

## Entstehung und Vorkommen von Goldlagerstätten

von H. KERN und Chr. EBERT, Kiel

### 1. Einleitung

Gold ist ein Metall, das den Menschen schon seit Jahrtausenden fasziniert. Seine Geschichte reicht bis ins 4. Jahrtausend vor Chr. zurück. Im südlichen Mesopotamien, zwischen Euphrat und Tigris, förderten die Sumerer das erste Minengold und entwickelten bereits zu jener Zeit eine ausgereifte Tradition der Goldverarbeitung. Auch in Ägypten war Gold schon rd. 3.000 Jahre v. Chr. bekannt, viel früher noch als Silber. Erlesene Kunstschatze, die dem jungen Pharaos Tut-ench-Amun bei seinem Tode um 1350 v. Chr. mit ins Grab gegeben wurden, sind beredte Zeugen vom hohen Stand vorchristlicher ägyptischer Goldschmiedekunst.

Seit eh und je symbolisiert der Besitz von Gold Reichtum und Macht. Sienetwegen wurden Kriege geführt und Völker vernichtet. Auf der Suche nach dem Goldland El Dorado zerstörten spanische Konquistadoren das Inkareich. Cortez beraubte die Azteken in Mexiko (1519–1521) ihres Goldes, Pizarro unterwarf (1524–1533) die Inkas ihres Goldes wegen und Quesada (1536–1539) das Reich der Chibcha-Indios im Gebiet des heutigen Kolumbien.

Auch heute, mehr als 5.000 Jahre nach der Förderung des ersten Minengoldes geht von diesem Metall noch immer eine ungeheuere Faszination aus. Sein unvergänglich heller Glanz, seine Beständigkeit und die Möglichkeit, es mit einfachen Werkzeugen zu kunstvollen Gegenständen zu verarbeiten, verleihen ihm nach wie vor den höchsten Wert unter allen Metallen.

Der folgende Beitrag gibt einen Überblick über die wichtigsten Lagerstättentypen dieses edlen und begehrten Metalls sowie über die geochemischen und lagerstättenbildenden Prozesse, die zur Anreicherung wirtschaftlich nutzbarer Goldlagerstätten führen. Dabei wird gezeigt, daß das klassische Bild der Entstehung von Goldlagerstätten in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr modifiziert werden mußte. Zu den neuen genetischen Konzepten haben auch Ergebnisse von Untersuchungen beigetragen, die in den letzten Jahren im Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Kiel erarbeitet wurden.

### 2. Allgemeine Überlegungen zur Geochemie und Lagerstättenkunde

Die Erde besteht aus dem Erdkern, dem Erdmantel und der Erdkruste. Nur die allerobersten Kilometer der Kruste sind für unsere Überlegungen von Interesse.

Von den 92 natürlich vorkommenden chemischen Elementen sind nur 9 wesentlich am Aufbau der äußersten Erdkruste beteiligt. Es sind dies:

Sauerstoff	46,60 %
Silicium	27,72 %
Aluminium	8,13 %
Eisen	5,00 %
Calcium	3,63 %
Natrium	2,83 %
Kalium	2,59 %
Magnesium	2,09 %
Titan	0,44 %
	<hr/>
	99,03 %

Alle übrigen 83 Elemente sind also mit weniger als 1 % in der oberen Erdkruste vorhanden. Wäre dieses restliche 1 % statistisch verteilt, so gäbe es keine abbauwürdigen Mineralkonzentrationen, also auch keine Goldlagerstätten.

Geochemische und geologische Prozesse haben nun im Verlauf der rund 4,5 Milliarden Jahre währenden Erdgeschichte zu Differentiationen geführt. Deshalb sind einzelne dieser 83 Elemente weit über ihren statistischen Anteil hinaus in den erdoberflächennahen Bereichen lokal zu lagerstättenmäßigen Konzentrationen angereichert worden.

Bauwürdige Goldlagerstätten enthalten etwa 4–10 g Gold/t Gestein (Erz). Bei Durchschnittsgehalten von 0,002–0,005 g/t (0,002–0,005 ppm) in der oberen Erdkruste bedeutet dies, daß die lagerstättenbildende Prozesse eine etwa 2.000fache Anreicherung bewirkt haben.

Die Anreicherungsprozesse können mit dem Aufstieg und der Abkühlung magmatischer Schmelzen (Magmendifferentiation), der Gesteinsverwitterung an der Erdoberfläche oder der erneuten Verfrachtung von Sedimentgesteinen in größere Erdtiefen und damit einhergehender Umwandlung infolge Druck- und Temperaturzunahme (Metamorphose) verbunden sein. Die Gesteine unterliegen somit einem ständigen Wandel, einem ewigen „Stirb und Werde“, das von Stoffumsätzen (Mobilisation und Konzentration) begleitet wird (Abb. 1).

### 3. Erzminerale des Goldes

Der „Adel“ des Goldes besteht auch darin, daß es ungern mit anderen chemischen Elementen Verbindungen eingeht. Aus diesem Grund ist die Zahl der wirtschaftlich bedeutsamen Goldminerale nicht sehr groß. Das wichtigste Erzmineral für die Goldgewinnung ist das gediegen Gold, eine zweite, weniger bedeutende Mineralgruppe bilden die Au-Ag-Telluride.

Gediegen Gold ist fast immer mit Silber legiert. Der Silbergehalt im Gold wird durch den Feingehalt (F) angegeben. Reines, Ag-freies Gold hat demnach – wie aus der in Tabelle 1 angegebenen Formel leicht zu ersehen ist – einen Feingehalt von 1.000.

