

Aus dem Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck

Eine Uranerzlagerstätte in permotriadischen Sedimenten Tirols

O. Schulz und W. Lukas

Mit 7 Abbildungen

Eingegangen am 27. Januar 1970

Zusammenfassung

Im Zuge lagerstättenkundlicher Untersuchungen in der Nördlichen Grauwackenzone Tirols konnten im nördlich vorgelagerten und primär mit dem Paläozoikum im Zusammenhang stehenden permotriadischen Sedimentstreifen lokal lagerstättenbildende Uran-Thorium-Anreicherungen festgestellt werden. Im Gebiet südlich von Fieberbrunn-Hochfilzen enthalten, dem Bundsandstein zugehörige, feinkörnige graue Quarzpsammite und quarzsandige Serizitpsammopelite an Pflanzenreste gebundene Pechblende, häufig begleitet von Pyrit, Markasit und Kupferkies. Die Erzminerale treten imprägnationsähnlich in den permoskytischen Sedimenten auf und werden als authigene Bildungen durch syndiagenetische chemische Anlagerung gedeutet. Im Nebengestein treten lagenweise auch syndiagenetische Magnesitbildungen auf.

Erzminerale sowie detritische und authigene Gesteinskomponenten wurden alpidisch durchbewegt und reagierten unterschiedlich, nämlich durch Formung im Feinbau oder durch Kataklyse. Postdeformative Neubildungen, zum Teil verbunden mit lokalen Stoffwanderungen und Rekristallisationen, sind an Gesteins- und Erzmineralen festzustellen.

Herkunftsgebiete des Urans sind in den heute aufgeschlossenen Arealen bisher nicht bekannt. Für die Kupfererze jedoch ergeben sich wahrscheinliche Beziehungen zu voralpidischen, paläozoischen Kupfermineralisationen, die innerhalb der Grauwackenzone mit zahlreichen Lagerstätten vertreten sind.

An sekundären Mineralien finden sich Goethit, Lepidokrokit, Digenit, Covellin, Cuprit, gediegen Kupfer, Malachit sowie Zippeit als Uranabkömmling.

Die Verbreitung der in einigen Schichtbänken des Sandsteinhorizontes auftretenden U-Th-Anreicherung ist bisher auf 10 km streichende Distanz bekannt. Wenn auch über die stratigraphische Lagekonstanz und über

Schwankungen der Radioaktivität infolge spärlicher Geländeaufschlüsse vorläufig noch keine wirtschaftlich brauchbaren Aussagen gemacht werden können, kann immerhin von der ersten in Österreich nachgewiesenen Uranlagerstätte gesprochen werden, in der punktförmige lokale U-Anreicherungen von 1% (= 10.000 ppm), in einem Einzelfall 2% U, nachgewiesen sind.

Summary

A Uranium Deposit in Permotriassic Sediments in the Province of Tyrol, Austria

During an investigation of the mineral deposits in the Northern "Grauwackenzone" of the Tyrol, zones of uranium-thorium enrichment were detected in the Permotriassic sediments unconformably overlying the Paleozoic sequence. In the area south of Fieberbrunn-Hochfilzen pitchblende (parapitchblende) associated with plant remains was found in fine-grained grey sandstones and sericitic sandy shales. The pitchblende frequently occurs together with pyrite, marcasite and chalcopyrite. All these minerals are found in Permoskytic sediments in a form similar to impregnation. They are regarded as being authigenic having formed by syndiagenetic chemical deposition. Nearby country rock contains beds of syndiagenetic magnesite.

During the Alpine orogenesis the ore minerals as well as the detrital and authigenic rock components underwent deformation of the lattice structure or cataclastic processes. Post-tectonic processes resulted in mobilization and recrystallization of the rock and ore minerals.

The source areas of the uranium are not yet known. The copper ores may be related to Pre-alpidian Paleozoic copper mineralizations. Numerous deposits containing such copper mineralizations are found in the "Grauwackenzone".

Goethite, lepidocrocite, digenite, covellite, cuprite, copper, malachite, and zippeite were found as secondary minerals.

