

NACHRICHTEN
DER AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU GÖTTINGEN
NEUE FOLGE

Gold und Silber

Von

Hans Wedepohl

Veröffentlichungsdatum: 07.03.2014
Klasse: Mathematisch-Physikalische Klasse



Gold und Silber

Karl Hans Wedepohl

13. Mai 2013

Seit 1886 wird in der Nachbarschaft von Johannesburg in Südafrika eine sehr große Goldlagerstätte aus mehr als 2 Milliarden Jahren alten Kiesablagerungen des Witwatersrandes abgebaut. Dieses riesige Goldlager liefert heute noch 20% der Weltproduktion des Edelmetalls (wurde 2007 von China als weltweit größtem Goldproduzenten abgelöst). Südafrika hat in hundert Jahren etwa ein Drittel des weltweit zu allen Zeiten gewonnenen Goldes gefördert. Das Gewicht der während der gesamten Geschichte des Goldes genutzten Menge beträgt 164,000 t, die in einem Würfel mit 25 m Kantenlänge unterzubringen sind. Nach meiner Grubenfahrt bis in die heiße Tiefe von 2000 m auf Durban Roodport Deeps, einem der dortigen 50 Bergwerke, sagte mir der begleitende Ingenieur, dass er während seiner langen Tätigkeit noch nie ein Goldkorn im Gestein seiner Grube gesehen habe. Ich sollte mich nicht durch die vielen relativ großen Flecken von messinggelbem Schwefelkies (Pyrit) neben den Quarzgeröllen täuschen lassen. Prüfen wir seine Aussage. Das zur Aufbereitung kommende Fördergut enthält 4 Gramm Gold in der Tonne Gestein. Bei einem spezifischen Gewicht von 19 g/ccm haben die 4 g ein Volumen von rund 200 mm³. Nun ist die Goldmenge aber nicht auf ein, sondern sehr wahrscheinlich auf mehr als tausend Körner in der Tonne Gestein verteilt und kann somit nur weniger als ein Fünftel eines Kubikmillimeters groß sein.

Der dauerhaft gelbe Glanz des Goldes hat die Menschen während der letzten fünftausend Jahre ihrer Geschichte immer wieder fasziniert. Er beruht auf der geringen Neigung dieses Metalls zur Verwitterung. Gold ist selten, denn in einer Tonne Gestein der Erdkruste, wie man die dünne Haut unseres Planeten nennt, kommen nur 2.5 mg Gold vor. Das ist weniger als ein tausendstel der Konzentration im Erz des Witwatersrandes. Noch hundertmal niedriger ist die Goldkonzentration im Meerwasser. Ein Fehler in der Analyse von Meerwasser veranlasste Fritz Haber, damaliger Direktor des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Physikalische Chemie in Berlin, vorzuschlagen, das Gold für Reparationen nach dem ersten Weltkrieg aus dem Meerwasser zu gewinnen.

Der niedrige Goldgehalt selbst der abbauwürdigen Gesteine macht es notwendig, riesige Volumina dieses Materials aufzuarbeiten. Der Fluggast sieht die entsprechend großen Bergbau-Halden vor seiner Landung in Johannesburg. Trotz der Trägheit des Goldes zu chemischen Reaktionen fanden sich Methoden, die Metallgehalte aus dem Gestein herauszulösen. Schon früh verwendete man hierzu Quecksilber, seit 1843 das noch giftigere Zyan.

Bereits im Chalkolithikum vor fast 7000 Jahren hatten technisch begabte Bewohner der Region an der bulgarischen Schwarzmeerküste begonnen, Kupfer und Gold zu verarbeiten und legten ihren ranghöchsten Toten wertvolle Beigaben in die Gräber. Das reichste Grab in der Nähe von Varna enthielt mehr als tausend Ringe, Perlen und anderen Goldschmuck im Gewicht von 1.5 kg. Der Balkan bot mit seinen kupfer- und goldreichen Provinzen von Siebenbürgen, Thrakien, Ostserbien und Mazedonien die materielle Grundlage zu den metallurgischen Innovationen¹. Dadurch war dieses Gebiet in der Gewinnung und Verarbeitung von Gold selbst den nahöstlichen Regionen voraus, in denen sich die Hochkulturen Mesopotamiens und Ägyptens im vierten und dritten Jahrtausend vor Christi Geburt herausbildeten. Diese verfügten nur an ihren Rändern über Gold-Lagerstätten. Eine

Weltkarte der wichtigsten Goldlagerstätten und deren geologische Charakterisierung liefern R. Herrington, C. Stanley und R. Symes (1999) aus dem Museum of Natural History in London².

