



**Johnson Matthey**

since 1817

Ruthenium, Rhodium, Osmium, Iridium – November 2006

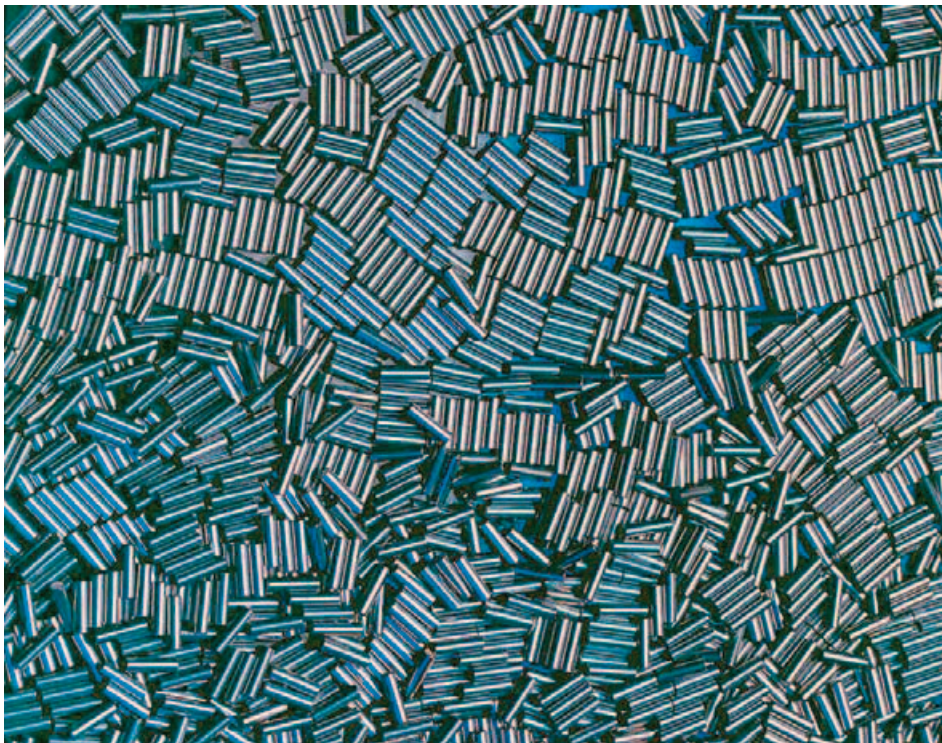
# JMB OVERVIEW

Metal  
Joining

Jewellery  
& Watches

Chemicals  
& Noble Metals

Refining



Iridiumzündkerzenelektroden

## **Geschichte**

Seite 2

## **Eigenschaften**

Seite 5

## **Anwendungen**

Seite 7

## **Förderung**

Seite 9

## **Nachfrage**

Seite 10

## **Preisentwicklung 2000–2006**

Seite 11

## GESCHICHTE



William Hyde Wollaston FRS 1766–1828

Die Geschichte der verschiedenen Metalle der Platingruppe (englisch: Platinum Group Metals, kurz: PGM), darunter Palladium, Rhodium, Ruthenium, Iridium und Osmium, ist eng mit derjenigen des Platins verbunden. Bis Anfang des 19. Jahrhunderts kamen diese Metalle primär zusammen mit Platin, als eher unbekannte Bestandteile von Platinartefakten, oder zusammen mit Flussgold als Verunreinigungen vor. Im Mittelalter waren nur die Edelmetalle Gold und Silber von Interesse. Platina nannten die Spanier die kleinen weissen Partikel, welche sie in Südamerika auf mühsame Art und Weise vom Flussgold entfernten. Platina wurde über längere Zeit weggeworfen oder für Fälschungen missbraucht, bevor es Mitte des 18. Jahrhunderts sukzessive erforscht wurde. Damals enthielt Platina die verschiedenen Metalle der Platingruppe.

William Wollaston begann 1797 mit einem anderen Engländer, Smithson Tennant, zu kooperieren. Ihre Ziele waren schiedbares Platin zu produzieren und weitere Forschungsarbeiten durchzuführen.