The distribution of the U-Th enrichment is observed in some beds of the sandstone horizon over a distance of 10 km along strike. At the present time no economic conclusions can be drawn as to the stratigraphic extent and fluctuations of radioactivity; however, this occurrence can be described as the first uranium deposit in Austria where very local U-concentrations of 1% (= 10.000 ppm), in a single case 2% U, have been measured.

1. Einleitung

Im Zuge von Lagerstättenuntersuchungen in der Nordtiroler Grauwackenzone wurden im Jahre 1969 auch Radioaktivitätsmessungen in verschiedenen Gesteinsserien durchgeführt. Nach den bisherigen Geländebegehungen zeigten sich in Teilbereichen des permotriadischen Sandsteinhorizontes (alpiner Buntsandstein), der mit den paläozoischen Gesteinen der Grauwackenzone großenteils primär zusammenhängt, so bemerkenswerte U- und Th-Anreicherungen, daß diese Gesteine als nutzbare Lagerstätte in Betracht zu ziehen sind.

Die wissenschaftlichen Arbeiten wurden mit Unterstützung vom „Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung“ durchgeführt. Aus dem Gebiet von Fieberbrunn brachte uns Herr HANS LECHNER, Kaufmann in Kufstein, durch seine Schurf tätigkeit entsprechende Informationen. Wir sind Herrn LECHNER hiefür sowie für das Probenmaterial, vor allem aber für die leihweise Zurverfügungstellung eines Szintillometers der Type LGS/C der Firma Berthold zu Dank verpflichtet. Das uns von der Geologischen Bundesanstalt Wien zur Verfügung gestellte Gerät entsprach nicht den gestellten Anforderungen.

2. Geologische Position

Der erwähnte Psammithorizont gehört zu den tieferen Bildungen der das Devon transgredierenden permoskytischen Basisschichten. EISBACHER (1963 a) gibt die Gesamtmächtigkeit des ungestörten Buntsandstein-Profiles in der Wildschönau bei Wörgl mit rund 200 m an, im Bereich der Basis des Kaisergebirges mit mindestens 350 m. Nach KLEBELSBERG (1935) beträgt die Mächtigkeit mehrere Hundert Meter. Meist liegen zuunterst grobklastische transgressive Aufarbeitungsprodukte, über diesen folgen — falls die Psephite fehlen, direkt über den Grauwackengesteinen (KLEBELSBERG, 1935) — rote, seltener graue bis grünliche, auch sehr hellgraue Quarzsandsteine verschiedener Körnungen und mit schwankender Serizitbeteiligung.

Unsere bisherigen Untersuchungen fanden, soweit sie sich auf den Buntsandstein beziehen, in den Gebieten Schwaz-Brixlegg, Kundler Klamm, Hopfgarten und Pillersee-Fieberbrunn-Hochfilzen statt. Während in den drei zuerst genannten Lokalitäten keine auffallenden Strahlungswerte angegeben werden können, brachte die Umgebung von *Fieberbrunn-Hochfilzen* (Abb. 1) auffallend erhöhte Radioaktivität. Deshalb beziehen sich unsere weiteren Ausführungen speziell auf dieses Gebiet.

Der Buntsandsteinkomplex nimmt infolge generell relativ flacher Lagerung (ENE-WSW-Streichen, flaches bis mittelsteiles S-Fallen) zwischen St. Johann und Hochfilzen im Talboden und in den nördlichen und südlichen Gehängen beträchtliche Areale ein. In dem näher untersuchten Gebiet westlich, südwestlich, südlich und südöstlich von Fieberbrunn liegt die permoskytische Gesteinsserie mit mindestens 150 m Mächtigkeit, und zwar mit vermutlich zum Teil inverser Lagerung vor. Obwohl die Verbreitung der Sedimente flächenmäßig auffallend stark ist, verhindern Schotter- und Moränenbedeckung sowie Vegetationsflächen immer wieder den Einblick in die Schichtfolge. Die Untersuchungen beschränkten sich daher zwangsläufig auf die

zahlreichen Bacheinschnitte. Die Südbegrenzung des Buntsandsteinareals wird hauptsächlich von devonischen Dolomiten, westliche Unterbrechungen von paläozoischen „Tonschiefern“, Diabasporphyrit- und Augitporphyritschiefern (Geol. Karten 1917, 1935) gebildet.