Die Erfahrung hat in jüngst kolonisierten Gebieten mit goldreichen Gesteinen gezeigt, dass hier "Goldklumpen" in Form der sogenannten Nuggets direkt auf dem Boden liegen können. Dort lohnt es sich, in Holz- oder Metallschüsseln Sande und Kiese aus dem Bett der Bäche und Flüsse aufzuarbeiten. In diesen Schüsseln setzten sich die spezifisch schweren Goldfitter am Boden ab, wenn man die wesentlich leichteren Quarzkörner mit dem rotierend bewegtem Wasser fortspült. Die Kollisionszonen von kontinentaler und ozeanischer Erdkruste am Rand des pazifischen Ozeans sowie ihnen genetisch verwandte Bildungen der älteren Erdgeschichte sind bevorzugte Regionen der Gold-Akkumulation aus Lösungen im heißen Wasser. In den Erzlagerstätten des Goldes muß dieses Metall gegenüber den häufigen Gesteinen mindestens tausendfach angereichert worden sein. Bei Lagerstätten im Gestein spricht man von Berggold und bei Verwitterungs- und Auswaschprodukten in Bächen und Flüssen von Wasch- oder Seifengold.

Die einleitend erwähnten sehr ergiebigen Lagerstätten im südlichen Afrika standen den Pharaonen Ägyptens noch nicht zur Verfügung. Die ägyptischen Kunsthandwerker entwickelten bei der Verarbeitung von Gold in Schmuck, Tempelgeräten, Möbeln und Architekturteilen eine beachtliche Fertigkeit. Dazu fanden ihre Prospektoren Gold-Anreicherungen in den östlichen Randgebieten Ägyptens (Wadi Hammamat und Allaqui), insbesondere auch im südlich angrenzenden Nubien. Im Amuntempel in Karnak ist aufgezeichnet, dass Nubien während der Zeit des Neuen Reiches jährlich mehr als eine Vierteltonne Gold als Tribut zu liefern hatte. Wenn man die asiatischen Tribute und das Aufkommen im eigenen Land dazurechnet, wird die der 18. Dynastie jährlich verfügbare Goldmenge die Größenordnung von einer Tonne erreicht haben. Anders wäre nicht zu verstehen, dass Thutmoses III (1417-1379), ein bedeutender Pharao, dem genannten Amontempel in Karnak während seiner Regierungszeit von 38 Jahren etwa 15 t Gold, also jährlich 0.4 t, für dessen Repräsentationsaufgaben zur Verfügung stellen konnte³. Große Mengen Goldes, das Unsterblichkeit symbolisierte, wurden für den Totenkult des Hofes und der Eliten benötigt. Die Mumie eines so unbedeutenden Pharaos wie Tutanchamun liegt u. a. in einem Goldsarkophag von 110 kg Gewicht und ist mit einer 11 kg schweren Goldmaske bedeckt. Man sagt, dass die ägyptische Nationalbank im Jahre 1922, als Howard Carter das Grab von Tutanchamun öffnete, nicht soviel Gold besaß wie im Grab verarbeitet war.

Bis in diese Zeit dienten Wert und Eigenschaft des Goldes allein dem Kult hochentwickelter antiker Kulturen. Um die Mitte des letzten vorchristlichen Jahrtausends (650 v. Chr.) hatte sich der Warenaustausch und Handel in der damaligen Welt soweit entwickelt, dass er nach einem leicht transportablen wertvollen Tauschmittel verlangte, wie es Edelmetalle z. B. in Form von Münzen darstellten. Wir verbinden mit dieser wichtigen Innovation den Namen des Königs Kroisos von Lydien in Kleinasien. Für die Bezahlung kleiner oder billiger Mengen einer Ware war oft die kleinste Goldmünze zu wertvoll, so dass ein geringeres Zahlungsmittel notwendig wurde, das wie das Silber etwas weniger als ein Zehntel des Goldes kostete. Silber kommt in der Erdkruste nicht wie das Gold in metallischer Form vor. Es ist meist ein Nebenbestandteil des silberglänzenden Minerals Bleiglanz. Man hatte bereits in der Bronzezeit einen technischen Prozess entwickelt, das Silber aus einer Bleischmelze des verhütteten Bleiglanzes abzutrennen. In den Gesteinen der Erdkruste ist das Silber um den Faktor 28 häufiger als Gold.

