

**27**

## **DERA Rohstoffinformationen**



**Bismut –  
ein typisches Sondermetall**

## Impressum

Editor: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
Wilhelmstraße 25–30  
13593 Berlin  
Tel.: +49 30 36993 226  
Fax: +49 30 36993 100  
dera@bgr.de  
www.deutsche-rohstoffagentur.de

Autoren: Dr. Harald Elsner  
mit einem Fachbeitrag von Maren Liedke (Risikobewertung)

sowie fachlicher Unterstützung von:  
Dr. Torsten Graupner, Simon Goldmann und Michael Schmidt

Kontakt: BGR/DERA  
Dr. Harald Elsner  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
Stilleweg 2  
30655 Hannover  
mineralische-rohstoffe@bgr.de

Layout: DERA, label D Druck + Medien GmbH, Berlin

Datenstand: Juni 2015

ISBN: 978-3-943566-23-9 (Druckversion)  
ISBN: 978-3-943566-24-6 (Onlineversion)  
ISSN: 2193-5319

Titelbilder: Aurubis AG, BASF SE  
Flaggen im Anhang von [www.nationalflaggen.de](http://www.nationalflaggen.de)

Titelinformation:  
[www.bgr.bund.de/DERA\\_Rohstoffinformationen](http://www.bgr.bund.de/DERA_Rohstoffinformationen)

Zitierhinweis:  
Elsner, H. (2015): Bismut – ein typisches Sondermetall. –  
DERA Rohstoffinformationen 27: 177 S., Berlin.



## **DERA Rohstoffinformationen**

Bismut – ein typisches Sondermetall





## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>9</b>
<b>Danksagung</b>	<b>10</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>11</b>
<b>2 Bismut und Bismutminerale</b>	<b>12</b>
2.1 Bismut	12
2.2 Bismutminerale	13
2.3 Lagerstättengenese	14
<b>3 Verwendung und Anforderungen</b>	<b>15</b>
3.1 Aufbereitung und Raffination	15
3.2 Verwendung von Bismut	17
3.3 Toxizität	24
3.4 Recycling	25
3.5 Substitution	25
3.6 Chemische Anforderungen an Raffinadebismut	26
3.7 Anforderungen an Bismutlagerstätten	26
<b>4 Nachfrage</b>	<b>28</b>
<b>5 Angebot</b>	<b>31</b>
5.1 Bergwerksförderung	31
5.2 Raffinadeproduktion	32
5.3 Zwischenprodukte	35
5.4 Projekte	36
5.5 Lagerbestände	38
<b>6 Bilanz von Angebot und Nachfrage</b>	<b>40</b>
<b>7 Preisentwicklung</b>	<b>42</b>
<b>8 Angebot und Nachfrage nach Bismut in Deutschland</b>	<b>44</b>
8.1 Vorkommen und Gewinnung	44
8.2 Import und Export	44
8.3 Verbrauch	47
<b>Literatur</b>	<b>51</b>
<b>Anhang – Länderprofile</b>	<b>55</b>
<b>Anhang – Indikatoren und Risikobewertung</b>	<b>171</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Typische Bismutkristalle aus der Bismutschmelze.	10
Abbildung 2:	Reinbismut.	12
Abbildung 3:	Bismit.	14
Abbildung 4:	Blei-Bismut-Barren als Ausgangsprodukt der Raffinadebismutproduktion bei der Firma 5N Plus in Tilly, Belgien.	16
Abbildung 5:	Typische Bismutkristalle.	17
Abbildung 6:	Bismutgelb.	19
Abbildung 7:	Bismutbarren @ 99,9 % Bi zur Herstellung von Weichloten.	20
Abbildung 8:	Einsatz von Bi-Katalysatoren in der Chemie.	22
Abbildung 9:	Absoluter und anteiliger sichtbarer Verbrauch von Bismut in den USA seit 1970.	29
Abbildung 10:	Absoluter und anteiliger sichtbarer Verbrauch von Bismut in Japan seit 1972.	29
Abbildung 11:	Vergleich des anteiligen Verbrauchs von Bismut in den USA, Japan und China im Jahr 2012.	30
Abbildung 12:	Entwicklung der Weltraffinadeproduktion von Bismut seit 1990.	32
Abbildung 13:	Raffinadebismut zur Weiterverarbeitung in der Hütte von 5N Plus in Tilly, Belgien.	34
Abbildung 14:	Höhe der privaten Lagerbestände von Bismut zum Jahresende in Japan und in den USA.	38
Abbildung 15:	Einlagerung von Bismut durch die Fanya Metal Exchange.	39
Abbildung 16:	Bismut in Nadelform aus der Produktion von 5N Plus in Tilly, Belgien.	41
Abbildung 17:	Nominale und reale Bismutpreisentwicklung seit 2000.	43
Abbildung 18:	Relative Verwendungszwecke von Bismut in Deutschland.	47
Abbildung 19:	Bohrkern aus der Lagerstätte Rover 1.	60
Abbildung 20:	Tagebau, Aufbereitungsanlage und Mining Camp von Wolfram Camp im März 2015	62
Abbildung 21:	Blick auf den Bamford Hill.	63
Abbildung 22:	„Bismutkruste“ für den Export aus Port Pirie.	66
Abbildung 23:	Blick in den Kara #1 Magnetit-Scheeliterztagebau im Nordwesten Tasmaniens.	68
Abbildung 24:	Raffinadebismut aus eigener Produktion bei der 5N Plus in Tilly.	75
Abbildung 25:	Blick auf die Tasna Mine am Cerro Tasna, Bolivien, im Jahr 1993.	78
Abbildung 26:	Luftbild der NICO-Projekt Erkundungscamps in den Northwest Territories.	115
Abbildung 27:	Hütte von La Oroya in den peruanischen Anden.	141
Abbildung 28:	Lufaufnahme der Rönnskär Hütte der Boliden AB.	151
Abbildung 29:	Blick auf Tagebau und entstehende Aufbereitungsanlage von Nui Phao im Herbst 2013.	169

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auflistung der wichtigsten Bismutminerale, ihrer alten bergmännischen Bezeichnungen, ihrer empirischen Formeln und ihrer theoretischen Bi-Gehalte.	13
Tabelle 2:	Liste der Lagerstätten mit den weltweit größten (verbliebenen) Bismutinhalten.	27
Tabelle 3:	Weltbergwerksförderung von Bismuterzen.	31
Tabelle 4:	Weltraffinadeproduktion von Bismut.	32
Tabelle 5:	Vergleich der weltweiten Raffinadekapazitäten von Bismut Ende 1989 und 2014.	33
Tabelle 6:	Vergleichende Auflistung relevanter Bismutprojekte.	37
Tabelle 7:	Deutsche Importe von Bismut in Rohform; Pulver aus Bismut; Abfälle und Schrott aus Bismut = i. W. Raffinadebismut zwischen 2007 und 2014.	44
Tabelle 8:	Deutsche Importe von Waren aus Bismut zwischen 2007 und 2014.	45
Tabelle 9:	Deutsche Exporte von Bismut in Rohform; Pulver aus Bismut; Abfälle und Schrott aus Bismut = i. W. Raffinadebismut zwischen 2006 und 2014.	45
Tabelle 10:	Deutsche Exporte von Waren aus Bismut zwischen 2006 und 2013.	46
Tabelle 11:	Gehalte, Ressourcen und Reserven von Bismut-Lagerstätten Australiens.	70
Tabelle 12:	Bergwerksproduktion von Bismut bzw. von Bismut- und Kupfer-(Bismut)-Konzentraten und deren Bi-Inhalt in Australien.	71
Tabelle 13:	Produktion von Raffinadebismut in Belgien.	76
Tabelle 14:	Bergwerks- und Raffinadeproduktion von Bismut in Bolivien.	79
Tabelle 15:	Produktion von Bismutmetall und Bismut-Blei-Legierungen in Bulgarien nach Firmendaten.	83
Tabelle 16:	Chinesische Bergwerksproduktion von Bismut.	93
Tabelle 17:	Angaben bzw. Schätzungen der chinesischen Produktion von Raffinadebismut, des Inlandsverbrauchs sowie des Exports von Bismut aus China.	94
Tabelle 18:	Bismutproduktion in der ehemaligen DDR.	97
Tabelle 19:	Bergbau- und Raffinadeproduktion von Bismut nach Firmen in Frankreich bzw. in ganz Frankreich.	99
Tabelle 20:	Weltweite Importe von Bleierzkonzentrat aus Griechenland seit 1999 und darin vermutlich enthaltenes Bismut.	101
Tabelle 21:	Schätzung der Raffinadeproduktion von Bismut in Großbritannien.	103
Tabelle 22:	Raffinadeproduktion von Bismut in Italien.	107
Tabelle 23:	Raffinadeproduktion von Bismut in Japan.	111
Tabelle 24:	Bergwerksproduktion von Bismut in Kanada bzw. den kanadischen Provinzen.	116
Tabelle 25:	Raffinadeproduktion von Bismut bzw. Bi-Inhalt von in Kanada produzierten Legierungen.	117
Tabelle 26:	Vermutliche Entwicklung der Raffinadeproduktion von Bismut bzw. Bismutlegierungen in Kasachstan.	120
Tabelle 27:	Importe von Bleierzkonzentraten aus Nordkorea durch China.	123
Tabelle 28:	Raffinadeproduktion von Bismut in der Republik Korea.	126

Tabelle 29:	Raffinadeproduktion von Bismut in Kosovo bzw. seinen Vorgängerstaaten.	129
Tabelle 30:	Raffinadeproduktion von Bismut bzw. von Legierungen in Mexiko.	133
Tabelle 31:	Raffinadeproduktion von Bismut bzw. Legierungen in Peru.	142
Tabelle 32:	Schätzung der Raffinadeproduktion von Bismut in den USA zwischen 1970 und 1975.	164

## Zusammenfassung

Bismut ist ein silberweißes Schwermetall, das bei Erstarrung aus der Schmelze sehr typische Kristallstrukturen und in feuchter Luft typische bunte Oxidationsschichten ausbildet. In der Natur existieren zahlreiche Bismutminerale, von denen jedoch nur wenige von wirtschaftlicher Bedeutung sind. Weniger als 10 % der Weltproduktion von Raffinadebismut stammt aus der Bergwerksförderung primärer Bismutlagerstätten, während > 90 % beibrechend bei der Aufbereitung bzw. Raffination von Kupfer-, Blei-, Blei-Zink-, polymetallischen sowie untergeordnet Wolfram- und Zinnerzen gewonnen wird.

Die Verwendungsbereiche von Bismut sind sehr vielfältig, wobei die weltweit fünf größten Einsatzgebiete Arzneimittel, Pigmente, niedrigschmelzende Legierungen, metallurgische Zusätze sowie Industriekatalysatoren sind. Hierbei sind die Verwendungsbereiche in den einzelnen Ländern jedoch sehr unterschiedlich.

In Deutschland werden jährlich rund 1.200 t metallisches Bismut und Waren aus Bismut verbraucht. Damit steht Deutschland hinter China und den USA an weltweit dritter Stelle der Bismutnachfrage. Zusätzlich werden von Deutschland jährlich große Mengen an bismuthaltigen Produkten importiert. Rund 71 % des in Deutschland eingesetzten Bismuts findet in der Herstellung von Gelbpigmenten auf Bismutvanadatbasis, 22 % in der Produktion von Katalysatoren, 3 % in der Produktion von Bismutbronzen, 2 % als metallurgische Zusätze sowie rund 1 % in sonstigen Anwendungen Verwendung.

Die weltweite Nachfrage nach Bismut wird seit vielen Jahren weder von staatlichen Stellen noch von Lobbyorganisationen erfasst. Über relativ genaue Zahlen zur weltweiten Nachfrage nach Bismut verfügt jedoch die kanadische 5N Plus Inc. – der weltgrößte Produzent und Anbieter von Bismut und Bismutprodukten außerhalb Chinas. Nach freundlicher mündlicher Mitteilung geht 5N Plus derzeit von einer jährlichen weltweiten industriellen Nachfrage von 10.000 – 12.000 t Bismut aus. Die jährliche Wachstumsrate des Bedarfs beträgt nach 5N Plus 3 – 4 %, weit vorwiegend ausgehend von der weltweiten Substitution von toxischem Blei durch das wesentlich ungiftigere Bismut in zahlreichen Produkten.

Dieser Nachfrage stand im Jahr 2014 eine Raffinadeproduktion von > 21.000 t und eine Raffinadekapazität von > 26.000 t Bismut gegenüber. Der weltweite Bismutmarkt ist daher von einer hohen Überproduktion und noch höheren Überkapazitäten gekennzeichnet. Die weltweite Produktion von Raffinadebismut wird mit ca. 85 % Marktanteil durch China dominiert, mit weitem Abstand gefolgt von acht weiteren Produktionsländern. Im Vergleich dazu wurde Raffinadebismut im Jahr 1990 in 19 Ländern und im Jahr 2000 noch in 14 Ländern produziert.

Seit dem 01.03.2013 wird Bismut, ähnlich vielen anderen Sondermetallen, an der chinesischen Fanya Metal Exchange (FYME) gehandelt. Bismut soll in den Lagern der FYME bis zu einer Menge von letztendlich 20.000 t eingelagert werden. Bis zum 26. 12. 2013 wurden 5.223 t Bismut eingelagert. Bis zum 26. 12. 2014 erhöhte sich diese Menge um weitere 13.463 t auf insgesamt 18.689 t Bismut. Im Frühjahr 2015 wurde die Einlagerung mit geringen Volumina fortgesetzt. Da der Einlagerung der FYME jedoch keinerlei reelle industrielle Nachfrage gegenübersteht, gab der nach Einsetzen der Handelsaktivitäten deutlich gestiegene Bismutpreis Ende 2014 bereits wieder nach.

Aufgrund unzureichender Datenlage sind für Bismut keine belastbaren Aussagen zur zukünftigen Entwicklung von Angebot und Nachfrage möglich. Ähnlich vielen anderen Sondermetallen ist der Bismutmarkt jedoch sehr wahrscheinlich auch langfristig durch einen sehr hohen Angebotsüberschuss, sehr hohe Überkapazitäten und eine hohe Markt- und Firmenkonzentration durch viele chinesische und wenige andere Anbieter gekennzeichnet.



## Danksagung

Die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe dankt allen Bismut verarbeitenden Unternehmen, die in telefonischen Erhebungen für diese Studie Informationen über ihre Bismutverbräuche

und die Verwendung von Bismut in ihren Unternehmen zur Verfügung gestellt haben. Mehrere ausländische Bismutproduzenten und Projektentwickler gewährten in Diskussionen ebenfalls Einblicke in ihre gegenwärtigen und zukünftigen Unternehmensstrategien und/oder stellten Fotos zur Verfügung.



**Abbildung 1:** Typische Bismutkristalle aus der Bismutschmelze, Foto: Aurubis AG (Wiedergabe mit frdl. Genehmigung).

## 1 Einführung

Im Oktober 2010 wurde innerhalb der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), einer Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) gegründet. Zu den Aufgaben der DERA zählt die Analyse und Bewertung der internationalen Rohstoffmärkte sowie die Beratung deutscher Firmen zu möglichen Preis- und Lieferrisiken bei der Versorgung mit mineralischen Rohstoffen.

Im Rahmen dieser Aufgaben hat die DERA deutsche Unternehmen bereits durch die Ausrichtung von Industrieworkshops bzw. Herausgabe von Studien zu Seltenen Erden (Februar 2011), Zirkon (Dezember 2012), Kupfer (April 2013), Antimon (Juni 2013), Wolfram (Oktober 2013), Zinn (Januar 2014), Zink (Januar 2015) und Platingruppenmetallen (April 2015) beraten.

Außerhalb der o. g. Studien liegen nur wenige Informationen zu den Rohstoffen Antimon und Wolfram vor und auch bei Bismut ist dies ganz besonders der Fall.

Zwar existierte zwischen April 1973 und Februar 2002 ein Bismuth Institute mit Sitz in Brüssel bzw. Grimbergen/Belgien und danach noch eine internationale Bismuth Producers Association, auch gibt es in China zwischenzeitlich Bismutvermarktungsorganisationen, doch ist die Datenlage zu Bismut weiterhin sehr schlecht.

Im Zuge der Erstellung dieser Studie wurde daher versucht alle publizierten Berichte zu diesem Metall, teils auch älteren Datums zu beschaffen, um möglichst keinerlei Informationen zu übersehen.

Mit den aus diesen publizierten Studien extrahierten Hintergrundinformationen, neueren aus dem Internet verfügbaren Daten sowie Informationen von Marktteilnehmern gelang es letztendlich, einen aktuellen Überblick über die Rohstoffwirtschaft des Sondermetalls Bismut zusammenzustellen. Im Vergleich zu den Datenmengen, die aber zum Beispiel über Basis- oder Edelmetalle vorliegen, bleiben zahlreiche Fragen weiterhin offen.

Bezüglich des weltweiten Verbrauchs von Bismut gibt es keine publizierten, aktuellen und zuverlässigen Daten, immerhin aber einzelne Zusammenstellungen, teils sogar Zeitreihen, aus den großen Verbraucherländern China, Japan und den USA.

Die Bergwerksförderung von Bismut ist sehr gut bekannt, aber von nur geringer Bedeutung, da ca. 90 % des weltweit produzierten Bismuts bei der Verhüttung anderer Erzkonzentrate ausgebracht und nur untergeordnet in separaten Bismutmineralkonzentrationen angereichert wird. Wesentlich besser ist die Datenlage zu Raffinadebismut, obwohl auch hierzu die meisten Produzenten keine exakten Daten publizieren.

Die Datenlage zu den zukünftigen Bismutprojekten wiederum ist ausgezeichnet. Auch dies ist jedoch ohne große Bedeutung, da es nur wenige eigenständige Bismutprojekte gibt.

Zusammenfassend lassen sich zu Bismut, anders als zu den meisten anderen mineralischen Rohstoffen, keine belastbaren Aussagen zur zukünftigen Angebots-/Nachfragesituation auf dem Weltmarkt ableiten. Dennoch soll dieser aktuelle Überblick die deutschen Industrie unterstützen, die rohstoffwirtschaftlichen Zusammenhänge bei Bismut, einem typischen Sondermetall, besser einzuordnen.



## 2 Bismut und Bismutminerale

### 2.1 Bismut

Bismut ist ein chemisches Element mit dem Elementsymbol Bi und der Ordnungszahl 83. Im Periodensystem steht es in der 5. Hauptgruppe (Stickstoffgruppe) sowie in der 6. Periode zwischen Blei und dem radioaktiven Polonium.

Nur in der deutschen Sprache wird Bismut noch vorwiegend als Wismut bezeichnet, was rein historische Gründe hat (z. B. FEISER 1966, PALMIERI 1991, TERRADO 2012). Auch in den verwandten nordgermanischen Sprachen Schwedisch und Norwegisch heißt Bismut „Vismut“ bzw. in Finnisch „Vismutti“. In allen anderen Sprachen ist dagegen die Schreibweise mit W unbekannt und sind Abwandlungen der latinisierten Form „Bismutum“ in Gebrauch. Da zudem im Deutschen die Bezeichnung Wismut zwischenzeitlich viel eher mit der ehemaligen Sowjetisch-Deutschen Aktiengesellschaft Wismut (die niemals Bismuterze abbaute) in Verbindung gebracht wird, soll in dieser Studie durchgängig die im Deutschen ebenfalls zulässige Bezeichnung Bismut benutzt werden.

Bismut ist den anderen Metallen bzw. Halbmetallen der 5. Hauptgruppe, Arsen und Antimon, geochemisch sehr ähnlich. In der Natur tritt es elementar als gediegen Bismut sowie vorwiegend in Sulfiden und komplexen Sulfosalzen auf (vgl. Kap. 2.2). Komplexe Sulfosalze resultieren aus der einfachen Ersetzbarkeit von Bismut durch Kupfer, Silber und Blei oder aus der Mischbarkeit seiner Verbindungen mit diesen Elementen, die häufig auch als Spurenelemente in Bismutmineralen vorhanden sind. Typische Spurenelemente in gediegen Bismut sind ansonsten Eisen, Tellur, Arsen, Schwefel und Antimon. Neben Kupfer, Silber und Blei ist Bismut in Primärlagerstätten oft mit Zinn, Arsen, Wolfram, Zink, Tellur und Gold vergesellschaftet.

Wichtiger noch ist, dass Bismut in den meisten Blei-Zink-, Kupfer-, Molybdän-Kupfer-, Zinn- und Wolfram-Erzen als Verunreinigung auftritt, die bei der Aufbereitung oder Verhüttung dieser Erze, spätestens jedoch bei der Raffination, abgetrennt werden muss, womit diese Erze die mit Abstand wichtigste Lieferquelle für Bismut darstellen. Bleiglanz ist zudem oft reich an Bismut (und Thallium), da sich die Ionenradien von  $Pb^{2+}$ ,  $Bi^{3+}$  und  $Tl^+$  ähneln.



Abbildung 2: Reinbismut, Foto: 5N Plus Inc. (Wiedergabe mit frdl. Genehmigung).



Bismut ist ein silberweißes, weiches (Mohs-Härte 2,5), sprödes Metall (Abb. 2), das in feuchter Luft sehr typische bunte Oxidationsschichten ausbildet (s. Abb. 1). Es ist ein schlechter Wärme- und Elektrizitätsleiter. Bismut hat einen für Metalle sehr niedrigen Schmelzpunkt ( $271,3^{\circ}\text{C}$ ); sein Siedepunkt ( $1.560 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) ist luftdruckabhängig. Die Dichte von festem Bismut beträgt  $9,780 \text{ g/cm}^3$  (@  $20^{\circ}\text{C}$ ) bzw.  $9,808 \text{ g/cm}^3$  (@  $25^{\circ}\text{C}$ ), die von flüssigem Bismut  $10,067 \text{ g/cm}^3$ . Bei Verfestigung dehnt sich das Metall, ähnlich Gallium und Germanium, um 3,32 % aus.

Der Durchschnittsgehalt von Bismut in der Erdkruste (Clarke-Wert) liegt bei ca. 0,2 ppm und ist damit rund doppelt so hoch wie der von Gold.

Bismut gilt als eines der wenigen relativ ungiftigen und zudem nicht-kanzerogenen Schwermetalle und wird deswegen auch als „grünes Metall“ bezeichnet (vgl. Kap. 3.3).

Von Bismut sind binäre Legierungen u. a. mit Li, Na, K, Cu, Mg, Ca, Tl, Ce, Se, Te, Ni und Rh bekannt, haben aber keine wirtschaftliche Bedeutung. An ternären Bi-Systemen sind Bi-Zn-Cd, Bi-Sn-Zn und Bi-Sn-Pb zu nennen. Unter den quaternären Legierungen haben nur Bi-Cd-Sn-

Pb-Legierungen mit verschiedenen Anteilen der Metalle Bedeutung und zwar wegen ihrer niedrigen Schmelzpunkte (vgl. Kap. 3.2)

## 2.2 Bismutminerale

Von Bismut sind rund 230 verschiedene Minerale bekannt, von denen aber nur sehr wenige wirtschaftliche Bedeutungen besitzen. Sowohl die gediegene Form, als auch Sulfide, Oxisulfide, Oxihalogenide, Selenide, Telluride, Tellursulfide, Sulfosalze, Oxide, Karbonate, Arsenate, Vanadate, Uranate, Molybdate, Tellurate wie Silikate treten von Bismut auf.

In der Natur verwittern gediegen Bismut sowie alle primären Bi-Sulfide und -Sulfosalze zu Bismutit und/oder Bismut, wobei letzterer meist körnige bis massige Mineral-Aggregate oder erdige bis pulvrige Überzüge ausbildet (s. Abb. 3).

**Tabelle 1: Auflistung der wichtigsten Bismutminerale, ihrer alten bergmännischen Bezeichnungen, ihrer empirischen Formeln und ihrer theoretischen Bi-Gehalte.**

Name	Formel	Bi-Gehalt (%)
Gediegen Bismut (Wismut)	Bi	100,0
Bismuthinit (Bismutin, Wismutglanz)	$\text{Bi}_2\text{S}_3$	81,29
Bismutit (Wismutspat)	$\text{Bi}_2(\text{CO}_3)_2\text{O}_2$	81,96
Bismut (Wismutocker)	$\text{Bi}_2\text{O}_3$	89,70
Emplektit (Kupferwismutglanz)	$\text{CuBiS}_2$	62,07
Wittichenit (Kupferwismutglanz)	$\text{Cu}_3\text{BiS}_3$	42,15
Cuprobismutit (Kupfersulfobismutit)	$\text{Cu}_{10}\text{Bi}_{12}\text{S}_{23}$	64,62
Galenobismutit	$\text{PbBi}_2\text{S}_4$	55,47
Cosalit	$\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$	42,10
Aikinit	$\text{CuPbBiS}_3$	36,29
Ikunolith	$\text{Bi}_4(\text{S,Se})_3$	86,42
Junoit	$\text{Pb}_3\text{Cu}_2\text{Bi}_8(\text{S,Se})_{16}$	53,56
Tellurobismutit	$\text{Bi}_2\text{Te}_3$	52,19
Tetradymit	$\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$	59,27
Joséit-A	$\text{Bi}_4\text{TeS}_2$	81,34
Joséit-B	$\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$	74,42
Maldonit	$\text{Au}_2\text{Bi}$	34,66



Abbildung 3: Bismut, Quelle: Wikipedia (Originalfoto: US Geological Survey)

### 2.3 Lagerstättengeneese

In Anlehnung an DILL (2010) werden bei Bismut drei Lagerstättentypen unterschieden:

1. Magmatisch-hydrothermale Bismutlagerstätten
  - Bi-Ag-Sn-(Pb-Zn-Cu) Ganglagerstätten in intermediären Subvulkaniten, z. B. Nui Phao in Vietnam (s. Anhang – Vietnam)
  - Sn-W-Zn-F-Cu-Bi-Mo-(Au) Skarnlagerstätten, z. B. Shizhuyuan in China (s. Anhang – China)
  - Au-Cu-U-Bi-(Fe-SE) IOCG Lagerstätten, z. B. NICO in Kanada (s. Anhang – Kanada)
2. Strukturabhängige hydrothermale Bismutlagerstätten
  - Ag-Ni-Bi-Co-U Ganglagerstätten, v. a. im sächsischen Erzgebirge (s. Anhang – Deutschland)
  - Ag-Au-As-Bi-Cu-(Te-Se) Ganglagerstätten entlang orogener Störungszonen, z. B. Salsigne in Frankreich (s. Anhang – Frankreich)
3. Sedimentäre Bismutlagerstätten
  - Ag-Pb-Zn-Cu-FeS-Bi-Cd SMS (seafloor massive sulfide) Lagerstätten, z. B. Bathurst in Kanada (s. Anhang – Kanada). Auch in den rezenten bis subrezentem marinen Fe-Mn-Krusten ist der durchschnittliche Bi-Gehalt erhöht und schwankt je nach Ozean zwischen 19 und 42 ppm. Allein die Manganknollen der pazifischen Clarion-Clipperton Zone sollen 180.000 t Bi enthalten (HEIN et al. 2013).

Da die meisten Bismutminerale spröde oder gut spaltbar und auch der chemischen Verwitterung gegenüber wenig beständig sind stellen sie keine typischen Seifenminerale dar. In der engeren Umgebung größerer Bismutlagerstätten, v. a. in ariden bis semiariden Gebieten (z. B. Bolivianisches Hochgebirge, Australien) fanden sich früher jedoch auch Cassiterit-Wolframit- bzw. Gold-Seifen mit wirtschaftlich ausbringbaren Bismutgehalten. Diese Seifen wurden wegen ihrer Hauptwertmetalle (Wolfram, Zinn, Gold) meist zuallererst abgebaut.

### 3 Verwendung und Anforderungen

#### 3.1 Aufbereitung und Raffination

Der weitaus größte Teil des weltweit gewonnenen Bismuts stammt nicht aus der Aufbereitung und Anreicherung von Bismuterzen, sondern fällt bei der Aufbereitung bzw. Raffination von Kupfer-, Blei-, Blei-Zink-, polymetallischen sowie untergeordnet Wolfram- und Zinnerzen an.

**Bismutmineralkonzentrate**, die teils nur 3–5 % Bi, teils aber auch 30 % oder sogar 60 % Bi enthalten, werden meist durch Schwere-trennung, selektive Flotation und/oder Magnetscheidung bismuthaltiger Erze gewonnen. Rohbismut wird aus sulfidischen Erzen danach im Röst-Reduktionsverfahren oder (nur noch selten) unter Zugabe von metallischem Eisen im Niederschlagsverfahren aus dem Schmelzbad gewonnen. Gemischte sulfidisch-oxidische Bismutkonzentrate können unter Zusatz von Fe(III)-Salzen in Verbindung mit Chlor als Regenerationsmittel aufgeschlossen werden. Eine Laugung durch Salzsäure schließt sich an. Aus der BiOCl-Lauge lässt sich dann durch Verdünnung mit Wasser BiOCl ausfällen (s. u.).

Das in den **Kupfererzen** enthaltene Bismut folgt bei der Verhüttung der Kupfererzkonzentrate dem Kupfer in die Kupfermatte, einem durch Schmelze gerösteter sulfidischer Kupfererze gewonnenem Gemisch aus Kupfer- und anderen Metallsulfiden. Die Kupfermatte wird in einem Konverter verblasen um den größten Teil des Eisens und Schwefels zu entfernen und Blisterkupfer zur weiteren Raffination zu gewinnen. Ein Großteil – ca. 95 % – des Bismuts verflüchtigt sich dabei mit den meisten anderen Metallen, wie Blei, Arsen und Antimon, und wird dann in den Filteranlagen in Form von Filterstäuben (@ 0,5 – > 10 % Bi, PIRET 1994) wieder aufgefangen. Diese werden auf Kupfer hin recycelt, dann deponiert oder in Bleihütten weiterverarbeitet.

Auch das Blisterkupfer enthält noch Bismut, typischerweise rund 100 ppm (ARAÇ 1980). Dieses ist sehr unerwünscht, da bei Gehalten > 5 ppm Bi Kupfer brüchig wird und nicht mehr zu Drähten gezogen werden kann. Das Bismut muss dementsprechend unter allen Umständen abgetrennt werden. Hierzu dient die elektrolytische Raffina-

tion, wobei sich Bismut mit den Edelmetallen in den Anodenschlämmen (@ 0,001 – > 1,0 % Bi) anreichert. Diese Schlämme werden auf die enthaltenen Edel- und Wertmetalle hin aufbereitet, wobei zum Teil auch Bismut abgetrennt, ansonsten die Rückstände deponiert werden (FEISER 1966, ROSKILL 1990, PIRET 1994).

Altdeponien von Kupferhütten, aus denen bei hohen Rohstoffpreisen oder Knappheiten noch zahlreiche Wertmetalle extrahiert werden könnten, stellen eine beachtliche Rohstoffquelle für zukünftige Generationen dar (JASINSKI 1992) (vgl. Anhang – Russische Föderation).

An der LME gehandeltes Kupfer darf gemäß der britischen Norm BS EN 1978:1988 für Kupferkathoden (Cu-CATH-1) max. 2 ppm Bi, nach der chinesischen Norm GB/T 467-2010 für Kupferkathoden (Cu-CATH-1) max. 20 ppm Bi und nach der US-amerikanischen Norm ASTM B115-10 für Elektrolytkupfer max. 1 ppm Bi enthalten. Für „verunreinigte“ Kupfererzkonzentrate > 100 – 300 ppm Bi verlangen Lohnkupferhütten daher drastische Strafzölle (LAROCHE 2001).

Das in **Bleierzen** enthaltene Bismut begleitet das Blei durch den gesamten Aufbereitungs- und Verhüttungsprozess bis zu den letzten Schritten der Raffination. In fast allen Bleianwendungen ist Bismut unerwünscht (HOFFMANN 1994), so dass es letztendlich doch abgetrennt werden muss.

An der LME gehandeltes Blei darf gemäß der britischen Norm BS EN 12659:1999 und der chinesischen Norm GB/T 469-2005 @ > 99,97 % Pb max. 300 ppm Bi, @ > 99,985 % Pb max. 150 ppm Bi und @ > 99,99 % Pb max. 100 ppm Bi besitzen. Nach der US-amerikanischen Norm ASTM B29-03 (2009) liegen die Gehalte für Blei > 99,97 % Pb bei max. 250 ppm Bi und für Blei > 99,995 % Pb bei max. 15 ppm Bi.

Zur Entbismutung von Rohblei stehen zwei etablierte Prozesse zur Verfügung.

Der **Betterton-Kroll Prozess** beruht auf der Zugabe von Calcium- und Magnesiummetall zur Rohbleischmelze @ 0,05 – 3,5 % Bi und der daraufhin erfolgenden Ausbildung von Bi<sub>2</sub>Ca<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub> und einer Pb-Bi-Ca-Mg-Legierung. Diese Verbindungen kristallisieren an der Oberfläche des sich abkühlenden Bleis in Form eines Schaums bzw.



einer Kruste aus und werden danach abgeschöpft (RÜDIGER 1974). Das entbismutete Reinblei enthält nur noch 80 – 140 ppm Bi. Andere noch im Reinblei enthaltene Metalle, darunter Arsen, Tellur, Kupfer, Silber, Gold und Zink, werden durch Flussmittel abgetrennt. Die Pb-Bi-Ca-Mg-Legierung wird eingeschmolzen und das Calcium und Magnesium heute meist durch Chlorzugabe wieder entfernt. Ergebnis ist eine Pb-Bi-Legierung (@ i. M. 10 % Bi), die bereits genutzt oder auch mit Chlorgas versetzt zu Bleichlorid und Rohbismut weiterverarbeitet werden kann.

Der elektrolytische **Betts Prozess** veredelt Rohblei @ > 90 % Pb mit Verunreinigungen von Zinn, Silber, Gold, Bismut, Kupfer, Antimon, Arsen, Selen, Tellur und anderen Metallen. Dieses Rohblei wird zuerst entzinnt und danach in Anodenform gegossen. Bögen aus Reinblei zwischen den Anoden dienen als Kathoden. Unter Spannung und in einer Lösung aus hauptsächlich  $\text{PbSiF}_6$  und  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  geht das Blei aus den Anoden in Lösung und fällt an den Kathoden wieder aus. Die ver-

bleibenden Anodenrückstände bzw. -schlämme @ 2 – 25 % Bi werden gesammelt, gewaschen, zentrifugiert, getrocknet und eingeschmolzen und dabei ein Metallgemisch und Schlacke produziert. Aus dem Metallgemisch werden durch selektive Oxidation zuerst Arsen und Antimon gewonnen. Der Rest, der im Mittel rund 15 % Bi enthält, wird in einem Tiegelofen aufgeschmolzen bis nur noch silberreiches Rohgold verbleibt. Die Schlacken aus dem Tiegelofen werden mit Schwefel vermischt und mit Kohlenstoff reduziert, um einerseits Kupfermatte (s. o.), andererseits bismuthaltiges Bleioxid (Blei-Bismut-Glätte) bzw. daraus Rohbismut zu erzeugen. Auch alle während des Prozesses anfallenden Gase werden in Form von Filterstäuben gesammelt und auf enthaltene Wertmetalle hin aufbereitet (FEISER 1966, ROSKILL 1990, OJEBUOBOH 1992, TERRADO 2012).

Bi-reiche **Sn- und andere Erze** werden geröstet und dann mit Salzsäure gelaugt. Die Lauge wird geklärt und Bismut durch Verdünnung mit Wasser in Form von unreinem  $\text{BiOCl}$  ausgefällt.



**Abbildung 4:** Blei-Bismut-Barren als Ausgangsprodukt der Raffinadebismutproduktion bei der Firma 5N Plus in Tilly, Belgien (Foto: BGR).

Dieses unreine  $\text{BiOCl}$  muss mehrfach in Säure aufgelöst und wieder gefällt werden, um Verunreinigungen zu entfernen. Reines  $\text{BiOCl}$  wird abschließend getrocknet und direkt genutzt oder mit Natriumkarbonat und Kohlenstoff vermischt und zu Metall reduziert. Gelöstes  $\text{BiOCl}$  kann auch durch Zugabe von metallischem Zink oder Eisen in Salzsäure zu Metall reduziert werden (ROSKILL 1990).

Je nach Ausgangsmaterial und Bi-Gehalt bestehen zahlreiche Varianten und Ergänzungen der geschilderten Prozesse (vgl. FEISER 1966, PIRET 1994).

Zur Raffination wird meist das in allen beschriebenen Prozessen angefallene **Rohbismut** zuerst mit geschmolzenem Natriumkarbonat versetzt, um Reste von Arsen und Tellur abzutrennen. Durch den Parkes Entsilberungsprozess wird verbliebenes Silber abgetrennt. Mit Schwefel und Kohle werden Eisen und Kupfer entfernt. Das Rohbismut wird zudem wiederholt bei  $500\text{ °C}$  mit Chlor versetzt, worauf  $\text{ZnCl}_2$  und danach  $\text{PbCl}_4$  ausfallen.

Nach abschließender Oxidation mit Natronlauge kann letztendlich Reinbismut @ 99,999 % Bi (5N) gewonnen werden (ROSKILL 1990). Höherraffinationen bis 99,9999 % Bi (6N) sind ebenfalls möglich.

Auch elektrolytisch oder durch Schmelzen wird Bismutmetall hergestellt. Beim Abkühlen der Bismutschmelze entstehen dabei innerhalb weniger Minuten die typischen, spektakulären und nur von Bismut her bekannten Bismutkristalle (s. Abb. 5).

### 3.2 Verwendung von Bismut

Die Verwendungszwecke von Bismut sind sehr vielfältig, wobei die weltweit fünf größten Einsatzgebiete Arzneimittel, Pigmente, niedrigschmelzende Legierungen, metallurgische Zusätze sowie Industriekatalysatoren sind. Zusätzlich spielen elektronische und magnetische Anwendungen und der Einsatz im Glas eine wichtige Rolle. Hierbei sind die Verwendungsbereiche in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich (vgl. Kap. 4).

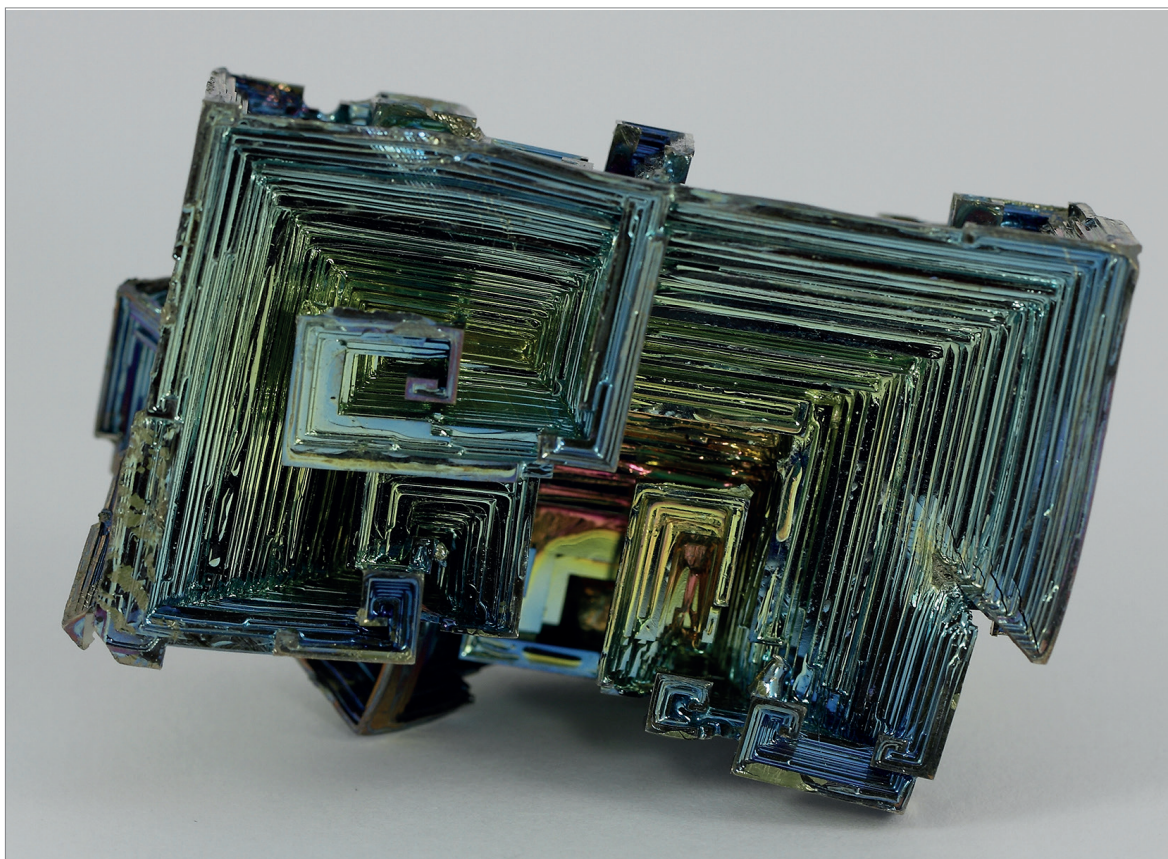


Abbildung 5: Typische Bismutkristalle, Foto: 5N Plus Inc. (Wiedergabe mit frdl. Genehmigung).



## Arzneimittel

Die Verwendung von Bismut in Arzneimitteln hat eine lange Tradition. Schon vor Jahrhunderten wurde festgestellt, dass Bismutsalze heilende Wirkung bei vielen Magenkrankheiten besitzen und vor dem 2. Weltkrieg machte dieses Einsatzgebiet 90 % des weltweiten Bismutverbrauchs aus. Zudem wurde Bismut als Antiseptikum bei der Wundbehandlung und vor der Erfindung von Penicillin als Mittel gegen Syphilis eingesetzt. Zwischenzeitlich wurde der Gebrauch von Bismut in der Medizin deutlich reduziert, da es teils bessere Heilmittel gibt, übermäßiger Gebrauch von Bismut zu Schäden führen kann (vgl. Kap. 3.3) und die großen Mengen für Arzneimittel eingesetzten Bismuts sogar zu Verknappungen auf dem Weltbismutmarkt führten. So verbot Australien zwischen 1972 und 1974 sowie Frankreich zwischen 1978 und 1981 den freien Verkauf bestimmter Bismutpräparate, wo sie seitdem nur noch auf Verschreibung zugelassen sind (ROSKILL 1990, JASINSKI 1992).

Gegenwärtig werden in der Pharmazie vorwiegend folgende Bi-Verbindungen eingesetzt:

- Bi-Subsalicylat,  $C_7H_5BiO_4$ , ein aktiver Inhaltsstoff in Pepto-Bismol® und ähnlichen freiverkäuflichen und populären Medikamenten zur Behandlung von temporären Irritationen des Magen- und Darmtraktes, wie Durchfall, Übelkeit, Brechreiz und Sodbrennen
- Bi-Subnitrat,  $Bi_5O(OH)_9(NO_3)_4$ , verwendet gegen Hautreizungen, Diarrhöen und Magengeschwüre
- Bi-Tribromophenolat für Salben zur Wundabdeckung, z. B. bei Brandverletzungen
- Bi-Subkarbonat,  $Bi_2O_2(CO_3)$ , ein radioopakes Pigment, das Kathedern zugesetzt wird, die bei Röntgenaufnahmen sichtbar sein sollen. Zudem wirkt es antibakteriell.
- Bi-Subgallat,  $C_7H_5BiO_6$ , ein Deodorant für übelriechende Stuhl- und Abgänge. In den USA auch als internes Deodorant für an den Verdauungsorganen operierte Patienten zugelassen. Zudem zur Wundbehandlung, z. B. bei Hämorrhoiden, und gegen das Magenbakterium *Helicobacter pylori* im Einsatz.

- Bibrocathol,  $C_6HBiBr_4O_3$ , zur Behandlung von Augeninfektionen
- Bi-Citrat bzw. -Subcitrat zusammen mit Antibiotika und Protonenpumpenhemmern und teils Bi-Subsalicylat zur Eradikation von *Helicobacter pylori* bzw. zur Behandlung von Magentumoren

Zahlreiche weitere Arzneimittel bzw. medizinische Anwendungen von Bismut werden in GIA (2006) und von THOMAS et al. (2011) sowie YANG & SUN (2011) genannt.

Bismut für pharmazeutische Anwendungen darf nur sehr geringe Anteile an Arsen, Blei, Kupfer und Silber enthalten.

Nach Schätzungen des USGS (z. B. KATRIVANOS 2015) werden jährlich rund  $\frac{2}{3}$  des in den USA verwendeten Bismuts zur Produktion von Pharmazeutika eingesetzt; in Japan soll nach der Japan Mining Industry Association dieser Anteil dagegen bei nur 11 % liegen, ist aber in den letzten Jahren angestiegen. Ebenfalls angestiegen ist nach der China Nonferrous Metal Industry Association der Verwendungsanteil in China mit im Jahr 2010 geschätzten 38 %.

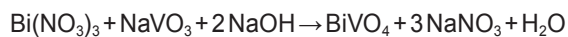
## Pigmente

Das bekannteste und weltweit am weitesten verbreitete Pigment auf Bismutbasis ist Bismutoxidchlorid,  $BiOCl$ , ein synthetisches Pigment mit Perlglanzeffekt, das in Plastik und Kosmetika (Lippenstifte, Nagellack, Puder, Lidschatten) eingesetzt wird (MILLER 1987, ROSKILL 1990). Auch feingemahlener Glimmer kann mit  $BiOCl$ ,  $TiO_2$  oder  $FeCl_3$  behandelt werden und besitzt dann ähnliche Einsatzgebiete (vgl. Kapitel 3.5).  $BiOCl$  verhält sich in den meisten Plastika inert, ist in den meisten Flüssigkeiten unlöslich und ist zudem – ganz wichtig – nicht toxisch. Da es jedoch unter UV-Licht abdunkelt, muss dieses Verhalten durch UV-absorbierende Komponenten ausgeglichen werden (JASINSKI 1992).

Bi-Subnitrat, vgl. Arzneimittel, ist ebenfalls eine Komponente in Glasuren und Farben und bewirkt dort ein perlmuttartiges Schillern.

Ein weiteres sehr wichtiges, an Bedeutung stetig zunehmendes Bismutpigment für Farben und

Lacke, aber auch Kunststoffe, ist das nicht-toxische Bismutvanadat,  $\text{BiVO}_4$ , das auch unter dem Pigmentnamen Bismutgelb oder PY (Pigment Yellow) 184 bekannt ist. Aufbauend auf den seit 1981 von der BASF AG produzierten Gelbpigmenten Bi-Vanadat-Molybdat-Wolframat und Bi-Vanadat-Molybdat (WIENAND & OSTERTAG 1988) wurde es 1985 als weiteres Substitut für das erste künstlich hergestellte Gelbpigment, Cadmiumgelb – PY 1, sowie weitere Gelbpigmente wie Blei-/Strontium-/Barium-Chromate oder Bleisulfat, entwickelt (ENDRISS 1995, ERKENS & VOS 1997). Inzwischen wird Bismutgelb in zahlreichen Variationen und Farbtönen auch von anderen Chemieunternehmen produziert und vertrieben. Grundrohstoff der Bismutvanadatproduktion ist heute meist eine Bismutnitratlösung, aus der Bismutvanadat mit Hilfe von Natriummetavanadat gefällt wird:



Der Farbton des Bismutvanadats hängt dabei stark von Temperatur, pH-Wert und Konzentration bei der Fällung ab. Generell ist industriell hergestelltes Bismutgelb jedoch leuchtend gelb (s. Abb. 6) mit einem grünlichen Unterton, besitzt

eine ausgezeichnete Wetterechtheit, hohe Deckkraft und eine gute Glanzhaltung. Es findet sowohl in Auto- als auch Industrielackierungen und Kunststoffen (z. B. Spielzeug) Verwendung.

Nicht nur als Pigmente ( $\text{BiOCl}$  in Metallicfarben, Bismutgelb) sondern auch als Trocknungsmittel (Organo-Bismut-Verbindungen) kommen Bi-Chemikalien zunehmend in Farben für die Automobilindustrie zum Einsatz.

### Niedrigschmelzende Legierungen

Beim Einsatz von Bismut in niedrigschmelzenden Legierungen kommt eine der wichtigsten Eigenschaften dieses Metalls, sein extrem niedriger Schmelzpunkt, zum Ausdruck. Zu den niedrigschmelzenden Legierungen aus zwei bis fünf Metallen mit scharf definierten eutektischen Schmelzpunkten gehören als bekannteste:

- Roses Metall aus 50 % Bi, 22 % Sn und 28 % Pb (Schmelzpunkt: 98 °C)



Abbildung 6: Bismutgelb, Foto: BASF SE (Wiedergabe mit frdl. Genehmigung)



- Woodsches Metall aus 50 % Bi, 25 % Pb, 12,5 % Sn und 12,5 % Cd (Schmelzpunkt: 71 °C)
- Lipowitzmetall aus 50 % Bi, 27 % Pb, 13 % Sn und 10 % Cd (Schmelzpunkt: 73 °C)
- Fieldsches Metall aus 32,5 % Bi, 51 % In und 16,5 % Sn (Schmelzpunkt 62 °C)
- Britanniametall aus 33,7 % Bi und 66,3 % In (Schmelzpunkt: 72 °C)

Diese niedrigschmelzenden Legierungen werden in automatischen Feuersicherungsvorrichtungen (typische Sprinkler-Legierungen sind: Bi44,7Pb22,6In19,1Sn8,3Cd5,3 oder auch Bi49,5Pb27,3Sn13,1Cd11,1), als Sicherungsventile in Treibstofftanks sowie Sicherheitsverschlüsse in Dampfkesseln und Heizsystemen verwendet (FEISER 1966). Besonders in den USA, wo weltweit weiterhin die meisten Sprinkler auf Schmelzlotbasis hergestellt werden, wird relativ

viel Bismut für diesen Einsatzbereich verbraucht (ROSKILL 1990).

Legierungen auf der Basis Sn-Pb-Bi, Sn-Ag-Bi und Sn-Ag-Cu-Bi dienen zudem als Lotmetall, genauer für Weichlote mit sehr niedrigen Erweichungstemperaturen (DARNELL 1975, RAMON & DIRNFELD 1992, HWANG 2001). Sie besitzen eine geringe mechanische Festigkeit und sind spröde, so dass sie nicht zu Drähten gezogen werden können. Weichlote mit Bismut, z. B. mit 12,5 % Bi, 50 % Pb und 37,5 % Sn, finden dennoch als Lötmetall in der Elektronikindustrie, zunehmend zum Löten von hitzeempfindlichen LED's, Verwendung, aber auch zur Befestigung von Metall auf Glas (z. B. „Sputtertarget“).

Wegen der guten technischen Beherrschbarkeit und des niedrigen Schmelzpunkts enthielten die meisten Weichlote früher alle toxisches Blei. Aufgrund der aktuellen Rechtslage, insbesondere in der EU, aber auch in China, gibt es weltweit starke Bemühungen, die bleihaltigen Weichlote durch



Abbildung 7: Bismutbarren @ 99,9 % Bi zur Herstellung von Weichloten, Foto: BGR.



bleifreie zu ersetzen. Die bleifreien Lote haben jedoch meist einen geringeren Einsatzbereich und bringen z. T. technische Probleme wie Verspröden und Whiskerbildung mit sich. Aus diesem Grund ist die Umsetzung bei der Fertigung elektronischer Baugruppen für kritische Anwendungen, wie in der Medizin-, Feuerwehr- und Sicherheitstechnik, in Messgeräten, bei der Luft- und Raumfahrt, in der Bahntechnik sowie für militärische/polizeiliche Verwendungen, noch nicht weit fortgeschritten. Seit Juli 2006 darf ansonsten wegen Problemen beim vollständigen Recycling kein bleihaltiges Lötzinns mehr in elektronischen Geräten verwendet werden. Man setzt nun bleifreie Zinnlegierungen mit Kupfer und Nickel, aus Kostengründen ungern mit Silber, zumindest außerhalb Europas aber auch gerne mit Bismut ein (ELSNER 2014).

Nach Aussage eines deutschen Marktteilnehmers (frdl. telef. Mitt.) könnte auch in Europa der Markt für bismuthaltige Weichlote deutlich anwachsen, „wenn nur erst mal die Verarbeitungsproblematik gelöst wäre“, was wohl in wenigen Jahren zu erwarten sei.

Bismut ist neben Antimon eines der wenigen Metalle, das sich ausdehnt, wenn es sich abkühlt. Deshalb wird es gerne für Güsse eingesetzt, in denen präzise Abdrücke, z. B. für Modellformen, gefordert sind. Legierungen mit  $> 55\%$  Bi dehnen sich aus, Legierungen  $< 48\%$  Bi ziehen sich zusammen, während sog. maßgerechte Legierungen mit  $48 - 55\%$  Bi in der Form konstant bleiben (JASINSKI 1992).

Für Letter- und Stereotyp-Metalle waren bzw. sind Pb-Sn-Sb-Legierungen mit  $7 - 15\%$  Bi günstig, da sie die Form einwandfrei ausfüllen und feinste Konturen wiedergeben können (FEISER 1966).

Niedrigschmelzende Legierungen auf Bismutbasis sind zudem für Bäder zum Abkühlen hochkohlenstoffhaltiger Stähle geeignet.

Nach Schätzungen des USGS werden jährlich rund  $8\%$  des in den USA verwendeten Bismuts für die Herstellung von niedrigschmelzenden Legierungen verwendet; in China nach China Nonferrous Metal Industry Association ebenfalls rund  $8\%$ . In Japan soll nach der Japan Mining Industry Association dieser Verbrauchsanteil bei  $11\%$  liegen.

### Metallurgische Zusätze

Bismut wird seit mehreren Jahrzehnten als geringer Legierungsbestandteil zu Aluminium, Aluminiumlegierungen ( $0,2 - 0,7\%$  Bi) (BICHSEL 1978, WANG et al. 1987) und Stahl ( $0,1 - 0,4\%$  Bi) (REH & FINGER 1988), speziell Automaten- und Werkzeugstählen, zugesetzt, da es durch Herabsetzung des Reibungswiderstandes eine Verbesserung der maschinellen Bearbeitbarkeit bewirkt, ohne die mechanischen Eigenschaften und den Korrosionswiderstand zu verschlechtern (PALMIERI 1991). Durch den niedrigen Siedepunkt von Bismut ist die Produktion dieser Stähle in den Hütten aber relativ schwierig.

In Automatenstählen, als Beispiel die Sorten 11SMnPbBiTe37 oder 11SMnPbBiTe30 mit  $0,040 - 0,090\%$  Bi, verbessert Bismut ähnlich Tellur die Zerspanbarkeit beim Drehen.

In den USA wird eine patentierte Stahlsorte mit  $3 - 5\%$  Bi produziert, die einen hohen Korrosionswiderstand besitzt und zugleich sehr sauber und glatt bearbeitet werden kann, wodurch sie in Rotoren von Lebensmittel- und Getränkepumpen zum Einsatz kommt. Hier können sich dann Verunreinigungen und Bakterien nicht festsetzen (JASINSKI 1992). In anderen Stählen wird Bismut als Substitut für Blei verwendet, da es im Gegensatz zu diesem nicht toxisch ist, was z. B. für Ventile und Klappen in Wasserleitungssystemen wichtig ist. In Nickelaustenitstählen darf Bismut allerdings nicht zugesetzt werden, da es die Bearbeitbarkeit bei hohen Temperaturen stark behindert.

Beim Eisenguss wird Bismut in geringen Mengen als Impfmittel zugesetzt ( $0,002 - 0,004\%$  Bi), um die Auskristallisation von Graphit an der erkaltenden Oberfläche zu unterbinden. Zudem bewirkt es im Eisen eine gleichmäßigere Abkühlung (ABORN 1975, BURDESE ET AL. 1977, TSURTSUMI & IMAMURA 1978, 1981, 1982).

Nach Schätzungen des USGS wurden im Jahr 2010 bei leicht sinkender Tendenz rund  $26\%$  des in den USA verwendeten Bismuts als metallurgische Zusätze eingesetzt; nach ROSKILL (1990) in der Vergangenheit zu rund  $75\%$  von der Gusseisenindustrie. In Japan verbraucht die Hüttenindustrie nach der Japan Mining Industry Association dagegen nur  $16\%$  und in China

nach China Nonferrous Metal Industry Association ähnlich nur rund 15 % des im Lande verwendeten Bismuts.

### Industriekatalysatoren

In den frühen 1960er Jahren wurde in den USA ein erster sehr erfolgreicher Katalysator auf Bi-Phosphomolybdatbasis zur Produktion von Acrylonitril entwickelt. Dieser wurde aber bald wieder substituiert und in den USA ist der Einsatz von Bismut in Katalysatoren danach stark gesunken (JASINSKI 1992).

Auf Bismut basierende Katalysatoren sind wegen ihrer besonders niedrigen Toxizität, ihrer niedrigen katalytischen Ladung, ihrer synergetischen Effekte mit anderen Katalysatoren und einigen hydrokompatiblen Eigenschaften von besonderem Interesse. Zwischenzeitlich wurden daher zahlreiche neue, meist organische Bismutkatalysatoren entwickelt, die größtenteils in der industriellen Kunststoffsynthese und Produktion orga-

nischer Chemikalien mannigfache Verwendung finden. (GIA 2006, OLLEVIER 2013).

Die BASF SE ist seit einigen Jahren mit zinnfreien und umweltfreundlichen, da lösemittelarmen kathodischen Tauchlacken (Catho-Guard® 800 und 900) auf Bi-Katalysatorenbasis auf dem Markt. Durch diese erhalten Rohbaukarossen ihre Grundierung für die weiteren Lackschichten.

In großen Teilen der Spezialchemieindustrie werden Bismutkatalysatoren als potenzielle und gleichwertige Substitute für Organozinnkatalysatoren angesehen. Unter anderen ungenügendes Wissen über den Bismutmarkt verhinderte aber bisher einen großkommerziellen Einsatz.

In Japan beträgt der Anteil von Bismut für Katalysatoren nach der Japan Mining Industry Association rund 8 %. Entsprechende Vergleichszahlen für die USA oder China liegen leider nicht vor.

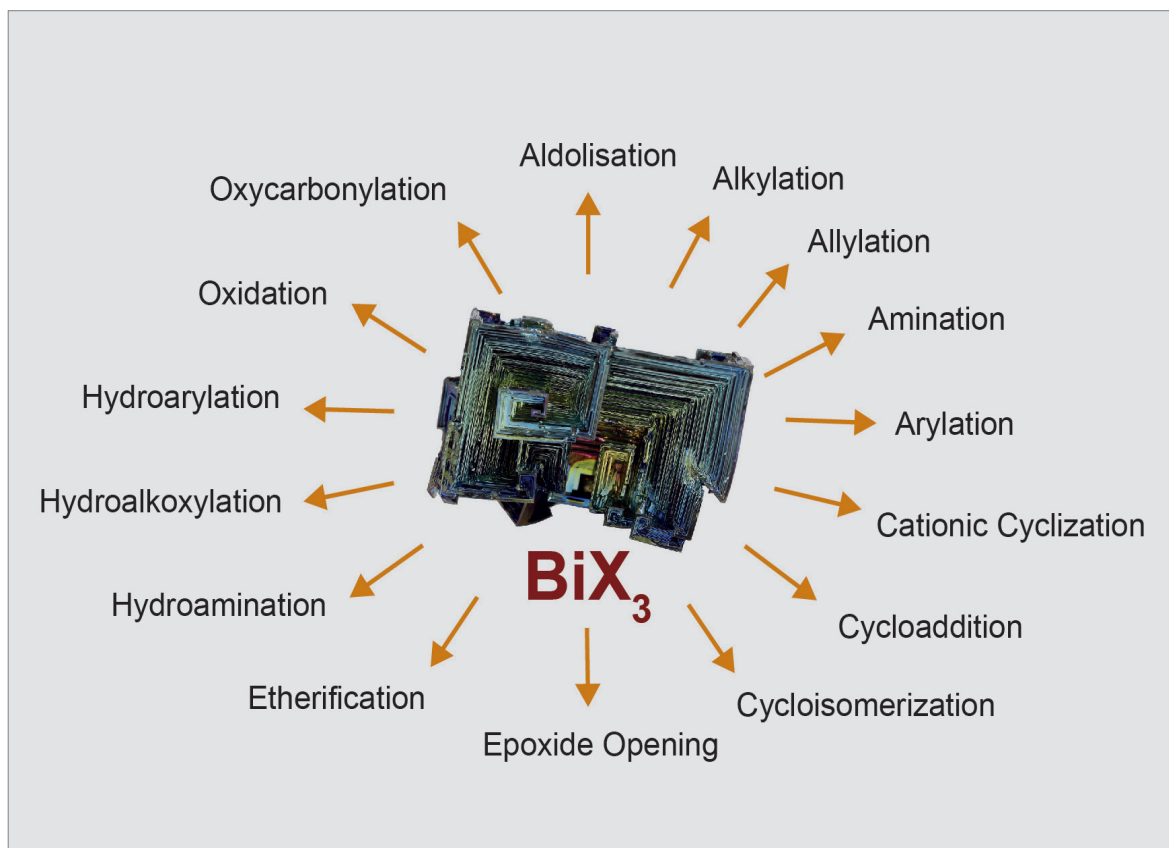


Abbildung 8: Einsatz von Bi-Katalysatoren in der Chemie, nach Titelbild der Zeitschrift *Organic & Biomolecular Chemistry* vom 7. Mai 2013.

## Sonstiges

Zahlreiche weitere altbewährte, teils sich aber auch erst entwickelnde Einsatzmöglichkeiten von Bismut sind in den Bulletins des ehemaligen Bismuth Institutes, von PALMIERI (1991) und in ROSKILL (1990) sowie GIA (2006) aufgeführt. Die wichtigsten hiervon sind:

- Der Klebstoff zum Befestigen der Scheiben in Autokarosserien (Blendstreifen, „windshield frit“) wird gegen UV-Strahlung durch eine niedrigschmelzende Glasur aus Bi-, B-, Zn- und Si-Oxiden geschützt. Diese dient zudem als Verbindungsmaterial zwischen Klebstoff, Glas und Karosserie. Nach Angaben des Projektentwicklers Fortune Minerals Ltd. (s. Anhang – Kanada) werden hierfür pro gefertigtem Auto rund 60 g Bismut benötigt.
- Eine niedrigschmelzende Bi-Legierung (z. B. CERROTRU®) dient als temporäre, aber sichere Halterung zum Fixieren und Positionieren von präzise zu bearbeitenden Metallprodukten (z. B. Turbinenblätter, Matrizen, Stempel oder Magnete) und optischen Gläsern bzw. als temporäre Ausfüllung zur inneren Stabilisierung von metallischen Hohlkörpern, die dann später mit heißem Öl, Dampf oder Wasser wieder entfernt wird (KING 1981).
- Bi-Oxid ist ein funktioneller Zusatz zu keramischen ZnO-Varistoren, um diese bei niedrigeren Temperaturen herstellen zu können. Weiterhin dient Bi-Oxid zur Verbesserung des Ausgleichs von Spannungsschwankungen. Auch in und bei der Produktion anderer elektrokeramischer Materialien (z. B. keramischen Permanentmagneten = Ferriten) kommen Bi-Oxide zum Einsatz (ROSKILL 1990, JASINSKI 1992). In Japan, dem Haupttechnologie-trägerland für Elektrokeramiken, wurden früher – mit stark fallender Tendenz – für diesen Einsatzbereich jährlich zwischen 1 – 5 % des insgesamt verbrauchten Bismuts benötigt.
- $\text{Bi}_2\text{O}_3$  – häufig als Substitut für  $\text{PbO}_2$  – als Beimengung in Glasgemengen für Dichtungsgläser, Solarzellen, dekorative Spezialgläser, Gläser für die Automobilindustrie, wie Windschutzscheiben, u. v. a. m. (MAEDER 2013) sowie in elektronischen Gläsern für Radargeräte, Infrarotmessgeräte, Sensoren und Bildschirme in Hochtechnologie- und militärischen Anwendungen, wo sie u. a. die Haltbarkeit, Dichte und den Brechungsindex erhöhen (JASINSKI 1992).
- Bismutbronze, eine verformbare und korrosionsresistente, thermisch gut leitbare und gut polierbare Cu-Legierung mit 1 – 3 % Bi seltener bis 6 % Bi. Moderne Bismutbronzelegierungen werden als „grüne“ Alternative zu bleihaltigen Bronzen vermarktet und finden Anwendung in hydraulischen Kolbenpumpen, Formstücken für die Klempnerei und als spezielles Lagermetall zum Ausgießen von Lager-schalen und -buchsen.
- Bismutmessing mit Bismut statt Blei zum Guss von Produkten für den Sanitär- und Installationsbereich – in Europa nicht zugelassen!
- Als Substitut für Bleigewichte beim Angeln sowie Jagdmunition aus Bleischrot, v. a. für die Wasservogeljagd, meist aus einer  $\text{Bi}97\text{Sn}3$ -Legierung.
- Als Zn-Bi-, Zn-Sn-Bi- oder Zn-Ni-Bi-Legierung (Bismut statt Blei) zur Erhöhung des Fließverhaltens von Zink und damit für eine gleichförmigere Feuerverzinkung (GAGNÉ 1998).
- Bi-Oktoat und Bi-Neodekanoat als Substitut für Pb-Naphtenat als Hochdruckzusatz für Getriebeöle und Schmierfette (KAROL 1998, YANG & SUN 2011).
- Bismuttellurid,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , ein Halbleiter, der in Legierungen mit Antimon oder Selen als thermoelektrisches Material zur Abkühlung von elektronischen Bauteilen (Minikühlzelle) dient (ROSKILL 1990) und als Detektor in Infrarotspektrophotometern eingesetzt wird sowie zudem als topologischer Isolator wirkt.
- Durch Vakuumbedampfung mit einer Sn (85 %) – Bi (15 %)-Legierung metallisierte Plastikfolie (FMP), die in Satellitenanlagen zum Empfang von Signalen, zur Abschirmung elektronischer Komponenten gegen elektromagnetische Interferenzen und als elektrisch leitende Folie Verwendung findet (JASINSKI 1992).

