

---

**Separat-Abdruck**  
**aus dem Centralblatt f. Min. etc. Jahrg. 1924.**  
**No. 3. S. 66—71.**

---

## Einiges über die geologische Bedeutung der Erscheinungen spontaner Polarisation an elektrisch leitenden Gesteinen.

Von K. Hummel in Gießen.

Praktische Zwecke haben neuerdings wieder die Aufmerksamkeit auf die schon lange bekannte Tatsache gelenkt, daß an gewissen, elektrisch leitenden Erzmassen natürliche elektrische Ströme auftreten. SCHLUMBERGER<sup>1</sup> hat diese namentlich an Kieslagerstätten beobachtete Erscheinung „spontane Polarisation“ genannt; er wertet sie zur geophysikalischen Schürfung auf Erze<sup>2</sup>. Mit der Theorie dieser elektrischen Erscheinungen hat sich in den letzten Jahren namentlich WELLS<sup>3</sup> beschäftigt; in seiner Arbeit ist die ältere Literatur über dieses Thema angegeben. Die geologische Bedeutung, die diesen Erscheinungen unter Umständen zukommt, wird jedoch auch in dieser Arbeit nur flüchtig behandelt, und in unseren lagerstättenkundlichen Lehrbüchern wird diese Frage bestenfalls nebenher erwähnt. Er sei mir daher gestattet, hier auf einige Möglichkeiten hinzuweisen, die sich aus theoretischen Überlegungen über diese Vorgänge ergeben. Wenn die Erscheinungen mehr als bisher Beachtung finden, so werden sich vielleicht Beobachtungstatsachen ergeben, die hierher gehören.

Die Erscheinungen der spontanen Polarisation beruhen darauf, daß gewisse elektrisch leitende Mineralmassen (z. B. Pyrit, Arsenkies, verschiedene Cu-Sulfide, Bleiglanz, Magnetit, Pyrolusit, Graphit u. a.) eine leitende Verbindung zwischen Zonen verschiedener Sauerstoffkonzentration oder verschiedener Azidität, bzw. Alkalinität herstellen. Dadurch entstehen Potentialunterschiede, und zwar wird beim Normalfall, in der Verwitterungszone, stets der obere, im sauerstoffreichen Medium befindliche Pol der leitenden Masse zur Kathode, der untere Pol zur Anode. Es handelt sich also um eine Art von Konzentrationselement; der Strom fließt im metallisch leitenden Erz von oben nach unten, im umgebenden, elektrolytisch leitenden Medium (Grundwasser) von unten nach oben. Daß tatsächlich auf diese Weise meßbare Ströme entstehen, wurde namentlich an Kieslagerstätten verschiedentlich festgestellt.

Voraussetzung für die Entstehung eines derartigen Polarisationsstromes ist einerseits das Vorhandensein einer metallisch leitenden Gesteinsmasse, und zwar in ununterbrochener Kette;

<sup>1</sup> Étude sur la prospection électrique du sous-sol. Paris 1920.

<sup>2</sup> Vgl. auch S. F. KELLY, Experiments in electrical prospecting. Eng. a. Min. Journ. 7. X. 22. p. 623 ff. (Ref. Metall u. Erz. XX. 1923. Heft 15.) — KOENIGSBERGER, Verwendung von elektrischem Strom in der Erde für die Zwecke der praktischen Geologie. Geol. Rundschau. XIV. 1923. p. 164 ff.

<sup>3</sup> Electric activity in ore deposits. U. S. Geol. Surv. Bull. 548. 1914.

Zwischenlagerung isolierender Gangarten (z. B. Quarz, Glimmer usw.) unterbindet natürlich die Erscheinung, ebenso werden vermutlich auch dann Hemmungen eintreten, wenn die einzelnen, metallisch leitenden Mineralkörner nur durch elektrolytisch leitende Bergfeuchtigkeit miteinander in Verbindung stehen; denn in diesem Falle werden in dem elektrolytisch leitenden Zwischenstück bald entgegengesetzte Polarisationserscheinungen auftreten, welche den Gesamteffekt schwächen oder ganz aufheben.