Der klassische Stadtstaat von Athen sowie das Mazedonische und das Römische Reich verdankten ihre Prosperität dem Zugang zu Edelmetallen. Unweit von Athen gibt es die große Bleilagerstätte von Laurion, aus der die Stadt ihr Silber durch billige Sklavenarbeit gewinnen ließ. C. Patterson hat 1972 aus dem Umfang und der Zusammensetzung der dortigen Schlackenhalde die jährliche Produktion zwischen 650 und 350 v. Chr. auf etwa 4.5 t geschätzt⁴. Im 5. vorchristlichen Jahrhundert war sie wahrscheinlich größer als in der Anfangsphase. Eine vergleichbare Silbermenge produzierte im ausgehenden Mittelalter nur das sächsische Erzgebirge. Die unter Perikles auf der Akropolis gelagerten Silbervorräte von 6000 Talenten entsprachen mehr als 15 Jahresproduktionen Silber aus Laurion. Gold musste Athen aus Kleinasien und Mazedonien importieren. Es hatte auch viel für Getreide zu bezahlen, da die eigene Ernte nicht reichte. Alexander der Große eroberte auf seinen weiten Feldzügen neben dem Gold aus Persepolis und Susa etwa 2200 t Silber. Diese Menge war an der Jahresproduktion von Laurion gemessen sehr groß, so dass die Wirtschaft Griechenlands nach 329 destabilisiert wurde. Rund 150 Jahre später eroberten die Römer noch Reste dieser Schätze.

Relativ zur Bevölkerungszahl von Attika von rund einer Millionen Einwohner wuchs das Römische Reich in der Kaiserzeit auf die fünfzigfache Größe. Die römische Republik erbt den Goldbestand der Etrusker. Die römischen Bleilagerstätten in Spanien und Mitteleuropa sowie rund um das Mittelmeer kamen in den 600 Jahren von 250 v. Chr. bis 350 n. Chr. auf eine durchschnittliche jährliche Produktion von fast 80 t Silber wie C. Patterson nach repräsentativen Abbaumengen schätzen konnte. Die Höchstleistung lag bei 200 t Silber pro Jahr in der Zeit von 50 v. Chr. bis 150 n. Chr. Vor allem auf den Edelmetallen aus den spanischen Lagerstätten beruhte Roms Finanzkraft. Das schließt die Goldlager auf der Iberischen Halbinsel ein. Plinius gibt die Jahresproduktion dieses Wasch- und Berggoldabbaus mit 6.6 t an. Insgesamt wurden im Römischen Reich wohl fast 10 t Gold jährlich gewonnen, so dass das Verhältnis Silber zu Gold zwischen 8 und 10 lag. Das Ende der wirtschaftlichen Blüte des kaiserzeitlichen Reiches kündigte sich mit einer drastischen Verringerung der jährlichen Silberproduktion auf 25 - 30 t während der zwei Jahrhunderte von 200 - 400 n. Chr. an. Herr Gustav A. Lehmann machte darauf aufmerksam, dass der Abschwung der römischen Gold- und Silberproduktion gegen Ende der Kaiserzeit an der Änderung der politisch-militärischen Rahmenbedingungen und den hohen Menschenverlusten durch eine Pest-Pandemie lag⁵.