Am Heiligabend des Jahres 1800 kauften sie 185 kg Flussplatinerz aus Nueva Granada (heutiges Kolumbien) für die stolze Summe von 795 £. Es enthielt 80% Platin. Wollaston fiel auf, dass, obwohl sich das Material mehrheitlich in Königswasser (eine Mischung aus Salz- und Salpetersäure) auflöste, ein schwarzer, fester Teil zurückblieb. Wollaston untersuchte daraufhin die Lösung und Tennant den unlöslichen Teil.

Im Jahre 1802 entdeckte Wollaston Palladium und 1803 Rhodium (griech. rhodon, «Rose»). Um Platin, Palladium und Rhodium zu trennen, ging Wollaston folgendermassen mit der Lösung vor: Die Säure wurde mit Natriumhydroxid neutralisiert und Ammoniumchlorid wurde zugegeben. Somit sonderte sich Ammoniumchloroplatinat ab. Nach der Zugabe von Quecksilbercyanid sonderte sich auch Palladiumcyanid ab. Am Schluss blieb Rhodiumchlorid, und dieses wurde mit Wasserstoff reduziert, um nun endlich das Rhodium zu isolieren.

Wollaston wuchs in Norfolk auf und studierte Medizin an der Universität Cambridge. Er heiratete nicht. Als er in London wohnte, gab er Medizin auf und interessierte sich stattdessen für Astronomie, Botanik, Chemie, Kristallographie, Mechanik, Metallurgie, Mineralogie, Optik und Physik. Wollaston entwickelte diverse Messinstrumente und publizierte über 50 technische Studien. Er hat wichtige Beiträge zum Verständnis des Lichtspektrums und auch in der Batterietechnik geleistet. Wollaston entdeckte die erste Aminosäure. Der Umfang und die Vielfalt seiner Forschungen machten ihn zu einem der einflussreichsten Wissenschaftler seiner Zeit.

Iridium und Osmium wurden 1803 von dem englischen Chemiker Smithson Tennant entdeckt. Iridium wurde nach Iris, dem lateinischen Wort für Regenbogen, genannt. Die hohe Farbkraft der Iridiums Salze inspirierte Tennant zu diesem Namen Iridium. Osmium verdankt seinen Namen dem rötlich-rotlichen Geruch, der von seinem stets in geringer Konzentration vorhandenen, flüchtigen Oxid ausgeht (griech. osmeo, «ich rieche»).

Zunächst wurde der schwarze Rückstand beim Auflösen von Platinerz in Königswasser für Graphit gehalten. Tennant fand jedoch heraus, dass der Rückstand mindestens zwei metallische Komponenten enthielt. Durch Destillation mit Salpetersäure liess sich Osmium als Oxid abtrennen. Das Iridium konnte in Lösung gebracht werden, indem man den verbliebenen Rückstand mit Alkalien schmolz und mit Säuren behandelte. Aus der Lösung erhielt man mit Ammoniumchlorid einen Niederschlag, der beim Glühen reines Iridiumpulver ergab.

Die bekannteste und wohl älteste Anwendung von Iridium ist wahrscheinlich als Element einer Platin-Iridium-Legierung (Platin 90%, Iridium 10%), die von George Matthey im Urmeter eingesetzt wurde. Mitte des 19. Jahrhunderts war Matthey der Einzige mit dem erforderlichen Know-how auf dem Gebiet der Platingruppenmetalle, der die für den Guss der Rohlinge erforderliche Menge Platinlegierung zu schmelzen vermochte. Aus den Rohlingen walzte und schmiedete er im königlichen Zeughaus von Woolwich die Platin-Iridium-Stücke auf ein Mass von 25 x 25 mm. Anschliessend wurde durch Hobeln das X-Profil herausgearbeitet, was eine sehr mühselige Arbeit von nicht weniger als 448 Stunden bedeutete. Die Ablieferung erfolgte am 4. Oktober 1879 an die französische Regierung, und die erklärte sich vollumfänglich zufrieden.