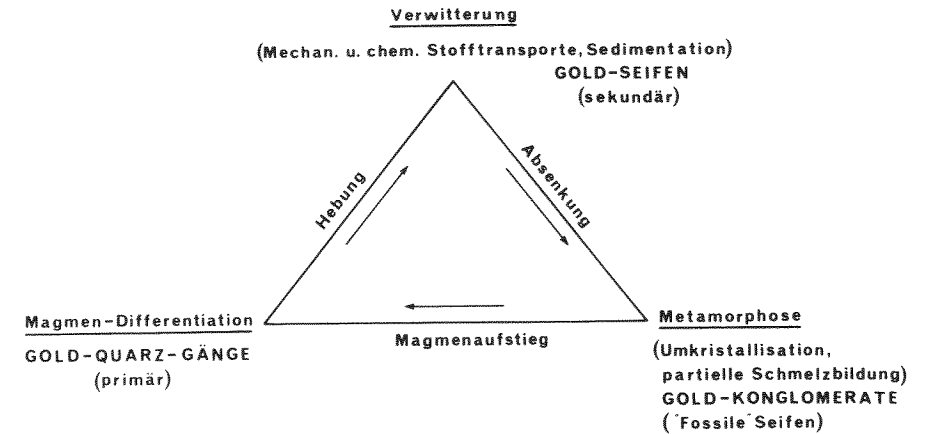


Abb. 1: Kreislauf der Gesteine und Anreicherungsschwerpunkte für Gold

Gediegen Gold mit Goldgehalten > 75 % wird als *Aurum* bezeichnet; es hat eine gold-gelbe Farbe. Betragen die Goldanteile nur 45–75 % und sind die Silberanteile entsprechend höher, so spricht man von *Elektrum*. Diese Legierung ist silber-weiß. Gediegen Gold hat eine außerordentlich hohe Dichte, je nach Zusammensetzung zwischen 13–19 g/cm<sup>3</sup>, und ist sehr beständig gegenüber physikalischen und chemischen Verwitterungseinflüssen. Aufgrund dieser Eigenschaften gehört gediegen Gold zu den klassischen Seifenmineralen.

Tabelle 1: Goldminerale

Name/Formel	Gold-Gehalt (%)	Spez. Gew. (g/cm <sup>3</sup> )	Mohs-Härte	Kristall-System
<b>1. Gediegen Gold</b>				
Aurum (Au, Ag)	> 75	16–19,3	2,5–3	kub.
Elektrum (Au, Ag)	45–75	13–16	2–2,5	kub.
<b>2. Gold-Silber Telluride</b>				
Calaverit Au Te <sub>2</sub>	39,2–42,8	9,2	2,5–3	mkl.
Krennerit Au <sub>4</sub> Ag Te <sub>10</sub>	30,7–43,9	8,6	2,5	rhmb.
Sylvanit Au Ag Te <sub>4</sub>	24,2–29,9	8,2	1,5–2	mkl.
Petzit Ag Au Te <sub>2</sub>	19,0–25,2	9,1	2,5	kub.

Feingehalt (FISHER 1945):

$$F = \frac{\text{Au}}{\text{Au} + \text{Ag}} \cdot 1.000$$

#### 4. Gliederung der Goldlagerstätten

Die Bildung von Goldlagerstätten erfolgte entweder in tieferen Bereichen der Erdkruste oder an der Erdoberfläche (Abb. 1). Man unterscheidet daher endogene (primäre) und exogene (sekundäre) Lagerstättenbildungen. Die wichtigsten Lagerstättentypen dieser beiden Gruppen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Genetische Gliederung der Gold-Lagerstätten

##### I. Endogene (primäre) Lagerstätten

Lagerstättentyp	Vorkommen	Anteil Weltproduktion
1. „Alte“ Goldquarz-Gänge Hydrothermale Gänge mit Quarz, Sulfiden und ged. Gold in präkambrischen Rahmengesteinen	Kirkland Knife, Kanada Bendigo, Australien	ca. 20 %
2. „Junge“ Goldquarz-Gänge Hydrothermale Gänge mit metasomat. Hohlräume mit Quarz, Karbonaten, Baryt, Fluorit und ged. Gold (Elektrum) in vulkan. Gesteinen tertiären Alters	Cripple Creek, Colorado Comstock Lode, Nevada	< 2 %
3. Disseminierte Gold-Lagerstätten Hydrothermale, sehr feinkörnige Gold-Imprägnationen in kieseligen und dolomitischen Kalken und Quarziten	Carlin, Gold Acres, Cortes; alle Nevada	2–5 %

##### II. Exogene (sekundäre) Lagerstätten

1. Rezente Seifen Unverfestigte oder halbverfestigte Flußsande mit ged. Gold und anderen Schwermineralen	Yukon Territorium, Kanada Sierra Nevada, USA Lena-, Aldan- und Amurgebiet, UdSSR	ca 20 %
2. „Fossile“ Seifen Quarzgeröll-Konglomerate und Quarzite des Witwatersrand, Präkambriums mit ged. Gold, Uraninit und Metallen der Pt-Gruppe	Süd-Afrika Serra de Jacobina, Brasilien Tarkwaian, Ghana	ca. 50 %

Das Gold der primären Lagerstätten wurde durch heiße, wäßrige Lösungen (Hydrothermen) zugeführt und aus diesen als „Berggold“ ausgeschieden. Berggold findet sich auf sogen. Alten Goldquarz-Gängen zusammen mit derbem Quarz und Sulfiden, vorwiegend in *präkambrischen* Rahmengestein, sowie auf sogen. Jungen Goldquarz-Gängen zusammen mit feinkörnigem Quarz, Karbonaten, Baryt und Fluorit bevorzugt in der Nachbarschaft von vulkanischen Gesteinen *tertiären* Alters. Des Weiteren wurden vielfach kieselige und dolomitische Kalke und Quarzite mit hydrothermal zugeführtem Gold imprägniert.

Der Anteil der primären Lagerstätten an der derzeitigen Goldproduktion liegt zwischen 25 und 30 %. Bei einer Jahresförderung von rd. 1.400 t sind das 400 t.

Die bedeutendsten *sekundären* Lagerstätten bilden die rezenten und fossilen Seifen; entsprechend wird das Gold in diesen Lagerstätten als Seifengold bezeichnet: In *rezenten* Seifen findet sich Gold zusammen mit anderen Schwermineralen in unverfestigten und halbverfestigten Flußsanden, wie z. B. im Yukon Territorium in Kanada oder in der Sierra Nevada, USA.

Bei den *fossilen* Seifen handelt es sich um ehemalige Quarzgeröll-Konglomerate, die bereits im Präkambrium abgelagert wurden, und durch eine spätere Metamorphose überprägt und zu einem sehr harten Gestein verfestigt wurden. Hier findet sich ged. Gold zusammen mit Uraninit und Metallen der Pt-Gruppe ausschließlich in der silikatischen Binde-Matrix; ein Hinweis, daß es sich ursprünglich tatsächlich im Seifenablagerungen gehandelt hat.