Im Mittelalter wurde in Europa die Wirtschaftskraft des Römischen Reiches, die durch technische und organisatorische Leistungen zustande gekommen war, auch nicht annähernd erreicht. Mit den Kaisern wanderten offenbar Verwaltungserfahrung, technische Kenntnisse und das Kunsthandwerk nach Konstantinopel. Dort hatte man in der Nachbarschaft die anatolischen Goldlagerstätten. Gold wurde für den Handel mit dem Orient (Stoff, Gewürze) benötigt. Dem karolingischen Reich und seinen Nachfolgern stand dagegen kaum noch Gold zur Verfügung, da auch in Spanien die entsprechenden Lagerstätten unter islamischen Einfluss gekommen waren. Der Warenumsatz beschränkte sich weitgehend auf die Landwirtschaft. Wahrscheinlich wurde erst in ottonischer Zeit am Rammelsberg in Goslar feinkörniges Bleierz gefördert, das sich aber nicht leicht auf Silber verhütten ließ. Ihm folgten die Erze des Oberharzes und des sächsischen Erzgebirges. Erst im letzten Jahrhundert des späten Mittelalters stieg von 1450 - 1500 die Jahresproduktion an Silber in Mitteleuropa von wenigen Tonnen auf nahezu 30 t an. Hieran war der thüringische Kupferschiefer, hauptsächlich aber der durch das Kapital der Fugger ermöglichte Bergbau in Tirol beteiligt, der das Silber aus Kupfererzen holte. Wie die Prägung von Goldmünzen in italienischen Stadtstaaten um 1300 zeigte, wurde der europäische Handel langsam auch gegenüber dem Orient wieder zahlungsfähig, um wertvolle Importe zu bekommen. Kunst, Kapitalwirtschaft

und Handel erreichten in der Hochrenaissance in bestimmten Regionen wie Italien und Flandern ein hohes Niveau. Der Goldmarkt hatte sich auf portugiesische Initiative belebt. Dieses Edelmetall wurde auf Karawanenwegen aus Nordwest-Afrika nach Europa geleitet und kam letztlich wohl hauptsächlich von der Goldküste. Auf einer Karawanenstation wie Mina sind in der Zeit von 1504 - 1545 Jahresmengen von einer Drittel bis zu einer halben Tonne Gold verbucht worden.

Die Neuzeit begann im Edelmetall-Verbrauch Europas mit einem Umbruch⁶. Die spanischen Eroberungen im mexikanischen Aztekenreich durch Cortez (1485 - 1547) und im peruanisch-bolivischen Inkareich durch Pizarro (1478 - 1541) sind durch ihren grausamen Goldraub aus den Indianerschätzen bekannt geworden. Ohne die Zerstörung der jahrhundertealten südamerikanischen Kulturen bagatellisieren zu wollen, muß man jedoch feststellen, dass die damals niedrigen Goldbestände Europas durch diese Importe, die jährlich 5 t nicht überschritten, nicht wesentlich vergrößert worden sind. Die südamerikanischen Randgebirge des Pazifik besaßen allerdings außergewöhnlich große Blei-Silber-Lagerstätten wie Potosi in Bolivien. Da die Trennung des Silbers vom Blei dort noch nicht bekannt war, fand man keine auffallend großen Silberbestände. Diese mussten aus Silbermineralen und nicht aus Bleiglanz stammen. Mit der Einführung der europäischen Metallurgie und unter Arbeitsbedingungen, die denen der Sklaverei entsprachen, änderte sich die Silberproduktion relativ schnell. Die Ausbeute der Lagerstätten in Bolivien und dann auch in Mexiko ließ die seit 1550 nach Europa transportierte Silbermenge schon 1630 auf jährlich 400 t und 1760 gar auf 900 t ansteigen, Mengen die die Produktionszahlen des großen Römischen Reiches zunächst um den Faktor fünf, dann um elf übertrafen. In Konkurrenz mit der billigen Arbeitskraft in Südamerika konnten die europäischen Bergwerke zunächst wenig ausrichten. Mit dem fallenden Silberpreis sank in Westeuropa die Produktivität in Landwirtschaft, Handel und Handwerk. Da die in den ersten Jahrhunderten der Neuzeit jährlich importierte Goldmenge die Größenordnung von 5 - 10 t selten überschritt, stieg in der Edelmetallbilanz das Verhältnis Silber zu Gold im 17. und beginnenden 18. Jahrhundert auf 40 oder sogar höher. Wir erinnern uns, dass diese Proportion der Edelmetall-Mengen in der längsten Zeit ihrer Geschichte bei 12 bis 14 lag. Im ausgehenden 17. und beginnenden 18. Jahrhundert veränderten sich in Europa die Wirtschafts- und Machtverhältnisse auf Kosten von Spanien zu Gunsten von England und Holland. Ende des 18. Jahrhunderts wurde die Dampfmaschine erfunden, die die Produktivität beeinflusste. Man gründete Nationalbanken und begann die volkswirtschaftlichen Zustände zu analysieren.