Anschliessend fertigte er 30 Versionen eines Urmeters an. Von denen wurde die Nummer 6 ausgewählt, weil deren Länge bei null Grad Celsius genau derjenigen des «Mètre des Archives» entsprach, der über ein Jahrhundert als offizieller Weltstandard galt. Die Länge des Urmeters ist heute in Relation zur Lichtgeschwindigkeit genau definiert: 1 Meter ist das Äquivalent der Strecke, die Licht im Vakuum während  $\frac{1}{299\,792\,458}$  Sekunde zurücklegt. «Oftmals sehen Wissenschaftler den Urmeter als Anachronismus, aber er bleibt immer noch der heutige Massstab bei einer Abweichung von etwas mehr als  $\frac{1}{100\,000\,000}$  (gegenüber der absoluten Meterlänge)», führt Dr. Clapham, ein anerkannter Wissenschaftler unserer Zeit, aus. Und weiter: «Dies ist die Anerkennung der ausserordentlichen Erfahrung von George Matthey und seinen Metallarbeitern.»



Karl Klaus  
(22. Januar 1796 - 24. März 1864)  
war russischer Chemiker, Professor an  
der Kazan-State-Universität.

Smithson Tennant wurde am 30. November 1761 in Finkle Street, Selby (Yorkshire) geboren und starb am 22. Februar 1815 in Boulogne bei einem Reitunfall.

Tennant verlor früh beide Eltern. Er studierte zunächst Medizin an der Universität Edinburgh, anschliessend Chemie in Cambridge. 1813 wurde er dort zum Professor ernannt. Sein Improvisationstalent zeigte er des Öfteren damit, dass er beim Fehlen von Filterpapier ganz einfach sein Taschentuch oder ein Stück seines Hemdes einsetzte.

Er führte gemeinsam mit William Hyde Wollaston den Nachweis, dass ein Diamant aus reinem Kohlenstoff besteht. Dies gelang ihm, indem er gleiche Massen von Kohle und Diamant oxidierte und als einziges Produkt jeweils die gleiche Masse an  $\text{CO}_2$  erhielt.

Nach ihm benannt ist das Mineral Tennantit  $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ , das Arsenfahlerz.

Es gibt keine Bilder von Tennant. Dafür findet sich in seinem Geburtshaus, heute ein Pub, immer wieder ein Anlass zu Feierlichkeiten.

Ruthenium (von Ruthenia, lateinisch für Russland und auch alter Name der Ukraine) wurde 1844 von Karl Ernst Klaus entdeckt und isoliert. Er zeigte, dass Rutheniumoxid ein neues Metall enthielt, und isolierte 6 Gramm aus dem in Königswasser unlöslichen Rückstand des Rohplatin.

Jöns Jakob Berzelius und Gottfried Osann entdeckten Ruthenium schon 1827. Auch sie lösten Rohplatin in Königswasser und untersuchten den unlöslichen Rückstand. Während Berzelius kein ungewöhnliches Metall fand, war Osann überzeugt, gleich drei neue Metalle gefunden zu haben. Einem gab er den Namen Ruthenium.

Ebenso könnte der polnische Chemiker Jędrzej Sniadecki das Element 44, das er Vestium nannte, 1807 aus Platinerz gewonnen haben. Seine Arbeiten wurden aber nie bestätigt. Später zog er seinen Anspruch auf Entdeckung eines neuen Elementes zurück.