- In der Pyrotechnik für den Crackling-Effekt, dort als Substitut für  $Pb_3O_4$ , in Form von Bi-Oxiden, -subkarbonat und -subnitrat.
- Als Zusatz zu Plastik als Flammschutzmittel (CAMINO et al. 1981) und zum Schutz vor elektromagnetischen Einflüssen.
- Als Zusatz (0,05 – 0,06 % Bi) in einigen Blei-Säurebatterien zur besseren Aushärtung des Bleis.
- Als Zusatz bei der Verzinnung zur Verhinderung der „Zinnpest“ (ELSNER 2014).
- In Selengleichrichtern als Gegenelektrode, wofür ein eutektisches Gemisch von Bi-Sn oder Bi-Cd als Überzug auf Selen aufgetragen wird.
- Dünne Drahtspiralen aus reinem Bismut dienen zum Ausmessen von magnetischen Feldern;  $Bi_2O_3$  als Zusatz in Ferriten und Magneten zur Steigerung der Magnetischen Kraft
- Durch seinen äußerst geringen Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen als flüssiges  $Pb_{45,5}Bi_{55,5}$ -Kühlmittel in Nuklearreaktoren von (russischen) U-Booten
- Als Schmuck und als Dekorationsstufen aufgrund seiner vielfarbigen Kristalle aus der Schmelze.
- Bi-Oxid für Knochen- und Zahnimplantate, Katheder, Wundnähte und OP-Instrumente, die beim Röntgen sichtbar sein sollen (radioopak).
- Bi-Citrat,  $C_6H_5BiO_7$ , in Spülmaschinentabs zur Verhinderung von Glaskorrosion, als Neutralisator von unangenehmen Gerüchen in progressiven Haarfärbemitteln.
- Für Supraleiter aus einer Mischung von Bi-, Sr-, Ca- und Cu-Oxiden (BSCCO), vorerst nur im Labormaßstab. In ROSKILL (1990) wird die Geschichte der Entwicklung von Supraleitern auf Bi-Basis ausführlich beschrieben.
- $Bi_2O_3$  als Elektrolyt in Festoxidbrennstoffzellen.

### 3.3 Toxizität

Bismut gilt als eines der ungiftigsten Schwermetalle und zudem als nicht kanzerogen. Von Bismutproduzenten und -verarbeitern wird es deswegen gerne als neues „Grünes Metall“ bezeichnet und in fast allen Einsatzbereichen als ausgezeichnete Alternative zum nachweislich toxischen Blei vermarktet.

In Frankreich gab es in den 1970er Jahre einige Todesfälle, die auf fortgesetzten und übermäßigen Bismutkonsum durch Einnahme zu großer Mengen an Magenpräparaten (mit mehreren Gramm Bi-Inhalt) pro Tag zurückgeführt werden konnten. Bismutpräparate sind seitdem in Frankreich und auch in anderen Ländern verschreibungspflichtig.

Bismut ist nicht wasserlöslich und wird daher, wenn aufgenommen, vom menschlichen Körper schnell wieder ausgeschieden. Auch in der Natur bereitet es keinerlei Probleme und wird dort nicht akkumuliert (GIA 2006). YANG & SUN (2011) geben einen Toxizitätslevel von 15 g Bi an, den ein Mensch mit 70 kg Gewicht zu sich nehmen kann, bevor das Metall toxisch wirkt – bei Blei liegt dieser Wert bei 1 mg.

Nach neueren wissenschaftlichen Studien (z.B. YANG & SUN 2011, THOMAS et al. 2011) kann die Aufnahme großer Mengen an Bismut, besonders in Form von organischen Bi-Verbindungen, jedoch – stark individuenabhängig – zu Nierenversagen mit Verkümmern und Nekrose des Zellgewebes des Nierentubulus, Verfettung und Nekrose der Leber, Fehlfunktionen des Nervensystems, Enzephalopathie, Hautveränderungen und Pigmentstörungen der Zunge sowie des Darms führen. Erste Vergiftungserscheinungen sind übelriechender Atem und Schwarzfärbung der Zunge. Zumindest in Ratten wurden durch Bismut und Bismutverbindungen auch karzinogene Veränderungen und Chromosomaberrationen festgestellt. Akute Vergiftungen konnten durch Absetzen der Bismutmedikation jedoch alle schnell wieder rückgängig gemacht werden.

Generell gibt es zur Toxizität von Bismut bisher sehr wenige Studien, so dass man es derzeit zwar noch als relativ ungiftig einstufen kann, was sich aber, ähnlich Aluminium, durchaus noch ändern könnte.

### 3.4 Recycling

Bismut wird in Arzneimitteln und Pigmenten ausschließlich dissipativ eingesetzt, so dass es in diesen Einsatzbereichen nicht wirtschaftlich recycelt werden kann.

Über das Recycling von in Stählen als metallurgischer Zusatz und auch das in Industriekatalysatoren eingesetzten Bismuts ist nichts bekannt. Vermutlich ist aber die Recyclingquote auch in diesen Einsatzbereichen vernachlässigbar gering (WILLIS et al. 2012).

Anders verhält es sich bei Bismut aus der Produktion (Neuschrott) bzw. der Wiederverwertung ausgedienter (Altschrott) niedrigschmelzender Legierungen und Lote. Der USGS schätzt, dass in den USA jährlich rund 80 t Bismut aus Schrotten aus diesem Einsatzbereich zurückgewonnen werden und damit rund 9 % zur Bismutversorgung der USA beitragen. Nach Aussagen eines Marktteilnehmers (frdl. telef. Mitt.) ist in Deutschland der Rückfluss wesentlich geringer und besteht neben nicht benötigten Bismutbarren und Lotkrätze vor allem aus CERROTRU®-Legierungen.

Bismut in Neuschrott dürfte weltweit zu fast 100 % recycelt und durch etablierte Bismutproduzenten, z. B. 5N Plus Inc., zurückgewonnen werden.

Bismuthaltiger Altschrott fällt in Form von Teilen aus Bismutbronzen, Bismutmessing und durch die Substitution von Blei durch Bismut in Loten zunehmend auch in Form von Elektroschrott an. Wird aus dem Elektroschrott das kupferhaltige Material, z. B. Platinen, abgetrennt und dann nicht einer hochspezialisierten Kupfer- bzw. Recyclinghütte zugeführt, verunreinigt das in den Loten enthaltene Bismut in hohem Maße das Hauptwertmetall Kupfer. Nach KINDESJÖ (2002) betrug bereits vor über zehn Jahren der Durchschnittsgehalt an Bismut in Elektronikschrott 0,17 %.

Wie in Kap. 3.1 ausgeführt, lässt sich Kupfer bei Gehalten > 5 ppm nicht mehr ziehen, so dass Bismut bei der Kupferraffination unter allen Umständen abgetrennt werden muss. Bei der nicht absolut sortenreinen Abtrennung und Rückhaltung von Bismutbronzen und -messing bzw. dem nicht hochqualifizierten Recycling von kupferhaltigem Elektroschrott würde Bismut in viel zu hohen Mengen im Endprodukt Kupfer anfallen.

Zur Vermeidung dieses Problems fordert die europäische Kupferindustrie eine strikte Trennung des Recycling- und Giessereikreislaufs von bismuthaltigem Schrott und Spänen. Das Recycling von Bismut sei technisch und organisatorisch nicht wirtschaftlich, führe zu zusätzlichen Kosten und bedrohe die Kupferindustrie und deren Arbeitsplätze (ECI 2007).

Unbestreitbar ist, dass mit der zunehmenden Verwendung von Bismut statt Blei in Bronzen, Messing und Loten ein großes Problem auf die Kupferindustrie zukommt bzw. bereits besteht, was deren Einsatz von Recyclingmaterialien angeht. Einen anderen Weg ist die japanische (vgl. Anhang – Japan) und zwischenzeitlich auch ein Teil der chinesischen Industrie gegangen. Sie hat aus der Not eine Tugend gemacht und ihre Hütten in den letzten Jahren vollständig umgerüstet, um nicht nur wie früher Kupfer und Edelmetalle, sondern nun auch einen Großteil der Sondermetalle aus den anfallenden (Elektro-) Schrotten rückzugewinnen zu können.

### 3.5 Substitution

Eine „Substitution“ von Bismutmineralkonzentrationen ist leicht möglich, da schon heute ein Großteil des weltweiten Bismuts bei der Verhüttung von Blei-, Kupfer- oder anderen Minerallerzkonzentrationen beibrechend anfällt.

In den letzten Jahrzehnten hat der Einsatz von Bismut in Arzneimitteln bereits stark an Bedeutung verloren. Moderne, schneller wirkende Komponenten wie Al-Hydroxid und Mg-Hydroxid, aber auch Antibiotika haben Bismut in vielen Anwendungen verdrängt. In Röntgenuntersuchungen wird zunehmend Bariumsulfat eingesetzt und auch bei Magenbeschwerden stehen Konkurrenzprodukte, z. B. auf Attapulgitbasis oder Protonenpumpenhemmer, zur Verfügung.

Als Pigment hat Bismutoxichlorid bestimmte, früher eingesetzte Fischknochen vollständig ersetzt, könnte aber selbst durch mit TiO<sub>2</sub> überzogene Glimmer, die aber teurer zu produzieren sind, oder Bleikarbonat, das aber toxisch ist, substituiert werden. Statt Bismutgelb stehen zahlreiche weitere Gelbpigmente zur Verfügung, von denen aber viele gesundheitsschädlich sind.



In niedrigschmelzenden Legierungen kann Bismut durch teures Indium ersetzt werden. Statt Sprinklern auf Schmelzlotbasis stehen seit langem Sprinkler mit Glasampullen zur Verfügung, die eine Spezialflüssigkeit auf Glycerinbasis enthalten. Als Halterung zur weiteren präzisen Metallformbearbeitung dienen auch Kunstharze.

Zur Verbesserung der maschinellen Bearbeitbarkeit von Stählen oder Aluminiumlegierungen können auch Blei, Selen oder Tellur zugesetzt werden.

Viele Katalysatoren auf Bismutbasis lassen sich idealerweise durch den Einsatz von Zinn substituieren.

In Bismutbronzen und Bismutmessing könnte Bismut durch Zinn oder Antimon substituiert werden.

Zusammenfassend betrachtet ist Bismut in praktisch allen seinen Anwendungen – zumindest theoretisch und wenn auch mit Qualitätsverlusten – substituierbar. Eine starke Erhöhung des Bismutpreises führt daher stets automatisch zu einer Erhöhung der Substitutionsquote, die wiederum stets kurz- bis mittelfristig zur einer Reduzierung der Nachfrage und damit einem Preisrückgang führt. Langfristige Erhöhungen des weltweiten Bismutpreises, nur ausgehend von einer erhöhten Nachfrage, sind daher mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen.

### 3.6 Chemische Anforderungen an Raffinadebismut

Elektrolytisch raffiniertes Bismut wird heute meist in Qualitäten von > 99,99 % Bi (4N), > 99,995 % Bi (4N5), > 99,997 % Bi (4N7) und > 99,999 % Bi (5N) angeboten. Aber auch andere Qualitäten (3N, 4N3, 6N) sind im Handel.

In China, dem wichtigsten Produktionsland, regelt die Norm GB/T 915-2000 die Anforderungen an Raffinadebismut. Dieses darf @ > 99,99 % Bi jeweils max. 10 ppm Pb, 40 ppm Ag, 10 ppm Cu, 10 ppm Fe, 3 ppm As, 5 ppm Sb, 5 ppm Zn, 3 ppm Te und 15 ppm Cl enthalten. Ähnliche Anforderungen existieren auch für viele wirtschaftlich wichtige Bismut-Verbindungen.

### 3.7 Anforderungen an Bismutlagerstätten

Da Bismut weltweit vor allem bei der Verhüttung von Kupfer-, Blei- und polymetallischen Erzkonzentraten als Beiprodukt und nicht aus eigenständigen Bismutlagerstätten ausgebracht wird und diese auch relativ selten sind, existieren für sie keine definierten Anforderungen. Ausnahmen hiervon sind vermutlich China – entsprechende Daten konnten jedoch in der Literatur leider nicht gefunden werden – und Russland.

Nach PETROW et al. (2008) bzw. ANONYM (2010) sind russische Bismutlagerstätten als klein zu bewerten, wenn diese < 1.000 t Bismutinhalt besitzen, als mittelgroß, wenn sie 1.000 – 4.000 t Bismutinhalt besitzen, als groß, wenn sie 4.000 – 10.000 t Bismutinhalt besitzen und als sehr groß, wenn sie > 10.000 t Bismutinhalt besitzen. Abbauwürdig sind Lagerstätten > 500 t Bismutinhalt, jedoch auch schon > 200 t Bismutinhalt, wenn der Bismutgehalt hoch (> 0,3 %) und die „geographischen und ökonomischen Bedingungen“ vorteilhaft sind.

Die Primärerzlagerstätte mit dem höchsten bekannten Bismutinhalt ist Shizhuyuan in China mit ursprünglich 265.800 t Bismutinhalt (s. Anhang – China).

Literatur- bzw. Firmenangaben zu Mindestgehalten an Bismut in eigenständigen Bismutlagerstätten liegen nicht vor. Äquivalent zu

Tantal sind Lagerstätten mit Bismut als Hauptwertmetall in westlichen Ländern jedoch nur dann abbauwürdig, wenn der Bismutgehalt > 200 ppm (> 0,02 %) beträgt. In polymetallischen Lagerstätten, aus denen Bismut als untergeordnetes Beiprodukt ausgebracht werden soll, liegt der entsprechende Gehalt bei > 100 ppm (> 0,01 %). Der Primärerzlagerstätte mit dem höchsten bekannten durchschnittlichen Bismutgehalt ist Tasna in Bolivien mit 1,47 % Bi (s. Anhang – Bolivien).

In Blei- und Kupfererzkonzentraten, aus denen Bismut nicht nur aus Reinheitsgründen des Kupfers oder Bleis, d. h. zwangsweise ausgebracht werden soll, sollte der Bismutgehalt > 100 ppm, besser > 200 ppm betragen.

Eine Aufstellung der weltweit bedeutendsten Bismutlagerstätten (> 5.000 t Bismutinhalt) findet sich in Tabelle 2. Aufgenommen sind dort allerdings nur diejenigen Einzellagerstätten, zu denen die Tonnagen publiziert sind – was bei fast allen chinesischen Lagerstätten nicht der Fall ist – und die nicht als bereits größtenteils abgebaut gelten (z. B. Tennant Creek in Australien).

Weitere größere Vorkommen bzw. Lagerstätten existieren

- submarin, z. B. in Mn-Knollen (@ durchschnittlich 8,8 ppm Bi) der pazifischen Clarion-Clipperton Zone (ca. 180.000 t Bi-Inhalt),
- in Form der Kupfererzlagerstätten Sambias (z. B. ca. 110.000 t Bi-Inhalt in den Erzen @ 360 ppm Bi) der Chambishi Copper Smelter Company Ltd.).

**Tabelle 2: Liste der Lagerstätten mit den weltweit größten (verbliebenen) Bismutgehalten.**

Land	Name	Wertmetalle	Bi-Inhalt (t)	Bi-Gehalt (%)
China	Shizhuyuan	W-Bi-Mo-(Pb-Zn)	265.800 <sup>1)</sup>	0,059
Kasachstan	Verkhnee-Kayprakty	W-Mo-(Bi)	204.000	0,024
Vietnam	Nui Phao	W-CaF <sub>2</sub> -Bi-Cu-Au	52.540 <sup>2)</sup>	0,10
Peru	Antamina	Cu-Zn-Pb-Ag-Mo-(Bi)	47.100 <sup>2)</sup>	0,007
Kanada	NICO	Au-Cu-Co-Bi	46.300 <sup>2)</sup>	0,14
Russische Föderation	Zhelezny Kryazh	Au-Bi	> 30.000	0,21
Russische Föderation	Karakulskoye	Co-Cu-Bi-W-Ag	17.560	0,077
Australien	Rover 1	Au-Ag-Cu-Bi-Co	9.520	0,14
Kanada	Fire Tower Zone/ Mount Pleasant	W-Mo-(As-Bi)	8.430	0,06
Australien	Jervois	Cu-Ag-Au-(Bi)	8.100	0,06
Russische Föderation	Odinokoe	Sn-W-Bi	6.800	n.v.
Australien	Magnum	Cu-Au-Ag-Bi	6.400	0,020
Australien	Juno/Tennant Creek	Au- Cu-Bi-Ag	6.200–7.900	0,60
Bolivien	Tasna	Bi-W-(Au-Cu-Sn-Ag)	5.900–7.300	1,47
Australien	Bamford Hill	W-Mo-Bi	5.780	0,027
Republik Korea	Sangdong	W-Mo-(Au-Bi)	3.900–22.600	0,026–0,15

<sup>1)</sup> ursprünglicher Bi-Inhalt, <sup>2)</sup> Reserven, n. v. = nicht verfügbar

## 4 Nachfrage

Die weltweite Nachfrage nach Bismut wird von keiner Regierungsorganisation und seit Schließung des Bismuth Institute in Belgien im Jahr 2002 auch von keiner Lobbyorganisation mehr erfasst. Über relativ genaue Zahlen zur weltweiten Bismutnachfrage verfügt deshalb allein die kanadische 5N Plus Inc. – der weltgrößte Produzent und Anbieter von Bismut und Bismutprodukten außerhalb Chinas. Diese Daten sind und werden jedoch nicht publiziert.

Nach 5N Plus beläuft sich die derzeitige weltweite Nachfrage – ohne den „Bedarf“ der FYME (s. Kap. 5.6.2) – auf ca. 10.000 – 12.000 t Bismut. Der ehemalige Maximalbedarf lag bei 14.000 t Bismut (M. Vassart, frdl. mdl. Mitt. 2015). Die jährliche Wachstumsrate des Bedarfs beträgt nach 5N Plus 3 – 4 %, vorwiegend ausgehend von der weltweiten Substitution von Blei durch Bismut in zahlreichen Produkten.

Historische Berechnungen – bis 1988 – des Weltverbrauchs an Bismut finden sich in ROSKILL (1990).

Nationale Daten zu den anteiligen Verbräuchen an Bismut werden

- für Kanada (sehr gering und im Weltmaßstab unbedeutend) von National Resources Canada,
- für die USA vom US Geological Survey (s. Abb. 9),
- für Japan von der Japan Mining Industry Association, zitiert in der Zeitschriftenreihe Rare Metal News, diese wiederum zitiert in der Zeitschriftenreihe Roskill's Letters from Japan (s. Abb. 10) und
- für China von Asian Metal Ltd. (nur 2007 und 2008, danach Schätzungen) (s. Abb. 11)

erhoben bzw. publiziert.

Eine Erhebung des anteiligen Verbrauchs von Bismut nach Einsatzfeldern in Deutschland erfolgte zudem erstmals im Rahmen dieser Studie (s. Kapitel 8).

Auch in GIA (2006) sind für den Zeitraum 1991 – 2003 sehr genaue Verbrauchszahlen von Bismut für die gesamte Welt, USA, Kanada, Japan, Europa, Frankreich, Deutschland, Italien, Großbritannien, Spanien, Russland, Australasien, den Mittleren Osten und Lateinamerika zu finden. Da die Daten zu Japan, USA und auch Deutschland nachweislich zu den nationalen Erhebungen, s. o., jedoch überhaupt nicht passen, wird hier auf eine Wiedergabe und Diskussion verzichtet.

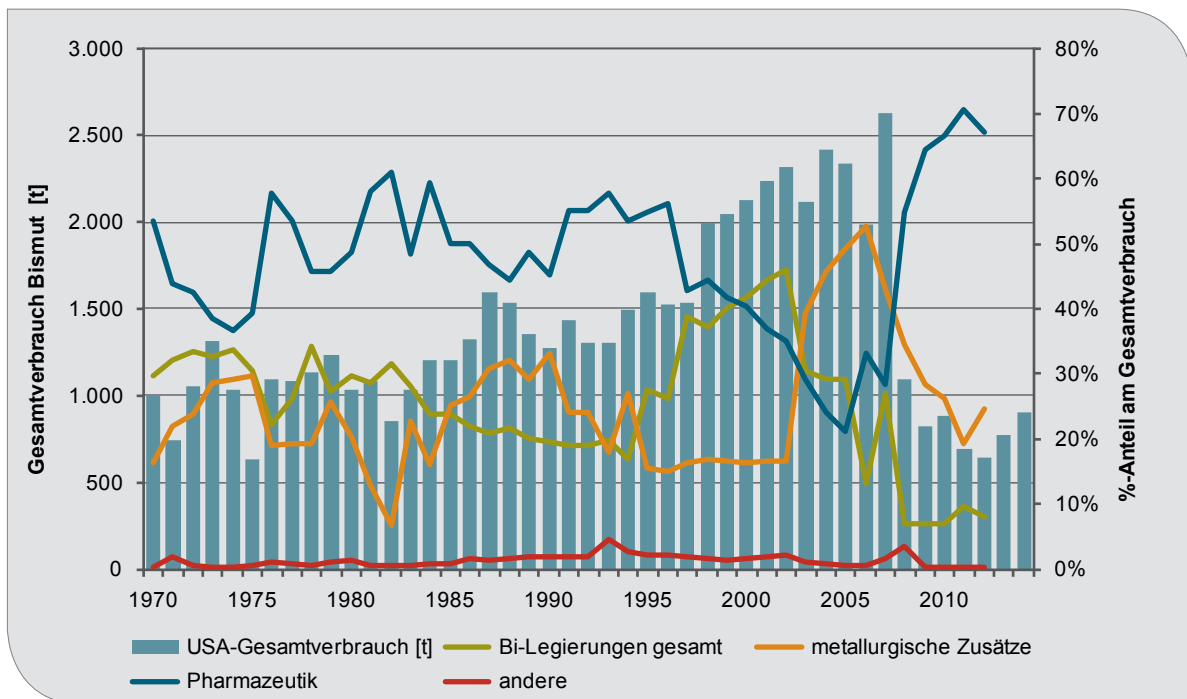
Nach einer Aussage von Mark Fickling, langjähriger Direktor der britischen Mining and Chemical Products Ltd. (MCP) (s. Anhang – Großbritannien) verteilte sich die weltweite Nachfrage nach Bismut im Jahr 2000 (ANONYM 2000) gleichmäßig mit jeweils 10 – 15 % Marktanteil auf die Anwendungsbereiche

- Arzneimittel
- Kosmetik
- Pigmente
- niedrigschmelzende Legierungen
- Maschinenbearbeitbarkeit von Stahl und Aluminium
- Industriekatalysatoren
- Elektronik und
- Munition

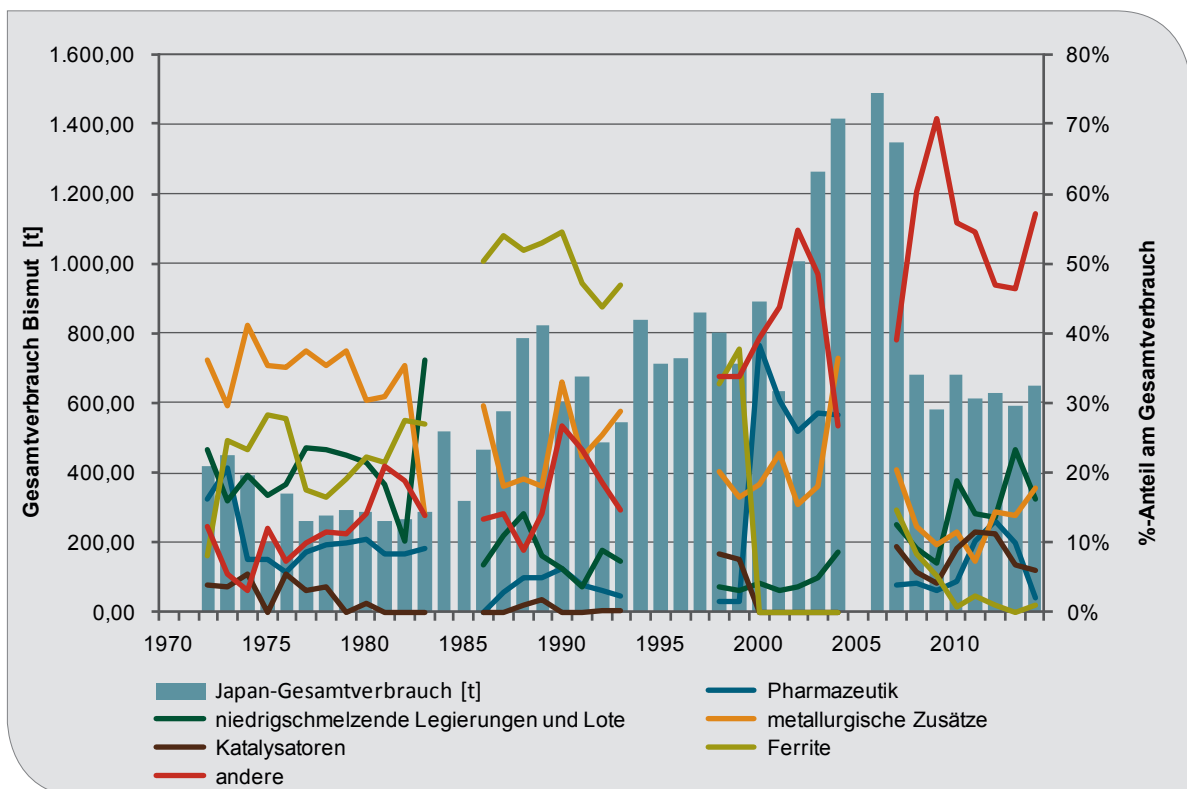
Sollte diese Verteilung für das Jahr 2000 zugetroffen haben, so hat sie sich seitdem entweder deutlich geändert, und/oder, was ebenso wahrscheinlich ist, sie ist je nach Land völlig unterschiedlich (vgl. Abb. 11).

Eine aufgrund unterschiedlicher Subsummierungen leider nicht vollständig vergleichbare Gegenüberstellung des anteiligen Verbrauchs von Bismut in den Hauptverbraucherländern USA, Japan und China im Jahr 2012 zeigt Abb. 11. Erkennbar ist, dass in Japan (Gesamtverbrauch: 628 t) für Bismut unzählige Einsatzbereiche existieren mussten (und müssen). Nur in Japan werden Ferrite (Elektrokeramik) als eigenständiges Einsatzfeld für Bismut ausgewiesen; ihr Verbrauchsanteil ist aber in den letzten Jahren sehr stark zurückgegangen, da sich die Elektronikindustrie nach China (und Südkorea) verlagert hat. Der anteilige Verbrauch von Bismut für niedrigschmelzende Legierungen und auch für Arzneimittel in Japan ist dagegen seither weiter gestiegen.

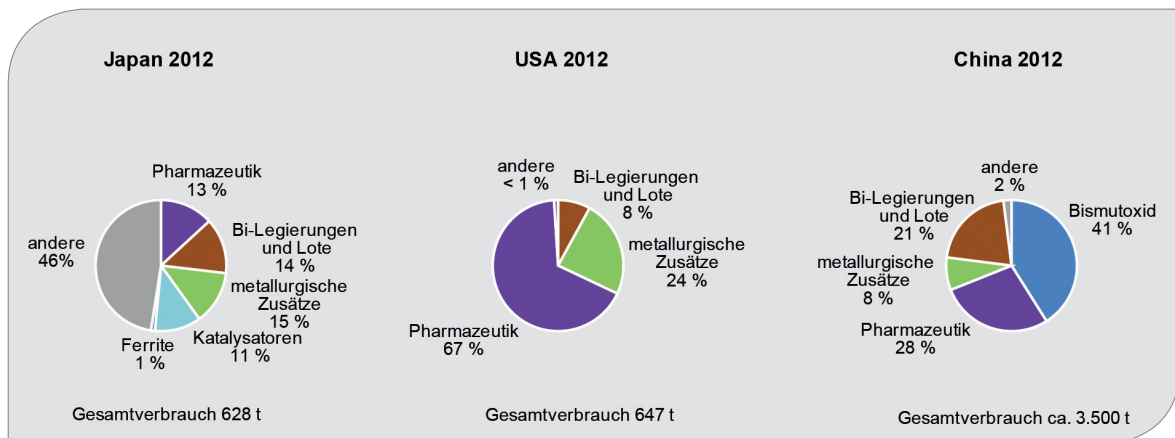




**Abbildung 9: Absoluter und anteiliger sichtbarer Verbrauch von Bismut in den USA seit 1970. Deutlich erkennbar ist der Einbruch und die Veränderung im Bismutverbrauch aufgrund der Weltwirtschaftskrise 2008/2009 (Quellen: USBM/USGS Minerals Yearbooks).**



**Abbildung 10: Absoluter und anteiliger sichtbarer Verbrauch von Bismut in Japan seit 1972. Deutlich erkennbar ist der Einbruch im Bismutverbrauch zu Beginn der Weltwirtschaftskrise 2008 (Quelle: Roskill's Letter from Japan).**



**Abbildung 11: Vergleich des anteiligen Verbrauchs von Bismut in den USA (Quelle: US Geological Survey), Japan (Quelle: Roskill's Letter from Japan) und China (Quelle: China Nonferrous Metal Industry Association) im Jahr 2012**

In China wurden im Jahr 1992 rund 700 t (FICKLING 1994) und im Jahr 2012 vermutlich rund 3.500 t Bismut im Land verbraucht (s. Anhang – China). Offensichtlich gelangten davon große Mengen in die Arzneimittelproduktion. Der ausgewiesene Anteil an Bismutoxid steht für die Weiterverarbeitung zu komplexen Bismutverbindungen in zahlreichen, im Detail unbekanntem Einsatzbereichen. Diese liegen nach Asian Metal Ltd. vornehmlich in der Elektronikindustrie, was jedoch keineswegs stimmen muss, da auch die chinesische Industrie inzwischen stark diversifiziert ist.

Die USA hatte sich 2012 immer noch nicht von der Weltwirtschaftskrise 2008/2009 erholt. Noch 2007 gelangten 1.839 t (70 %) des im Land verbrauchten Bismut in die Einsatzbereiche niedrigschmelzende Legierungen/Lote und metallurgische Zusätze. Im Jahr 2012 waren dies nur noch 210 t (32 %), während die pharmazeutische Industrie bei praktisch gleichbleibendem absoluten Bedarf die mehrheitlichen  $\frac{2}{3}$  des verbrauchten Bismuts abnahm.

Hingewiesen werden muss, dass die Nettoimporte der USA im Jahr 2012 an Bismut und Waren daraus sowie Abfällen und Schrott aus Bismut bei 831 t lagen und 2014 auf 1.450 t gestiegen sind (siehe Kap. 8.2).

Den Ausführungen in Kapitel 8 vorgehend, wurden in Deutschland im Jahr 2012 rund 770 t Bismut und Bismutprodukte verbraucht. Hiervon gelangte der weit überwiegende Anteil in die Pigmentproduktion.

Da belastbare Daten zur historischen und auch gegenwärtigen Nachfrage nach Bismut fehlen und das Metall unzählige, sich völlig unterschiedlich entwickelnde Verwendungszwecke hat, sind im Gegensatz zu den meisten anderen mineralischen und auch energetischen Rohstoffen, ähnlich aber zu anderen Sondermetallen, sinnvolle Vorhersagen zur zukünftigen Nachfrage nach Bismut nicht möglich.

## 5 Angebot

Über viele Jahrzehnte galt für Bismut, ähnlich wie für praktisch alle anderen Sondermetalle: Bismut ist weit vorwiegend ein Beiprodukt bei der weltweiten Kupfer- und Bleierzverarbeitung und seine Produktionsmenge hängt nur untergeordnet von dem Verbrauchsverhalten ab. Höchstens noch kann eine sich über lange Zeit erhöhende Nachfrage zu höheren Bismutpreisen führen, die es für Hütten interessanter macht, neben ihren Hauptwertmetallen (d. h. Kupfer oder Blei) auch Bismut auszubringen. Eine plötzlich steigende Nachfrage kann dagegen nicht befriedigt werden, da die Bismutproduzenten Probleme haben, ihre Bismutproduktion kurzfristig hochzufahren. Umgekehrt ist es schwierig die Bismutproduktion schnell zu drosseln, wenn die Nachfrage einbricht.

Unterstützt wurde diese bisher uneingeschränkt geltende Lehrbuchaussage von der Tatsache, dass es nur wenige Primärlagerstätten gibt, in denen Bismut als Hauptwertmetall bzw. zumindest als eines der Hauptwertmetalle enthalten ist. Oft zitierte Beispiele sind die Bi-(W-Sn-Au-Ag-Cu-) Lagerstätte Tasna in Bolivien und die Bi-W-(Mo-Cu-Pb-Zn-) Lagerstätte Shizhuyuan in China, untergeordnet auch die Au-Cu-Bi-(Ag) Lagerstätte Tennant Creek in Australien (vgl. Anhang).

Dass diese Lehrbuchmeinung aber nicht mehr ganz stimmt, haben die Vorgänge um die Fanya Metal Exchange (FYME) in China gezeigt (s. Kap. 5.6.2). Aufgrund der durch die FYME künstlich geschaffenen Nachfrage erhöhten in den Jahren 2013/14 einige der chinesischen Produzenten ihre Bi-Raffinadekapazität und -Produktion deutlich. Kurzfristig wurden durch die Aktivitäten der FYME aber nur riesige Vorräte an

Bismut und anderen Sondermetallen geschaffen bzw. in die Lager der FYME transferiert, die langfristig vermarktet werden müssen und dann zu drastischen Preissenkungen führen werden. Nach November 2014 sanken die seit Frühjahr 2013 künstlich gestiegenen Preise für Bismut deutlich, da gar keine wesentliche industrielle Nachfrage nach diesen und anderen Metallen vorliegt.

### 5.1 Bergwerksförderung

Eine Aufbereitung von bismuthaltigen Erzen zu eigenständigen Bismutmineralkonzentraten findet gegenwärtig, soweit bekannt, nur noch in Bolivien, China und Tadschikistan statt. In Australien werden zudem geringe Mengen bismuthaltiger Goldkonzentrate produziert. Die aus Kanada gemeldete Bergwerksförderung von Bismut entspricht dagegen nicht dem Bismutinhalt eigenständiger Bismutmineralkonzentrate sondern dem theoretischen Bismutinhalt in Kanada geförderter Blei-Zinkerze.

China dominiert die Weltbergwerksförderung mit sehr weitem Abstand (s. Tab. 3), wobei die Höhe der Bergwerksförderung in diesem Land sehr genau bekannt ist. Mit Abstand größter Produzent von Bismutkonzentraten in China ist die staatliche Hunan Shizhuyuan Non-Ferrous Metals Co., Ltd., die im Jahr 2010 aus ihrer Shizhuyuan Polymetallagerstätte Mineralkonzentrate mit 1.316 t Bi-Inhalt ausbrachte (s. Anhang – China).

Insgesamt liegt der Anteil der Weltbergwerksförderung an Bismut zur Weltraffinadeproduktion von Bismut bei < 10 %. Es sind jedoch mehrere Bismutprojekte in Planung (vgl. Kap. 5.4), die diesen geringen Anteil deutlich erhöhen könnten.

**Tabelle 3: Weltbergwerksförderung von Bismuterzen (in t Bi-Inhalt).**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Bolivien	147	28	54	87	41	8	n. v.
China	1.363	1.453	1.688	1.589	1.544	n. v.	n. v.
Tadschikistan <sup>1)</sup>	5	5	5	5	5	5	5
<b>WELT</b>	<b>1.515</b>	<b>1.486</b>	<b>1.747</b>	<b>1.681</b>	<b>1.590</b>	<b>n. v.</b>	<b>n. v.</b>

<sup>1)</sup> Annahme, n.v. = zum Redaktionsschluss der Studie noch nicht verfügbar

## 5.2 Raffinadeproduktion

Bismut wird gegenwärtig, soweit bekannt, nur noch in neun Ländern (durch derzeit mindestens 25 Produzenten) erschmolzen. Diese Länder in der Reihenfolge ihrer Bedeutung sind China (mind. 13 Produzenten), Belgien (ein Produzent), Mexiko (ein Produzent), Peru (ein Produzent), Japan (vier

aktive von sechs Produzenten), Republik Korea (ein Produzent), Kasachstan (zwei Produzenten), Bolivien (ein Produzent) und Usbekistan (ein Produzent).

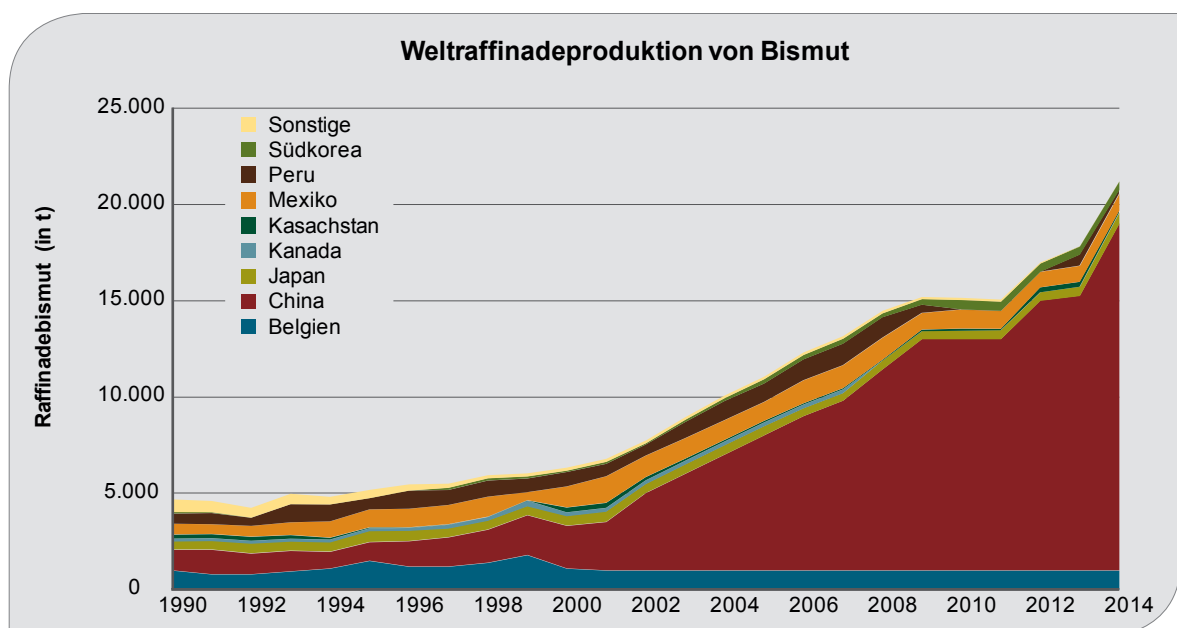
Seit dem Jahr 1990 hat sich die Angebotssituation von Raffinadebismut damit deutlich verschlechtert. Damals waren mit Deutschland (bis 1990?),

**Tabelle 4: Weltraffinadeproduktion von Bismut (in t Bi-Inhalt).**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Belgien <sup>1)</sup>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Bolivien	92	73	0	31	0	20	55
Bulgarien	3	0	2	4	0	0	0
China	10.424	12.000	12.000	12.000	14.000	14.250	18.000 <sup>4)</sup>
Großbritannien <sup>1)</sup>	100	100	100	100	50	0	0
Japan	473	424	448	476	446	485	582
Kasachstan <sup>2)</sup>	40	81	109	68	253	253	101
Mexiko	1.133	854	982	924	799	825	864
Peru <sup>3)</sup>	1.061	423	0	0	0	574	201
Rumänien <sup>1)</sup>	20	0	0	0	0	0	0
Russ. Föderation <sup>1)</sup>	5	5	5	2	2	1	1
Republik Korea	210	300	498	480	437	432	n. v.
Usbekistan <sup>1)</sup>	10	10	10	10	10	10	10
<b>WELT</b>	<b>14.571</b>	<b>15.270</b>	<b>15.154</b>	<b>15.095</b>	<b>16.997</b>	<b>17.850</b>	<b>~21.250</b>

<sup>1)</sup> Annahme, <sup>2)</sup> Exporte, <sup>3)</sup> für 2013 und 2014 Exporte, <sup>4)</sup> Annahme, s. Anhang – China,

n.v. = zum Redaktionsschluss der Studie noch nicht verfügbar



**Abbildung 12: Entwicklung der Weltraffinadeproduktion von Bismut seit 1990.**

Spanien (bis 1991), Frankreich (bis 1992), USA (bis 1997), Kanada (bis 2007), Rumänien (bis 2008), Bulgarien (bis 2011), Großbritannien (bis 2012) sowie Russland bzw. Russische Föderation (bis 2013) neun weitere Länder in der Produktion von Raffinadebismut tätig. Im Kosovo war schon zuvor, 1989, die Bismutproduktion eingestellt worden. In Italien werden seit vielen Jahren vermutlich auch nur noch Vorprodukte der Bismutraffination hergestellt.

In umgekehrter Weise hat sich der Anteil Chinas an der Weltraffinadebismutproduktion erhöht (vgl. Abb. 11). Dieser lag vermutlich – soweit aus den verfügbaren Daten rekonstruierbar – im Jahr 1970 bei 3,9 %, 1980 bei 5,4 %, 1990 bei 22,1 %, 2000 bei 34,7 %, 2010 bei 79,2 % und im Jahr 2014 bei 84,6 %.

Zwischen 2009 und 2011 war die weltweite Raffinadeproduktion von Bismut mit rund 15.000 tpa relativ stabil, doch stieg sie ab 2012, in 2014

durch die Aktivitäten der Fanya Metal Exchange (vgl. Kap. 5.6.2. und Anhang – China), deutlich an. Einen Überblick über die Entwicklung der letzten Jahre geben Tabelle 5 und Abbildung 12.

### 5.2.1 Entwicklung der Raffinadekapazitäten

Die weltweiten Produktionskapazitäten von Raffinadebismut zum 31.12.1989 (in t) wurden im USGS Minerals Yearbook (1989) publiziert und sind – um fehlende Angaben ergänzt und korrigiert – in Tabelle 5 den vermuteten derzeitigen Raffinadekapazitäten (s. Anhang) gegenübergestellt. Leicht erkennbar ist, dass in den 15 dazwischen liegenden Jahren sich teils große Änderungen ergeben haben

Die Raffinadekapazität in China hat sich seit 1989 mindestens verachtzehnfacht, womit China mit Abstand führend und uneinholbar den Welt-

**Tabelle 5: Vergleich der weltweiten Raffinadekapazitäten von Bismut Ende 1989 und 2014.**

Land	Kapazität	
	1989	2014
Belgien	1.100	2.000
Bolivien	550 (300 <sup>1)</sup> )	1.400
Bulgarien	0 <sup>2)</sup>	0
China	1.000	> 18.440
Deutschland	700 (400 <sup>1)</sup> )	0
Frankreich	150	0
Großbritannien	400	0
Italien	100	0
Japan	1.200	1.080
Kanada	300	0
Kasachstan	k. A.	370
Republik Korea	250	500
Kosovo (Jugoslawien)	150	0
Mexiko	1.000	1.440
Peru	800	1.200
Rumänien	100	0
Russische Föderation (UdSSR)	100	0
Spanien	n. b.	0
USA	500	0
Usbekistan	k. A.	15?
<b>Welt – gesamt</b>	<b>8.400</b>	<b>&gt; 26.400</b>

<sup>1)</sup> damalige (falsche) - Annahme des USGS, <sup>2)</sup> Beginn der Raffinadeproduktion erst 1990, k. A. = keine Angaben, n. b. = nicht bekannt



bismutmarkt dominiert. Die Ereignisse um die Fanya Metal Exchange (FYME) in den Jahren 2013 und 2014 haben zudem gezeigt, dass eine noch stärkere Ausweitung der Bismutraffinadekapazitäten in China leicht und jederzeit möglich ist. Sie wurde auch bereits angekündigt (s. Anhang – China), wird aber aufgrund des starken Preisverfalls seit Ende 2014 für viele durch die FYME eingelagerte Sondermetalle nun wohl aber erst mal nicht umgesetzt werden.

Die zweithöchsten Raffinadekapazitäten bestehen in Belgien, von wo aus die Firma 5N Plus Inc. den europäischen Absatzmarkt versorgt. Die dortigen Raffinadekapazitäten werden jedoch nicht ausgeschöpft. Die Versorgung der Raffinerie und damit auch der chemischen Anlagen von 5N Plus in Tilly sind auch dadurch langfristig gesichert, dass die Firma einen Vertrag zur Abnahme der Bismutmineralkonzentrate aus dem vietnamesischen

Nui Phao Projekt abgeschlossen hat (vgl. Kap. 5.4 und Anhang – Vietnam).

Mit fast gleichen Produktionskapazitäten folgen Mexiko und Bolivien, wobei auch diese beiden Länder ihre Produktionskapazitäten in den letzten 15 Jahren deutlich erhöht haben. Während aber die Bismutproduktion mit der Bismutkapazität in Bolivien aufgrund mannigfacher lokaler Probleme nicht im Entferntesten übereinstimmt (vgl. Anhang – Bolivien), hat sich Mexiko zu einem zuverlässigen Produzenten von Raffinadebismut hoher Qualität entwickelt. Dieses wird jedoch fast ausschließlich von der Firma 5N Plus erworben und verarbeitet, so dass es auf dem Weltmarkt für etwaige andere Interessenten nicht zur Verfügung steht.

Die Bismutraffinadekapazität Japans hat sich in den letzten 15 Jahren kaum verändert, doch



**Abbildung 13:** Raffinadebismut zur Weiterverarbeitung in der Hütte von 5N Plus in Tilly, Belgien, Foto: BGR.

produzieren nur noch vier von ehemals doppelt so vielen Unternehmen und dies fast ausschließlich für den heimischen Markt. Zudem stammt das Bismut nicht mehr aus eigenen Blei-Zink-Bergwerken sondern aus Buntmetallkonzentraten aus aller Welt und dem Recycling von Elektronikschrotten.

In den letzten Jahren verdoppelt hat sich die Raffinadebismutkapazität Südkoreas, wobei der alleinige Produzent, Korea Zinc, eine weitere Kapazitätserhöhung für Blei und damit auch für das beibrechende Bismut angekündigt hat. Auch aus Südkorea wird ein Großteil des produzierten Bismuts nach Belgien zur Firma 5N Plus exportiert.

Vermutlich relativ unverändert blieben die Raffinadekapazitäten für Bismut in Bulgarien, Kasachstan und Usbekistan, wobei diese Länder auch in ihrer Summe keinen großen Anteil an der Weltraffinadeproduktion besitzen.

In Deutschland, Spanien, Frankreich, USA, der Russischen Föderation, Kanada, Kosovo, Großbritannien, Rumänien und vermutlich auch in Italien wird im Vergleich zu 1989 kein Bismut mehr produziert.

### 5.3 Zwischenprodukte

Neben Ländern bzw. Firmen, die Raffinadebismut produzieren, gibt es auch zunehmend Länder, in denen auch oder ausschließlich Bi-Zwischenprodukte, größtenteils für eine andernortige Bismutraffination hergestellt werden.

Blei-Bismut-Legierungen sind typische Zwischenprodukte aus dem Betterton-Kroll Prozess der Bleierzverhüttung (vgl. Kap. 3.1) mit 4 – > 20 %, im Mittel 10 % Bi. Sie fallen derzeit in Blei-, aber auch Zinnhütten und Goldraffinerien folgender Länder an (vgl. Anhang – Länderprofile):

- Argentinien, in geringen Mengen in der Bleihütte Palpala der Glencore plc.
- Belgien, in der Elektronikschrottreyclinghütte Hoboken der Umicore SA
- Bolivien, in geringen Mengen in den beiden Zinnhütten des Landes

- Bulgarien, in relativ großen Mengen in der Blei-Zink-Hütte Plovdiv der KCM SA
- China, vermutlich in großen Mengen in zahlreichen unterschiedlichen Metallhütten
- Deutschland, in großen Mengen in der Kupferhütte der Aurubis AG, der Bleihütte Nordenham der Recyclex Deutschland GmbH und den Bleihütten der Berzelius Metall GmbH
- Indien, vermutlich in relativ großen Mengen in der Blei-Zink-Hütte Chanderyia und der Zink-Bleihütte der Vedanta Ltd.
- Italien, vermutlich in geringen Mengen in der Bleihütte San Gavino der Glencore plc.
- Kanada, seit 2007 in relativ großen Mengen in der Blei-Zink-Hütte Trail der Teck Resources Ltd. und bis 2013 in der Blei-Hütte Belledune der Glencore plc.
- Kasachstan, in vermutlich relativ großen Mengen bei der Gold-, weniger der Blei-raffination durch die Kazzinc Ltd., einer Mehrheitsbeteiligung der Glencore plc.
- Russische Föderation, in unbekanntenen Mengen in verschiedenen, noch produzierenden Bleihütten

Bismuthaltige Filterstäube sind ein werthaltiges Beiprodukt der Rönnskär Kupfer-Blei-Elektronikschrott-Hütte der Boliden AB, Schweden.

Niedrigschmelzende Legierungen auf Bi-Pb-Sn-In-Cd-Basis werden in der Bleihütte Lachine der Glencore plc in Kanada produziert.

Die ASARCO LLC gewinnt in ihrer Kupferraffinerie in Amarillo, TX, Bismutselenid ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ).

Die schweizerische Nyrstar N.V. vermarktet die in ihrer südaustralischen Blei-Zink-Hütte Port Pirie produzierte „Bismut-Kruste“, ein Zwischenprodukt aus dem Betterton-Kroll Prozess mit ca. 55 % Bi, 25 % Pb und Restmengen von Ca, Mg und deren Oxiden (vgl. Anhang – Australien).

Bi-Oxichlorid, ein Grundstoff für viele andere Bismutsalze, ist eines der Produkte der Kupferhütte Chambishi in Sambia, die der China Non-ferrous Metal Mining (Group) Corporation Ltd. (CNMC) gehört.

Bi-Bisulfat wird in der indischen Tuticorin Kupferhütte und möglicherweise auch der Silvassa Kupferhütte der Vedanta Ltd. gewonnen.

Ähnlich wie auch bei Bismutkonzentraten und Raffinadebismut sind zu den o. g. Zwischenprodukten nur wenige Produktionsdaten publiziert und eine genaue Berechnung des Bismutgehalts der hergestellten Produkte ist in keinem Fall möglich.

## 5.4 Projekte

Außerhalb Chinas, zu dem keine diesbezüglichen Informationen vorliegen, sind in mehreren Ländern (z. B. Australien, Brasilien, Kanada, Russische Föderation, Vietnam) Bergbauprojekte geplant bzw. bereits in Umsetzung, in denen eigenständige Bismutmineralkonzentrate beibehaltend ausgebracht werden könnten bzw. ausgebracht werden sollen. Hintergrundinformationen zu diesen Projekten sind dem Anhang – Länderprofile zu entnehmen.

Zur besseren und vergleichenden Übersicht der wichtigsten dieser Bergbauprojekte sei auf Tabelle 6 verwiesen. Von den dort aufgelisteten zehn Projekten werden aber wahrscheinlich nur die ersten vier bis zum Jahr 2020 in Produktion gehen. Zusätzlich ist nur Bamford Hill im Besitz einer größeren und finanzkräftigen Firma, die die dortige Exploration – wenn auch vor allem auf Wolfram – vorantreibt.

Das **vietnamesische Projekt Nui Phao** von Masan Resources besteht aus einem im Jahr 2010 eröffneten Tagebau, im Laufe des Jahres 2014 in Betrieb genommenen Aufbereitungsanlagen und zahlreichen, derzeit errichteten Bergwerksanlagen. Wann die Aufbereitung ihre volle Produktionshöhe erreichen wird, ist nicht bekannt. Jährlich sollen danach im Mittel 2.300 t Bismutmineralkonzentrate produziert werden, deren Abnahme sich 5N Plus vertraglich gesichert hat. 5N Plus hat in Q4 2014 begonnen, die vietnamesischen Bismutmineralkonzentrate in ihrem

Werk in Laos zu verhütten (M. Vassart, frdl. mdl. Mitt. 2015).

Über das **russische Projekt Zhelezny Kryazh** der privaten Firma Siberian Goldfields Ltd. ist nur sehr wenig bekannt. Die Firma gibt an, in der 2. Hälfte 2015 mit der Goldproduktion aus dieser unweit der Grenze zu China gelegenen Lagerstätte zu beginnen. Ob dann, wie ursprünglich angedacht, auch Bismutmineralkonzentrate ausgebracht werden, wird die Zukunft zeigen. Sollte dies geschehen, sind ein Export nach China und eine dortige Weiterverarbeitung sehr wahrscheinlich.

Fortune Minerals Ltd. ist Lizenzinhaber des **kanadischen Projekts NICO**. Die Firma plant derzeit, in 2017 mit dem Abbau ihrer Lagerstätte in den Northwest Territories zu beginnen und in Abhängigkeit noch zu definierender Kundenwünsche in einer noch zu errichtenden Hütte, 27 km nordwestlich Saskatoon, neben Gold, Kupfer und Kobaltprodukten auch Raffinadebismut und verschiedene Bismutprodukte zu erzeugen.

Metals X Ltd. ist eine mittelgroße Bergbau-firma, die in Australien sehr erfolgreich in der Gewinnung von Zinn- und Golderzen tätig ist und weitere Zinn-, Gold- und Nickel-Kobalt-Projekte verfolgt. Zu den Goldprojekten gehört das **zentralaustralische Projekt Rover**, das in südwestlicher Fortsetzung der einstmals weltgrößten bismutfördernden Au-Bi-Cu-Lagerstätte Tennant Creek liegt. Metals X ist dabei Rover untertätig genauer zu explorieren, danach mit der Förderung zu beginnen und will das separat aufbereitete Bismutmineralkonzentrat dann entweder nach China oder nach Belgien (5N Plus) verkaufen (frdl. mdl. Mitt.).



Tabelle 6: Vergleichende Auflistung relevanter Bismutprojekte.

Land	Name	Lizenzinhaber	Wertmetalle	Bi-Inhalt	Bi-Gehalt	Bi-Produkte	Gepplanter Produktionsbeginn
Vietnam	Nui Phao	Masan Resources	W, CaF <sub>2</sub> , Bi, Cu, Au	52.540 t <sup>1)</sup> 58.500 t <sup>2)</sup>	0,10 % <sup>1)</sup> 0,09 % <sup>2)</sup>	i.M. 2.300 tpa Bismutmineralkonzentrat (5N Plus)	2014
Russische Föderation	Zhelezny Kryazh	Siberian Goldfields	Au, Bi	ca. 30.000 t	0,21 % <sup>3)</sup> 0,389 % <sup>4)</sup>	Bismutmineralkonzentrat	2015
Kanada	NICO	Fortune Minerals	Au, Cu, Bi, Co	46.300 t <sup>1)</sup>	0,14 % <sup>1)</sup>	i.M. 1.670 tpa Bi-Inhalt in Raffinadebismut @ 99,995 % Bi Bismutoxid	2017
Australien	Rover 1	Metals X	Au, Cu, Ag, Bi, Co	9.520 t	0,14 %	Bismutmineralkonzentrat	offen
Russische Föderation	Karakul(skoye)	Global Cobalt	Cu, Bi, Co, W, Ag	17.560 t	570 – 1.070 ppm	offen	offen
Kanada	Mount Pleasant	Adex Mining	W, Mo, Bi (As)	8.430 t	600 ppm	Bismutmineralkonzentrat (China)	offen
Australien	Jervois	KGL Resources	Cu, Ag, Pb/Zn, Au, Bi	8.100 t	600 ppm	Bismutmineralkonzentrat?	offen
Australien	Juno/Tennant Creek	Excalibur Mining	Au, Ag, Cu, Bi	6.200 – 7.900 t	0,6 %	offen	offen
Australien	Bamford Hill	Almonty Industries	W, Mo, Bi	5.700 t	270 ppm	offen	offen
Republik Korea	Sangdong	Woulfe Mining	W, Mo, Bi	3.900 – 22.600	260 – 1.500 ppm	Molybdän-/Bismutmineralkonzentrat	offen
Australien	Kingsgate	Auzex Exploration	Mo, Bi, SiO <sub>2</sub>	240 t	0,16 %	260 tpa Raffinadebismut	offen

<sup>1)</sup> Reserven, <sup>2)</sup> Ressourcen, <sup>3)</sup> oxidische Erze, <sup>4)</sup> sulfidische Erze

## 5.5 Lagerbestände

### 5.5.1 Staatliche Lagerbestände

#### USA

Die Defense Logistics Agency (DLA), die Beschaffungsbehörde der US-amerikanischen Streitkräfte, begann 1990 und beendete 1997 den Verkauf ihrer zuvor eingelagerten 944 t Raffinadebismut aus ihren strategischen Vorräten (National Defense Stockpile, NDS). Sie hält seitdem keine Vorräte an Bismut mehr.

#### Republik Korea

Der Public Procurement Service (PPS) der Republik Korea führt seit 1967 für südkoreanische klein- und mittelständige Firmen Sammelbestellungen unter anderem von Industriemetallen durch. Im Jahr 2011 kündigte der PPS an, auch Bismut in seine Bestellliste und damit Lagerbestände aufzunehmen. Es gibt jedoch keine Hinweise darauf, dass dies auch geschehen ist.

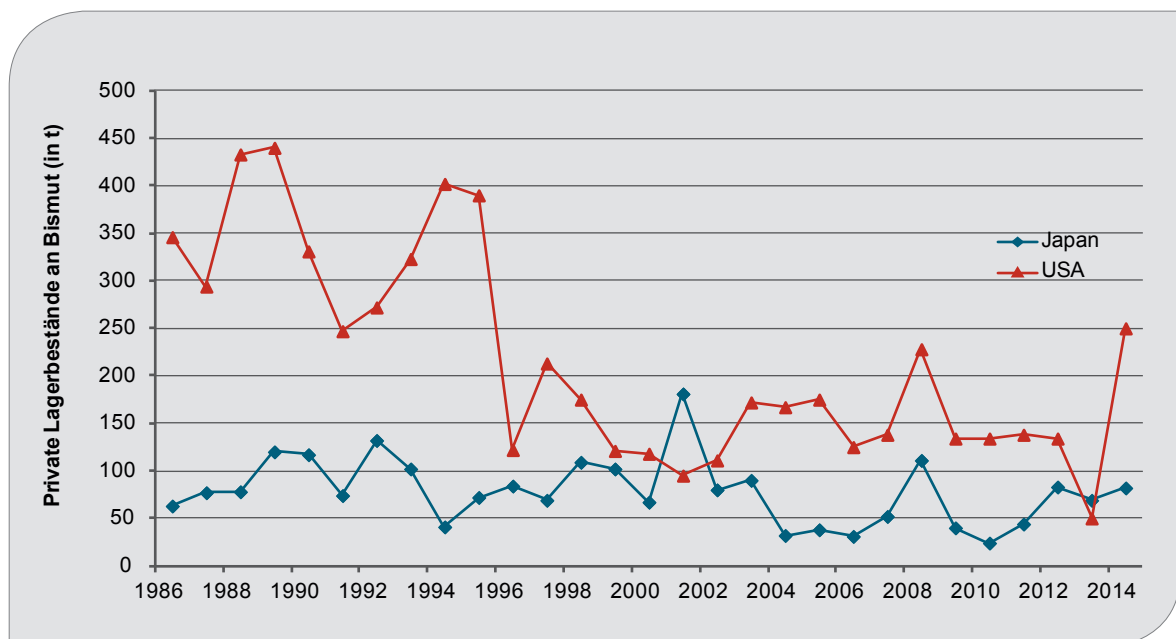
### 5.5.2 Privatwirtschaftlich gehaltene Lagerbestände und Fanya Metal Exchange

#### Japan

Die Bismutlagerbestände bei den japanischen Verbrauchern sind relativ gering. Diese vertrauen darauf, dass sie im Bedarfsfall von den japanischen Hütten und durch die japanischen Metallhändler – wie stets in den letzten Jahrzehnten – ausreichend und zuverlässig mit Bismut versorgt werden. Einen Überblick über die japanischen Lagerbestände gibt Abbildung 14.

#### USA

Die Verbraucher in den USA sind erst seit 1998 bei Bismut vollständig auf Importe angewiesen und hielten vorher traditionell hohe Bestände. Seit 1996 ist die Höhe der privaten Lagerbestände jedoch stark gesunken, vermutlich, da doch stets ausreichend Bismut zur Verfügung stand. Erst im Jahr 2014 sind die Lagerbestände wieder deutlich angestiegen, wahrscheinlich, um sich bei erwarteten starken Preiserhöhungen durch die Aktivitäten der FYME (s. u.) rechtzeitig physisch abzusichern (vgl. Abb. 14).



**Abbildung 14:** Höhe der privaten Lagerbestände von Bismut zum Jahresende in Japan (Quelle: Roskill's Letter from Japan) und in den USA (Quelle: USGS Mineral Commodity Summaries).

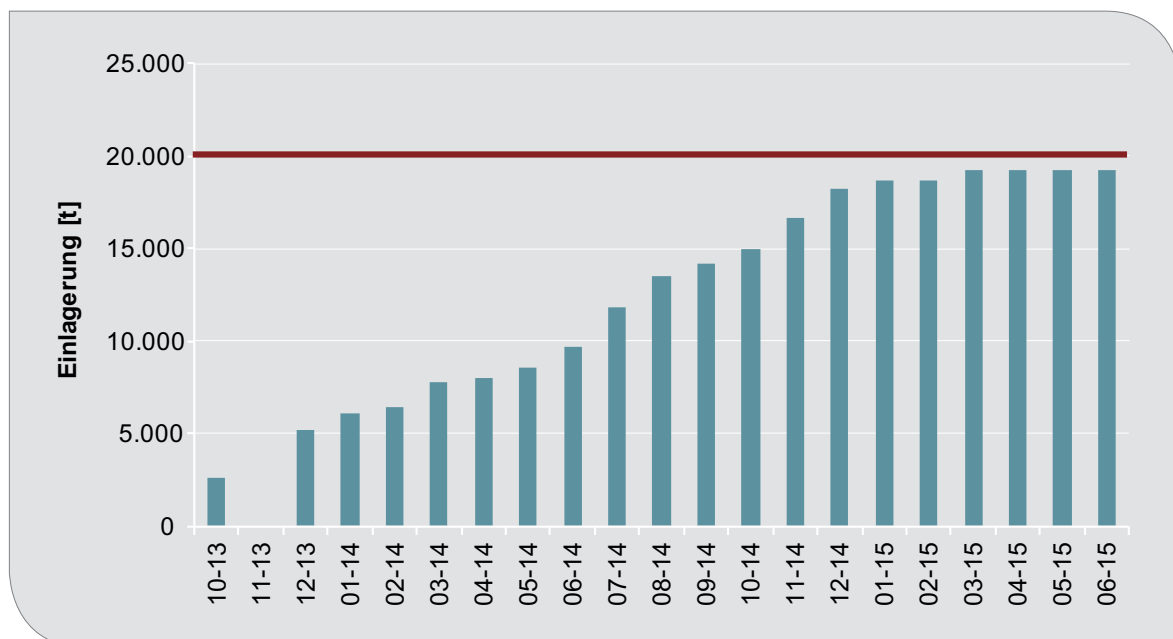
### Belgien

Nach SMITH (2015) lagern bei der Firma 5N Plus Bestände von jeweils vier bis fünf Monaten ihres Bedarfs (entsprechend ca. 1.500 – 2.000 t), was das Unternehmen bei plötzlichen Preisrückgängen – wie seit Ende 2014 – finanziell stark belastet.