Über die Bildung der grob- und feinklastischen Permoskyt-Gesteine herrschen geteilte Meinungen. Während BARNICK (1959) offen läßt, ob es sich um marine, brackische, limnische oder terrestrische Sedimente eines ariden bis semiariden Klimabereiches handelt, entscheidet sich EISBACHER (1963 a, b) für hauptsächlich marine Seichtwasserablage-

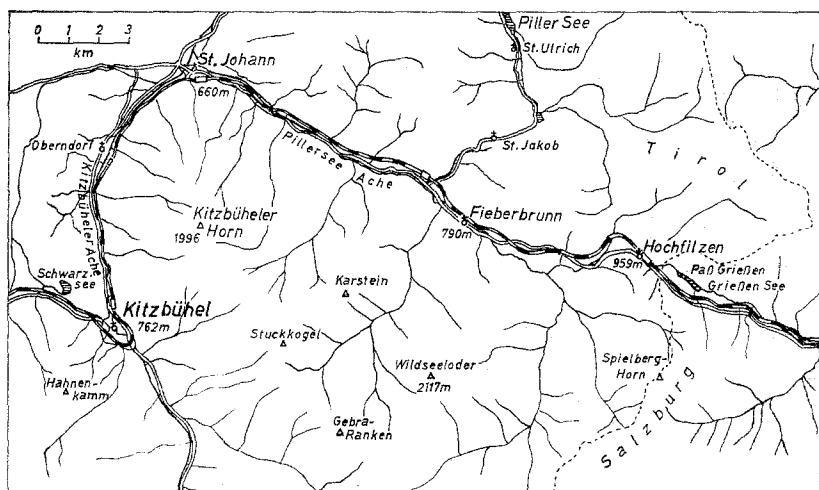


Abb. 1. Übersicht über das Untersuchungsgebiet Kitzbühel, St. Johann, Fieberbrunn, Hochfilzen.

runge, für welche er von Norden kommenden Materialtransport aus einem kristallinen, wahrscheinlich aus sauren Metamorphiten bestehenden Liefergebiet in Betracht zieht.

3. Die radioaktiven Gesteine von Fieberbrunn

Eine detaillierte radiometrische Untersuchung liegt für das Buntsandsteingebiet südlich der Tallinie Piller Ache bei Bruckhäusl—Rosenegg—Schwarzachbach—Fieberbrunn—Walchau—Pfaffenschwendt—Lahnbach—Hochfilzen—Griesen See vor. In diesem 11 km langen und 3 km breiten Streifen besteht die permotriadische Serie aus breccios-konglomeratischen Psephitablagerungen, über welchen dann stratigraphisch gesehen die „tonigsandigen“ Psammitsedimente folgen. Dies sind vorwiegend verschieden rote serizitische Quarzpsammite bis quarzsandige Serizitpsammopelite, der Korngröße nach feinsamm-

tische klastische Sedimente. Feinschichtig treten fast reine Glimmerlagen auf. Die Permotriaserie liegt im untersuchten Gebiet vermutlich invers.

In manchen stratigraphischen Niveaus fallen sehr verschieden mächtige *graue* bis *grüngraue*, schichtparallele und häufig wieder auskeilende *Zwischenlagen* auf, die mit Ausnahme von Hämatit, Pyrit und Markasit denselben Mineralbestand aufweisen wie die roten Schichten. Die Rotfärbung wird durch feine Hämatitschüppchen verursacht, während die grauen Schichten reich an Pyrit und Markasit sind. Auch zahlreiche s-parallel angeordnete gelbliche Lagen mit *Magnesitknollen* und *-flasern* kennzeichnen in auffälliger Weise die roten Sandsteine. Damit vergesellschaftet sind noch lokal diskordant zu s orientierte Magnesitfugenfüllungen. Zur Kennzeichnung der interessierenden Sedimentabfolge wurde in einem der kartierten Gräben eine Geländevermessung durchgeführt und ein Detailprofil konstruiert (Abb. 2). Es stammt aus dem Mittelabschnitt des Krotenbach-Grabens ca. 2 bis 2,5 km südöstlich von Fieberbrunn, das ist das Gebiet östlich der Sesselbahn Streuböden bzw. östlich der Frandl Alm.