## EIGENSCHAFTEN

Der Vergleich der Eigenschaften aller Metalle der Platingruppe, also Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium und Platin, mit Silber (Argentum) und Gold (Aurum) zeigt grosse Differenzen auf:

	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Ag	Au
<b>Eigenschaft</b>								
Ordnungszahl	44	45	46	76	77	78	47	79
Atomgewicht	101.1	102.9	106.4	190.2	192.2	195.1	107.9	197.0
Dichte g/cm <sup>3</sup> bei 25°C	12.45	12.41	12.02	22.61	22.65	21.45	10.49	19.32
Schmelzpunkt °C	2310	1960	1554	3050	2443	1769	962	1064
Thermische Leitfähigkeit bei 300 °K W/m/K	105	150	76	87	148	73	429	317
Elektrischer Widerstand bei 20 °C μΩcm	6.80	4.33	9.33	8.12	4.71	9.85	1.6	2.2
Härte gegläht HV	220	101	41	>250	220	41	26	20
Zugfestigkeit gegläht N/mm <sup>2</sup>	378	410	184	-	491	140	160	140

Für weitergehende Online-Informationen über die Eigenschaften von PGM besuchen Sie:

[www.platinummetalsreview.com/jmpgm/index.jsp](http://www.platinummetalsreview.com/jmpgm/index.jsp)



Ruthenium ist ein hartes, sprödes, grauweisses Metall der Platingruppe, das in vier Kristall-Modifikationen vorkommt. Bei Raumtemperatur behält es seine metallisch blanke Oberfläche und läuft nicht an. Beim Glühen im Sauerstoffstrom bildet sich flüchtiges, unbeständiges und giftiges Rutheniumtetraoxid, das durch Lichteinwirkung explosiv in Rutheniumdioxid und Sauerstoff zerfallen kann. Ruthenium ist in allen mineralischen Säuren unterhalb von 100 °C beständig, löst sich aber in Alkalischmelzen auf, besonders wenn zusätzlich oxidierend wirkende Verbindungen wie Natriumperoxid (Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) oder Natriumchlorat (NaClO<sub>3</sub>) vorhanden sind. Bei höheren Temperaturen wird es auch von Halogenen oxidiert. Zum Härten von Platin und Palladium wird es zulegiert. In Titanlegierungen erhöht eine Konzentration von 0,1 % Ruthenium die Korrosionsbeständigkeit drastisch.

Plattierungen aus Ruthenium können elektrolytisch sowie auch durch thermische Zersetzung hergestellt werden. Eine Ruthenium-Molybdän-Legierung ist supraleitend.





Rhodium ist ein silberweisses, stark glänzendes, beständiges, sehr hartes Metall, welches aufgrund dieser Eigenschaften einen hohen und dauerhaften Oberflächenglanz aufweist. Die Wärmeleitfähigkeit, die elektrische Leitfähigkeit und das Reflexionsvermögen sind höher als bei den anderen Platinmetallen. Erst bei Temperaturen von über 600 °C reagiert Rhodium mit Sauerstoff zu einem Oxid ( $\text{Rh}_2\text{O}_3$ ), das bei höheren Temperaturen wieder zerfällt. Von Mineralsäuren wird Rhodium nicht angegriffen. Auch heisses Königswasser vermag Rhodiumpulver nur langsam aufzulösen. In Cyanid-, Alkali- und Sodaschmelzen sowie Kaliumhydrogensulfatschmelzen löst es sich.



Metallisches Osmium ist ein auch bei höheren Temperaturen glänzendes Metall von stahlblauer Farbe und extrem hoher Dichte und Härte. In kompakter Form kann es durch Schmelzen im Lichtbogen- oder Elektronenstrahl-Ofen hergestellt werden. Das leichter herstellbare Metallpulver oxidiert schon bei Raumtemperatur zu dem sehr giftigen, unangenehm riechenden, flüchtigen und bereits bei 130 °C siedenden Osmiumtetroxid  $\text{OsO}_4$ .

Osmium besitzt von allen Elementen der Platinfamilie den höchsten Schmelzpunkt und den niedrigsten Dampfdruck. Die stabilste Oxidationsstufe ist +4, aber alle Stufen von 0 bis +8 sind bekannt.

Metallisches Osmium ist in seiner natürlichen Isotopenzusammensetzung das Element mit der höchsten Dichte.