### China

Offiziell am 21.04.2011 wurde in Kunming, der Hauptstadt der chinesischen Provinz Yunnan, die Fanya Metal Exchange (FYME) als elektronische Handels- und Investitionsplattform für seltene Metalle gegründet. Zu den derzeit an der FYME gehandelten Rohstoffen gehören Indium, Germanium, Ammoniumparawolframat (APT) (bis Juli 2013 war es Wolfram), Bismut, Gallium, Kobalt, Silber, Antimon, Vanadiumpentoxid, Tellur, Selen, Rhodium, Terbium und Dysprosium. Silizium wurde im Juli 2013 aus dem Portfolio genommen. Alle gehandelten Metalle bzw. Verbindungen sind physisch abgesichert und entsprechende Warenhäuser sind über ganz China verteilt bzw. direkt bei den Hauptproduzenten angesiedelt. Der Handel an der FYME ist staatlicherseits sanktioniert und überwacht. Die Teilnahme an den Handelsaktivitäten steht derzeit ausschließlich chinesischen Firmen und Privatpersonen offen.

Der Handel mit Bismut wurde an der FYME offiziell zum 01.03.2013 aufgenommen. Raffinadebismut lagert in den Warenhäusern der Hunan Bismuth Industry Co., Ltd. (s. Länderprofil – China) und der Shanghai Feiping Logistics Co., Ltd. in Guixi. Die Überprüfung der Qualität der eingelagerten Bismutbarren erfolgt durch die Hunan Company of China Certification & Inspection (Group) Co., Ltd. und das Kunming Metallurgical Research Institute. Bismut soll bis zu einer Menge von letztendlich 20.000 t eingelagert werden. Bis zum 26. 12. 2013 wurden 5.223 t Bismut eingelagert. Bis zum 26. 12. 2014 erhöhte sich diese Menge um weitere 13.463 t auf zusammen 18.689 t Bismut. Im Frühjahr 2015 wurde die Einlagerung mit geringen Volumina fortgesetzt (s. Abb. 15).



**Abbildung 15: Einlagerung von Bismut durch die Fanya Metal Exchange.**  
Die Menge von 20.000 t stellt die vorgesehene maximale Einlagerungsmenge dar (Datenquelle: Asian Metal Ltd.).

## 6 Bilanz von Angebot und Nachfrage

Aufgrund qualitativ und quantitativ völlig unzureichender Daten ist für Bismut, im Gegensatz zu vielen anderen Industrie- und Edelmetallen, keine belastbare historische Bilanz von Angebot und Nachfrage möglich.

Historische Nachfragedaten sind nur zu Japan, den USA, Kanada und zum Teil China veröffentlicht, während andere wichtige Verbraucherländer, wie Deutschland, Republik Korea, Indien, Taiwan, Niederlande, Frankreich u. a. bisher stets völlig unberücksichtigt blieben. Sichere Nachfragedaten aus allen Ländern liegen nur bei der Firma 5N Plus Inc. vor, die diese aber nicht publiziert.

Verallgemeinernd kann man jedoch davon ausgehen, dass sich über viele Jahrzehnte Angebot und Nachfrage von Bismut im Gleichgewicht befanden. Erst Mitte der 1990er Jahre nahm die Nachfrage nach Bismut ein erstes Mal deutlich zu – ausgelöst durch die Debatte um die Toxizität von Blei und den Wunsch, dieses optimalerweise durch das chemisch ähnliche und wesentlich ungiftigere Bismut zu ersetzen.

Aber bereits ab Ende der 1990er Jahre war durch die Erhöhung der Bismutproduktion in China dieser Bedarfszuwachs wieder ausgeglichen. Die meisten der von Forschern in aller Welt entwickelten neuen Anwendungsmöglichkeiten von Bismut wurden dagegen industriell nicht umgesetzt, so dass es auch hierdurch zu keiner signifikanten Steigerung der Nachfrage kam. Eine der wenigen Ausnahmen war die Entwicklung von Perlglanz- und Gelbpigmenten auf Bismutbasis, die auch heute noch einen wichtigen und zunehmenden Einsatzbereich darstellen.

Ansonsten war die steigende Nachfrage nach Bismut fast vollständig durch die weltweit zunehmende Industrialisierung begründet, die seit über einem Jahrzehnt von China angeführt wird. Im Rahmen des in China stark zunehmenden Bedarfs nach den Industriemetallen Kupfer und Blei war es den dortigen Hütten zudem leicht möglich, beibehaltend auch Bismut und zahlreiche andere im Land verstärkter benötigte Sondermetalle mit auszubringen.

Als im Februar 2009 der im Jahr zuvor weltweit zweitgrößte Produzent von Raffinadebismut, die mexikanische Firma Metalúrgica Met-Mex Peñoles, S.A. de C.V. (s. Anhang – Mexiko), aufgrund eines Streiks ihrer Mitarbeiter force majeure anmelden musste, blieb der Weltbismutmarkt hiervon völlig unbeeindruckt. Der Markt war so ruhig und stark übersättigt und China hatte bereits einen so großen Marktanteil, dass der Ausfall des nächstgrößeren Produzenten keinerlei Auswirkungen mehr hatte.

Dieser im Wesentlichen nur durch die kontinuierliche Substitution von Blei durch Bismut, die wachsenden innerchinesische Nachfrage und die darauf reagierende chinesische Produktion charakterisierte Weltbismutmarkt veränderte sich gravierend erst im Laufe des Jahres 2013, als die Einlagerung von Bismut durch die Fanya Metal Exchange (FYME) begann (s. Kap. 5.6.2 und Anhang – China).

Durch das plötzliche Auftreten eines neuen und sehr großen „Verbrauchers“ stiegen die Weltbismutpreise zwischen Herbst 2013 und Herbst 2014 deutlich an (vgl. Kap. 7). Mindestens eine große chinesische Hütte reagierte mit einer kurzfristigen Verdoppelung ihrer Bismutraffinadekapazität. Da diesem kurzfristigen „Bedarf“ an insgesamt 20.000 t Bismut – dem geplanten absoluten Einlagerungsvolumen der FYME – aber gar keine echte industrielle Nachfrage entgegenstand, brach die „Spekulationsblase“ im Spätherbst 2014 zusammen und die Preise begannen wieder deutlich zu fallen.

Gegenwärtig kehrt der Weltbismutmarkt in seinen ursprünglichen Zustand vor dem Einsetzen der Aktivitäten der FYME zurück. Die Firma 5N Plus Inc. geht von Wachstumsraten von jährlich 3–4 % aus (frdl. mdl. Mitt.). Dennoch hat der Weltbismutmarkt nun mit zwei neuen, sehr gravierenden Problemen zu tun:

- In den Lagern der FYME warten jetzt knapp 20.000 t Raffinadebismut auf ihren Abruf durch industrielle Verbraucher. Diese Menge entspricht ca. 120 % der jährlichen prä-FYME Weltraffinadeproduktion an Bismut und drückt als zusätzlich verfügbares Angebot auf den Markt.



- Die chinesischen Hütten haben in 2013 und 2014 ihre Gesamtraffinadekapazität an Bismut um mindestens 2.000 tpa erhöht. Diese Menge steht weiterhin theoretisch jährlich dem Markt zur Verfügung – ohne auch nur auf eine annähernd ausreichende Nachfrage zu treffen.

Dem nach 5N Plus derzeitigen Weltbedarf von rund 10.000 – 12.000 t Bismut (exkl. FYME) stand im Jahr 2014 eine Produktion von über 21.000 t und eine Raffinadekapazität von über 26.000 t Bismut (s. Tab. 5) gegenüber. Der Weltbismutmarkt ist daher durch massive Überproduktion und hohe Überkapazitäten gekennzeichnet.

Nach Aussagen deutscher Verbraucher reagieren erste chinesische Produzenten, in dem sie die Weiterverarbeitung ihrer Produkte, d. h. von Raffinadebismut zu Bismutprodukten, zum Teil ins Ausland (genauer Frankreich und Spanien) verlagern. Sie treten damit dort in direkten Wettbewerb mit den hier bereits aktiven Firmen, insbesondere 5N Plus, dem Marktführer außerhalb Chinas.

In diesem bestehenden Markt von sehr hohem Überangebot und nur langsam wachsender Nachfrage werden gleichzeitig außerhalb Chinas mehrere Bismutprojekte entwickelt, die nur lebensfähig sind, wenn die Bismutpreise ausreichend hoch sind und/oder industrielle Verbraucher die Abnahme garantieren. Viele von diesen Projekten werden es deshalb mit der Finanzierung sehr schwer haben oder müssen ihre Rentabilität mit anderen enthaltenen Wertmetallen begründen.

Interessanterweise könnte der Absatzmarkt für Bismut schnell anspringen, wenn bereits erforschte Anwendungsmöglichkeiten für Bismut umgesetzt würden. Nach Aussagen potentieller deutscher Verbraucher steht dem jedoch auch die Angst vor Liefer- und Preisrisiken auf dem Weltbismutmarkt entgegen – eine zumindest für das Rohmaterial unbegründete Furcht, wie in dieser Studie dargestellt.



**Abbildung 16:** Bismut in Nadelform aus der Produktion von 5N Plus in Tilly, Belgien, Foto: BGR.

## 7 Preisentwicklung

In den letzten 15 Jahren entwickelten sich die nominalen Bismutpreise (nach PLATTS METALS WEEK New York, zitiert in den USGS Minerals Yearbooks) wie folgt (vgl. Abb. 16):

In das Jahr **2000** startete der Händlerpreis für Bismut in New York mit 4,30 US\$/lb (Bismut wird außerhalb Chinas traditionell in US\$/lb gehandelt) und bewegte sich, wie schon in den Jahren zuvor, mit wenigen Ausschlägen um 3,70 US\$/lb. Aus China standen stets ausreichende Mengen an Bismut bereit und zusätzlich drängte mexikanisches Metall auf den Markt.

Auch im Jahr **2001** kam es zu keinen Ausschlägen. Stets ausreichendes Metall aus China konnte alle – leicht steigenden – Verbraucherwünsche befriedigen.

Im Jahr **2002** fielen die Durchschnittspreise für Bismut um 16 % auf durchschnittlich 3,14 US\$/lb. Trotz weltweit leicht steigender Nachfrage stieg das Angebot an Bismut aus China noch stärker.

Im Jahr **2003** sank der Durchschnittspreis aus den gleichen Gründen auf 2,87 US\$/lb, dem niedrigsten Jahresdurchschnittspreis seit 1993.

Im April **2004** stiegen die Preise für Bismut endlich wieder an und lagen im Jahresdurchschnitt bei 3,35 US\$/lb, einem Anstieg von 12 %. Besondere Gründe für diese Entwicklung existierten jedoch nicht.

Auch im Jahr **2005** setzte sich der Preisanstieg um 17 % auf durchschnittlich 3,91 US\$/lb fort. Noch bei Jahresbeginn lag er bei 3,40 – 3,70 US\$/lb und beendete das Jahr bei 4,65 US\$/lb. Eine weltweit stärkere Nachfrage konnte aber leicht durch das erhöhte Angebot aus chinesischen und anderen Hütten gedeckt werden.

Obwohl auch im Jahr **2006** keine besonderen Gründe vorlagen, stieg der Weltbismutpreis um weitere 29 % an und lag im Jahresdurchschnitt bei 5,04 US\$/lb. Das letzte Quartal sah sogar einen noch schärferen Preisanstieg auf 7,30 – 7,80 US\$/lb – eine Verdoppelung des Nominalpreises innerhalb eines Jahres.

Im Jahr **2007** setzte sich der immer schnellere Preisanstieg fort und erreichte Ende Mai mit bis zu 18,8 US\$/lb seinen absoluten bisherigen Höhepunkt. Inzwischen hatte man die Ursache für diesen Preisanstieg gefunden – es handelte sich um spekulative Käufe von Investmentfonds. Bis zum Ende des Jahres hatte sich dieser Trend jedoch gedreht und der Bismutpreis war auf 12,75 – 13,75 US\$/lb zurückgefallen. Der Jahresdurchschnittspreis lag bei 14,07 US\$/lb. Außergewöhnliche Aktivitäten auf Produzenten- oder Verbraucherseite hatten sich auch in 2007 nicht ereignet.

Die Spekulanten zogen sich im Jahr **2008** vollständig aus dem Bismutmarkt zurück, der zuerst noch heftige Preisschwankungen verzeichnete, aber im Jahresdurchschnitt gegenüber 2007 um 10 % auf 12,73 US\$/lb zurückfiel. Ende des Jahres war der Preis sogar unter 10,00 US\$/lb wieder auf 8,50 – 9,50 US\$/lb zurückgefallen – das weltweite Wirtschaftswachstum ging deutlich zurück.

Auch in **2009** hatten sich große Teile der Weltwirtschaft noch nicht erholt. Der Jahresdurchschnittspreis für Bismut fiel gegenüber dem Vorjahr um 38 % und lag bei 7,84 US\$/lb. Der monatelange Komplettausfall des weltweit zweitgrößten Produzenten, Met-Mex Peñoles, hatte keinerlei Auswirkungen auf den Bismutpreis (s. Kap. 6). Im August 2009 wurde ein Tiefstwert von 5,50 – 6,50 US\$/lb erreicht, doch zog der Preis bis Jahresende wieder auf bis zu 8,00 US\$/lb an.

Obwohl sich der Weltwirtschaft im Jahr **2010** deutlich erholte, hielten sich die Verbraucher von Bismut mit Aufkäufen zurück und bis Jahresende konnte sich der Preis nur bis 9,10 – 9,60 US\$/lb erholen. Der Jahresdurchschnittspreis lag bei 8,76 US\$/lb.

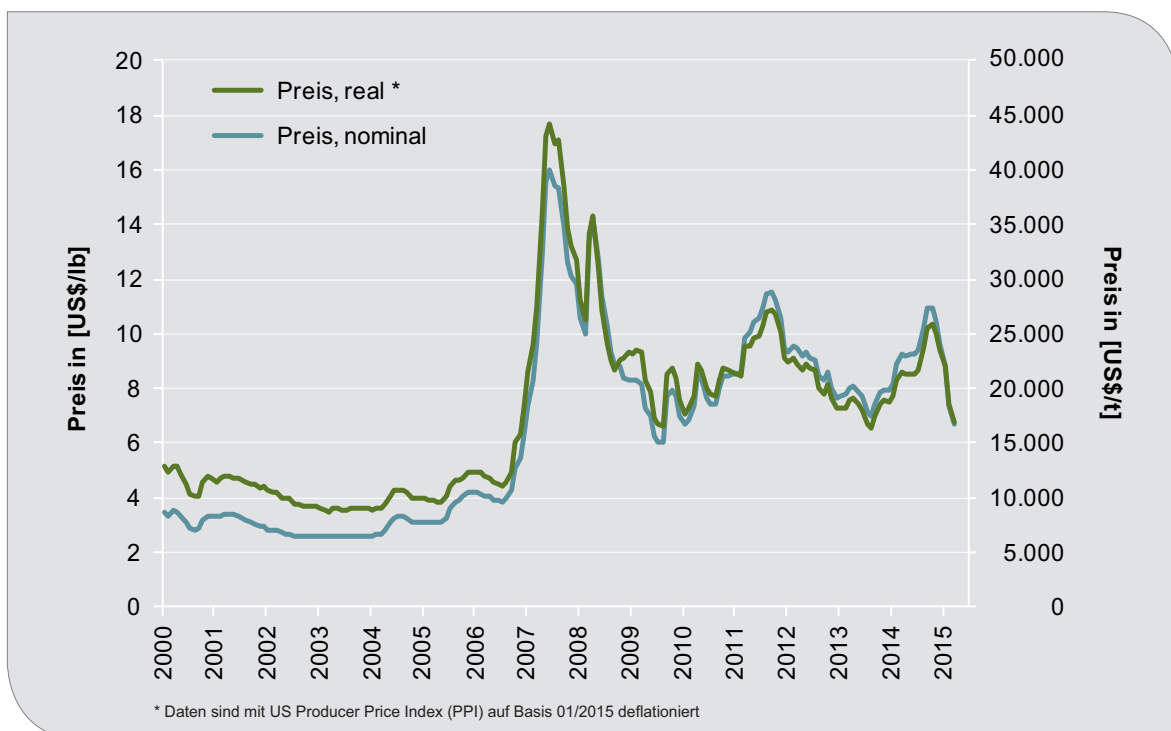
Zwischen den Jahren 2009 und 2011 stieg die chinesische Bismutaffinadeproduktion nicht an und Mitte des Jahres 2009 stoppte die peruanische Hütte La Oroya ihre Produktion (s. Anhang – Peru). Diese beiden Faktoren zusammen bewirkten im Jahr **2011** nun endlich einen größeren Preisanstieg von 37 % gegenüber dem Vorjahr. Der Bismutpreis lag zu Jahresbeginn bei 9,10 – 9,60 US\$/lb, zog dann bis Jahresmitte auf bis zu 12,80 US\$/lb an, pendelte sich etwas unter diesen Preis ein und lag im Jahresdurchschnitt 2011 bei 11,47 US\$/lb.

Im Jahr **2012** erhöhten die chinesischen Hütten aufgrund der verbesserten Erlössituation im Vorjahr ihre Produktion leicht, was aufgrund stagnierender Nachfrage bald wieder zu sinkenden Bismutpreisen führte. Dieser fiel über das gesamte Jahr und lag im Durchschnitt bei 10,10 US\$/lb.

Das Jahr **2013** war im Weltbismutmarkt ein weiteres Jahr ohne große Impulse und mit stagnierender Nachfrage. Der Beginn der Aktivitäten der Fanya Metal Exchange (FYME) machte sich bei den Preisen erst langsam zum Jahresende bemerkbar, da die großen chinesischen Produzenten zuerst einmal froh waren, ihre hohen Lagerbestände an die FYME veräußern zu können. Die Preise stiegen erst im Herbst leicht an und lagen im Jahresdurchschnitt bei 8,55 US\$/lb.

Erstmals seit 2011 zogen im Jahr **2014** die Preise für Bismut wieder deutlich an und erreichten Ende September ein dem Jahr 2011 ähnliches Hoch von 12,20 – 12,40 US\$/lb. Zu diesem Zeitpunkt hatte die FYME rund 75 % ihrer Lager gefüllt und die in China erneut vergrößerten Raffinadekapazitäten suchten nach neuen Absatzmärkten. Gleichzeitig floss erstes Bismut aus den Lagern der FYME zurück in den Markt.

Auch die chinesischen Investoren erkannten nun langsam, was die westlichen Verbraucher längst wussten: die FYME hatte nur einen kurzfristige künstliche Nachfrage geschaffen, der keine reelle industrielle Nachfrage gegenüberstand. Der Bismutpreis ging bis zum Jahresende auf 10,40 US\$/lb zurück (Jahresdurchschnittspreis: 10,85 US\$/lb) und sank dann, bis Ende April 2015, weiter auf unter 7,00 US\$/lb. Im Juni 2015, zum Redaktionsschluss dieser Studie, war mit 6,10 – 6,40 US\$/lb ein Basispreis immer noch nicht erreicht worden.



**Abbildung 17: Nominale (blau) und reale (grün) Bismutpreisentwicklung seit 2000 (Datenquelle: ASIAN METAL LTD.).**

## 8 Angebot und Nachfrage nach Bismut in Deutschland

### 8.1 Vorkommen und Gewinnung

Die in Westdeutschland bis 1988 abgebauten Blei-Zink-Erze enthielten Bismut, das in der Kupferhütte der damaligen Norddeutschen Affinerie AG in Hamburg raffiniert wurde. Die in Westdeutschland verbliebenen bismuthaltigen Lagerstätten sind nicht abbauwürdig.

Das in den sächsischen Zinnerzen enthaltene Bismut wurde bis 1989 in der Zinnhütte Freiberg in Form von Blei-Bismut-Legierungen ausgebracht und dort vermutlich größtenteils gleich wieder zu Loten umgeschmolzen. Mehrere sächsische Zinn-(Wolfram-)Lagerstätten enthalten zusammen noch mehrere Tausend Tonnen Bismut, die bei einem Abbau dieser Erze, der zurzeit allerdings nicht wirtschaftlich möglich ist (ELSNER 2014), beibehalten ausgebracht werden könnten (s. Anhang: Deutschland).

### 8.2 Import und Export

Aufgrund des relativ hohen Bedarfs an Bismut durch die deutsche Industrie (s. Kapitel 8.3) und den fehlenden Raffinationsmöglichkeiten in Deutschland ist die hiesige Wirtschaft vollständig auf die Wiederverwertung von Bismut aus Schrotten und Abfällen (Sekundärbismut) sowie vor allem Bismutimporten aus dem Ausland angewiesen.

Die deutschen Importe an Raffinadebismut und Waren aus Bismut (weitere Unterteilung statistisch nicht möglich) sind in Tabelle 7 und 8 aufgeführt. Tabelle 9 und 10 listen entsprechend die Exporte auf. Die angegebenen Daten stammen aus dem Global Trade Atlas (Global Trade Information Services Ltd), der unter anderem auf Erfassungen des deutschen Zolls beruht.

**Tabelle 7: Deutsche Importe von Bismut in Rohform; Pulver aus Bismut; Abfälle und Schrott aus Bismut = i. W. Raffinadebismut (HS-Code: 81060010) (in t) zwischen 2007 und 2014 (Quelle: GTI 2015).**

Herkunft	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Welt	1.096	1.310	833	927	1.165	967	1.084	1.448
Belgien	73	555	619	746	1.040	890	580	1.007
China	46	230	138	122	80	62	481	381
Ver. Königreich	718	252	28	25	20	5	9	28
Frankreich	4	57	34	4	4	0	0	24
Tschechien	0	0	0	4	11	6	10	4
Türkei	0	0	0	0	0	0	0	3
Indonesien	0	0	0	0	0	0	0	1
Österreich	11	2	7	16	9	2	1	0
Mexiko	243	38	0	0	0	0	0	0
Polen	0	170	0	0	0	0	0	0
Peru	0	3	6	5	0	0	0	0
Japan	0	0	0	0	0	2	0	0
Niederlande	1	0	1	1	0	0	2	0
Ungarn	0	0	1	0	0	0	0	0
Schweden	0	1	0	0	0	0	1	0
Schweiz	0	0	0	3	0	0	0	0
Serbien	0	1	0	0	0	0	0	0



**Tabelle 8: Deutsche Importe von Waren aus Bismut (HS-Code: 81060090) (in t) zwischen 2007 und 2014 (Quelle: GTI 2015).**

Herkunft	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Welt	33	73	49	131	117	187	321	278
Belgien	0	48	1	59	47	46	202	206
Ver. Königreich	31	14	45	58	67	62	34	44
China	0	10	0	4	0	76	85	25
Irland	0	0	0	0	0	0	0	2
Niederlande	0	0	0	0	0	0	0	1
U.S.A.	0	1	0	7	2	1	0	0
Türkei	0	0	1	1	1	2	0	0
Japan	0	0	1	0	0	0	0	0
Tschechien	2	2	0	0	0	0	0	0

**Tabelle 9: Deutsche Exporte von Bismut in Rohform; Pulver aus Bismut; Abfälle und Schrott aus Bismut = i. W. Raffinadebismut (HS-Code: 81060010) (in t) zwischen 2006 und 2014 (Quelle: GTI 2015).**

Zielland	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Welt	487	794	251	121	111	109	95	28	89
Slowenien	4	11	0	11	8	10	0	0	26
Tschechien	56	64	82	47	23	6	6	0	21
Frankreich	23	26	99	11	9	1	1	3	15
Niederlande	1	12	10	1	2	3	7	0	9
Ver. Königreich	0	33	13	30	3	0	15	0	8
Belgien	370	620	5	0	0	13	6	1	5
Spanien	0	0	0	0	1	0	0	0	3
Schweiz	1	4	1	10	51	67	52	17	1
Schweden	2	2	4	0	0	1	1	0	1
Österreich	3	10	8	5	5	4	2	1	1
Italien	0	0	2	0	0	1	0	3	0
Russische Föd.	1	0	2	0	0	1	4	2	0
Luxemburg	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Polen	5	0	3	5	2	0	1	1	0
Taiwan	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Türkei	3	2	6	0	2	0	0	0	0
Ungarn	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Serbien	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Norwegen	12	0	0	0	0	0	0	0	0
Kroatien	0	3	0	0	1	0	0	0	0
Brasilien	0	6	11	0	0	0	0	0	0
China	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Dänemark	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Indien	5	1	3	0	3	0	0	0	0
Aserbaidshan	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Bangladesch	0	0	0	0	1	0	0	0	0

**Tabelle 10: Deutsche Exporte von Waren aus Bismut (HS-Code: 810600909) (in t) zwischen 2006 und 2013 (Quelle: GTI 2015).**

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Welt	47	107	26	40	56	101	103	56	297
Belgien	0	2	0	0	0	0	5	0	247
Ver. Königreich	0	0	5	7	18	40	32	11	24
Niederlande	2	1	3	1	1	1	1	1	4
Spanien	2	3	2	1	2	9	4	3	4
U.S.A.	19	55	2	3	3	3	2	3	3
Türkei	3	3	1	5	5	6	4	6	3
Schweiz	1	1	0	2	3	4	4	4	2
Tschechien	1	3	3	0	2	2	2	2	2
Indien	3	3	1	6	11	18	11	9	1
Polen	3	3	2	3	4	5	6	4	1
Ungarn	1	1	1	1	2	2	2	3	1
Österreich	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Italien	1	0	2	0	3	1	1	1	1
Thailand	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Saudi-Arabien	0	1	0	1	1	2	0	0	1
Brasilien	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Frankreich	5	1	0	1	1	2	21	3	0
Iran	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Argentinien	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Belarus	1	0	0	0	0	0	0	0	0
China	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Irland	0	21	1	4	0	0	0	0	0
Russische Föd.	1	0	0	0	0	3	2	0	0
Schweden	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Slowakei	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Finnland	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Griechenland	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Hongkong	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Kroatien	2	2	0	0	0	0	0	0	0
Kuba	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Litauen	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Aus obigen Tabellen wird ersichtlich, dass Deutschland bei Importen von im Mittel jährlich rund 1.100 t Raffinadebismut sowie rund 300 t Waren aus Bismut sowie Exporten von im Mittel jährlich < 100 t Raffinadebismut sowie sehr stark schwankenden Mengen an Waren aus Bismut zu den weltweit großen Verbrauchsländern von Bismut gehört. Im Jahr 2014 war Deutschland hinter China (ca. 3.900 t) und den USA (ca. 1.450 t) drittgrößter Verbraucher von Bismut weltweit.

Zusätzlich werden jährlich sehr große Mengen an Waren nach Deutschland importiert, die bereits Bismut in verarbeiteter Form enthalten. Hierzu zählen die Importe von Katalysatoren, Effektpigmenten und insbesondere von Fritten, d. h. Spezialglasmassen für die Befestigung von Scheiben in der Autokarosserie. Letztere werden durch die Firmen Ferro GmbH sowie Johnson Matthey plc. im europäischen Ausland und in den USA gefertigt und von dort nach Deutschland exportiert.

Während zahlreiche Firmen Raffinadebismut und Bismutsalze zur Fertigung von Produkten in Deutschland nutzen und diese dann auch exportieren (Kap. 8.3.), liegt die Herstellung und der Export der Ausgangsstoffe, der Bismutsalze, in Deutschland alleinig in der Hand der 5N Plus Lübeck GmbH, einer Tochterfirma der 5N Plus Inc., Kanada.

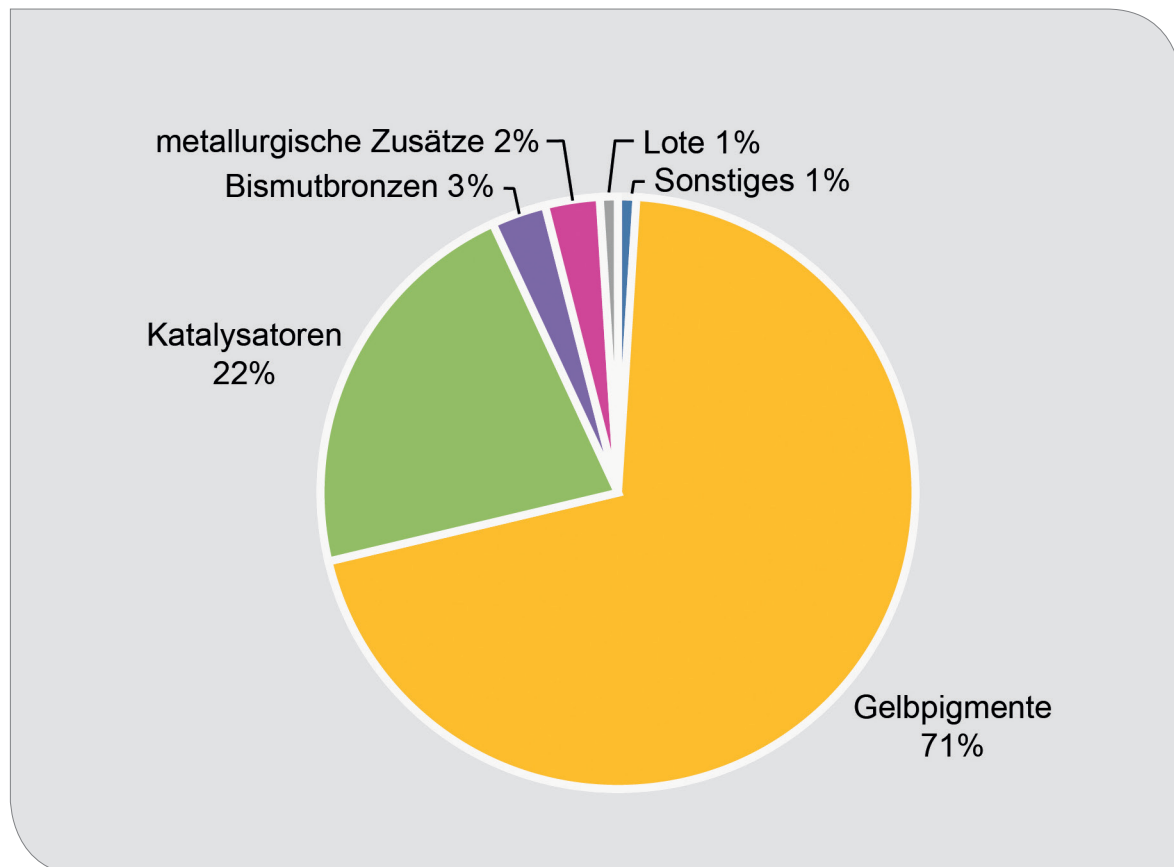
5N Plus Lübeck bezieht ihre Rohprodukte von der gruppeneigenen Bismuthütte in Tilly, Belgien, die wiederum Raffinadebismut und Bismutzwischenprodukte (Kap. 5.3) aus aller Welt verarbeitet.

### 8.3 Verbrauch

Die Bismutnachfrage Deutschlands liegt nach den in Kapitel 8.2 genannten Import-/Exportdaten bei im Mittel jährlich rund 1.000 t Raffinadebismut und 250 t Waren aus Bismut. Dazu kommt eine nicht genau bekannte, aber von einem Marktteilnehmer auf jährlich nur wenige Tonnen geschätzte

Menge an Sekundärbismut (Bi-Inhalt in Abfällen und Schrotten). Im Vergleich hierzu schätzt der US Geological Survey, dass in den USA jährlich rund 80 t Bismut aus Abfällen und Schrotten zurückgewonnen werden (vgl. Anhang – USA).

Nach einer erstmaligen Erhebung für diese Studie unterscheidet sich der deutsche Absatzmarkt für Bismut sehr deutlich von den Märkten in China, USA oder Japan (Abb. 17, vgl. dazu Abb. 11). Mit sehr großem Abstand wird die Bismutnachfrage in Deutschland von dem Bedarf an Bi-Nitratlösungen als Grundlage für die Herstellung von Bi-Vanadat, einem Gelbpigment, dominiert. An zweiter Stelle folgt der Einsatz von Bismut in Katalysatoren. Alle anderen Einsatzbereiche besitzen in Relation dazu keine Bedeutung. Besonders niedrig ist – vor allem im Vergleich zu den USA – der Bedarf an Bismut für die Arzneimittelproduktion – nur eine Firma produziert in Deutschland konventionelle Arzneimittel auf Bismutbasis.



**Abbildung 18: Relative Verwendungszwecke von Bismut in Deutschland**  
(Quelle: BGR-Recherche).

Die nachfolgende Übersicht führt die wichtigsten, in Deutschland Bismut und/oder dessen Derivate verarbeitenden Firmen mit ihren verschiedenen Tätigkeiten auf:

### Pigmente

In Deutschland sind drei Unternehmen in der Produktion von Pigmenten auf Bi-Basis tätig. Sie verbrauchen zusammen über 70 % des nach Deutschland importierten Bismuts und zwar in Form von  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ -Lösung, dem Ausgangsstoff zur Produktion von  $\text{BiVO}_4$ , einem Gelbpigment.

- Die 1865 als Badische Anilin- & Soda-Fabrik (BASF) AG zur Produktion von Teerfarbstoffen und Vorprodukten gegründete, heutige **BASF SE** synthetisierte 1869 den ersten natürlichen Farbstoff, Alizarin, und führte 1897 den synthetischen blauen Farbstoff Indigo im Markt ein. Heute ist die weltweit tätige BASF SE der größte Chemiekonzern der Welt und international in zahlreichen Geschäftssegmenten tätig. Am Standort Besigheim, zwischen Stuttgart und Heilbronn, produziert die BASF Pigment GmbH seit 1985 das anorganische Gelbpigment Bi-Vanadat (PY 184), das unter den Handelsmarken Sicopal® und Palio-tan® vermarktet wird. Zusätzlich produziert die BASF u. a. in den USA  $\text{BiOCl}$ -Effektpigmente, in Ludwigshafen Prozesskatalysatoren auf Bi-Basis sowie in Deutschland und Spanien Bi-Katalysatoren für E-Coats (zinnfreie Elektrotauchlacke, Cathoguard®). Die BASF setzt für ihre Produktion Bismutmetall,  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ -Lösung, Bi-Oxid, Bi-Subnitrat, Bi-Subsali-cylate und Organo-Bismut-Verbindungen ein. Das Unternehmen ist der mit Abstand größte Verbraucher von Bismut in Deutschland und Europa und vermutlich der größte Bismutverbraucher weltweit. Im Februar 2015 kündigte der Konzern darüber hinaus eine deutliche Ausweitung seiner Bi-Vanadat-Kapazitäten in Besigheim bis 2017 an.
- Die **Bruchsaler Farbenfabrik GmbH & Co. KG** wurde 1896 gegründet und wird heute in der 4. Generation immer noch durch die Eigentümerfamilie geführt. Sie stellt ausschließlich anorganische Buntpigmente für die Lack-, Kunststoff- und Bauindustrie her. Seit Mitte der 1990er Jahre wurden die bis-

herigen Chromgelb- und Molybdat-Pigmente aus Bruchsal um eine bleifreie Alternative auf Bismutvanadatbasis erweitert, die unter dem Namen Brufasol® AL vertrieben wird. Die Bruchsaler Farbenfabrik ist der zweitgrößte Verbraucher von Bismut in Deutschland.

- Die ebenfalls familiengeführte **Heubach GmbH** mit Sitz in Langelsheim blickt auf eine über 650jährige Geschichte zurück. Seit 1806 stellt die Firma Farbpigmente her. 1984 wagte sie den Schritt in die USA, 1994 nach Indien und 2009 nach China. Seit rund zehn Jahre produziert die Heubach GmbH auch in Langelsheim Gelbpigmente auf Bi-Basis, die unter den Markennamen Vanadur® und Vanadur® plus in Lacken und anderen Anwendungen Verwendung finden. Die Heubach GmbH ist der drittgrößte Verbraucher von Bismut in Deutschland.

### Katalysatoren

In Deutschland sind, soweit bekannt, bisher nur zwei Firmen in der Produktion von Katalysatoren auf Bismutbasis tätig. Diese decken rund 20 % des deutschen Bismutverbrauchs ab. Zur **BASF SE**, s. o. Weiterhin ist zu nennen:

- Die Firmengeschichte der im Oktober 2007 gegründeten **TIB Chemicals AG** geht mit ihren Ursprüngen auf das Jahr 1872 zurück, als in Rheinau eine chemische Fabrik gegründet wurde, die wiederum 1912 in der Th. Goldschmidt-Gruppe aufging. Heute ist die inhabergeführte TIB Chemicals AG Anbieter von vielfältigen Basischemikalien, anorganischen Spezialchemikalien sowie Beschichtungssystemen mit Produktionsstandorten in Mannheim, Bitterfeld und San Luis Potosi/Mexiko. Zum Geschäftsbereich der anorganischen Spezialchemikalien zählen organische und anorganische Bismut-Katalysatoren. Hierbei ist die TIB Chemicals AG ein sehr kleiner Verbraucher von Bismut.

### Bismutbronze

In Deutschland fertigen eine Vielzahl von Firmen Bronze- und Rotgusslegierungen (Maschinenbronze) für den Guss meist durch andere



Unternehmen zu Getriebeteilen, Zahnrädern, Pumpengehäusen, Armaturen, Lagergehäusen u. a. Soweit recherchiert werden konnte, setzen jedoch nur zwei dieser Firmen auch Bismutmetall (statt Blei) zur Herstellung von Bi-Sn-Legierungen ein, aus denen Bronzepulver für die pulvermetallurgische Herstellung von Verbundlagern gefertigt werden.

Diese beiden Firmen verbrauchen zusammen rund 3 % des nach Deutschland importierten Raffinadebismuts:

- Die **KS Gleitlager GmbH** ist ein Unternehmen der Rheinmetall-Gruppe und in Deutschland an den Standorten St. Leon-Rot und Papenburg tätig. Als Spezialist für hochpräzise Gleitelemente setzt die Firma jährlich Bismut in geringen Mengen zur Herstellung von Bronzepulvern zum Aufsintern auf Stahlbänder für Lagerschalen ein.
- Im Jahr 2010 wurden die beiden Firmen ECKA Granulate GmbH & Co. KG und ECKA Granulate Velden GmbH zur **ECKA Granules Germany GmbH** mit Sitz in Fürth zusammengefasst. Seit dem Jahr 1915 sind Vorgängerfirmen des heutigen Unternehmens in der Herstellung von Lagermetallen und seit 1918 in der Produktion von feinsten Bronzepulvern tätig. ECKA Granules ist ein kleiner Verbraucher von Raffinadebismut und fertigt daraus Sn-Bi-Bronzepulver für die Lagerproduktion.

### Metallurgische Zusätze

Soweit recherchierbar, produziert in Deutschland nur ein Stahlkonzern Automatenstähle auch mit Bi-Zusatz. Drei Firmen setzen Bismut zusammen mit anderen Metallen als Impfmittel im Eisenguss ein. Eine Firma benötigt sehr geringe Mengen Bismut zur Herstellung von Schichten. Insgesamt werden rund 2 % des von Deutschland importierten Bismuts durch diese fünf Firmen als metallurgische Zusätze verwendet.

- Das 1993 aus verschiedenen Eisen- und Stahlwerken zur **Saarstahl AG** verschmolzene Unternehmen produziert in Völklingen jährlich 3.000 – 5.000 t Automatenstähle, davon ein geringer Anteil der Sorten 11SMnPbBiTe37 und 11SMnPbBiTe30 (Anm.: Auch die Arcelor-

Mittal Hamburg GmbH produziert Automatenstähle, jedoch nur Sorten ohne Bismut). Zur Produktion dieser beiden Sorten benötigt die Saarstahl AG jährlich geringe Mengen an Bismutmetall.

- Im Jahr 2010 schloss sich die Ashland Inc., die Gießereisparte der Süd-Chemie AG, München, zu der seit 2008 auch die SKW Giesserei GmbH gehörte, und die Ashland-Südchemie-Kernfest GmbH, Hilden, zu einem der weltweit größten Anbieter von Gießerei-Chemikalien, der **ASK Chemicals Metallurgy GmbH**, mit Sitz in Hilden, zusammen. Am Produktionsstandort Unterneukirchen, westlich München, fertigt das Unternehmen Impfmittel für die Eisengussindustrie. Für die Herstellung dieser Impfmittel werden auch kleinere Mengen an Bismut benötigt.
- Auch die **ES Automobilguss GmbH** mit Sitz in Schönheide, Spezialist für die Herstellung von vor- und fertiggearbeiteten Differentialgehäusen, und die **Vesuvius GmbH** in Borken, weltweit führendes Unternehmen für Schmelzgusstechnik, benötigen beide jährlich sehr geringe Mengen an Bismut zur Herstellung von Impfmitteln für den Eisenguss. Einen noch geringeren Bismutbedarf hat die **Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH**, die an ihrem Produktionsstandort Hannover Imprägnierschichten für den Guss von Automobilteilen fertigt.

### Lötzinn

Der Lötzinmarkt ist der größte Absatzmarkt für Zinn in Deutschland (ELSNER 2014), aber nur ein sehr kleiner Absatzmarkt für Bismut. Nur 1 % des jährlich in Deutschland benötigten Bismuts wird für die Herstellung von Weichloten durch die ausschließlich mittelständig geprägte deutsche Lotzinnindustrie genutzt.

- Die Firmengründer der **Felder GmbH Löttechnik**, seit 1986 mit Sitz in Oberhausen, begannen 1979 mit der maschinellen Herstellung von Lötdrähten und Flussmitteln verschiedenster Art für Großhandelsunternehmen im Bereich Sanitär/Heizung, Schweißtechnik, Werkzeug und Automobilzubehör. Mittlerweile

gehört die Firma zu den europaweit führenden Herstellern hochreiner Lötmetalle (Weichlote, Hartlote, Lotpasten, Flussmittel) und -zubehör und ist, wenn auch selbst nur ein relativ kleiner Verbraucher, der mit Abstand größte Verbraucher von Bismut zur Lotmittelproduktion in Deutschland.

- Weitere deutsche Hersteller von Weichloten mit Bismut, alle mit sehr geringen Verbräuchen, sind die **Pfarr Stanztechnik GmbH** im thüringischen Buttlar, die **Feinhütte Halsbrücke GmbH** im sächsischen Halsbrücke, die **Balver Zinn Josef Jost GmbH & Co. KG** im sauerländischen Balve, die **ELSOLD GmbH & Co. KG** mit Produktionsstandort in Ilseburg/Nordharz, die **Chemet Chemischmetallurgische Industrie-Erzeugnisse GmbH** mit Sitz in Staudt/Westerwald sowie die **Stannol GmbH** mit Sitz in Wuppertal. Die **EppsteinFoil GmbH & Co. KG** fertigt zudem auch Lötfolien mit Bismut in Eppstein nahe Frankfurt a. M.

### Sonstige

- Die **J. N. Eberle & Cie GmbH** mit Sitz in Augsburg fertigt Bimetall-Bandstähle für die Sägenindustrie, Präzisionsbandstähle für die Automobil-, Maschinenbau-, Papier-/Druck- und Textilmaschinenindustrie sowie für Messgeräte und Kontrollinstrumente und auch Bandsägeblätter. Die Firma **Hugo Vogelsang GmbH & Co. KG** in Hagen-Hohenlimburg ist ein führender Anbieter anspruchsvoller Bandstahlqualitäten. Beide Firmen setzen jährlich in geringen Mengen Bismut zur Herstellung flüssiger Bismut-Blei-Bäder zum Abkühlen hochkohlenstoffhaltiger Stähle ein.
- Das in seiner Geschichte bis auf das Jahr 1851 zurückgehende Familienunternehmen **Heraeus Holding GmbH** in Hanau ist ein weltweit führender Technologiekonzern. Zu der Global Business Unit Photovoltaics gehört die Thin Film Materials Division, einer der weltweit führenden Hersteller und Entwickler von Sputtertargets für Anwendungen im Bereich der Dünnschichttechnologie. Zu den zahlreichen in dieser Division hergestellten Sputtertargets gehören auch solche auf Bismut-Mangan-Basis, die von der Glasindustrie zur Beschich-

tung spezieller Architektur- und Automobilgläser benötigt werden. Für die Herstellung dieser Bi-Mn-Targets setzt Heraeus jährlich geringe Mengen an Bismut ein.

- In Deutschland sind im Vergleich zu den USA nur eine sehr geringe Menge an bismuthaltigen Arzneimitteln – aber zahlreiche Homöopathika/Komplexmittel/Anthroposophika – im Verkauf, für deren Produktion auch sehr geringe Mengen an Bi-Derivaten eingesetzt werden. Mit Hilfe des Bundesverbandes der Arzneimittel-Hersteller e.V. (BAH), des Verbandes Forschender Arzneimittel-Hersteller e.V. (vfa) und der STADA Arzneimittel AG konnten folgende Produkte bzw. Hersteller von Bi-haltigen Arzneimitteln recherchiert werden:
  - Mastu® Salbe und Mastu® Zäpfchen zur Anwendung bei Hämorrhoiden (Wirkstoff Bi-Subgallat), gefertigt von der **Hälsa Pharma GmbH** in Lübeck, vertrieben von der STADA Arzneimittel GmbH, Bad Vilbel.
  - Bismolan® H Corti-Salbe zur Anwendung bei Hämorrhoiden (verschiedene Wirkstoffe u. a. Bi-Subgallat), unbekannter Hersteller, vertrieben von der bittermedizin Arzneimittel-Vertriebs-GmbH, München.
  - Eulatin® NH Salbe und Eulatin® NH Zäpfchen zur Anwendung bei Hämorrhoiden (verschiedene Wirkstoffe u. a. Bi-Subgallat), unbekannter Hersteller, vertrieben von der Riemser Pharma GmbH, Greifswald.
  - Pylera® Kapseln zur Eradikation von *Helicobacter pylori* (verschiedene Wirkstoffe u. a. Bi-Subcitrat), gefertigt von der Aptalis Pharma SAS in Houdan, Frankreich, vertrieben von der Movianto Deutschland GmbH, Neunkirchen-Kist.

## Literatur

- ABORN, R. H. (1975): Bismuth: a trace alloy additive in iron and steel. – Bismuth Institute, Bull., **7**: 1 – 3, 2 Tab.; Brüssel.
- ANONYM (2000): Who need bismuth. – Metal Bulletin Monthly, **September 2000**: 62; London.
- ANONYM (2010): Zhelezny Kryazh gold deposit. – Report prepared by Dragon Georesource, Version 1.4: 93 S., 17 Abb., 41 Tab., 5 Anh.; o. O. – URL: <http://graftonresources.com/wp-content/uploads/2011/09/ZK-Report-March-2010.pdf>.
- ARAÇ, S. (1980): The thermodynamic behavior of bismuth in matte, slag, and metal phases during copper smelting and converting. – Ph. D. Dissertation, University of Arizona: 127 S., 22 Abb., 30 Tab.; Tucson, AZ. – URL: [http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/298653/1/azu\\_td\\_8012329\\_sip1\\_m.pdf](http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/298653/1/azu_td_8012329_sip1_m.pdf).
- BICHSEL, H. (1978): Bismuth as an alloying element in aluminium alloys. – Bismuth Institute, Bull., **19**: 1 – 2, 2 Abb.; Brüssel.
- BISMUTH INSTITUTE (1973 – 2002): Bulletins (mit Supplements und Special Issues), **1 – 78**; Brüssel (1973 – 1990), Grimbergen (1991 – 2002).
- BURDESE, A., PRADELLI, G. & FIRRAO, D. (1977): Bismuth in cast iron. Mechanism of the action of bismuth as a cementite stabilizer. – Bismuth Institute, Bull., **18**: 1 – 5, 2 Abb., 1 Tab.; Brüssel.
- CAMINO, G., COSTA, L. & TROSSARELLI, L. (1981): Activity of bismuth compounds as fire retardant additives for polymers. – Bismuth Institute, Bull., **33**: 6 – 7, 1 Tab.; Brüssel.
- DARNELL, R. S. (1975): Bismuth alloys and their uses. – Bismuth Institute, Bull., **10**: 1 – 3, 2 Tab.; Brüssel.
- DILL, H. G. (2010): The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: mineralogy and geology from aluminum to zirconium. – Earth Science Reviews, **100**: 1 – 420; London, Amsterdam, New York (Elsevier).
- ECI – EUROPEAN COPPER INSTITUTE (2007): Recommendation on the non-use of bismuth for lead substitution: 2 S.; Brüssel – URL: <http://copperalliance.eu/docs/default-source/reach-documents/bismuthnonsuitability.pdf?sfvrsn=2>.
- ELSNER, H. (2014): Zinn – Angebot und Nachfrage bis 2020. – DERA Rohstoffinformationen, **20**: 255 S. 61 Abb., 72 Tab., 2 Anh., Berlin – URL: [http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-20.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-20.pdf?__blob=publicationFile&v=8).
- ENDRISS, H. (1995): Bismuth-vanadate pigments in paints. – Bismuth Institute, Bull., **68**: 1 – 3, 3 Abb., 3 Tab.; Grimbergen.
- ERKENS, L. J. H. & VOS, L. J. (1997): Bismuth vanadate pigments for high-performance lead-free paints. – Bismuth Institute, Bull., **70**: 1 – 7, 5 Abb., 3 Tab.; Grimbergen.
- FEISER, J. (1966): Wismut. – In: Die Metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung. **17** (Nebenmetalle): 193 – 228, 2 Abb., 4 Tab.; Stuttgart (Ferdinand Enke).
- FICKLING, M. (1990): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review – 1990: S. 89, 2 Tab.; London.
- FICKLING, M. (1991): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review – 1991: S. 99, 3 Tab.; London.
- FICKLING, M. (1992): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review – 1992: 92 – 93, 4 Tab.; London.
- FICKLING, M. (1993): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review – 1993: 94 – 95, 5 Tab.; London.
- FICKLING, M. (1994): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review – 1994: 81 – 82, 3 Tab.; London.
- FICKLING, M. (1995): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review – 1995: S. 80, 2 Tab.; London.
- FICKLING, M. (1996): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review – 1996: 78 – 79; London.

- FICKLING, M. (1997): Bismuth. – *Metals & Minerals Annual Review – 1997*: 75 – 76, 1 Tab.; London.
- FICKLING, M. (1998): Bismuth. – *Metals & Minerals Annual Review – 1998*: 101 – 102, 2 Tab.; London.
- FICKLING, M. (1999): Review of bismuth in 1998. – *Bismuth Institute, Bull.*, **74**: 3 – 4; 2 Tab.; Grimbergen.
- FICKLING, M. (2000): Bismuth. – *Mining Annual Review 2000*: 3 S., 2 Tab.; London.
- FULLER, S. (2001): Bismuth. – *Mining Annual Review 2001*: 3 S., 2 Tab.; London.
- FULLER, S. (2002): Bismuth. – *Mining Annual Review 2002*: 3 S., 2 Tab.; London.
- GAGNÉ, M. (1998): Hot-dip galvanizing with zinc-bismuth alloys: after-fabrication. – *Bismuth Institute, Bull.*, **72**: 1 – 4, 2 Abb., 1 Tab.; Grimbergen.
- GIA – GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS, INC. (2006): Bismuth. A global strategic business report: 129 S., 76 Tab., San Jose, CA.
- HEIN, J. R., KIZELL, K., KOSCHINSKY, A. & CONRAD, T. A. (2013): Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: Comparison with land-based resources. – *Ore Geology Reviews*, **51**: 1 – 14, 13 Abb., 5 Tab., London, Amsterdam, New York (Elsevier).
- HOFFMANN, J. E. (1994): Bismuth: the benign metal? – *Minerals, Metals, and Materials Society (JOM)*, **46**, 10: 10 – 11 Warrendale, PA. – URL: [http://download.springer.com/static/pdf/657/art%253A10.1007%252FBF03222598.pdf?auth66=1423227043\\_aa81eb483b45753a2ffb1cc291d538a5&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/657/art%253A10.1007%252FBF03222598.pdf?auth66=1423227043_aa81eb483b45753a2ffb1cc291d538a5&ext=.pdf).
- HWANG, J. S. (2001): Bismuth in electronic solders (Part I). – *Bismuth Institute, Bull.*, **78**: 1 – 8; 9 Abb., 5 Tab.; Grimbergen.
- JASINSKI, S. M. (1992): Bismuth – uses, supply, and technology. – *U.S. Bureau of Mines, Inf. Circ.*, **9312**: 16 S., 4 Abb., 7 Tab.; Pittsburgh, PA.
- KAROL, T. J. (1998): Bismuth in lubrication. – *Bismuth Institute, Bull.*, **71**: 1 – 2; Grimbergen.
- KATRIVANOS, F. C. (2015): Bismuth. – *Mineral Commodity Summaries 2015*: 30 – 31; Reston, VA.
- KINDESJÖ, U. (2002): Phasing out lead in solders. – M.Sc. Thesis, The International Institute for Industrial Environmental Economics: V + 81 S., 18 Abb., 15 Tab., 4 Anh.; Lund, Schweden – URL: <http://www.pcbrc.com/dev/PDFs/Thesis%20-%20Phasing%20out%20Lead%20in%20Solders.pdf>.
- KING, P. D. (1981): Bismuth-tin eutectic alloy – solid core for a hollow moulding. – *Bismuth Institute, Bull.*, **33**: 4 – 5, 5 Abb.; Brüssel.
- LAROUCHE, P. (2001): Minor elements in copper smelting and refining. – Master Thesis, McGill University: XI + 165 S., 44 Abb., 20 Tab., 2 Anh.; Montreal – URL: [http://digitool.library.mcgill.ca/webclient/StreamGate?folder\\_id=0&dvs=1422976623052~811](http://digitool.library.mcgill.ca/webclient/StreamGate?folder_id=0&dvs=1422976623052~811).
- MAEDER, T. (2013): Review of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based glasses for electronics and related applications. – *International Materials Review*, **58**, 1: 3 – 40, 13 Abb.; 23 Tab.; Leeds – Philadelphia. – URL: <http://www.maneyonline.com/doi/pdfplus/10.1179/1743280412Y.0000000010>.
- MILLER, H. A. (1987): High luster applications of bismuth oxychloride. – *Bismuth Institute, Bull.*, **52**: 1 – 2; Brüssel.
- NORMAN, N. C. (1998, Hrsg.): Chemistry of arsenic, antimony, and bismuth. – 484 S., London (Blackie Academic and Professional).
- OJEBUOBOH, F. K. (1992): Bismuth – production, properties, and applications. – *J. Minerals, Metals, and Materials Society (JOM)*, **44**, 4: 46 – 49, 1 Abb., 7 Tab.; Warrendale, PA – URL: [http://download.springer.com/static/pdf/998/art%253A10.1007%252FBF03222821.pdf?auth66=1423148924\\_317736755a492cb74c8d0af576621da0&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/998/art%253A10.1007%252FBF03222821.pdf?auth66=1423148924_317736755a492cb74c8d0af576621da0&ext=.pdf).
- OLLEVIER, T. (2013): New trends in bismuth-catalyzed synthetic transformations. – *Organic & Biomolecular Chemistry*, **11**: 2740 – 2755, 80 Abb.; Cambridge, UK – URL: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2013/ob/c3ob26537d>.



- PALMIERI, Y. (1991): Wismut, ein vielseitiges Metall. – Metall, **45**, 10: 1047 – 1049; Clausthal-Zellerfeld.
- PERSSE, F. H. (1970): Bismuth in the United States. – U.S. Bureau of Mines, Inf. Circ., **8439**: 26 S., 7 Abb., 9 Tab.; Washington D.C.
- PETROW, O. W., MICHAILOW, B. K., KIMELMAN, S. A., LEDOWSKICH, A. A., BAWLOW, N. N., NEZHENSII, I. A., WOROB'EW, J. J., SCHATOW, W. W., KOPINA, J. S., NIKOLAEVA, L. L., BESPALOW, E. W.; BOIKO, M. S., WOLKOW, A. W., SERGEEV, A. S., PARSCHIKOWA, N. W. & MIRCHALEWSKAJA, N. W. (2008): Die Mineral-lagerstätten Russlands (in Russisch). – Ministry of the Natural Resources of the Russian Federation (VSEGEI): 302 S.; St. Petersburg.
- PIRET, N. L. (1994): Optimizing bismuth control during copper production. – J. Minerals, Metals, and Materials Society (JOM), **46**, 10: 15 - 18, 4 Abb., 2 Tab.; Warrendale, PA – URL: [http://download.springer.com/static/pdf/983/art%253A10.1007%252FBF03222600.pdf?auth66=1423219207\\_8d2a50757233422095fa2fb586b77428&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/983/art%253A10.1007%252FBF03222600.pdf?auth66=1423219207_8d2a50757233422095fa2fb586b77428&ext=.pdf).
- RAMON, J. J. & DIRNFELD, S. F. (1992): Improved soldering alloys with bismuth. – Bismuth Institute, Bull., **64**: 1 – 3, 1 Abb., 2 Tab.; Grimbergen.
- REH, B. & FINGER, U. (1988): Bismuth-alloyed steels with improved maschinability. – Bismuth Institute, Bull., **55**: 1 – 2, 1 Tab.; Brüssel.
- ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth – Eighth Edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London. (und Vorgängerausgaben!)
- RÜDIGER, W. (1974): Die Anreicherung von Wismut-Schäumen – Erzmetall, **27**, 12: 599 – 603, 1 Abb.; Clausthal-Zellerfeld.
- SMITH, C. (2015): Why 5N Plus is so exposed to a Chinese minor metals exchange. – Metal Bulletin Daily, 17 March 2015, **9398.2**: 1 S.; London.
- SOMERLY LTD. (2011): Market report on tungsten, fluorspar, bismuth, and copper. – Report for Masan Group Corp.: 77 S., 33 Abb., 28 Tab., Hong Kong – URL: <http://www.masangroup.com/static/uploads/block/somerly-report-en-6.pdf>.
- TERRADO, A. N. (2012): The bismuth metal. Metallurgy of bismuth. – Technological University of the Philippines: **CM 221**: 30 S., zahlr. Abb.; Taguig, Philippinen – URL: [http://de.slideshare.net/angelica\\_terrado/bismuth-metal](http://de.slideshare.net/angelica_terrado/bismuth-metal).
- THOMAS, F., BIALEK, B. & HENSEL, R. (2011): Medical use of bismuth: the two sides of the coin. – J. Clinical Toxicology, **S3:004**: 5 S.; Philadelphia, PA – URL: <http://omicsonline.org/medical-use-of-bismuth-the-two-sides-of-the-coin-2161-0495.S3-004.pdf>.
- TSURTSUMI, N. & IMAMURA, M. (1978): The effect of bismuth in suppressing mottling in white cast iron. – Bismuth Institute, Bull., **22**: 1 – 5, 17 Abb., 1 Tab.; Brüssel.
- TSURTSUMI, N. & IMAMURA, M. (1981): The influence of bismuth graphitization during solidification and the morphological change of graphite in cast-iron. – Bismuth Institute, Bull., **34**: 4 – 9, 16 Abb., 1 Tab.; Brüssel.
- TSURTSUMI, N. & IMAMURA, M. (1982): The influence of bismuth on the morphological change and the retardation of graphitization during solidification in mottled cast iron. – Bismuth Institute, Bull., **36**: 1 – 7, 16 Abb., 1 Tab.; Brüssel.
- VULCAN, T. (2009): Bismuth: a help in many ways. – HardAssetsInvestor.com, Interview: 5 S., 3 Abb.; – URL: <http://www.hardassetsinvestor.com/interviews/1445-bismuth-a-help-in-many-ways.html?showall=&fullart=1&start=3>.
- WANG, W. L., CHEN, F. Y. & CHEN, W. H. (1987): Effect of process metallurgical factors on the properties of 2011 free cutting aluminium alloy: on the size and distribution of Bi-Pb particles. – Bismuth Institute, Bull., **52**: 3 – 7, 11 Abb.; Brüssel.
- WBMS – WORLD BUREAU OF METAL STATISTICS (1973): Bismuth. – Report: VI + 18 S., zahlr. Tab.; London, UK.
- WIENAND, H. & OSTERTAG, W. (1988): Bismuth vanadate-molybdate: a new yellow pigment. – Bismuth Institute, Bull., **53**: 1 – 4, 5 Abb., 3 Tab.; Brüssel.

WILLIS, P., CHAPMAN, A. & FRYER, A. (2012): Study of by-products of copper, lead, zinc, and nickel. – A report prepared by Oakdene Hollins Ltd. for International Lead and Zinc Study Group, International Nickel Study Group, International Copper Study Group, June 2012: 219 S., 115 Abb., 101 Tab., 2 Anh.; Aylesbury, UK.

YANG, N. & SUN, H. (2011): Bismuth: environmental pollution and health effects. – In: NRIAGU, J. O. (Hrsg.): Encyclopedia of Environmental Health: 414 – 420, 6 Abb., 2 Tab.; Burlington, UK (Elsevier).

[www.bismuth.atomistry.com](http://www.bismuth.atomistry.com)

# Anhang

---

## Länderprofile



## Argentinien



Bismutminerale, vor allem Bismuthinit und seine Oxidationsprodukte Bismutit und Bismit, seltener gediegen Bismut, finden sich in Pegmatiten, Wolframitlagerstätten und anderen hochtemperierten Erzlagerstätten Argentiniens.

In den Jahren vor dem 2. Weltkrieg haben die schon im 1. Weltkrieg betriebenen Bismut-Wolfram-Bergwerke des Reviers La Bismutina, Provinz Córdoba, Bismutmineralkonzentrate geliefert (von 1939 bis 1945: 5,6 t Bismutmineralkonzentrat @ 38–54 % Bi). Dazu kamen weitere Produzenten während des 2. Weltkriegs, so standen die Beryllium-Pegmatite von Las Tapias, Provinz Cordoba (von 1939 bis 1945: 8 t Bismutmineralkonzentrat), die Niobat-Tantalat-Pegmatite von El Quemado, Provinz Salta (von 1939 bis 1945: 5 t Bismutmineralkonzentrat), die 1941 entdeckte Silber-Gold-Lagerstätte San Francisco de los Andes, Provinz San Juan (von 1941 bis 1948: 49 t Bismutmineralkonzentrat @ 22 – 50 % Bi), sowie als größte die Wolfram-Bismut-Lagerstätte Los Cóndores, Provinz San Luis (800 ppm Bi im Erz, 1941 – 1949: 140 t Bismutmineralkonzentrat @ 27 – 65 % Bi) im Abbau. Geliefert wurden neben Konzentraten auch handsortierte Erze. Das Bergwerk Los Cóndores war auch nach dem 2. Weltkrieg bis zu seiner Schließung im Jahr 1962 noch ein nennenswerter Bismutproduzent. Detaillierte lagerstättengeologische und montanhistorische Beschreibungen all dieser Lagerstätten sind in BANSE et al. (1964) zu finden.