Die wirtschaftliche Bedeutung der rezenten und vor allem der fossilen Seifenlagerstätten ist außerordentlich groß. Allein aus den Witwatersrand-Lagerstätten in Süd-Afrika wird nahezu die Hälfte der heutigen Weltproduktion gefördert.

Zwischen den primären Goldlagerstätten und zumindest einem Teil der sekundären Lagerstätten besteht nicht nur ein gewisser räumlicher, sondern auch ein genetischer Zusammenhang (Abb. 2). Nach der herkömmlichen Auffassung sind die Bachsedimente und das in ihnen auftretende Seifengold aufgearbeiteter

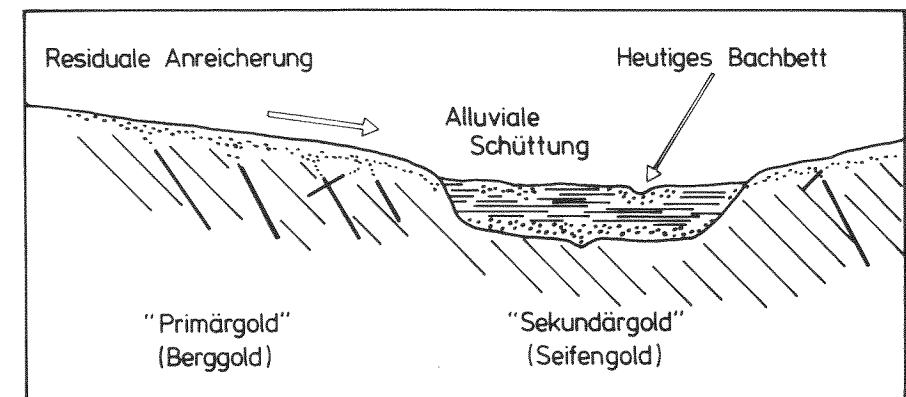


Abb. 2: Querschnitt durch ein Tal mit Gold-führenden Sedimentfüllungen. Das Schema erläutert den Zusammenhang zwischen Verwitterung, Sedimentschüttung und Seifenbildung.

Verwitterungsschutt aus primären Lagerstätten, wobei das Gold aufgrund seines hohen spez. Gewichtes und seiner großen physikalischen und chemischen Resistenz eine hydromechanische Anreicherung erfährt.

Während des Transportes aus der primären Gold-Quelle sind sowohl physikalische als auch chemische Prozesse wirksam, welche die später in der Seifengoldlagerstätte zur Ablagerung kommenden Goldkörner in ihrer Größe, Form, Morphologie und chemischen Zusammensetzung wesentlich verändern und prägen (Abb. 3). Aus der Summe der morphologischen und chemischen Eigenschaften des Seifengoldes bzw. deren Veränderungen gegenüber Goldkristallen, wie man sie von primären Lagerstätten kennt, lassen sich wichtige Rückschlüsse auf die Art des Goldtransportes, die Länge des Transportweges und die primäre Gold-Quelle ziehen, die auch mit Vorteil für die Goldprospektion genutzt werden können.

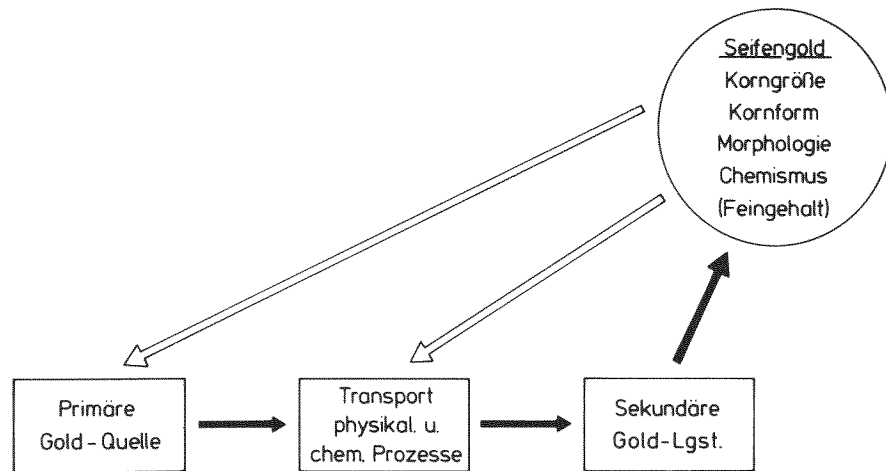


Abb. 3: Beziehungen zwischen „Primärgold“ und „Sekundärgold“

Dies soll an dem Seifengoldvorkommen des Gevattergrabens im Frankenwald näher erläutert werden, welches wir in Zusammenarbeit mit der Preussag AG Metall (Goslar) näher untersucht haben.

## 5. Mikromorphologische Untersuchungen am Seifengold aus dem Gevattergraben

### 5.1. Gevattergraben – Geol. Rahmen und Historie

Der Gevattergraben liegt etwa 1 km nordwestlich des Dörfchens Steinbach, unweit von Hof (Abb. 4). Er ist ein schmaler Seitenarm des E-W verlaufenden Langenbachtals. Geologisch ist das Gebiet ein Teil des Fränkischen Schiefergebirges, welches von Tonschiefern, Sandsteinen, Grauwacken, Konglomeraten, Kalksteinen und vulkanischen Serien mittelkambrischen bis karbonischen Alters aufgebaut wird. Im Gebiet von Steinbach-Obersteben dominieren vulkanische Gesteine (Diabase,

