

High-Tech in der Natur – Goldanreicherung in Pyrit und Arsenopyrit

Von Peter Möller

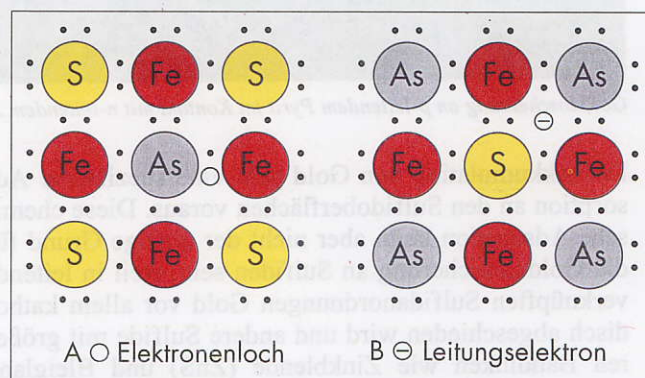
GeoForschungsZentrum Potsdam
Öffentlichkeitsarbeit
Telegrafenberg
D-14473 Potsdam
Telefon 03 31 - 288 - 1040
Fax 03 31 - 288 - 1044

Das Edelmetall Gold kommt in der Natur häufig in geeigneter Form in Sedimenten von Wasserläufen vor, aus denen es leicht durch Auswaschen gewonnen werden kann. Goldfunde dieser Art führten in der Geschichte immer wieder zu dem bekannten „Goldrausch“-Phänomen. Primäres Gold ist demgegenüber häufig an arsenführende Sulfide gebunden und somit besonders gemeinsam mit dem viel häufigeren Arsen anzutreffen. Arsen wird daher auch als „Pfadfinderelement“ zum Auffinden noch nicht bekannter goldführender Gesteine betrachtet. Welche Beziehung besteht aber zwischen diesen beiden chemisch sehr ungleichen Metallen? Wandert Gold in der Erdkruste gemeinsam mit Arsen und Schwefel, um in geeigneten Fällen abgesetzt zu werden, oder haben arsenreiche Sulfide bestimmte Eigenschaften, um gezielt Gold anzureichern?

Pyrit (FeS_2) und Arsenopyrit (FeAsS) sind sehr häufige, natürliche Halbleiter, deren Energielücke zwischen Valenz- und Leitungsband durch Einbau von Fremdatomen herabgesetzt ist. So führt die Substitution von Schwefel durch Arsen in Sulfiden zu sogenannten p-leitenden Halbleitern – das sind Halbleiter mit einem Elektronendefizit, der Ersatz von Arsen durch Schwefel aber zu n-Leitern, die einen Elektronenüberschuß aufweisen. Hochdotierte Sulfide und Arsenide erweisen sich als ziemlich einheitlich in ihrem Leitungsverhalten. Niedrig dotierte Halbleiter neigen dagegen eher zur Ausbildung von Domänenstrukturen, ihre Kristalle enthalten sowohl n- wie auch p-leitende Bereiche.

Die Leitungseigenschaften von Arsenopyrit lassen sich aus analytischen Daten vorhersagen: Arsenopyrit mit atomaren Arsen-Schwefel-Verhältnissen über 1 ist p-leitend, solcher mit Arsen-Schwefel-Verhältnissen kleiner als 1 n-leitend. An den Kontakten zwischen p- und n-leitenden Halbleitern bauen sich durch Austausch von „Löchern“ und Elektronen Raumladungen auf. Wird eine solche Kombination von Halbleitern in einen Elektrolyten getaucht, so finden unterschiedliche Wechselwirkungen zwischen Ionen in der Lösung und den Halbleitermaterialien statt. Die Halbleiter werden zu Elektro-

den und die gesamte Kombination zu einer galvanischen Zelle, bei der der p-Leiter zur Kathode und der n-Leiter zur Anode wird. Dies ist ähnlich wie in den bekannten galvanischen Zellen mit zwei verschiedenen Metallelektroden in einer gemeinsamen Lösung.