Zweite Vorbedingung für die Entstehung des Polarisationsstroms ist das Vorhandensein von Konzentrationsunterschieden in der Flüssigkeit, welche an den leitenden Körper angrenzt. Daß derartige Konzentrationsunterschiede in der Verwitterungszone vorhanden sind, ist selbstverständlich. Die chemische Wirksamkeit des entstehenden Polarisationsstroms strebt jedoch danach, diese Konzentrationsunterschiede auszugleichen; an der Kathode (oberes Ende) werden reduzierend wirkende Stoffe (Wasserstoff oder Metalle) ausgeschieden, während an der Anode (unteres Ende) Oxydationserscheinungen auftreten. Der elektrische Strom kann also nur dann zu einer Dauererscheinung werden, wenn der ursprüngliche Konzentrationsunterschied durch bestimmte chemische oder physikalische Vorgänge aufrecht erhalten wird; dies geschieht beim Normalfall in der Verwitterungszone dadurch, daß oberflächlich stets frischer Luftsauerstoff zugeführt wird, so daß die reduzierend wirkenden Ausscheidungen der Kathode paralysiert werden, während umgekehrt in der Tiefe der an der Anode frei gewordene Sauerstoff durch die hier vorhandenen oxydierbaren Stoffe aufgenommen wird. In der Regel ist das leitende Erz selbst oxydationsfähig; besteht dieses jedoch aus einer nicht oxydierbaren Substanz (z. B. Pyrolusit), so kann man annehmen, daß auch sonstige, in der Nähe der Anode befindliche oxydierbare Mineralien die Erhaltung des Konzentrationsgefälles bewirken können. Jedoch haben nach SCHLUMBERGER Magnetit- und Pyrolusitlager bisher trotz ihrer Leitfähigkeit keine Spannungsunterschiede erkennen lassen, was wohl mit ihrer geringeren, bezw. ganz fehlenden Oxydierbarkeit zusammenhängt. Neben dem Vorhandensein eines metallisch leitenden Gesteinskörpers ist jedenfalls das Vorhandensein von oxydierbaren Mineralstoffen die wesentlichste Vorbedingung für einen elektrischen Dauereffekt; der Oxydationsvorgang ist die Kraftquelle, aus welcher der elektrische Strom gespeist wird.

Aus dem zuletzt Gesagten ergibt sich schon, worin die geologische Wirksamkeit der spontanen Polarisationsströme in erster Linie besteht. WELLS hat darauf hingewiesen, daß die elektrischen Ströme dieser Art chemische Fernwirkungen vermitteln. Der Luftsauerstoff tritt zwar oben, an der Kathode, neu hinzu, aber in der Tiefe, an der Anode, werden Mineralien oxydiert. Der

elektrische Vorgang wirkt ähnlich und in gleicher Richtung wie die Diffusion, jedoch kommt die elektrische Wirkung noch zur Diffusionswirkung hinzu, die Reichweite des Sauerstoffeinflusses wird also vergrößert. Es ist ohne weiteres klar, daß diese Art von Oxydation nicht am Grundwasserspiegel halt macht, sondern in das Grundwasser hinein reicht, und dies ist einer der Punkte, auf die ich in erster Linie hinweisen möchte. Im allgemeinen wird angenommen, daß die Oxydationszone von Erzlagerstätten nur bis zum Grundwasserspiegel reicht, daß nur ausnahmsweise, durch Diffusion oder durch abwärts gerichtete Strömungen, auch noch unter dem Grundwasserspiegel Oxydationswirkung zu bemerken ist. In der Regel nimmt man an, daß jede beträchtlich unter den Grundwasserspiegel reichende Oxydationszone ein Anzeichen für eine Verschiebung des Grundwasserspiegels sei. Bei elektrisch leitenden Erzen sollte man jedenfalls vorsichtig mit derartigen Schlüssen sein und bedenken, daß auch durch elektrochemische Einwirkung die Oxydation unter den Grundwasserspiegel vorgetrieben sein kann.

Allerdings, auch bei diesem Vorgang ist die Tiefenwirkung nicht unbeschränkt; da nämlich die entstehenden Oxydationsprodukte in der Regel schlechte Stromleiter sind, wird der elektrische Effekt nur so lange andauern können, als noch unzersetzte, leitende Erzmassen in die Sauerstoffzone reichen. Sobald die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung der leitenden Erzmasse überall gleich groß, bezw. überall gleich Null ist, wird kein Potentialgefälle mehr entstehen können, außer wenn vielleicht sonstige Konzentrationsunterschiede einen ähnlichen Effekt hervorrufen. Offenbar kann aber durch die elektrische Einwirkung ein Teil des Erzes auch noch in einer Tiefe oxydiert werden, welche der Sauerstoff allein durch Diffusion oder durch abwärts gerichtete Strömungen nicht mehr erreichen würde. Besonders stark wird diese Tiefenwirkung dann sein, wenn neben dem leitenden Mineral ein anderes, leitendes oder nicht leitendes, leichter oxydierbares Mineral vorhanden ist. Die Oxydationswirkung wird sich dann hauptsächlich auf das leichter angreifbare Mineral beschränken, so daß durch das schwerer angreifbare Mineral der elektrische Stromkreis länger als gewöhnlich geschlossen erhalten bleiben kann. So sind Magnetit, Markasit, Pyrit und Kupferkies widerstandsfähiger als Kupferglanz, Magnetkies oder Bleiglanz<sup>1</sup>.