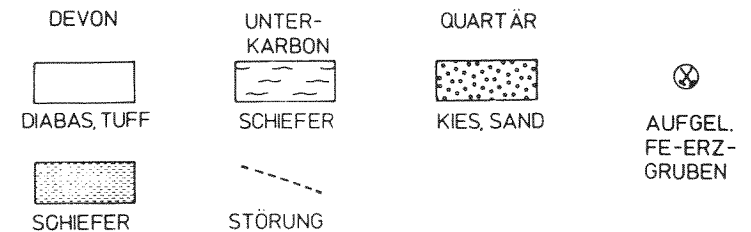
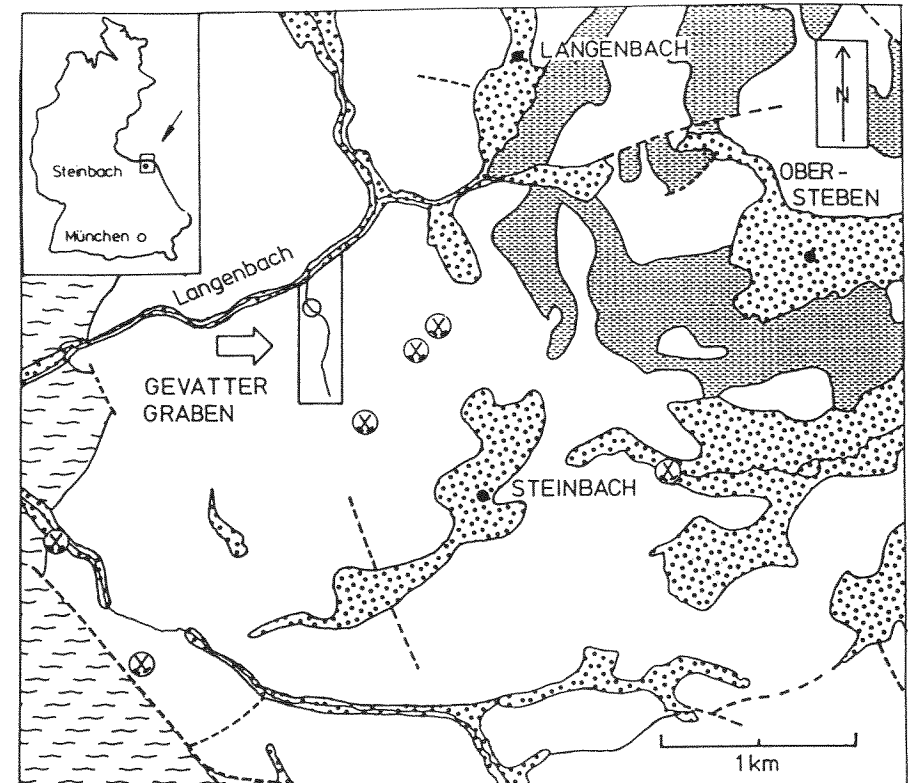


Abb. 4: Vereinfachte geologische Karte des Gebietes Steinbach – Obersteben. Der Gevattergraben liegt im umrandeten Bereich (Pfeil).

Tuffe) mit Einschaltungen vulkano-sedimentärer Hämatit-Magnetit-Erze, wie wir sie aus dem Lahn-Dill-Gebiet kennen. Die vulkanischen und sedimentären Gesteinsabfolgen bilden einen NE-SW streichenden Sattel. Zwischen Oberkarbon und dem frühen Perm intrudierten in den bereits aufgefalteten Komplex Granite (v. HORSTIG, 1956; REH, 1962); diese sind allerdings im Gebiet von Steinbach – Obersteben nicht aufgeschlossen.

Schon im 15. Jhd. und noch 1777 soll – der Überlieferung nach – im Gevattergraben Gold gewaschen worden sein. A. v. HUMBOLDT, seinerzeit Bergrat im Bergamt Bad Steben, erwähnte 1792 den Gevattergraben:

„... Gevattergraben, der wegen seiner Gold- und Silberwäsche bekannt ist ... Noch vor 15 Jahren waren sächsische Bergleute, andere sagen Venetianer, hier und wuschen wirklich Gold. Die Nachrichten sind alle sehr fabelhaft und unbestimmt. Daß aber hier Gold und Silber gewaschen wurde, ist außer Zweifel ...“

Knapp hundert Jahre später – 1894 – schrieb C. W. v. GÜMBEL:

„... Andere Bergwerke scheinen in ein märchenhaftes Dunkel gehüllt, wie ... die Gold- und Silberseifen im Gevattergraben bei Obersteben ...“

Alle Anstrengungen, das Goldvorkommen in diesem Gebiet wiederzuentdecken, blieben bis vor wenigen Jahren erfolglos. 1976 startete die Preussag AG Metall (Goslar) eine systematische Explorationskampagne auf Basismetalle in SE-Bayern. Im Rahmen dieser Aktivitäten haben wir uns in den letzten Jahren sehr intensiv mit der Schwermineralführung der Sedimente im Bereich des Gevattergrabens beschäftigt.

## 5.2. Probenahme

Am Unterlauf des Gevattergrabens (Abb. 4) wurden aus den unverfestigten Bachsedimenten Proben von jeweils etwa 10 Liter (Eimerproben) entnommen und durch Siebung die Feinfraktion (< 1.5 mm) abgetrennt. Erfahrungsgemäß sind die Goldkörnchen und andere Seifenminerale in den feineren Körnungsstufen angereichert. Aus dem Feingut wurden in alter Goldwäschermanier die Schwerminerale mit der Waschpfanne herausgewaschen und die Goldkörnchen unter dem Binokular von Hand separiert.

## 5.3 Mikromorphologische Charakteristika der Seifengold-Partikel

### 5.31 Optische Untersuchungen – Binokular-Beobachtungen

Bei stärkerer mikroskopischer Vergrößerung erkennt man, daß die Goldkörnchen nach Größe, Form und Oberflächengestalt z. T. sehr unterschiedlich ausgebildet sind: gerundete, mit Brauneisen bedeckte blättchenförmige Goldpartikel finden sich neben unregelmäßig geformten, zackig-zerklüfteten Goldkörnchen. Die eigentlich mikromorphologische Ausbildung der Goldpartikel läßt sich bei den mit dem Binokular erreichbaren Vergrößerungen aber nicht erkennen.

Nähere Einblicke in die mikromorphologische Details ermöglicht die sogenannte Raster-Elektronenmikroskopie.

### 5.32 Untersuchungen mit dem Raster-Elektronenmikroskop

Beim Raster-Elektronenmikroskop (REM) werden anstelle von Licht scharfgebündelte Elektronen-Strahlen benutzt, die im Hochvakuum von einer Glühkathode ausgehen. Bei der Untersuchung wird die Probe mit einem nur etwa 50millionstel mm breiten Elektronenstrahl mit großer Geschwindigkeit zeilenförmig abgerastert. Das Signal der rückgestreuten oder in der Oberfläche der Probe ausgelösten Sekundär-Elektronen wird mittels eines Detektors und eines Photoverstärkers einer Bildröhre zugeführt.