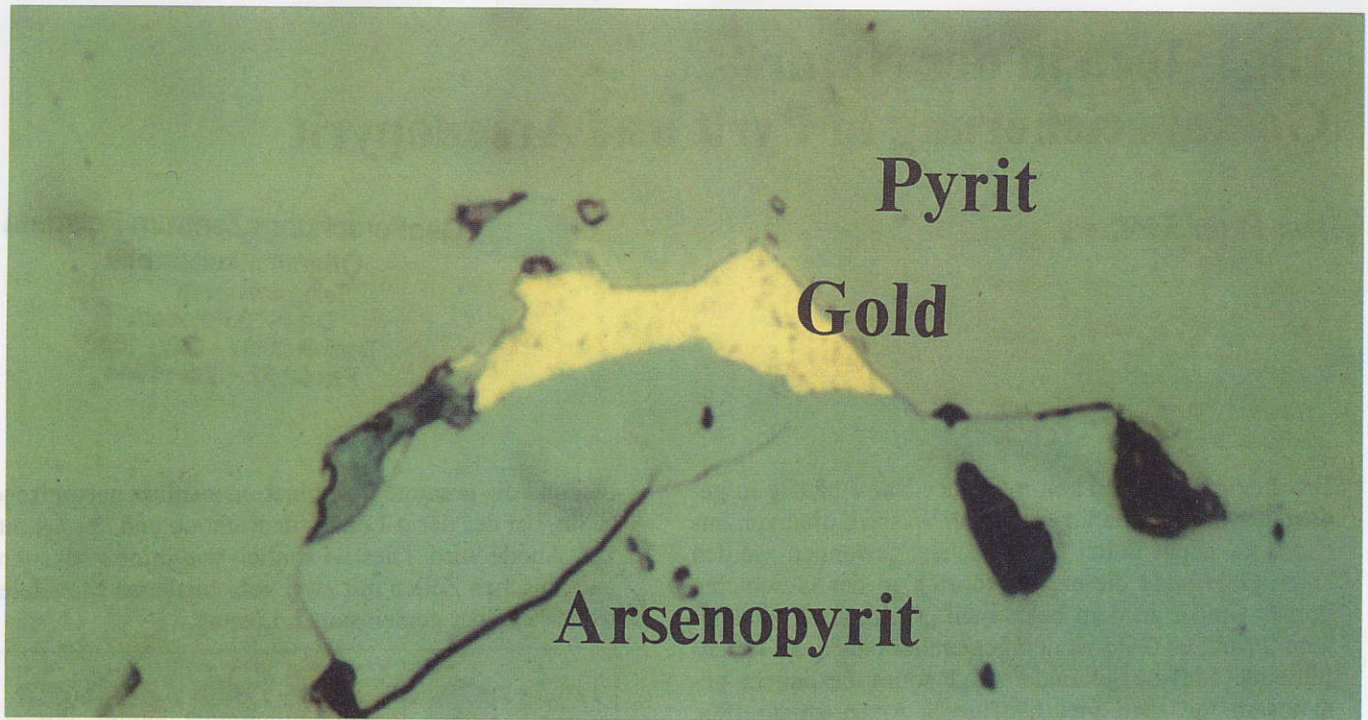
Schematische Erklärung von p-leitenden und n-leitenden Halbleitern. Durch Ersatz von Schwefel durch Arsen wird ein „Elektronenloch“ erzeugt (A). Der Ersatz von Arsen durch Schwefel führt zu einem überschüssigen Elektron (B).

Galvanische Mikrozellen

Da jeder pn-Übergang an der Oberfläche im Kontakt mit Elektrolyten eine kleine galvanische Mikrozelle bildet, ist somit eine Vielzahl von galvanischen Zellen in einem Sulfid-führenden Gestein oder Sediment aktiv. Aus einer goldhaltigen, Hydrogensulfid-gesättigten oder gut belüfteten 1 molaren Kaliumchlorid-Lösung wurde Gold hauptsächlich an den kathodisch wirkenden, p-leitenden Sulfiden abgeschieden. Dieser Prozeß wird durch Oxidationsprozesse an der Anode kompensiert.

Das elektrochemische Verhalten von chemisch zonierten Sulfiden kann im Sinne dieser Ergebnisse gleichfalls erklärt werden. Die Zonierung der Sulfidkristalle etwa durch Variation des Arsengehaltes ist eine hervorragende Basis für die Ausbildung von np-Übergängen, die nach dem Zerbrechen der Kristalle in Folge von tektonischer Überprägung für Fluide zugänglich werden. Die Beobachtung, daß Gold häufig in Mikrofrakturen von Sulfiden abgeschieden wird, ist in guter Übereinstimmung mit der Annahme einer lokalisierten elektrochemischen Abscheidung.