Gegenwärtig wird Bismut (vermutlich in Form von Blei-Bismut-Barren) noch durch den Kroll-Betterton Prozess aus Bleierzkonzentraten der Aguilar Zink-Blei-Silber-Lagerstätte (Untertageabbau und Tagebau) in der Bleihütte von Palpala, Provinz Jujuy, abgetrennt. Bergwerk, Aufbereitungsanlage, Bleihütte und auch eine Zinkhütte in Rosario, Provinz Santa Fe, gehören der Compañía Minera Aguilar S.A. bzw. AR Zinc S.A., Tochterunternehmen von Glencore plc. Da die Bleihütte nur eine Kapazität von 14.000 t Pb/a besitzt, werden die überschüssigen, in Aguilar gewonnenen Bleierzkonzentrate, bis zu 35.000 t jährlich, zu Spottpreisen auf dem Weltmarkt ver-

kauft. Hauptimportländer sind Deutschland und Belgien, jedoch nicht mehr China.

Im Jahr 2014 wurden in der Aufbereitungsanlage in Aguilar aus rund 690.000 t Erz @ 4,6 % Pb, 4,4 % Zn und 93 ppm Ag rund 29.000 t Bleierzkonzentrat @ ca. 75 % Pb (Ausbringen 68 % Pb), 3 % Zn, 2 % Fe, 1.300 ppm Ag und 200 ppm Bi bzw. rund 55.000 t Zinkerzkonzentrat @ ca. 50 % Zn (Ausbringen 91 % Zn), 2 % Pb, 8 % Fe, 150 ppm Ag und 200 ppm Bi erzeugt. Die (Blei)-Bismut-Produktion in Palpala kann dementsprechend auf knapp 4 t Bi-Inhalt/a, der in verkauften Bleierzkonzentraten enthaltene Bi-Inhalt auf weitere 2 t/a geschätzt werden.

### Literatur:

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., V. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.





## Australien



Australien galt bis 1986 als eines der größten Bergbauförderländer von Bismut, doch werden seit vielen Jahren keine Produktionszahlen mehr, weder von staatlichen australischen Stellen noch von den (vermutlich) produzierenden Firmen bzw. Hütten, publiziert. Bessere Daten liegen aus neuen Projekten vor, jedenfalls wenn die Erze auffällig erhöhte Gehalte an Bismut aufweisen.

### Northern Territory

Die historisch bedeutendste und immer noch eine der größten Bismut-Lagerstätten Australiens ist Tennant Creek mit seinen zahlreichen Teilvorkommen, rund 500 km nördlich von Alice Springs gelegen. Zwischen 1934 und 2005, dem bisherigen Ende der Produktion, wurden in Tennant Creek mit Unterbrechungen 19,65 Mio. t Erz und rund 5,3 Mio. t alte Abgänge/Halden aufbereitet und daraus Konzentrate mit rund 173 t Au-, 56 t Ag-, 488.000 t Cu-, 220 t Se- und rund 20.000 t Bi-Inhalt ausgebracht (LEMESSURIER et al. 1990, AHMAD et al. 2009). Von Folgenden der 17 größeren Teilvorkommen, die bisher in Abbau standen, sind Informationen zu Bismut bekannt

- Juno: Abbau von 1965 bis 1977 mit einer Produktion von 455.000 t Erz @ 57 ppm Au (26.070 kg Au-Inhalt), 7 ppm Ag (2.752 kg Ag-Inhalt), 0,4 % Cu (1.429 t Cu-Inhalt) und 0,6 % Bi (2.293 t Bi-Inhalt). Eine aktuelle Neuberechnung der Ressourcen durch Excalibur Mining Corp. Ltd. (s. u.) ergab Restvorräte von 1,322 Mio. t Erz @ 4,4 ppm Au bzw. 1,04 Mio. t Erz @ 0,5 % Cu (entsprechend 6.200 – 7.900 t Bi-Inhalt).
  - Orlando: Abbau mit Unterbrechungen von 1962 bis 1975 und 1994 bis 1997 mit einer Produktion von 320.000 t Erz @ 11 ppm Au (3.772 kg Au-Inhalt), 3,5 ppm Ag (1.223 kg Ag-Inhalt), 1,8 % Cu (4.852 t Cu-Inhalt) und 0,1 % Bi (4,7 t Bi-Inhalt). Eine aktuelle Neuberechnung der Ressourcen durch Emmer-son Resources Ltd. (s. u.) ergab Restvorräte von mindestens 2,22 Mio. t Erz @ 1,8 ppm Au und 1,4 % Cu (entsprechend 2.200 t Bi-Inhalt).
  - Gecko: Abbau von 1972 bis 1975, 1980 bis 1982 und 1989 bis 1999 mit einer Produktion von 2,93 Mio. t Erz @ 1,2 ppm Au (3.450 kg Au-Inhalt), 3,9 % Cu (122.700 t Cu-Inhalt) und 0,1 % Bi (nicht ausgebracht). Eine aktuelle Neuberechnung der Ressourcen durch Emmer-son Resources Ltd. (s. u.) ergab Restvorräte von 1,48 Mio. t Erz @ 2,5 % Cu (entsprechend 1.500 t Bi-Inhalt).
  - Warrego: Abbau von 1972 bis 1989, ab 1974 vornehmlich auf Gold und Bismut, mit einer Produktion (bzw. Ausbringen) von 4,95 Mio. t Erz @ 8 ppm Au (41.280 kg Au-Inhalt, 5.500 kg Ag-Inhalt), 1,9 % Cu (91.500 t Cu-Inhalt) und 0,3 % Bi (ca. 12.000 t Bi-Inhalt). 1994 – 1998 Aufbereitung von 4,98 Mio. t Altabgängen @ 1 ppm Au (3.280 kg Au-Inhalt).
  - Peko: Abbau mit Unterbrechungen von 1935 bis 1976 und einer Produktion von 3,16 Mio. t Erz @ 3,5 ppm Au (7.481 kg Au-Inhalt), 14 ppm Ag (44.163 kg Ag-Inhalt), 4,0 % Cu (118.884 t Cu-Inhalt) und 0,2 % Bi (7.350 t Bi-Inhalt). 1999 erwarb Peko Rehabilitation Project Pty Ltd. die Abgänge des alten Bergwerks mit Ressourcen von 3,75 Mio. t @ 1,1 ppm Au. Der Versuch, zuerst über die Gewinnung und den Verkauf von Magnetit für die Kohlenwä-sche weiteres Betriebskapital zur generieren, um damit später mikrobiologisch auch Gold, Kupfer, Bismut und Kobalt zu extrahieren, scheiterte nach kurzer Zeit aufgrund eines Preiseinbruchs auf den Weltrohstoffmärkten.
  - White Devil: Abbau mit Unterbrechungen von 1926 bis 1999 mit einer Produktion von 1,30 Mio. t Erz @ 15,2 ppm Au (19.800 kg Au-Inhalt), 0,5 – 0,8 % Cu und 0,15 – 0,25 % Bi.
  - TC8: Abbau von 1986 bis 1988 mit einer Produktion von 80.000 t Erz @ (1.420 kg Au-Inhalt). Die Abgänge des Bergwerks ent-halten 0,7 ppm Au, 0,3 % Bi und 0,5 % Cu.
- Bismut fiel historisch in Tennant Creek in Form von Gold-Bismutkonzentraten und in niedriggradigen Kupfererzkonzentraten an. Die Gold-Bismutkon-zentrate wurden teils in dieser Form exportiert – auch zur Norddeutschen Affinerie AG nach Deutschland (vgl. Deutschland) –, teils zuvor das

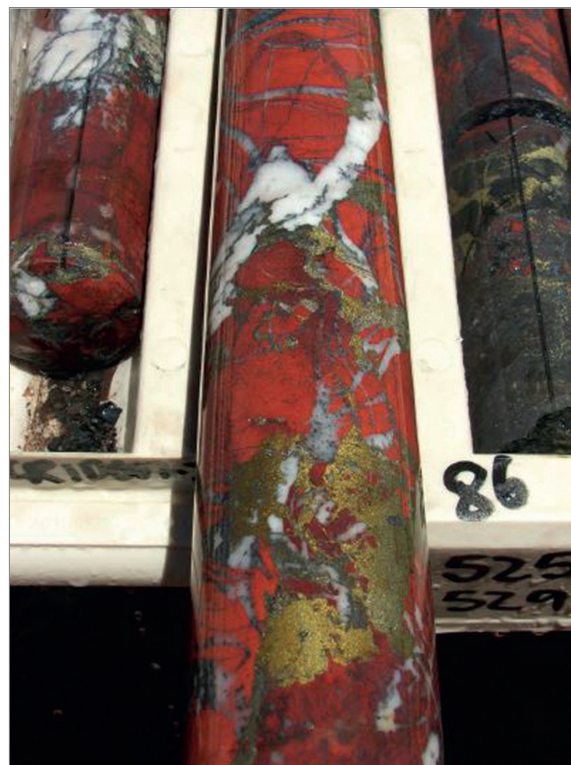
Bismut aber auch in Form von Bismutmineralkonzentraten abgetrennt. Die Kupfererzkonzentrate wurden zwischen 1973 und 1974 durch Peko-Wallsend Ltd., dem damaligen Hauptabbauunternehmen, in Tennant Creek in einer eigenen Hütte verarbeitet und ein Großteil des Bismuts dabei abgetrennt. Die Kupfererzkonzentrate, die zuvor und später ausgebracht und nach Japan exportiert wurden, enthielten ca. 0,225 % (Warrego) bzw. ca. 0,1 % (Peko und Orlando) ausbringbares Bismut (ROSKILL 1976). In den japanischen Hütten wurden jährlich mehrere Hundert Tonnen Bismut aus den Kupfererzen von Tennant Creek ausgebracht. Später, bis Ende der 1980er Jahre, unterhielt Peko-Wallsend vor Ort eine separate Bismut-Aufbereitungsanlage, die aus Bismuterzkonzentraten, Kupfer-Bismuterzkonzentraten und Altschlacken Bismutmineralkonzentraten, Rohgold, Kupfersulfat und bismuthaltige Abgänge erzeugte.

Die Gold-Kupfer-Bismut-Vererzungen von Tennant Creek sind an Hunderte Zonen mit vornehmlich kleinen bis mittelgroßen Erzlinen in tektonisch stark überprägten Magnetit-Chlorit-Hämatit-

Eisenerzen proterozoischen Alters gebunden. Die häufigsten primären Erzminerale sind Chalcopyrit, gediegen Gold, Bismuthinit und verschiedene Bismut-Sulfosalze, wie Wittichenit, Emplektit oder Aikinit. Seltener sind Bismut-Selen-Sulfide, Bornit, Bleiglanz, Zinkblende, Cobaltit, Uraninit und Scheelit. Die wichtigsten sekundären Erzminerale sind Chalkosin und gediegen Gold. In der Verwitterungszone sind häufig Bismutit und Bismit vertreten.

Im weiterhin unterexplorierten Tennant Creek IOCG-Mineral Field sind mehrere Junior Exploration Companies, wie Emmerson Resources Ltd. und Excalibur Mining Corporation Ltd., aktiv. Alle bestätigen auch in ihren Explorationsgebieten erhöhte Bismutgehalte, ohne dass jedoch bisher zu allen Vorkommen neue Ressourcen nach JORC publiziert wurden.

70 km südwestlich von Tennant Creek liegt das Rover Erzfeld, das ähnliche lagerstättengeologische Verhältnisse und ein ebenso hohes Potenzial wie Tennant Creek aufweist. Die dortigen



**Abbildung 19: Bohrkern aus der Lagerstätte Rover 1,  
Foto: Metals X Ltd. (Wiedergabe mit frdl. Genehmigung).**

Teillagerstätten liegen jedoch unter 70 – 200 m Bedeckung und wurden erst 1974 im Rahmen einer aeromagnetischen Befliegung entdeckt.

Die Rover 1 Lagerstätte, im Wesentlichen unter Lizenz von Metals X Ltd., besitzt „Indicated & Inferred Resources“ von 6,81 Mio. t Erz @ 1,73 ppm Au, 1,21 % Cu, 2,1 ppm Ag, 0,14 % Bi (entsprechend 9.520 t Bi-Inhalt) und 0,06 % Co. Teilbereiche in der sog. Jupiter Deeps Zone von Rover 1 besitzen Gehalte bis 2,2 % Bi. Metals X bereitet die weitere Untersuchung der lagerstättengeologischen Verhältnisse von einem tiefen Explorationsstollen aus vor.

Die Lizenzen über die Lagerstätten Rover 4, Rover 11 East und Rover 12 werden durch Adelaide Resources Ltd. gehalten, die aber aufgrund der hohen Explorationskosten noch keine Ressourcenberechnungen vorlegen konnten.

Bei **Hatches Creek**, 200 km südwestlich Tennant Creek, wurden mit Unterbrechungen zwischen 1913 und 1971 aus mineralisierten Quarzgängen Wolframit und untergeordnet Scheelit, sowie beibehrend Chalcopyrit, Bismuthinit, Molybdänit und Gold gewonnen. Die historische Gesamtproduktion lag bei rund 3.000 t Konzentrat @ 65 %  $WO_3$ . Im Pioneer Bergwerk von Hatches Creek enthielt das Erz ca. 0,5 % Bi und das produzierte Wolframerzkonzentrat 5 – 6 % Bi, wobei das Bi-Ausbringen auf 45 % geschätzt wurde. Der Bismutgehalt in den Abgängen lag bei 0,26 % (SULLIVAN 1946). Gegenwärtiger Lizenzinhaber ist Arunta Resources Ltd., die plant die zahlreichen Abgänge in diesem Gebiet erneut auf Wolfram hin aufzuarbeiten. Bisher untersuchte Proben enthielten 0,32 – 1,22 %  $WO_3$ , 0,03 – 3,96 % Cu, 0,00 – 0,46 ppm Au und 23 – 5.745 ppm Bi. Eine Ressourcenberechnung der verfügbaren Tonnagen steht noch aus.

Das **Jervois** Kupfer-Silber-Gold-Projekt von KGL Resources Ltd. liegt rund 350 km nordwestlich von Alice Springs, 15 km vom nicht asphaltierten Plenty Highway entfernt, d. h. weitab jeglicher Infrastruktur. Es wurde 1929 entdeckt und besteht aus vier größeren und zahlreichen kleinen Einzelvorkommen in metamorph überprägten vulkanosedimentären Schieferen mit gegenwärtigen „Indicated & Inferred Resources“ von 13,5 Mio. t Erz @ 1,30 % Cu, 25,5 ppm Ag und 0,17 ppm Au. Bekannt sind Kupfer-Gold- und

hochgradige Blei-Zink-Silber-Vererzungen. Das Kupfererz enthält im Mittel 600 ppm Bi (entsprechend 8.100 t Bi-Inhalt), das störendes Element im Kupfererzkonzentrat wäre und mit Schwefelsäure ausgelaugt werden soll. Eine Ausfällung in Form verkaufsfähiger Bismutmineralkonzentrate wird angedacht.

### Western Australia

Antipa Minerals Ltd. ist eine australische Junior Exploration Company, die sich auf die proterozoische Patterson Provinz im Nordwesten von Western Australia spezialisiert hat. Ihr dortiges Citadel Kupfer-Gold-Projekt umfasst auch die **Magnum** Lagerstätte aus niedriggradig mineralisierten Quarzgängen am Rande einer Gabbrointrusion. Im März 2012 publizierte Antipa Minerals für Magnum „Inferred Resources“ von 27,8 Mio. t Erz @ 0,3 % Cu, 0,5 ppm Au, 0,07 ppm Ag und 200 ppm Bi, entsprechend 6.400 t Bi-Inhalt. Als Bismutminerale treten gediegen Bismut und Bismuthinit auf.

Das **Golden Grove** Bergwerk von MMG Ltd. liegt rund 450 km nordöstlich von Perth bzw. 260 km östlich von Geraldton und umfasst das Gossan Hill Bergwerk, den Gossan Hill Tagebau und das drei Kilometer entfernt gelegene Scuddles Bergwerk. In Abbau stehen VHMS-Ganglagerstätten mit sekundärer Edelmetall-Kupfer-Vererzung. Die primären Erzminerale sind Zinkblende, Chalcopyrit und Bleiglanz in einer Matrix aus Pyrit, Magnetit und Pyrrhotin. 2014 wurden 1,263 Mio. t Erz abgebaut, die 30.837 t Cu in Konzentrat, 37.896 t Zn in Konzentrat und 3.986 t Pb, 32 t Ag und 24.932 oz Au in Edelmetall-Bleikonzentrat lieferten. Die vor Ort produzierten Cu-, Zn- und Pb-Edelmetallkonzentrate werden über den Hafen von Geraldton zu Hütten in China, Südkorea, Japan, Indien und Thailand exportiert. Zum 30.06.2014 lagen die Ressourcen von Golden Grove bei 20,2 Mio. t Kupfererz, 8,9 Mio. t Zinkerz sowie 1,2 Mio. t oxidiertes Kupfer- und 0,3 Mio. t oxidiertes Golderz inkl. Reserven von 3,1 Mio. t Kupfererz, 1,9 Mio. t Zinkerz sowie 0,6 Mio. t oxidiertes Kupfererz. Im oberflächennah oxidierten Erz von Gossan Hill ist Bismut stark angereichert und zwar bis zu 665 ppm im Cu-Gossan und 25 – 120 ppm im Pb-Zn-Gossan (Department of Mines and Petroleum of WA, frdl. schriftl. Mitt.).



ROSKILL (1990) berichtete von einem niedrig-gradigen Kupfer-Bismut-Erzkörper in der Copper Range, 45 km östlich von Newman in der Pilbara Region. Die dort erbohrten Reserven betragen 120 Mio. t Erz @ 0,20 % Cu inkl. einer Reicherzzone von 22,5 Mio. t Erz @ 0,38 % Cu. Einzelne Proben enthielten zudem bis 1,7 ppm Au und 190 ppm Bi, darunter auch gediegen Bismut.

### Queensland

Die Wolfram-Molybdän-Lagerstätte Wolfram Camp liegt 50 km westsüdwestlich von Cairns und wurde 1894 entdeckt. Sie ist an einen Greisenkörper gebunden, der in einem 3,8 km langen, 800 m breiten und 170 m tiefen Bereich von rund 250 teils mineralisierten Quarzgängen bis 6 m Durchmesser durchschlagen wurde. Als Erzminerale finden sich Wolframit, der häufig mit Molybdänit verwachsen ist, gediegen Bismut, der meist als Lamellen und/oder Kristalle im Wolframit vorliegt, Bismuthinit, Pyrit, Markasit, Chalcopyrit

und Arsenopyrit sowie untergeordnet Scheelit, Pyrrhotin, Zinkblende, Bleiglanz, Stibnit, Tetrahedrit und Cassiterit (PLIMER 1977). Bis Juni 1989 wurden rund 7.100 t Wolframit-, 1.625 t Molybdänit-, 1.480 t Wolframit-Bismut-Misch- und 165 t Bismutmineralkonzentrat @ 40,4 % Bi ausgebracht (MURRAY 1990). VON GNIELINSKI (2013) nennt dagegen eine bisherige Produktion von 6.918,3 t Wolframit-, 1.535 t Bismuthinit- und 159,6 t Molybdänitkonzentrat.

2011 wurde die Wolfram Camp Lagerstätte mit samt Aufbereitungsanlage von der Deutschen Rohstoff AG erworben und bis 2013 vollständig modernisiert. Im November 2013 begann die kommerzielle Produktion, jedoch wurde das Bergwerk im Sommer 2014 bereits wieder an die kanadische Almonty Industries Inc. verkauft, an der die Deutsche Rohstoff AG seitdem Anteile hält. Bisher konnten seit erneuter Inbetriebnahme im November 2013 keine schwarzen Zahlen geschrieben werden. Die „Indicated & Inferred“ Ressourcen nach JORC betragen 1,42 Mio. t Erz @ 0,60 %  $WO_3$  und 0,12 %  $MoS_2$ . Der durchschnittliche



**Abbildung 20: Tagebau, Aufbereitungsanlage und Mining Camp von Wolfram Camp im März 2015, Foto: BGR.**



Bismutgehalt des Erzes liegt bei 300 ppm, so dass der – allerdings nur theoretische, da wirtschaftlich nicht ausbringbare – Gesamtbismutinhalte von Wolfram Camp rund 420 t beträgt.

Die Wolfram-Molybdän-Lagerstätte Bamford Hill liegt 100 km südwestlich Cairns und wurde 1893 mit dem Abbau auf Molybdän eröffnet (BALL 1915). Rund 10 Jahre später, mit einem Höhepunkt im 1. Weltkrieg, wurde zudem Wolframit abgebaut. 1958 wurde der Abbau aufgegeben, in den 1970er Jahren aber wieder für kurze Zeit aufgenommen. Insgesamt wurden bisher 2.250 t Wolframit-, 180 t Molybdänit- 100 t Wolframit-Bismut-Misch- und 20 t Bismutmineralkonzentrat ausgebracht (MURRAY 1990). VON GNIELINKI (2013) nennt dagegen eine bisherige Produktion von 2.000 t Wolframit-, 20 t Bismuthinit- und 170 t Molybdänitkonzentrat. Als Bismutminerale treten gediegen Bismut, Bismuthinit, Bismutit und Bismut auf (BALL 1915).

Die Mineralisation in Bamford Hill ist auf ein rund 2,5 km langes und 0,5 km breites Areal begrenzt, in dem in vergreisten Graniten rund 70 minerali-

sierte Quarzgänge eingedrungen sind. Bamford Hill ähnelt damit der Wolframlagerstätte Wolfram Camp, die rund 25 km nördlich liegt. In den frühen 1980er Jahren explorierte Gold Copper Exploration Ltd. die Lagerstätte und ermittelte "Potential Resources" von 21,4 Mio. t Erz @ 510 pp W, 140 ppm Mo und 270 ppm Bi (entsprechend 5.780 t Bi-Inhalt). Nach verschiedenen Zwischeneigentümern ging Bamford Hill im Jahr 2011 auf die Deutsche Rohstoff AG und im Sommer 2014 auf die kanadische Almonty Industries Inc. über. Vor einer Fortsetzung des Bergbaus ist eine Definition der Reserven notwendig.

In der Region Chillagoe, die für ihre zahlreichen, meist jedoch nicht abbauwürdigen Gold- und Polymetall-Bismut-Vorkommen bekannt ist, hielt die 2013 in Insolvenz gegangene Kagara Pty Ltd. früher auch eine Lizenz über das **Shannon** Prospect. Das dortige Kupfer-Skarnvorkommen liegt rund 130 km westlich Cairns bzw. 5,5 km westlich Chillagoe. Bereits 1971 wurde eine „Inferred Resource“ von 1,01 Mio. t Erz @ 1,23 % Cu, 0,53 % Zn, 800 ppm Bi (entsprechend



Abbildung 21: Blick auf den Bamford Hill, Foto: BGR.

800 t Bi-Inhalt), 700 ppm Cassiterit, 20 ppm Ag und 1 ppm Au ermittelt.

Das **Dry River South** Bergwerk liegt rund 235 km südwestlich von Cairns, nordnordwestlich Greenvale, und ging im Jahr 2004 in Betrieb. Bis Ende 2011 war das Bergwerk mit einer mehrmonatigen Unterbrechung in Produktion und ist seitdem gestundet. Im Frühjahr 2013 wurden Bergwerk und Aufbereitungsanlagen von Consolidated Tin Mines Ltd. übernommen, die aber vor allem Interesse an der Aufbereitungsanlage haben. Dry River South ist wie die Nachbarlagerstätten Balcooma und Surveyor eine Zink-Silber-Blei-Kupfer-Gold-VMS-Lagerstätte. In den Zink-Bleierzen von Dry River South, untergeordnet auch den Kupfererzen der beiden Nachbarlagerstätten, ist Bismut auf mehrere Hundert ppm, in Dry River South bis zu 1.000 ppm, angereichert. Zum 30.06.2011 beliefen sich die verbliebenen Ressourcen in Dry River South auf 730.300 t @ 6,9 % Zn, 2,5 % Pb, 0,9 % Cu, 59 ppm Ag und 0,69 ppm Au. Dem entsprechend kann von verbliebenen Ressourcen von maximal 700 t Bi-Inhalt ausgegangen werden.

Östlich Mount Isa, 15 km östlich Cloncurry, wird das **Lorena** Goldprojekt von Malachite Resources Ltd. entwickelt. Hier lagern 203.200 t Gold-Bismut-Arsen-Kupfer-Kobalterz @ 8,7 ppm Au, wobei die hochgradigste Vererzung an mineralisierte Scherzonen gebunden ist. Das Gold ist mit gediegen Bismut und Bismuthinit verwachsen. Das Erz soll ab Ende 2013 innerhalb von zwei Jahren in einem letztendlich bis zu 70 m tiefen Tagebau gewonnen werden. Eine Ausbringung des Bismuts, dessen Gehalt im Erz bis zu 0,5 % beträgt, ist nicht geplant. Auch in der Umgebung von Lorena bzw. Cloncurry wurden weit verbreitet erhöhte Bismutgehalte angetroffen.

Der Ort **Biggenden** liegt rund 100 km südwestlich von Bundaberg im Südosten Queensland. Acht Kilometer südsüdwestlich des Ortes wurde von 1890 bis 1912 im Wesentlichen untertage erst Gold, dann ab 1901 verstärkt auch Bismut aus den dortigen Magnetitkarnerzen gewonnen. Zwischen 1934 und 1938 standen nur Bismut reiche Erzzone (gediegen Bismut, Bismuthinit) erneut in Abbau. 1996 wurde der bis dahin kleine Tagebau erweitert und bis 1999 auch Magnetiterz gefördert. Bei der Aufbereitung des Magnetiterzes fiel auch eine nicht-magnetische Fraktion an, die neben Bismut auch Arsen, Kupfer, Gold und

Kobalt als Wertmetalle enthielt. Die Aufbereitung dieses Metallkonzentrats erfolgte in Übersee. Bis Juni 1989 belief sich die Gesamtproduktion in Biggenden auf Konzentrate mit 185 kg Au- und 235 t Bi-Inhalt sowie 440.533 t Magnetit (MURRAY 1990). Bismut-Gold-Kupfer-Vererzungen sind auch aus zahlreichen anderen Vorkommen in der Nähe von Biggenden bekannt (SIEMON 1977). In der nahen Mt. Shamrock Goldlagerstätte ist Gold fast immer mit gediegen Bismut vergesellschaftet (ALLEN 1925). Dortiger Lizenzinhaber ist derzeit DGR Global Ltd.

Die **Mount Carbine** Wolframlagerstätte liegt rund 80 km nordwestlich Cairns, wurde 1883 entdeckt und lieferte bis Mitte der 1960er Jahre rund 2.800 t Wolframit-Scheelit- und 100 t Wolframit-gediegen Bismut-Mischerzkonzentrat (DE KEYSER & LUCAS 1968). Der Abbau wurde zwischen 1972 und 1986 wieder aufgenommen und erbrachte in diesem Zeitraum weitere 14.800 t Wolframit-Scheelit-Mischerzkonzentrat (FORSYTHE & HIGGINS 1990). Bis März 2012 war der Betrieb dann wieder gestundet, ist aber von Carbine Tungsten Ltd. seitdem wieder zum Leben erweckt worden. Nach der Aufbereitung alter Abgänge sollten ab 2014/15 die alten Halden und ab 2015 wieder frisches Erz aufbereitet werden. Lagerstättengeologisch handelt es sich um steil einfallende, teils mineralisierte Quarzgänge in einem 2,5 km langen und 0,5 km breitem Gebiet. Als primäre Erzminerale treten Wolframit, Molybdänit und gediegen Bismut auf. Als sekundäre Erzminerale finden sich Scheelit, Cassiterit, Pyrit, Pyrrhotin, Arsenopyrit, Zinkblende und Chalcocopyrit. Die Erzressourcen („Indicated & Inferred“) liegen bei 47,3 Mio. t @ 0,13 % WO<sub>3</sub>, die Haldenressourcen („Inferred“) bei 12 Mio. t @ 0,07 % WO<sub>3</sub>. Der Bismutgehalt ist nicht publiziert, vermutlich aber niedrig

Das **Cannington** Silber-Blei-Zink-Bergwerk liegt im westlichen Queensland, rund 200 km südöstlich von Mount Isa. 1990 wurde die Lagerstätte von BHP Billiton erworben, 1997 aufgefahren und ist seit 1999 in voller Produktion. Die sulfidische Erzmineralisation umfasst eine Vielzahl von Mineralien, darunter Bismuthinit (BALLEY 1998). Der Bi-Gehalt der Erze ist dennoch sehr niedrig und überschreitet selten 1 ppm (BODON 2002).

Im Jahr 1990 bildeten die damaligen australischen Firmen Dragon Resources Ltd. und Austmetl

Pty Ltd. ein Joint Venture zur Rückgewinnung von Bismut, Kupfer und Gold aus Flugstaubhalde der 1984 geschlossenen Kupfer-Gold-Hütte Mount Morgan. Man ging von einer Halde mit 4.300 t Material @ 5 % Bi aus. Aufgrund fallender Rohstoffpreise wurde dieses Vorhaben jedoch nicht umgesetzt.

### South Australia

Auch im Bundestaat South Australia existierten früher mehrere Goldminen, in denen auch Bismut gewonnen wurde. Am Bedeutendsten war das Balhannah Kupfer-Gold-Bismut-Bergwerk, rund 12 km nordwestlich Mt. Barker, in der ab 1869 der Abbau zunächst auf reiche oberflächennahe Kupfererze, danach zunehmend auf Bismut und später auch auf Gold umging. Die in Abbau stehenden, mit Pyrit, Chalcopyrit, Bismuthinit und Gold vererzten Quarz-Karbonatgänge enthielten so wunderschöne Stufen sowie Nuggets, das zahlreiche hiervon nicht eingeschmolzen, sondern von den Bergleuten und dem Management einbehalten wurden. Zwischen 1869 und 1875 wurden in Balhannah aus ca. 2.500 t Erz Konzentrate mit 170 t Cu- und 9 t Bi-Inhalt gewonnen (DREW 2011).

Die Polymetallagerstätten im Mt. Lofty Höhenzug, östlich Adelaide, wurden 1845/46 entdeckt. Die dortige Lagerstätte **Kanmantoo** bei Callington, 44 km südöstlich von Adelaide, lieferte mit Unterbrechungen bis 1938 geschätzt 55.000 – 61.000 t Erz, aus dem Konzentrate mit 5.100 t Cu-, 10,5 t Ag-, 100 t Pb-, > 50 t As- und nicht näher bekannten Mengen an Au- und Bi-Inhalt gewonnen wurden. 1971 wurde Kanmantoo erneut aufgeföhren und über fünf Jahre als Tagebau betrieben. 2004 wurde die Lagerstätte ein weiteres Mal, diesmal von Hillgrove Resources Ltd., exploriert und im Jahr 2011 neu eröffnet.

Die Gangmineralisation in Kanmantoo besteht aus Sulfiderzen, angereichert in dünnen Gängen, Lagen, aber auch fein verteilt, mit den Erzmineralen Chalcopyrit, Pyrrhotin und Magnetit in ungefähr gleichem Verhältnis, etwas weniger Pyrit sowie untergeordnet bzw. in Spuren Ilmenit, Cubanit, Pentlandit, Markasit, Mackinawit, Zinkblende, Bismuthinit, gediegen Bismut, Cobaltit, Bleiglanz, Molybdänit, Wolframit, Gold und Silber. Zum Ende Februar 2013 lagen die Ressourcen nach JORC in den inzwischen vier Tagebauen und alten Hal-

den bei 31,3 Mio. t Erz @ 0,78 % Cu, 132 ppm Bi (entsprechend 4.130 t Bi-Inhalt), 2,11 ppm Ag und 0,20 ppm Au inkl. Reserven von 22,1 Mio. t Erz @ 0,71 % Cu, 1,9 ppm Ag und 0,18 ppm Au.

Vom 01.02.2013 bis 31.01.2014 wurden von Hillgrove Resources 2,633 Mio. t Erz (mit rund 350 t Bi-Inhalt) gefördert und daraus 75.423 t Kupfererzkonzentrat @ 22,8 % Cu, 54,8 ppm Ag und 2,5 ppm Au aufbereitet, von denen 74.051 t verkauft bzw. über den Hafen von Adelaide nach China exportiert wurden.

Das Erz des unweit von Kanmantoo entfernt gelegenen Angas Blei-Zink-Kupfer-Silber-Gold-Bergwerks, das zwischen 2007 und Oktober 2013 von Terramin Australia Ltd. betrieben wurde, enthielt ebenfalls Bismut.

Nordöstlich und südwestlich von Angas verfügt Terramin Australia Ltd. über fünf zusammenhängende Explorationslizenzen auf einer Fläche von insgesamt 1.186 km<sup>2</sup> (Fleurieu Exploration Projekt) mit mehreren alten Kupfer-Gold-Bergwerken. Im **Pipeline Prospekt** der Bremer Explorationslizenz wurden in einer über 1,2 km Länge verfolgbaren Scherzone in oberflächennahen Gesteins- und Bodenproben bis zu 0,44 % Bi analysiert.

Bei **Port Pirie** betreibt die schweizerisch-belgische Nyrstar N.V., seit 2007 ein Zusammenschluss des australischen Bergbauunternehmens Zinifex Ltd. und der Zinkaktivitäten der belgischen Umicore SA., die weltgrößte Bleihütte. Die ursprüngliche Hütte wurde 1889 errichtet, um Bleierze aus den Lagerstätten bei Broken Hill zu verarbeiten. 1966 begann die Raffination von Zinkerzen. 1980 wurde die Anlage erweitert, um die ansteigenden Bismutgehalte in den Erzen aus Broken Hill in den Griff zu bekommen. In den dort erzeugten Bleierzkonzentraten lag der Bismutgehalt damals zwischen 100 und 500 ppm, durchschnittlich 200 ppm. Gegenwärtig beträgt die Kapazität der Hütte rund 245.000 t Blei, 60.00 t Zink, 500 t Silber, 1 t Gold (enthalten im Rohsilber), 4.000 t Kupfer sowie 80.000 t Schwefelsäure. Daneben werden Tellur-, Cadmium- und Thallium-Verbindungen produziert. Verarbeitet werden im Durchschnitt jährlich rund 300.000 t Buntmetallerzkonzentrate, von denen derzeit rund 50.000 t aus Broken Hill, 50.000 t aus der Century Mine bei Mount Isa, 70.000 t aus der Cannington Mine in Queensland (s. o.), 25.000 t aus der Roseberry Mine in





**Abbildung 22:** „Bismutkruste“ für den Export aus Port Pirie, Foto: BGR.

Tasmanien (s. u.) und der Rest aus verschiedenen gruppeneigenen Bergwerken in Süd- und Mittelamerika stammen (Nyrstar N.V., frdl. mdl. Mitt.). Im Jahr 2013 wurden aus diesen Erzkonzentrationen 179.000 t Blei, 30.000 t Zink (Inhalt in ZnO), 4.000 t Kupfer (Kathoden), 557 t Silber und 65.800 oz Gold (Inhalt im Rohsilber) gewonnen. Im Betterton-Kroll Prozess der Bleiraffination fällt zudem jährlich rund 300 t „Bismutkruste“ @ ca. 55 % Bi, 25 % Pb sowie wechselnden Anteilen von Ca und Mg an, die in dieser Rohform exportiert wird. Die bisherige Produktion soll sich verändern und Port Pirie mit Investitionen von 270 Mio. € bis Q1 2016 in eine „advanced metals recovery and refining facility“ umgebaut werden, in der dann aus Rückständen anderer Nyrstar-Hütten und Elektronikschrott auch Antimon, Bismut, Tellur, Cadmium, Thallium, Germanium, Gallium und Tantal ausgebracht werden sollen.

### New South Wales

Das **Doradilla** Zinnprojekt von YTC Resources Ltd. liegt südöstlich Bourke und besteht aus einem oberflächennahen zinnhaltigen Laterit, der von einem oder mehreren Zinn-Silikatskarnhori-

zonen mit Potenzial für eine beibrechende Ausbringung von Kupfer, Nickel, Silber, Indium, Bismut und Zink unterlagert wird. Die Skarnhorizonte besitzen eine streichende Länge von 16 km mit Zonen von oxidischer, verwitterter und primärer Zinnmineralisation. Der Zinnlaterit ist auf mindestens 2 km streichende Länge verbreitet. Zinn liegt als Varlamoffit  $[(\text{Sn,Fe})(\text{O,OH})_2]$  sowie untergeordnet Relikten von Cassiterit vor. Metallurgische Tests erbrachten eine schlechte Ausbringung des Zinns, so dass Doradilla nicht mehr im Zentrum der Explorationstätigkeiten von YTC Resources liegt.

Im Lizenzgebiet liegt auch die ehemalige Doradilla Kupfermine, aus der in den 1920er Jahren Kupfer und Silber gewonnen wurden. YTC Resources erbohrte dort eine bisher unbekannte Silber-Bismut-Ader, die bis zu 449 ppm Ag und 7.720 ppm Bi führt. YTC Resources hat bisher nur eine Berechnung der „Inferred“ Ressourcen des Laterithorizontes von 7,81 Mio. t Erz @ 0,28 % Sn vorlegen können. Die Metallgehalte im Laterit schwanken sehr stark und liegen bei 0,17 – 1,04 % Sn, 0,17 – 0,36 % Zn, 0,15 – 0,24 % Cu, 242 – 324 ppm (max. 1.822 ppm) Bi, 149 – 789 ppm As, 27 – 59 ppm Pb, 11 – 45 ppm In,

2 – 3 ppm Mo und 1 ppm Ag (www.ore.com.au), woraus sich eine theoretische Bismut-Ressource nur des Zinnlaterits von 1.900 – 2.500 t Bi-Inhalt ergibt.

**Kingsgate**, 35 km östlich von Glen Innes gelegen, war einst das zweitgrößte Molybdän produzierende Bergwerk Australiens. Zum Teil abgebaut wurde in einem 2,5 km<sup>2</sup> großen Gebiet zwischen 1877 und 1923 ein Gangschwarm von mindestens 99 teils hoch mit Bismut (bis zu 2,6 %), Molybdän (bis zu 2,2 %), Zinn und Wolfram mineralisierten Quarzgängen, aus denen rund 350 t Molybdän- und 200 t Bismut-Mineralkonzentrat @ 45 % Bi ausgebracht wurden. Seit 2003 wird die Lizenz über das Vorkommen von Auzex Exploration Ltd. gehalten, die bisher aufgrund der komplexen Struktur nur 23 Quarzgänge untersuchen und daraus nur eine sehr kleine JORC Ressource („Inferred“) von 150.000 t Erz (mit vermutlich nur rund 240 t Bi-Inhalt) ableiten konnte. Mitte 2008 wurde dennoch eine (nicht publizierte) Wirtschaftlichkeitsstudie abgeschlossen. Geplant ist danach eine Jahresproduktion von 250.000 t Erz @ 0,18 % Mo und 0,16 % Bi, aus dem 800 tpa Ammoniummolybdat, 100.000 tpa hochreines SiO<sub>2</sub> (@ 99,9 %) und 260 tpa Bismut gewonnen werden sollen. Zur Realisierung dieser Planung sucht Auzex Exploration Projektpartner.

Eines der größeren Silber-Zink-Blei-Bergwerke Australiens ist immer noch **Broken Hill** im äußersten Westen von New South Wales. Zum 30.06.2012 lagen die Ressourcen bei 22,7 Mio. t Erz, inkl. Reserven von 14,7 Mio. t Erz. Da das Erz aber nur 8 – 22 ppm Bi enthält (TONUI et al. 2003), lohnt sich nicht dessen Ausbringung. Der in den Ressourcen enthaltene Bismutinhalte liegt bei 180 – 500 t.

Die Kupfer-Zink-Silber-Blei-Erze des CSA Bergwerks von Glencore plc bei **Cobar** enthalten Bismut, das aber vermutlich nicht ausgebracht wird. Das Erz, größtenteils eine an Quarz-Chlorit-Scherzonen gebundene Chalcopyritvererzung, enthält durchschnittlich rund 20 ppm Bi, maximal 700 ppm Bi, das dort daraus aufbereitete Kupfer-Silbererzkonzentrat durchschnittlich 210 ppm Bi (www.ore.com.au). Das früher hergestellte Blei-erzkonzentrat enthielt dagegen rund 1.000 ppm Bi. Auch die Erze, die früher mehr im Zentrum des Cobar Erzdistrikts abgebaut wurden, führen wesentlich mehr Bismut (McCLATCHIE 1973).

2013 wurden aus dem CSA Bergwerk rund 158.000 t Kupfer-Silbererzkonzentrat mit entsprechend rund 33 t Bi-Inhalt gewonnen. Zum 31.12.2014 betragen die Ressourcen von CSA 12,4 Mio. t Erz, in denen Reserven von 5,4 Mio. t Erz enthalten waren. Die in CSA enthaltenen Bismutressourcen können dementsprechend auf 248 t, die Bismutreserven auf 108 t Bi-Inhalt geschätzt werden.

Die **Attunga** Kupferlagerstätte liegt 20 km nördlich von Tamworth. Sie wurde 1902 entdeckt und mit Unterbrechungen bis 1945 abgebaut. Insgesamt wurden damals 1.600 t Erz @ ca. 6 % Cu, 8 ppm Au und 150 ppm Ag gefördert. Auch Bi und Mo waren im Erz enthalten. In den Jahren 2009 – 2010 wurde das Gebiet durch Peel Exploration Ltd. näher erkundet und dabei eine größere Molybdän-Gold-Kupfer-Skarnvererzung mit Gehalten von 600 ppm Bi, maximal 1.000 ppm Bi, nachgewiesen. Sowohl eine Fortsetzung der Explorationsarbeiten als auch eine Ressourcenberechnung steht aus.

Immer wieder mal auf dem Explorationsprogramm von Junior Exploration Companies stehen auch die Wolfram-Bismut-Topas-Lagerstätten bei **Torrington**. Der letzte Abbau geht auf das Jahr 1982 zurück – inzwischen liegt ein Großteil der ehemaligen Explorationslizenzen jedoch im Bereich des Torrington State Forest bzw. der Torrington State Recreation Area. Die ehemalige Torrington Tungsten Mine enthielt immerhin nachgewiesene Reserven von 6 Mio. t Erz @ 0,2 % WO<sub>3</sub>, 17 % Topas und 500 ppm Bi, entsprechend 3.000 t Bi-Inhalt.

Das Bismutvorkommen von **Whipstick**, nahe Pambula, wurde schon 1877 entdeckt. Es stand zwischen 1891 bis 1927 und erneut zwischen 1943 bis 1945 in Abbau. Seit Beginn wurden Bismut (ca. 1 % Bi im Erz), Gold und Silber, dann aber nach 1912 auch Molybdän gewonnen. Die auf rund 2 km<sup>2</sup> verbreiteten zahlreichen kleinen Abbaustellen und Schächte lieferten historisch rund 17.000 t Erz, aus denen Konzentrate mit 343 t Bi- und 114 t Mo-Inhalt ausgebracht werden konnten (McCLATCHIE 1973). Lagerstättengeologisch handelt es sich um vererzte pegmatitische Feldspat und Glimmer reiche Quarzgänge im direkten Hangenden des Whipstick Adamellits. Als Erzminerale finden sich Molybdänit und Bismuthinit sowie untergeordnet gediegen Bismut,



Joséit, Tetradymit, gediegen Gold, Chalcopyrit, Arsenopyrit, Pyrit, Skutterudit und Uraninit. Eine neuere Exploration und Ressourcenberechnung stehen aus.

### Tasmanien

Bei Moina, 40 km südwestlich von Devonport im Nordwesten Tasmaniens, wurden schon vor über 100 Jahren polymetallische Kalksilikatskarnerze abgebaut. Mit Bismut mineralisiert sind dort die Skarne von Fletcher's Adit (Zink-Blei-Kupfer-Wolfram als Hauptwertmetalle, Gold, Silber und  $\approx 260$  ppm Bismut als Nebenmetalle), Ti Tree Creek (Eisen-Kupfer-Zinn als Hauptwertmetalle, Bismut als Nebenmetall) und v. a. Stormont (Bismut-Gold). Als Bismutminerale treten stets Bismuthinit sowie untergeordnet gediegen Bismut, Galenobismutit und Bismut-Tellur-Sulfide auf. Zudem sind in dieser Region die Skarnlagerstätten Moina (Zinn-Wolfram-Fluorit, vgl. Zinn und Fluorit) sowie Shepherd and Murphy (Zinn-Wolfram-Fluorit) bekannt.

Die Stormont Bismut-Goldmine stand zwischen 1928 und 1934 in Abbau und lieferte damals 6,33 t Bismutmineralkonzentrat @ 51 – 67 % ( $\approx 62,4$  %) Bi, 164 – 1.234 ppm ( $\approx 435$  ppm) Au und 214 – 360 ppm Ag (TAYLOR 1990, MACDONALD 2012). Gegenwärtig wird die Lizenz über Stormont von Frontier Resources Ltd. gehalten, die im Dezember 2013 begonnen hat, im Rahmen eines Joint-Ventures mit BCD Resources NL, das dortige verbliebene Erz in einem neuen Tagebau abzubauen, um es dann in BCD's Goldanlage in Beaconsfield, TAS, aufzubereiten. Frontier Resources errechnete für Stormont bei einem „cut-off grade“ von 0,5 ppm Au eine „Indicated“ Ressource von 150.772 t Erz @ 2,89 ppm Au, 3,82 ppm Ag und 1.699 ppm Bi, entsprechend 256 t Bi-Inhalt (MACDONALD 2012).

Auch ein Teil des Erzes der **Henty** Goldlagerstätte in Nordtasmanien, die von Unity Mining Ltd. abgebaut wird, ist neben Kupfer mit Tellurobismutit ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) – unbekanntes Gehaltes – mineralisiert.



**Abbildung 23: Blick in den Kara #1 Magnetit-Scheeliterztagebau im Nordwesten Tasmaniens, Foto: BGR.**

Die Blei-Zink- bzw. Polymetallagerstätten Tasmaniens stellen die klassische Quelle für eine beibehaltende Bismutmineralisation dar.

MMG Ltd., eine Tochterfirma der chinesischen Minmetals Corporation, baut die **Rosebery** Zink-Blei-Kupfer-Gold-Silber-VMS-Lagerstätte im Nordwesten Tasmaniens ab. In Rosebery wurden im Jahr 2014 aus 842.923 t Erz 154.786 t Zinkkonzentrat @ 53,9 % Zn, 37.227 t Bleierzkonzentrat @ 62,9 % Pb, 11.527 t Kupferkonzentrat @ 20,0 % Cu sowie 16.749 oz Rohgold mit 10.164 oz Au- und 5.904 oz Ag-Inhalt erzeugt und über den Hafen von Burnie zur Verhüttung nach Hobart und Port Pirie (s. o.) verschifft. Die Ressourcen von Rosebery (inkl. der South Hercules Teillagerstätte) zum 30.06.2014 betragen 17,9 Mio. t Erz, inkl. Reserven von 5,4 Mio. t Erz. Der Bismutgehalt des Erzes, das gediegen Bismut, Bismuthinit, Aikinit und andere Bismutminerale enthält, die in Rosebery mit Chalcopyrit vergesellschaftet sind, ist nicht publiziert, liegt aber nach SMITH & HUSTON (1992) vermutlich unter 100 ppm.

Bass Metals Ltd. plant die Auffahrung der Fossey Mineralisationszone der **Hellyer** Zink-Blei-Kupfer-Gold-Silber-Lagerstätte mit ebenfalls breibrechendem Bismut und Antimon. Hellyer stand bereits zwischen 1989 und 2000 durch Aberfoyle Resources Ltd. in Abbau. Die Fossey Zone beinhaltet Ressourcen von 800.000 t Erz @ 9,9 % Zn, 5,8 % Pb, 0,4 % Cu, 137 ppm Ag und 2,5 ppm Au. Daneben hält Bass Metals die Lizenzen über die Restvorräte der ehemaligen Bergwerke Hellyer mit 750.000 t Erz und Que River mit 680.000 t Erz. Die Bismutgehalte auch dieser Erze sind nicht publiziert.

Das Kupferkonzentrat von Mt. Lyell, einem Bergwerk der Vedanta Resources plc in NW-Tasmanien, enthält nur 10 – 14 ppm Bi.

Ein erhöhtes Potenzial für Bismut besitzen auch die Wolframlagerstätten Tasmaniens. Die **King Island** Scheelitlagerstätte stand bereits zwischen 1917 und 1990 mit Unterbrechungen in Abbau. King Island Scheelite Ltd. plant die Gewinnung ab 2015 fortzusetzen und hat dazu bereits eine „Definite Feasibility Study“ vorgelegt. Die Gesamtressourcen aller Teillagerstätten und alten Abgänge belaufen sich auf 9,11 Mio. t @ 0,90 % WO<sub>3</sub> inkl. Reserven von 5,20 Mio. t @ 0,70 % WO<sub>3</sub>. Das Skarnerz von King Island führt als Erzmine-

rale Molybdän armen Scheelit und untergeordnet Molybdänit, aber u. a. auch gediegen Bismut, Bismuthinit, Joséit und Gold. Die Bismutgehalte sind allerdings nicht publiziert.

Im Nordwesten von Tasmanien baut Tasmania Mines Ltd., ein Unternehmen der indischen Kanji Group Pty Ltd., seit 1978 die Kara Magnetit-Scheelit-Skarnlagerstätte ab. Gegenwärtig wird Scheeliterz noch im Kara #1 Tagebau mit verbliebenen Ressourcen von 1,4 Mio. t Erz @ 0,35 % WO<sub>3</sub> gewonnen. Die Magnetitreserven betragen im Vergleich 10,12 Mio. t Erz @ 50,8 % Fe. Als Erweiterungslagerstätten stehen Kara North und Eastern Ridge mit Scheelitressourcen von 3,88 Mio. t Erz @ 0,43 % WO<sub>3</sub> zur Verfügung. Hergestellt werden in einer im Jahr 2013 erweiterten Aufbereitungsanlage ein Magnetitkonzentrat für die Kohlenwäsche, Magnetitfeinerz, ein Scheelitkonzentrat @ 74 % WO<sub>3</sub> und 1 – 1,5 % MoS<sub>2</sub> sowie ein Bismuthinit-Goldkonzentrat @ 20 % Bi. Letzteres wird zur Verhüttung nach China verkauft (Tasmania Mines Ltd., frdl. mdl. Mitt.). Die produzierten Mengen sind allerdings nicht bekannt.

Zu den Zinnlagerstätten, die auf Tasmanien abgebaut wurden bzw. werden und ebenfalls Bismut enthalten, gehören als prominenteste Renison Bell, Mt. Bischoff und Cleveland. Cleveland wurde 1968 – 1986 durch Aberfoyle Ltd. in einem Untertagebergwerk abgebaut und produzierte in diesem Zeitraum 5.645.035 t Erz @ 0,68 % Sn und 0,28 % Cu, aus denen Konzentrate mit 23.519 t Sn-Inhalt und 9.691 t Cu-Inhalt hergestellt wurden. Lizenzinhaber von Cleveland seit April 2013 ist Elementos Ltd., die aktualisierte Ressourcen zum 31.03.2013 von

- 6,12 Mio. t Erz @ 0,68 % Sn und 0,24 % Cu („cut-off grade“ 0,35 % Sn)
- 3,85 Mio. t alte Abgänge @ 0,30 % Sn und 0,13 % Cu („cut-off grade“ 0,0 % Sn) sowie
- 3,98 Mio. t Erz in der in 500 m Teufe erbohrten Foley Zone @ 0,30 % WO<sub>3</sub> („cut-off grade“ 0,2 % WO<sub>3</sub>) + Mo + Bi

publizierte. Auf Nachfragen teilte Elementos Ltd. mit (frdl. schriftl. Mitt.), dass die Foley Zone neben WO<sub>3</sub> auch 330 ppm Sn, 260 ppm MoS<sub>2</sub>, 230 ppm Bi und 220 ppm Cu führt. Es ist allerdings unklar, ob diese jemals abgebaut werden wird.

## Victoria

Im Bundesstaat Victoria sind heute keine abbauwürdigen Vorkommen von Bismut mehr bekannt. Gediegen Bismut findet bzw. fand sich als Nebenmineral oder mit Gold verwachsen in zahlreichen Primär- und Seifengoldvorkommen, z. B. bei Ballarat, Beechworth/Pennyweight Flats, Maldon (Mal-donit =  $\text{Au}_2\text{Bi}$ ), Wombat Creek und Mount Wills.

Gediegen Bismut und Bismuthinit tritt zudem in Wolfram und untergeordnet Bismut führenden Quarzgängen am Mount Bendoc auf, die zwischen 1910 und 1918 aus 52 t abgebauten Erz 840 kg Wolframit erbrachten. Ab ca. 1860 bis 1913 wurden kleine Wolfram und Bismut führende Quarzgänge in der Wolfram Mine bei Pittong, 6 km westlich von Linton bzw. 35 km westlich von Ballarat abgebaut. Zwischen 1939 und 1943 wurden in der Womobi (= WolframMolybdänBismut) Wolframmine bei Thologolong, rund 70 km östlich von Albury, aus den dort in drei Erzkörpern auftretenden Quarzgängen ein Wolframkonzentrat @ 61,5 %  $\text{WO}_3$  und ein Mischerkonzentrat @ 8 %  $\text{WO}_3$ , 4 – 10 %  $\text{MoS}_2$ , 3 – 6 % Cu, 4 – 6 % Bi und 1 % Sn erzeugt.

Auch vom Mount Cavell sind Bismut führende Quarzgänge bekannt.

Einen Überblick über die Lagerstättenparameter der wichtigsten australischen Bismutvorkommen gibt Tabelle 11.

Obwohl Peko-Wallsend Ltd. nach 1977 bis heute der einzige Produzent von Bismuterzen in Australien war, gibt es nur völlig unterschiedliche Daten zur Bergwerksförderung von Bismut in Australien:

- Peko-Wallsend Ltd. publizierte Produktionszahlen der Geschäftsjahre bis 1985/86 (zitiert in ROSKILL 1976, 1990) und wurde danach durch North Broken Hill Holdings Ltd. übernommen, die nur noch Angaben zur Tonnage des verarbeiteten Erzes machten.
- In der Reihe Australian Mineral Industry Annual Review (AMIAR), die 1989 eingestellt wurde, finden sich – mit großen Berichtslücken – Produktionszahlen von Peko-Wallsend Ltd. bis 1986 (Geschäftsjahr 1985/86).
- Das Australian Bureau of Statistics publizierte Daten zur Bergwerksförderung von Bismut in Australien bis 1976/77.

**Tabelle 11: Gehalte, Ressourcen und Reserven von Bismut-Lagerstätten Australiens.**

Lagerstätte	Bundesstaat	Gehalt (ppm Bi)	Ressource (t Bi-Inhalt)	Produktion (t Bi-Inhalt)
Rover 1	Northern Territory	1.400	9.520	-
Jervois	Northern Territory	600	8.100	-
Juno/Tennant Creek	Northern Territory	6.000	6.200 – 7.900	-
Magnum	Western Australia	200	6.400	-
Bamford Hill	Queensland	270	5.780	-
Kanmantoo	South Australia	132	4.130	350
Torrington Tungsten	New South Wales	500	3.000	-
Orlando/Tennant Creek	Northern Territory	1.000	2.200	-
Doradilla	New South Wales	242 – 324	1.900 – 2.500	-
Gecko/Tennant Creek	Northern Territory	1.000	1.500	-
Shannon	Queensland	800	800	-
Dry River South	Queensland	bis 1.000	max. 700	-
Wolfram Camp	Queensland	420	300	-
Kingsgate	New South Wales	1.600	240	-
Stormont	Tasmania	1.699	156	ja
Golden Grove	Western Australia	?	?	ja
Rosebery	Tasmania	< 100	?	ja
Kara	Tasmania	?	?	ja
Golden Grove	Western Australia	?	?	ja



**Tabelle 12: Bergwerksproduktion von Bismut bzw. von Bismut - und Kupfer-(Bismut)-Konzentraten und deren Bi-Inhalt in Australien, nach australischen Quellen (soweit publiziert).**

Jahr	Australian Bureau of Statistics (Year Book Australia)				Peko-Wallsend Ltd.		Jahr	Australian Mineral Industry Annual Review			
	Bi-Konzentrate (t)	Bi-Inhalt in Bi-Konzentraten (t)	Bi-Inhalt in Cu-Konzentraten (t)	Bi-Inhalt gesamt (t)	Bi-Produktion (t)	Bi-Inhalt gesamt (t)		Bi-Konzentrate (t)	Bi-Inhalt in Bi-Konzentraten (t)	Bi-Inhalt in Cu-Konzentraten (t)	Bi-Inhalt gesamt (t)
1969/70	1.896	233	5	238	192		1970	1.717	192	192	
1970/71	1.281	325	22	348	209 <sup>4)</sup>		1971	1.582	256	269	
1971/72	1.609	343	12	355	318 <sup>5)</sup>		1972	1.502	389	398	
1972/73	2.701	444	581	1.025	348 <sup>6)</sup>		1973	2.083	422	459	
1973/74	4.388	690	484	1.239	535		1974	2.739	142	1.170	
1974/75	4.829	817	34	891	755		1975	5.270	884	884	
1975/76	5.338	853	203	1.057	778		1976	5.117	769	812	
1976/77	5.743	756	183	891	794		1977	4.172	912	912	
1977/78					903		1978		1.054	1.054	
1978/79					998		1979		1.189	1.189	
1979/80					1.202		1980				
1980/81					1.179 <sup>7)</sup>		1981				
1981/82					1.540		1982				
1982/83					1.327		1983	7.220 <sup>11)</sup>			
1983/84					1.358		1984				
1984/85					1.160		1985	6.109 <sup>13)</sup>	2.541		
1985/86					988		1986	6.729 <sup>14)</sup>	2.998		
1986/87					~350		1987				
1987/88					~400		1988				
1988/89					~400		1989				

Weitere Bergwerksförderung von Bismut außer in NT (AMJAR): 1970: 6 t in QLD, 2 t in WA, 1971: 17 t in QLD, 1972: 20 t in TAS, 12 t in QLD, 1973: 5 t in TAS, 1975: 2 t in NSW, 39 t in QLD, 1976: 20 t in QLD.

<sup>1)</sup> aus Cu-Konzentraten der Mount Diamond Mine, NT, nicht in Bi-Gesamtproduktion enthalten, <sup>2)</sup> in 9.377 t Cu-Konzentraten von Peko-Wallsend Ltd., <sup>3)</sup> in 62.431 t Cu- und Au-Konzentraten von Peko-Wallsend Ltd., zusätzlich Produktion von 7.073 t Filterstaub @ ca. 90 % Bi, <sup>4)</sup> aus Bergwerksförderung insgesamt 1.270 t Konzentrate mit 239 t Bi-Inhalt, <sup>5)</sup> aus Bergwerksförderung insgesamt 1.490 t Konzentrate mit 360 t Bi-Inhalt, <sup>6)</sup> aus Bergwerksförderung insgesamt 11.460 t Konzentrate mit 454 t Bi-Inhalt, <sup>7)</sup> aus Bergwerksförderung insgesamt 9.275 t Bi-Konzentrat, <sup>8)</sup> 1980 wurden durch Peko-Wallsend Ltd. 48.527 t Bi- und Cu-Konzentrate produziert, <sup>9)</sup> 1981 wurden durch Peko-Wallsend Ltd. 10.462 t Bi- und 66.162 t Cu-Konzentrate produziert,

<sup>10)</sup> 1982 wurden durch Peko-Wallsend Ltd. 6.758 t Bi- und 33.370 t Cu-Konzentrate produziert, <sup>11)</sup> 1983 wurden durch Peko-Wallsend Ltd. 8.957 t Bi- und 40.800 t Cu-Konzentrate produziert,

<sup>12)</sup> 1984 wurden durch Peko-Wallsend Ltd. 7.019 t Bi- und 20.167 t Cu-Konzentrate produziert, <sup>13)</sup> 1985 wurden durch Peko-Wallsend Ltd. 8.774 t Bi- und 12.815 t Cu-Konzentrate produziert,

<sup>14)</sup> 1986 wurden durch Peko-Wallsend Ltd. 1.489 t Bi- und 4.352 t Cu-Konzentrate produziert.

- Der ehemalige US Bureau of Mines publizierte genaue Daten zur Bergwerksförderung bis zum Jahr 1984 und ging danach – bis 1991 – auf Schätzungen über.
- Der British Geological Survey publizierte genaue Daten zur Bergwerksförderung zwischen 1972 und 1981 und schätzt seitdem – bis 2010 – die Bergwerksförderung.

Alle Daten(reihen) sind unterschiedlich und weichen zum Teil, nicht nur wegen der Berichtszeiträume, stark voneinander ab (vgl. Tab. 12).

Zielländer der in Australien produzierten und exportierten Bleierzkonzentrate (598.510 t) waren im Jahr 2014 zu 61,1 % China, zu 14,3 % die Republik Korea, zu jeweils 10,8 % Belgien und Japan sowie zu 4,5 % Kanada. Die Kupfererzkonzentrate (2.173.208 t) gingen zu 50,6 % nach China, zu 22,1 % nach Japan, zu 12,2 % nach Indien, zu 6,2 % in die Republik Korea und zu 4,6 % in die Philippinen. Das in den entsprechenden Erzkonzentraten enthaltene Bismut wird größtenteils in diesen Ländern extrahiert bzw. raffiniert.

#### Literatur

AHMAD, M., WYGRALAK, A. S. & FERENCI, P. A. (2009): Gold deposits of the Northern Territory (2<sup>nd</sup> Ed.-updated by WYGRALAK A. S. & SCRIMGEOUR, I. R.). – Northern Territory Geological Survey, Report, **11**: 131 S., 97 Abb., 11 Tab., 1 Anh.; Darwin. – URL: [http://www.nt.gov.au/d/Minerals\\_Energy/Geoscience/Content/File/Pubs/Report/NTGS-Rep11.pdf](http://www.nt.gov.au/d/Minerals_Energy/Geoscience/Content/File/Pubs/Report/NTGS-Rep11.pdf).

ALLEN, R. (1925): Bismuth ores. – Imperial Institute, Monograph, 62 S., zahlr. Tab. und Karten; London.

BALL, L. C. (1915): The wolfram, molydenite and bismuth mines of Bamford, North Queensland. – Geol. Surv. Queensland, Publ., **248**: 78 S., 8 Abb., 18 Fotos, 3 topog. Karten, 1 geol. Karte; Brisbane.

BALLEY, A. (1998): Cannington silver-lead-zinc deposit – In: BERKMAN, D. A. & MACKENZIE, D. H. (Hrsg.): Geology of Australian and Papua New Guinean Mineral Deposits. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph, **22**: 783 – 792, 6 Abb., 2 Tab.; Melbourne.

BODON, S. B. (2002): Geodynamic evolution and genesis of the Cannington Broken Hill-type Ag-Pb-Zn deposit, Mount Isa Inner, Queensland. – Ph. D. Dissertation, University of Tasmania: XII + 337 S., 113 Abb., 42 Tab., 5 Anh., Hobart.

DE KEYSER, F. & LUCAS, K.G. (1968): Geology of the Hodgkinson and Laura basins, north Queensland. – Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Bull., **84**: 254 S., 35 Abb., 9 Tab., 24 Taf., 1 Anh.; Melbourne. – URL: [http://www.ga.gov.au/corporate\\_data/147/Bull\\_084.pdf](http://www.ga.gov.au/corporate_data/147/Bull_084.pdf)

DREW, G. (2011): Tour 3: Mines in the Hahndorf – Hallett Cove area. – In: Proceedings of the Australian Mining History Association Annual Conference, Hahndorf, South Australia, 12 – 18 September 2011: 53 – 64, 15 Abb.; o. O. – URL: <http://www.mininghistory.asn.au/wp-content/uploads/2011/10/2011-proc.pdf>.

EDWARDS, G. C., BOOTH, S. A. & COZENS, G. J. (1990): White Devil gold deposit. – In: HUGHES, F. E. (Hrsg.): Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph, **14**: 849 – 855, 6 Abb.; Melbourne.

FORSYTHE, D. L. & HIGGINS, N. C. (1990): Mount Carbine tungsten deposit. – In: HUGHES, F. E. (Hrsg.): Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph, **14**: 1557 – 1560, 2 Abb.; Melbourne.