Diese Methode erlaubt mehrere 10.000fache bis 100.000fache Vergrößerungen mit extrem großer Tiefenschärfe, allerdings nur in Schwarz-Weiß.

Mit Hilfe rasterelektronen-mikroskopischer Untersuchungen war es möglich, das Seifengold aus dem Gevattergraben drei morphologisch unterschiedlich ausgebildeten Goldkorn-Typen A, B und C zuzuordnen (Tabelle 3).\*

Tabelle 3: Mikromorphologische Charakteristika der Seifengold-Partikel

Typ A: Freigold, unregelmäßig, zackig-zerklüftet; mit Arsenopyrit- und Quarz-Einschlüssen.  $\phi$  0.15 – 0.3 mm

Typ B: Freigold, unregelmäßig geformt, mit glatter Oberfläche und weich verlaufenden Konturen.  $\phi$  0.3 – 1 mm

Typ C: Freigold/Brauneisen-Verwachsungen 0.5 – 1 mm  
( $\phi$  0,005 mm große Freigoldkörnchen innerhalb der Limonit-Matrix)

## 5.4 Beziehungen zwischen Mikromorphologie, Herkunft und Entstehung des Seifengoldes

Die Goldpartikel vom Typ A sind aus zahlreichen, unregelmäßig verteilten, verzerrten Oktaedern aufgebaut, die den Goldkörnern ein charakteristisches poröses Aussehen verleihen. Meist sind die Mikrokristalle nach Oktaederflächen {111} verzwillingt. Manche Körner sind auch etwas gerundet und zeigen Schleifspuren; aber auch an diesen sind noch primäre Oktaederformen und verzwillingte Kristalle erhalten.

Oktaedrische Kristallformen und Zwillingsbildungen parallel den Oktaederflächen sind sehr charakteristisch für Goldkristalle aus hydrothermalen Ganglagerstätten. Die Befunde mit dem REM signalisieren somit, daß die Goldkörnchen vom Typ A aus einem primären Goldquarzvorkommen stammen. Dafür sprechen auch die Einschlüsse von Arsenopyrit und Quarz, die in einigen Körnern beobachtet wurden. Die noch gut erhaltene primär-kristalline Morphologie der Goldpartikel weist darauf hin, daß das Gold mechanisch in die Sedimente des Gevattergrabens eingebracht wurde und nicht weit von der primären Goldquelle weggeschwemmt wurde. Sonst wäre der Abrieb stärker, und die kleinen Oktaeder-Kristalle längst nicht mehr erhalten. Das bedeutet aber für den Prospektor, daß er gute Chancen hat, im Nahbereich des Gevattergrabens eine primäre Gold-Quarz-Vererzung zu finden. Für einen nur kurzen Transportweg spricht auch der Feingehalt von 900, d. h. der relativ hohe Silbergehalt, der mit der Mikrosonde bestimmt wurde. Silber besitzt im Vergleich zum Gold eine hohe chemische Löslichkeit. Aus Goldkörnchen, die über sehr weite Strecken transportiert wurden, ist das ehemals vorhandene Silber meist vollständig herausgelöst. Schließlich deuten auch Quarzgerölle in typischer Gangquarz-Ausbildung, die im Einzugsbereich des Gevattergrabens gefunden wurden, auf eine nahegelegene Primärmineralisation hin.

Die Goldkörnchen vom Typ B haben eine völlig andere Mikromorphologie. Die Kornformen sind rundlich, vielfach auch wie knorrige Wurzeln und Astgebilde entwickelt. Die Oberflächen sind stets glatt und weich konturiert. Es sind die Formen der typischen Nuggets, auch wenn diese weitaus größer sind. Dieses Gold vom Typ B ist im Sediment aus Oberflächenlösungen auskristallisiert. Den schlüssi-

gen Beweis bilden neben Fe-Hydroxid-Einschlüssen vor allem Einschlüsse von Süßwasser-Diatomeen (Kieselalgen), die in einigen Goldkörnchen beobachtet wurden. Diese Goldpartikel müssen im Schlamm oder Sand des Baches gewissermaßen um die Kieselalgen herum „gewachsen“ sein. Die Aufnahmen demonstrieren somit unzweifelhaft, daß Gold nicht nur aus heißen Hydrothermallösungen in großer Tiefe kommt, sondern sich auch bei niedrigen Temperaturen nahe der Erdoberfläche löst, im Grundwasser oder in Bächen oder Flüssen wandert und bei bestimmten physikalisch-chemischen Bedingungen in Sedimenten auskristallisiert.

Beim Typ C handelt es sich um extrem feinkörniges Freigold (20 µ), welches innig mit Fe-Hydroxiden verwachsen ist. Die genaue Größe der Partikel und ihre Verteilung läßt sich vielfach erst mit Hilfe mikrochemischer Analysen nachweisen. Dieser Goldtyp findet sich häufig in Aggregaten mit würfeligem Habitus, ein Hinweis dafür, daß es sich bei diesen um Pseudomorphosen von Limonit nach Pyrit handelt. Bei der Pyritverwitterung wurde das Gold freigesetzt, welches ursprünglich in feiner Verteilung im Pyrit eingeschlossen oder sogar im Pyritgitter eingebaut war. Die Pyrite stammen vermutlich aus verwitterten Diabas-Vulkaniten, die im Bereich des Gevattergrabens weit verbreitet sind (Abb. 4) und stets hohe akzessorische Pyritgehalte aufweisen.

In Abb. 5 ist der Versuch unternommen worden, die nach mikromorphologischen Gesichtspunkten unter dem REM unterschiedlichen Seifengoldpartikel in einen allgemeinen genetischen Rahmen zu stellen und eine Beziehung zu den möglichen primären Goldquellen aufzuzeigen.