Hauptgemengteil der meist *feinkörnigen Psammite* ist *detritischer Quarz*. Dazu kommen detritische *Quarzitkörner*. Die Körnchen sind scharfkantig und kantengerundet. Vielfach findet man auch syndiagenetische Sammelkristallisationen sowie postdeformative Kristallisationen. Daneben spielt heller Glimmer in Form von *Muskovitblättchen* eine Rolle. Untergeordnet ist Feldspatdetritus enthalten, wobei es sich teils um unverwitterte *Plagioklase*, weniger um *Orthoklase*, teils um mehr oder weniger stark serizitisierte und kaolinitisierte Plagioklase und Orthoklase handelt. Immer vertreten ist *Serizit*. Einige Stichproben der Brechungsindizes ergaben für $n_g = 1.582$, wonach es sich um muskovitischen Serizit handeln dürfte. Dieser feine Filz ist lagig mit unterschiedlicher Beteiligung vertreten, so daß alle Übergänge von Quarzpsammiten zu „*Serizitschiefern*“ vorliegen.

An Nebengemengteilen sind die Schwerminerale *Turmalin*, *Zirkon*, *Rutil*, *Anatas*, *Titanit* und *Ilmenit* auffallend. Die Korngröße dieser häufig gut kantengerundeten Komponenten liegt ebenfalls in feinsammitischen Fraktionen. Dieser Detritus ist in manchen Feinschichten besonders stark angereichert. Stellenweise findet man auch *Chlorit*, wobei es sich nach den optischen Kennzeichen meist um *Pennin*, seltener um Fe-reichere Chloritvarietäten handeln dürfte. Untergeordnet liegt umgewandelter, etwas gebleichter *dunkler Glimmer* vor.

Der Serizit- und Chloritbestand ist zum Großteil detritärer Herkunft. Es fallen aber auch jüngere diagenetische Serizitrekristallisationen (EISBACHER, 1963 a) und syntektonische (?) Neubildungen auf. Be-

trächtliche Serizitanteile sind durch Umwandlung von Feldspäten — oft bis zur Pseudomorphosierung — entstanden.

Karbonate treten in Form mikritischer und später Aggregate in vielen Sandsteinen schichtig wechselnd auf und sind lagenweise Hauptgemengteil. Es handelt sich sowohl um *Dolomit* und Fe-reichen Dolomit als auch um *Magnesit*. Der Dolomit ist in Porenhohlräumen der Sandsteine chemisch angelagert worden und als authigene Komponente deutbar. Magnesit ist in vielen Schichten in Form von hellgelblichen Knollen und in s-parallelen Linsen horizontgebunden angereichert und ist auch nach unserer Auffassung, die sich mit der EISBACHERS (1963 a, 1969) deckt, als authigene syndiagenetische Bildung zu erklären. Es liegen alle Übergänge von mikritischem Magnesit zu sammelkristallisiertem spätem Magnesit vor sowie auch syn- und postektonische Kristallisationen. Die in Sedimenten häufigen Verdrängungen von Quarz durch Karbonate sind auch hier zu beobachten.

