Zeitschrift: Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft

Herausgeber: Thurgauische Naturforschende Gesellschaft

Band: 31 (1938)

Artikel: Über Vorkommen und Bildung des Pyrites im allgemeinen und im besondern in der thurgauischen Molasse

Autor: Geiger, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-593776

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Über Vorkommen und Bildung des Pyrites im allgemeinen und im besondern in der thurgauischen Molasse

Von **E. Geiger**, Hüttwilen

a. Der Pyrit im allgemeinen

Zu den Prunkstücken der meisten Mineralsammlungen gehört der Pyrit. Diese Vorzugsstellung verdankt er einerseits der Größe und Regelmäßigkeit seiner Kristalle und anderseits dem starken Metallglanz, der so eindringlich an Gold erinnert. Diese Mineralstufen gehören meistens den allerverschiedensten Fundorten an, und damit dokumentiert sich dieses Erz als ein Stoff unserer Erdrinde, der nicht mit Unrecht als Hans in allen Gassen benamst worden ist. Vertreten unter den Fundorten sind in erster Linie die altbekannten Erzlagerstätten vom Harz, vom sächsischen Erzgebirge, von Pribram in Böhmen, von Schemnitz in Ungarn und besonders auch von Siebenbürgen. Natürlich kommen auch außereuropäische Erzgebirge für Pyritstufen in Betracht, aber den Weg in unsere Schulsammlungen haben wohl wenig Stücke dieser Herkunft gefunden. Eine zweite Gruppe von Fundorten bilden die Vorkommnisse aus der Umgebung der tätigen Vulkane, besonders vom Vesuv. Drittens enthalten die vielen geringmächtigen Erzgänge unserer Alpen, besonders in Graubünden und Wallis, den Pyrit. Hier jedoch ist er zumeist in einer Form, die wegen kleiner und dichtgepackter Kristalle kaum für Schausammlungen Gnade findet. Stärker ist dann wieder eine vierte Gruppe vertreten, nämlich jene der Klüfte und Kristallhöhlen in kristallinen Gesteinen, welche von den Strahlern ausgebeutet werden, die speziell auffällige Prachtsstücke den Mineralsammlungen liefern. Das Gotthardgebiet ist ja dafür bekannt, und in Andermatt hat man Gelegenheit, solche Exemplare zu bewundern und zu kaufen.

Hie und da sind auch Pyritdrusen, fast kugelig ausgebildet, in Glaukonitsandsteinen vorhanden. Ich habe selber schon verschiedene Sandsteine dieser Art mit Pyrit aufgeschlagen, oder es sind mir solche aus Geröllhalden vom Säntisgebiet zur Bestimmung gebracht worden. Nach Dr. F. de Quervain führen auch die Echinodermenbreccien der

1.741

Kreideformation den Pyrit, und damit wäre eine fünfte Gruppe von Fundorten als sedimentäre Lagerstätte abgegrenzt. Endlich kämen als sechste Gruppe die Schichten unserer Molasse in Betracht, welche den Pyrit als auffälligen Mineralanteil enthalten.

Was diese genannten Gruppen voneinander unterscheidet, ist vor allem die Verschiedenartigkeit ihres Bildungsbereiches, überhaupt des ganzen Bildungsvorganges mitsamt den reagierenden Stoffen. Damit kommen wir zu der Aufgabe, uns Rechenschaft über die genetischen Zusammenhänge zu geben. Der Pyrit, als sulfidisches Eisenerz in der höchsten gesetzmäßigen Form der Würfel und Pentagondodekaeder und der chemischen Formel $Fe\,S_2$, hat seine atomaren Baustoffe aus dem Innern der Erde, aus jener Zone, wo der gasdurchtränkte Schmelzfluß alle bekannten Mineralien in sich aufgelöst enthält. Die Bewegungen der Erdrinde sind dann manchmal Ursache oder Folge des Emporsteigens des Schmelzflusses oder Magmas in höhere Regionen, wo dasselbe unter andere Druck- und Temperaturverhältnisse gerät und so ein Vorgang einsetzt, den man als Differentiation bezeichnet. Diese Stoffscheidung geschieht nach dem Gesetz der Kristallisation und der Schwere und hat zur Folge, daß ein silikatreicher Anteil in langsamer Abkühlung unter einer Sedimenthülle zum Granitstock oder Massiv erstarrt. Der andere Teil enthält einerseits die kieselsäurearmen, aber schwermetallreichen Stoffe und anderseits die leichtflüchtigen oder leicht destillierbaren Verbindungen. Sobald im erstarrenden Granit darüber Zerrklüfte sich bilden, wandern die gasförmigen Stoffe, beladen mit gelösten Metallen, in jene ab und bringen so die tiefstgelegenen Stoffe in die Nähe der Erdoberfläche. Vereinzelt ist es auch möglich, daß die Restschmelze direkt als Flüssigkeit in die Erdrinde gepreßt wird. Für die riesigen Pyrit- und Kupferkieslager am Rio Tinto wird teilweise diese Bildung angenommen. Die gasförmigen oder pneumatolytischen Metallösungen treten begreiflicherweise als chemisch wirksame Stoffe in Reaktion mit dem umgebenden Gestein; aber auch unter sich selber stellen sich Umsetzungen ein. Nach den Beobachtungen an Auswurfprodukten des Vesuvs machen wohl die Schwermetalle das erste Wegstück aus der Tiefe in Form der leichtflüssigen Chloride; aber wo diese dann mit Schwefelwasserstoff der höheren Regionen zusammentreffen, tritt Fällung nach folgender Gleichung ein:

$$M\,Cl_2 + H_2\,S = M\,S + 2\,H\,Cl$$

M = zweiwertiges Schwermetallatom. Dieser Vorgang ist aber unter bestimmten Bedingungen reversibel; das heißt, er kann auch in

umgekehrter Richtung verlaufen und die Fällung wieder aufheben. Wird aber die entstehende Salzsäure von karbonatischem Gestein neutralisiert, dann ist der Vorgang nur in der Richtung der Fällung und es bilden sich sulfidische Erzgänge. Darum sind die erzreichsten Zonen immer in der Umgebung und im Grenzbereich von Eruptivstock und kalkiger Sedimenthülle. Auf diese Weise sind die Pyritvorkommnisse der erstgenannten Fundortgruppe in ihrer Entstehung zu deuten. Relativ große Massen traten in Reaktion und füllten rasch die Spalten des Nebengesteins, ja verdrängten sogar dieses, indem nach den eintretenden Reaktionen die neugebildeten Lösungen das hier vorhandene Material wegführen konnten. In den Erzadern vom Harz und Erzgebirge ist der Pyrit meist kleinkristallin und mit andern sulfidischen Erzen vergesellschaftet, wegen denen eigentlich der Erzgang angeschlagen wird. Das sind vornehmlich Kupferkies, Zinkblende und Bleiglanz. Als Begleitmineral ist in diesen Gängen oft Quarz vorhanden, was darauf hindeutet, daß in den Minerallösungen dieser Stoff nicht auskristallisiert worden ist, und zwar deswegen, weil vorher die Temperatur noch nicht unter ein bestimmtes Niveau gesunken war. Der Pyrit war in diesen Gängen bei seiner Kristallbildung durch rasche Fällung und Platzbeanspruchung durch die andern Mineralien behindert. Als zweite Fundortgruppe kommt die von der Umgebung der tätigen Vulkane in Betracht. In ihren Ausbrüchen haben wir vor allem das Schauspiel grandioser chemischer und physikalischer Prozesse des Magmas vor uns. In den Auswurfprodukten kann erkannt werden, was besonders an leichtflüchtigen Stoffen dem Magma angehört. Hier, wo der Schmelzfluß die Erdrinde durchbricht, werden besonders die leichtflüchtigen Stoffe entweichen können. Dazu gehören Wasserdampf, Schwefelwasserstoff, Kohlendioxyd, Salzsäure, Chloride und schweflige Säure. Da der Vulkanherd noch nicht der eigentliche Magmaherd ist, sondern meist nur eine Abschnürung desselben darstellt, werden mit den genannten Gasen keine großen Schwermetallmassen emporgebracht. Werden sie bei der Eruption durch die Druckentlastung frei und entweichen sie in die Atmosphäre, so kommt keine Mineralbildung mehr zustande. Bleiben sie aber eine Zeitlang in Hohlräumen oder nehmen sie den Weg durch das Gestein, so werden sie zu Gasquellen oder Fumarolen. Mit den Wandstoffen können die gasförmigen Minerallösungen in Reaktion treten und dann bei Temperaturen um 100° herum neue Mineralien bilden, zu denen auch der Pyrit gehört. Seinen Eisenanteil hat er wahrscheinlich von Eisensulfatlösungen, die mit Schwefelwasserstoff in Reaktion treten und so die Fällung des Eisensulfides erzeugen. Bei diesen Umsetzungen

ist meist auch Wasserdampf im Spiel, so daß dieser Bildungsvorgang als hydrothermal bezeichnet wird.

Eine dritte Fundortgruppe bilden die pyritführenden alpinen Erzgänge. Trotz der starken Erdrindenbewegungen des Zentralalpengebietes und der damit verbundenen Aufstiegsmöglichkeiten, ist dasselbe arm an Erzen. Wohl fehlt es nicht an Erzgängen; aber ihre Mächtigkeit ist so gering, daß die meisten Bergbau-Unternehmungen trotz hoffnungsvollen Anfängen immer wieder eingegangen sind. Diese Erzarmut bildet wohl einen Hinweis darauf, daß im Verlauf der Deckenbewegungen kaum Material des Magmas in den Dislokationsbereich kam, und die meisten Forscher, die sich mit der Genesis der Erzgänge beschäftigt haben, neigen zu der Ansicht, daß diese schon aus der Zeit der herzynischen Gebirgsbildung stammen, also aus der Zeit der Gotthard- und Aarmassivintrusion. Allerdings haben wir noch Zeugen magmatischer Tätigkeit aus diesem Abschnitt der Erdgeschichte. Es ist das die Intrusion der Bergellergranite und die Einstreuung von vulkanischem Tuff in die Flyschablagerung, welcher heute in Form des Taveyannazsandsteines vorliegt; aber nirgends ist ein Zusammenhang zwischen Erzgängen und diesen Erscheinungen festzustellen. Im Avers haben wir eine ziemliche Häufung der Erzgänge, und zwar befinden sie sich dort, wo die Dolomitmassen mit dem Eruptivgesteinskörper des Rofnaporphyrs zusammenstoßen. Ähnlich liegen die berühmten Minerallagerstätten des Binntales an der Grenze von Dolomit und Kristallin. Die Erzgänge des Kesch- und Juliergebietes stehen nach Cornelius mit der Juliergranitintrusion im Zusammenhang. Er ist der Ansicht, daß die primäre Vererzung der Alpenfaltung vorausgegangen ist; dasselbe gilt sicher auch für die Kupfererzgänge am Mürtschenstock. Dort sind in den Verrukanoschichten Eruptivgesteinsmassen eingelagert, die Zeugnis von magmatischer Tätigkeit ablegen und in deren Gefolge sich auch Minerallösungen einstellten. Natürlich hat die Durchbewegung der Gesteinsmassen beim Deckenschub in feinsten Klüften den Lösungen Wege bereitet. Von ihnen stammen wohl die schönen Pyritwürfel in den grünlichen Sericitschiefern bei Tamins. Trotzdem man das Eisenerzlager am Gonzen nicht eigentlich zu den Erzgängen rechnen kann, weil mehr Beweisgründe für sedimentäre Entstehung sprechen, möchte ich diese Lagerstätte hier erwähnen; denn es kommen am Rande des Erzkörpers Pyritdrusen vor. Auf den ersten Blick könnten diese auf Erzgangbildung hinweisen; aber wahrscheinlicher ist, daß es sich um Kluftmineralbildung handelt. Allgemein ist der Pyrit in den Erzgängen unserer Schweizeralpen