LE MESSURIER, P., WILLIAMS, B. T. & BLAKE, D. H. (1990): Tennant Creek Inlier – Regional geology and mineralisation. – In: HUGHES, F. E. (Hrsg.): Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph, **14**: 829 – 838, 4 Abb., 2 Tab.; Melbourne.

MACDONALD, G. (2012): Frontier Resources Ltd. Stormont Gold + Bismuth Project Resource Estimate April 2012. – 130 S., 86 Abb., 21 Tab., 4 Anh.; Hagley, TAS. – URL: <http://www.torque-mining.com.au/wp-content/uploads/2013/07/Stormont-Feasibility-Study-18Jun13-App-3-Resource-Report.pdf>.

McCLATCHIE, L. (1973): The occurrence of bismuth in the Lachlan Fold Belt in New South Wales. –



Proc. Australasian Inst. Min. Metall., **248**: 27 – 36, 9 Abb., 1 Tab.; Parkville, VIC.

MURRAY, C. G. (1990): Tasman Fold Belt in Queensland. – In: Hughes, F. E. (Hrsg.): Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph, **14**: 1431 – 1450, 2 Abb., 2 Tab.; Melbourne.

ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1976): The economics of bismuth. – Fourth Ed.: 113 S., 70 Tab., 4 Anh.; London.

SIEMON, J. E. (1977): Mount Biggenden magnetite and bismuth mine. – In: DAY, R. W. (Hrsg.) Lady Elliot Island – Fraser Island – Gayndah – Biggenden. – Geol. Soc. Australia Inc., Queensland Division, Guidebook 1977 Field Conference, 11 – 13 June 1977: 81 – 83, 1 Tab.; Brisbane. – URL: [http://www.qld.gsa.org.au/1977%20Guidebook\\_files/1977%20Lady%20Elliot%20Island.pdf](http://www.qld.gsa.org.au/1977%20Guidebook_files/1977%20Lady%20Elliot%20Island.pdf).

SMITH, R. N. & HUSTON, D. L. (1992): Distribution and association of selected trace elements at the Rosebery deposit, Tasmania. – Econ. Geol., **87**, 3: 706 – 719, 8 Abb., 3 Tab.; Lakewood, CO.

SULLIVAN, C. J. (1946): The Pioneer Mine, Hatches Creek. – Dept. of Supply and Shipping: Mineral Resources Survey, Records, 1946/7: 7 S.; Canberra. – URL: [http://www.ga.gov.au/corporate\\_data/9775/Rec1946\\_007.pdf](http://www.ga.gov.au/corporate_data/9775/Rec1946_007.pdf).

TAYLOR, A. C. (1990): Gold bearing skarns from the Moina area, Northwest Tasmania. – Centre for Ore Deposits and Exploration Studies, Geol. Dept., University of Tasmania, B.Sc. thesis: XIII + 113 S., 29 Abb., 11 Tab., 40 Taf., 8 Anh., 7 Karten; Hobart, TAS – URL: [http://eprints.utas.edu.au/11681/2/Whole-Taylor,\\_A.C.,\\_BSc\\_thesis,\\_1990.pdf](http://eprints.utas.edu.au/11681/2/Whole-Taylor,_A.C.,_BSc_thesis,_1990.pdf).

TONUI, E., DE CARITAT, P. & LEYH, W. (2003): Geochemical signature of mineralization in weathered sediments and bedrock, Thunderdome prospect, Broken Hill region, western New South Wales, Australia: implications for mineral exploration under cover. – Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, **3**: 263 – 280, 13 Abb., 5 Tab.; London – URL: [http://crcleme.org.au/Pubs/guides/curnamona/Thunderdome%20prospect\\_Tonui%20et%20al%202003.pdf](http://crcleme.org.au/Pubs/guides/curnamona/Thunderdome%20prospect_Tonui%20et%20al%202003.pdf).

WEDEKIND, M. R. & LOVE R. J. (1990): Warrego gold-copper-bismuth deposit. – In: HUGHES, F. E. (Hrsg.): Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph, **14**: 839 – 843, 4 Abb.; Melbourne.

YATES, K. R. & ROBINSON, P. (1990): Nobles Nob gold deposit. – In: HUGHES, F. E. (Hrsg.): Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph, **14**: 861 – 865, 4 Abb.; Melbourne.



## Belgien



Belgien ist hinter China mit sehr großem Abstand zweitgrößter Produzent von Raffinadebismut weltweit, wobei Bismut weit vorwiegend aus Blei-Bismut-Barren der Bleiproduktion gewonnen wird.

Die 1948 in Tilly, Wallonisch-Brabant, gegründete Sidech (Société Industrielle d'Etudes et d'Exploitations Chimiques) S. A. verschmolz im Jahr 2007 mit der britischen Mining and Chemical Products Ltd. (MCP) (vgl. Großbritannien) zur MCP Group S.A. und wurde als diese im Jahr 2011 von der kanadischen 5N Plus Inc. erworben. 5N Plus stieg damit zum größten Produzenten von Raffinadebismut bzw. Bismutprodukten in Europa auf. Verarbeitet werden in Tilly alle Arten von bismuthaltigen Produkten und Rückständen, vor allem aber aus aller Welt zugekaufte Blei-Bismut-Barren der

Bleiproduktion mit im Mittel 10 % Bi. Die Kapazität in Tilly liegt bei ca. 2.000 t Raffinadebismut pro Jahr, die Produktion bei rund 1.000 tpa (5N Plus, frdl. mdl. Mitt.). Da die Menge des selbst raffinierten Bismuts zur Produktion der von der 5N Plus angebotenen Produkte auf Bismutbasis bei weitem nicht ausreicht, werden jährlich große Mengen an Raffinadebismut importiert. Die in Tilly produzierten Bismutprodukte werden dann wieder in alle Welt exportiert.

Seit 1887 existiert am Standort Hoboken, nahe Antwerpen, eine Aufbereitungsanlage für Silber- und Bleierze. Später wurden auch andere, komplexere Metallerze verarbeitet und seit 1995 die Anlage zu einem der weltweit führenden Aufbereitungsstandorte für Elektroschrott umgebaut. Inzwischen werden in Hoboken durch die Umicore



**Abbildung 24:** Raffinadebismut aus eigener Produktion bei der 5N Plus in Tilly, Foto: BGR.

SA jährlich über 300.000 t sehr verschiedenes edelmetallhaltiges Sekundärmaterial (Gemisch aus WEEE, Katalysatoren, Nebenprodukte von NE-Metallhütten u. v. a. m.) recycelt und daraus bei Rückgewinnungsraten von > 95 % die 17 Metalle Gold, Silber, Platin, Palladium, Rhodium, Ruthenium, Iridium, Kupfer, Blei, Nickel, Zinn, Bismut, Selen, Tellur, Antimon, Arsen und Indium in einem Universalprozess und seit neuestem auch Kobalt (Lithium, Seltene Erden) und Gallium in Spezialprozessen abgetrennt und raffiniert.

Vor dem Umbau 1995 besaß Hoboken eine Jahreskapazität von Produkten mit 630.000 t Cu-, 135.000 t Zn-, 125.000 t Pb-, 8.000 t Sn-, 6.400 t Co-, 2.400 t Ag-, 300 t Bi-, 240 t Se- und 50 t Ge-Inhalt (ROSKILL 1976). Die nach dem Umbau erreichten Kapazitäten sind nicht bekannt. Nur die Höhe der Edelmetallproduktion, die durchschnittliche Gesamtproduktion an den Sondermetallen Zinn, Selen, Tellur, Indium, Antimon, Bismut, Arsen (4.100 t) und die neuen Kapazitäten von Tellur (150 tpa), Indium (50 tpa) und Selen (600 tpa) wurden inzwischen von der Umicore SA offengelegt. Bzgl. Bismut hat sich Umicore jedoch entschieden, kein Raffinadebismut, sondern ebenfalls nur noch Blei-Bismut-Barren zu erzeugen, die an 5N Plus im unweit entfernt gelegenen Tilly verkauft werden.

Während die Produktionskapazität von Raffinadebismut in Belgien damit grob auf 2.000 tpa geschätzt werden kann, ist die genaue Höhe der Produktion unbekannt. Historische Angaben zur Produktion im Zeitraum 1968 bis 1989, vermutlich vollständig aufbauend auf Angaben der damaligen Sidech S.A., liegen aus ROSKILL (1976, 1990) vor (vgl. Tab. 13). Für die Jahre danach schätzte das US Bureau of Mines bzw. der US Geological Survey in seinen Minerals Yearbooks bzw. Mineral Industry Surveys die belgische Raffinadeproduktion bis ins Jahr 2006

auf 700 – 1.000 tpa, seitdem aber auf 500 tpa. Rechnet man dagegen die ungefähren Angaben zur Weltbismutproduktion von Mark Fickling, ehemaliger Geschäftsführer der britischen Mining and Chemical Products Ltd. in den Metals & Minerals Annual Reviews zurück (vgl. Kap. 4), ergeben sich zumindest für die 2. Hälfte der 1990er Jahre wesentlich höhere Werte.

#### Literatur

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1976): The economics of bismuth, Fourth Edition 1976. – 113 S., 70 Tab.; 4 Anh.; London.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth. – Eighth Edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.

**Tabelle 13: Produktion von Raffinadebismut (in t) für die Jahre 1970 bis 1989 in Belgien, nach ROSKILL (1976, 1990).**

1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
297	334	539	744	843	885	790	670	620	444
1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
360	281	453	450	392	614	989	847	1.035	895

## Bolivien



Der bolivianische Zinngürtel enthält in seiner gesamten Ausdehnung von der Cordillera Real im Norden bis zur Cordillera de Lipez nahe der Grenze zu Argentinien im Süden zahlreiche Vorkommen von Bismuterzen. Meist kommen die Bismuterze auf gleicher Lagerstätte mit Zinn-, Zinn-Silber- und Wolframerzen verschiedener Bildungstemperatur vor. Von ihnen sind die Zinnpegmatite, Wolframpegmatite und pegmatitischen Quarzgänge arm an Bismut. Auch die hypothermalen Zinnerzgänge führen mit wenigen Ausnahmen (z. B. Carmen in der Cordillera Real) Bismutminerale nur dann, wenn auch Sulfide auftreten (z. B. Chacaltaya in der Cordillera Real oder Caracoles in der Cordillera Quimsa Cruz). Frei von Bismutmineralen sind typischerweise epithermale Zinn- und Wolframlagerstätten. Nur ausnahmsweise finden sich Bismutminerale in Lagerstätten, die arm an Cassiterit, Stannit und Wolframit, dafür aber reich an Zinkblende und Bleiglanz sind. Reichlich sind dagegen Bismuterze auf hydrothermalen und hypothermalen Gängen entwickelt, die gleichzeitig reich an Pyrit und/oder Pyrrhotin sowie Chalcopyrit, aber verhältnismäßig arm an Wolframit und praktisch frei von Cassiterit sind (z. B. Tasna, Chorolque-Espiritu Santo, Esmoraca oder Hucumarini in der Cordillera Real) (BANSE et al. 1964).

Primär liegt Bismut meist als Bismuthinit vor, während gediegen Bismut und Wittichenit mengenmäßig zurücktreten. Auch in den wenigen Seifen herrscht gediegen Bismut vor. Die meist längst erschöpften Vorkommen mit sekundären Bismutmineralen zeichneten sich häufig durch ihren hohen Goldgehalt aus und standen deswegen zuerst in Abbau (BANSE et al. 1964).

In der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts hat Bolivien rund 10.100 t Bi-Inhalt in Form von Scheiderzen, Konzentraten und Matte für den Weltmarkt geliefert, doch setzte bereits nach 1930 ein deutlicher Rückgang der Produktion aufgrund Erschöpfung oder Verarmung der Lagerstätten ein. Rund  $\frac{2}{3}$  der Gesamtproduktion Boliviens im damaligen Zeitraum stammte aus der Bismutlagerstätte Tasna, aus der Bismut in Form von

Matte @ 88 – 90 % Bi und 3 % Cu, bismutreichen Cottrell-Stäuben und handgeschiedenen oxidischen Erzen @ 28 – 30 % Bi ausgebracht wurde (s. u.). Weitere nennenswerte Produzenten Mitte des 20. Jahrhunderts waren die Zinn-Wolfram-Bismut-Silber-Erz-Gänge des Chorolque, das Zinn-Wolfram-Bergwerk Caracoles und das Zinn-Silber-Blei-Bergwerk Chocaya-Telamay (BANSE et al. 1964). In zahlreichen Lagerstätten mit geringeren Bismutgehalten gelangte das Bismut mit den Bergen auf Halde bzw. ging in den Aufbereitungsabgängen verloren (WOLF & SANCHEZ 1976).

Zwischenzeitlich sind die Hauptproduzenten von Bismuterzen in der Cordillera Illampu die Wolframitbergwerke Hucumarini (Erz @ 2 – 5 % Bi) und Mercedes del Illampu (Erz @ 0,5 – 1 % Bi) bei Millipaya am Rio Sorata sowie der Gold-Bismut-Erzgang Carmen zwischen Union und Milluni bei La Paz. Auch die Zinn-Wolframerze von Chojlla sind mit Bismuthinit vergesellschaftet. In Caracoles in der Cordillera Quimsa Cruz, rund 80 km südöstlich von La Paz, wird Bismut weiterhin als Nebenprodukt von Cassiterit gewonnen. Weitere Bismutlieferanten sind die Bergwerke von Santa María (Gold-Bismut-Erzgang, Abbau seit 1916), Cónдор (Bismut-Stockwerkslagerstätte), Esmoraca (Ganggruppe mit Gold und Bismut), Candelaria (50 cm mächtiger Erzgang mit Bismuthinit, Tetraedrit und Bismut) und Cerro Bonete – Bolívar (Gang und Erzfall mit AgBi-Sulfiden, Bismuthinit, Chalcopyrit und Pyrit). 25 km westnordwestlich von Potosí soll der Cerro Turqui noch eine größere, erst angeritzte Bismutlagerstätte enthalten.

Bekannteste und immer noch bedeutendste bolivianische Bismutlagerstätte, zudem eine von weltweit nur zwei Lagerstätten mit Bismut als primärem Hauptwertmetall, ist jedoch Tasna. Dieser ca. 4.900 m hohe Berg überragt das Becken von Atocha um 600 – 700 m und besteht ab 4.350 m Meereshöhe aus hartem Quarzturmalinhornfels. Mehrere verkieselte Quarzporphyrgänge weisen auf eine granitische Intrusion in maximal 1 km Teufe hin. Die Gänge im Hornfels führen



vor allem Wolframit, weit untergeordnet auch Cassiterit und Bismuthinit. Die an Bismuterzen reichere Ganggruppe nimmt am Nordosthang in 4.200 – 4.500 m Höhe eine Fläche von etwa 0,25 km<sup>2</sup> ein. Die Füllung der 20 – 80 cm, stellenweise bis 2 m mächtigen Gänge, besteht bis zu 90 % aus Sulfiden (Bismuthinit, Pyrrhotin, Pyrit und Chalcocopyrit) als primäre Haupterzminerale. Dazu kommt Zinkblende mit Einschlüssen von Stannit sowie Wolframit, Arsenopyrit, Siderit, Jamesonit und Gold, letzteres mit einem Gehalt von durchschnittlich 2 ppm im Erz. Gediegen Bismut, das nur in den oberen Gangteilen reichlich auftritt, bildet derbe Massen im ansonsten vorherrschenden Bismuthinit. Die 30 – 60 m tiefe Oxidationszone führte auch sekundäre Bismutminerale, die in dem stockwerkartigen Vorkommen San Carlos, südwestlich des Hauptgangsystems, im Tagebau gewonnen wurden. Der Bismutgehalt der Erze des Tasna erreicht lokal 8 %, nimmt aber mit zunehmender Teufe ab und liegt dann 200 m unter Gelände bei meist 1 – 1,5 %, nur

stellenweise noch 2 – 5 %. Eluviale Bismutseifen wurden früher östlich der primären Lagerstätte bei Pueblo Rosario gewonnen (BANSE et al. 1964).

Anfang der 1990er Jahre wurden die Reserven der Lagerstätten am Tasna auf 700.000 t Erz @ 1,7 % Bi (= 11.900 t Bi-Inhalt), 1,18 % WO<sub>3</sub>, 0,6 % Cu, 0,3 % Sn und 1,5 ppm Au berechnet, jedoch 1996 auf 400.000 – 500.000 t Erz @ 1,47 % Bi (= 5.900 – 7.300 t Bi-Inhalt), 1,28 % Cu + Au + Ag + W korrigiert. Heute werden diese durch die Cooperativa Minera Locatarios Tasna Ltda. abgebaut und in einer angeschlossenen Aufbereitungsanlage monatlich bis zu 40 t Wolframmineralkonzentrat @ > 70 % WO<sub>3</sub> sowie 100 t Bismutmineralkonzentrat @ 22 % Bi (in 2014 Ø 60 tpm @ Ø 15,14 % Bi) produziert. Damit ist Tasna weiterhin der größte Bismutkonzentratproduzent Boliviens.



**Abbildung 25:** Blick auf die Tasna Mine am Cerro Tasna, Atocha-Quechisla Distrikt, Nor Chichas Provinz, Potosí Department, Bolivien, im Jahr 1993, Foto: Rock Currier.

**Tabelle 14: Bergwerks- und Raffinadeproduktion von Bismut (in t Bi-Inhalt) in Bolivien.**  
**Quelle: Reihen: World Mineral Statistics des BGS und Minerals Yearbook des USGS**  
**bzw. Minerals Yearbook/Mineral Industry Survey des ehemaligen USBM.**

Jahr	Bergwerksproduktion nach BGS	Bergwerksproduktion nach USGS/USBM	Raffinadeproduktion nach USGS/USBM
1970		608	
1971		667	
1972		586	
1973		580	
1974	614	621	
1975	603	611	
1976	612	612	
1977	680	651	586
1978	482	307	292
1979	10	10	0
1980	11	11	41
1981	11	11	6
1982	5	5	18
1983	6	6	0
1984	3	3	0
1985	159	159	0
1986	43	45	0
1987	1	1	0
1988	13	13	0
1989	41	41	0
1990	68	68	137
1991	0	0	0
1992	0	0	30
1993	0	0	7
1994	0	0	36
1995	k. A.	121	19
1996	k. A.	348	28
1997	k. A.	684	55
1998	k. A.	1.032	83
1999	0	32	19
2000	0	6	14
2001	0	8	66
2002	20	20	88
2003	72	72	51
2004	62	62	32
2005	44	44	0
2006	155	155	1
2007	147	147	0
2008	150 <sup>1)</sup>	28	92
2009	54	54	73
2010	87	87	0
2011	41	41	61
2012	10 <sup>2)</sup>	10 <sup>2)</sup>	0
2013	10		20
2014	11 <sup>3)</sup>	11 <sup>3)</sup>	55

<sup>1)</sup> Richtig sind nach Memoria del Período 2010-2012, Asociación Nacional de Mineros Medianos: 28 t,

<sup>2)</sup> Richtig sind nach Memoria del Período 2010-2012, Asociación Nacional de Mineros Medianos: 8 t,

<sup>3)</sup> nach Ministerio de Minería y Metalúrgica, k. A. = keine Angabe

Die Arbeiten an der ersten Bismuthütte Boliviens begannen im Oktober 1969 durch die belgische Firma Sidech S.A. bei Telamayu. Dieser Ort liegt zentral nahe Tasna und anderen Bergwerken im Quechisla Lagerstättendistrikt. Im Mai 1972 wurde die Hütte mit einer Kapazität von 400 t Konzentrat pro Monat bzw. 800 t Rohbismut @ 90 – 95 % Bi pro Jahr eröffnet. Im Frühjahr 1976 folgte im Auftrag der staatlichen Corporacion Minera de Bolivia (COMIBOL) die Erweiterung um eine Raffinerie mit einer Jahreskapazität von 550 t Bismutmetall @ 99,99 % Bi. 1980 ging die Fundición Bismuto Telamayu aber schon wieder vom Netz und wurde erst im November 2008 nach Investitionen von 1 Mio. US\$ mit einer Monatskapazität von neu 120 t Bismutmetall, zzgl. der Ausbringung von Antimon, Arsen, Kupfer, Zinn und Wolfram, wiedereröffnet. Neu ist auch die Verhüttung des angelieferten Konzentrats zuerst zu Rohbismut @ > 87 % Bi (in 2014 @ Ø 90,90 % Bi), die weitergehende Raffination zu Bismutmetall @ 97 % Bi und letztendlich zu Reinbismut @ > 99,9 % Bi (in 2014 @ Ø 99,998 % Bi). Probleme liegen derzeit in der unzureichenden Energie- und Konzentratversorgung, die ausschließlich auf Tasna ausgerichtet ist. Um den Rohstoffbezug auf eine breitere Basis zu stellen hat COMIBOL mit der Exploration neuer Bismutlagerstätten begonnen und meldete auch schon erste positive Ergebnisse.

Die Empresa Metalúrgica Vinto ist eine Zinnhütte in Oruro und wurde im Januar 1971 eröffnet. Sie war geplant, um den Export von Zinnsteinkonzentraten aus Bolivien zu stoppen und die Zinnerze aus den großen Bergwerken Huanuni und Colquiri zu verarbeiten. 1999 wurde das Unternehmen privatisiert, an Allied Deals plc. verkauft, aber im Februar 2007 erneut verstaatlicht. Neben Zinn, werden durch EM Vinto Kupfersulfat, Blei, Rohbismut und Blei-Bismut-Legierungen gewonnen.

Die zweite Zinnhütte Boliviens, Operaciones Metalúrgicas S.A. (OMSA), wurde 1937 vom damaligen „Zinnbaron“ Mariano Perú Aramayo gegründet und ging 1940 in Produktion. Diese Hütte befindet sich östlich von Oruro im Huajara Industriepark. Produziert werden normalerweise nur Raffinadezinn und verschiedene Zinnlegierungen, im Jahr 2014 jedoch auch 32 t Blei-Bismut-Barren @ 20 % Bi (OMSA, frdl. schriftl. Mitt.).

Die bolivianische Bergwerksproduktion von Bismut (Bi-Inhalt in Erzen) wird seit 1974 mit Unterbrechungen vom BGS und seit 1985 vom USGS (zuvor vom USBM) publiziert. Beide Datenreihen stimmen für die meisten Jahre überein, vgl. Tabelle 14. Die bolivianische Raffinadeproduktion von Bismut meldet seit 1990 ebenfalls der USGS (zuvor ab 1977 der USBM). Alle Daten stammen vermutlich aus den nicht online verfügbaren statistischen Bergbaujahrbüchern (Anuario Estadístico Minero Metalúrgico) des bolivianischen Bergbauministeriums (Ministerio de Minería y Metalurgia Bolivia).

#### Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDBERGER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., V. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

WOLF, M. & SANCHEZ, J. (1976): Zur Stellung des Wismuts in den Erzparagenesen einiger bolivianischer Lagerstätten. – Freiburger Forschungshefte, **C 315**: 53 – 90, 17 Abb., 2 Tab.; Freiberg.

## Brasilien



Als Nebenprodukt beim Abbau von Scheelit-Goldlagerstätten und von Lithium-Beryllium-Tantal-Pegmatiten im Hochland von Borborema, Bundesstaaten Rio Grande do Norte und Paraíba, sind bis 1949 einige 10er t Bismuterz gewonnen worden. Auch der Pegmatit São José de Brejaúba, Minas Gerais, hat als Nebenprodukt des Beryllabbaus insgesamt 10 t Erz mit 80 % Bi geliefert. Bei der Verarbeitung von 14.000 m<sup>3</sup> Haufwerks dieses Pegmatits wurde ein Gehalt von nur 2,14 g Bismutit und gediegen Bismut pro m<sup>3</sup> festgestellt. Viele andere Pegmatite Brasiliens führen ebenfalls Bismutminerale, sind aber darauf nicht bauwürdig. Lagerstättegeologische und montanhistorische Beschreibungen der verschiedenen Bismutvorkommen sind in BANSE et al. (1964) zu finden.

Bleierze, die ja häufig Bismut enthalten, werden in Brasilien derzeit nur noch im Blei-Zink-Bergwerk Morro Agudo, Bundesstaat Minas Gerais, gewonnen und dort zu Bleierzkonzentrat verarbeitet (2012: 16.953 t @ 50,4 % Pb). Weder der Bismutgehalt der Erze noch der Konzentrate ist bekannt; er ist aber vermutlich niedrig, da Bismut in den zahlreichen mineralogisch-geochemischen Publikationen zu dieser Lagerstätte nicht gesondert erwähnt wird. Das Bleierzkonzentrat aus Morro Agudo wird in Brasilien nicht verhüttet, sondern zur Raffinade nach China exportiert.

Im Gegensatz hierzu enthalten mehrere in Brasilien in Abbau stehende Golderze bis zu 3 % Bi – meist in Form von AuBi- oder AuBiTe-Verbindungen. Bekannte Beispiele sind die Goldlagerstätten Bomfim (Gold-Wolfram-Bismut) in der Município Lajes, Bundesstaat Rio Grande do Norte, oder Palito (Gold-Kupfer) im Bundesstaat Pará.

Die erst im Jahr 2012 durch das Privatunternehmen Mineração Nosso Senhor do Bonfim aktivierte Lagerstätte Bomfim ist durch Wolfram- und Gold-Skarne charakterisiert. Scheelit kommt dabei zusammen mit Molybdänit sowie untergeordnet Pyrrhotin, Chalcocopyrit, Pyrit und Arsenopyrit vor und stellt das Hauptwertmineral dar. Mit dem

Gold treten Minerale der Bismut-Zavaritskit-Serie, gediegen Bismut, Bismuthinit, Joséit, Chalcocopyrit, Zinkblende, Epidot, Prehnit und Chlorit auf (FARIAS PEREIRA 2003).

Nach dem Anuário Mineral Brasileiro 2010 (neuere Daten liegen noch nicht vor) der brasilianischen Bergbehörde besitzt Brasilien in der Município Lajes, Bundesstaat Rio Grande do Norte, – also vermutlich in der Lagerstätte Bomfim – „Measured“ Ressourcen von 134.650 t Bismuterz @ 0,15 % Bi (= 200 t Bi-Inhalt) zzgl. „Indicated“ Ressourcen von 20.716 t Bismuterz @ 0,27 % Bi (= 55 t Bi-Inhalt). Neben Scheelit und Gold ist geplant in Bomfim zukünftig eventuell auch Bismut und Tellur auszubringen.

Palito ist dagegen eine Ende des Jahres 2013 wiedereröffnete Gangerzlagerstätte der Serabi Mineração S.A. in der Region Tabajós, Bundesstaat Pará. Zwischen Ende 2003 bis Ende 2008 wurde Palito bereits untertage abgebaut und lieferte in diesem Zeitraum 480.000 t Erz @ 6,76 ppm Au. Die verbliebenen Ressourcen belaufen sich auf rund 2,9 Mio. t Erz @ 6,4 ppm Au und 0,25 % Cu. Die steil einfallenden Quarz-Gold-Chalcocopyrit-Pyrit-Gänge führen Bismutminerale in Form von gediegen Bismut, Bismuthinit, aber auch zahlreichen seltenen BiCu-, BiTe-, BiAg-Sulfiden bzw. -verbindungen. Daten über Durchschnittsgehalte an Bismut in Palito liegen nicht vor. Ein Ausbringen von Bismut findet offensichtlich nicht statt.

### Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.



FARIAS PEREIRA, L. B. (2003): Distribuição de metais pesados e cianeto total nos sedimentos de drenagem e pilha de rejeito na área da mina Bonfim, município de Lajes (RN). – 134 S., zahlr. Abb. und Tab., 9 Anh.; Natal – URL: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss\\_ludmila.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_ludmila.pdf).

## Bulgarien



In Bulgarien wurde im April 2011 die 1955 eröffnete Blei-Zink-Hütte Kardzhali (Kardjali) der Olovno Tzinkov Komplex (OTZK) AD („OCK“ JSC), eine Tochterfirma der Intertrust Holdings AD, aufgrund schwerwiegender Umweltverschmutzung geschlossen. Ein Jahr später meldete OTZK Insolvenz an, doch hat Intertrust Holdings inzwischen den Neubau einer Hütte in Aussicht gestellt.

In Kardzhali waren zu Beginn lokal abgebaute Blei-Zink-Erze verhüttet worden, doch wurden später zunehmend Erzkonzentrate importiert. Die importierten Bleierzkonzentrate stammten schon immer aus Serbien, früher auch aus Polen, Marokko, Rumänien, der Slowakei und der Türkei, seit 2007 aber vornehmlich aus Mazedonien. Im Jahr 2013 lag der Anteil der in Bulgarien produzierten Bleierzkonzentrate zu den importierten bei 25 % zu 75 %.

Die Hütte Kardzhali produzierte zuletzt neben Blei und Bleiprodukten, Zink und Zinkprodukten, Zinn, Cadmium, Bismut, Schwefelsäure, Natriumhydrogensulfat und Kupfersulfid auch Legierungen auf Blei-, Antimon- und Selen-Basis. Die Produktion von Bismutmetall begann 1990, die Kapazität lag bei 7 t Bi pro Monat (BARENTS 1996).

Im Gegensatz hierzu wurde in der größten, im Jahr 1961 eröffneten Blei-Zink-Hütte Bulgariens der KCM SA in Plovdiv niemals Bismut ausgebracht, sondern immer nur Blei-Bismut-Legierungen – unbekanntem Bismutinhalt – produziert.

1991 wurden von Kardzhali 23 t Bismut, 1992 32 t Bismut und im 1. Halbjahr 1993 15 t Bismut veräußert (BARENTS 1996). Die weiteren Produktionsdaten bis einschließlich 2003 sind unbekannt. Für die Jahre ab 2004 publizierte die Bulgarian Association of the Metallurgical Industry genaue Produktionsdaten aufgrund von Meldungen ihrer Mitgliedsfirmen, s. Tabelle 15.

### Literatur

BARENTS – BARENTS GROUP LLC (1996): Lead and Zinc Complex Ltd. Kardjali (December 1993). – In: Privatization and Technical Assistance Program for the Kardzhali Region of Bulgaria, Final Report for U.S. Treasury, U.S. Agency for International Development (USAID), Delivery Order #21: 54 – 83, 11 Tab., 2 Anh.; Sofia. – URL: [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/Pdabn143.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pdabn143.pdf).

**Tabelle 15: Produktion von Bismutmetall und Bismut-Blei-Legierungen in Bulgarien nach Firmendaten (Jahresberichte der BULGARIAN ASSOCIATION OF THE METALLURGICAL INDUSTRY 2006 – 2013).**

Jahr	Bismutmetall (t)	Bismut-Blei-Legierungen (t)
2004	4,7	673
2005	2,3	788
2006	<0,1	830
2007	4,1	718
2008	3,0	830
2009	0	780
2010	2,2	586
2011	4,2	595
2012	0	675
2013	0	732
2014	0	



## Chile



Chile ist offiziell kein Produzent von Bismut, doch führen natürlich auch die chilenischen Kupfererze geringe Mengen an Bismut, das – als Strafmittel – bei der Raffination möglichst vollständig abgetrennt werden muss. Aufgrund seines geringen Schmelz- und Siedepunktes verdampft ein Großteil des in den Erzen enthaltenen Bismuts schnell und reichert sich in den Filterstäuben der Hütten an.

Nach ECOMETALES (2012) produziert die chilenische Kupferindustrie jährlich über 3 Mio. t Schlacken und über 100.000 t Filterstäube. Letztere enthaltenen typischerweise 3 – 30 % Cu, 1 – 17 % As, 0,8 – 13 % S, 0,1 – 0,9 % Bi, 0,2 – 20 % Pb, 0,5 – 12 % Fe und 0,1 – 1,5 % Sb. Während das enthaltene Kupfer bereits zurückgewonnen wird und Arsen und Antimon zur Deponierung abgetrennt werden, gibt es über die in den chilenischen Filterstäuben ebenfalls enthaltenen 100 – 900 tpa Bismut keine Informationen.

### Literatur

ECOMETALES (2012): Sustainability Report 2012. – 75 S., zahlr. Abb. und Tab.; Santiago de Chile. – URL: <http://www.ecometales.cl/wp-content/uploads/2013/09/Sustainability-Report-2012.pdf>.





## China



China ist der mit Abstand weltgrößte Produzent, aber auch Verbraucher von Bismut und seinen Verbindungen. Zudem hält China die größten Reserven und Ressourcen dieses Elements.

Wie auch bei anderen Metallen sind in China Bismuterze fördernde, größtenteils staatliche Bergwerksunternehmen von diese Erze zu Konzentraten aufbereitenden (Tochter)Firmen und diese Bismuterzkonzentrate verarbeitenden Hütten zu unterscheiden. Zusätzlich haben sich Firmen auf die Verarbeitung von bei der Verhüttung von heimischen oder importierten Buntmetallerzen anfallenden bismuthaltigen Rückständen, auf das Recycling von bismuthaltigen Abfällen und auf die Weiterverarbeitung von Raffinadebismut oder den Handel mit Bismut und seinen Produkten spezialisiert.

Nach BANSE et al. (1964) wurde Bismut in China zuerst nur als Beiprodukt aus Wolframlagerstätten gewonnen. Bekannt waren Bismutminerale, besonders Bismuthinit, auf den Wolframlagerstätten des Nanling Berglandes in den südlichen Provinzen Guangdong, Jiangxi, Hunan, Guangxi und Yunnan. Produziert wurden Bismuterzkonzentrate @ 40 – 60 % Bi als Nebenprodukt des Wolfram-erzbergbaus. In den 1930er Jahren waren es jährlich zwischen 20 und 130 t Bismutmineralkonzentrat. Zwischen 1940 und 1942 lag die Konzentratproduktion bei geschätzt 11 – 33 tpa, ging dann zwischen 1945 und 1949 auf durchschnittlich 3,8 tpa zurück, um dann zwischen 1950 und 1954 wieder leicht auf rund 4,4 tpa anzusteigen. 1949 begann die Weiterverarbeitung der Bismutmineralkonzentrate im eigenen Land. 1961 sollen dann schon 300 t Bismutmineralkonzentrate gewonnen worden sein und Bismut wurde in polymetallischen Skarnlagerstätten entdeckt – der Beginn des Aufstiegs Chinas zum seit 1990 weltgrößten Bismutproduzenten.

Auf den hydrothermalen Quarz-Wolframerzgängen der Provinzen Guangdong, Jiangxi und Guangxi sind Bismuthinit, gediegen Bismut, Bi-Oxide und -Karbonate in den oberen Partien angereichert und nehmen mit zunehmender Teufe

ab. In den größeren Bergwerken lag Mitte des 20. Jahrhunderts das Verhältnis Bi : W bei rund 1 : 5, zu Beginn des Abbaus in den 1930er Jahren aber sogar bei 1 : 1.

Nach seit vielen Jahren nicht mehr aktualisierten Daten besitzt China heimische Erzressourcen mit 470.000 t Bi-Inhalt und Reserven von 240.000 t Bi-Inhalt. Davon entfallen 85 % auf die drei Provinzen Hunan, Guangdong und Jiangxi, gefolgt von Yunnan, Innere Mongolei, Fujian, Guangxi, Gansu und weiteren. Bismut wurde bis 1997 in 75 Lagerstätten als Wertmetall ausgewiesen (XUN 2002). Sechs der in Abbau stehenden Lagerstätten besitzen Einzelreserven von > 10.000 t Bi-Inhalt Diese machen zusammen 78 % der gesamtchinesischen Reserven aus. Zwei der sechs Lagerstätten besitzen sogar Einzelreserven von > 50.000 t Bi-Inhalt.

Nachdem sich durch Berechnungen im Jahr 2005 herausgestellt hatte, dass die Metallerzvorräte in der Provinz Hunan durch Abbau mittlerweile drastisch zurück gegangen waren, wurde seitens der Provinz erhebliche Anstrengungen unternommen, die Ressourcenbasis wieder zu erhöhen. Für damals umgerechnet 14 Mio. € wurden in den folgenden Jahren 194.000 Bohrmeter in Bohrungen bis maximal 1.131 m Teufe abgeteuft, 63.000 Bohrmeter beprobt und 63 km Schürfgängen ausgehoben. Durch diese Explorationsbemühungen konnten die Ressourcen bis 2011 um Erze mit 2,3 Mio. t Pb-Zn-, 215.000 t W-, 160.000 t Sn-, 45.000 t Mo-, 61.000 t Bi-, 87.000 t Cu-, 252.000 t Sb-, 548 t Au- und 2.700 t Ag-Inhalt sowie um 2,5 Mio. t Manganerz, 11 Mio. t Kohle, 39 Mio. t Kaolin, 3,25 Mio. t Phosphaterz und bedeutende Mengen weiterer Rohstoffe erhöht werden (ASIAN METAL LTD. 2011).

Derzeit werden Bismuterzkonzentrate in China als Beiprodukt des Abbaus auf polymetallische Skarnerze, auf Wolframerze, Blei-Silbererze und aus Schwermineralseifen gewonnen. Zudem wird Bismut als Beiprodukt der Verhüttung einheimischer und importierter Kupfer-, Blei-, Zink- und Zinn-Wolfram-Erzkonzentrate

(letztere aus Myanmar) ausgebracht. Es soll rund 50 Bismutproduzenten geben, davon neun mit einer Raffinadekapazität > 1.000 tpa (s. u.). Die gesamte Bismutraffinadekapazität in China dürfte derzeit bei mindestens 18.400 tpa liegen.

Der Dongpo Lagerstättendistrikt im Chenzhou Distrikt, Provinz Hunan, enthält die Shizhuyuan Polymetallagerstätte (Skarn, Greisen und Stockwerk) mit Zink-, Blei-, Wolfram-, Molybdän-, Zinn-, Antimon-, Bismut- und Beryllium-Führung sowie die Jinchuantang Zinn-Bismut-Skarnlagerstätte.

Shizhuyuan ist die vermutlich die größte Bismutlagerstätte der Erde mit einem Gehalt von durchschnittlich 590 ppm Bi im Erz und ursprünglichen Ressourcen von 265.800 t Bi-Inhalt. Die Lagerstätte wurde 1963 entdeckt und 1998 aufgeschlossen. Sie hat die Form einer Zunge, ist rund 1.000 m lang, 600 – 800 m breit und 200 – 300 m, maximal 500 m mächtig. Bismuthinit findet sich in Wolfram-Bismut-Skarnen, kombinierten Wolfram-Zinn-Molybdän-Bismut-Stockwerksgreisen/-Skarnen und Wolfram-Molybdän-Bismut-Greisenen. In der Lagerstätte wurden bisher rund 100 Minerale nachgewiesen, von denen die häufigsten Wolframit, Scheelit, Molybdänit, Bismuthinit, Cassiterit, Fluorit, Granat, Diopsid, Idiokras, Hornblende und Feldspat sind (CHANGLIE et al. 1982).

Zuständiges Abbaunternehmen ist die **Hunan Shizhuyuan Non-Ferrous Metals Co., Ltd.**, eine 97,35 %-Beteiligung der Hunan Non-Ferrous Metals Corporation Ltd., die wiederum zur staatlichen China Minmetals Corporation gehört. Hunan Shizhuyuan hat ihren Sitz und Fabrik in Chenzhou, Provinz Hunan (wie viele andere Bismutunternehmen auch) und stellt neben fünf verschiedenen Bismuterzkonzentrat (@ 20 – 60 % Bi, im Jahr 2010 mit 1.316 t Bi-Inhalt) und Raffinadebismut auch Scheelitkonzentrate (Kapazität 2.500 tpa, Produktion in 2010 5.495 t), Molybdänerzkonzentrate (Produktion in 2010 1.657 t), Molybdänoxid (Kapazität 900 tpa) sowie Kupfer-, Blei- und Zinkerzkonzentrate (Produktion in 2010 955 t Blei- und Zinkerzkonzentrate) her.

Soweit bekannt, beträgt die Verarbeitungskapazität von Bismuterzkonzentrat des Unternehmens derzeit 48.000 tpa und die Bismutraffinadekapazität 1.200 tpa. Hunan Shizhuyuan gibt ihre derzeitigen Bismutressourcen selber mit 305.000 t

Bi-Inhalt an. Im Jahr 2000 waren durch das Unternehmen knapp 500 t, 2002 600 t (15 % der chinesischen Produktion), 2003 650 t (davon ⅔ für den Export), 2004 670 t (davon 58 % für den Export), 2005 650 t, 2006 600 t, 2007 700 t und 2010 1.253 t Raffinadebismut erzeugt worden. Für 2013 meldete die Mutterfirma Hunan Non-Ferrous Metals für Hunan Shizhuyuan Verkäufe von 809 t Bismutprodukten nach Verkäufen von 1.025 t Bismutprodukten im Vorjahr.

Der Gejiu Zinn-Polymetalldistrikt, Provinz Yunnan, beinhaltet die fünf großen Zinnlagerstätten Laochang, Malage, Songshujiao, Gaosong und Kafang. Diese Lagerstätten werden von der **Yunnan Tin Company Group, Ltd.** (YTC), mit Sitz in Gejiu City, Provinz Yunnan, abgebaut, dem weltweit größten Produzenten von Raffinadezinn und größtem Hersteller von Zinnhalbzeug und -chemikalien in China. Neben Zinn ist YTC auch in der Produktion von Blei-, Kupfer-, Zink-, Antimon-, Nickel-, Arsen-, Silber-, Indium-, Bismut- (@ 99,99 und 99,95 % Bi), Platin-, Palladium-, Rhodium- und Osmium-Metall bzw. (bis auf Antimon) Produkten daraus tätig. YTC brachte im Jahr 2002 rund 100 t, im Jahr 2003 rund 130 t Bismut aus. Neuere Produktionsdaten liegen nicht vor.

Der Dulong Polymetall-Distrikt befindet sich im Maguan Distrikt der Provinz Yunnan und beinhaltet gegenwärtig drei Tagebaue, aus dessen Erzen Zinn, Zink, Arsen, Bismut, Kupfer, Indium, Silber, Eisen und Blei ausgebracht werden. Das Erz führt durchschnittlich 130 ppm Bi. Abbaunternehmen ist die staatliche **Yunnan Huanlian Zinc-Indium Co., Ltd.**

Bedeutende Wolframbergwerke, deren Erze auch hohe Gehalte an Bismut führen, sind Dajishan und Xihuasha in der Provinz Jiangxi. Beide Bergwerke unterstehen der **Ganzhou Non-Ferrous Metals Smelting Co, Ltd.**, einer Tochterfirma der staatlichen Jiangxi Rare Metals and Tungsten Holding Group Co. Das durch Tochterfirmen geförderte und aufbereitete Erz dient Ganzhou Non-Ferrous Metals zur Produktion von Ammonium-Parawolframat (APT) (Kapazität 3.000 tpa), Wolframoxid (Kapazität 1.600 tpa), Wolframpulver (Kapazität 1.000 tpa), Wolframkarbid-Pulver (Kapazität 400 tpa), Raffinadebismut (Kapazität 1.500 tpa), Raffinadezinn (Kapazität 3.000 – 6.000 tpa) sowie Zinn-Blei-Loten, Zinnlegierungen u. a. Ganzhou

Non-Ferrous Metals produzierte in den Jahren 2002 und 2003 jeweils rund 300 t (davon 90 % für den Export), im Jahr 2006 rund 600 t, im Jahr 2007 rund 1000 t und im Jahr 2014 rund 260 t Bismut. Das Dajishan Wolframbergwerk baut auf einer großen Wolframstockwerks- und -ganglagerstätte im Kreis Quannan von Jiangxi. Die Lagerstätte wurde 1918 entdeckt und 1958 in Abbau genommen. Die Erzgänge sind im Durchschnitt 850 – 900 m, maximal 1150 m lang und befinden sich in einer Teufe von 800 – 1000 m. Ihre durchschnittliche Mächtigkeit beträgt 0,45 m, maximal 3 m. Das Gangerz führt durchschnittlich 2,033 %  $WO_3$ , 1,0105 % Bi, 380 ppm Mo, 210 ppm Be, 200 ppm Sn sowie als weitere Wertmetalle Nb und Ta.

Das Xihuashan Wolframbergwerk baut ebenfalls auf einer großen Wolframlagerstätte im Kreis Dayu, Jiangxi, mit wirtschaftlich interessanten Gehalten von Wolfram (@ 1,0086 %  $WO_3$  im Erz), Molybdän, Bismut, Zinn, Kupfer, Seltenen Erden u. a. Diese Lagerstätte wurde 1907 entdeckt und steht seit 1915/16 in Abbau. Die Förderung läuft seit 1960 im Tage- und Tiefbau. Die Gänge in Xihuashan sind durchschnittlich 400 – 600 m, maximal 920 m lang und nur 10 – 30 cm, maximal 350 cm breit.

Auch die Dangping Tungsten Ltd. gehört zur Jiangxi Rare Metals and Tungsten Holding Group Co. und verfügt über drei Bergbauegebiete für Wolfram (Bao Shan, Dang Ping und Zhang Dong Keng - erschöpft) und ein Blei-Zink-Bergbauegebiet (Jiu Long Nao). In der Dang Ping Ganglagerstätte tritt Wolframit zusammen mit Molybdänit und geringen Anteil an gediegen Bismut, Chalcopyrit, Sphalerit, Pyrit, Galenit, Arsenopyrit, Scheelit, Cassiterit u. a. Erzmineralen auf, so dass aus Dangping neben Wolframit-Scheelit-Konzentraten auch Blei-, Zink-, Kupfer-, Molybdän- und Bismuterzkonzentrate ausgebracht werden können.

Die Jiangxi Pangushan Tungsten Co., Ltd., ebenfalls zur Jiangxi Rare Metals and Tungsten Holding Group Co. gehörend, gewinnt aus dem Pangushan Wolframbergwerk, Kreis Yudu, Provinz Jiangxi, Wolfram-Bismut-Molybdänerze. Die Pangushan Ganglagerstätte wurde im Jahr 1918 entdeckt und vier Jahre später erstmalig abgebaut. Das Erz – die Ressourcen betragen rund 26 Mio. t – führt durchschnittlich 0,532 %, maximal 23,5 %  $WO_3$  (in Form von Wolframit, untergeordnet Scheelit) sowie 0,266 %, maximal 2,25 % Bi + Mo. Jiangxi

Pangushan baut jährlich rund 200.000 t Erz ab, bereitet 170.000 t Erz auf und gewinnt daraus Wolfram-, Bismut- und Molybdänerzkonzentrate.

Unabhängig der Hauptbeteiligung Ganzhou Non-Ferrous Metals (1.500 tpa, s. o.) soll die Bismutkapazität (vermutlich Bi-Inhalt in Konzentraten) der **Jiangxi Rare Metals and Tungsten Holding Group Co.** rund 300 tpa betragen.

Die 1991 gegründete **Inner Mongolia Xingye Group Co.**, Ltd. hat ihren Firmensitz im Xincheng Distrikt von Chifeng Stadt, Innere Mongolei und ist über elf Bergbaugesellschaften und zwei Hütten in der Gewinnung (jährlich rund 3 Mio. t Erz), Verarbeitung, Verhüttung und Veredelung von Eisen-, Blei-, Zink-, Kupfer- und polymetallischen Erzen tätig. Zu den Produkten des Unternehmens zählen Eisen, Blei, Zink, Molybdän, Wolfram, Kupfer, Gold, Silber, Indium, Bismut, Zinn, Palladium, Platin u. a. Metalle. Zu den Bergbaugesellschaften des Unternehmens zählt die Inner Mongolia Xingye Group Xilin Mining Co., Ltd., die jährlich rund 720.000 t Erz @ 24 - 26 % Fe, 2,0 – 2,2 % Zn und 400 – 1.200 ppm Bi gewinnt. Vom 01.04 bis 31.12.2008 wurden vom Unternehmen 561.500 t Erz @ 477 ppm Bi und insgesamt 343 t Bi-Inhalt, im Jahr 2009 580.100 t Erz @ 560 ppm Bi und insgesamt 377 t Bi-Inhalt gefördert. Weitere Produktionsdaten sind nicht bekannt.

Die **Hunan Jinwang Bismuth Industrial Co., Ltd.** mit Sitz in Chenzhou City, Provinz Hunan, ist ein privates Unternehmen und entstand im Jahr 2011 aus der zehn Jahre zuvor gegründeten Hunan Jinwang Enterprise Co., Ltd. Das Unternehmen verfügt u. a. über zwei Bismutforschungszentren und besaß bis 2003 eine Raffinadebismutkapazität von ca. 300 tpa, danach von 1.000 tpa., ab 2011 von 2.000 tpa und seit Eröffnung einer neuen Anlage in Xianxi im Jahr 2013 nun von 4.000 tpa (zzgl. 300 tpa Ag-, 200 tpa Te- und 10 tpa Au-Inhalt). Eine weitere Kapazitätserhöhung auf 8.000 tpa Bismut (zzgl. 500 tpa Ag- und 300 tpa Te-Inhalt) wurde bereits angekündigt. 2012 produzierte Hunan Jinwang bei voller Kapazitätsauslastung rund 2.000 t Bismutmetall. Aus dem raffinierten Bismut werden jährlich (u. a. durch die Chenzhou Jinwang Industry Co., Ltd.) > 2.400 t Bismutsalze, darunter > 1.300 t Bismutoxide produziert. Das Bismut stammt nicht aus eigenen Bergwerken, sondern aus der Verhüttung von heimischen und v. a. importierten Kupfer-, Blei- und Zinkerzkonzentraten sowie aus



der Verarbeitung von beim Blei-Silbererzabbau in Yongxing, Hunan und anderen Regionen anfallenden Bismuterzkonzentraten. Zusätzlich versucht Hunan Jinwang Bismuth, an bismuthaltige Abfälle aus nicht-chinesischen Quellen zu gelangen. Nach eigenen Angaben ist das Unternehmen u. a. Zulieferer der BASF SE.

Die **Zhuzhou Smelter Group Co., Ltd.**, eine Minderheitsbeteiligung der staatlichen Hunan Non-Ferrous Metals Corporation Ltd., hat ihren Firmensitz in Zhuzhou, Provinz Hunan, und wurde im Jahr 2002 aus der bereits 1956 eröffneten Zhuzhou Smelter bzw. Hunan Zhuye Torch Metals Co., Ltd. neu gegründet. Das Unternehmen verarbeitet v. a. Blei-Zinkerzkonzentrate und ist führend in der Raffinade und Weiterverarbeitung von Zink (Kapazität 500.000 tpa Zn-Inhalt), Blei (Kapazität 100.000 tpa Pb-Inhalt) und seinen Legierungen, produziert aber auch beibrechend Kupfer (Kapazität 3.000 tpa Cu-Inhalt), Cadmium (1.100 tpa Cd-Inhalt), Palladium, Platin, Silber, Gold (Kapazität 1 tpa Au-Inhalt), Indium (Kapazität 50 tpa In-Inhalt), Bismut (Kapazität: 300 tpa Bi-Inhalt, Produktion: rund 240 tpa @ 99,99 % und 99,997 % Bi), Antimon, Gallium, Arsen, Zinn, Tellur, Kobaltoxid, Quecksilberchlorid sowie Schwefelsäure (Kapazität 280.000 tpa).

**Guixi Grand Sanyuan Industry Group Co., Ltd.**, ehemals Guixi Grand Sanyuan Smelting & Chemical Co., Ltd. wurde im November 2000 gegründet und arbeitet vom Industriepark von Guixi City, Jiangxi Provinz, aus. Tochterunternehmen sind Guixi Grand Sanyuan Smelting & Chemical Co., Ltd., Guixi Sanyuan Technology & Trade Co., Ltd. und Guixi Sanyuan Metals Co., Ltd. Zu den produzierten bzw. gehandelten Metallen zählen Raffinadebismut (Produktion rund 2.600 tpa, Kapazität 3.000 tpa), Bismutoxide, Kupferrohstein, Tellur, Blei, Zinn u. a.

**JCC (GiuXi) Neo-Materials Co., Ltd.** ist eine 1989 gegründete und 2005 letztmalig umbenannte Tochterfirma der staatlichen Jiangxi Copper Corporation (JCC). Diese betreibt acht Bergwerke, drei Kupferhütten, sechs Kupferverarbeitungsanlagen und drei Edelmetall- bzw. Sondermetallbetriebe, darunter JCC (GuiXi) Neo-Materials Co. Ltd. Zu den von dieser Firma aus dem Rückständen der Kupfererzverhüttung gewonnenen Produkten gehören Silber, Gold, Blei, Antimon, Rhenium (Kapazität 2 tpa), Tellur

(Kapazität 80 – 100 tpa), Selen (60 tpa),  $\text{SeO}_2$  (Kapazität 300 tpa), Bismut (Kapazität 1.200 tpa, Produktion in 2005 rund 800 t, in 2010 628 t),  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (Kapazität 3.300 tpa),  $\text{CuSO}_4$  (Kapazität 30.000 – 45.000 tpa) sowie hochreine Kupferpulver.

**Kunming Bismuth Industry Co., Ltd.** ist ein Joint Venture zwischen der staatlichen Yunnan Copper Co., Ltd. in Kunming, Yunnan Provinz, und zwei Bismutproduzenten in Chenzhou, Provinz Hunan. Kunming Bismuth Industry eröffnete im Juni 2005 eine Bismutanlage in Chifeng City, Innere Mongolei und soll auch in Chenzhou und bei Yunnan Copper im Dongchuan Distrikt von Kunming über zwei Bismutanlagen, alle drei zusammen mit einer Kapazität von 1.000 tpa, verfügen.

**Shanxi Taigu Shengde Nonferrous Metal-Co., Ltd.** wurde im Jahr 2000 gegründet und produziert vom Dorf Shuixiu, Kreis Taigu, Shanxi Provinz aus. Die Firma verhüttet in zwei Öfen zugekaufte Bismuterzkonzentrate und raffiniert diese in vier Öfen zu jährlich ca. 1.100 t Raffinadebismut @ 99,995 % Bi, wobei die Kapazität noch 400 t höher liegt. Aus dem Raffinadebismut wird je nach Nachfrage  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  erzeugt. Seit 2010 gehören auch Zinkchemikalien zum Produktportfolio. Ein Großteil der Produkte wird exportiert.

Die **Hunan Guiyang Yinxing Nonferrous Metals Co., Ltd.** (Guiyang Silver Star Nonferrous Smelting Co.) ist eine 1997 gegründete NE-Metallhütte mit den Schwerpunkten Blei, Bismut und Antimon in Chenzhou City, Hunan Provinz. Seit dem Jahr 2012 arbeitet Hunan Guiyang Yinxing Nonferrous offiziell mit der seit dem Jahr 2001 produzierenden und quasi benachbarten **Hunan Yuteng Nonferrous Metals Co., Ltd.** aus der Stadt Chengjiao, Kreis Guiyang der Hunan Provinz in der Produktion von metallischen Blei (Kapazität: 200.000 tpa), Zink (Kapazität: 20.000 tpa), Kupfer (Kapazität: 200.00 tpa), Gold (Kapazität: 1 tpa), Silber (Kapazität: 800 tpa), Tellur (Kapazität: 16 tpa), Bismut (Kapazität: 3.000 tpa) und Indium (Kapazität: 40 tpa) sowie Bleioxiden (Kapazität: 30.000 tpa), Zinkoxid (Kapazität: 40.000 tpa), Antimontrioxid (Kapazität: 5.000 tpa) und Schwefelsäure (Kapazität: 200.00 tpa) zusammen. Hunan Guiyang Yinxing Nonferrous verarbeitet Schlämme aus der eigenen Raffination von Bleierzen und produzierte dadurch bis 2010 jährlich rund 350 t Bismut @ 99,99 % Bi. Ab 2011 sollten Bleierze zugekauft

werden und damit auch die Bismutproduktion auf 1.000 tpa steigen.

Die **Hunan Zhaoshan Metallurgical & Chemical Co., Ltd.** wurde 1988 gegründet und hat ihren Firmensitz in Zhubugang, Xiangtan City, Hunan Provinz. Das Unternehmen ist in der Aufbereitung und Verhüttung von NE-Metallerzen tätig und besitzt eine Kapazität von 1.000 tpa Bismut @ 99,99 % Bi, sowie Produkten mit 8.000 tpa Pb- und 100 tpa Ag-Inhalt.

**Hunan Xinyuan Mining Co., Ltd.**, eine Tochterfirma der 2007 gegründeten Hunan Zhuwanyou Industry Co., Ltd., residiert im Dorf Litian, Kreis Yizhang der Hunan Provinz und baut zwei völlig verschiedene Lagerstätten ab. Es handelt sich zum einen um eine flach lagernde, sehr große Beryllium führende Flussspatlagerstätte, zum anderen um eine tiefe polymetallische Zinn-Kupfer-Flussspatlagerstätte. Neben Flussspatkonzentraten produziert das Unternehmen Zinn-, Blei-Zink-, Kupfer- und Bismuterzkonzentrate bzw. veredelt diese zu Raffinadeblei und Bismuttrioxid.

Beispiele weiterer, in der Bergwerksförderung von Bismuterzen tätiger Firmen sind:

- **Wengniuteqi Dujiadi Heyanwusu Pb-Zn-Mine** in Chifeng, Innere Mongolei, einem Lieferanten von Bismut-, Blei- und Zinkerzkonzentraten
- **Hukang Tungsten Mine** in der Stadt Ji'an, Provinz Jiangxi, wo Wolfram-, Molybdän- und Bismuterzkonzentrate produziert werden
- **Huludao Lanjiagou Mining Co., Ltd.** im Lianshan Distrikt von Huludao, Provinz Liaoning, wo Erze mit beibrechendem Bismut und Wolfram abgebaut werden
- **Jinyuan Nonferrous Metal Mine** im Chenzhou Distrikt der Provinz Hunan mit polymetallischem Skarnerz (Blei-Zink-Silber-Bismut-Molybdän). Die Zinn-Bismut-Ressourcen der Mine betragen zum 31. 12. 2012 356.000 t Erz mit 891 t Bi-Inhalt.

Beispiele weiterer, in der Aufbereitung von Bismuterzen tätiger Firmen sind:

- **Wulonggou Lead Zinc Mineral Processing Plant**, wo aus Erz der Jintai, Haihe, Laiyuan und Yunsheng Blei-Zink-Bergwerke im Kreis Laiyuan, Hebi Provinz, Blei-, Zink-, Wolfram- und Bismuterzkonzentrate erzeugt werden.

- **Wuchuan Huangpo Yuehai Mineral Processing Plant** in der Stadt Wuchuan, Guangdong Provinz, wo Bismutminerale aus Eisenerzkonzentraten abgetrennt werden.
- **Liuyun Titanium Processing Plant** und **Ouzhemin Titanium Processing Plant**, beide in der Stadt Wanning auf der Insel Hainan wo auch Bismutminerale aus Schwermineralkonzentraten abgetrennt werden.
- **Qingtian Ruixiang Copper Co., Ltd.**, im Kreis Qingtian der bezirksfreien Stadt Lishui in der südchinesischen Provinz Zhejiang, wo wolfram-, bismut- und molybdänhaltige Konzentrate aufbereitet werden.

Beispiele weiterer Produzenten von Raffinadebismut in China sind:

- **Nankang Jinji Non-Ferrous Metals Co Ltd.** im Stadtbezirk Nankang von Ganzhou, Jiangxi Provinz.
- **Henan Jinhong Co., Ltd.**, Henan Provinz, mit im Jahr 2013 vom USGS gemeldeter Eröffnung einer Bismutanlage mit einer Kapazität von 360 tpa Bi-Inhalt und 1.500 tpa  $Sb_2O_3$
- **Fumin Daxiyang Smelting Co., Ltd.** in Kunming, Yunnan Provinz
- **Chenzhou Jingui Silver Co., Ltd.** in Hunan Provinz, die neben Blei und Silber im Jahr 2014 auch 333 t Raffinadebismut verkauften.

Beispiele vom im Recycling von bismuthaltigen Produkten tätigen Firmen sind:

- **Zhuzhou Sinotech Industries Co., Ltd.**, gegründet 1996 im Sinotech Park des Tianyuan Distrikts von Zhuzhou City, Provinz Hunan, ist im Recycling von Elektronikschrott tätig und gewinnt daraus Beryllium, Indium, Bismut, Wolfram, Gallium und Selen zurück. In Joint Ventures mit anderen Firmen werden dann daraus Legierungen, Chemikalien und Halbzeug aller Art, größtenteils wiederum für die weltweite Elektronikindustrie gefertigt.
- **Anyang Shi Minshan Non-Ferrous Metals Co., Ltd.** wurde 1992 in der Stadt Anyang, Provinz Henan, gegründet und ist in der Bleiproduktion tätig. Seit Ende 2013 recycelt ein Tochterbetrieb auch Sonder- und Edelmetallabfälle. Die erwartete Endproduktkapazität aus diesem Recyclingzweig liegt bei Produkten mit 1 tpa Au-, 300 tpa Ag-, 200 tpa Te-, 200 tpa Sb-, 300 tpa Cu-, 315 tpa Pb-, 2.000 tpa Zn- und 10 tpa In-Inhalt sowie 300 tpa  $Bi_2O_3$ .

- **Honghe Green Novo Technology Co., Ltd.** plant im Stadtbezirk Caofeidian der nordchinesischen Stadt Tangshan, Provinz Hebeidie, die Aufbereitung von jährlich rund 1 Mio. t Stäuben aus der Stahlproduktion. Die erwartete Kapazität (Metallinhalt) der Endprodukte liegt bei 50.000 t Zn, 10.000 t Pb, 100 t Bi, 150 t Sn und 40 t In, die später auch als Raffinadeprodukte ausgebracht werden sollen.
- **Henan Yuguang Gold and Lead Co, Ltd.** in Jiyuan City, Provinz Henan, wurde im Jahr 1957 gegründet und verhüttet Bleierzkonzentrate aus eigenen Bergwerken. Es ist der größte Bleiproduzent Chinas. Als Beiprodukte werden Zink, Silber, Gold, Bismut, Cadmium, Indium, Antimontrioxid, Rohkupfer und Schwefelsäure gewonnen. Das Unternehmen recycelt auch die im Produktionsprozess anfallenden Schlacken und polymetallischen Rückstände möglichst vollständig, jedoch sind weder die Höhen der Bismutkapazität noch der Bismutproduktion der Primär- und Sekundärproduktion bekannt.

Schon vor über einem Jahrzehnt war durch chinesische Bismutproduzenten geplant worden, eine gesamtchinesische *Bismuth Industry Association* zu gründen, um die Aktivitäten und Verkäufe von Bismut gemeinsam zu koordinieren. Wichtigstes Anliegen war zudem stets, die niedrigen Bismutpreise durch Preisabsprachen in die Höhe zu treiben. Bisher wurde diese gesamtchinesische Bismuth Industry Association nicht gegründet, doch kam es im September 2013 zur Gründung der *Chenzhou Bismuth Industry Association* mit 33 Mitgliedsfirmen. Nach Asian Metal Ltd. sollen die nachgewiesenen Bismutreserven (vermutlich eher Ressourcen) in der Region Chenzhou (Provinz Hunan) bei 340.000 t Bi-Inhalt liegen. Im Jahr 2012 wurden in Chenzhou nach Pressemitteilungen anlässlich der Gründung der Chenzhou Bismuth Industry Association rund 11.000 t Raffinadebismut erzeugt, entsprechend 75 % der chinesischen Produktion (= 14.800 t) und 62 % der Weltproduktion (= 17.700 t)

Schon zuvor, Ende Juni 2008, hatten sich fünf private und ein staatlicher Bismutproduzent aus Hunan:

- Hunan Shizhuyuan Non-Ferrous Metals Co., Ltd., s. o.
- Hunan Jinwang Industrial Co., Ltd., s. o.
- Beijing Xinhualian Mining Co., Ltd. (Macrolink Mining Co. Ltd.)
- Yangshan Province Jiangying Zhen Luzi Kongwenbang Shan Lead and Zinc Mine
- Yongxian Province Tian Yuan Nonferrous Metals Co., Ltd.
- Anren Xian Yong Sheng Lead Industry Co., Ltd.

unter Führung von Hunan Shizhuyuan Non-Ferrous Metals zur **Hunan Bismuth Industry Co., Ltd.** zusammen geschlossen. Diese Verkaufs- und Marketingvereinigung verfügt seitdem über eine gemeinsame Verarbeitungskapazität von rund 48.000 t Bismuterzkonzentrat bzw. seit 2013 rund 6.000 t Raffinadebismut im Jahr.