Pyrit und etwas *Markasit* sind charakteristische authigene Bestandteile der grauen Psammitbänke. Es handelt sich um mikro- und kryptokristalline Körnchen, um vererzte Schwefelbakterien und Bakterienkolonien („Rogenpyrit“), um isometrische Kristallaggregate zum Teil mit porösem, zonarem Bau (Melnikovitpyrit) und schließlich um heterometrische Aggregate. Unregelmäßig verteilte bräunlich-rötliche Verfärbungen innerhalb der grauen Schichten sind auf die mehr oder weniger starke Verwitterung von Pyrit und Markasit zu *Goethit* und *Lepidokrokit* zurückzuführen. Dagegen ist das färbende Pigment der allgemein roten Sandsteinbänke fein verteilter blättchenförmiger *Hämatit*.

Schließlich sind noch spärlich *Pflanzenreste* (siehe Vererzung) und sehr kleine Schüppchen graphitähnlicher Substanz, vermutlich *Schungit*, stellenweise enthalten.

Die genannten allothigenen und authigenen Komponenten gehören zum „normalen“ Stoffbestand der vorliegenden permoskytischen Sedimentserie. Sie sind hier zusammengefaßt:

Allothigene Komponenten (Detritus):

Quarz, Quarzit, Plagioklas, Orthoklas, Muskovit, Serizit, (Illit?), Chlorit, dunkler Glimmer, Turmalin, Zirkon, Rutil, Anatas, Titanit, Ilmenit, Schungit(?), Pflanzenreste.

Authigene Komponenten:

Dolomit, Fe-reicher Dolomit, Magnesit, Quarz, Serizit, Pyrit, Melnikovitpyrit, Markasit, Hämatit.

Sekundär:

Goethit, Lepidokrokit.

Die authigenen Komponenten gehören zum primären synsedimentären Stoffbestand, doch sind auch einige dieser Minerale durch Stoffmobilisation im Zuge tektonischer Durchbewegung neu entstanden.

In Verrucano-Sedimenten und im Buntsandstein sind an einigen Lokalitäten Tirols neben Pyrit auffällige Erzanreicherungen von Kupferkies, Fahlerz, Hämatit und Siderit bekannt und waren Ziel bergbaulicher Tätigkeit (Umgebung von Brixlegg und Arlberggebiet).

Hier im Raum Fieberbrunn-Hochfilzen enthält der graue Buntsandstein neben den ständig vertretenen Erzen Pyrit, Markasit und Eisenhydroxyden (Goethit, Lepidokrokit) stellenweise *Kupferkies*, begleitet von *Digenit*, *Covellin*, *Cuprit*, *gediegen Kupfer* und *Malachit*. Sie treten im allgemeinen imprägnationsähnlich im Serizit-Quarzsandstein auf und zeigen vielfach ebenso wie die Minerale des Hüllgeseins tektonische Durchbewegung und teilweise Rekristallisation. Wie noch gezeigt wird, ist dieser lokal auftretende zusätzliche Kupfererzgehalt einem synsedimentären Entstehungszyklus zuordenbar und erlaubt von hier aus weitere Vermutungen über die Kupferkies-Fahlerz-Mineralisation der paläozoischen Gesteine der Grauwackenzone.

4. Radiometrische Untersuchungen

Im permoskytischen Schichtpaket südlich von Fieberbrunn-Hochfilzen sind in gewissen Horizonten der feinklastischen Sedimente beträchtliche radiometrische Anomalien festzustellen. Bei diesen gewissen Horizonten handelt es sich praktisch immer um *graue* Psammitpartien, die innerhalb der roten, zum Teil schiefrigen Sedimente mit sehr verschiedener Mächtigkeit und verschiedener flächiger Ausdehnung enthalten sind. Über Mächtigkeit und Vielfalt der Wechsellagerung von grauem und rotem Psammit und über Magnesitknollenlagen gibt der 90 m umfassende Säulenprofilausschnitt (Abb. 2) Auskunft. Die hiezugehörigen Aufschlüsse liegen etwa zwischen 945 und 980 m ü. d. M.

Als Grundwert (background) haben wir mit dem Szintillometer der Firma Berthold, Typ LGS/C 30—40 Impulse/s festgestellt. Das entspricht 10—15 $\mu\text{R/h}$ als mittleren Gesteinswert (Geländewert). Die bemerkenswert überhöhten Gesteinswerte, die man in einigen durch Bäche geschaffenen Gräben erhält, schwanken zwischen 100 und 2100 Impulsen (= 30—700 $\mu\text{R/h}$). Die im Krotenbachgraben festgestellten Strahlungswerte sind in den entsprechenden Schichten des Profils Abb. 2 eingetragen.