im Verhältnis zu den andern Erzmineralien nicht von großer Bedeutung und in seinen Kristallformen zu wenig individuell und groß entwickelt, so daß von ihm recht wenig Stufen in den Sammlungen vorhanden sind.

Die vierte Gruppe von Pyritfundorten umschließt diejenigen der alpinen Mineralklüfte. Nach J. Königsberger, dem besten Kenner dieser Minerallagerstätten, treten solche fast in allen Gesteinsarten auf, und nach seinen Beobachtungen sind diese durchwegs jünger als die Alpenfaltung. Es ist verständlich, daß in den Gesteinsklüften die eigentlichen Erzmineralien viel weniger zu finden sind. Wenn sie aber auftreten, so ist anzunehmen, daß sie ihr Baumaterial von einem kleinen Erzgang her haben, welcher in der Nachbarschaft der Kluft schon vor der Alpenfaltung bestand. Der Bildungsbereich in einer Gesteinshöhle gewährt den eintretenden Minerallösungen genügend Raum, so daß sich oft sehr schöne und große Kristalle bilden können. In den Sammlungen sind vor allem Stufen aus Sella- und Fibbiagneis am Gotthard. Von den primären Erzgängen des Binntaler Dolomites sind auch Klüfte und Höhlen des Gesteins sekundär mit Pyrit besetzt worden. Cornelius erwähnt besonders auch ein Quarzgestein im Juliergebiet, das ganz von Pyritkristallen durchsetzt ist und deren Baumaterial aus Erzgängen des Nairporphyres stammt. Im allgemeinen ist also diese Pyritbildung nichts anderes als eine Stoffwanderung. Das Material wird durch Wasser und Kohlensäure unter Mitwirkung anderer Mineralisatoren im voralpinen Erzgang abgebaut, dann im gelösten und kolloidalen Zustand transportiert, um in der Kluft zur Ausscheidung zu gelangen. Daß diese Stoffe durch das Gestein wandern können, ist durch vielerlei Beobachtungen von Grubenmann bei der Mineralneubildung kristalliner Schiefer und auch von deutschen Geologen bestätigt worden. Nach deren Schilderung ist von einem Salsztock aus das kompakte Nebengestein bis auf sechs Kilometer Entfernung mit Salz imprägniert worden. Daß die Durchlässigkeit durch die starke mechanische Beanspruchung bei der Deckenbildung der Alpen erhöht worden ist, wird jedem begreiflich erscheinen. Kohlensäure und Wasser als wichtigste und sicher immer vorhandene Agentien vermögen das Eisen in bikarbonatischer Lösung zu transportieren. Auf welche Weise der Schwefel herbeigeschafft und nachher wieder reaktionsfähig zum Aufbau des Pyrites wurde, ist noch nicht bekannt. Nebenbei soll hier nur erwähnt werden, daß eine Mineralquelle aus dem erzadernreichen Gebiet von Andeer neben Ca, Mg besonders Sulfat und Hydrokarbonationen enthält. Möglicherweise könnte auch eine

Stoffwanderung über den Alunit $(SO_4)\ K_2 \cdot 3\ (SO_6)\ Al_2 \cdot 6\ H_2O$ stattgefunden haben, weil dessen Komponenten zur Bildung im Gestein vorhanden waren.