In China werden nach Chinese National Standards (GB/T915-1995) bei Raffinadebismut drei Qualitäten unterschieden:

- No. 0 Bismuth mit garantiert > 99,997 % Bi
- No. 1 Bismuth mit garantiert > 99,99 % Bi
- No. 2 Bismuth mit garantiert > 99,95 % Bi

Provinzübergreifend wird die Bismutproduktion und der Bismutverbrauch in China von der Indium-Bismut-Germanium-Abteilung der China Nonferrous Metal Industry Association (CNIA) dokumentiert. Diese hat nach eigenen Angaben 30 bismutproduzierende Mitglieder. Nach CNIA wurde China im Jahr 2004 zum weltgrößten Verbraucher von Bismut mit einer jährlichen Steigerungsrate des Verbrauchs in den letzten Jahren von im Mittel 5 % pa. Nach WUJUN & ZIAN (2015), CNIA, produzierte China im Jahr 2014 rund 14.650 t (2012: 14.000 t, 2013: 14.250 t) Raffinadebismut und verbrauchte 3.900 t (2012: 3.500 t, 2013: 3.800 t). Hiervon gingen 47 % in die Bismutoxidproduktion (stark steigend), 25 % in die pharmazeutische Industrie (stagnierend), 6 % wurden für metallurgische Zusätze (stark abnehmend) und 20 % für Bismut-Legierungen und -Lote (stagnierend) verwendet. 2 % gelangten in andere Anwendungen. 2015 soll die Produktion auf 13.900 t Bi-Inhalt sinken, aber der Industrieverbrauch auf 4.000 t Bi-Inhalt steigen.

Seit dem 1. März 2013 dient Bismut in China auch als Anlagemetall für Privatinvestoren. An diesem Tag nahm die Fanya Metal Exchange (FYME) den Handel mit diesem Sondermetall auf (s. Kap. 5.6.2). Zum Handel sind Barren der Produzentenmarken Hunan Bismuth Industry, Guixi Sanyuan Smelter Chemical und Guixi Sanyuan Metals (mit zusammen ca. 9.000 t/a Raffinadebismutkapazität) zugelassen.

Bis zum 26.12.2013 wurden durch die FYME 5.223 t Bismut eingelagert – über ein Drittel der chinesischen Bismutproduktion eines Jahres. Vom 27.12.2013 bis 26.12.2014 folgten weitere 13.463 t. Zumindest die im Jahr 2013 eingelagerten Barren stammten sicherlich noch vornehmlich aus Lagerbeständen der an der FYME zugelassenen Produzenten – nach WUJUN & ZIAN (2015) vermutlich auch noch ein Großteil der Barren im Jahr 2014, da die chinesischen Produzenten in den Jahren zuvor große Überschüsse aufgebaut hatten.

Nach XUN (2002) gab es 1996 in China nur ein produzierendes Bergwerk mit Bismutproduktion und die chinesische Bergwerksproduktion lag bei 757 t Bi-Inhalt. Dies passt exakt zu Daten, die auch der BGS zwischen 1974 und 2011 zur chinesischen Bergwerksproduktion publizierte und die wohl auch bis in die jüngste Zeit noch stimmten, allerdings nur was den Bi-Inhalt von eigenständigen Bismutmineralkonzentraten betrifft (s. Tab. 16).

Angaben bzw. Schätzungen zur chinesischen Produktion, zum Inlandsverbrauch und zum Export von Raffinadebismut liegen aus den Bismuth Market Annual Reports von Asian Metal Ltd. (2007 – 2008, 2010 – 2013) und Berichten/Präsentationen der China Nonferrous Metal Industry Association (CNIA) vor. Zudem publizieren der BGS und der USGS teils sehr genaue Daten, teils Schätzungen der chinesischen Bergwerksförderung bzw. Raffinadeproduktion von Bismut (vgl. Tab. 17).

Unter der Annahme eines Inlandverbrauchs von derzeit rund 3.900 t Bismut (s. o.), den der FYME (s. o.) zugelieferten Mengen von 5.223 t Bismut in 2013 (vermutlich vornehmlich aus Lagerbeständen der an der FYME zugelassenen Produzenten) und 13.463 t Bismut in 2014 (von denen nach WUJUN & NIAN (2015) möglicherweise alle, wahrscheinlich jedoch nur noch ein Teil aus älteren Lagerbeständen der an der FYME zugelassenen Produzenten stammte) sowie den vom chinesischen Zoll dokumentierten Exporten an Bismutmetall (s. Tab. 17) ergibt sich für das Jahr 2014 eine Raffinadeproduktion in China von mindestens 14.650 t (WUJUN & NIAN 2015). Wahrscheinlicher ist jedoch eine Raffinadeproduktion von > 18.000 t, da mit wenigen Ausnahmen alle chinesischen Produzenten aufgrund der hohen Nachfrage und der gestiegenen Preise ihre Kapazitäten im Jahr 2014 voll ausgeschöpft haben dürften.

**Tabelle 16: Chinesische Bergwerksproduktion von Bismut aus Bismutmineralkonzentraten (in t Metallinhalt) für die Jahre 1974 bis 2013 nach BGS World Mineral Statistics.**

<b>1974</b>	<b>1975</b>	<b>1976</b>	<b>1977</b>	<b>1978</b>	<b>1979</b>	<b>1980</b>	<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>
220	225	240	260	260	260	260	260	260	260
<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
260	260	500	600	750	786	1.058	1.40	820	1.052
<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
850	739	757	548	239	2.682	1.122	1.245	944	1.036
<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
1.857	1.886	1.515	1.363	1.453	1.688	1.589	1.544	n.v.	n.v.



**Tabelle 17: Angaben bzw. Schätzungen der chinesischen Produktion von Raffinadebismut, des Inlandsverbrauchs sowie des Exports von Bismut (Bismut in Rohform; Pulver aus Bismut; Abfälle und Schrott aus Bismut = HS-Code: 81060010) aus China, nach verschiedenen Quellen.**

Quelle	Raffinadeproduktion		Inlands- verbrauch	Export	davon nach Belgien	davon nach Deutschland
	Asian Metal	USGS	Asian Metal	GTA	GTA	GTA
1999		860		2.251	322	16
2000		770		3.076	432	42
2001		2.000		2.158	428	29
2002	~ 4.000	3.000		2.559	290	0
2003		5.000		4.947	1.549	0
2004	~ 6.000	11.700		5.899	1.469	2
2005		10.600		6.840	2.723	2
2006		11.800		7.321	2.554	3
2007	8.800 <sup>1)</sup>	12.100	3.240	3.106	1.317	21
2008	10.424 <sup>2)</sup>	13.100	2.965	1.931	1.382	0
2009		12.300		1.644	1.017	0
2010	~12.000	14.000	> 2.500	3.494	3.013	0
2011	~12.000	15.000	> 2.500	5.685	4.609	0
2012	~13.000	14.000	3.500 <sup>3)</sup>	3.470	2.630	1
2013	~15.000		3.800 <sup>3)</sup>	4.055	3.062	61
2014	<sup>4)</sup>		3.900 <sup>3)</sup>	6.082	3.690	220

<sup>1)</sup> davon 5.500 t in Hunan und 2.500 t in Jiangxi, <sup>2)</sup> davon 6.099 t in Hunan und 2.405 t in Jiangxi, <sup>3)</sup> WUJUN & NIAN (2015),

<sup>4)</sup> nach WUJUN & NIAN (2015): 14.650 t in China, davon 9.000 t in Hunan, 3.800 t in Jiangxi, 800 t in Shanxi, 500 t in Henan, 300 t in Anhui, 150 t in Yunnan, 0 t in der Inneren Mongolei und 100 t in anderen Provinzen

## Literatur

ASIAN METAL LTD. (25.05.2011): Hunan crisis mine seeking projects make great progress. – URL: [www.asianmetal.com/news/viewNews.am?newsId0729873](http://www.asianmetal.com/news/viewNews.am?newsId0729873).

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDBERGER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

CHANGLIE, W., YOUZHI, X., CIGUO, X. & WENQUANG, Y. (1982): The geological characteristics of Shizhuayuan W-Sn-Mo-Bi deposit. – Proceedings of a Symposium on Tungsten Geology, Jiangxi, China, October 12 – 21, 1981: 413 – 425, 4 Abb., 5 Tab., 12 Taf.; Beijing (Geological Publishing House).

WUJUN, T. & NIAN, Z. (2015): The development and outlook of China's indium, bismuth and germanium industry. – Präsentation auf der MMTA's International Minor Metals Conference, Toronto, April 27 – 29, 2015: 32 S.; Toronto.

XUN, Z. (2002): Mineral facts of China. – 776 S., zahlr. Abb. und Tab.; Beijing.

## Deutschland



In Deutschland sind Bismutvorkommen sowohl aus den westlichen wie auch östlichen Landes- teilen bekannt und dort früher auch schon abgebaut worden.

Die bis 1988 abgebauten Erze der Blei-Zink-Silber- Lagerstätte des Rammelsberges bei Goslar im Harz enthielten durchschnittlich 60 – 80 ppm Bi, das Bleierzkonzentrat 130 – 150 ppm Bi und das Kupfererzkonzentrat 160 ppm Bi. Zusammen mit Gold war Bismut in den Kupfererzen des Alten Lagers und in den Kupfererzlinen des Melierterzes des Neuen Lagers mit Gehalten von 420 ppm bzw. 0,21 % angereichert. Der Durchschnittsgehalt des Melierterzes lag bei 275 ppm Bi; in allen anderen Erzsorten überschritt der Bismutgehalt selten den Durchschnittsgehalt des Roherzes. Bismut fand sich als Bismuthinit oder gediegen Bismut, seltener als Emplektit und Galenobismutit.

Die anderen Erzgänge des Harzes, auch von Bad Grund, waren dagegen bismutarm (10 – 20 ppm Bi).

Die zwischen 1527 bis 1970 mit Primärerzen versorgte Blei-Kupfer-Hütte Oker produzierte zwischen Ende 1950 und 1966 auch Feinbismut – vornehmlich aus Rammelsberg-Erzen. Produktionsmengen waren 1951: 4 t, 1952: 6 t, 1953: 9 t, 1954: 5,6 t, 1955: 3,8 t, 1956: 4,4 t, 1957: 5,3 t, 1958: 3,9 t, 1959: 3,0 t und 1960: 5,1 t. Die späteren Produktionsdaten sind nicht publiziert. Die nach 1966 aus der Bleiraffination anfallenden Blei-Bismut-Schäume wurden an die Norddeutsche Affinerie AG, s. u., verkauft (MEHNER 1993).

Die Blei-Zink-Erze des Ruhrgebietes, des Rheinischen Schiefergebirges und der Eifel waren fast alle arm an Bismut, so dass sich eine Abtrennung nicht lohnte. Die mit Abstand höchsten Bismut- gehalte mit 200 ppm enthielt das aus der Grube Rosenberg bei Braubach südlich Koblenz gewon- nene Bleierzkonzentrat – die Grube wurde 1963 geschlossen (BANSE et al. 1964).

Im Schwarzwald sind Quarz-Baryt-Gänge mit Kupfer-Silber-Bismut-(Blei-Kobalt-)Erzen weit

verbreitet und bekannt, ohne dass diese heute jedoch noch wirtschaftliche Bedeutung besitzen.

Von größerem Interesse ist das Auftreten von Bismut in den Fahlerzen des Schwarzwalds. Nahe Neubulach bei Calw, 40 km südwestlich Stuttgart, wurde früher ein Gangzug mit Fahler- zen (@ 6,33 % Bi), Emplektit, Chalcopyrit, Pyrit, Bornit und weiteren Erzmineralen abgebaut. Bismut wurde erst nach Erlöschen des alten Silber-Kupfer-Bergbaus von 1920 bis 1924 aus Haldenmaterial gewonnen; eine geplante erneute Aufbereitung zu Ende des 2. Weltkriegs wurde nicht mehr umgesetzt. Nach damaligen Unter- suchungen enthielten die alten Halden rund 300.000 t gewinnbares Material @ 0,16 – 0,43 % ( $\emptyset$  0,33 %) Bi, 0,32 – 1,07 % ( $\emptyset$  0,39 %) Cu sowie 35 – 134 ppm Ag bzw. 432 t – 600 t gewinnbares Bismut (WERNICKE 1953).

Ein ähnliches Haldenvorkommen existiert im Chris- tophstal bei Freudenstadt; hier enthielt das über Jahrhunderte abgebaute Fahlerz 4,55 % Bi, 4,21 % Co und 1,37 % Ag (BANSE et al. 1964). Im Haufwerk der 1856 endgültig abgeworfenen Kobalt-Nickel- Silber-Bismut-Uran-Erzganglagerstätte von Wittichen im oberen Kinzigtal fand man in Schlitzpro- ben bis 3,1 % Bi bzw. konnte Erzkonzentrate mit 20,57 % Bi herstellen (BANSE et al. 1964).

Seit 1996 werden in der Grube Clara in Oberwolfach durch die Sachtleben Bergbau GmbH neben Baryt und Fluorit auch wieder Fahlerze abgebaut bzw. daraus Silber-Kupfererzkonzentrate hergestellt, die in Kanada verhüttet werden. Beispielhaft wur- den im Jahr 2000 56 t Erz- und im Jahr 2002 71 t Erzkonzentrat ausgebracht. Sicherlich führen auch diese Erzkonzentrate Bismut – die Wertmetall- zusammensetzung ist jedoch nicht publiziert.

Über den Gehalt an Bismut der in frühe- ren Jahrzehnten in Westdeutschland geförderten Blei-Zink-Kupfer-Erze ist aus heute noch zugäng- lichen statistischen Informationen nichts bekannt. Dennoch gab das damalige US Bureau of Mines bis 1979 eine westdeutsche Bismut-Bergwerkspro- duktion zwischen 9 und 13 t Bi-Inhalt an.

In den Jahrzehnten nach dem 2. Weltkrieg gab es in Westdeutschland neben zahlreichen Verarbeitern von Bismut auch noch mehrere Firmen, die auch Bismutmetall hergestellt haben sollen. Hierzu zählten nach ROSKILL (1971):

- Norddeutsche Affinerie AG, Hamburg: seit 2009 Aurubis AG, seit vielen Jahren nur noch Produktion von Blei-Bismut-Legierungen
- HEK GmbH, Lübeck: über Zwischenfirmen aufgegangen in der heutigen 5N Plus Lübeck GmbH, nur Produktion von Bismutverbindungen
- Dr. L. C. Marquat GmbH, Chemische Fabrik, Bonn-Beuel (vermutlich Fehlinformation, da bei Dr. L. C. Marquat nur Bismut verarbeitet wurde): 1979 eingegliedert in die Degussa AG, heute ein Standort der Evonik Industries AG, ohne Bismutproduktion
- Wilhelm Paff Lötstofffabrik, Wuppertal-Barmen (vermutlich Fehlinformation, da wie bei den anderen deutschen Lötstoffherstellern nur Bismut verarbeitet wurde bzw. wird): heute Stannol GmbH, ohne Bismutproduktion
- Bleiwerk Goslar KG, Goslar (vermutlich Fehlinformation): heute JL Goslar GmbH, ohne Bismutproduktion
- Unterharzer Berg- und Hüttenwerk GmbH, Goslar: seit 1986 Harz-Metall GmbH, ohne Bismutproduktion

Zudem arbeiteten in den 1970er Jahren noch Bleihütten mit potenzieller Bismutbeiproduktion (Ausbringen als Blei-Bismut-Legierung) in Duisburg, Braubach (RÜDIGER 1974) und Stolberg (Berzelius Metallhütten GmbH) sowie Nordenham (Preussag AG Metall). Auch heute noch verarbeiten die Recyclex Deutschland GmbH (als Nachfolger der Preussag AG Metall) und auch die Berzelius Metall GmbH (frdl. schriftl. Mitt.) Bleierzkonzentrate aus aller Welt, die auch Bismut enthalten. Dieses wird (vermutlich in Form von Blei-Bismut-Barren) herausraffiniert und an Bismutproduzenten – sicherlich 5N Plus Inc. – verkauft.

Auch die Raffinadebismutproduktion Westdeutschlands wurde nie publiziert, doch ging das US Bureau of Mines in den 1970er Jahren von einer Produktion von 300 bis 700 t aus und meldete 1979 sogar eine „reported figure“ von 661 t. Diese damalige hohe Raffinadebismutproduktion ergibt sich aus den Importen von Gold-Bismuterzkonzentraten aus den australischen Bergwerken

von Peko-Wallsend (vgl. Australien), die von der damaligen Norddeutschen Affinerie AG verhüttet wurden. Die damalige Bismutkapazität der Norddeutschen Affinerie lag bei 700 t Bi-Inhalt. Das in Hamburg elektrolytisch abgetrennte Rohbismut soll dann von der damaligen Mining and Chemical Products Ltd. in Großbritannien (vgl. Großbritannien) weiter raffiniert worden sein (ROSKILL 1990).

In den Lagerstätten des Erzgebirges sind Bismutminerale, vor allem gediegen Bismut und Bismuthinit, weit verbreitet, hauptsächlich auf den meso- bis epithermalen Kobalt-Nickel-Silber-Bismut-Uran-Gängen, aber auch in den pegmatitisch-pneumatolytischen Zinn-Wolframlagerstätten. Gewinnung und technische Verwertung der Bismuterze setzten mit Aufschluss der Silber-Bismut-Nickel-Kobalt-Gänge des westlichen Erzgebirges bereits im letzten Drittel des 15. Jh. ein. Im Laufe des 18. und 19. Jh. wurden die Bismuterze Hauptprodukt des Bergbaus, wobei nach 1900 der Bismutgehalt der abgebauten Erze sogar noch zunahm. Der Höhepunkt der Bismuterzförderung wurde im Jahr 1943 erreicht. Damals wurden 9.169 t Erz gefördert, die 327 t Bismutkonzentrate @ 17,6 % Bi (entsprechend 57,6 t Bi-Inhalt), 8,3 %  $U_3O_8$ , 2,7 % Co und 0,6 % Ni enthielten. Zusätzlich wurde schon damals Bismut als Nebenprodukt bei der Verhüttung von Zinnerzen und der Raffination von Blei gewonnen (BANSE et al. 1964).

Zu Zeiten der DDR fielen Bismuterze vor allem in den Lagerstätten Schlema-Alberoda und Altenberg an:

Im Schneeberger Revier wurden Bismuterze bereits im 15. Jh. gefördert (s. o.) und stellten stets ein begehrtes Nebenprodukt des Bergbaus dar, da der Absatz u. a. als Letternmetall für das Druckgewerbe gesichert war. In der Zeit von 1935 bis 1945 war der Schneeberger Bergbau ausschließlich auf Bismut ausgerichtet, das nun von der pharmazeutischen Industrie verarbeitet wurde. Die Lagerstätte Schlema-Alberoda des Schneeberger Reviers lieferte von 1958 bis 1973 Bismut, größtenteils aus komplexen Bismut-Kobalt-Nickel-Erzen. In den Jahren ab 1967 wiesen diese Erze auffällig hohe Bismutgehalte auf. Bismut lag in Schlema-Alberoda meist in gediegener Form vor und wurde von verschiedenen Kobalt-Nickel-Eisen-Arseniden, umgelagerter Pechblende, Quarz und Karbonaten begleitet. Vor Beginn des Abbaus waren für die Teillagerstät-

ten Oberschlema und Niederschlema-Alberode C1 + C2-Vorräte (nach russ. Klassifikation) von insgesamt 357,5 t Bismutinhalt in Uranerzen und rund 360 t Bismutinhalt in uranfreien Bismut-Kobalt-Nickel-Erzen errechnet worden. Insgesamt wurden dann aus Schlema-Alberoda zwischen 1958 und 1973 100,8 t Bismutinhalt in Form von 3.070 t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 3,28 % Bi gewonnen (HILLER & SCHUPPAN 2008).

In den Zinnreisen von Altenberg findet sich gediegenes Bismut und Bismuthinit fein eingesprengt sowie auf Klüften und Gangtrümmern ( $\varnothing$  150 ppm Bi im Erz). Bismutminerale wurden seit 1854 aus Altenberg gewonnen, jedoch erhöhte sich erst mit Einführung der Flotation das Aufkommen deutlich, da die Bismutminerale bei der Sulfidflotation (= Arsenflotation) mit in die Zinnkonzentrate gelangen. Zur Abtrennung eines eigenen Bismutkonzentrats mit erwarteten 25 – 30 % Bi, 5 – 10 % Cu, 6 % As, 1,5 % Mo und 1 – 2 % Sn kam es aber vor der Wende nicht mehr. Trotz ständig fallender Bismut-, Zinn- und Molybdängehalte im Erz war man in den Vorplanungen von einer Produktion von rund 40 t Bismutmineralkonzentrat im Jahr 1992 ausgegangen (WEINHOLD 2002). So wurde Bismut immer nur bei der Verhüttung der Zinnerzkonzentrate (@ 0,1 – 0,3 % Bi) in der Zinnhütte Freiberg als Blei-Bismut-Legierung ausgebracht. Die wie die Zinnerzgruben Altenberg und Ehrenfriedersdorf zum VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ gehörende Zinnhütte Freiberg verarbeitete aber auch Krätze und zur besseren Auslastung Zinnerzkonzentrate aus der Tschechoslowakei (ANONYM 1990, HÄUSER 1993).

Kleine Mengen Indium, Antimon, Germanium, Silizium, Gallium und Bismut in Form von Reinstmetall waren zudem Erzeugnisse des VEB Spurenmehalle in Freiberg.

Bei der Verarbeitung und Verhüttung des Kupferschiefers wurden zwar Kupfer und Silber

sowie zeitweise Blei, Zink, Selen, Vanadium, Kobalt, Germanium, Rhenium, Gold, Molybdän und Nickel, nie aber das nur in sehr geringen Mengen enthaltenen Bismut abgetrennt (HÄUSER 1993).

Auch aus anderen, noch weitgehend unverritzten Lagerstätten des Erzgebirges sind Bismutgehalte publiziert:

- Zinn-Wolfram-Skarnlagerstätte Pöhla-Globenstein: 8,494 Mio. t Erz @ 400 ppm Bi (= 3.677 t Bi-Inhalt) (C1 + C2) (HÖSEL 2003)
- Zinn-Skarnlagerstätte Tellerhäuser-Hämmerlein: 22,613 Mio. t Erz @ 20 – 70 ppm Bi (= 450 – 1.580 t Bi-Inhalt) (C1 + C2) (SCHUPPAN & HILLER 2012).

Die Rohstoffdatenbank des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (frdl. schriftl. Mitt.) enthält zudem noch Daten zur:

- Silber-Kobalt-Bismut-Uran-Ganglagerstättenrevier Schneeberg: 1.656 t Bi-Inhalt in alten Aufbereitungsabgängen
- Zinn-Greisenlagerstätte Falkenhain-Hegelshöhe: Erz @ 110 ppm Bi im Endokontaktbereich bzw. @ 340 ppm im Exokontaktbereich
- Zinn-Kupfer-Greisenlagerstätte Gottesberg: C2-Vorräte von 47 Mio. t Erz @ 150 ppm Bi (= 7.050 t Bi-Inhalt) (nach JORC: 7 Mio. t Erz = ca. 1.050 t Bi-Inhalt)
- Zinn-Greisenlagerstätte Sachsenhöhe: D-Erzvorräte mit 400 t Bi-Inhalt
- Zinn-Skarnlagerstätte Antonsthal: D2-Erzvorräte mit 1.500 t Bi-Inhalt
- Zinn-Skarnlagerstätte Breitenbrunn: Erz @ 200 ppm Bi

Daten zur Bismutproduktion in der ehemaligen DDR sind in ANONYM (1990) publiziert. Vermutlich handelt es sich bei diesen Daten um den Bismutinhalt der in Freiberg produzierten Blei-Bismut-Legierungen und nicht um Raffinadebismut i. e. S. (s. Tab. 18).

**Tabelle 18: Bismutproduktion (in t Bi-Inhalt) für die Jahre 1970 bis 1989 in der ehemaligen DDR, aus ANONYM (1990).**

1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
8,0					8,3			12,0	6,5
1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
2,7	6,4	4,6	5,7	25,0	8,8	3,9	2,3	0,0	12,1

## Literatur

ANONYM (1990): Handbuch Nichteisenmetallurgie – Technisch-wirtschaftliche Kennziffern. – VEB Metallurgieelektronik Leipzig, Ausgabe 1990: 180 S.; Leipzig.

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

HÄUSSER, I. (1993): Zur Produktion mineralischer Rohstoffe in der DDR. – Geol. Jb., **A 142**: 347 – 381, 4 Abb., 3 Tab.; Hannover.

HILLER, A. & SCHUPPAN, W. & (2008): Geologie und Uranbergbau im Revier Schlema-Alberoda. – Bergbau in Sachsen, **14**: 171 S., 156 Abb., 56 Tab., 25 Beil., 6 Anh.; Freiberg.

HÖSEL, G. (2003): Die polymetallische Skarnlagerstätte Pöhla-Globenstein. – Bergbau in Sachsen, **8**: 85 S., 43 Abb., 36. Tab., 29 Taf.; Freiberg.

MEHNER, W. (1993): Geschichte der Blei- und Kupfererzeugung am Unterharz. Eine Chronik der Metallgewinnung von 1500 – 1992. – 185 S., 56 Abb., 12 Tab.; Goslar (Harz-Metall GmbH).

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1971): Bismuth: the future trend of prices (revised edition 1971). – 45 S., 22 Tab., London.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth, Eighth Edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab., 3 Anh.; London.

RÜDIGER, W. (1974): Die Anreicherung von Wismut-Schäumen. – Erzmetall, **27**, 12: 599 – 603, 1 Abb.; Clausthal-Zellerfeld.

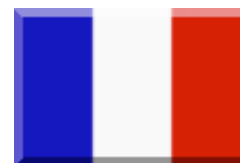
SCHUPPAN, W. & HILLER, A. (2012): Die Komplexlagerstätten Tellerhäuser und Hämmerlein. – Bergbau in Sachsen, **17**: 155 S., 102 Abb., zahlr. Tab., 7 Beil. auf CD, 6 Anh.; Freiberg.

WEINHOLD, G. (2002): Die Zinnerz-Lagerstätte Altenbeg/Osterzgebirge. – Bergbau in Sachsen, **9**: 273 S., 190 Abb., 50 Tab., 7 Beil.; Freiberg.

WERNICKE, A. (1953): Die Wismut-Kupfer-Erzlagerstätte von Neubulach im Schwarzwald. – Erzmetall, **VI**: 350 – 356. 6 Abb.; Stuttgart.



## Frankreich



In Frankreich wurde Rohbismut zwischen 1936 und 1977 sowie zwischen 1989 und 1991 durch die Societe des Mines et Produits Chimiques de Salsigne (SMPCS) in der Hütte von Combe-du-Sant, nördlich Carcassonne, aus den Rückständen der Arsenikraffination gewonnen. Das in Combe-du-Sant verhüttete Gold-Arsenerz stammte aus der Lagerstätte Salsigne, Montagne Noire (im Süden des Zentralplateaus), Département Aude. Das Rohbismut wurde zur Raffination nach Großbritannien, ab 1970 vermehrt nach Belgien exportiert.

Auf den vornehmlich mit Pyrit und Arsenopyrit vererzten Gängen von Salsigne begleiten Bismuthinit und gediegen Bismut Chalcopyrit und

gediegen Gold (BANSE et al. 1964). Das Roherz enthielt nach ROSKILL (1990) durchschnittlich 12 ppm Au, 30 ppm Ag, 0,1 % Bi, 0,15 % Cu und 7 % As. Nach TRUEB (1996) führte das im Tagebau abgebaute Erz durchschnittlich 7,7 ppm Au, 114 ppm Ag, 0,67 % Cu, 0,13 % Bi und 410 ppm Sb, das Erz aus dem Untertageabbau dagegen 8,8 ppm Au, 69,2 ppm Ag, 0,15 % Cu, 0,22 % Bi und 13,1 % As. 1979 beinhalteten die Erzvorräte von Salsigne eine Ressource von 3.760 t Bi-Inhalt.

Die während des Erzabbaus zwischen 1978 und 1988 anfallenden bismuthaltigen Filterstäube und Schmelzrückstände, über 4.000 t, wurden erst nach Modernisierung der gesamten Produktions-

**Tabelle 19: Bergbau- und Raffinadeproduktion von Bismut (in t Bi-Inhalt) nach Firmen in Frankreich (ROSKILL 1976, 1990) bzw. in ganz Frankreich (Bergbau: BGS World Mineral Statistics, Raffinade: USGS Minerals Yearbook)**

Jahr	Rohbismut SMPCS	Bismutmetall Peñarroya	Raffinadeproduktion Frankreich	Bergbauproduktion Frankreich
1970	62	10	72	74
1971	63	13	77	77
1972	(55)	12	67	57
1973	43	14	57	56
1974	50	7	57	63
1975	52	(5)	57	73
1976	60	(3)	63	100
1977	52	(0)	52	73
1978	65		-	79
1979	-		-	95
1980	-		-	67
1981	-		-	64
1982	-		-	78
1983	-		-	97
1984	-		-	79
1985	-		-	70
1986	-		-	95
1987	-		-	100
1988	-		-	100
1989	?		60 – 80	110
1990	?		60 – 80	70
1991	?		60 – 80	0

einrichtungen und Inbetriebnahme einer neuen Bismutanlage ab 1989 wieder aufbereitet. Die neue Anlage besaß eine Kapazität von 150 t Bi-Metall/a. Die Produktion bis Ende 1991 soll danach bei 60 – 80 tpa Rohbismut gelegen haben. 1992 wurde durch Umstellung auf Cyanidlaugung des Goldes kein Bismut mehr produziert (FICKLING 1992).

Im Oktober 1991 wurde SMPCS unter staatliche Aufsicht gestellt und musste im September 1992 Insolvenz anmelden. Kurz danach wurden nur die Bergwerke und bergbaulichen Anlagen von einem australischen Bergbaukonsortium aufgekauft und der Bergbau unter dem Firmennamen Mines d'Or de Salsigne (MOS) bis 2004 als reiner Goldbergbau mit Silber als Nebenwertmetall fortgeführt. Das in den Erzen enthaltene Arsen und Bismut gelangte ab 1992 in die Schlammteiche. Zurück blieben nach Insolvenz von SMPCS und Ende des Abbaus durch MOS der am stärksten belastete Industriestandort Frankreichs u. a. mit rund 10.000 t mit Arsen und Bismut belasteten Aufbereitungsabgängen.

Auch die Société Minière et Métallurgique de Peñarroya gewann Bismut als Beiprodukt der Verhüttung von Blei-Zink-Erzen am Standort Noyelles-Godault im Département Pas-de-Calais. Die letzte gemeldete Bismutproduktion dieser Firma geht allerdings auf das Jahr 1972 (12 t) zurück. Einige weitere von ROSKILL (1976) abgeleitete Produktionsdaten von Peñarroya sind in Tabelle 19 aufgeführt. 1988 verschmolz Peñarroya mit der ehemaligen Preussag AG Metall zur Metaleurop AG, die im Jahr 2003 Insolvenz anmeldete.

## Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): *Wismut. Ergänzungsband*. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb.; Heidelberg.

FICKLING, M. (1992): *Bismuth*. – *Metals & Minerals Annual Review – 1992*: 92 – 93, 4 Tab.; London.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1976): *The economics of bismuth*, Fourth Edition 1976. – 113 S., 70 Tab., 4 Anh.; London

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): *The economics of bismuth*, Eighth Edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab., 3 Anh.; London.

TRUEB, L. F. (1996): *The Salsigne Gold Mine: A world-class ore body in the south west of France*. – *Gold Bulletin*, **29**, 4: 137 – 140, 2 Abb.; Heidelberg – URL: <http://www.aditnow.co.uk/documents/Salsigne-Gold-Mine/art3A10.10072FBF03214749-Salsigne.pdf>.

## Griechenland



Auf der Chalkidi Halbinsel, südöstlich Thessaloniki, im Norden Griechenlands, liegen die sog. Cassandra Bergwerke, bestehend aus den seit Jahrtausenden abgebauten Lagerstätten Olympias (Blei-Zink-Silber-Gold), Skouries (Kupfer-Gold) und Stratoni (Blei-Zink-Gold). Nach wechselvoller Geschichte mit zahlreichen unterschiedlichen Eigentümern wurden die Cassandra Bergwerke im Zuge einer Firmenakquisition im Jahr 2012 von der kanadischen Eldorado Gold Corp. übernommen.

Die karbonatische Verdrängungslagerstätte Stratoni, die derzeit als einzige abgebaut wird, besteht aus der ausgeerzten Teillagerstätte Madem Lakkos und der Teillagerstätte Mavres Petres. Die Haupterzminerale in Mavres Petres sind Pyrit, Zinkblende, Bleiglanz, Arsenopyrit und Chalcocypit. Refraktäres Gold ist an Arsenopyrit und Pyrit gebunden. Die Gangminerale sind Quarz, Calcit sowie untergeordnet Rhodochrosit.

Stratoni enthielt zum 31.12.2014 Ressourcen („Measured & Indicated“) von 1,123 Mio. t Erz @ 10,5 % Zn, 7,9 % Pb und 210 ppm Ag inkl. Reserven von 787.000 t Erz @ 10,2 % Zn, 6,9 % Pb und 122 ppm Ag. In der Stratoni Aufbereitungsanlage wurden im Jahr 2014 219.861 t Erz @ 10,5 % Zn, 5,9 % Pb und rund 180 ppm Ag zu 58.375 t Blei- und Zinkerzkonzentrat @ ca. 67 % Pb bzw. ca. 49 % Zn verarbeitet. Das Bleierzkonzentrat führt zwischen 0,18 – 0,24 % Bi (FEISER 1966).

Aus den o. g. Produktionsdaten lässt sich rückrechnen, dass im Jahr 2014 in Stratoni Erze mit ca. 35 – 45 t Bi-Inhalt abgebaut wurden (s. Tab. 20). Letztmalig wurde das in den Erzen aus Stratoni enthaltene Bismut in Griechenland im Jahr 1990 in Form von Blei-Bismut-Legierungen in der Aufbereitungs-/Verhüttungsanlage von Lavrion nahe Athen ausgebracht. Seit dieser Zeit werden die in Stratoni produzierten

**Tabelle 20: Weltweite Importe von Bleierzkonzentrat aus Griechenland seit 1999 (nach Global Trade Atlas) und darin vermutlich enthaltenes Bismut (nach FEISER 1966).**

Jahr	Export Bleierzkonzentrat (t)	davon nach China (%)	Bi-Inhalt (t)
1999	29.175	0,0	52 – 70
2000	25.017	0,0	45 – 60
2001	29.302	0,0	52 – 70
2002	38.466	0,0	69 – 92
2003	0	0,0	0
2004	8.532	0,0	15 – 20
2005	311	0,0	1
2006	14.051	0,0	25 – 34
2007	17.294	49,2	31 – 42
2008	20.015	56,0	36 – 48
2009	24.631	91,8	44 – 59
2010	20.992	88,7	38 – 50
2011	15.733	95,5	28 – 38
2012	18.088	97,8	32 – 43
2013	18.961	98,8	34 – 46
2014	18.537	100,0	33 – 44

Bleierzkonzentrate zur Verhütung exportiert, seit einigen Jahren fast ausschließlich nach China sowie weit untergeordnet nach Bulgarien. Frühere Exportländer waren zudem Serbien, Italien, Indien, Kasachstan und Marokko (vgl. Tab. 20).

#### Literatur

FEISER, J. (1966): Wismut. – In: Die Metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung. **17** (Nebenmetalle). – 193 – 228, 2 Abb., 4 Tab.; Stuttgart (Ferdinand Enke).

## Großbritannien



Großbritannien besitzt keine abbauwürdigen Vorkommen von Bismut, doch wurden zwischen 1929 und 2012 am Standort Wellingborough, Northamptonshire, Bismuterzkonzentrate, später auch Bismutschrotte und -abfälle verarbeitet bzw. raffiniert und zu Bismutprodukten für die chemische, metallurgische und pharmazeutische Industrie veredelt. In diesem Bereich und auch in der Produktion von Tellur, Selen, Indium, Gallium, Zinn und deren Legierungen tätiges Unternehmen war über Jahrzehnte die Firma Mining and Chemical Products Ltd. (MCP), die im Jahr 2007 mit der belgischen Sidech SA fusionierte und dann im Jahr 2011 als MCP Group SA von der kanadischen 5N Plus Inc. übernommen wurde. Diese entschloss sich ein Jahr später, ihre europäische Raffinadebismutproduktion in Tilly, Belgien, zu konzentrieren.

Bis 1991 betrieb auch die Firma Capper Pass and Son Ltd., seit 1967 ein Unternehmen der Rio Tinto Gruppe, bei Melton, East Riding of York-

shire, eine Aufbereitungs- und Raffinationsanlage für Zinn, Silber, Cadmium, Blei, Kupfer, Antimon, Bismut, Indium und Gold. Dieses Unternehmen hatte sich auf die Aufbereitung niedriggradiger und komplexer Erze, Abfälle, Aschen, Schlacken und Filterstäube spezialisiert. Die Kapazität an Rohbismut lag bei 200 tpa, die Durchschnittsproduktion bei 150 tpa – dieses wurde dann vermutlich von MCP raffiniert.

Die Höhe der Raffinadeproduktion von Bismut in Großbritannien bis zum Jahr 2012 ist unbekannt. Schätzungen liegen nur aus ROSKILL (1990) und vom US Geological Survey bis 1991 vor (s. Tab. 21)

### Literatur

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth, Eighth Edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.

**Tabelle 21: Schätzung der Raffinadeproduktion von Bismut (in t) in Großbritannien für die Jahre 1973 – 1991, nach ROSKILL (1990) und USGS Mineral Yearbooks.**

1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
335	391	375	143	216	115	148	130	162	131
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
150	150	150	150	180	200	170	125	100	





## Indien



Indien verfügt über keine bekannten, wirtschaftlich abbaubaren Bismutlagerstätten, doch wird Bismut als Beiprodukt bei der Kupfererzverhüttung abgetrennt.

Vedanta Ltd., eine Mehrheitsbeteiligung des britischen Bergbauunternehmens Vedanta Resources plc. ist u. a. Eigentümer der Tuticorin Kupferhütte und -raffinerie in Thoothukudi in Tamil Nadu sowie von Hindustan Zinc Ltd. mit Blei-Zinkhütte in Chinderyia, Rajasthan.

Die Tuticorin Kupferhütte und -raffinerie von Vedanta Ltd. verarbeitet keine indischen, sondern importierte Kupfererzkonzentrate, darunter aus dem gruppeneigenen Mt. Lyell Kupferbergwerk in Tasmanien. Seit 2007 ist in Tuticorin (nicht bestätigt, möglicherweise ebenfalls in der Silvassa Kupferhütte von Vedanta)

auch eine Bismutanlage installiert, die Bismut-Bisulfat,  $\text{Bi}(\text{HSO}_4)_3$ , produziert. Die Bismut-Bisulfatkapazität von Vedanta soll bei rund 150 tpa liegen, doch wurden z. B. im Finanzjahr 2009/10 statt geplanten 17 t nur 440 kg dieses Bismut-salzes produziert.

Ebenfalls seit langem geplant ist die Abtrennung von Bismut (geplante Kapazität 10 tpa) (sowie Gold und Quecksilber) in der Blei-Zinkhütte von Chanderyia. Hier und in der Zink-Bleihütte von Dariba, ebenfalls Rajasthan, werden jährlich rund 160.000 t Blei- und 140.000 t Zinkerzkonzentrate aus dem Rampura-Agucha Tagebau sowie den Untertagebergwerken Rajpura-Dariba, Sindesar-Khurd und Zavar, alle Rajasthan, aufbereitet. Neben Zink und Blei werden bereits beibrechend Cadmium und Silber (und sicherlich auch Blei-Bismut-Legierungen) produziert.



## Italien



Einzigster italienischer Produzent von Bismut ist seit 1953 die Bleihütte von San Gavino, Provinz Cagliari, Sardinien. Diese wird seit über einem Jahrzehnt – mit Unterbrechung zwischen 2009 und 2013 aufgrund von Modernisierungen – von der Firma Portovesme s.r.l., einem Tochterunternehmen der heutigen Glencore plc. betrieben, die sie 1999 vom staatlichen italienischen Ölkonzern E.N.I. erwarb

Die Hütte von San Gavino war ursprünglich 1932 eröffnet worden, um die Blei-Zinkerze aus Monteponi, Masua, Campo Pisano und den zahlreichen anderen Bergwerken auf Sardinien verhütten zu können. Gestiegener Wert wurde dabei im Laufe der Jahre auch auf die beibehaltende Gewinnung der anderen im Erz enthaltenen Wertmetalle, besonders Gold und Silber, später aber auch Kupfer, Bismut und Antimon gelegt. Das Bleierz aus den Bergwerken um Montevecchio (Abbau 1851 – 1993) enthielt zum Beispiel aber nur 10 ppm Bi, daraus das Bleierzkonzentrat 50 ppm Bi.

1991/92 wurden die letzten Metallerzbergwerke auf Sardinien geschlossen, und Portovesme

s.r.l. bzw. ihre Vorgängerfirma Sameton SpA verarbeiten seitdem am küstennahen Standort Portoscuso nur noch zugekaufte Blei-Zinkerze (im Jahr 2014 aus Peru, Mexiko, USA, Schweden, aber auch aus Spanien, Marokko, Irland und Burkina Faso), Blei-Silbersulfate sowie Abfälle aus der Batterieproduktion. Das in Portoscuso entkupferte Blei wird in San Gavino raffiniert. Die dortige Jahreskapazität beträgt derzeit 85.000 t Blei sowie Produkte mit 300 t Ag-, 1.200 kg Au- und 70 t Bi-Inhalt, zusätzlich wird auch noch Antimon gewonnen. Bismut soll in einer Reinheit von 99,99 % Bi in 10 kg-Barren produziert und größtenteils in der pharmazeutischen, aber auch Eisen- und Stahlindustrie verwendet werden. Vermutlich werden heute jedoch eher Blei-Bismutlegierungen produziert.

Die Raffinadeproduktion von Bismut in Italien wird seit 1984 vom USGS publiziert, seit 1993 aber nur noch geschätzt. Auch bei der seit 1977 vom BGS publizierten Bergbauproduktion handelt es sich um die Raffinadeproduktion. Zusätzliche Einzeldaten zur Produktion liegen aus ROSKILL (1976, 1990) vor.

**Tabelle 22: Raffinadeproduktion von Bismut (in t) in Italien für die Jahre 1970 bis 2014, nach BGS World Mineral Statistics, USGS Minerals Yearbook sowie ROSKILL (1976, 1990)**

1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
20	?	?	?	?	?	56	8	9	19
1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
43	15	28	22	26	54	66	44	32	46
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
34	45	20	15?	5?	5?	5?	5?	5?	5?
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5?	5?	5?	5?	5?	5?	5?	5?	5?	-
2010	2011	2012	2013	2014					
-	-	-	?	?					

## Literatur

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD.  
(1976): The economics of bismuth, Fourth edition  
1976. – 113 S., 70 Tab.; 4 Anh.; London.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD.  
(1990): The economics of bismuth, Eighth edition  
1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.



## Japan



Japan verfügte früher über zahlreiche Metallergbergwerke bzw. -lagerstätten, aus denen auch Bismut als Beiprodukt abgetrennt wurde. Gewonnen wurde das Metall hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Verhüttung von Erzen der Buntmetallagerstätten Kamioka (Bismutgewinnung 1925 – 2002), Ashio (1925 – 1973) und Ikuno (1942 – 1973) (s. u.). Während des 2. Weltkriegs lieferten die beiden ersten Lagerstätten jährlich Konzentrate mit 37 – 49 bzw. 8 – 22 t Bi-Inhalt, von Ikuno kamen Konzentrate mit 2 – 9 t Bi-Inhalt. Andere, wesentlich kleinere Produzenten trugen Konzentrate mit 1 – 3 t Bi-Inhalt pro Jahr zur Gesamtproduktion bei. Zu diesen gehörte das Wolframitbergwerk Ebisu bei Nakagiri, Präfektur Gifu, mit insgesamt 5,4 t Bi-Inhalt aus Bismutit, gefördert zwischen 1943 und 1945 (BANSE et al. 1964).

Die Lagerstätte Ashio, Präfektur Tochigi, führte in Verdrängungskörpern und Quarz-Sulfidgängen gediegen Bismut und Bismuthinit, zusammen mit Magnetit und Fe-reicher Zinkblende, dazu Gold, Wolframit, Chalcocypit, Stannit, Pyrit und Wittichenit.

Das Bergwerk Kamioko, Präfektur Gifu, baute auf den kontaktmetasomatischen Lagerstätten Tochibora, Mozumi und Murayama mit 19, 16 bzw. 7 einzelnen Erzkörpern. Das Roherz der beiden ersten Lagerstätten führte 20 bzw. 40 ppm Bi in Form von Bismuthinit und Thiosalzen.

Auch das Bergwerk Nakatatsu (im Besitz von Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd), Präfektur Fukui, baute auf Kontaktlagerstätten mit Bismuthinit führenden Kupfer-Blei-Zinkerzen.

In den Erzen des Bergwerks Ikuno (Kupfer-Blei-Zink) und Akenobe (Zinn-Wolfram), Präfektur Hyogo, fand sich gediegen Bismut und Bismuthinit, in Ikuno auch Ikunolith ( $\text{Bi}_4(\text{S},\text{Se})_3$ ) (BANSE et al. 1964).

Nach dem 2. Weltkrieg setzten die großen Industriekonzerne Japans die Bismutproduktion aus denen ihnen gehörenden Bergwerken fort. So pro-

duzierten im Jahr 1958 beispielhaft Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd. aus Erzen aus Kamioka Konzentrate mit 41 t Bi-Inhalt, Mitsubishi Metal Mining Co., Ltd. aus Ikuno und Akenobe Konzentrate mit rund 16 t Bi-Inhalt und Furuka Mining Co. war zweitgrößter Bismutproduzent aus Ashio-Erzen (BANSE et al. 1964). 1975 stammten 333 der 654 produzierten Tonnen Bismut aus heimischen Blei- und Kupfererzen (Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd. zitiert in ROSKILL 1976).

1987 überarbeitete der Geologische Dienst von Japan seine Berechnung der heimischen Bismutreserven und setzte diese von 52.000 t auf 7.900 t Bi-Inhalt drastisch herab. Grundlage waren neue Analysen von Erzproben aus den damaligen Blei-Zink-Bergwerken Japans, die im Mittel einen Gehalt von 0,114 % Bi ergaben. Die höchsten Bismutgehalte wurden in VMS- und Skarnlagerstätten ermittelt, die seit langem die Grundlage der heimischen Blei-Zink-Produktion bildeten.

Heute sind mit Ausnahme des Goldbergwerks Hishikari, s. u., alle heimischen Metallergbergwerke Japans geschlossen, doch wird Bismut weiterhin vor allem bei der Verarbeitung importierter Bleierz- und Kupfererzkonzentrate gewonnen. Diese stammten im Jahr 2014 zu 50,8 % aus Australien, 22,2 % aus den USA, 12,6 % aus Bolivien, 12,2 % aus Peru und zu zusammen 2,0 % aus Guatemala und Brasilien (Bleierzkonzentrate) bzw. zu 50,0 % aus Chile, 11,1 % aus Australien, 10,5 % aus Peru, 8,8 % aus Kanada, 5,0 % aus Indonesien und zu zusammen 14,6 % aus zehn weiteren Ländern (Kupfererzkonzentrate).

Seit 1987 ist Japan Importland für bismuthaltige Konzentrate (FICKLING 1990).

Die derzeitigen (im Folgenden in Fett) bzw. langjährigen Produzenten von Bismutmetall in Japan, in Reihenfolge ihrer Bedeutung, sind bzw. waren:

- Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd. (Mitsui Kinzoku) ist aktiv im Abbau von Zinkerzen in Peru, in der Verhüttung und Raffinade von impor-

- tierten (70 % des Materialeinsatzes, 10 % aus eigenem Bergwerk) Buntmetallerzkonzentrat sowie Recycling von Metallabfällen (30 % des Materialeinsatzes) mit Gewinnung zahlreicher Basis-, Edel- und Sondermetalle, darunter Bismut. Mitsui betreibt drei Zinkhütten in Japan, darunter die Blei-Zinkhütte des Tochterunternehmens **Kamioka Mining and Smelting Co., Ltd.**, das bis 2002 auch das Kamioka Blei-Zink-Bergwerk betrieb. Die Blei-Zinkhütte Kamioka produziert neben Zink und Blei auch Silber, Cadmium und Bismut – letzteres mit einer Kapazität von ca. 330 tpa. In der Takehara Edelmetallraffinerie, Präfektur Hiroshima, werden zudem aus Edelmetall- und Elektronikschrott Gold, Platin, Palladium und Silber, aber auch Zinn, Antimon, Indium, Bismut, Selen, Tellur, Kupfer und andere Metalle zurückgewonnen.
- **Dowa Metals & Mining Co., Ltd.** gewinnt Kupfererze in zwei Bergwerken in Kanada und Blei-Zink-Kupfererze in einem Bergwerk in Mexiko. Die im Ausland produzierten Erzkonzentrate werden zusammen mit zugekauften Buntmetallerzkonzentrat wie auch Metallrückständen in einem komplexen Kupfer-Blei-Verarbeitungskomplex in Kosaka, Präfektur Akita, verhüttet und raffiniert. Neben Bismutmetall mit einer Jahreskapazität von 240 t @ > 99,995 % Bi aus Anodenschlämmen werden dort 16 weitere Metalle extrahiert. Neben Bismutmetall werden von Dowa auch zahlreiche Bismutlegierungen produziert.
  - JX Nippon Mining & Metals Corp. betreibt über seine 66 %ige Beteiligung (34 % Mitsui Mining and Smelting) Pan Pacific Copper Co., Ltd. bzw. deren Beteiligungen an Nikko Smelting & Refining Co. und Hibi Kyodo Smelting Co., Ltd. eine Kupferhütte und -raffinerie in Saganoseki, Präfektur Oita, eine Kupferraffinerie in Hitachi, Präfektur Ibraki, und eine Kupferhütte in Tamano, Präfektur Okayama. Die von Pan Pacific Copper verarbeiteten Kupfererzkonzentrate stammen aus aller Welt, darunter aus Bergbaubeteiligungen in Chile und Peru. In der Raffinerie in Saganoseki werden neben Kupfer auch Blei, Palladium, Platin, Gold, Silber, Selen, Tellur, Bismut (Kapazität 100 tpa) und zahlreiche andere Sondermetalle bzw. Zwischenprodukte ausgebracht. Diese werden zusammen mit Edukten des unternehmenseigenen Metallschrott- und Prozessabfallrecyclings seit Ende 2008 in einem neu errichteten Metallrecyclingkomplex in Hitachi aufbereitet. Die dortigen Jahreskapazitäten liegen bei Produkten mit 2,4 t Au-, 50 t Ag-, 1,2 t Pd-, 600 kg Pt-, 6 t In-, 150 t Sb-, 200 t Bi-, 500 t Ni-, 6.000 t Cu-, 700 t Zn- und 500 t Sn-Inhalt. Daneben werden Cadmium, Rhenium, Ruthenium und Iridium zurückgewonnen. Soweit bekannt, wird das gesamte im Unternehmen produzierte Bismut gleich wieder zu Bismutlegierungen für die Elektronikindustrie umgeschmolzen.
  - **Toho Zinc Co., Ltd.** ist der größte Produzent von Blei und einer der größten Produzenten von Silber und Zink in Japan. Das Unternehmen versorgt sich mit Rohstoffen über seine 2010 erworbene Tochterfirma CBH Resources Ltd., die in New South Wales/Australien die Zink-Blei-Silber-Untertagebergwerke Endeavour (seit 1983) und Rasp (seit 2012) betreibt. Die in Australien produzierten Erzkonzentrate werden in der 1937 eröffneten Zinkhütte Annaka, Präfektur Gunma, bzw. der 1951 eröffneten Bleihütte Chigirishima, Präfektur Hiroshima, verarbeitet. In Chigirishima werden neben Blei aus Anodenschlämmen auch Silber und Bismut elektrolytisch raffiniert, wobei die Bismutkapazität von Toho Zinc seit 1983 bei 180 tpa @ 99,999 % Bi liegt. Die durchschnittliche Jahresproduktion beträgt 90.000 t Blei, 300 t Silber und 140 t Bismut.
  - Mitsubishi Materials Corp. ist seit 1988 nicht mehr im Bergbau in Japan engagiert, betreibt jedoch dort noch zwei Kupferhütten bzw. Raffinerien (Onahama in Iwaki, Präfektur Fukushima und Naoshima, Präfektur Kagawa). Der Kupfer-Edelmetallraffinerie in Naoshima ist auch eine Bleihütte/-raffinerie angeschlossen, in der auch Bismut anfällt. Zur Mitsubishi-Gruppe gehört zudem die 1986 gegründete Firma **Hosokura Metal Mining Co., Ltd.**, die in Hosokura, Präfektur Miyagi, eine Bleiraffinerie auf Basis von Bleibatterien und Zwischenprodukten betreibt. Hier werden neben Blei auch Bismutmetall (Kapazität 80 tpa), Rohsilber und Antimontrioxid gewonnen.
  - Sumitomo Metal Mining Co., Ltd. war bis 1975 der größte Bismutproduzent in Japan und zwar auf der Basis aus Australien importierter Kupfererzkonzentrate von Peko-Wallsend Ltd. (s. Australien). Bis Mitte der 1980er Jahre

wurden diese und später andere Kupfererzkonzentrate in der ehemaligen Kupferhütte Kunito, Präfektur Haido, und später zunehmend in der heute noch produzierenden Kupferhütte Toyo, Präfektur Ehime, verarbeitet und dabei in der angeschlossenen Niihama Raffinerie auch Raffinadebismut ausgebracht. Heute stammen die in Toyo verarbeiteten Kupfererzkonzentrate aus Bergbaubeteiligungen in Arizona, Chile und Peru sowie Zukäufen. Zudem werden in Toyo die Golderze aus dem letzten verbliebenen Goldbergwerk Japans, Hishikari, Präfektur Kagoshima, verhüttet.

In der Niihama Raffinerie werden Schlämme aus der hauseigenen Nickelraffination, der Harima Zinkhütte (JV mit Mitsui) und der Toyo Kupferhütte @ 2,5 % Bi verarbeitet und daraus vor allem Silber, Gold, Palladium, Platin, Rhenium, Kupfer, Nickel, Selen, Tellur, Bismut und Antimon-Legierungen produziert. Die Bismutkapazität von Sumitomo liegt bei ca. 50 tpa - eine Produktion fand jedoch zumindest 2013 und 2014 nicht statt.

- Furukuwa Co., Ltd. ist zu 8,3 % zusammen mit Mitsubishi Materials Corp. (49,3 %), Dowa Metals & Mining Co., Ltd. (31,1 %) und anderen Firmen an der Onahama Smelting and Refining Co., Ltd. mit Kupferhütte in Iwaki, Präfektur Fukushima (s. o.) und zu 16 % mit JX Nippon Mining & Metals Corp (20,5 %) und Mitsui Mining & Smelting Co.,

Ltd. (63,5 %) an der Hibi Kyodo Smelting Co., Ltd. mit Kupferhütte in Tamano, Präfektur Okayama (s. o.), beteiligt. Bis 1989 betrieb Furukuwa noch eine eigene Kupferhütte in Ashio in der Präfektur Tochigi, wo auch Bismutmetall aus Anodenschlämmen gewonnen wurde. Die damalige Bismutkapazität lag bei rund 20 tpa.

- Bis zum Jahr 1980 war auch Rasa Industries Ltd. in der Produktion von Bismut tätig. Dieses stammte aus dem Kupferbergwerk Yaguki, Präfektur Fukushima, in dem Erze @ 15 – 21 % Cu, 28 – 35 % Fe und 0,45 % Bi abgebaut wurden. Zusammen mit bismuthaltigen Rückständen wurden daraus in der Miyako Hütte, Präfektur Iwate, neben Kupfer auch cadmium-, tellur- und bismuthaltige Zwischenprodukte gewonnen.

Die Metallproduktion Japans, auch die Raffinadeproduktion von Bismut, wird aufgrund von Mitgliederumfragen von der JMIA - Japan Mining Industry Association publiziert. Diese Daten stimmen mit sehr geringen Abweichungen mit den von USBM/USGS bzw. BGS ebenfalls seit über 40 Jahren publizierten Daten überein (s. Tab. 23).

**Tabelle 23: Raffinadeproduktion von Bismut (in t) in Japan ab 1970, Quelle: Japan Mining Industry Association, zitiert in ROSKILL (1990) bzw. Roskill's Letter from Japan.**

<b>1970</b>	<b>1971</b>	<b>1972</b>	<b>1973</b>	<b>1974</b>	<b>1975</b>	<b>1976</b>	<b>1977</b>	<b>1978</b>	<b>1979</b>
678	807	900	855	794	654	656	701	624	448
<b>1980</b>	<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>
330	478	486	574	558	641	636	546	528	507
<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
444	467	530	497	504	594	560	474	470	475
<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
501	538	478	495	498	485	417	403	473	424
<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>					
448	476	446	485	582					

## Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDBERGER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

FICKLING, M. (1990): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review – 1990: S. 89, 2 Tab.; London.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1976): The economics of bismuth, Fourth Edition 1976 – 113 S., 70 Tab.; 4 Anh.; London.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth, Eighth Edition 1990 – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.

## Kanada



In Kanada wurde Raffinadebismut bis 2007 ausschließlich als Nebenprodukt bei der Verhüttung polymetallischer Erze gewonnen. Diese wurden teils in Kanada abgebaut, teils importiert, so dass eine Zuordnung der Bismutproduktion schwierig ist.

Zwischen 1975 und 2013 war die Brunswick Mining and Smelting Corporation Ltd., seit 2006 im Besitz von Xstrata Zinc Canada, größter kanadischer Produzent von Bismut. Das Bismut stammte zum einen aus den im unternehmens-eigenen No. 12 Bergwerk in Gloucester City bei Bathurst, New Brunswick, geförderten sulfidischen Zink-Blei-Kupfer-Silbererzen, doch wurde dieses Bergwerk im Frühsommer 2013 wegen Erschöpfung geschlossen. Zum anderen waren die Filterstäube @ 0,5 – 1,0 % Bi aus der im Jahr 1955 eröffneten und 2002 geschlossenen Kupferhütte in Murdochville auf der Gaspé Halbinsel, Quebec eine weitere ehemalige Quelle. Die dort einst verhütteten Kupferkonzentrate enthielten durchschnittlich ca. 250 ppm Bi.

In der Xstrata-Bleihütte von Belledune, ca. 40 km nordwestlich von Bathurst gelegen, wurde Bismut seit 1969 aus entsilberten Bleibarren im Kroll-Betterton Prozess als Bismut-Blei-Calcium-Magnesium-Schlacke abgetrennt. Diese Schlacke wurde dann pyrometallurgisch mit Chlor raffiniert und Rohbismutbarren mit 45 % Bi, 45 % Pb und 10 % Mg/Ca bzw. Bismut-Bleilegierungen mit jeweils ca. 8 % oder 50 % Bi produziert. Ob die Bismutproduktion auf Grundlage zugekaufter Erze in Belledune wieder aufgenommen werden wird, ist noch nicht bekannt.

Über viele Jahre und Jahrzehnte zweitgrößter Produzent von Bismut in Kanada war Teck Resources Ltd. (ehemals Cominco Ltd.) am Standort Trail, British Columbia. In Trail, zwischenzeitlich eine der größten integrierten Blei-Zinkhütten der Welt, wird seit 1929 Bismut aus Bleierzkonzentraten raffiniert. Andere Beiprodukte der dortigen Verhüttung selbst gewonnener, sowie aus Kanada und weltweit, v. a. Süd- und Mittelamerika, aber auch Australien und den USA, zugekaufter Blei-Zink-Silber-

erze sind Zinn, Kupfer, Gold, Antimon, Cadmium, Indium, Wolfram, Schwefel und Germanium bzw. deren Verbindungen und/oder Legierungen. Im Jahr 2013 (Daten für 2014 noch nicht verfügbar) wurden in Trail insgesamt 142.375 t Blei- und 502.387 t Zinkkonzentrate verarbeitet.

Früher stammte ein Großteil des heimischen, in Trail gewonnenen Bismuts aus dem Ende 2001 geschlossenen Blei-Zink-Silber-Bergwerk Sullivan in Kimberley, B.C., dessen Erz rund 70 ppm Bi enthielt. Seit 1989 hat das große Blei-Zink-Bergwerk Red Dog in Alaska Sullivan abgelöst bzw. ergänzt. Das in Red Dog produzierte Bleierzkonzentrat @ 57,9 % Pb und 10,8 % Zn enthält allerdings nur 6 ppm Bi und das Zinkerzkonzentrat @ 55,2 % Zn und 3,2 % Pb nur 8 ppm Bi. Aus den publizierten Produktionsdaten für Red Dog lässt sich somit ein Bi-Inhalt von ca. 9 t in den dort im Jahr 2013 (s. o.) geförderten Erzen errechnen.

Weitere bedeutende Zulieferanten für Trail sind das Lucky Friday Blei-Zink-Silber-Bergwerk von Hecla Mining in Idaho, das firmeneigene Duck Pond Zink-Kupfer-(Silber-Gold-)Bergwerk in Neufundland sowie das peruanische Kupfer-Zink-(Silber-Blei-Molybdän-)Bergwerk Antamina, an der Teck Resources mit 22,5 % beteiligt ist. Auch das Antamina-Erz (vgl. Peru) führt im Durchschnitt 70 ppm Bi (LAZNICKA 2014), so dass die im Jahr 2013 dort geförderten 107 Mio. t Erz rund 750 t Bi-Inhalt enthielten. Hiervon war aber nur ein kleiner Teil im Zink- bzw. Bleierzkonzentrat angereichert, das in Trail verhüttet wurde. Ende 2014 ging zudem das ehemalige Blei-Zink-Bergwerk Pend Oreille, WA, wieder in Produktion. Auch dessen Erz dürfte zumindest in geringen Mengen Bismut enthalten.

Bis in das Jahr 2007 wurde in Trail vornehmlich Rohbismut @ 80 – 85 % Bi, 15 – 20 % Pb und 1 – 2 % Zn sowie elektrolytisch raffiniertes Bismutmetall @ i. M. 99,994 % Bi produziert. Im gleichen Jahr entschloss sich Teck jedoch, nur noch Blei-Bismutlegierungen zu erzeugen und die eigene Raffinadebismutproduktion einzustellen.



Das Ministry of Energy and Mines B.C. publizierte bis 1990 und Natural Resources Canada bis zur Schließung der Sullivan Mine Ende 2001 den Bismutinhalt von in British Columbia gewonnenen Erzen (s. Tab. 24). Naturgemäß stimmen diese Daten nicht mit den wenigen, zwischen 1973 und 1980 von der ehemaligen Cominco Ltd. publizierten – deutlich höheren – Daten zur Raffinadeproduktion von Bismut in Trail überein. Diese schwankte bis 1988 stark zwischen 10 und 140 tpa (ROSKILL 1990) und lag 1997 – wohl bis zum Schluss – bei rund 200 tpa (FICKLING 1997). Die Bismutkapazität der Trail Hütte soll 300 tpa betragen haben.

Auch in Ontario wurden mit Unterbrechungen bis mindestens 1988 immer wieder bismuthaltige Konzentrate als Beiprodukt produziert. Sie stammten aus der Aufbereitung von Silber-Kobalt- und Blei-Zinkerzen.

Die seit rund 10 Jahren wieder in Quebec gewonnenen Bismuterze stammen nicht wie bis 1972 aus Molybdänlagerstätten (@ 375 ppm Bi) im Nordwesten der Provinz (BANSE et al. 1964), sondern vermutlich aus der Aufbereitung von Gold-Silber-Kupfer-Zink-Bleierzen des im Jahr 1988 eröffneten La Ronde Bergwerks (Agnico Eagle Mines) im Gebiet von Rouyn-Noranda, Region Abitibi-Témiscamingue, im Südwesten von Quebec. Die dort produzierten bismuthaltigen Kupfererzkonzentrate werden teils in der Horne Hütte (s. u.), teils in der Kosaka Kupferhütte von Dowa Mining Co. Ltd. in Japan verhüttet.