Wegen seiner Härte und Sprödigkeit kann Iridium nur schwer bearbeitet werden. Iridium als weisses Metall mit einem Gelbstich ist biokompatibel. Bei Rotglut oxidiert es unvollständig zu schwarzem  $\text{IrO}_2$ , das oberhalb 1140 °C wieder zerfällt. Auch Iridium ist wie Osmium in der Hitze und vor allem bei höherem Sauerstoffgehalt als Oxid flüchtig. Es scheidet sich jedoch an kalten Stellen im Gegensatz zu Osmium als Metall oder  $\text{IrO}_2$  wieder ab.

In Mineralsäuren, auch in Königswasser, ist es beständig. In Chlorid-Schmelzen löst es sich unter Zugabe von Chlor jedoch auf. Iridium gilt als das Element mit der grössten Dichte, da ein bestimmtes Iridiumisotop mit 22,65 kg/dm<sup>3</sup> das dichteste aller Reinelemente ist. In der natürlich auftretenden Isotopenzusammensetzung ist jedoch nicht Iridium das dichteste Element, sondern Osmium.

## ANWENDUNGEN



LMR-Festplatten



Die grösste Komponente der Ruthenium-Nachfrage ist der Elektroniksektor. Ruthenium besitzt unter verschiedenen Betriebsbedingungen gute, gleichbleibende elektrische Eigenschaften und ist korrosionsbeständig. Obwohl die Hauptanwendung von Ruthenium bisher bei elektrischen Widerständen und integrierten Schaltungen lag, wird es zunehmend auch vielseitiger eingesetzt. Hier ein paar Beispiele:

- Durch den Einsatz der PMR-Technik (perpendicular media recording) statt der traditionellen LMR-Technik (longitudinal media recording) wurden Erhöhung der Kapazität von Festplatten um den Faktor 15 erzielt.
- Bei der Herstellung von LCD-Anzeigen als Elektrodenbeschichtung

In der chemischen Industrie wird Ruthenium häufig wie folgt angewendet:

- Zur Beschichtung von Elektroden, die für die Herstellung von Chlor und Natronlauge eingesetzt werden
- Als Katalysator zusammen mit Iridium bei der Herstellung von Essigsäure (Cativa-Prozess)
- Als Promoter im Fischer-Tropsch-Prozess bei der Herstellung von Diesel aus Syngas (eine Mischung aus CO und H<sub>2</sub>, welches aus Methan erzeugt wird)

Rutheniumtrichlorid ist Ausgangsstoff bei der Herstellung von schwarzen Tinten für die Keramikindustrie.

Die Korrosionsbeständigkeit von Titan wird durch das Legieren mit Ruthenium erhöht.

Platin wird sehr oft mit 5% Ruthenium, zur Herstellung von Platinuhrenteilen, Platineheringen usw., legiert.

Zurzeit werden Turbinenschaufeln für Düsentriebwerke in Flugzeugen getestet, die mit einer Rutheniumlegierung beschichtet sind. Falls erfolgreich, werden noch höhere Einsatztemperaturen einen niedrigeren Flugbenzinverbrauch ermöglichen.

Ruthenium findet auch Verwendung in Brennstoffzellen. Es macht als Beimengung die Platinanoden unempfindlicher gegen Katalysatorgifte, vor allem gegen Kohlenmonoxid. Dadurch wird die Langlebigkeit und Effizienz der Brennstoffzelle verbessert. Bei den sogenannten «Direkt-Methanol-Brennstoffzellen» (DMFC) ermöglicht Ruthenium die Verwendung von Methanol als Energiequelle anstelle von Wasserstoff.

Eine neuere und sehr wichtige Entwicklung ist die GTL-Technologie (Gas to Liquid). Hierunter versteht man die Umwandlung von Erdgas in flüssigen Treibstoff wie etwa Dieselöl. Auch hierbei kommt u. a. Ruthenium als Bestandteil des für die Umwandlung notwendigen Katalysators zum Einsatz.



Autokatalysator



Hauptsächlich wird Rhodium für Autokatalysatoren verwendet. Rhodium ist besonders geeignet als Katalysator bei der Reduktion von Stickoxiden zu Stickstoff. Stickoxide verursachen sauren Regen und Smog. Die in vielen Ländern sukzessive strenger werdenden Abgasnormen hinsichtlich Stickoxiden führten zu einer erhöhten Nachfrage von Rhodium in den letzten Jahren.