Während die soeben besprochenen Vorgänge wenigstens andeutungsweise in der Arbeit von WELLS und auch noch an einigen anderen Stellen Erwähnung finden, scheint der Zusammenhang einer anderen geologischen Erscheinung mit elektrischen Vorgängen bisher

<sup>1</sup> Vgl. WELLS, 1914, und GOTTSCHALK u. BUEHLER, *Economic Geology*, V, 1910, p. 28 u. VII, 1912, p. 15.

ganz unbeachtet geblieben zu sein; es sind dies die Kaolinisierungs- und Zersetzungerscheinungen in und bei Graphitlagerstätten<sup>1</sup>. Diese beruhen m. E. wesentlich darauf, daß graphitreiche Gesteine elektrisch gut leitende Körper sind<sup>2</sup>. Wo mehr oder weniger steil stehende Graphitgesteine in die Verwitterungszone hineinreichen, müssen also die geschilderten elektrischen Erscheinungen auftreten. Graphit selbst ist ein nur schwer oxydierbarer Stoff, doch kann er dem Angriff des naszierenden Anoden-Sauerstoffs nicht ganz widerstehen und wird unter dessen Einfluß teilweise zu Kohlensäure zersetzt<sup>3</sup>; daneben sind in den Graphitgesteinen meist noch andere, leichter oxydierbare Mineralien, z. B. Pyrit, vorhanden, welche dazu beitragen können, das Konzentrations- und Potentialgefälle aufrecht zu erhalten. Ob nun die Zersetzungerscheinungen in der Umgebung der Graphitgesteine durch Kohlensäure, Schwefelsäure oder irgend einen anderen Stoff hervorgerufen werden, das soll hier nicht untersucht werden; STAHL hat einige Tatsachen angeführt, welche dafür sprechen, daß in erster Linie Kohlensäure der wirksame Stoff war. Wenn wir die Mitwirkung elektrischer Ströme annehmen, so erklärt dies jedenfalls einerseits die Entstehung von Kohlensäure aus dem an sich schwer oxydierbaren Graphit, andererseits aber auch die auffallende Tiefenwirkung und Intensität der Zersetzung in der Umgebung der Graphitgesteine.

Leider scheint bisher noch nicht untersucht worden zu sein, ob an Graphitlagerstätten tatsächlich spontane Polarisationsströme auftreten; theoretisch ist dies anzunehmen, möglicherweise könnte man diese Ströme sogar zum Nachweis unerschlossener Graphitlagerstätten verwenden. Jedoch kann nur durch praktische Versuche festgestellt werden, ob die Potentialunterschiede auch bei den Graphitgesteinen ebenso wie bei Kiesmassen meßbare Größen erreichen.

Geologische Körper mit metallischer Leitfähigkeit sind in der äußeren Erdkrinde verhältnismäßig seltene Erscheinungen; viel weiter verbreitet sind hier Körper mit elektrolytischer Leitfähigkeit, da alle wassererfüllten Spalten und Hohlräume hierher gehören. Da ein Potentialgefälle durch Konzentrationsunterschiede auch in einer nur aus Flüssigkeiten bestehenden Kette entstehen kann, so ist es theoretisch möglich, daß auch an Grundwasserkörpern verschiedener Art Erscheinungen der spontanen Polarisation

<sup>1</sup> Vgl. STAHL, Die Verbreitung der Kaolinlagerstätten in Deutschland. Archiv. f. Lagerstättenforsch. Heft 12. p. 98 ff.

<sup>2</sup> An einem vollkommen trockenen Handstück von Passauer Graphit konnte festgestellt werden, daß es dem Durchgang eines Stroms von 2 Volt Spannung fast keinen Widerstand entgegensetzte; der Widerstand war parallel wie senkrecht zur Schieferungsebene ungefähr gleich gering.

<sup>3</sup> Vgl. FOERSTER, Elektrochemie wäßriger Lösungen. 3. Aufl. 1922. p. 452.

auftreten, zumal die oberflächennahen Teile des Grundwassers häufig schwach saure, die tieferen Lagen schwach basische Reaktion aufweisen. Jedoch sind die Bedingungen für die Erhaltung des Potentialgefälles in diesen Fällen offenbar weniger günstig als beim Vorhandensein eines metallisch leitenden Erzkörpers. Immerhin mögen manche tief reichenden Zersetzungserscheinungen an grundwassererfüllten Gesteinsspalten<sup>1</sup> vielleicht nicht allein auf Strömungs- und Diffusionsbewegungen, sondern auch auf der Mitwirkung elektrischer Vorgänge beruhen.