Die verbliebenen, derzeit noch in Kanada betriebenen Blei- oder Kupferhütten sind:

- Lachine in Quebec der General Smelting Company of Canada (Xstrata Zinc), wo neben Blei, Zink und Silber auch diverse Legierungen, darunter Bi-Pb-Sn-In-Cd-Legierungen mit 10 – 60 % Bi-Anteil erschmolzen werden.
- Horne in Rouyn-Noranda, Quebec von Glencore Recycling wo auch primäre Kupfererzkonzentrate, z. B. aus der La Ronde Mine (s. o.), verhüttet werden
- Copper-Cliff in Sudbury, Ontario und Thompson in Thompson, Manitoba von Vale Canada Ltd. sowie Sudbury von Xstrata Nickel in Falconbridge, Ontario, wo aber entweder kein Bismut anfällt bzw. die anfallenden bismuthaltigen Filterstäube nicht aufbereitet werden (Copper Cliff).

In der Edelmetallraffinerie von Vale in Port Colborne wurde jedoch im April 2013 eine Aufbereitungsanlage für „TUS – Tower Underflow Solids“ aus der Nickelerzverhüttung im benachbarten Sudbury eröffnet. Diese TUS enthalten verschiedenste Schwermetallverbindungen, darunter auch 5 – 8 % Bi-Arsenat, die zukünftig abgetrennt werden sollen. Dabei ist Vale besonders an einer Ausbringung der Edelmetalle, Tellur, Selen, Bismut und Kupfer interessiert.

Neben den genannten Produzenten von Bismut bzw. Bismutlegierungen gibt es in Kanada auch mehrere Lagerstätten mit erhöhten Bismutgehalten.

Das wichtigste Lagerstättenprojekt ist das **NICO** – Gold-Kobalt-Bismut-Kupfer-Projekt von Fortune Minerals Ltd. in den Northwest Territories. Die NICO Lagerstätte, eine der größten Bismutlagerstätten der Erde, liegt rund 160 km nordwestlich von Yellowknife bzw. 85 km vom nächsten Highway oder 450 km von der nächsten Eisenbahnlinie entfernt. Die Lagerstätte wurde 1996 entdeckt und bisher schon 110 Mio. CDN\$ in ihre Entwicklung investiert. Fortune Minerals plant mit Investitionskosten von 589 Mio. CDN\$ ab Sommer 2017 die Gewinnung von rund 1,7 Mio. t Erz/a vornehmlich im Tagebau, die Herstellung von 54.500 t Sulfiderzkonzentrat/a vor Ort und den Transport dieses Konzentrats per Lkw und Eisenbahn zu einer noch zu errichtenden Hütte bei Langham, nördlich Saskatoon, SK. Hier sollen Rohgold, Zementkupfer, Bismutbarren @ 99,995 % Bi (20 %), Bismutnadeln @ 99,995 % Bi (20 %) und Bismutoxid @ 89,7 % Bi (60 %) (Bismutprodukte mit insgesamt 1.740 t Bi-Inhalt/a) sowie Kobalt(II)-sulfat-Heptahydrat produziert werden (BURGESS et al. 2014).

Bei NICO handelt sich um eine Iron Oxide Copper Gold (IOCG)-Lagerstätte vom Olympic Dam-Typ aus drei Linsen brekzierten Eisenerzes von bis zu 1,3 km Länge, 550 m Breite und 70 m Mächtigkeit. Die ausbringbaren Metalle sind an die 5 % sulfidische Fraktion des Eisenerzes gebunden und liegen in Form von kobalthaltigem Arsenopyrit, Cobaltit, Bismuthinit, Chalcopyrit, Pyrit, Pyrrhotin sowie gediegen Gold und gediegen Bismut vor. Die Reserven nach NI 43-101, davon der Großteil im Tagebau gewinnbar, umfassen 33,077 Mio. t Erz @ 1,03 ppm Au, 0,11 % Co, 0,14 % Bi und 0,04 % Cu, entsprechend Inhalten von 1,11 Moz

Au, 37.360 t Co, 46.300 t Bi und 12.300 t Cu. Die bisher in Testläufen erzielten durchschnittlichen Ausbringraten liegen für Gold bei 74 %, für Kobalt bei 84 %, für Bismut bei 72 % und für Kupfer bei 41 %. Insgesamt sollen über die Lebensdauer des Projektes von 20 Jahren Konzentrate/Produkte mit rund 33.400 t Bi-Inhalt ausgebracht werden.

Adex Mining Ltd. ist Lizenzinhaber des **Mount Pleasant** Caldera-Komplexes in Charlotte County im Süden von New Brunswick. In diesem Gebiet liegen zwei Lagerstätten in Form hydrothermal brekzierter Granite und vererzter Störungszonen:

- Die North Zone mit „Indicated“ Ressourcen von 12,4 Mio. t Erz @ 0,38 % Sn, 0,86 % Zn + 64 ppm In sowie „Inferred“ Ressourcen von 2,8 Mio. t Erz @ 0,30 % Sn, 1,13 % Zn + 70 ppm In.
- Die Fire Tower Zone mit „Indicated“ Ressourcen von 13,489 Mio. t Erz @ 0,33 % WO<sub>3</sub>, 0,21 % MoS<sub>2</sub>, 0,57 % As + 600 ppm Bi sowie „Inferred“ Ressourcen von 841.700 t Erz @ 0,26 % WO<sub>3</sub>, 0,20 % MoS<sub>2</sub>, 0,21 % As + 400 ppm Bi. Die Bismutressourcen, in Form von gediegen Bismut und Bismuthinit, betra-

gen also zusammen rund 8.430 t Bi-Inhalt. Die Fire Tower Zone mit ihren Brekzienerzen stand 1984 – 1985 bereits in Abbau und lieferte aus 1 Mio. t Erz 2.000 t Konzentrat @ 70 % WO<sub>3</sub>. Eine neue „Prefeasibility Study“ wurde beauftragt und für Frühjahr 2015 erwartet. Vor Ort produzierte Konzentrate sollen zur Verhüttung bevorzugt nach China exportiert werden.

Im **Camsell River** Gebiet, nahe Port Radium, Northwest Territories, standen ab 1970 polymetallische VHMS-Erze in Abbau, wobei das letzte der dortigen drei Bergwerke, die Silver Bear Mine, 1985 schloss. Neben Silber, Kupfer und Bismut, die damals in Konzentraten ausgebracht wurden – 1983/84 Konzentrate mit zusammen rund 57 t Bi-Inhalt – enthalten die Erze im Camsell River Gebiet auch Gold, Nickel und Kobalt. Die 2010 gegründete Junior Exploration Company Silver Bear Mines Inc. hofft den dortigen Abbau wiederbeleben zu können.

Der Bismutinhalt von in Kanada bzw. in den kanadischen Provinzen produzierten Erzen – der nicht



**Abbildung 26:** Luftbild der NICO-Projekt Erkundungscamps in den Northwest Territories, Foto: Fortune Minerals Ltd. (Wiedergabe mit frdl. Genehmigung).

**Tabelle 24: Bergwerksproduktion von Bismut (in t Bi-Inhalt) in Kanada bzw. den kanadischen Provinzen. Quellen, soweit nicht anders angegeben: National Resources Canada, Ministry of Natural Resources Ontario und Ministry of Energy and Mines BC. Nicht passende Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten.**

Jahr	BC	NB	QC	Yukon	MB	ON	NWT	Kanada
1970	60	18	184	-	-	6	< 1	268
1971	37	17	56	-	-	9	3	123
1972	43	18	55	-	-	10	-	125
1973	1	28	< 1	-	-	2	-	> 32
1974	34	70	< 1	-	-	7	-	111
1975	19	134	1	-	-	2	-	157
1976	20	109	< 1	-	-	-	-	130
1977	19	146	-	-	-	-	-	165
1978	28	117	-	-	-	-	-	145
1979	34	103	-	-	-	-	-	137
1980	24	125	-	-	-	-	-	149
1981	47	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	168
1982	27	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	189
1983	47	166	-	-	-	8	32	253
1984	10	n. v.	-	n.v.	n.v.	-	-	166
1985	33	163	-	< 1	< 1	1	3	201
1986	11	139 *	-	-	-	2	-	153
1987	23	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	-	-	165
1988	19	159	-	< 1	-	3	-	181
1989	13	143	-	< 1	-	-	< 1	157
1990	< 1	74	-	< 1	-	-	-	74
1991	9	n. v.	-	< 1	-	-	-	60
1992	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	204
1993	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	129
1994	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	129
1995	11	148	-	-	-	-	-	159
1996	n. v.	n. v.	n.v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	150
1997	14	182	-	-	-	-	-	196
1998	11	175	-	-	-	-	-	186
1999	11	207	-	-	-	-	-	217
2000	8	194	-	-	-	-	-	202
2001	6	252	-	-	-	-	-	258
2002	-	203	-	-	-	-	-	203
2003	-	135	2	-	-	-	-	136
2004	-	179	1	-	-	-	-	180
2005	-	141	-	-	-	-	-	141
2006	-	176	1	-	-	-	-	177
2007	-	137	-	-	-	-	-	137
2008	-	70	1	-	-	-	-	71
2009	-	86	1	-	-	-	-	87
2010	-	87	5	-	-	-	-	91
2011	-	131	5	-	-	-	-	136
2012	-	106	4	-	-	-	-	110
2013	-	30	6	-	-	-	-	35
2014	-	-	3	-	-	-	-	3

\* nach ROSKILL (1990)



**Tabelle 25: Raffinadeproduktion von Bismut (in t) bzw. von in Kanada produzierten Legierungen (in t Bi-Inhalt), nach National Resources Canada.**

Jahr	Trail, British Columbia	Belledune, New Brunswick	Kanada, gesamt
1970		4	
1971		12	
1972		15	
1973	56	14	70
1974	100	24	124
1975	100	157	257
1976	119	132	251
1977	77	178	255
1978	77	68	135
1979	91		
1980	91		
1981	*		

\* Zwischen 1981 und 1988 wurden nach ROSKILL (1990) in Trail jährlich zwischen 11 und 136 t Bismut-Inhalt produziert.

der Bergwerksförderung von Bismuterzen entspricht – wird von Natural Resources Canada alljährlich in seiner Publikationsreihe Canadian Minerals Yearbook publiziert, wobei in manchen Jahren eine Aufgliederung auf die Provinzen unterblieb (s. Tab. 24). Die von einigen Provinzregierungen (z. B. Ministry of Natural Resources Ontario, Ministry of Energy and Mines B.C.) publizierten Einzeldaten stimmen mit diesen nationalen Daten überein.

Die o. g. Daten zur Bergwerksproduktion von Bismut in Kanada entsprechen nicht der kanadischen Raffinadeproduktion von Bismut (Trail) bzw. dem Bismutinhalt von in Kanada produzierten Legierungen (Belledune). Diese wurden durch Natural Resources Canada nur zwischen 1973 und 1979 publiziert (s. Tab. 25), da die in Kanada tätigen Unternehmen sie später nicht mehr meldeten.

Die Herkunft der vom USGS seit 1984 publizierten Daten zur kanadischen Raffinadeproduktion von Bismut ist somit unbekannt. Auch die vom BGS seit 1975 publizierten Daten zur kanadischen Bergwerksproduktion von Bismut stimmen nicht mit den kanadischen Daten, jedoch in einigen Jahren mit der „Raffinadeproduktion“ des USGS überein.

Nach Daten aus dem Global Trade Atlas wurden ansteigend im Jahr 2011 86 t, im Jahr 2012 173 t, im Jahr 2013 288 t und im Jahr 2014 354 t Bismut und Waren daraus sowie bismuthaltige Schrotte und Abfälle aus Kanada und diese fast ausschließlich in die USA exportiert.

## Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

BURGESS, H., GOWANS, R. M., HENNESSEY, B. T., LATTANZI, C. R. & PURITCH, E. (2014): Technical report on the feasibility study for the NICO Gold-Cobalt-Bismuth-Copper Project Northwest Territories, Canada. – Report by Micon International Ltd. for Fortune Minerals Ltd.: 330 S., 43 Abb., 141 Tab., 2 Anh.; Toronto. – URL: [http://www.fortune minerals.com/files/doc\\_downloads/1335%20Nico%20Technical%20ReportLM.pdf](http://www.fortune minerals.com/files/doc_downloads/1335%20Nico%20Technical%20ReportLM.pdf).

FICKLING, M. (1999): Review of bismuth in 1998. – The Bulletin of the Bismuth Institute, **74**: 3 – 4; Grimbergen, Belgien.

LAZNICKA, P. (2014): Giant metallic deposits – A century of progress. – Ore Geology Reviews, **62**: 259 – 314, 27 Abb., 11 Tab.; Amsterdam.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth, Eighth edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.





## Kasachstan



In Kasachstan sind einerseits die vielen, schon seit langem bekannten und teils großen Bismutlagerstätten von Bedeutung (BANSE et al. 1964), andererseits die beiden großen Produzenten von Bismutmetall.

Größte, jedoch nicht in Abbau stehende Bismutlagerstätte des Landes ist die Wolfram-Molybdän-Stockwerkslagerstätte Verkhnee-Kayrakty. Diese führt neben den Wertmineralen Scheelit und Molybdänit auch gediegen Bismut, Bismuthinit und Bismut-Telluride (STRAKHOVENKO 1996) und soll nach LAZNICKA (2014) bei einem Bismutgehalt von 240 ppm im Erz 216.000 t Bi-Inhalt, nach BGR-Recherchen in Kasachstan 204.000 t Bi-Inhalt (C1 + C2 – Vorräte nach russ. Klassifikation) enthalten.

Im Jahr 1997 wurde aus den damaligen drei großen ostkasachischen NE-Metallunternehmen Ust-Kamengorsk Blei- und Zinkkombinat, Leningorsk Polymetallisches Kombinat und Zyryanovsk Bleikombinat die Kazzinc Ltd. gegründet, an der die schweizerische Glencore plc. 69,61 % der Anteile hält. Kazzinc betreibt in Ostkasachstan das Tishinsky Zink-Kupfer-Blei-Bergwerk, das Ridder-Sokolny Gold-(Zink-Kupfer-)Bergwerk, das Shubinsky Gold-Silber-Kupfer-Blei-Zink-Bergwerk, das Maleevsky Zink-Kupfer-Blei-Gold-Silber-Bergwerk, den Shaimerden Zink-Tagebau, den Vasilkovsky Gold-Tagebau (Altyntau Kokshetau), den Komarovskoye Gold-Tagebau, eine Aufbereitungsanlage und eine Zinkraffinerie in Ridder, eine Aufbereitungsanlage in Zyryanovsk sowie in Ust-Kamenogorsk einen metallurgischen Komplex, bestehend aus einer Bleihütte, einer Kupferhütte, einer Zink- und einer Edelmetallraffinerie. Kazzinc Ltd. produziert metallisches Zink, Blei, Gold, Silber, Platin, Palladium, Cadmium, Indium, Thallium, Selen, Tellur, Aluminium, Quecksilber, Zink-Aluminium-Legierungen, Zinksulfat, Schwefelsäure, Antimonkonzentrat, Blisterkupfer, Kupfererzkonzentrat, Bismutmetall @ 99,7 % Bi sowie Blei-Bismut-Legierungen @ 8 – 16 % Bi.

Das von Kazzinc raffinierte Bismut stammt nur zu einem geringen Teil aus der Bleierzverar-

beitung, der überwiegende Teil stammt aus der Goldraffination (Bismut-Telluride, Bismutsulfosalze). Weder die Bismutkapazität noch die Bismutproduktion dieses Unternehmens sind publiziert, jedoch nimmt der USGS für die Aufbereitungskomplexe von Ust-Kamenogorsk und Leningorsk eine Bismutkapazität von zusammen 70 tpa Bi-Inhalt an.

Das zweite Bismutmetall produzierende Unternehmen Kasachstans ist die OAO „Industrial Corporation“ Yuzhpolimetall bzw. dessen Vorgängerunternehmen. Diese haben schon früher alle anfallenden Bismuterzkonzentrate aus Kirgisistan, Usbekistan und Tadschikistan verhüttet. Gegenwärtig verarbeitet Yuzhpolimetall in seinem Bergbau- und Aufbereitungskomplex in Schymkent, Südkasachstan, Bleiabfälle jeder Art aber auch Blei-Zink- und Bismut-Kupfererzkonzentrate aus dem tadschikisch-kasachischen Joint Venture Adrasman. Die aus Tadschikistan stammenden Bismuterzkonzentrate werden zu Bismutmetall @ bis zu 99,999 % Bi sowie Bismutverbindungen, wie BiOCl, BiO und anderen Bismutsalzen verarbeitet. Die Produktionskapazität liegt bei 300 t Bi-Inhalt/a (andere Quellen: 500 t Bi-Inhalt/a) und soll mittelfristig auf 1.000 t Bi-Inhalt/a erhöht werden. Im Jahr 2004 wurden aber nur Produkte im Wert von 398.000 US\$ (@ ca. 56 t Bi-Inhalt) produziert und diese nach Belgien, Deutschland und in die USA exportiert. Im Jahr 2010 betrug die Bismutproduktion 2 t, im Jahr 2011 60,5 t. Hauptimportland ist mittlerweile mit großem Abstand China. Neben Bismut stellt Yuzhpolimetall vor allem Blei, aber auch Rohsilber @ 97 – 98 % Ag und 1 – 1,5 % Au, Cadmium, Thallium @ 99,98 % TI, Tellurkonzentrat @ 60 % Te, NH<sub>4</sub>ReO<sub>4</sub>, Baryt und Schweißelektroden her.

Der USGS schätzt seit 1992 die Raffinadeproduktion von Bismut in Kasachstan auf zwischen 0 t (2007, 2008) und 180 t. Ebenfalls zwischen 1992 und 2008 gab der USGS eine Bergwerksförderung von 115 bis 252 t Bi-Inhalt an. Der BGS nennt für den gleichen Zeitraum eine Bergwerksförderung zwischen 0 t (1998, 1999) und ebenfalls 252 t Bi-Inhalt. Da zumindest einige Angaben zur Berg-

werksförderung (vermutlich in Wirklichkeit Raffinadeproduktion) auf gemeldeten kasachischen Daten beruhen, ergibt sich für den Zeitraum 1992 – 2002 die in Tabelle 26 dargestellte Entwicklung.

Nach ANONYM (2010) liegt die jährliche Bismutproduktion Kasachstans inzwischen bei 140 – 150 t Bi-Inhalt, die hauptsächlich auf OAO Yuzhpolymerall zurückgeht. Realistischer ist jedoch derzeit eine gesamtkasachische Raffinadeproduktion von ca. 100 t Bismut/Jahr.

#### Literatur

ANONYM (2010): Zhelezny Kryazh gold deposit. – Report prepared by Dragon Georesource, Version 1.4: 93 S., 17 Abb., 41 Tab., 5 Anh.; o. O. – URL: <http://graftonresources.com/wp-content/uploads/2011/09/ZK-Report-March-2010.pdf>.

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

LAZNICKA, P. (2014): Giant metallic deposits – A century of progress. – Ore Geology Reviews, **62**: 259 – 314, 27 Abb., 11 Tab.; Amsterdam.

STRAKHOVENKO, V. D. (1996): Bismuth mineralization of rare-metal deposits Kokten-Kol', Severnyi Katpar, and Verkhnee Kairatky (Central Kazakhstan). – Geology of Ore Deposits, **38**, 5: 401 – 408, 5 Abb.; Moskau.

**Tabelle 26: Vermutliche Entwicklung der Raffinadeproduktion von Bismut (in t) bzw. Bismutlegierungen (in t Bi-Inhalt) in Kasachstan für die Jahre 1992 bis 2014, nach verschiedenen Quellen sowie im Vergleich dazu Exporte von Bismut bzw. Waren daraus aus Kasachstan, nach Global Trade Atlas.**

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Kazzinc								
Yuzhpolymerall								
Gesamt	200	180	85	33	15	13	0	0
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Kazzinc								
Yuzhpolymerall					~56			
Gesamt	241	252	161					
Export Bismut					76	76	57	56
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Kazzinc								
Yuzhpolymerall			2	61				
Gesamt								
Export Bismut	40	81	109	68	253	253	101	

## Kongo, Demokratische Republik



Sicher sind, ähnlich wie in Sambia, auch die kongolesischen Kupfererze reich an Bismut, doch sind weder Gehalte noch weitere Informationen bekannt.

Gleiches gilt für die Zinn-Wolfram-Tantal-Niob-Beryll-Lithium-Pegmatite im Osten des Landes. In den Maniema und Kivu Provinzen wurden zwischen 1947 und 1955 geringe Mengen an

Bismuterzen (gediegen Bismut, Bismutit, Bismuthinit) mit zusammen 4,2 t Bi-Inhalt aus diesen Pegmatiten beibrechend gefördert.

Bekannteste Bismutlagerstätte Kongos ist Maya-Moto in der Süd Kivu Provinz. Diese Lagerstätte enthält eine reiche Assoziation aus gediegen Bismut, Bismutit, Bismuthinit, Bismut und Waylandit.



## Korea, Demokratische Republik



In Nordkorea sind Bismutvererzungen aus zahlreichen Goldlagerstätten bekannt (BANSE et al. 1964). Diese standen bzw. stehen in Abbau. Die größten immer noch fördernden Bergwerke sind Holdong und Sangnong.

Wichtiger ist jedoch die Förderung von Blei-Zinkerzen aus der Geomdeok Lagerstätte in Geumgol-dong, Dancheon-si, Hamgyeongnam-do Provinz, die seit 1932 in Abbau steht. Die hier geförderten Buntmetallerze führen als Wertminerale Sphalerit, Chalcopyrit und Bleiglanz sowie als wichtigste Begleitminerale Arsenopyrit, Boulangerit, Bournonit, Covellit, Hemimorphit, Molybdänit, Pyrit, Pyrrhotin, gediegen Silber, Smithsonit und Stibnit.

Geomdeok gilt als die größte Zinklagerstätte Ostasiens mit geschätzten Ressourcen von 266 Mio. t Erz @ 4,21 % Zn, 0,88 % Pb und 18 ppm Ag. Sie ist in sieben Abbaublöcke (West Jungtojang, Ost Jungtojang, Liegendzone Jungtojang, Takgol, Geomdeoksan, Muhakdongm, Bonsan) unterteilt und durch mittlerweile zehn Bergwerke (Geumgol Mine, 7.1 Gang, Geomdeok Gang, Chengyeun Mine, Nampung Mine, Roeun Mine, West Budgol, Geomdeoksan, Muhak, Bonsan) erschlossen. Drei angeschlossene Aufbereitungsanlagen arbeiten mit konventionellen Flotationsmethoden und besitzen eine Gesamtverarbeitungskapazität von jährlich 10 Mio. t Erz.

In den Jahren 2004 bis 2006 wurden jährlich nur zwischen 3,05 und 3,85 Mio. t Erz (größtenteils mit Hammer und Meißel) abgebaut und zwischen 2,87 und 3,21 Mio. t Erz @ 4,03 – 4,65 % Pb + Zn aufbereitet.

Im Jahr 2006 wurden 196.000 t Zinkerzkonzentrat @ 53 % Zn und 31.800 Bleierzkonzentrat @ 63 % Pb erzeugt (KYUNG-SOO, 2011). Zwischenzeitlich arbeiten die Bergwerke und Aufbereitungsanlagen jedoch unter Vollast.

Während das Zinkerzkonzentrat wohl weiterhin größtenteils in der 68 km entfernt gelegenen Dancheon Zinkhütte verarbeitet wird, war für die Verarbeitung der Bleierzkonzentrate die Munpyeong Hütte in Muncheon, Gangwon-do Provinz, vorgesehen. Offensichtlich ist diese jedoch nicht mehr funktionsfähig oder leidet unter Versorgungsproblemen mit Strom, denn die Bleierzkonzentrate werden seit Jahren zunehmend und zwischenzeitlich vollständig nach China zur dortigen Verhüttung exportiert (s. Tab. 27).

Leider ist der Bismutgehalt der Erze und Konzentrate aus Geomdeok nicht publiziert, doch wird das in ihnen enthaltene Bismut sicherlich in China ausgebracht.

**Tabelle 27: Importe von Bleierzkonzentraten (in t) aus Nordkorea durch China für die Jahre 2001 bis 2014, nach Global Trade Atlas.**

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5.899	8.006	7.320	20.608	14.301	14.090	24.642	42.006	41.269	32.108
2010	2011	2012	2013	2014					
40.699	57.015	76.775	117.550	106.100					



## Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., V. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

KYUNG-SOO, C. (2011): The mining industry of North Korea. – NAPSNet Special Reports, August 04, 2011: 1 Abb., 5 Fotos, 20 Tab.; Berkeley, CA. – URL: <http://nautilus.org/napsnet/napsnet-special-reports/the-mining-industry-of-north-korea>.

## Korea, Republik



In der Republik Korea wurde früher in mehreren Bergwerken – Sangdong (Wolframlagerstätte), Saldung (Wolframlagerstätte) und Nakdong (Arsenlagerstätte) – Bismut als Nebenprodukt gewonnen.

Das wichtigste dieser Bergwerke war die Wolframlagerstätte Sangdong, Provinz Gangwon-do, im Nordosten von Südkorea bzw. 187 km südöstlich von Seoul gelegen. Diese wurde zwischen 1940 und 1992 untertage abgebaut. In den 1916 entdeckten Scheelitskarnen von Sangdong begleitet gediegen Bismut und Bismuthinit mit etwa 0,2 % im wertmineralhaltigen Erz andere Sulfide, besonders Pyrrhotin, Pyrit, Molybdänit und Chalcopyrit, sowie Gold. In den Jahren des 2. Weltkriegs lag die Jahresproduktion bei 500 – 600 t Bismuterzkonzentrat @ 40 – 50 % Bi. Später fiel der Bismutgehalt des bis 1961 vor Ort, 1965 – 1975 in Yeongdeungpo bei Seoul und danach in Daegu verhütteten Konzentrats auf 30 % zurück (BANSE et al. 1964). Vollständige Produktionszahlen sind nicht verfügbar, doch sollen aus Sangdong-Erzen zwischen 1961 und 1987 Konzentrate mit insgesamt 2.930 t Bi-Inhalt ausgebracht und bei der Verhüttung des Bismutmineralkonzentrats auch Gold und Silber mit gewonnen worden sein (GLIDDON et al. 2012). Im Herbst 1991 wurde die Ausbringung von Bismutmineralkonzentraten eingestellt (FICKLING 1993).

Betreiber von Sangdong war die Firma Korea Tungsten Mining Co., Ltd. (KTMC). Diese verarbeitete das vor Ort durch Flotation, Schwere-trennung und Ionenaustausch gewonnene Bismutmineralkonzentrat zuletzt in ihrer Raffinerie in Daegu (Taegu), deren Kapazität bei rund 135 t Bismutmetall/a lag. 98 % des Bismuts wurde exportiert und zwar in Form von 20 kg-Barren @ 99,99 % Bi (ROSKILL 1990).

1992 wurde der Erzabbau in Sangdong aufgegeben, doch 2006 von der kanadischen Woulfe Mining Corp. die Abbaulizenz für die aufgelassene Grube und das umgebende Gebiet erworben. Die im Auftrag von Woulfe Mining neu berechneten, verbliebenen Ressourcen liegen bei

3,81 Mio. t Erz @ 0,56 %  $WO_3$  und 490 ppm  $MoS_2$  („Measured & Indicated“) bzw. 11,28 Mio. t Erz @ 0,64 %  $WO_3$  und 800 ppm  $MoS_2$  („Inferred“). Der neu ermittelte Bismutgehalt schwankt je nach untersuchter Probenmenge und Erzsorte sehr stark zwischen 260 und 1.500 ppm. Eine Wirtschaftlichkeitsstudie wurde 2012 vorgelegt, wonach Woulfe Mining plant, den Abbau wieder aufzunehmen, über 12 Jahre zu betreiben und dabei jährlich rund 1,2 Mio. t Erz abzubauen. Zusätzlich zu einem Wolfram- soll ein Molybdänit-/Bismut- und ein Goldkonzentrat gewonnen werden (GLIDDON et al. 2012).

Auch die ehemalige Korea Mining and Smelting Co., Ltd. gewann Bismut und zwar als Beiprodukt in ihrer 1990 geschlossenen Bleihütte in Changhang. Diese besaß eine Raffinadekapazität von 136.000 t Pb/a und 40 t Bi/a. Rund 50 % der Bismutproduktion wurde exportiert, vornehmlich in die Niederlande.

Die 1974 gegründete Korea Zinc Co., Ltd. eröffnete 1978 ihre Zinkhütte Onsan in Ulju-gun, Ulsan-si. Heute produziert das Unternehmen aus Erzkonzentraten und metallhaltigen Abfällen aller Art nicht nur Zink, sondern auch 17 andere Metalle, darunter als wichtigste Blei, Kupfer, Silber und Gold sowie untergeordnet Indium, Nickel, Antimontrioxid/Antimon, Bismut, Palladium, Platin, Cadmium, Gallium, Germanium, Kobalt, Tellur, Selen und Quecksilber.

Raffinadebismut in Form von 20 kg-Barren @ > 99,99 % Bi wird, mit einer Anfangskapazität von 100 tpa, mittlerweile 500 tpa, seit 1997 produziert. Nach RLJ (2014) soll die Qualität der Bismutbarren von Korea Zinc jedoch nicht einwandfrei sein – die Gehalte einiger Spurenmetalle sind erhöht. Eine weitere Erhöhung der Bleierzkonzentratverhüttung und damit auch der beibehaltenen Bismutproduktion wurde angekündigt.

Die südkoreanische Raffinadeproduktion von Bismut wird seit über 40 Jahren (keine Produktion zwischen 1994 und 1996) vom USBM bzw.

**Tabelle 28: Raffinadeproduktion von Bismut (in t) in der Republik Korea für die Jahre 1970 bis 2013, nach USBM/USGS Mineral Yearbooks und RosKILL (1990).**

Jahr	Korea Tungsten and Mining	Korea Mining and Smelting	Republik Korea gesamt
1970	100		106
1971	116		97
1972	91		96
1973	100		99
1974	120		131
1975	110		113
1976			174
1977			133
1978			122
1979			87
1980			123
1981	97		100
1982	91		95
1983	101		100
1984	128	36	126
1985	118	33	135
1986	136	25	135
1987	145		145
1988	108		132
1989	96		96
1990	79		79
1991	42		42
1992	9		9
1993	5		5
1994			0
1995			0
1996			0
1997			112
1998			117
1999			108
2000			71
2001			106
2002			69
2003			120
2004			156
2005			231
2006			236
2007			267
2008			210
2009			300
2010			498
2011			480
2012			437
2013			432

USGS publiziert. Bereits ROSKILL (1990) stellte jedoch fest, dass zumindest die älteren Produktionszahlen nicht mit der Summe, der von den damaligen beiden aktiven Hütten gemeldeten Einzelproduktionsdaten übereinstimmten (s. Tab. 28).

#### Literatur

- BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.
- FICKLING, M. (1993): Bismuth. – Metals & Minerals Annual Review. – 1993: 94 – 95, 5 Tab.; London.
- GLIDDON, J., GRIBBLE, P., CARTER, A., ELVISH, R., THOMAS, P., TURNER, M. LIUKKO, G., JANSONS, K & WRIGLEY, T (2012): Sangdong Project Feasibility Study. – Report by Tetrattech Wardrop für Woulfe Mining Corp.: 223 S., 58 Abb., 76 Tab., 23 Anl., Swindon, UK. – URL: [http://www.woulfemining.com/i/pdf/techreports/Sangdong\\_Feasibility\\_Study.pdf](http://www.woulfemining.com/i/pdf/techreports/Sangdong_Feasibility_Study.pdf).
- ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth, Eighth Edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.
- RLJ – ROSKILL'S LETTER FROM JAPAN (2014): Bismuth: FYME stockpiling exerts upward pressure on prices. – Roskill Monthly Newsletter, **452** (April 2014): S. 4, 1 Tab.; London.





## Kosovo



Wie in vielen anderen Ländern auch, wurde Bismut in Kosovo bzw. seinen Vorgängerstaaten als Nebenprodukt bei der Verhüttung von Bleierzen gewonnen. Zuständiger Verhüttungs- und Raffinadekomplex war die 1940 eröffnete und im Jahr 2000 geschlossene, zum Trepča-bzw. Kopaonik-Revier gehörende Hütte Zvečan nordöstlich von Mitrovica. Von den karbonatischen Verdrängungs- bzw. Skarn-Blei-Zink-Silber-(Bismut-Cadmium-Gold-)Lagerstätten, die zu diesem Bergbaurevier gehörten und Zvečan belieferten, führten Bismut:

- Trepča mit Stari Trg als Hauptgrube (1.810 ppm Bi im Konzentrat),
- Kopaonik, 30 km nördlich Trepča (350 ppm Bi im Konzentrat),
- Novo Brdo bei Priština, 60 km südöstlich Trepča (750 ppm im Konzentrat),
- Rudnik (Belo Brdo), 70 km südlich Belgrad sowie
- Zletovo, 70 km östlich Skopje, Mazedonien.

Im Bleiglanz von Trepča, der größten Lagerstätte des Reviers, nahmen die Bismut- (und Silber-) Gehalte lateral mit der Entfernung vom Eruptivschlot ab, mit der Tiefe aber zu, so dass mit dem Fortschreiten des Abbaus in dieser Richtung trotz Abnahme des Bleigehaltes Bismut reichere Erze angetroffen wurden. Auf 170 m Tiefenerstreckung nahm der Bismutgehalt von 8 auf 290 ppm zu, der Bleigehalt aber von 10,7 % auf 8,7 % ab (BANSE et al. 1964).

Insgesamt wurden zwischen 1946, dem Beginn und 1989, dem Ende der Bismutproduktion in Zvečan 4.155 t Bismutmetall gewonnen (s. Tab. 29). Auch nach Einstellung des Bergbaus und der

Verhüttung aufgrund des Kosovo-Kriegs sind in Kosovo bzw. Serbien große Erzvorräte zurückgelassen. Die Hütte Zvečan gilt inzwischen allerdings als kontaminierter ehemaliger Industriestandort.

### Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDBERGER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

PALLAIRET, M. (2003): Trepča 1965 – 2000. – Report to LLA/ESI: 98 S., 2 Abb., 7 Tab., 3 Anh.; Belgrad – Zvečan – Edinburgh. – URL: [http://www.esiweb.org/pdf/esi\\_document\\_id\\_62.pdf](http://www.esiweb.org/pdf/esi_document_id_62.pdf).

**Tabelle 29: Raffinadeproduktion von Bismut (in t) in Kosovo bzw. seinen Vorgängerstaaten von 1970 bis 1989, Quelle: bis 1978: USBM Mineral Yearbooks, ab 1979: PALLAIRET (2003)**

1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
75	92	89	55	100	55	78	74	13	23,0
1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
82,8	102,0	49,5	45,3	30,4	68,1	21,0	73,3	23,3	40,0



## Marokko



Die 1907 entdeckten und zwischen 1926 bis zu ihrer Erschöpfung im Jahr 1980 abgebauten Bleilagerstätten (Cerussit, Galenit) des Aouli-Massivs im Gebiet Midelt waren teils reich an Bismut, das neben Blei, Zink und Silber auch ausgebracht wurde. Produktionszahlen sind jedoch nicht überliefert.

Das Bleiglanzkonzentrat aus Erzen des Henri-Ganges der Aouli-Ganggruppe enthielt im Durchschnitt 540 ppm Bi. In den Erzen stieg der Bismutgehalt mit zunehmender Teufe von 30 auf 900 ppm Bi an. In anderen Gängen der Aouli Ganggruppe lagen die Gehalte bei 400 – 450 ppm Bi. Ärmer waren die Bleiglanzkonzentrate aus den Ganggruppen von Outat-Sidi-Said und Sidi Ayal mit 170 bzw. 120 ppm Bi, doch auch hier stieg der Bismutgehalt mit zunehmender Teufe an.

Das Bleierz der Verdrängungslagerstätte Mibladen, nur 5 km westsüdwestlich der Aouli-Gruppe, war dagegen praktisch frei von Bismut.

Auch in der Bleihütte Zellidja in Qued-elHeimer, nahe des Mittelmeerhafens von Nador, kann neben Blei, Silber, Zink, Kupfermatte, antimonhaltigen Bleioxid und verschiedenen Legierungen Bismut ausgebracht werden. Die Kapazität der Hütte liegt bei 160.000 t Bleierzkonzentrat bzw. 60.000 t Pb-Inhalt pro Jahr. Zellidja ist auf importiertes Bleierzkonzentrat angewiesen und seit 2012 aufgrund niedriger Bleipreise auf dem Weltmarkt gestundet.



## Mexiko



Die silberreichen Blei-Zink-Lagerstätten Mexikos sind fast alles Karbonatverdrängungslagerstätten (CRD) mit erhöhten Bismutgehalten.

Zu den bedeutendsten bismuthaltigen Blei-Zink-Lagerstätten Mexikos zählen:

- Santa Barbara bei Parral und Santa Eulalia, beide Bundesstaat Chihuahua und beide im Besitz der Minera México, S.A. de C.V. (IMMSA), einer 90 %igen Beteiligung der Grupo México, S.A.B. de C.V.
- Naica, Bundesstaat Chihuahua, Fresnillo, Bundesstaat Zacatecas und Tizapa, Estado de México, erstere zu 100 %, zweite zu 75 % (Rest: Streubesitz) und letztere zu 51 % (39 % Dowa Metals and Mining, 10 % Sumitomo Corporation) im Besitz der privaten Industrias Peñoles, S.A. B de C.V.
- Mapimi, Bundesstaat Durango, und die Lagerstätten in den Distrikten Concepción

del Oro und Mazapil, Bundesstat Zacatecas, wo der Abbau aber größtenteils bereits eingestellt ist.

Die Gehalte an Bismut in den Polymetallagerstätten Mexikos sind nicht publiziert und damit auch keine Vorräte von Bismut berechenbar. Der USGS schätzt die Bismutreserven Mexikos pauschal auf 10.000 t Bi-Inhalt, sicherlich ein viel zu niedriger Wert.

Bis vor zehn Jahren erschmolz die Minera México, S.A. de C.V. (IMMSA) in ihrer Bleiraffinerie in Monterrey, Bundesstaat Nuevo León, aus den Abgängen ihrer Bleihütte in Chihuahua, Bundesstaat Chihuahua, neben Blei, Silber, Gold und Antimon auch Blei-Bismut-Barren. Diese Blei-Bismut-Barren mit zuletzt nur noch 21 t Bi-Inhalt wurden vor allem nach Belgien zur Raffinade exportiert. Nach den Anuario Estadístico de

**Tabelle 30: Raffinadeproduktion von Bismut bzw. von Legierungen (in t Bi-Inhalt) in Mexiko für die Jahre 1977 bis 2014. Quellen: 1977 – 1988: ROSKILL (1990), 1998: Einzelmeldung, ab 2001: Publierte Jahresberichte der mexikanischen Produzenten.**

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Grupo México								
Met-Mex Peñoles	366	482	440	424	345	344	328	320
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Grupo México								
Met-Mex Peñoles	386	532	566	622				
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Grupo México								
Met-Mex Peñoles						1.030		
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Grupo México	28	21	-	-	-	-	-	-
Met-Mex Peñoles	1.367	1.103	1.054	1.014	970	1.187	1.182	1.133
	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
Grupo México	-	-	-	-	-	-		
Met-Mex Peñoles	854	982	924	799	825	864		



la Minería Mexicana wurde sogar noch bis ins Jahr 2005 in Nuevo León Blei-Bismut-Barren erzeugt, doch vermelden die Jahresberichte der Grupo México die letzte Produktion im Jahr 2002. Die Kapazität lag damals bei rund 300 t Bi-Inhalt/a.

Die 1887 gegründete Industrias Peñoles, S.A. B. de C.V. betreibt in Mexiko fünf größere Blei-Zink-Bergwerke (Naica – das zweitgrößte Bleibergwerk Mexikos – Francisco I. Madero, Tizapa, Velardeña und Bismark) bzw. ist an weiteren Bergwerken (z. B. Fresnillo) beteiligt. Aus den dort gewonnenen und hinzugekauften Erzen (im Jahr 2014 bei Bleierzen ca. 58 % Eigenanteil) werden im metallurgischen Komplex von Torreón, Bundesstaat Coahuila, durch das Tochterunternehmen Metalúrgica Met-Mex Peñoles, S.A. de C.V. Blei, Zink, Kupfer, Silber, Cadmium, Bismut und Gold erschmolzen. Die Bismutkapazität von Torreón liegt derzeit bei 1.440 t/a, wobei diese noch nie ausgeschöpft wurde. In den letzten Jahren wurden zwischen 92 und 99 % der produzierten Bismutbarren @ > 99,97 % Bi nach Belgien exportiert.

Statistische Daten zur Bergwerksproduktion von Bismuterzen in Mexiko werden seit 1974 durch den BGS, seit 1984 durch den USGS und seit 1993 durch die mexikanische Bergbehörde publiziert. Die Herkunft dieser Daten ist unklar; sie stammen nicht von den Produzenten und werden ständig mit den von diesen publizierten Daten zur Raffinadeproduktion verwechselt. Auf eine Wiedergabe wird deshalb hier verzichtet.

Statistische Daten zur Raffinadeproduktion von Bismutmetall bzw. Bi-Inhalt von Rohbismut publizieren seit über 45 Jahren der USGS und die mexikanische Bergbehörde. Auch diese Daten stimmen nicht vollständig mit den Angaben der mexikanischen Produzenten überein, die in Tabelle 30, soweit noch recherchierbar, aufgeführt sind.

#### Literatur

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth, Eighth edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.

## Mosambik



In Mosambik kommt gediegen Bismut zusammen mit Bismut, Bismutit, Bismuthinit, Sillénit ( $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ), Bismoclit ( $\text{BiOCl}$ ) und Pucherit ( $\text{BiVO}_4$ ) im Pegmatitfeld von Alto Ligonha, nördlich Quelimane, vor (CORREIA NEVES et al. 1974). Dort liegen die Lagerstätten von Morrúa, Mutala, Muiane und Marropino. Die Bismutminerale sind an die Beryllium-Tantal-Paragenese gebunden, wobei Bismut in den Pegmatiten die innere Zwischenzone mit Lithium bevorzugt. Kommerzielle Nutzung fanden jedoch auch die eluvialen und alluvialen Seifen von Muiane.

Der Pegmatit von Boa Esperança liegt im gleichen Gebiet, nahe von Ribáuè, und enthält gediegen Bismut, wie auch Bismuthinit, Topas, Beryll und Samarskit. Außerdem wurden seltener Bismutoniobit und Bismutotantalit entdeckt.

Wichtige Produzenten von Bismutit Mitte der 1960er bis Mitte der 1980er Jahre waren ferner die Pegmatite im Gebiet von Nahora, ebenfalls im Gebiet von Muiane.

Nennenswerte Mengen wurden in Namiro (23 t), Nuaparra (9,1 t), Morrúa (8,4 t), Marrige (8 t) und Naipa (4,6 t) gewonnen.

Insgesamt wurden nach STEINER (1992) zwischen 1967 und 1986 in Mosambik Konzentrate mit 63,24 t Bismutit-Inhalt (entsprechend 51,8 t Bi-Inhalt) gewonnen. Eine spätere Bismutproduktion ist nicht dokumentiert.

### Literatur

CORREIA NEVES, J. M., LOPES NUNES, J. E., SAHAMA, T., LEHTINEN, M. & v. KNORRING, O. (1974): Bismuth and antimony minerals in the granite pegmatites of northern Mozambique. – *Revista de Ciências Geológicas*, **7**, Série A: 1- 37, 13 Abb., 15 Tab.; Lourenço Marques, Mosambik.

STEINER, L. (1992): Mosambik. – *Rohstoffwirtschaftliche Länderberichte*, **XXXVI**: 157 S., 28 Abb., 30 Tab., 3 Anl., Hannover (BGR).



## Namibia



In Namibia wurden abbauwürdige Mengen an Bismutmineralen bisher im Wesentlichen in Pegmatiten in der Karbib-Usakos Region gefunden und dort in den Rubikon, Etiro und Etusis Lagerstätten abgebaut.

Der Rubikon Pegmatit liegt auf der Farm Okavango Ost 72 und führt im inneren Quarzkern in seiner Petalitzzone zusammen mit den Mineralen der Niob-Tantal-Serie gediegen Bismut, Bismuthinit, Bismut, Sillénit, Pucherit, Clinobisvanit, Bismutit, Bismut führenden Mottramit und ein seltenes Bismutphosphat. Der Rubikon Pegmatit stand mit Unterbrechungen zwischen 1930 und 1994, größtenteils im Kleinbergbau, auf Lithium (Spodumen, Petalit, Lepidolith, Amblygonit), Beryllium (Beryll, Turmalin), Cäsium (Pollucit), Bismut (s. o.) und Tantal (Manganotantalit, Mikrolith) in Abbau.

Der Etiro Pegmatit liegt 20 km nördlich von Karbib auf der Farm Etiro 50. Er wurde vor allem auf Beryll in den frühen 1960er Jahren abgebaut. Bis zum Jahr 1967 sollen rund 400 kg Bismuterz mit gediegen Bismut, Bismut, Sillénit, Bismutit und dem sehr seltenen Zavaritskit (BiOF) gewonnen worden sein.

Gediegen Bismut, Bismuthinit und Bismutit sind auch Bestandteile in einigen Pegmatiten im

Tantalite Valley im Karasburg Distrikt. Am häufigsten sind die Pegmatite auf den Farmen Umeis 110 und besonders der Witkop Pegmatit auf der Farm Kinderzitt 132. Dort wurde Bismut als Beiprodukt zwischen 1946 und den späten 1970er Jahren während der Gewinnung von Tantalit und Columbit ausgebracht.

Weitere Bismut führende Pegmatite sind im Karbib Distrikt von den Farmen Etusis 75 (historischer Abbau auf Lithium, Beryllium und Bismut), Otjakatjongo 3, Ubib 76, Goas 29, Donkerhuk 91, im Okahandja Distrikt von der Farm Gross Barmen 7 und im Karasburg Distrikt von den Farmen Sperlingsputz 259, Kumkum 413, Kambreek 104 und Haaikiesdoorn 137 bekannt.

SCHNEIDER (1992) nennt zudem zahlreiche weitere Bismutfunde in Quarzgängen, Skarnen, Greisen und Seifen in ganz Namibia. Zwischen 1949 und 1973 wurden in Namibia offiziell 30,3 t Bismuterz @ 60 % Bi produziert.

### Literatur

SCHNEIDER, G. (1992): Bismuth. – In: The mineral resources of Namibia, First edition: 3.2-1 – 3.2-3, 1 Tab.; Windhoek (Geological Survey of Namibia).





## Norwegen



Norwegen ist zwar seit 1940 kein Produzent von Bismut mehr, besitzt aber immerhin eine kleinere Lagerstätte, in der Bismut erneut beibrechend gewonnen werden könnte.

Es handelt sich um die Gold-Bismut-Lagerstätte Bleka bei Svartdal nordöstlich Dalen in der Provinz Telemark. Hier setzen 13 – 15, bis rund 3 km Länge verfolgbare, aber nur 30 – 50 cm mächtige Quarz-/Calcit-Gänge in einem in Quarzit intrudierten Gabbro auf. Der Hauptgang führt blei-, tellur- und selenhaltigen Bismuthinit, tellur- und selenhaltigen Galenobismutit sowie Emplektit, Chalcopyrit und Gold, aber nur sehr wenig Bleiglanz (BANSE et al. 1964).

In den 1880er Jahren wurde die Lagerstätte entdeckt. Bergbaugenehmigungen wurden 1882 auf den Gehöften Bleka, Barstad, Svartdal, Haugsvold und Svervelid beantragt, wobei eine französische Bergbaukompagnie erstes Abbauunternehmen war. Auf dem Gehöft Bleka wurde 1897 sogar eine Schmelzhütte errichtet. Die Gruben wechselten zwischen 1916 und etwa 1930 mehrfach den Besitzer, wobei sie aber sowieso seit 1900 gestundet waren. Bis dahin waren rund 200 kg Gold ausgebracht worden. Erst 1932 und dann wieder 1937 – 1938 setzte ein erneuter Testbetrieb ein, dem der Kriegsausbruch 1940 aber ein Ende bereitete.

Interessant wird die Lagerstätte Bleka dadurch, dass

- die historischen Erzgehalte bei 25 ppm Au, 45 ppm Ag, 0,4 % Bi und 1,5 % Cu lagen,
- der Hauptgang nur auf 200 m von historisch bekannten > 1.000 m, durch Geomagnetik aber inzwischen auf rund 3.000 m nachgewiesener Länge abgebaut und noch nie abgebohrt wurde,
- in der näheren Umgebung über 20 weitere, noch nicht untersuchte Quarzgänge und in der weiteren Umgebung fünf weitere Gold-Bismut-Vorkommen (Gjuv, Espelid, Svervelid, Nystul und Blengsdal) bekannt sind, wobei Gjuv bereits in den Kriegsjahren 1917/18 8 t Erz @ 1,5 % Bi lieferte.

### Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDBERG, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.



## Peru



Bis vor wenigen Jahren war Peru einer der größten Bismutproduzenten außerhalb Chinas. Exportiert wurden neben Bismutmetall weit untergeordnet auch Blei-Bismut-Barren sowie zudem früher auch geringe Mengen von Bismuterzkonzentraten.

Hauptproduzent war von 1929 bis zu ihrer Stilllegung Mitte 2009 die Blei-Kupferhütte La Oroya auf 3.750 m Höhe in den peruanischen Anden. Ihre Raffinadebismutproduktion betrug maximal 4.206 t im Jahr 1944 und über 1.000 t noch 2008. In den ersten Jahren wurde das Metall nur als wirtschaftlich untergeordnetes Nebenprodukt gewonnen. Ab 1940 wurde Bismut aus dem Kupfer- und Bleikreislauf der Hütte im Rohblei angereichert und danach aus den Elektrolyseschlammern unter Zusatz von Schlammern der

Kupferelektrolyse abgetrennt. Der langjährige Bismutgehalt der eingesetzten Bleierzkonzentrate lag dabei bei 0,104 %, der der Kupfererzkonzentrate bei 0,039 %. Die in La Oroya produzierten Bismutmetallbarren besaßen einen Mindestgehalt von 99,9991 % Bi, zukünftig sind > 99,9995 % Bi geplant.

1997 übernahm das US-amerikanische Unternehmen Doe Run (Peru S.R.L.), im Besitz der Renco Group des Milliardärs Ira Rennert, von der staatlichen Empresa Mineral del Centro del Peru (Centromin) die Hütte La Oroya und das Kupferbergwerk Cobriza. Das Erz aus Cobriza enthält im Durchschnitt 0,97 % Cu, 13 ppm Ag und 500 ppm Bi, das daraus gewonnene Konzentrat 23,2 % Cu, 189 ppm Ag und 0,36 % Bi.



**Abbildung 27:** Hütte von La Oroya in den peruanischen Anden, Foto: Matthew Burpee.

Ohne im ausreichenden Umfang Umweltschutzmaßnahmen zu implementieren, erzeugte Doe Run in den folgenden Jahren aus den in Cobriza erzeugten und von über 30 anderen Bergwerksunternehmen (z. B. aus dem Kupfer-Zink-Bergwerk Antamina) zugekauften polymetallischen Erzkonzentraten die drei Hauptmetalle Kupfer, Zink und Blei und auch sieben verschiedene Nebenmetalle (Silber, Gold, Bismut, Antimon, Indium, Tellur, Selen) sowie diverse Nebenprodukte, vor allem auf Schwefelsäurebasis. Schon früher stark verschmutzt entwickelte sich La Oroya dabei weiter zu einer der zehn am stärksten verschmutzten Städte der Erde. Nach der Insolvenz von Doe Run Peru im Juni 2009 folgten mehrere Jahre mit Gerichtsverfahren, die im Januar 2012 mit der Erlaubnis zur Unterbreitung von Restrukturierungsmaßnahmen durch Doe Run endeten. Trotz heftigen Widerstandes nationaler und internationaler Umweltschutzorganisationen ging La Oroya mit finanzieller Unterstützung mehrerer Bergbaukonzerne und Banken im Juli 2012 wieder in Betrieb und verhüttet seitdem erneut Blei- und Zinkerzkonzentrate. Über wenige Monate wurde auch wieder Bismut raffiniert. Die eigentliche Kupfererzverhüttung ist aufgrund der ungelösten Umweltschutzproblematik noch gestundet, doch meldet La Oroya weiter

hin eine sehr geringe Kupferraffinadeproduktion. Die Kreditgeber planen, die Hütte La Oroya kurzfristig zu verkaufen, wobei sich Glencore plc. als einziger verbliebener Interessent abzeichnet.

Die Reserven Perus an Bismut sind unbekannt, reichen bei gleichbleibender Produktion jedoch vermutlich für Jahrhunderte. Allein das Kupfer-Zink-Blei-Silber-Molybdän-Bergwerk Antamina, betrieben durch Compañía Minera Antamina SA im Auftrag von BHP Billiton (33,75 %), Glencore (33,75 %), Teck (22,5 %) und Mitsubishi (10 %), enthielt zum 30.06.2014 Reserven von 673 Mio. t Erz @ 70 ppm Bi, entsprechend 47.100 t Bi-Inhalt. In Antamina wird u. a. ein Blei-Bismuterzkonzentrat produziert.

Die peruanische Bergbauproduktion von Bismuterzen wird vom BGS seit 1974 und vom USGS seit 1984 publiziert. Beide Werte entsprechen der Raffinadeproduktion von Bismut, die vom USGS schon seit über 40 Jahren gemeldet wird. Diese Daten stimmen jedoch nicht in allen Jahren mit den Angaben des peruanischen Bergbauministeriums vollständig überein, die wohl zuverlässiger und daher in Tabelle 31 aufgelistet sind.

**Tabelle 31: Raffinadeproduktion von Bismut bzw. Legierungen (in t Bi-Inhalt) in Peru von 1970 bis 2014. Quelle: Jahresberichte des peruanischen Bergbauministeriums. Für 2013 und 2014 Exporte nach Peru Customs zitiert in Global Trade Atlas.**

<b>1970</b>	<b>1971</b>	<b>1972</b>	<b>1973</b>	<b>1974</b>	<b>1975</b>	<b>1976</b>	<b>1977</b>	<b>1978</b>	<b>1979</b>
806	642	743	577	665	505	597	464	334	53
<b>1980</b>	<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>
512	649	760	678	650	785	605	412	363	647
<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
520	576	418	936	877	581	939	774	832	705
<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
744	640	568	832	988	952	1.081	1.114	1.061	423
<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>					
0	0	0	574	201					

Anm.: nach Einzelmeldungen von Doe Run produzierte La Oroya in den Jahren 1987: 412,5 t Bi-Inhalt, 1997: 815 t Bi-Inhalt, 1998: 832 t Bi-Inhalt, 2002: 568 t Bi-Inhalt und 2003: 769 t Bi-Inhalt.

## Rumänien



In Rumänien wurde Bismutmetall zwischen 1968 und 2009 im NE-Metallurgiekomplex von Copșa Mică, Kreis Sibiu (Hermannstadt), produziert.

Ursprünglich im Jahr 1939 nur zur Verhüttung und Raffinade von Zinkerzen geplant, kam zwischen 1962 und 1966 im damaligen Unternehmen Uzina Chimică Metalurgică (U.C.M) die Verhüttung von Bleierzen und zwischen 1967 und 1970 die Raffinade von Blei und Bismut sowie die Produktion von Gold, Silber, Kupfer, Indium und Antimonlegierungen hinzu. Zwischen 1975 und 1984 wurde dann die Kapazität der Anlage – nun: Interprinderea Metalurgică de Metale Neferoase (I.M.M.N) – verdoppelt und eine Raffinerie für Cadmium und Antimon hinzugefügt. Auch in den politischen Wirren nach 1989 schaffte es der metallurgische Komplex von Copșa Mică – jetzt: Combinatul de Metale Neferoase – zu überleben, wechselte dabei vielfach den Eigentümer und die Struktur, wurde 1991 in Societatea Metalurgică Transilvană (SOMETRA) umbenannt und gelangte dann 1998 als SOMETRA S.A. unter Kontrolle des griechischen Industriekonglomerats Mytilineos Holdings S.A. Dieses setzte die Produktion in Rumänien zum 1. Februar 2009 aufgrund der niedrigen Weltmarktpreise für NE-Metalle aus und hat inzwischen beschlossen, sich von seiner rumänischen Mehrheitsbeteiligung zu trennen.

Das in Copșa Mică verarbeitete heimische Erz stammte, soweit bekannt, aus den damals zahlreichen Blei-Zink-Bergwerken Rumäniens, vor allem aus den Baia Mare, Baia Borsa, Certej und Rodna Bergbaudistrikten. Dabei handelte es sich um niedriggradige Erze @ 0,4 – 1,0 % Pb und 0,6 – 1,2 % Zn, aber meist beibrechendem Cu (0,35 %), Sb, Bi, Cd, Au und Ag. Durch die komplexe Mineralogie der Erze waren das Ausbringen und damit auch die Produktion der Konzentrate stark schwankend.

Erzkonzentrate wurden aber auch dazugekauft, z. B. aus Ex-Jugoslawien und Polen. Zusätzlich neben Copșa Mică erfolgte die Verhüttung der Blei-Zink-Erze in der Hütte von Romplumb

(„Rumänisches Blei“) in Baia Mare. Die dort anfallenden wertmineralhaltigen Aufbereitungsabgänge wurden dann ebenfalls in Copșa Mică aufbereitet.

Nach WAGNER (1977) gab es zudem in Rumänien eine Lagerstätte, aus der Bismuterz als Hauptprodukt gefördert wurde. Es handelt sich um die Skarnlagerstätte Băița Bihor, in der aus bis zu zehn kleinen Bergwerken im Tiefbau neben Molybdän-, Kupfer-, Blei- und Zink-Erzen vor allem auch Bismuterze mit Bismuthinit, gediegen Bismut, Joséit, Wittichenit, Galenobismutit, Emplektit, Cosalit und Aikinit ausgebracht wurden. Noch heute baut die S.C. Băița S.A hier vor allem auf Molybdänerze ab. Die benachbarte S.C. Băița Bihor S.A. gewinnt dagegen Marmor und Dolomit. Zudem befindet sich in Băița Bihor das einzige Atommüll-Endlager Rumäniens, das 1985 eröffnet wurde und das der Lagerung schwacher und mittelschwacher radioaktiver Abfälle dient. Copșa Mică wiederum verbleibt als einer der am stärksten umweltbelasteten Industriestandorte Osteuropas.

Weder die Bergbauproduktion von Bismuterzen bzw. der Bi-Inhalt der geförderten Blei-Zink-Erze noch die Raffinadeproduktion von Bismut in Rumänien wurden je in Zeitreihen publiziert. Es gibt jedoch einige wenige Einzeldaten aus dem Jahr 1976 mit einer Bergbauproduktion von 82 t Bi-Inhalt (Wagner 1977), aus dem Jahr 1975 mit einer Bismut-Raffinadeproduktion von 9 t (WAGNER 1977) sowie aus dem Jahr 1989 mit einer Produktion in Copșa Mică von 23.519 t Blei, 29.840 t Zink, 2.094 t Zinkpulver, 195 t Antimon, 29 t Bismut, 19 t Cadmium und 43.490 t Schwefelsäure (www.copsa-mica.ro).

### Literatur

WAGNER, H. (1977): Rumänien. – Rohstoffwirtschaftliche Länderberichte, XIII: 176 S., 23 Abb., 82 Tab., 5 Anl.; Hannover (BGR)





## Russische Föderation



Die frühere Sowjetunion gewann Bismut als Beiprodukt der Blei- und Zinkerzverhüttung in Russland (s. u.) und Kasachstan (s. Kasachstan), der Zinnerzverhüttung in Russland (s. u.), bei der Verarbeitung von Wolfram- und Molybdänerzen im nördlichen Kaukasus (Tyrnyauz Skarnlagerstätte in der Republik Kabardino-Balkarien an der Grenze zu Georgien) und aus Bismuterzen in Usbekistan (s. Usbekistan). Zusätzlich wurde möglicherweise über einige Jahre auch das bei der Raffinade von Kupfererzen in den Balkash (Kasachstan), Kirovgrad (Sverdlovsk Oblast, Südural) und Mednogorsk (Orenburg Oblast, Südural) Metallurgiekomplexen anfallende Bismut ausgebracht, größtenteils wohl aber mit den Schlacken deponiert. Nach russischen Quellen beinhalten allein die Kupferschlacken im Südural neben großen Mengen Kupfer und Zink mehr als 7 t Gold, 150 t Silber, 8.000 t Cadmium und 23.000 t Bismut (ANONYM 2002). Da die heimische Bismutproduktion dennoch nicht zur Deckung des Bedarfs reichte, importierte die Sowjetunion jährlich zusätzlich mehrere hundert Tonnen des Metalls – sofern auf dem Weltmarkt verfügbar.

Der USBM/USGS schätzte die Bismutgewinnung in der Sowjetunion zwischen 1970 und 1990 zunehmend von ca. 50 tpa auf ca. 80 tpa Bi-Inhalt. ANONYM (2010) nennen dagegen eine Bismutproduktion von 160 – 170 tpa Bi-Inhalt in den 1980er Jahren. Nach dem politischen Umbruch bis heute reduzierten sich Bismutgewinnung und auch -verbrauch in Russland deutlich. Nach ELLMIES & HÄUSSER (2003) wurde die Bismutproduktion im Zeitraum 1992 – 1995 auf ca. 25 tpa Bi-Inhalt, später reduziert auf ca. 10 tpa Bi-Inhalt geschätzt. Bismut reiche Erze werden zwar auch heute noch gewonnen, aber nicht mehr verhüttet bzw. das Bismut raffiniert. Russische Experten gingen vor wenigen Jahren noch von einer Inlandsproduktion von bis zu 5 tpa Bi-Inhalt aus – doch sind heute keine Produzenten von Bismutmetall mehr bekannt. Vermutlich letzter Produzent war das ab 1942 produzierende Integrierte Hüttenkombinat Novosibirsk (OAO „NOK“), das aber im Juli 2013 Insolvenz anmelden musste. NOK produzierte Raffinadezinn, Zinnlegierungen und

diverse Zinnprodukte. Zusätzlich wurden die bei der Zinnerzraffinade anfallenden Koppelprodukte (Blei, Antimon, Bismut, Blei-Bismut-Legierungen, Arsen, Indium, Kupfer u. a.) vermarktet. Nach ANONYM (2010) lag die Bismutproduktion von OAO „NOK“ jährlich bei 1,5 – 2 t Bi-Inhalt.

Wichtigster Verarbeiter von Bismut ist weiterhin die OAO „ZRM“ (Fabrik für Seltene Metalle), die 1941 ebenfalls in Novosibirsk gegründet wurde und dort auch heute noch in der Produktion von Salzen bzw. Verbindungen von Caesium, Rubidium, Lithium, Gallium, Bismut, Indium, Samarium, Antimon und Seltenen Erden tätig ist.

Zwar gibt es in Russland, wie oben erläutert, keine Bismut ausbringenden Hütten mehr, doch sind noch einige Bergwerksbetriebe aktiv, die Bismut reiche Erze abbauen.

Die OAO Gorno-Metallurgitscheski Komplex Dalpolimetall in Dalnegorsk, Region Primorje, eine Tochtergesellschaft der OOO Russkaja Gornorudnaja Kompanija, ist ein Bergwerksbetrieb mit langer Historie. Das Unternehmen fördert jährlich rund 800.000 t Blei-Zink-Silber-Erz aus den Skarnlagerstätten Nikolayevskoye, Partizanskoye und Verkhnee bzw. den Ganglagerstätten Mayminovskoye, Southern und Silinskoye (im Aufschluss) und produziert daraus in einer Aufbereitungsanlage in Rudnaja Pristan jährlich bis zu 20.000 t Bleierzkonzentrat @ 800 – 2.500 ppm Bi und 36.000 t Zinkerzkonzentrat @ 25 – 40 ppm Bi. Alle Erzkonzentrate werden nach China und Südkorea exportiert, während eine zum Unternehmen gehörende Bleihütte nur noch Bleischrotte verarbeitet. Dort lag die Bismutproduktion früher bei 10 – 14 t jährlich (ANONYM 2010, HONES et al. 2012).