Platin-Rhodium-Legierungen, mit 10% oder 20% Rhodium, ermöglichen maximale Betriebstemperaturen von 1550/1650 °C. Solche Arbeitstemperaturen treten in der Glasindustrie auf. Geschmolzenes Glas ist sehr korrosiv, und kritische Anlagenteile sind entweder aus einer Platin-Rhodium-Legierung hergestellt oder mit einer solchen Legierung beschichtet. Mit Schichtdicken von bis zu 0,35 mm können enorme Materialersparnisse gegenüber festen Pt/Rh-Teilen erzielt werden. Die in letzter Zeit erhöhte Nachfrage nach Rhodium der asiatischen Glasproduzenten ist auf das schnelle Wachstum von Plasmabildschirmen zurückzuführen.

Rhodium wird in der chemischen Industrie als Katalysator eingesetzt:

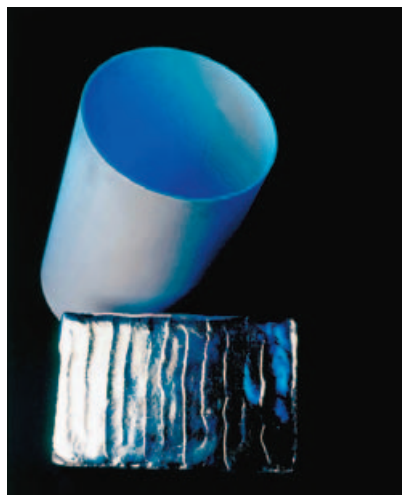
- Platin-Rhodium-Netze erforderlich zur Herstellung von Salpeter- und Blausäure
- Für die Hydrierung von Aromaten – das wirksamste Metall
- Beim Monsanto-Prozess zur Herstellung von Essigsäure
- Zur selektiven Hydrierung einer Doppelbindung unter mehreren bei der Ivermectin-Produktion

Rhodium wird für zahlreiche volumenmässig kleine Anwendungen benötigt. Legiert mit Platin findet Rhodium Verwendung in Thermoelementen und Laborgeräten. In der Galvanik wird Rhodium primär für die Beschichtung von Gold und Silber eingesetzt, um die Oberfläche hart und beständig zu machen.



Die Hauptanwendung für Osmium ist die Herstellung von Goldbeschichtungen für Glas. Kleinere Mengen werden bei Wolframlegierungen gebraucht, um die Härte zu erhöhen, in der Mikroskopie zur Fixierung organischen Materials und bei photographischen Anwendungen. Infolge seiner hohen Toxizität werden nur kleine Mengen Osmium in der chemischen Industrie verwendet. Sharpless erhielt für seine Arbeit zur asymmetrischen Oxidation von C-C-Doppelbindungen (Dihydroxylierung) mit OsO<sub>4</sub> im Jahr 2001 den Nobelpreis.





Iridiumtiegel



Iridiumtiegel werden für die Herstellung von Einkristallen, wie z. B. YAG (yttrium aluminium garnet), bei hohen Temperaturen benötigt. Solche Substanzen bilden den Kern von PET-Scannern (positron emission tomography), die in der Medizin, Zahnmedizin und Industrie angewendet werden. Die Herstellung von Lithiumkristallen für die Elektronik benötigt ebenfalls Iridiumtiegel.

Platin-Iridium-Legierungen werden in Zündkerzenelektroden eingesetzt, damit kann eine Lebensdauer von bis zu 150 000 km erreicht werden. Auch für Thermoelemente werden solche Legierungen benötigt, um Temperaturen von bis zu 2100 °C präzise messen zu können.

Im Bereich der RAM-Produktion, noch genauer der FRAM (ferroelectric RAM), wird immer mehr Iridium verwendet.

In der Biomedizin werden Platin-Iridium-Teile in Herzschrittmachern und Kathetern eingesetzt.