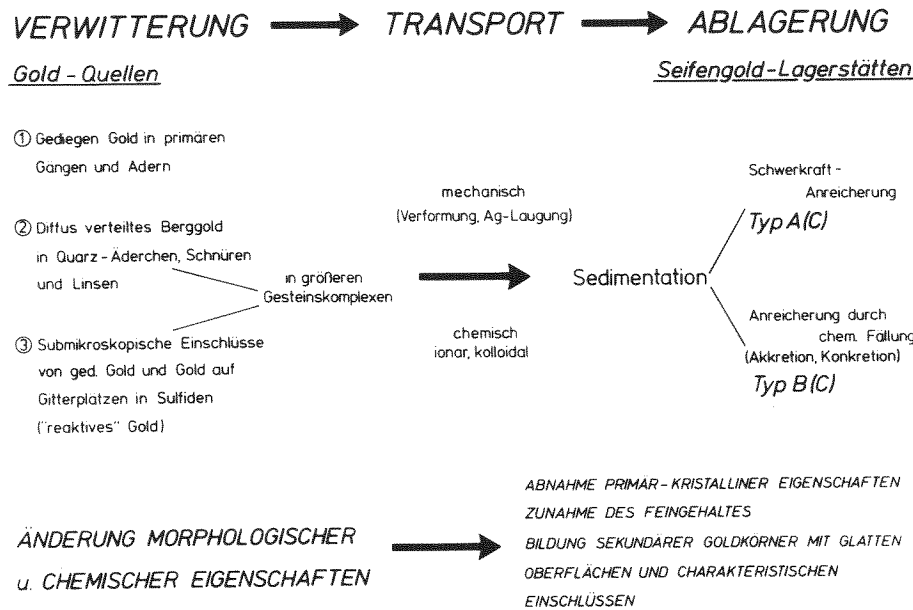


Abb. 5: Transport und Anreicherungsmechanismen bei der Bildung von Seifengold und mögliche Beziehung zu den primären Goldquellen.

Die Goldpartikel vom Typ A stellen Schwerkrafthanreicherungen, d. h. Seifen im klassischen Sinne dar. Sie stammen aus primären Goldquarz-Gängen oder -Gängen, die im Einzugsbereich des Gevattergrabens anstehen, bisher aber leider noch nicht gefunden worden sind. Die noch gut erhaltene primär-kristalline Ausbildung der Goldkriställchen und die geringe Silber-Auslaugung sind eindeutige Indizien für einen nur kurzen Transportweg.

Die Nugget-ähnlichen Goldkörnchen vom Typ B mit Einschlüssen von Süßwasser-Diatomeen und Fe-Hydroxiden sind Beweise für einen rezenten Lösungstransport – ionar oder kolloidal – und eine Anreicherung durch chemische Fällungsprozesse. Diese Befunde unterstützen die sich heute mehr und mehr verbreitende Annahme, daß Gold nicht nur in den bekannten Zementationszonen, sondern vielmehr auch in den klassischen Seifenlagerstätten zu einem großen Teil einen Lösungstransport angereichert wird.

Die ungewöhnlich großen „Goldklumpen“, wie sie z. B. in Westaustralien (Ballarat) oder Sibirien (Miask) gefunden wurden, mit einem Gewicht von über 85 bzw. 36 kg, können nur über einen Lösungstransport erklärt werden (SCHNEIDER 1985). Ein Feststoff-Transport im Flußwasser erscheint schon aus hydraulischen und mechanischen Gründen undenkbar.

Ob und welchem Umfang Gold in Oberflächenlösungen gelöst werden kann, hängt wesentlich davon ab, in welcher Form Gold in der primären Goldquelle vorliegt. Gediegen Berggold mit Partikelgrößen > 100 µ ist unter Oberflächenbedingungen praktisch unlöslich (AL'BOV 1962); es kann in großem Umfang nur mechanisch transportiert werden. Anders ist es mit dem Gold, welches in submikroskopischen Partikeln in Sulfiden eingelagert oder gar auf Gitterplätzen der Sulfidminerale eingebaut ist. Dieses Gold ist sehr „reaktiv“, und da die Sulfide unter Oberflächenbedingungen instabil sind und leicht verwittern, auch leicht in Lösung zu bringen. Unter den Sulfiden gelten die Pyrite als ausgesprochene Sammlerminerale für Gold. MEYER und SAAGER (1985) haben kürzlich gezeigt, daß Pyrite aus basischen Vulkaniten der Grünsteingürtel S-Afrikas einige 10 g Au/t (10 ppm) aufweisen. Auf das Gesamtgestein bezogen ergibt das zwar nur 0,002 g/t (2 ppb), was auf den ersten Blick nicht allzu viel zu sein scheint.

Die in Abb. 6 schematisch dargestellte Massenbilanz zeigt jedoch, daß die in basischen Vulkanitkomplexen und (Fe-reichen) Sedimenten enthaltenen Mengen an „potentiellem Lagerstättengold“ verhältnismäßig groß sind. Aus einem Gesteinskomplex mit rd. 1.000 km<sup>3</sup> Inhalt – das entspricht einem Würfel mit nur 10 km Kantenlänge – könnten immerhin rd. 1.420 t Gold in einem Erzkörper von rd. 0.20 km<sup>3</sup> und realistischen Goldgehalten von 10 g/t Erz konzentriert werden, wenn dieses Gestein 2 ppb Gold führt und davon etwa die Hälfte herausgelöst, wegtransportiert und in einer günstigen geologischen Struktur ausgeschieden würde.

#### 6. Modellvorstellungen zur Entstehung primärer und sekundärer Goldlagerstätten

Es stellt sich somit die heute weltweit diskutierte Frage, ob im endogenen und exogenen Bereich physikalisch-chemische Prozesse ablaufen können, die im-

