.2
Reaktionszeit	2-4	Stunde	Alkalilösung	5.2
Kristallisationsrate	0,1-0,5	g/min	Verdampfungskristallisation	5.3
Energieverbrauch	500-600	kWh/Tonne	Hydrometallurgie	16.1
Wolfram-Rückgewinnungsrate	>95	%	Ionenaustausch	5.6
Wolframkonzentration im Abwasser	<0,5	mg/L	Neutralisationsfällung	16.2

#### Leistungsvergleichstabelle der Anwendungsgebiete von Natriumwolframat

Anwendungsbereiche	Schlüsselleistung	Parameterwert	Einheit	Testmethode	Verwandte Kapitel
Photokatalyse (WO <sub>3</sub> )	Schadstoffabbaurate (Methylenblau)	>85	%	UV-Vis-Spektroskopie	9.2
Natrium-Ionen-Batterie (WO <sub>3</sub> )	Kapazität	300	mAh/g	Laden und Entladen mit konstantem Strom	9.3
Elektrochrom (WO <sub>3</sub> )	Optische Modulationsrate	70	%	UV-Vis-Spektroskopie	10.3

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<b>Schwermetalladsorption</b>	Pb <sup>2+</sup> - Entfernungsrate	>99	%	ICP-MS	9.1
<b>Antimikrobielle Beschichtung</b>	E. coli-Hemmrate	>80	%	Koloniezahl	8.2
<b>Hartmetall (APT)</b>	Härte	>1500	HV	Vickers- Härteprüfung	7.1

### 3.4 Globale Natriumwolframat-Marktstatistiken

Index	Parameterwert	Einheit	Jahre	Quelle	Verwandte Kapitel
<b>Globale Produktion</b>	5.2	10.000 Tonnen	2024	Branchenschätzungen	14.1
<b>Chinas Produktionsanteil</b>	75	%	2024	Branchenbericht	14.2
<b>Weltweiter Verbrauch</b>	4.9	10.000 Tonnen	2024	Marktanalyse	14.1
<b>Industriequalitätspreis</b>	22.000-26.000	USD/Tonne	2024	Handelsstatistiken	14.4
<b>Preis für analytische Qualität</b>	32.000	USD/Tonne	2024	Handelsstatistiken	14.4
<b>Durchschnittliche jährliche Marktwachstumsrate</b>	4	%	2025– 2030	vorhersagen	14.1
<b>Anteil recycelten Wolframs</b>	15	%	2024	Branchenbericht	16.4

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) Product Introduction

### 1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

### 2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

### 3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	WO <sub>3</sub> Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

### 4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO<sub>3</sub> content (titration).

### 5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website ([www.sodium-tungstate.com](http://www.sodium-tungstate.com)).

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**