In der chemischen Industrie wird Iridium als enantioselektiver Hydrierkatalysator gebraucht (Metolachlor). Die auf Rhodium basierende Herstellung von Essigsäure (Monsanto-Prozess) wurde vielfach durch den effektiveren BP-Prozess abgelöst. Der hier zur Anwendung kommende Cativa-Katalysator ist eine Iridiumverbindung mit einem gewissen Anteil an Ruthenium. Die Gesamtproduktion von Essigsäure liegt bei über 6 Mio. Tonnen pro Jahr.

Um die Effizienz von Raketenmotoren für Satellitenantriebe steigern zu können, wird bei extrem hohen Temperaturen gefahren. Damit die Raketendüsen den enormen Anforderungen an Hitze- und Oxidationsbeständigkeit gewachsen sind, werden sie aus Iridium gefertigt.



## FÖRDERUNG

Ruthenium, Rhodium, Iridium und Osmium werden normalerweise zusammen mit Platin und Palladium in drei geographischen Gebieten gewonnen:

- Abbau von Erzen durch Norilsk Nickel an der Taimyr-Halbinsel in Nordsibirien, Russland
- Produktion von Edel- und Nichtedelmetallen in Südafrika durch Anglo Platinum, Impala Platinum, Lonmin, Northam Platinum, Aquarius Platinum, ARM Platinum und Southern Platinum, PGM und andere
- In Nordamerika: in Kanadas Lac des Iles und Sudbury und in den USA in Montana

## NACHFRAGE

Hier eine globale Übersicht über die Nachfrage nach Sektoren in '000 Unzen:

### Ruthenium

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	%
<b>Nachfrage</b>							
Elektrochemie	97	92	116	120	96	96	12.2
Elektronik	233	134	140	252	253	265	33.6
Brennstoffzellen	1	1	1	4	6	10	1.3
Glas (Flachbildschirm)	0	0	0	25	175	182	23.1
Hard Disk	0	0	0	0	39	59	7.5
Prozesskatalysatoren	79	61	101	143	123	117	14.8
Andere	35	61	62	73	59	59	7.5
<b>Gesamtnachfrage</b>	<b>445</b>	<b>349</b>	<b>420</b>	<b>617</b>	<b>751</b>	<b>788</b>	<b>100</b>

### Rhodium

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	%
<b>Nachfrage</b>							
Autokatalysator Gesamt	793	566	599	660	758	821	86.5
Rückgewinnung	(79)	(88)	(99)	(124)	(140)	(137)	-
Chemie	39	44	39	39	43	47	5.0
Elektro-/Elektronik	7	6	6	6	8	9	0.9
Glas	42	41	37	26	46	55	5.8
Andere	10	10	10	13	14	17	1.8
<b>Gesamtnachfrage</b>	<b>812</b>	<b>579</b>	<b>592</b>	<b>620</b>	<b>729</b>	<b>812</b>	<b>100</b>