Meßbare Polarisationserscheinungen an wassererfüllten Spalten wurden bisher noch nicht festgestellt; jedoch verdient hier die Beobachtung SCHLUMBERGER's Erwähnung, daß an Torflagern meßbare Potentialunterschiede auftreten. SCHLUMBERGER führt diese Erscheinung auf Pyritoxydation zurück, da er in der Nähe des Torflagers Brauneisenausscheidungen beobachtete; jedoch ist dies wohl eine unnötige Annahme, da ja in der Torfmasse selbst genügend oxydierbare Stoffe zur Verfügung stehen. Sicherlich spielt Pyrit in diesem Falle als metallisch leitender Körper keine Rolle, wir haben es hier vielmehr vermutlich mit einer Flüssigkeitskette zu tun<sup>2</sup>. Es ist also nicht ganz ausgeschlossen, daß bei den in vieler Hinsicht noch ungeklärten Zersetzungserscheinungen unter Torfmooren auch elektrische Vorgänge eine gewisse Rolle spielen. Das Wesentliche ist dabei immer, daß der elektrische Strom chemische Fernwirkung vermittelt, daß also z. B. Oxydationsvorgänge auch am Grunde des Torfmoors eintreten könnten, trotzdem der Luft-sauerstoff hier keinen unmittelbaren Zutritt hat.

Noch größere geologische Bedeutung mag den Polarisationserscheinungen in der Magmazone der Erdkruste zukommen, da hier in den Silikatschmelzen Massen mit guter elektrolytischer Leitfähigkeit vorhanden sind. Im Lehrbuch von BOEKKE-EITEL<sup>3</sup> wird darauf hingewiesen, daß Konzentrationsunterschiede in Silikatschmelzen zur Entstehung elektrischer Ströme Veranlassung geben können; diese Ströme können an anderer Stelle elektrolytisch wirken, also Differentiation hervorrufen. Zu beachten ist dabei allerdings, daß, ebenso wie in der Verwitterungszone, Dauerwirkungen nur

<sup>1</sup> Herr Dr. HENKE-Siegen macht mich auf Oxydationserscheinungen an den Siegerländer Spateisensteingängen aufmerksam, die vielleicht hierher gehören.

<sup>2</sup> Herr Dr. STINTZING, Privatdozent für physikalische Chemie in Gießen, welcher die Freundlichkeit hatte, mich bezüglich einiger hier berührter physikalischer Fragen zu beraten, macht mich darauf aufmerksam, daß es sich bei den Potentialunterschieden an Torflagern möglicherweise auch um Wirkungen der Elektro-Osmose handeln könne, also um elektrische Spannungen, die erzeugt werden durch Wasserbewegung in den Torfkapillaren.

<sup>3</sup> Grundlagen der physik.-chemischen Petrographie. 2. Aufl. 1923. p. 42.

dann möglich sind, wenn durch stetige Stoffzufuhr die Konzentrationsunterschiede aufrecht erhalten werden; denn der elektrische Strom strebt natürlich einen Ausgleich der Konzentrationsunterschiede an, er wirkt also am Ort seiner Entstehung der Differentiation entgegen. Man könnte sich jedoch vorstellen, daß an der oberen Grenze der Magmazonen durch Berührung des Magmas mit vadosem Wasser, bezw. Dampf, ähnliche Dauerwirkungen ausgelöst werden wie an der Obergrenze der Gesteinshülle gegen die Lufthülle durch die Berührung mit dem Luftsauerstoff. Die Art und Weise dieser Vorgänge dürfte theoretisch und experimentell nicht leicht zu ergründen sein, jedoch sollte man bei der Beurteilung magmatischer Differentiationserscheinungen den Einfluß elektrischer Vorgänge nach Möglichkeit in Rechnung setzen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Einfluß elektrischer Polarisationserscheinungen an leitenden Gesteinsmassen in seiner geologischen Bedeutung bisher nur ungenügend gewürdigt wurde. An gewissen Erzlagerstätten bewirkt der elektrische Strom eine Vergrößerung der Tiefenwirkung der Oxydation, so daß Oxydationserscheinungen auch unter dem Grundwasserspiegel möglich sind in einer Tiefe, welche der Luftsauerstoff durch Diffusion allein nicht erreichen kann. Graphitreiche Gesteine besitzen ebenfalls metallische Leitfähigkeit; die starken Zersetzungserscheinungen in der Nähe vieler Graphitlagerstätten sind daher vermutlich unter Mitwirkung elektrischer Vorgänge entstanden. Auch bei sonstigen Verwitterungsvorgängen, z. B. unter Mooren, können elektrische Ströme möglicherweise eine Rolle spielen. Bedeutende elektrische Wirkungen sind schließlich in der Magmazonen möglich, da die Silikatschmelzen elektrolytische Leitfähigkeit besitzen.