Als fünfte Fundortgruppe kommen die Glaukonitsandsteine der Kreideformation in Betracht. Im Dünnschliff derselben erscheinen oft Pyritkristalle in einzelnen Individuen, würfelförmig ausgebildet von 0,2 mm Durchmesser. Hie und da findet man, wie schon erwähnt, kugelige Kristalldrusen von 1—2 cm Durchmesser. Dieser Bildungsbereich ist nicht mehr mit aufsteigenden Minerallösungen oder schon vorhandenen Erzgängen in Beziehung zu bringen. Hier müssen wir für die Aufbaustoffe des Pyrites andere Quellen aufdecken. Für den Eisenanteil wird das nun nicht schwer, weil in nächster Nähe das Mineral Glaukonit vorhanden ist. Nach der chemischen Zusammensetzung handelt es sich hier um ein wasserhaltiges Kaliumeisensilikat. F. de Quervain schreibt in seiner Arbeit: „Sandsteine und Echinodermenbreccie der Kreidestufe", daß der Pyrit sogar als Einschluß im Glaukonitkorn auftritt. Dann muß dieser Pyrit gleichzeitig mit dem Glaukonitmineral gebildet worden sein. Über die Glaukonitbildung ist schon ziemlich viel geschrieben worden; aber die Meinungen sind noch geteilt. Die Beobachtungen der Bildungsvorgänge sind ziemlich schwierig, da der Bereich in der Tiefe des Ozeans ist. Dort läßt sich die Entstehung des Pyrites nach folgender Auffassung erklären: In den obern Schichten des Meerwassers, zum Beispiel des Schwarzen Meeres, herrscht ein reges Tierleben. Die Leichen dieser Tiere, namentlich die Mikroorganismen, sinken ständig zu Boden. Schon auf ihrem Wege entziehen sie dem Wasser durch das jeder organischen Kohlenstoffverbindung eigenen Oxydationsbestreben allen darin gelösten Sauerstoff. Da nun das Wasser des Schwarzen Meeres sich in der Tiefe niemals erneuert — denn der Ausfluß durch den Bosporus ist ganz flach —, so herrscht schon von 190—240 m Tiefe an ein völlig sauerstofffreies Wasser, das durch hohen Gehalt an halbzersetzten organischen Stoffen sogar ein starkes Reduktionsvermögen besitzt. Dadurch werden die in Lösung befindlichen SO_2-Ionen reduziert, und der entstehende Schwefelwasserstoff wird noch vermehrt durch den Schwefelgehalt der niedersinkenden Organismen. Anerobe Schwefelbakterien sammeln den Schwefel in Form mikroskopischer, fast submikroskopischer Kügelchen in sich auf, und am Boden setzt sich ein schwefelhaltiger und von Schwefelwasserstoff durchsetzter, zäher, schwarzer Schlamm ab. Alle im Wasser enthaltenen oder aus den Silikaten des Sedimentes durch Hydrolyse verfügbar werdenden Schwermetallionen werden dadurch sofort als Sulfide ausgefällt und liegen feinverteilt

im Schlamm. Fast ausschließlich ist das ausgefällte Schwermetall Eisen, und damit ist die Pyritbildung gegeben. Möglicherweise vollzieht sich in diesem gleichen Bereich auch die Glaukonitbildung. Daß die mikroskopisch kleinen Pyritkriställchen zu größeren Kristallen und besonders zu Kristalldrusen sich entwickeln, ist ein Vorgang, der am ehesten an Hand der analogen Vorgänge der Konkretionenbildungen zu erklären ist. Wie allgemein bekannt, liegt auf den Jurakalken in Vertiefungen und Taschen ein roter Lehm als Verwitterungsüberrest eisenreicher Schichten. In diesen eingebettet findet man Eisenerzkügelchen und -Klümpchen in allen möglichen Größen als sogenanntes Bohnerz. Die Struktur dieser Körner zeigt, daß sie aus einem winzigen Korn gewachsen sind. Es haben sich gleichmäßig Erzteilchen ringsherum angelagert. Ähnliche Erscheinungen zeigen sich in staubfeinen Lößablagerungen als kalkige Konkretionen oder Lößkindel. Auch in den Kalksteinen findet man gelegentlich Kieselknollen, die auf gleiche Weise gebildet worden sind. Aus der ganzen Erscheinung einer solchen Stoffwanderung und Strukturänderung ist zu schließen, daß es sich nicht um einen rein chemischen Vorgang handelt, sondern mehr um einen physikalisch-chemischen aus dem Gebiet der kolloidalen Teilchen. In diesen Stoffsystemen mit Teilchen im Größenbereich von etwa 20 μ und ihren recht verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften, macht sich nun die Oberflächenspannung als höchst wirksame Kraft geltend. Sie ist um so größer, je kleiner das Korn ist. Sie kommt um so mehr zur Geltung, je stärker sich das Verhältnis von Volumen und Oberfläche zu diesem hin verschiebt. Viele feinkörnige Sedimente sind besonders während ihrer Bildung ein Gemisch feinster, verschiedener Teilchen, und diese mechanische Vermischung ungleicher Stoffteilchen bedingt eine Störung des chemisch-physikalischen Gleichgewichtes. Es besteht darum die Tendenz, aus diesem Zustand herauszukommen. Stoffteilchen von hoher Oberflächenspannung zeigen großen Widerstand gegenüber fremden Teilchen und das Streben, von diesen wegzukommen und sich mit ihresgleichen zusammenzuschließen. Ist dieser Zusammenschluß erreicht, so bedeutet das Volumvergrößerung und damit Herabsetzung der Oberflächenspannung und Verminderung des Ungleichgewichtes. In diesem Kräftespiel von Oberflächenspannung, Kristallisationskraft, Löslichkeit und elektrischen Ladungen kommt den einen Stoffteilchen mehr von der einen und den zweiten mehr von der andern Energie zu, so daß es sehr schwer wird, die einzelnen Phasen des Zusammenwirkens auseinanderzuhalten. Zeitlich und räumlich spielen sich