Größter Bleierzproduzent Russlands ist jedoch das Unternehmen OAO Gorevsky GOK in Novosibirsk, Region Krasnojarsk. Aus der dortigen Gorevskoe Blei-Zink-Silber-Lagerstätte fördert das Unternehmen im Tagebau jährlich rund 3 Mio. t Buntmetallerze @ 7,1 % Pb und 1,3 % Zn und reichert das Erz in der Aufbereitungsanlage des angeschlossenen Novoangarsky

Obogatitjely Kombinat zu einem Blei-Zinkerz-konzentrat – in 2012: 149.400 t – an. Das Konzentrat wird vornehmlich nach China und Kasachstan exportiert.

Weitere aktive Bleierzproduzenten Russlands sind:

- OAO Novo Shirokinskiy Mine mit rund 9.200 t Bleierzkonzentrat in 2012 aus der Blei-Zink-Silber-Gold-Lagerstätte Novoshirokinskoye im Gazimuro-Zavodsky Distrikt, Zabaykalsky Krai, Ostsibirien
- OAO Siberia Polymetal mit ca. 5.300 t Bleierzkonzentrat in 2012 aus der Rubtsovskoe Blei-Kupfer-Zink-(Gold-Silber-)Lagerstätte in der Republik Altai
- OOO Baykalrud, eine Gesellschaft mit chinesischen Eigentümern, die die aus ihrer Noyon-Tologoykom Blei-Zink-Silber-(Cadmium-Gold-)Lagerstätte, Zabaykalsky Krai, gewonnenen Erzkonzentrate, darunter in 2012 rund 2.000 t Bleierzkonzentrat, direkt in der benachbarten Bergbaustadt Labudalin/China verhütten lässt.

Angaben zum Bismutgehalt gibt es allerdings nur für das von OAO Dalpolimetall produzierte Bleierzkonzentrat – die Bismutgehalte der anderen in Russland produzierten Bleierzkonzentrate sind dagegen unbekannt.

Über einige andere russische Nichtblei-Lagerstätten liegen jedoch auch Daten zu Bismut vor. Diese lassen insgesamt vermuten, dass auch in Russland zumindest das theoretische Potenzial für Bismut groß ist.

Die ostsibirische Zhelezny Kryazh Goldlagerstätte im Gebiet von Kalgan, Zabaykalsky Krai, Chita Region, unweit der Grenze zu China, ist nur eine von mehreren dort bekannten bzw. im Abbau stehenden Goldlagerstätten. Beispielhaft führen die Skarnerze von Zhelezny Kryazh neben gediegen Gold und Bismut vor allem Pyrit, Chalcopyrit, Pyrrhotin, Bleiglanz, Bismuthinit, Bismutsulfosalze und Arsenopyrit. Der durchschnittliche Bismutgehalt in den oxidischen Erzen liegt bei 0,21 %, in den Primärerzen bei 0,389 %. Eine genaue Vorratsberechnung für Bismut liegt noch nicht vor, doch werden die Ressourcen grob auf 30.000 t Bi-Inhalt (+ 13 t Au-Inhalt) geschätzt. Die beibehaltende Produktion eines vermarktungsfähigen Bismutkonzentrats @ 10 % Bi durch den

Projektbetreiber Siberian Goldfields Ltd. ab der 2. Jahreshälfte 2015 ist dementsprechend geplant.

Die Vorräte der ebenfalls noch unverritzten Greisenlagerstätte Odinokoe im Nord-Jana Gebiet der Republik Sacha in der russischen Arktis werden auf rund 125.800 t Sn-, 10.300 t W- und 6.800 t Bi-Inhalt (A – C<sub>1</sub>) bzw. 1.770 t Sn-, 300 t W- und 60 t Bi-Inhalt (C<sub>2</sub>) geschätzt. Die Erzlager treten in einem Quarz-Cassiterit-Gangstockwerk nestartig verteilt auf. Die Vererzung reicht nur 30 – 100 m tief. Die durchschnittlichen Gehalte sind relativ niedrig und betragen 0,31 % Sn bzw. 280 ppm W, weswegen sich ein Abbau derzeit nicht lohnt. Im Erz wurden Gehalte bis 0,92 % Bi gemessen.

Eine weitere Zinnlagerstätte in der Republik Sacha ist Tschurpun'ja. Diese Lagerstätte ist vulkanogenen Ursprungs und besteht aus 34 einzelnen Erzkörpern, von denen der erste Erzkörper 75 % der Gesamtvorräte beinhaltet. Dieser Erzkörper besitzt eine Länge von 1.200 m und führt in seinem Zentrum hohe Anreicherungen von Cassiterit. Seit den 1990er Jahren bis in das Jahr 2008 wurde die Lagerstätte Tschurpun'ja untertägig abgebaut und bei der Aufbereitung der Zinnerze auch jährlich bis zu 5 t Bismutmineralkonzentrat gewonnen. Zwischenzeitlich gilt die Lagerstätte als nahezu ausgebeutet. Die C<sub>2</sub>-Ressourcen enthalten jedoch noch 21.100 t Sn-, 600 t WO<sub>3</sub>- und 540 t Bi-Inhalt.

Im Gebirge des Kosh-Agach Distrikts der südsibirischen Republik Altai, unweit der Grenze zu Kasachstan, liegt die komplexe Kupfer-Bismut-Kobalt-Lagerstätte Karakulskoye (Karakul). Hier sind tektonische Brekzienzonen auf bis 700 m Länge, 500 m Teufe und 2 – 23 m Mächtigkeit vornehmlich mit Pyrit, Pyrrhotin und Chalcopyrit, aber auch Arsenopyrit, Löllingit, Cobaltit, Glaukodot, gediegen Bismut, Bismuthinit, Tellurobismuthinit, Bismutsulfosalzen, Scheelit und Ullmanit vererzt. Der Lizenzinhaber, die kanadische Global Cobalt Corporation, hat „Indicated“ Ressourcen (nach NI 43-101) von 18,1 Mio. t Erz @ 0,109 % Co, 0,357 % Cu, 570 ppm Bi (= 10.400 t Bi-Inhalt), 560 ppm WO<sub>3</sub> und 3 ppm Ag ausgewiesen. Dazu kommen „Inferred“ Ressourcen von insgesamt 9,1 Mio. t Erz @ 660 – 1.070 ppm Bi bzw. 7.160 t Bi-Inhalt.

Nicht auf russischem sondern bereits auf mongolischem Hoheitsgebiet liegt die strategische mongolische Lagerstätte Asgat, die aber wegen ihrer Lage im Grenzgebiet und der sehr schlechten Infrastruktur auf mongolischer Seite nur von Russland her abgebaut werden kann. Es handelt sich um eine polymetallische Sulfosalz-lagerstätte mit Silber als Hauptwertmetall. Die C1 + C2-Ressourcen betragen 6,40 Mio. t Erz @ 351 ppm g, 0,82 % Cu, 0,36 % Sb und 550 ppm Bi (= 3.320 t Bi-Inhalt).

#### Literatur

- ANONYM (2002): Die wirtschaftliche Analyse: „Farbige“ Ökologie (in Russisch). – Ural Metal Market, **11**: zahlr. S., 2 Abb., 4 Tab.; Yekaterinburg – URL: <http://www.urm.ru/ru/75-journal63-article455>.
- ANONYM (2010): Zhelezny Kryazh gold deposit. – Report prepared by Dragon Georesource, Version 1.4: 93 S., 17 Abb., 41 Tab., 5 Anh.; o. O. – URL: <http://graftonresources.com/wp-content/uploads/2011/09/ZK-Report-March-2010.pdf>.
- ELLMIES, R. & HÄUSSER, I. (2003): Russische Föderation. – Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, **XXX**: 230 S., 115 Abb., 144 Tab.; Hannover (BGR).
- HONSE, B., WOLF, E., SCHULZE, G., BÖHLMANN, J. & VUKOLOVA, T. (2012): Rohstoffgigant Russland. Vorkommen, Projekte, Partnerschaften. – Studie von Germany Trade and Invest und der Deutsch-Russischen Auslandshandelskammer: 319 S., 18 Abb., 14 Tab.; Bonn-Moskau.





## Sambia



Sambia verfügt nur über wenige bekannte primäre Bismutlagerstätten.

Das Nchoncho Lagerstätte bildet einen markanten Höhenrücken und liegt ca. 185 km östlich von Lusaka bzw. 40 km östlich von Rufunsa. Hier findet sich Bismutit sehr unregelmäßig verteilt in mineralisierten Quarz-Turmalingängen, die über 1 km streichende Länge entlang einer Störungszone in Grundgebirgsgneise eingedrungen sind. Zwischen 1912 und 1914 wurden aus diesem Vorkommen durch die ehemalige Rhodesia Katanga Company im Untertageabbau rund 3 t Bismutmineralkonzentrat gewonnen. Eine Neubewertung der Lagerstätte im Jahr 1954 ergab, dass diese aufgrund der niedrigen Durchschnittsgehalte von < 0,25 % Bi, der geringen Tonnagen und der Notwendigkeit einer selektiven Gewinnung keinesfalls mehr wirtschaftlich abzubauen wäre (SIMPSON 1964).

80 km ostnordöstlich von Lusaka, im Königreich von Unda Unda, zwischen den Flüssen Chongwe und Mwapula, streichen mehrere Scheelit-Quarzgänge (Darg, Cairn Dhu, Shapola und Devonshire) aus, die teils Gold mit Bismutit, teils nur Bismutit (Darg) führen. Die bis 60 m breiten und bis 0,5 m mächtigen Quarzgänge sind um einen Granit von ca. 8 km Durchmesser gruppiert, der in den Grundgebirgskomplex intrudierte. In Darg hat die Gangschar eine Erstreckung bis 1,8 km. Der mittlere von drei Erzfällen wurde zwischen 1916 und 1922 bis in eine Teufe von 36 m abgebaut und lieferte damals aus Reicherz mit 2,2 % Bi insgesamt knapp 5 t Bismutmineralkonzentrat (TURNIT 1979).

Bedeutender als die primären Lagerstätten ist das Auftreten von Bismut in den sambischen Kupfererzen, das während der Raffinade abgetrennt werden muss. Schon Ende der 1970er Jahre wurden in der damaligen Kupferhütte von Rokana, heute Nkana, Prozesse entwickelt und erfolgreich getestet, um Bismut mit einem Ausbringen von 90 – 95 % zuerst als BiOCl aus den Konverterstäuben @ 5 % Bi abzutrennen und danach Bismutbarren @ 98 – 99 % Bi zu erschmelzen.

Das in Rokana verarbeitete Kupfererzkonzentrat enthielt im Durchschnitt 210 ppm Bi (HANKS et al. 1979).

Aktuell hat die Chambishi Copper Smelter Company Ltd., ein Tochterunternehmen der China Nonferrous Metal Mining (Group) Corporation Ltd. (CNMC), als Teil der Phase 2 der Erweiterung der Kupferhütte von Chambishi für Investitionskosten von 1,86 Mio. US\$ eine Anlage zur Rückgewinnung von Bismut (und Kupfer) aus Konverterstäuben errichtet und Ende 2012 in Betrieb genommen. Das in Chambishi verarbeitete Kupfererz enthält im Mittel 360 ppm Bi und stammt derzeit aus den firmeneigenen Bergwerken

- Chambishi Main (2013 Produktion von 1,143 Mio. t Erz)
  - Chambishi West (2013 Produktion von 0,979 Mio. t Erz @ 2,25 % Cu)
  - Baluba Center (2013 Produktion von 1,180 Mio. t Erz @ 2,05 % Cu) und
  - Muliashi North (2013 Produktion von 5,08 Mio. t Erz @ 1,05 % Cu),
- denen sich bald das Chambishi Southeast Bergwerk anschließen soll.

Zum 31. 12. 2013 betragen die JORC-Ressourcen („Measured, Indicated & Inferred“) von

- Chambishi Main: 25,59 Mio. t Erz @ 2,35 % Cu
- Chambishi West: 37,49 Mio. t Erz @ 2,11 % Cu
- Baluba Center: 17,51 Mio. t Erz @ 2,09 % Cu + 0,15 % Co
- Muliashi North: 73,53 Mio. t Erz @ 1,05 % Cu + 0,02 % Co
- Chambishi Southeast 150,08 Mio. t Erz @ 1,85 % Cu + 0,11 % Co

Die in den Ressourcen enthaltenen JORC-Reserven („Proved & Probable“) zum 31. 12. 2013 betragen:

- Chambishi Main:  
6,52 Mio. t Erz @ 1,55 % Cu
- Chambishi West:  
23,83 Mio. t Erz @ 1,93 % Cu
- Baluba Center:  
8,43 Mio. t Erz @ 1,50 % Cu + 0,10 % Co
- Muliashi North:  
41,50 Mio. t Erz @ 1,06 % Cu + 0,02 % Co
- Chambishi Southeast:  
38,68 Mio. t Erz @ 1,76 % Cu + 0,08 % Co

Rein rechnerisch betragen die Metallinhalte der Ressourcen in den o. g. Bergwerken der Chambishi Copper Smelter Company Ltd. also rund 5,2 Mio. t Cu-, 206.000 t Co- und knapp 110.000 t Bi-Inhalt bzw. die der Reserven 1,5 Mio. t Cu-, 48.000 t Co- und 42.000 t Bi-Inhalt.

Wie hoch das Gesamtpotenzial an Bismut in den sambischen Kupfererzen ist, ist nicht bekannt, es dürfte jedoch 1 Mio. t Bi-Inhalt deutlich übersteigen.

Das in Chambishi produzierte Kupfererzkonzentrat enthält neben 2 ppm Au und 80 ppm Ag durchschnittlich 1.000 ppm Bi. Im Jahr 2013 wurden aus 3,302 Mio. t Erz (das Erz aus Muliashi North wird gelaugt) 44.448 t Kupfererzkonzentrat mit dementsprechend rund 440 t Bi-Inhalt ausgebracht. Die Chambishi Southeast Aufbereitungsanlage soll 2016 in Produktion gehen und bei einer zusätzlichen Kapazität von 3,3 Mio. t Erz jährlich rund 261.000 t Kupfererzkonzentrat (@ 260 t Bi-Inhalt) produzieren.

Bis zur Inbetriebnahme der Bismutrückgewinnungsanlage wurden täglich rund 3 t Konverterstaub @ > 10 % Bi erzeugt und in Säcken zwischengelagert. Die neue Anlage besitzt eine Tageskapazität von 6 t Staub, so dass unter Annahme eines Ausbringens von > 95 % Bi nun jährlich BiOCl mit rund 100 t Bi-Inhalt, ab 2016 BiOCl mit jährlich rund 200 t Bi-Inhalt erzeugt werden wird (LI et al. 2012).

#### Literatur

HANKS, R., VAN DER ZEL, J. & HARRIS, G. B. (1979): Bismuth at Rokana copper smelter, Zambia: its behaviour and extraction from flue dusts. – Inst. Min. Met., Transactions, **88**: C99 – C106, 7 Abb., 7 Tab.; London.

LI, Q., XIAO, P., HUANG, M., NIU, L., LEWIS, A. & JIA, Y. (2012): Technical assessment report of CNMC's copper properties in Copperbelt Province, Republic of Zambia. – Report prepared by SRK Consulting (China) Ltd. for China Nonferrous Metals Mining (Group) Co. Ltd., March 30, 2012: 219 S., zahlr. Abb. und Tab. Beijing. – URL: [http://www.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2012/0620/01258\\_1375464/E131.pdf](http://www.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2012/0620/01258_1375464/E131.pdf) .

TRURNIT, P. (1979): Sambia. – Rohstoffwirtschaftliche Länderberichte, **XXI**: 167 S., 40 Abb., 18 Tab., 6 Anl., Hannover (BGR).

## Schweden



Bismut wurde schon 1935 als Nebenprodukt in der fünf Jahre zuvor eröffneten Kupfer-Bleihütte Rönnskär von Boliden AB gewonnen. Die in Rönnskär verhütteten Bleierzkonzentrate stammten ursprünglich aus den nord- und mittelschwedischen Gruben Laisvall ( $< 10$  ppm Bi im Konzentrat), Vassbo ( $< 5$  ppm Bi im Konzentrat), Renström (350 ppm Bi im Konzentrat), Garpenberg (140 – 240 ppm Bi im Konzentrat) sowie Saxberget (0,12 % Bi im Konzentrat). Noch reicher an Bismut ist die Kupfer-Gold-Arsen-Lagerstätte Boliden im Skellefteå-Bezirk Nordschwedens, in der die Erze durchschnittlich 0,26 % Bi, in Randbereichen des Erzkörpers sogar bis zu 2,24 % Bi, und das Kupfererzkonzentrat bis zu 700 ppm Bi enthält (BANSE et al. 1964, FEISER 1966).

Während aus fünf Bergwerken bei Boliden immer noch Gold-Kupfer-Silber-Zink-Blei-Tellur-Erze ge-

wonnen und die Kupfer- und Golderzkonzentrate im nahen Rönnskär verhüttet werden, ist der Bleierzbergbau in Schweden schon vor vielen Jahren fast vollständig zum Erliegen gekommen. Eine Ausnahme ist die komplexe Zink-Blei-Lagerstätte Garpenberg, die seit dem 13. Jahrhundert in Produktion steht und im Jahr 2014 aus 1,495 Mio. t Erzkonzentrate mit 99.389 t Zn-, 36.880 t Pb-, 411 t Cu-, 218 t Ag- und 468 kg Au-Inhalt erbrachte.

Die Hütte in Rönnskär verhüttet dementsprechend zwar weiterhin Bleierzkonzentrate, jedoch steht die Verarbeitung von Kupfererzkonzentrat (@ i.M. 500 ppm Bi, KINDESJÖ 2002) und seit einigen Jahren auch Elektroschrott im Vordergrund. Im Jahr 2014 nahm Rönnskär rund 661.000 t Kupfererzkonzentrat, 184.000 t Recyclingmaterial, darunter 82.000 t Elektroschrott,



Abbildung 28: Luftaufnahme der Rönnskär Hütte der Boliden AB, Foto: Boliden AB.

aber nur noch 40.000 t Bleierzkonzentrat (sowie 1.000 t Bleischrott) an und produzierte daraus 217.000 t Kupfer, 25.000 t Blei, 39.000 t Zinkklinker, 479 t Silber, 13 t Gold und 2 t Palladiumkonzentrat.

Bis 1965 gab Boliden AB auch eine Produktion von Bismutmetall in Rönnskär an (ROSKILL 1990). Danach soll Bismut dort nicht mehr ausgebracht, sondern bis 1974/75 das in den Filterstäuben anfallende Bismut zur Hütte der heutigen Aurubis AG in Hamburg zur dortigen Weiterverarbeitung exportiert worden sein. Bis in die 2000er Jahre wurde danach zumindest ein Teil der Filterstäube noch nach Großbritannien zur Weiterverarbeitung exportiert (KINDESJÖ 2002). Auch heute noch fällt Bismut in größeren Mengen in den Filterstäuben von Rönnskär an – diese werden zumindest zum Teil nun von der 5N Plus in Tilly, Belgien, aufbereitet (frdl. mdl. Mitt.). Boliden AB wollte im Rahmen dieser Studie dazu keine näheren Angaben machen.

## Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband.- Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

FEISER, J. (1966): Wismut.- In: Die Metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung. **17** (Nebenmetalle): 193 – 228, 2 Abb., 4 Tab.; Stuttgart (Ferdinand Enke).

KINDESJÖ, U. (2002): phasing out lead in solders.- M.Sc. Thesis, The International Institute for Industrial Environmental Economics: V + 81 S., 18 Abb., 15 Tab., 4 Anh.; Lund, Schweden. – URL: <http://www.pcbrc.com/dev/PDFs/Thesis%20-%20Phasing%20out%20Lead%20in%20Solders.pdf>.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth, Eighth Edition 1990. – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.

## Simbabwe



Simbabwe ist reich an Bismut, das aber im Wesentlichen an die vielen Goldvorkommen im archaischen Grünsteingürtel des Landes gebunden ist. In diesen Goldvorkommen finden sich zahlreiche Bismutminerale, wie gediegen Bismut, Bismutit, Bismuthinit, Cosalit, Ikunolit, Maldonit und Jonassonit ( $\text{AuBi}_5\text{S}_4$ ), v. a. aber Bismuttelluride wie Joséit-A, Joséit-B, Protojoseit ( $\text{Bi}_3\text{TeS}$ ), Tetradymit, Hedleyit ( $\text{Bi}_7\text{Te}_3$ ), Ingodit ( $\text{Bi}_2\text{TeS}$ ) und weitere (OBERTHÜR & WEISER 2008).

Soweit bekannt, wird seit 1939 das in den Goldvorkommen enthaltene Bismut nirgendwo in Simbabwe mehr ausgebracht.

Auch in einigen Pegmatiten Simbabwes finden sich gediegen Bismut und im Wesentlichen Bismutit. Bergwerke, die in Bismut führenden Pegmatiten standen bzw. stehen sind:

- Horn Mine, 20 km westlich von Gwanda im Gwanda-Filabusi Distrikt

- JCB und Sydkom Minen im Insiza Distrikt, aus denen zwischen 1967 und 1974 insgesamt 2 t Bismut ausgebracht worden sein sollen
- Ope Mine im Goromonzi Distrikt
- Ubique Mine im Hwange Distrikt: Turmalin führende Pegmatitgänge, die zwischen 1965 und 1981 und dann wieder 2001/02 auf Glimmer sowie 1965/66 auf Beryll abgebaut wurden.

Weitere Informationen liegen nicht vor.

### Literatur

OBERTHÜR, T. & WEISER, T. W. (2008): Gold-bismuth-telluride-sulphide assemblages at the Viceroy Mine, Harare-Bindura-Shamva greenstone belt, Zimbabwe. – *Mineralogical Magazine*, **72**, 4: 953 – 970, 7 Abb., 6 Tab.; Middlesex, UK.







## Spanien



Der mittlerweile historische Abbau von Bismuterzen in Spanien begann im Jahr 1905 im Distrikt von Conquista, Provinz Córdoba, durch ein britisches Unternehmen. Kurz vor ihrem Rückzug aus Spanien im Jahr 1915 begannen die Briten zudem mit der Raffinade von Bismut.

Im Detail begann die Bergbauförderung von Bismuterzen aus Vorkommen des Valle de los Pedroches in der mittleren Sierra Morena in Córdoba 1905 in dem Bergwerk „Angelita“ bei Torrecampo, gefolgt 1906 durch acht weitere Bergwerke, darunter „San Sixto“ bei Conquista und „San Jaime“ ebenfalls bei Torrecampo. Bis in die 1930er Jahre wurden diese Bergwerke teils mit voller Kapazität betrieben. Nach teilweiser Auserzung dieser zuerst abgebauten Vorkommen wurden 1930 sechs weitere und 1931 sogar sieben neue Bergwerke bei Villanueva de Córdoba, Torrecampo und Pozoblanco aufgefahren, darunter 1931 auch „La Espuela de San Miguel“. 1931 wurden in der Provinz Córdoba in 14 Bergwerken Erze mit 114 t Bi-Inhalt gewonnen und durch die Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya bei Pueblonuevo del Terrible im Norden von Córdoba verhüttet. Mit Unterbrechungen wurden die Bergwerke im Valle de los Pedroches bis in die 1960er Jahre betrieben. 1972 musste auch das letzte Bergwerk, „La Espuela de San Miguel“ bei Villanueva de Córdoba, allerdings aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen, schließen.

Die meist < 0,3 m, selten bis 1,2 m mächtigen, meist nicht über 200 m langen Bismuterzgänge des Vale de los Pedroches setzen in der Schieferhülle eines großen Granitmassivs auf, meist senkrecht zum Kontakt und an Scher- und Zerrzonen gebunden. Die Teufe der Gänge überschreitet nur selten 250 bis 350 m, die Oxidationszone reicht bis 170 m Teufe. Bei La Conquista gehen die Bismuterzgänge in 60 m Teufe in Blei-Zink-Erzgänge über. Die Bismutminerale Bismuthinit, gediegen Bismut, sulfidische und arsenidische Bismut-Nickel- und Bismut-Kobalt-Verbindungen sowie Bismut und Bismutit sind meist mit Chalcopyrit, aber auch mit Kobalt-Nickel-Erzen vergesellschaftet.

Abgebaut wurden zu Beginn nur mechanisch leicht aufbereitbare Reicherze > 12 % Bi, später Armerze mit mindestens 1,3 % Bi, 1 – 2 % Cu, 0,08 – 0,1 % Ni und 0,1 % Co, die gelaugt werden mussten (BANSE et al. 1964).

Auch nach Einstellung der Bergwerksförderung von Bismuterzen wurde Bismut in Spanien noch in den Bleihütten von La Cruz und Santa Lucía de Peñarroya in Cartagena abgetrennt, wobei La Cruz im Jahr 1967 und Santa Lucía 1992 schloss.

Die spanische Bergbauproduktion von Bismuterzen ist aus den Estadística Minera des Ministerio de Industria, Energía y Turismo gut bekannt und lag 1970 bei 64 t Bismuterzkonzentrat, 1971 bei 123,6 t Bismuterzkonzentrat mit 25,1 t Bi-Inhalt, 1972 bei 13,8 t Bismuterzkonzentrat mit 2,9 t Bi-Inhalt und endete 1972 mit 2,4 t Bismuterzkonzentrat mit 720 kg Bi-Inhalt. Das in den letzten Jahren der Bergbauförderung produzierte Konzentrat enthielt also nur 20 – 21 % Bi.

Dagegen wurden weder die Mengen des aus diesen Konzentraten bis 1972 noch aus den Bleierzen in den Bleihütten Spaniens bis 1992 ausgebrachten Raffinadebismuts statistisch erfasst. Die Herkunft der Daten zur Bismutraffinadeproduktion Spaniens, wie sie in den USBM Mineral Yearbooks bis 1975 genannt wird, ist daher zweifelhaft.

### Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDBERGER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., V. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.



## Südafrika



In Südafrika findet sich Bismut, meist als Bismutit, in Form größerer Kristalle und kleinerer Anreicherungen in den komplexen Beryll führenden Lithium-Pegmatiten des Steinkopf Distrikts, Namaqualand, Northern Cape Provinz. Von diesen Pegmatiten wurde allerdings nur der Noumas Pegmatit – mit Unterbrechungen zwischen 1925 und 1962 – neben Beryll, Tantalit-Columbit, Muskovit, Feldspat und Spodumen auch auf Bismut hin abgebaut. Dieser 1 km lange und 10 – 42 m breite Pegmatitgang ist diskordant in geschieferte Granodiorite eingedrungen. Er enthielt bis 1 m große Kristalle von Spodumen.

Auch während der Aufbereitung von Zinnerzen, besonders aus den Lagerstätten Zaaiplaats (Abbau 1909 – 1989) und Stavoren (Abbau 1913 – 1936) im Bushveld Komplex fielen geringe Mengen an Bismutmineralen an.

Gediegen Bismut, zusammen mit Silber, Kupfer und Arsenopyrit, ist zudem häufiger Begleiter der Goldmineralisation in der Sabie-Pilgrim's Rest Region.

Die Bismutproduktion Südafrikas war immer sehr stark schwankend zwischen > 100 t bis wenigen kg Konzentrat @ 50 – 60 % Bi pro Jahr. Sie endete offiziell mit der Produktion von 22 kg Bismutmineralkonzentrat im Jahr 1971.



## Tadschikistan



Von den bekannten Kupfer-Bismut-Lagerstätten Tadschikistans sind die bedeutendsten die des Reviers Adrasman im Asht Distrikt der Sughd Provinz. Der Asht Distrikt liegt ganz im Norden des Landes, am Südabhang des Kuraminskij-/Kurama-Gebirges, einem Teil des Tien Shan Gebirgszuges. Bei Neuaufschluss dieses Reviers in den 1930er Jahren wurden die Bismutvorräte bei durchschnittlich 0,63 % Bi im Erz auf rund 2.000 t Bi-Inhalt geschätzt, davon am Südostabhang des Berges Adrasman Baši allein 690 t und ähnliche Vorräte am Berg Dželtimas (BANSE et al. 1964).

Im Adrasman Revier werden 75 % der Oberfläche von Quarzporphyren eingenommen. Aus Brekzien entlang tektonischer Bruchzonen bestehen die eigentlichen Erzkörper, die am Ausbiss meist 1 m, selten 3 m mächtig sind. Mit der Tiefe nimmt ihre Mächtigkeit zunächst zu und erreicht bis 12 m. Die Erzminerale in abnehmender Häufigkeit sind Hämatit, Chalcopyrit, Pyrit, Bismuthinit, gediegen Bismut, Emplektit, Cosalit, Klaprothit, Jamesonit, Arsenopyrit, Sphalerit, gediegen Gold und Silber. Die Bismutminerale sind zusammen mit Chalcopyrit in einigen bis 60 cm mächtigen Linsen angereichert. Mit zunehmender Teufe und zum Hangenden des Erzkörpers nimmt der Bismutgehalt ab (BANSE et al. 1964).

Die oberen Teile der Lagerstätten im Revier Adrasman (bis zu 30 – 50 m Teufe) wurden schon im 10. und 11. Jahrhundert. abgebaut. Der moderne Bergbau setzte 1934 ein. Flotation lieferte Konzentrate @ 23 – 31 % Cu und 6 – 8 % Bi bei einem Ausbringen von ca. 95 % Cu und ca. 98 % Bi. Bis 1997 wurden aus dem Revier Adrasman Kupfer-Bismut- sowie Blei-Zink-Silber-Erze abgebaut und die im Adrasman Aufbereitungskomplex produzierten Erzkonzentrate in andere Länder der ehemaligen Sowjetunion, v. a. Usbekistan und Kasachstan, zur Weiterverarbeitung exportiert. Nach ORIFOV & DZHANOBILOV (2001) enthielten die abgebauten Kupfer-Bismuterze zuletzt durchschnittlich 0,71 % Cu, 0,1221 % Bi, 152 ppm Ag und 0,95 ppm Au. In Adrasman wurden diese Erze zu Kupfer-Bismuterzkonzentraten mit 12 % Cu, 2,0 % Bi und 2.844 ppm Ag angereichert.

Im Jahr 2004 wurde die Aufbereitungsanlage in Adrasman durch ein kasachisch (49 %) -tadschikisches (51 %) Joint Venture wiedereröffnet und beliefert seitdem wieder den Metallurgiekomplex der JSC „Industrial Corporation“ Yuzhpolimetall in Kasachstan (s. Kasachstan).

Neben Gängen am Adrasman Baši und Dželtimas finden sich Bismut reiche Quarzgänge auch bei Sary-Kurgan, Maraz-Bulak, am Kok-Terek und vielen anderen Orten. BANSE et al. (1964) nennen zudem zahlreiche weitere, wirtschaftlich aber nicht relevante Bismutvorkommen im Kuraminskij-Gebirge.

Heute werden im Adrasman Revier des Asht Distrikts noch folgende Lagerstätten ausgehalten:

- Tary-Ekan (Blei-Silber-Bismut) mit 1,228 Mio. t Erz @ 0,20 % Bi = 2.460 t Bi-Inhalt (A + B + C1) sowie 216.000 t Erz @ 2,17 % (?) Bi = 4.700 t (?) Bi-Inhalt (C2).
- Adrasman (Bismut) mit 157.700 t Erz @ 0,43 % Bi = 675 t Bi-Inhalt (A + B + C1) sowie 76.600 t Erz @ 0,43 % Bi = 330 t Bi-Inhalt (C2)
- Almadon (Bismut-Silber-Gold) mit 140.000 t Erz @ 0,21 % Bi = 290 t Bi-Inhalt (C2)
- Kaptarkhana (Bismut-Silber-Gold) mit 75.000 t Erz @ 0,15 % Bi = 110 t Bi-Inhalt (A + B + C1) sowie 70.000 t Erz @ 0,10 % Bi = 70 t Bi-Inhalt (C2)
- Dželtimas (Bismut-Silber-Gold) mit 12.700 t Erz @ 0,30 % Bi = 40 t Bi-Inhalt (A + B + C1)

Im südwestlich angrenzenden Distrikt Bobojon Ghafurov liegen die Lagerstätten:

- Chokadambulak (Shokhkadambulakskoye) (Eisen-Bismut-Silber) mit 764.000 t Erz @ 0,14 % Bi = 1.067 t Bi-Inhalt (C1) + 357.000 t Bismuterz @ 0,12 % Bi = 422 t Bi-Inhalt (C2). Das Ausbringen von Bismut in Aufbereitungstests lag bei 97,7 %.
- Dzuzhum (Kupfer-Bismut-Silber) mit 144.700 t Erz @ 0,29 % Bi = 420 t Bi-Inhalt (C2)

- Almali (Bismut-Gold-Silber) mit 43.200 t Erz @ 0,35 % Bi = 150 t Bi-Inhalt (C1) sowie 59.500 t Erz @ 0,35 % Bi = 210 t Bi-Inhalt (C2)

Außerhalb des Adrasman Reviers, im Panjakent Distrikt, ganz im Westen der Sughd Provinz bzw. Tadschikistans, liegen noch die Arsen-(Bismut-Silber-Gold-)Ganglagerstätte Chukurak mit Vorräten von 6.759 t Erz @ 0,32 % Bi = 20 t Bi-Inhalt (C1) sowie die Silber-Blei-Zink-Zinn-Gold-Lagerstätte Mirkhant mit C1-Vorräten von 1,414 Mio. t Erz @ 100 ppm Bi = 174 t Bi-Inhalt und C2-Vorräten von 4,263 Mio. t Erz @ 200 ppm Bi = 641 t Bi-Inhalt.

Unbedingt erwähnenswert ist auch noch die Bleierzproduktion aus den Skarnerzen der Altyn-Topkan (@ 56 ppm Bi im Erz) und Paybulak (@ 140 ppm Bi im Erz) Lagerstätten ebenfalls in der Sughd Provinz. Diese beiden Lagerstätten gingen 1954 in Produktion und lieferten bis 1997 Blei-Zinkerzkonzentrate, die bis ins Jahr 2000 durch das usbekische Almalyk Bergbau- und Aufbereitungsunternehmen in Usbekistan (s. Usbekistan) auch auf Bismut, Cadmium, Indium, Silber u. a. Wertmetalle hin weiterverarbeitet wurden. Nach zehnjähriger Abbauunterbrechung ersteigerte das Unternehmen China Global New Technology Export and Import Ltd. im Jahr 2007 die Abbaurechte und ging 2009 als tadschikisch-chinesisches JV Zarnisor wieder in Produktion. Derzeit werden jährlich 1,3 Mio. t Erz (@ ca. 100 t Bi-Inhalt) abgebaut, die zu Blei-, Zink- und Kupfererzkonzentraten aufbereitet (2013: 23.600 t Blei-,

39.500 t Zink- und 2.200 t Kupfererzkonzentrat) und dann nach China, Russland und Kasachstan exportiert werden. Der Aufbau einer eigenen Verarbeitungs-kompetenz in Tadschikistan ist langfristig geplant.

Der Bismutinhalt der in Tadschikistan geförderten Erze ist unbekannt, wurde jedoch vom BGS – wohl nur für den Adrasman Aufbereitungskomplex – im Jahr 1992 auf 20 t und dann abnehmend bis 1996 auf 5 t Bi-Inhalt geschätzt.

#### Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.

ORIFOV, A.O. & DZHANOBILOV, M.D. (2001): Stand und Perspektiven zur Entwicklung der tadschikischen Lagerstätten (in Russisch). – Gornyy Zhurnal, **10**: 117-122; Moskau.



## Uganda



Bismut, vornehmlich in Form von Bismutit, findet sich in Lagerstätten in den dicht bewaldeten, schwer erreichbaren Bergen im äußersten Südwesten von Uganda im und in der Nähe des UNSECO-Weltkulturerbes Bwindi Impenetrable National Park. Bismutit wurde bisher in den Vorkommen in Rwanzu, Kitawulira und Kitwa im Kisoro Distrikt, Kitahulira im Kabale Distrikt sowie Muramba, Kyambeya und Rwenkuba im Kanungu Distrikt nachgewiesen. Vor allem das limonitische Bismutvorkommen von Rwanzu stand bereits im Abbau. In den anderen Vorkommen in Uganda tritt Bismutit meist in stark oxidierten, eisenschüssigen Gängen und Körpern zusammen mit geringen Anteilen von gediegen Bismut, Gold, Wolframit, Cassiterit und anderen Erzmineralen auf.

Zwei verschiedene Hauptertypen sind bekannt (PARGETER 1953):

- Pegmatitische Gänge bei Muramba, Kyambeya und Rwenkuba im Kanungu Distrikt
- Hypothermale Gänge bei Rwanzu, Kitawulira/Hamabari und Kitwa im Kisoro Distrikt.

In Rwanzu ist Bismutit unregelmäßig in Taschen, Knollen und dünnen Überzügen vor allem nahe des Liegenden des 150 m langen und bis zu 60 cm breiten Ganges verbreitet. Das Mineral findet sich aber auch in den Beryll-Columbit-Tantalit-Pegmatiten von Kihand und Kinkizi sowie in den Zinn-Wolfram-Gängen nahe Rwaminyinya im Kisoro Distrikt. Aus keiner dieser Lagerstätten sind die Bismutreserven bekannt.

Bismutit wurde bisher fast ausschließlich im Kleinbergbau gewonnen bzw. händisch ausgelesen. Der Hauptproduktionszeitraum lag in den 1950er Jahren mit Gewinnung durch Itama Mines Ltd. bzw. in den Nyahashunze und Marambi Bergwerken, ganz im Südwesten von Uganda. Während Bismutit neben Gold eines der Hauptprodukte von Itama Mines Ltd. war, fiel es in den anderen Abbaustellen als Beiprodukt der Cassiteritzaufbereitung an. Zwischen 1948 und 1960 wurde Erz mit 48,1 t Bi-Inhalt, größtenteils nach England, exportiert (NAGUDI 2011).

Ein weiterer Produktionszeitraum lag nach Angaben des ehemaligen US Bureau of Mines in den 1970er Jahren und endete 1979. In diesen Jahren wurden in Uganda jährlich Konzentrate mit bis zu 5 t Bi-Inhalt, insgesamt mit rund 30 t Bi-Inhalt ausgebracht.

### Literatur

NAGUDI, B. (2011): Status of geological resources in Uganda. – Report for the Embassy of the Republic of Korea in Uganda: 34 S., 1 Anh.; o. O.

PARGETER, R. C. (1953): Bismuth in Uganda. – Records of the Geological Survey Department Uganda, 1951 & 1952: 16 – 24; o. O.



## Usbekistan



Ähnlich Tadschikistan verfügt auch das benachbarte Usbekistan über eigene, einst bedeutende Bismutvorkommen. Am bekanntesten ist die inzwischen allerdings ausgeerzte Arsen-Bismut-Lagerstätte Ustarasay am Koku, einem rechten Nebenfluss des Taschatkal.

In Ustarasay standen in den 1970er Jahren meist steil einfallende Quarz-Bismut-Erzgänge mit Arsenopyrit, Pyrit, Magnetit, Bismuthinit und Ustarasit ( $\text{Pb}(\text{Bi},\text{Sb})_6\text{S}_{10}$ ) sowie Sphalerit, Chalcopyrit, gediegen Bismut und Cobalit ( $\text{Pb}_{11}(\text{Cu},\text{Fe})_2(\text{Bi},\text{Sb})_{15}\text{S}_{35}$ ), aber auch noch vielen anderen Erzmineralen in Abbau (BANSE et al. 1964). Produktionsdaten sind nicht bekannt. Abnehmer der Bismuterzkonzentrate war die Bleihütte Schymkent der heutigen OAO „Industrial Corporation“ Yuzhpolimetall in Südkasachstan (s. Kasachstan).

Ausgebracht wurde und wird Bismut dagegen von der OAO 'Almalyk Mining-Metallurgical Complex' (OAO Almalyk MMC), einem seit 1951 in der Region Tashkent tätigen Bergbau- und Aufbereitungsunternehmen. Almalyk unterstehen derzeit drei Tagebaue, vier Untertagebergwerke, fünf Aufbereitungsanlagen, eine Kupfer- und eine Zinkhütte sowie diverse Zulieferfirmen. Neben rund 31 Mio. tpa Primärerz – u. a. aus der Gold-Silber-(Kupfer-

Bismut-Selen-Tellur-) Lagerstätte Kochbulak – bereitet Almalyk alte Aufbereitungsabgänge jeder Art auf. In den Schlacken der Kupferhütte reichern sich Edelmetalle und Bismut an, die dann in einer angeschlossenen Edelmetallraffinerie weiter aufbereitet werden. Zu den in metallischer oder auch in Form von Zwischenprodukten ausgebrachten Metalle des Unternehmens zählen Kupfer, Zink, Cadmium, Selen, Tellur, Gold, Silber, Rhenium, Kobalt, Molybdän, Bismut, Indium und andere.

Die Bismutproduktion Usbekistans bzw. des OAO Almalyk MMC ist unbekannt, wurde jedoch vom BGS zu Beginn der 1990er Jahre auf Produkte mit 10 – 15 t Bi-Inhalt jährlich geschätzt.

### Literatur

BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDBERGER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.



## Vereinigte Staaten von Amerika



Schon seit dem Jahr 1906 wurde in den USA Rohbismut überwiegend als Nebenprodukt der Verhüttung bzw. Raffinade im Inland abgebaut und importierter Erze gewonnen. Bereits seit 1927 werden keine Produktionszahlen mehr veröffentlicht, im Jahr 1997 wurde die inländische Raffinadeproduktion von Bismut aus Primärerzen eingestellt.

Heimische Erze, aus denen Bismut als Nebenprodukt gewonnen wurde, stammten aus Revieren mit Kupfer-, Blei-Silber- und Blei-Zink-Lagerstätten vor allem im Westen der USA (Arizona, Colorado, Idaho, Montana, Utah, New Mexico, Nevada). Wichtig für die Bismutgewinnung waren zuletzt besonders Bleierzkonzentrate und die Filterstäube aus der Kupfererzverhüttung. Entsprechende Erze aus den östlichen Bundesstaaten (Virginia, Missouri) waren dagegen arm bis sehr arm an Bismut. Weniger wichtig für die Gewinnung von Bismut waren auch die großen Goldlagerstätten der USA, z. B. in Alaska, Idaho, Montana und Nevada. Nähere lagerstättengeologische Informationen zu den Bismutvorkommen in den verschiedenen Bundesstaaten sind bei BANSE et al. (1964) zu finden.

Bis 1972 produzierten in den USA Raffinerien von ASARCO Inc. (bis 1975: American Smelting & Refining Co.) in Omaha, NB und von UV Industries, Inc. in East Chicago, IN. Letztere recycelte nach Schließung ihrer Primärerzhütte in Tooele, UT, bis 1973 auch Bismutschrotte und -abfälle. Geringe Mengen an metallischem Bismut wurden zudem aus Sekundärmaterialien durch die United Refining & Smelting Co. in Franklin Park, IL, gewonnen. In den 1980er Jahren stiegen dann weitere Recyclingfirmen (z. B. Metal Specialities Inc. in Fairfield, CN, Atomergic Chemetals Corp in San Diego, CA, Ney Smelting & Refining Co., Inc. in Brooklyn, NY und Precise Alloys Inc. in Westbury, NY) in die Rückgewinnung von Bismut aus Schrotten und Abfällen, besonders von Schmelzlegierungen, ein.

Ende der 1970er Jahre lag die Kapazität der Argo Hütte von ASARCO in Omaha bei 300 t Bismut, Ende der 1980er Jahre bei 500 t Bismut.

Bis Anfang der 1990er Jahre war die Produktion auf durchschnittlich 100 tpa gefallen, soll aber zwischen 1992 und 1995 auf der Basis von eingelagerten Blei-Bismut-Barren wieder hochgefahren worden sein. Im Juni 1997 wurde die Bismutproduktion eingestellt und die Hütte geschlossen, um der kostspieligen Umsetzung strengerer Umweltschutzaufgaben zu entgehen. Im November 1997 wurden zudem die letzten Bismutvorräte aus dem National Defense Stockpile verkauft, so dass die USA seit diesem Jahr bei Primärbismut vollständig auf Importe angewiesen ist.

Die aus Recycling stammende Menge von Sekundärbismut in den USA ist stabil und wird vom USGS seit mehreren Jahren auf 80 t Bi-Inhalt/a geschätzt. Bekannte Recyclingfirmen von Bismutschrotten und -abfällen in den USA sind:

- Atlantic Metals & Alloys, LLC in Stratford, CT, gegr. 1983. Diese Firma produziert metallisches Bismut, Bismutlegierungen, Bismutsalze, Bismutnitrat und Bismutoxid
- Titan Scrap Alloy Processing & Recycling in Highland Park, IL, gegr. 1982

Die letzte Bleihütte der USA, die Hütte von The Doe Run Company (vgl. Peru) bei Herculaneum, MO, wurde zum 31.12.2013 geschlossen. Die dortige Raffinerie und Weiterverarbeitungsanlagen bleiben jedoch noch geöffnet.

In den USA werden zudem noch drei Kupferhütten betrieben:

- Hayden in Arizona, eine Kupferhütte der ASARCO LLC, seit 2009 ein Tochterunternehmen der Grupo México (vgl. Mexiko). ASARCO betreibt in Arizona die drei Kupfertagebaue Mission, Silver Bell und Ray, bereitet das Erz in Mission und Ray zu Kupfererzkonzentraten auf, verhüttet diese Konzentrate in Hayden und raffiniert die dort produzierten Kupferanoden in ihrer Raffinerie in Amarillo, TX. Neben Kupfer in all seinen Handelsformen gewinnt ASARCO in Amarillo auch Gold, Silber, Tellur, Nickel und Selen bzw. Bismutselenid ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ), das wiederum

- in Kupfer-Zink-Zinn-Messinglegierungen mit 0,5 – 2,2 % Bi Verwendung findet, die unter dem Handelsnamen EnviroBrass® für die Fertigung von Armaturen und Trinkwassersystemen vermarktet werden.
- Miami in Claypool, AZ, eine Kupferhütte von Freeport-McMoRan Corp. Diese Hütte versorgt sich aus den großen Porphyry Copper-Tagebauen von Freeport-McMoRan in Arizona (Morenci, Safford, Sierrita, Bagdad und Miami) sowie New Mexico (Chino und Tyrone) und verarbeitet auch Kupferschrotte. Früher wurden die bei der Kupferraffinade in Claypool anfallenden arsen- und bismuthaltigen Filterstäube durch die ASARCO-Tochterfirma Encycle in Corpus Christi, TX, aufbereitet und alle Wertmetalle separiert. Dieser Standort wurde jedoch im Jahr 2002 geschlossen und wird seitdem saniert. Die derzeitige Verwertung der in Miami weiterhin anfallenden Filterstäube ist unklar. Auch sind weder die Bismutgehalte in den Kupfererzen von ASARCO oder Freeport-McMoRan noch die Höhe der Bismutproduktion dieser beiden Unternehmen bekannt.
  - Magna nahe Salt Lake City in Utah, eine Hütte von Kennecott Utah Copper LLC, einer Tochterfirma von Rio Tinto plc. Kennecott Utah Copper gewinnt porphyrische Kupfererze aus dem größten Tagebau der Erde, der Bingham Canyon Mine, und produziert in der angeschlossenen Garfield Hütte bzw. Raffinerie neben Kupfer, auch große Mengen Molybdän, Gold und Silber sowie untergeordnet Blei, Platin und Palladium. Die aus dem Bingham-Erzen aufbereiteten Kupfererzkonzentrate enthalten durchschnittlich 200 ppm Bi, die in der Hütte erzeugten

Kupferanoden 430 ppm Bi – ein im weltweiten Vergleich sehr hoher Wert. Das in den Filterstäuben in der Raffinerie anfallende Bismut wird jedoch von Kennecott Utah Copper nicht als Wertmetall betrachtet, sondern mit Gips versetzt und in den Schlammteichen deponiert. Aus den publizierten Produktionsdaten lässt sich errechnen, dass das im Jahr 2014 (aufgrund eines Erdbebens im Jahr 2013 ein Jahr mit sehr geringer Produktion) in Bingham Canyon gewonnene Erz rund 150 t Bismut enthielt.

Aufgrund der wenigen heimischen Produzenten wurde die US-amerikanische Raffinadeproduktion von Bismut von den US-amerikanischen Behörden nach 1927 nicht mehr veröffentlicht, sondern bis 1975 nur noch die prozentualen Veränderungen publiziert. In ROSKILL (1976) wurde über mehrere Textseiten versucht, aus anderen zugänglichen Informationen und Schätzungen die US-amerikanische Produktion von Bismut und den heimischen Bergwerksanteil daran dennoch abzuleiten (s. Tab. 32). In ROSKILL (1990) wurde dieser Versuch wieder aufgegeben und man schätzte die US-Raffinadeproduktion auf irgendeinen Wert zwischen 100 und 400 t.

Nach einer Einzelmeldung verbrauchten die USA im Jahr 1993 1.324 t Bismut, von denen 1.215 t importiert wurden. Im gleichen Jahr wurden 0 t aus dem National Defense Stockpile veräußert, aber 70 t Bismut und Bismutprodukte exportiert, d. h. rund 179 t Bismut wurden produziert bzw. stammten aus nicht-staatlichen Vorratslagern.

**Tabelle 32: Schätzung der Raffinadeproduktion von Bismut (in t) in den USA zwischen 1970 und 1975 durch ROSKILL (1976).**

Jahr	aus heimischem Erz	aus importiertem Erz	USA-gesamt
1970	32 %	68 %	570
1971	40 %	60 %	480
1972	33 %	67 %	490
1973	34 %	66 %	440
1974	32 %	68 %	380
1975	34 %	66 %	380



## Literatur

- BANSE, H., RIENEMANN-KÜSPERT, E., CZACK, G., ENGST, H., FLACHSBART, I., GOLDBERGER, H., KIRCHBERG, E., KIRSCHSTEIN, G., KLAAR, M.-L., KOEBER, K., LEITNER, I., v. LINDEINER-SCHÖN, E., MÜLLER, W., PIETSCH-WILCKE, G., POLUTOFF, N., RIEGER, H., RUMPF, K., SCHAFFERNICHT, W., SCHUBERT, P., SEUFERLING, F. & WENDT, H. (1964): Wismut. Ergänzungsband. – Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: LVIII + 866 S., 212 Abb., Heidelberg.
- PERSSE, F. H. (1970): Bismuth in the United States. – USBM Inf. Circ., **8439**: 26 S., 7 Abb., 9 Tab.; Washington, D.C.
- ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1976): The economics of bismuth, Fourth Edition 1976. – 113 S., 70 Tab.; 4 Anh.; London.
- ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (1990): The economics of bismuth, Eighth Edition 1990 – 194 S., 3 Abb., 105 Tab.; 3 Anh.; London.



## Vietnam



In Vietnam gibt es bisher keine Bismut produzierenden Firmen, doch verfügt das Land über eine der größten bekannten Bismutlagerstätten der Erde.

Die Nui Phao Greisenlagerstätte liegt im Dai Tu Distrikt der Thai Nguyen Provinz, rund 80 Straßenkilometer nordwestlich von Hanoi und erstreckt sich über 9,2 km<sup>2</sup> Fläche. Der durch den Lizenzinhaber Masan Resources Thai Nguyen Corporation im Jahr 2013 eröffnete Nui Phao Tagebau ist infrastrukturell gut gelegen und über eine Straße an den Highway 37 angeschlossen. In der Nähe befindet sich zudem eine Schmalspurbahn, die eine Verbindung zum Vinarail-Schienennetz hat. Der Hai Phong Hafen und der neue Cai Lan Hafen

in der Provinz Quang Ninh liegen 180 km bzw. 240 km entfernt.

Die Ressourcen nach JORC („Measured & Indicated“) der Polymetallagerstätte Nui Phao wurden auf 65,01 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,20 % WO<sub>3</sub>, 8,40 % CaF<sub>2</sub>, 0,09 % Bi (= 58.500 t Bi-Inhalt), 0,19 % Cu und 0,20 ppm Au berechnet. Die darin enthaltenen Reserven betragen 52,54 Mio. t Erz @ 0,21 % WO<sub>3</sub>, 8,0 % CaF<sub>2</sub>, 0,10 % Bi (= 52.540 t Bi-Inhalt), 0,22 % Cu, 240 ppm Sn und 0,22 ppm Au.

Wenn einmal in voller Produktion – der Aufbau der Anlagen läuft, die Bismutproduktion startete im Herbst 2014 – soll Nui Phao über 16 Jahre aus



**Abbildung 29:** Blick auf Tagebau und entstehende Aufbereitungsanlage von Nui Phao im Herbst 2013, Foto: BGR.

jährlich 3,5 Mio. t Erz Konzentrate mit rund 4.700 t  $WO_3$ -Inhalt bzw. 214.000 t  $CaF_2$ -Inhalt bzw. 2.300 t Bi-Inhalt bzw. 5.500 t Cu-Inhalt und 2.300 oz Au-Inhalt liefern. Für die Abnahme der Konzentrate bestehen verschiedene Off-Take Agreements,

darunter mit 5N Plus Inc. für die Abnahme der Bismutmineralkonzentrate (Raffination in einer neuen Anlage in Laos hat Ende 2014 begonnen) und mit H. C. Starck für die Produktion von Wolframchemikalien.

# Anhang

---

## Indikatoren und Risikobewertung





## Indikatoren und Risikobewertung für Bismut

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2014)	Bewertung			
		unkritisch	mäßig	bedenklich	
<b>Angebot- und Nachfragetrends</b>					
<p><b>Recyclingrate (EOL-RR):</b></p> <p>End of life recycling rate der UNEP: Quotient aus der Menge der zum Recycling eingesammelten Abfälle und der Gesamtmenge an anfallenden Abfallstoffen.</p> <p><i>Bewertungsskala:</i>                      &lt; 10 % = <i>bedenklich</i>                      10 % – 50 % = <i>mäßig</i>                      &gt; 50 % = <i>unkritisch</i></p>	<p>End-of-Life-Recyclingrate  <b>EOL-RR &lt; 1 %</b></p>	<p>EOL-RR &lt; 1 %</p>			
<p><b>Länderkonzentration der Produktion (HHI):</b></p> <p>Summe der quadrierten Anteile an der Raffinadeproduktion</p>	<p>Raffinadeproduktion:  <b>HHI = 7.218</b></p>	<p>Raffinadeproduktion HHI = 7.218</p>			
<p><b>Gewichtetes Länderrisiko der Produktion (GLR):</b></p> <p>Summe der Anteile der Raffinadepkapazität multipliziert mit dem Länderrisiko von 2013</p>	<p>Raffinadeproduktion:  <b>GLR = -0,36</b></p>	<p>Raffinadeproduktion GLR = -0,36</p>			
<p><i>Bewertungsskala HHI:</i>                      10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i>                      2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i>                      &lt; 1.500 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Raffinadepkapazität:  <b>HHI = 4.976</b></p>	<p>Raffinadepkapazität HHI = 4.976</p>			
<p><i>Bewertungsskala GLR:</i>                      -2,5 – -0,5 = <i>bedenklich</i>                      -0,5 – 0,5 = <i>mäßig</i>                      0,5 – 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Raffinadepkapazität:  <b>GLR = -0,26</b></p>	<p>Raffinadepkapazität GLR = -0,26</p>			

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2014)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
<b>Geopolitische Risiken und Marktmacht</b>				
<p><b>Länderkonzentration der globalen Nettoexporte (HHI):</b> Summe der quadrierten Anteile der Exportländer</p> <p><b>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</b> Summe der Anteile der Exporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Exportländer im Jahr 2013</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i> &lt; 1.500 = <i>unkritisch</i></p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> –2,5 – –0,5 = <i>bedenklich</i> –0,5 – 0,5 = <i>mäßig</i> 0,5 – 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Bismut und Waren daraus: <b>HHI = 4.582</b></p> <p>Bismut und Waren daraus: <b>GLR = –0,02</b></p>	<p>Bismut und Waren daraus <b>HHI = 4.582</b></p> <p>Bismut und Waren daraus <b>GLR = –0,02</b></p>		
<p><b>Diversifizierung der Importe Deutschlands (HHI):</b> Summe der quadrierten Anteile der deutschen Importe.</p> <p><b>Gewichtetes Länderrisiko der Importe Deutschlands (GLR):</b> Summe der Anteile der Importe multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer im Jahr 2013.</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i> &lt; 1.500 = <i>unkritisch</i></p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> –2,5 – –0,5 = <i>bedenklich</i> –0,5 – 0,5 = <i>mäßig</i> 0,5 – 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Bismut und Waren daraus: <b>HHI = 5.535</b></p> <p>Bismut und Waren daraus: <b>GLR = 0,86</b></p>	<p>Bismut und Waren daraus <b>HHI = 5.535</b></p> <p>Bismut und Waren daraus <b>GLR = 0,86</b></p>		

Indikator	Ergebnisse (Datenbasis 2014)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
<b>Angebot- und Nachfragetrends</b>				
<p><b>Firmenkonzentration (HHI):</b> Summe der quadratischen Anteile der Raffinadekapazität einzelner Firmen.</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i> &lt; 1.500 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Raffinerien – Kapazität: <b>HHI = 773</b></p>	<p>Raffinerien HHI = 773</p>		
<p><b>Derzeitige Marktdeckung (Md):</b></p> <p>Quotient aus Nachfrage zu Angebot. Md gibt den Anteil von Angebotsüberschuss oder -defizit in Prozent an.</p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> -2,5 – -0,5 = <i>bedenklich</i> -0,5 – 0,5 = <i>mäßig</i> 0,5 – 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Derzeitige Marktdeckung: <b>Md = 41 %</b></p>	<p>Md = +41 %</p>		
<p><b>Zukünftige Marktdeckung (Mz) bis 2020:</b></p> <p>Quotient aus einer angenommenen Nachfrage zu einem angenommenen Angebot im Jahr 202. Mz gibt den Anteil von Angebotsüberschuss oder -defizit in Prozent an.</p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> -2,5 – -0,5 = <i>bedenklich</i> -0,5 – 0,5 = <i>mäßig</i> 0,5 – 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p><b>Mz = keine Angaben möglich</b></p>			

## Glossar

<b>Diversifizierung der Importe</b>	Die Diversifizierung der Importe errechnet sich mithilfe des HHI, wobei die mengenmäßigen Anteilswerte am Import auf Länderebene herangezogen werden.
<b>Firmenkonzentration</b>	Die Firmenkonzentration wird mithilfe des HHI berechnet, wobei Anteilswerte der Bergbaufirmen und der Raffinerien an der weltweiten Gesamtproduktion herangezogen werden.
<b>Gewichtetes Länderrisiko</b>	Das gewichtete Länderrisiko (GLR) errechnet sich aus der Summe der Anteilswerte der Länder an der Produktion, dem Nettoexport oder dem deutschen Import, multipliziert mit dem Länderrisiko (LR). Das gewichtete Länderrisiko liegt in einem Intervall zwischen +2,5 und –2,5. Bei Werten über 0,5 wird das Risiko als niedrig eingestuft, bei Werten zwischen +0,5 und –0,5 liegt ein mäßiges Risiko vor und Werte unter –0,5 gelten als kritisch.
<b>GHT</b>	Gewichtsprozent
<b>Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)</b>	Der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) ist eine Kennzahl, die die unternehmerische Konzentration in einem Markt angibt. Sie wird durch das Summieren der quadrierten Marktanteile aller Wettbewerber errechnet. Die Bewertungsskala für den HHI richtet sich nach den Vorgaben des U.S. Department of Justice und der Federal State Commission, die einen Markt bei einem HHI unter 1.500 als gering und zwischen 1.500 und 2.500 Punkten als mäßig konzentriert definieren. Bei einem Indexwert über 2.500 gilt ein Markt als hoch konzentriert.
<b>Länderkonzentration</b>	Die Länderkonzentration wird mithilfe des HHI berechnet, wobei jahresbezogene Anteilswerte der Bergwerksförderung, der Raffinadeproduktion oder der weltweiten Nettoexporte auf Länderebene herangezogen werden.
<b>Länderrisiko</b>	Das Länderrisiko (LR) ergibt sich aus dem Mittelwert der sechs „Worldwide Governance Indicators“ der Weltbank, die jährlich die Regierungsführung von über 200 Staaten weltweit bewertet. Gemessen werden (1) Mitspracherecht und Rechenschaftspflicht, (2) politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt, (3) Leistungsfähigkeit der Regierung, (4) Regulierungsqualität, (5) Rechtsstaatlichkeit und (6) Korruptionsbekämpfung.
<b>Lebensdauer-kennziffer</b>	Die Lebensdauer-kennziffer ergibt sich aus dem Quotienten der derzeitigen Reserven und der aktuellen Weltbergwerksförderung. Die Lebensdauer-kennziffer (statische Reichweite) gibt einen Hinweis auf den Stand der Exploration und das Maß, in welchem zukünftig Explorationsaktivitäten notwendig sind. Die Kennziffer sagt nichts über den Erschöpfungszeitpunkt eines Rohstoffes aus.
<b>Marktdeckung</b>	Die Marktdeckung ergibt sich aus dem Quotienten der Nachfrage (Raffinadeverbrauch) und des Angebots (Raffinadeproduktion).
<b>Raffinadeproduktion</b>	Summe aus primärer und sekundärer Raffinadeproduktion. Primäre Raffinade: Produktion von Raffinademetall aus Erzen und Konzentraten der Bergwerksförderung. Sekundäre Raffinade: Produktion von Raffinademetall aus recycelten Materialien (Abfälle, Schrott, Aschen und Rückstände).
<b>Raffinadeverbrauch</b>	Summe aus der Raffinadeproduktion und der Differenz aus Raffinadeimport und Raffinadeexport zuzüglich der Veränderung der Lagerbestände von Jahresbeginn bis -ende.
<b>Recyclingrate (EOL-RR)</b>	Die End-of-Life-Recyclingrate (EOL-RR) ist der Quotient aus der Menge des dem Recycling zugeführten Altschrotts eines Rohstoffs und der Gesamtmenge des theoretisch in den End-of-Life-Produkten angefallenen Rohstoffs.

<b>Reserven und Ressourcen</b>	Reserven sind die zu heutigen Preisen und mit heutiger Technik wirtschaftlich gewinnbaren Rohstoffmengen. Ressourcen sind nachgewiesene, aber derzeit technisch-wirtschaftlich und/oder wirtschaftlich nicht gewinnbare sowie nicht nachgewiesene, aber geologisch mögliche, künftig gewinnbare Rohstoffmengen.
<b>t Inh.</b>	Angabe des Metallinhalts in Tonnen
<b>Wachstumsraten CAGR</b>	Wachstumsraten basieren auf der jährlichen durchschnittlichen Wachstumsrate (engl.: Compound Annual Growth Rate, CAGR). Diese stellt den durchschnittlichen Prozentsatz dar, um den der Anfangswert einer Zeitreihe auf hypothetische Folgewerte für die Berichtsjahre wächst, bis der tatsächliche Endwert der Zeitreihe erreicht ist. Tatsächliche Ausschläge der Folgejahre in der Zwischenzeit wirken sich dabei nicht aus.
<b>Zukünftige Marktdeckung</b>	Die zukünftige Marktdeckung ergibt sich aus dem Quotienten der zukünftigen Nachfrage und des zukünftigen Angebots. Für das zukünftige Angebot sowie die zukünftige Nachfrage werden jeweils zwei Szenarien erstellt. Das zukünftige Angebot errechnet sich aus der Summe der derzeitigen Bergwerksförderung und einer zusätzlichen Jahresförderkapazität aus neuen Bergbauprojekten.







**Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**

Wilhelmstraße 25–30  
13593 Berlin  
Germany  
Tel.: +49 30 36993 226  
Fax: +49 30 36993 100  
dera@bgr.de  
www.deutsche-rohstoffagentur.de

ISBN: 978-3-943566-23-9 (Druckversion)  
ISBN: 978-3-943566-24-6 (Onlineversion)  
ISSN: 2193-5319