Mit der Entdeckung der brasilianischen Goldlager stieg der Import auch dieses Edelmetalls nach Europa ab 1700 um 10 - 25 t an. Russland folgte mit Gold aus dem Ural und aus Sibirien mit Jahresmengen um 40 t. In Kalifornien und Australien löste um 1850 die Entdeckung von leicht gewinnbaren Goldmengen einen Goldrausch aus. In den schnell entstandenen Städten der Eastern Goldfields Westaustraliens wie Kalgoorlie baute man die Straße so breit, dass eine Kamelkarawane wenden konnte. Um 1856 stieg die Weltproduktion an Gold auf 280 t an. Kehren wir jetzt zum Anfang unserer Ausführungen zurück. Dort hieß es, dass 1886 in der Nähe von Johannesburg Goldlager entdeckt wurden, deren Abbau den Goldmarkt des 20. Jahrhunderts beherrschte. Heute, nachdem sich die Weltwirtschaft schon einige Zeit vom Goldstandard der Währungen gelöst hat, beträgt die jährliche Weltproduktion an diesem Metall 2500 t. Von dieser Menge liefert Südafrika 20.6%, die USA 15.9%, Südamerika 14.6% und Australien 13.7%. Es ist überraschend, dass die Kurve der seit 1850 exponentiell gestiegenen weltweiten Goldproduktion der Kurve des Bevölkerungsanstiegs folgt. Trotz des Verzichts auf die Golddeckung der Währungen besitzen die wesentlichen Industrienationen große Reserven an diesem Edelmetall. Anders steht es mit der Weltproduktion und den Vorräten an Silber. Da der Bedarf an Blei seit 1850 erheblich

gestiegen ist, bestimmt dessen Umsatz und nicht der des Silbers die Produktionsmengen beider Metalle. Das führte zu einem heutigen Mengenverhältnis von Silber zu Gold von fünf bis sechs. Im Verlauf der hier beschriebenen Geschichte hat also vor allem das Gold seine Bedeutung bewahrt.

Der Goldgehalt der Erdkruste von 3 mg Au pro Tonne muss durch gelösten Transport des Metalls in Fluiden zu einer Lagerstätte um mindestens den Faktor 2000 verstärkt werden, um dort Golderze zu bilden. Die Transport- und Ablagerungsbedingungen sind in zahlreichen Experimenten mit Chlor-, Sulfid-, Zyan- und weiteren Komplexen von R. Hough und C. Butt (2009) und anderen Autoren beschrieben worden⁷.

¹ Wenedikow, Iwan, Marasow, Iwan und andere: *Gold der Thraker. Archäologische Schätze aus Bulgarien*. von Zabern, Mainz, 1980

² Herrington, Richard, Stanley, Chris, Symes, Robert: *Gold. The Natural History Museum, London, 1999*

³ Wenig, Steffen: *Gold = "Fleisch der Götter" und Machtmittel der Politik*. In: Eggebrecht, Arne und andere: *Ägyptens Aufstieg zur Weltmacht. Katalog-Handbuch*. Roemer-Pelizäus-Museum, Hildesheim. von Zabern, Mainz, 1987

⁴ Patterson, Clair C.: *Silver stocks and losses in ancient and medieval times*. *The Economic History Review, Second Series* 25, 1972, 205-239

⁵ Lehmann, Gustav A.: *Schriftliche Mitteilungen* 2013

⁶ Vilar, Pierre: *Gold und Geld in der Geschichte vom Ausgang des Mittelalters bis zur Gegenwart*. C. H. Beck, München, 1984

⁷ Hough, Robert M., Butt, Charles R.M. (eds): *Gold. Elements* 5,5, 2009. www.elementsmagazine.org