diese Vorgänge in fast unvorstellbaren Grenzen ab. Zeitlich deshalb, weil Tausende von Jahren in Betracht fallen, und räumlich, weil sie im Bereich von Bruchteilen eines Millimeters vorkommen. Jedes disperse Stoffsystem, und dazu gehören vor allem die feinkörnigen, im Entstehen begriffenen Sedimente oder Schlammabsätze, hat die Tendenz, sich zu entmischen, wenn der Unterschied der Oberflächenspannungen seiner Komponenten groß genug ist. Als eine solche Entmischung ist nun auch die Bildung von Pyritdrusen in den Glaukonitsandsteinen anzusehen, überhaupt alle die bereits genannten Konkretionsbildungen. Eine Entmischung bedeutet aber in erster Linie eine Stoffwanderung, die eben durch die erwähnten unterschiedlichen, molekularen Kräfte bedingt ist. Als Transportmedium muß kapillar verteiltes Wasser und mit diesem in Verbindung auch Tonsubstanz angenommen werden. Diejenige Komponente, die sich sozusagen unverändert zwischen Glaukonit-, Quarz-, Kalk- und Tonteilchen hindurchgearbeitet hat, haben wir in den Pyritkriställchen, die vermöge der großen Kristallisationskraft ihrer Moleküle größte Oberflächenenergie neben geringer Löslichkeit und Adhäsion, also einen beträchtlichen Energieüberschuß aufweisen.

b. Der Pyrit in der thurgauischen Molasse

Diese sechste Fundortgruppe soll nach Lokalitäten etwas eingehender behandelt werden. Wirtschaftliche Interessen sind es allerdings nicht, die damit in Zusammenhang gebracht werden können, weil der Erzgehalt der pyritführenden Schichten weit unter aller Abbauwürdigkeit steht; aber vom heimatkundlichen Standpunkt aus wird man der Angelegenheit gerne etwas Interesse entgegenbringen. So wie der Pyrit im allgemeinen innerhalb unserer engern Heimat vorkommt, ist er noch nicht eigentlich zum Museumsstück prädestiniert. Allerdings sind nach den Angaben von Dr. H. Wegelin, dem unermüdlichen Betreuer der naturkundlichen Sammlung unseres thurgauischen Museums, von Bichelsee Pyritknollen in der Mineraliensammlung, wobei er noch erwähnt, daß am Fundort gegen 10 kg davon gesammelt worden seien, weil die Leute glaubten, es handle sich um wertvolles Erz. Als Muttergestein wird blauer Mergel im Zusammenhang mit Kohle genannt. Auch von Fischingen und Kalchrain werden Pyritfunde in blaugrauen Mergeln gemeldet. Die Entdeckung dieser Fundstellen steht zweifelsohne mit dem Aufsuchen nach abbauwürdigen Kohlenschichten im Zusammenhang; denn auch der Verfasser der Kohlenmonographie in den Beiträgen zur

Geologie der Schweiz, Dr. E. Letsch findet die genannten Fundorte erwähnenswert. A. Gutzwiller, der in Lieferung 19 der Beiträge zur Geologie der Schweiz die erste zusammenfassende geologische Beschreibung unseres Kantons gibt, erwähnt den Pyrit nur als vermutliches Ausgangsprodukt der gebildeten Eisenhydroxydrinde um unbestimmbare Fossilien. Die vorhin genannten Pyritfundorte sind mir erst bei der Zusammenstellung der eigenen Resultate und der Durchsicht der zugehörigen Literatur bekannt geworden. Es ist mir dadurch leider unmöglich, sie etwas eingehender zu schildern; ich verweise aber auf die Arbeit von Dr. H. Wegelin in Heft XXVI der Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 1926. Das Interesse für Kohlenfundstellen, wie es in den achtziger Jahren und dann noch einmal während des Weltkrieges wach gewesen war, ist nachher fast ganz verschwunden, und andere Forschungsziele stellten sich bei den Molasseuntersuchungen in den Vordergrund, bei denen dann der Pyrit an neuen Fundstellen entdeckt wurde. Eines dieser Ziele ist die Durchforschung unserer Molassesandsteine nach dem Gehalt an Schwermineralien. Begreiflich muß dabei der Pyrit mit seinem spezifischen Gewicht 5 in diesen Beobachtungskreis kommen. Zum erstenmal habe ich den Pyrit gesichtet, als ich Sande des Eggmühletobels in der Waschpfanne behandelte und den Rückstand an Schweremineralien unter dem Mikroskop hatte. Die Probe stammte vom tiefsten Aufschluß, etwa 200 m südlich der Straßenbrücke oberhalb Mammern, wo über blaugrauem Mergel ein glimmerhaltiger, kalkarmer aber mit kohliger Substanz imprägnierter Sandstein liegt. In dieser Probe bildete neben dem üblichen Granat und Magnetit der Pyrit den Hauptbestandteil der schweren Mineralien. Die Würfel von weniger als 0,1 mm Kantenlänge sind zu Drusen aggregiert, die 3—4 mm Durchmesser haben. Manchmal sitzen diese auch einem Quarzkorn oder einem Kohlensplitterchen auf. Während nun die andern Schweremineralien gerundete oder bruchstückartige Formen aufweisen und so auf Einschwemmung und Bildung in ganz andern Bereich hindeuten, zeigen die scharfkantigen Pyritkriställchen an, daß sie erst während und nach der Sedimentation am Fundort selber entstanden sind. Der frische Glanz ihrer Kristallflächen zeugt ebenfalls dafür, daß sie nicht eingeschwemmt worden sind. Im Gegensatz zu allen andern Schweremineralien ist der Pyrit eine Neubildung im Sandstein; er ist autigen.