Professor Dr. rer. nat. Peter Möller, Projektbereich Lagerstättenbildung, GeoForschungsZentrum Potsdam



Goldabscheidung an p-leitendem Pyrit im Kontakt mit n-leitendem Arsenopyrit

Der Akkumulation von Gold geht eine spezifische Adsorption an den Sulfidoberflächen voraus. Diese chemische Adsorption kann aber nicht der einzige Grund für die Goldanreicherung an Sulfiden sein, weil in leitend-verknüpften Sulfidanordnungen Gold vor allem kathodisch abgeschieden wird und andere Sulfide mit größeren Bandlücken wie Zinkblende (ZnS) und Bleiglanz (PbS) nur von vernachlässigbarer Bedeutung für die Goldanreicherung in der Natur sind.

In den elektrischen Feldern der vielen galvanischen Mikrozellen wandern Gold-Ionen bevorzugt zu den kathodisch wirkenden Bereichen. Dort wird das Gold an der Oberfläche gebunden und zu Clustern zusammenlaufen. An diesen Clustern findet dann die weitere elektrochemische Abscheidung von Gold statt. Die ungleiche Verteilung von Gold auf den als Elektroden wirkenden Sulfiden zeigt an, daß elektrochemische Prozesse bedeutend sein müssen.

Edelmetalle aus Industrieabwässern

Die chemische Komplexbildung von Gold in der Lösung ist für den Transport des Goldes außerordentlich wichtig und bestimmt die Gesamtkonzentration in der Lösung. Von allen Spezies werden jedoch nur die freien Ionen an der Kathode abgeschieden. Am Ort der Abscheidung sind die Gold-Komplexe insofern wichtig, als aus ihnen durch Dissoziation der Komplexe freie Ionen nachgebildet werden.

Die chemische Ausfällung von Gold hängt von der Übersättigung aller Ionenspezies ab, die in die Goldfällung einbezogen sind. Weil die chemische Komplexbildung für den Transport von Gold sehr wichtig ist, ist es erforderlich, daß bei der chemischen Ausfällung von Gold auch

die Komplexbildner gebunden werden. Daher hat man immer vermutet, daß Goldabscheidung mit Sulfidierungsreaktionen einhergeht. Dies ist auch häufig der Fall. Jedoch beobachtet man, daß sich Gold nicht auf allen vorliegenden Mineralphasen, sondern nur an bestimmten Sulfiden abscheidet. Folglich muß ein dominant wirkender Prozeß für die bevorzugte Anreicherung an den Oberflächen eines bestimmten Sulfides vorliegen.

Die Vielzahl von natürlich vorliegenden galvanischen Zellen, also Kombination von unterschiedlichen Sulfiden oder zerbrochenen, zonar aufgebauten Sulfiden mit ihrer Tendenz zur elektrochemischen Abscheidung von Gold, müssen als große Barriere bei der Verlagerung von Gold angesehen werden. Da Sulfide in Sedimenten sehr häufig vorkommen, kann an ihnen Gold selbst aus gering konzentrierten Goldlösungen abgeschieden werden.

Dieses Verhalten mag auch erklären, warum Goldanreicherung in der Erdkruste sehr häufig sind und besonders dort angetroffen werden, wo Arsen vorkommt. Arsen erfüllt dabei eine eminent wichtige Rolle, indem es für möglichst effiziente Halbleiter sorgt. Arsen ist eines der häufigsten Elemente, die den Leitungstyp von Sulfiden und Arseniden bestimmen. Dies ist der Hauptgrund, warum Gold in der Natur in so enger Verbindung mit Arsen vorkommt. Natives Gold enthält auch einige Prozent Silber, etwas Kupfer und manchmal Wismut. Auch dies sind Elemente, die sich unter den gegebenen Bedingungen elektrochemisch abscheiden lassen. Als mögliche technische Anwendung ergibt sich aus diesen Kenntnissen, daß man Edelmetalle elektrochemisch aus kommunalen und Industrie-Abwässern an Sulfiden abscheiden könnte, sofern letztere dabei nicht zersetzt werden.