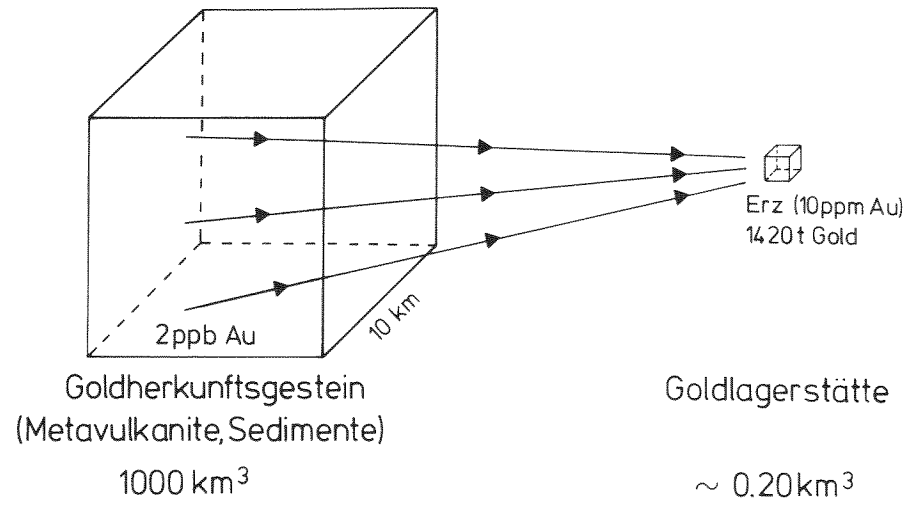
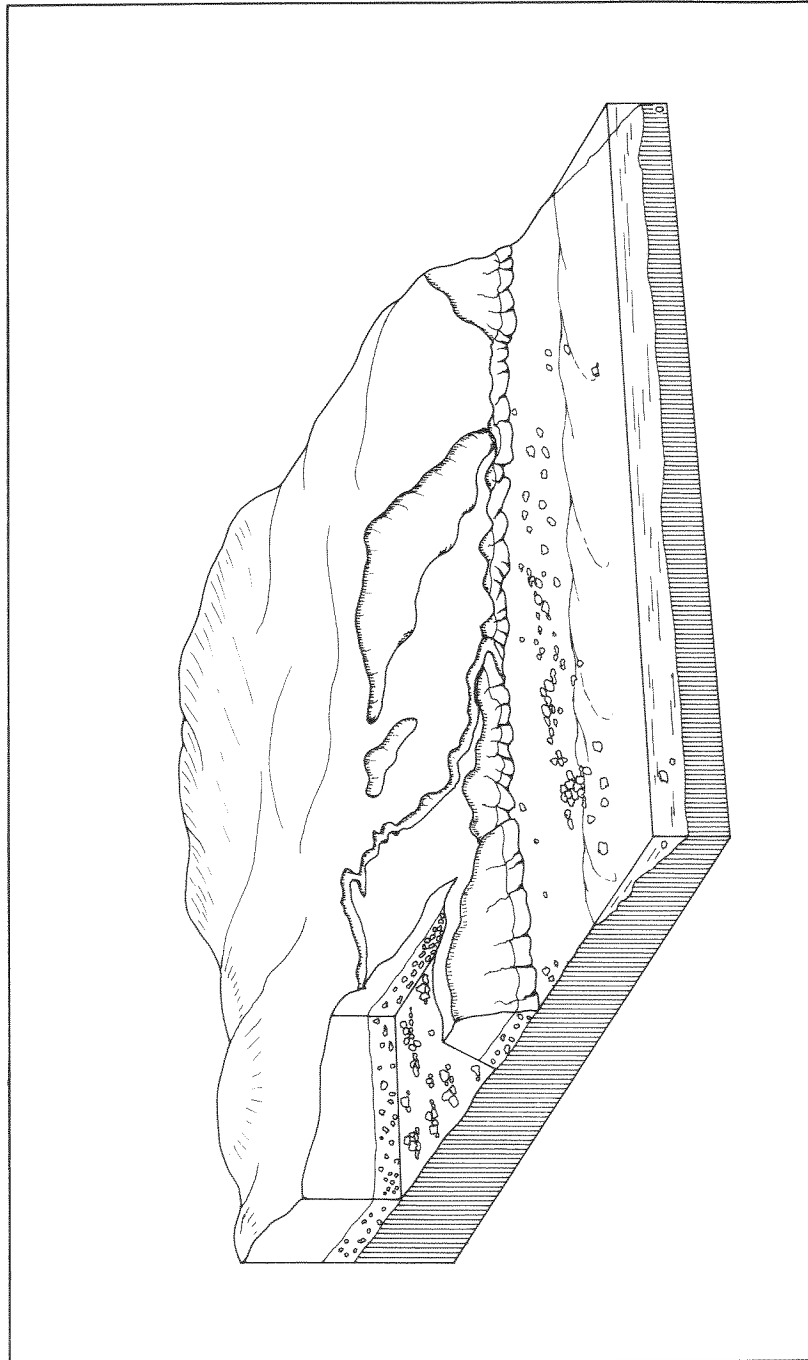


Abb. 6: „Potentielles Lagerstättengold“ – Massenbilanz

stande sind, die „geochemischen Goldgehalte“ großräumig zu mobilisieren und lokal zu wirtschaftlich bedeutsamen Anreicherungen zu konzentrieren.

Noch vor 15–20 Jahren herrschte in der Lagerstättenforschung die Meinung vor, daß die in primären Goldlagerstätten angereicherten Goldmengen und die begleitenden Metalle direkt aus der Kristallisation und Differentiation eines (meist) granitischen Magmenkörpers hergeleitet werden müssen. Fehlten konkrete Hinweise auf einen Intrusivkörper, so wurde der berühmte unbekannte Granit in großer Teufe als Erzlieferant herangezogen. Inzwischen konnte mit Hilfe absoluter Altersdatierungen der Nachweis erbracht werden, daß als Erzbringer angesehene Plutone in vielen Fällen zeitlich nicht mit den ihnen zugeschriebenen Gold-führenden Gangvorkommen korreliert werden können. Dies hat zu neuen metallogenetischen Konzepten geführt, wie sie besonders von FYFE und HENLEY (1973), SAAGER (1973), BOYLE (1979) u. a. entwickelt worden sind (Abb. 7). Danach wurden bedeutende primäre Goldquarzgänge, wie z. B. die der präkambrischen „Greenstone Belts“ in Südafrika, aus Hydrothermallösungen abgesetzt, die ihre Goldgehalte durch Auslaugung goldhaltiger basischer Vulkangesteine bezogen haben. Die heißen wäßrigen Lösungen können im Rahmen von Entwässerungsreaktionen bei der regionalen Gesteinsmetamorphose freigesetzt worden sein oder auch von später intrudierten granitischen Plutonen herrühren. Da die Löslichkeit von Gold in wäßrigen Lösungen mit der Temperatur stark zunimmt (SEWARD 1973), verfügen thermale Wässer über ein sehr großes Lösungsvermögen.

Gold kann aber auch – wie die hier vorgestellten Untersuchungen gezeigt haben – an der Erdoberfläche im Rahmen chemischer Gesteinsverwitterung bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen freigesetzt werden, in Lösung gehen und durch chemische Fällungsprozesse angereichert werden.