Die zweite pyritführende Probe stammt vom Ausgang des Ibentobels, wo ebenfalls ein graublauer glimmerhaltiger Sandstein ansteht, der aber nicht im gleichen Horizont wie der vom Eggmühle-

tobel ist. Die Höhendifferenz beträgt rund 100 m. Wichtig ist auch hier die imprägnierende Kohlensubstanz und die darüberliegende von Muscheln durchsetzte Sandsteinschicht. Bildungsfaktoren und Mengenverhältnis des Pyrites sind ähnlich wie im Eggmühletobel. Eine dritte pyritführende Schicht liegt zwischen den Glimmersandsteinen im Hohlweg zum Schloß Hohenklingen hinauf. Diese Schicht ist ein kalkarmer blaugrauer Sandmergel, in welchem der Pyrit in Drusen von 0,2 mm Durchmesser den Hauptanteil an schweren Mineralien hat. Anwesenheit von Kohlenpartikeln und Überlagerung von muschelführender Sandsteinschicht stellen die Pyritbildungen hier unter gleiche Bedingungen. Weniger deutlich wird das bei dem weitern Fundpunkt im Tobel südlich Ermatingen, welches sich vom Schloß Hard in östlicher Richtung zieht. Vor der Umbiegung nach Süden kommt in einem Anriß ein schwärzlicher Sandstein mit Kohlenband zum Vorschein, welcher den Pyrit enthält. Die weitern Sandsteinuntersuchungen ergaben noch zwei Stellen, wo schwarzer Sandstein pyrithaltig ist, und zwar eine am Wellenberg, wo zwischen Wellhausen und Untergriesen das Wallerholztobel einen Abriß auf halber Höhe aufweist. Zwischen den Nagelfluhschichten nördlich vom Dorf Engwilen ist schwärzlicher Sand eingelagert, welcher bei der Abtrennung der schweren Mineralien ebenfalls Pyrit zum Vorschein kommen ließ. Man könnte bei diesen pyritführenden Sandsteinschichten fast auf den Gedanken kommen, einen Leithorizont zu vermuten; leider aber sprechen Höhenlage, Liegendes und Hangendes dagegen. Es ist das ja auch bei den Kohlenhorizonten nicht der Fall. Im Gebiet der thurgauischen Molasse könnten die hier genannten Fundorte möglicherweise durch weitere Probeentnahmen noch um einige vermehrt werden; aber es wäre auch dann noch ein verschwindend kleiner Anteil an den über 300 bereits durchgeführten Schweremineralanalysen, die keinen Pyrit aufweisen. Es ist völlig ausgeschlossen, daß er in diesen der Beobachtung entgangen sein sollte. Ein anderes sedimentpetrographisches Untersuchungsverfahren, das zuerst bei Sandsteinen angewendet und dann auch auf die Mergel ausgedehnt wurde, war die Karbonatbestimmung. Da wird aus 10 Gramm Probesubstanz im lufttrockenen und zerriebenen Zustand durch 10prozentige Essigsäure der $Ca\,CO_3$ Anteil extrahiert und aus 10 Gramm der gleichen Probesubstanz mit 10prozentiger Salzsäure Kalk und Dolomit entfernt und die prozentualen Anteile berechnet. Der Rest, bestehend aus Tonteilchen und Quarzkörnern, wird noch weiter behandelt, indem durch Schlämmen eine Körnerfraktion zum Vorschein kommt, aus der schließlich als winziger

Rückstand die Schweremineralien erhalten werden. Natürlich ist dieser Rückstand bei den Sanden bedeutend größer; aber auch bei den Mergeln kann festgestellt werden, daß noch Schweremineralien vorhanden sind und was hier besonders wichtig ist, der Pyrit kann gesichtet werden. Nun sind die Mergel nicht eine einheitliche Gesteinsart. Man muß bei ihnen eine ganze Serie von Typen auseinanderhalten, wobei erst noch mit allen möglichen Übergängen zu rechnen ist. Vom Süßwasserkalk ausgehend, kommen wir zuerst zu den weißgrauen Kalkmergeln. Von diesen sind Übergänge zu den rötlichgelben und rötlich-violetten, dann von diesen einerseits zu den plastisch gelben, grünen und bläulichen und anderseits zu den kohlig grauen und braunen, bituminösen. Mit zunehmendem Sandgehalt schließen sich die karbonatreichen und karbonatarmen Sandmergel an. Die Untersuchung dieser verschiedenen Mergeltypen auf schwere Mineralien ließ noch der Hoffnung Raum, daß sie in bezug auf diese Charaktermerkmale sich unterscheiden würden. Die 40 Resultate haben aber bewiesen, daß es mit dieser Differenzierung nicht weit her ist. Alle Mergeltypen haben in vereinzelten Proben gelegentlich ein Pyritkorn enthalten.