Die ungefähr normal zum generellen s-Streichen begangenen Aufschlußstrecken liegen voneinander 1—3 km entfernt. Eine Anwend-

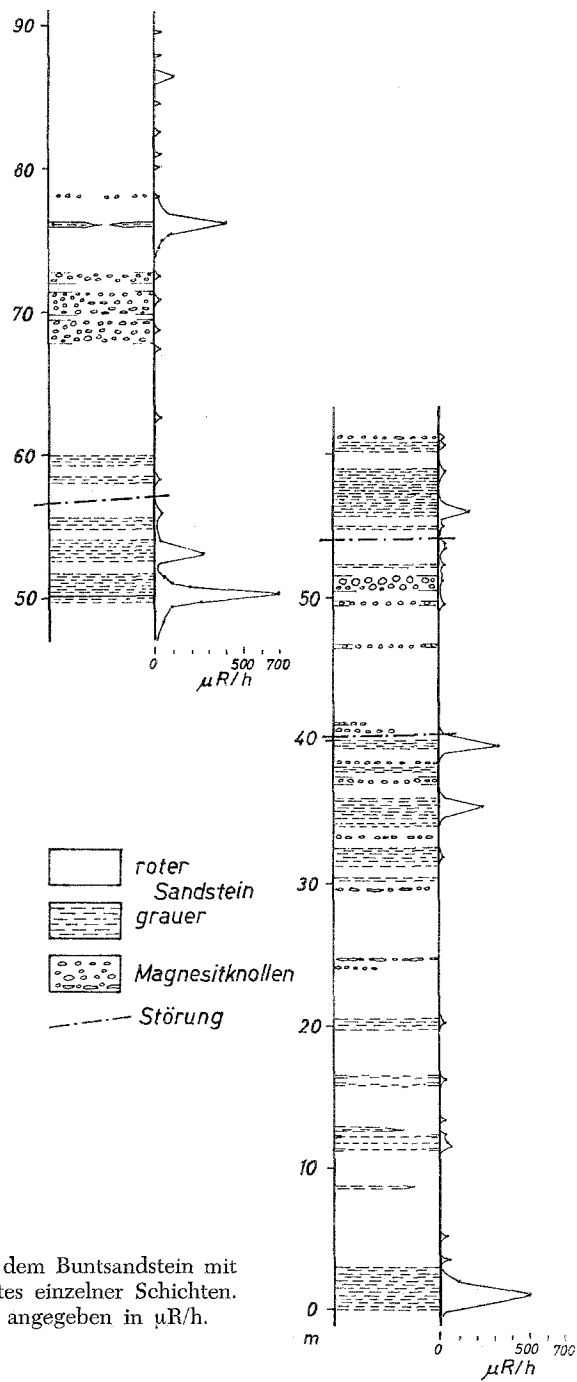


Abb. 2. Säulenprofil aus dem Buntsandstein mit Angabe des U-Th-Gehaltes einzelner Schichten. Diesbezügliche Werte angegeben in $\mu R/h$.