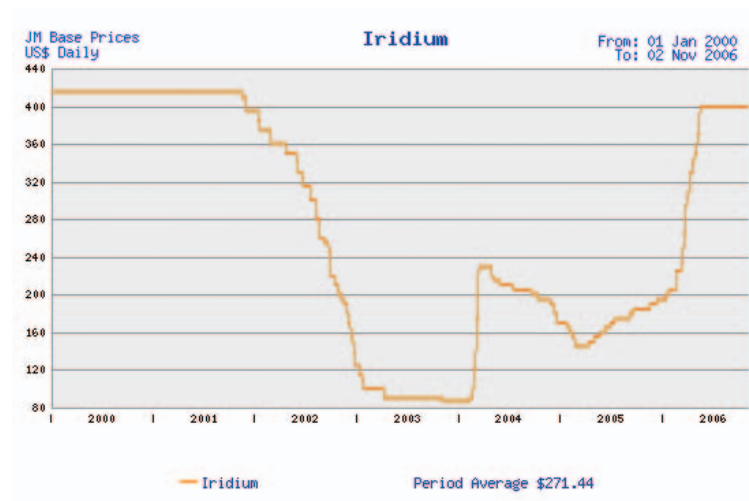
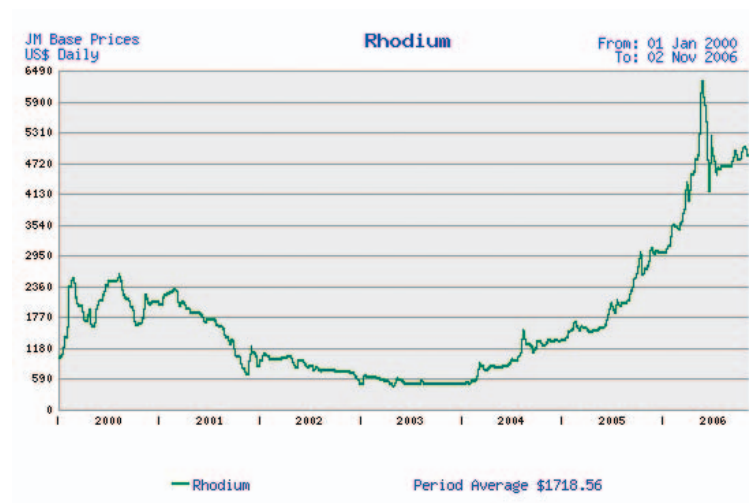
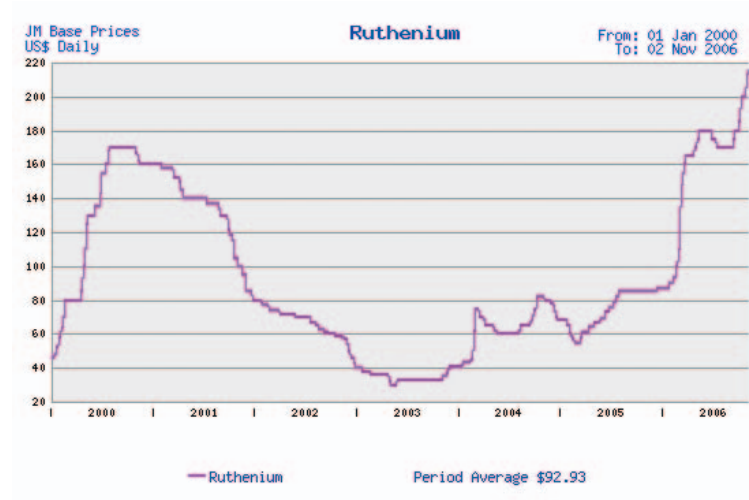
### Iridium

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	%
<b>Nachfrage</b>							
Automobilindustrie	11	8	6	12	14	15	12.0
Chemie	35	32	32	43	51	53	42.4
Elektronik	59	28	21	28	30	32	25.6
Andere	21	18	20	23	25	25	20.0
<b>Gesamtnachfrage</b>	<b>126</b>	<b>86</b>	<b>79</b>	<b>106</b>	<b>120</b>	<b>125</b>	<b>100</b>

Detaillierte Informationen über Angebot und Nachfrage werden von Johnson Matthey publiziert:

[www.platinum.matthey.com/publications/](http://www.platinum.matthey.com/publications/)

## PREISENTWICKLUNG 2000–2006



## Copyright:

Johnson Matthey & Brandenberger AG  
Glattalstrasse 18  
Postfach 485  
CH-8052 Zürich  
Telefon +41 (0)44 307 19 19  
Telefax +41 (0)44 307 19 20

[info@matthey.com](mailto:info@matthey.com)  
[www.johnson-matthey.ch](http://www.johnson-matthey.ch)

Redaktion: John Fineron

Diese Publikation ist mit aller Sorgfalt,  
aber ohne Gewähr für ihre Richtigkeit,  
zusammengestellt worden.

Die Redaktion lehnt jede Haftung ab.

Abdruck und Wiedergabe sind nur gegen  
Beleg und unter Angabe der Quelle frei.