Das Augenfälligste ist die Tatsache, daß die plastischen, und zwar ausnahmslos die blaugrauen Mergel eigentlich pyritführend sind, und zwar das Mineral im Vergleich zu andern Schweremineralkörnern sehr reichlich enthalten. Einzelkristalle von 0,2—0,3 mm und Drusen von 0,5 mm sind nicht selten. In den fünf Proben der kohlig schwarzgrauen Mergel war keine Spur von Pyrit zu finden; dagegen weisen zwei Proben von insgesamt sechs des Bitumenmergels Pyritkristalldrusen auf. Ein gelbgraubröckeliger Mergel in 530 m Höhe des Eggmühletobels führt den Pyrit in winzigen Drusen von 0,1 mm Durchmesser. Die Einzelkriställchen sind von der Größenordnung 0,01 mm. Der graublau, plastische Mergel im Steineggertobel enthält Pyritwürfel von 0,3 mm Kantenlänge mit schönen metallglänzenden Flächen. Im Debrunnertobel am Niederwieseck ist der Pyrit auch in helleren kalkigen Mergeln enthalten. Die übrigen untersuchten Mergelproben stammen aus dem Klingenberger-, Gschmell-, Emrig- und Mühlbergertobel; dann weitere vom Hundsrück und Aumühletobel und vom Stettfurter Abriß. Nichts deutet darauf, daß irgend eine regionale Abgrenzung der pyritführenden Stellen möglich ist. Einzig und allein ist es das umschließende Gestein, und zwar in diesem Falle der blaugraue plastische Mergel, in welchem die Bildungsfaktoren stecken müssen.

Nun haben wir in den glazialen Ablagerungen ähnliches Material

in den blaugrauen Ziegeleitonen, wie sie bei Wertbühl und auch andernorts abgebaut werden, und es interessierte mich besonders, ob bei gleicher Behandlung solcher Proben auch Pyrit zum Vorschein käme. Die Untersuchung ergab unter den Körnern glasklaren Quarz, rötliche, bräunliche und grünliche Quarzitkörner, vereinzelt Magnetit und Epidot, aber keinen Pyrit. Der Grund dafür mag vielleicht darin liegen, daß der Zeitraum von der Ablagerung bis in die Gegenwart zur Bildung von erkennbaren Kriställchen zu klein war. Er läßt sich ja kaum mit dem Alter der Molassemergel vergleichen, wo es sich um Millionen Jahre handelt.

Bei den Erörterungen über die Bildungsvorgänge des Pyrites in der Molasse muß zunächst auf die eigentümliche Tatsache hingewiesen werden, daß in den Sandsteinen der Pyrit nur dort vorkommt, wo kohlige Substanz eingelagert ist, während unter den Mergeltypen gerade die kohleführenden schwarzen Mergel pyritfrei sind. Worin die Ursache zu dieser Erscheinung zu suchen ist, wird aus der weitern Diskussion hervorgehen.

Für die relativ kleinen Mengen von Pyrit wird es nicht schwer sein, die Herkunft des Eisens als dem einen Bauelement anzugeben. Alle unsere Sandsteine und Mergel enthalten es in der Form von Magnetitkörnchen Fe_3O_4, dann als Limonit $Fe_2(OH)_3$ und schließlich auch in Lösungen als Eisenhumat, als Eisenbikarbonat $FeH_2(CO_3)_2$ und Eisensulfat. Der Schwefel als zweites Bauelement ist natürlich nicht vulkanischen Ursprungs wie bei den Erzgängen, sondern er stammt aus pflanzlichen und tierischen Lebewesen, die bei der Sedimentbildung in den Ablagerungsbereich geraten sind. Der Vorgang der Verwesung hat unter Mithilfe der Fäulnisbakterien die hochmolekularen Eiweißstoffe zu einfacheren Verbindungen abgebaut. Da besonders das tierische Eiweiß Schwefel enthält, muß als solches Abbauprodukt auch der Schwefelwasserstoff entstehen. Für dieses chemisch sehr wirksame Agens bestehen dann folgende Umsetzungsmöglichkeiten: Erstens kann der Schwefelwasserstoff in Berührung mit den oben genannten Eisenhumat- und -bikarbonatlösungen geraten, so als Eisensulfid ausgefällt und zu Pyrit umkristallisiert werden. Zweitens ist es auch möglich, daß er zum Lebensprozeß der Schwefelbakterien benötigt wurde und unter Ausnutzung seiner Verbrennungsenergie sich die Umsetzung nach folgender Gleichung vollzog:

$$2\,H_2S + 2\,O = 2\,H_2O + 2\,S$$

Der Schwefel sammelt sich in ihrem Zelleib zu Tröpfchen, und nach dem Absterben werden diese zu Schwefelsäure oxydiert.

$$S_2 + 3\,O_2 + 2\,H_2O = 2\,H_2SO_4$$

Diese Schwefelsäure wird bei Anwesenheit von Karbonat umgesetzt, so daß $Ca\ SO_4$ oder $Fe\ SO_4$ sich bilden. Ihre stark unterschiedliche Löslichkeit läßt die beiden Stoffe verschiedene Wege gehen. Bei den Mergeln, wo ja die Tonsubstanz einen wichtigen Bestandteil ausmacht, ist noch der Faktor in Rechnung zu setzen, daß Kalium adsorbtiv festgehalten wird und es unter Umständen zur Bildung von $K_2\ SO_4$ oder von Alunit $K_2\ SO_4 \cdot Al_2\ (SO_6)_3$ kommen kann. Alaunschiefer, welche diese Mineralien enthalten, sind aus pyritreichen Schlammabsätzen entstanden. Ist aber einmal der Schwefel in diese Sulfate übergegangen, so wird er unter normalen Bedingungen kaum mehr für nochmalige Pyritbildung in Betracht kommen. Aus diesem Grunde läßt sich möglicherweise erklären, warum in bestimmten Mergeln kein Pyrit erscheint, da eben die Anwesenheit des Kaliums zur direkten Alaunbildung führt.