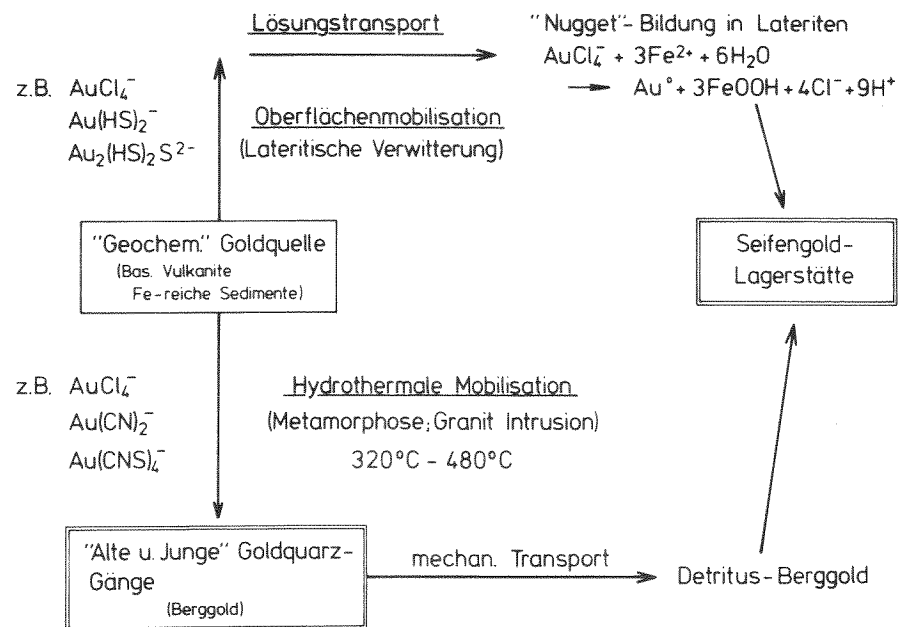


Abb. 7: Metallogenetisches Konzept zur Bildung primärer und sekundärer Goldlagerstätten

Die oberflächennahe Goldmobilisation und – Konzentration wird besonders dann zu ökonomisch bedeutsamen Lagerstättenbildungen führen, wenn basische Vulkanite oder Fe-reiche Sedimente als „geochemische Goldquelle“ langfristig einer tiefgründigen chemischen Verwitterung ausgesetzt werden. Derartige, großräumige Verwitterungsprozesse laufen bekanntlich am intensivsten und vollständigsten in tropisch-humiden Klimazonen ab, d. h. in Lateritgebieten. Durch ihre großflächige Verbreitung stellen lateritische Paläoböden vermutlich eine sehr wichtige Quelle für die Entstehung von Seifenlagerstätten dar.

In Lateritböden Australiens (MANN 1984) (WILSON 1983) sind in jüngster Zeit ökonomisch bedeutsame Goldanreicherungen gefunden worden, die einmal mehr die exogene Mobilisierbarkeit von Gold beweisen. Auch bei der brasilianischen Lagerstätte Morro da Babilonia, wo sich derzeit ein wahrer Goldrausch abspielt, haben lateritische Verwitterungserscheinungen wesentlich zur Goldanreicherung beitragen (MÜLLER 1984).

#### Literatur

- AL'BOV, M. N. (1952): Forms of the migration of gold in the gold oxidized zone of mineral deposits. – Akad. Nauk SSSR, Izv., Ser. Geol., **4**, 41–52.
- BOYLE, R. W. (1979): The geochemistry of gold and its deposits. – Canada Geol. Survey Bull. **280**, 584 S.

- FISHER, N. H. (1945): The fineness of gold with special references to the Morobe Goldfield, New Guinea. – Econ. Geol. **40**, 449–495, 537– 563.
- FYFE, W. S. and HENLEY, R. W. (1973): Some thoughts on chemical transport processes, with particular references to gold. – Miner. Sci. Engng. **5**, 295–303.
- GÜMBEL, C. W. von (1894): Geologie von Bayern, 2. Band, Geologische Beschreibung von Bayern. – Theodor Fischer, Cassel.
- HORSTIG, G. v. (1956): Die Frankenwälder Querzone zwischen Silbitz und Saale nordwestlich Hof. – Z. D. G. G., **108**, 1. Teil, 37–42.
- HUMBOLDT, A. von (1792): Über den Zustand des Bergbaus und Hüttenwesens in den Fürstentümern Bayreuth und Ansbach im Jahr 1792. – Freib. Forsch.-H., D 23, Berlin 1959, 219 S.
- MANN, A. W. (1984): Mobility of gold and silver in lateritic profiles: Some observations from Western Australia. – Econ. Geol. **79**, 38–49.
- MEYER, M. and SAAGER, R. (1985): The gold content of some Archean rocks and their possible relationship to epigenetic goldquartz vein deposits. – Mineral. Deposita **20**, 284–289.
- MÜLLER, G. (1984): Die Goldlagerstätte Morro da Babilônia im Staate Pará, Brasilien. – Aufschluß, **35**, 279–291.
- REH, H. (1962): Über die Beziehungen postmagmatischer Lagerstätten zu den jungvariskischen Graniten im Thüringer Schiefergebirge und Vogtland. – Zeitschrift für angewandte Geologie, **11**, 565.
- SAAGER, R. (1973): Metallogenese präkambrischer Goldverkommen in den vulkanosedimentären Gesteinskomplexen (greenstone belts) der Swaziland-Sequenz in Südafrika. – Geol. Rundsch. **62**, 888–901.
- SCHNEIDER, H.-J. (1985): Das geochemische Verhalten von Gold bei der Lagerstättenbildung. – Schriften der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute e.V. (im Druck).
- SEWARD, T. M. (1973): Thio-complexes of gold and transport of gold in hydrothermal ore solutions. – Geochim. Cosmochim. Acta **37**, 379–399.
- WILSON, A. F. (1983): The economic significance of non-hydrothermal transport of gold, and of the accretion of large gold nuggets in laterite and other weathering profiles in Australia. – Spec. Publ. Geol. Soc. South Africa **7**, 229–238.

\*) Eine ausführliche Dokumentation und Interpretation der Rasterelektronen-mikroskopischen Aufnahmen findet sich in der Arbeit: Chr. Ebert und H. Kern: Placer Gold from the Gevattergraben in the Frankenwald area (Germany) – Mineralogical and Morphological Characteristics and their Significance für gold prospecting, Mineralium Deposita (in Vorbereitung).