Wo der Pyrit in den Molassesandsteinen vorkommt, ist er an jene gebunden, welche kohlige Substanz enthalten. Diese Kohle spielt aber hier nicht die Rolle des Schwefellieferanten; der Schwefel stammt eher aus den darüberliegenden Fossilhorizonten, wo der entstehende Schwefelwasserstoff im Wandern durch das porenerfüllte Gestein sich oxydiert und mit limonitischem Eisen zur Eisensulfatlösung umsetzt. In Berührung mit den Kohleteilchen beginnt der Reduktionsprozeß, der schließlich aus dem Eisensulfat den Pyrit entstehen läßt. Da die Pyritkristalle den Kohlenteilchen aufsitzen, ist eine Bildung von außen her wahrscheinlicher.

Geht man von dem Standpunkt aus, daß organische Stoffe Schwefellieferant sein müssen, so wären unter den Mergeln die bituminösen diejenigen, welche am meisten Pyrit enthalten sollten. Daß dem nicht so ist, kann durch folgende Überlegungen erklärt werden: Dieser Mergeltyp ist meist noch ziemlich sandreich, so daß Lösungen und Kolloide viel weniger in ihren Bewegungen gehemmt sind und damit Abwanderung der Stoffe und Wiederauflösung erleichtert werden. Nach den gemachten Beobachtungen sind in den eigentlich kohligen Mergeln gar keine Pyrite gesichtet worden. Einmal ist die kohlige Substanz schon als solche eingelagert worden, so daß keine Eiweißzersetzungsstoffe geliefert werden können, besonders auch deshalb nicht, weil im pflanzlichen Eiweiß der Schwefelgehalt viel geringer ist. Dann darf auch hier nicht vergessen werden, daß der Kalk die zirkulierende Schwefelsäure neutralisiert und sie der Pyritbildung und Reduktion entzieht. Sande und Mergel, in welchen der Pyrit reichlich vorkommt, sind kalkarm. Von allen Mergeltypen erfüllen die blaugrau plastischen am besten die Be-

dingungen zur Pyritbildung. Einmal sind die beiden Ausgangsstoffe in genügender und dicht verteilter Menge vorhanden. Innerhalb kleinster Distanzen kann die Umsetzung über den Schwefelwasserstoff zum Pyrit sich vollziehen, und nach Bildung kleinster Kriställchen kann die Sammelkristallisation einsetzen. Dieser Vorgang wird weit eher das Feld beherrschen als der der chemischen Lösungswanderungen. Zum Unterschied mit den meist stabilen Schweremineralien unterliegt der Pyrit vor allem den Verwitterungsumwandlungen. Sobald Wasser und Sauerstoff ihn erreichen, wird er von außen nach innen in Limonit umgewandelt; er verrostet. Diese Erscheinung ist besonders im Dünnschliff zu beobachten, wo der Pyrit zum akzessorischen Bestandteil eines Gesteines gehört und im Querschnitt zu sehen ist. Welches Schicksal er in den Alaunschiefern durchmacht, ist ja bereits erwähnt worden. Eine Umlagerung des pyritführenden Sedimentes, wie das bei den Schweremineralien wohl mehrmals der Fall ist, wird ihn kaum bestehen lassen.

Der Pyrit in den Sedimenten ist ein Beispiel dafür, wie im Bereich der von Temperatur und Druck fast unberührten Schichten eine Stoffumwandlung und Mineralneubildung sich vollziehen kann, wo neben biochemischen Vorgängen auch jene Kräfte aus dem Grenzbereich von Physik und Chemie aus dem Gebiet der kolloidalen Teilchen mitmachen.

Literatur

Berg Georg: Vorkommen und Geochemie der mineralischen Rohstoffe. Leipzig 1929.

Gutzwiller und Schalch: Geologische Beschreibung der Kantone St. Gallen, Thurgau und Schaffhausen. Beitrag zur geologischen Karte der Schweiz. Bd. 19. 1883.

Letsch E.: Die Schweiz. Molassekohlen östlich der Reuß. Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotech. Serie. 1. Lief. 1899.

Niggli P.: Lehrbuch der Mineralogie 1920.

De Quervain F.: Sandsteine und Echinodermenbreccie der Kreidestufe. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. Bd. 11. Heft 2. 1931.

Königsberger J.: Granitintrusion und Kluftmineralien. Schweiz. Miner. Petr. Mitt. Bd. VIII, Heft 1, 1938.

Cornelius H. P.: Geologie der Err-Julier-Gruppe. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz. N.F. 70. Lief. 1935.

Wegelin H.: Mineralische Funde im Thurgau. Mitt. der Thurg. Naturf. Ges. XXVI. Heft. 1925.

Wilhelm O.: Geologie der Landschaft Schams. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz. N.F. 64. Lief. 1932.