barkeit des abgebildeten feinstratigraphischen Profils auf die verschiedenen Aufschlüsse scheint uns nach den bisherigen Kenntnissen zweifelhaft, doch könnten eventuelle zukünftige Geländeaufschlüsse und Tiefbohrungen hinreichende Anhaltspunkte bringen. Der westlichste Aufschluß mit radioaktivem Gestein liegt vom derzeit östlichsten 10 km entfernt. Nach den bisher vorliegenden radiometrischen Untersuchungen kann kein Zweifel bestehen, daß die erhaltenen Daten in den natürlichen Aufschlüssen als unzufällig zu bewerten sind und das von Moränen bzw. von Wald und Wiesen bedeckte Gebiet analoge radiometrische Werte ergeben müßte. Die Strahlungswerte innerhalb der radioaktiven Schichten schwanken, was einerseits auf den unterschiedlichen U-Th-Gehalt, andererseits natürlich auch auf den Massenwirkungseffekt („Geometrie der Einstrahlung“) zurückzuführen ist. Als Beispiel für die Variabilität der Strahlungswerte sei angeführt, daß in ein und derselben Schichte auf 3 m Distanz Schwankungen zwischen 70 und 700 $\mu\text{R/h}$ auftreten können. Es ist möglich, daß die in Abb. 2 bei Profilmeter 50 markierte Sedimentlage (700 $\mu\text{R/h}$) mit der im parallel laufenden Profil bei 40 m (330 $\mu\text{R/h}$) identisch ist. Die verschiedene Position im Profil könnte einerseits schon durch verschiedene primäre Schichtmächtigkeiten, andererseits durch Zerschierung der Schichten zu erklären sein, deren Relativverschiebungen und Verwurfsbeträge im Aufschluß nicht gedeutet und daher im Profil nicht berücksichtigt worden sind.

Nach den bisherigen Kenntnissen der Sedimentabfolge liegen mehrere Zwischenschichten mit wesentlich erhöhter Radioaktivität vor: im Profil (Abb. 2) fallen z. B. drei solche Lagen auf, die über 350 $\mu\text{R/h}$ ergeben.

Da die Geländestrahungsmeßwerte bekanntlich nicht unmittelbar auf den U-Th-Gehalt der Gesteine schließen lassen, sondern durch die Massenwirkung und anderem reichlich Abweichungen verursacht werden, wurden von den Sandsteinbänken mit verschieden stark erhöhter Radioaktivität Probestücke entnommen und in ähnlicher Weise wie von SCHMIDEGG und ZIRKL (1963) näher untersucht.

Die Probestücke wurden zu Pulver aufbereitet, gut durchmischt und ein homogenes Gesteinspulver in einem runden Gefäß mit 10 cm Durchmesser 2 cm dick aufgetragen. Durch Überprüfung konstanter Pulvermengen aus Gesteinsmaterial und durch Vergleich der Strahlungsenergie mit künstlich zusammengestellten Testpulvern mit bekanntem U-Gehalt konnte eine recht brauchbare Methode zur Ermittlung von Richtwerten gefunden werden. Es kann auf diese Weise zumindest das $\text{UO}_{2(3)}$ -Äquivalent der Gesamtstrahlung von U- und Th-Mineralien festgestellt werden. Da wir nicht wie SCHMIDEGG und

ZIRKL eine 1 cm dicke, sondern 2 cm dicke Pulverschicht auf Strahlungsintensität überprüft haben, ist naturgemäß deren Diagramm (Abb. 1, S. 102) für unsere Auswertung nicht verwendbar, doch sind wir zu einer analogen Eichgeraden gelangt.

Zwei Sandsteinproben wurden zur quantitativen Analyse an das Grundlageninstitut der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal in Wien (Univ.-Prof. Dr. E. SCHROLL) eingesendet. Die durch Gamma-Spektrometrie nach der Methode von HURLEY (1956) erhaltenen U- und Th-Werte sind:

Probe 1: 0,83% U, unter 0,05% Th.

Probe 2: 2,01% U, 0,05(\pm 0,03)% Th,
Meßgenauigkeit etwa \pm 5%.

Darüber hinaus wurden freundlicherweise im Grundlageninstitut der BVFA-Arsenal zur Kontrolle emissionsspektrographische Analysen durchgeführt, die folgende Ergebnisse brachten:

Probe 1: 0,86% U, 0,11% Th.

Probe 2: 2,33% U, 0,18% Th.

Nach eigenen, am Institut für Mineralogie und Petrographie Innsbruck ausgeführten Testversuchung durch Strahlungswertvergleiche mit Sandmaterial bekannten U-Gehaltes entspräche der Probe 1 ca. 1,0% U, der Probe 2 ca. 2,25% U.

Bei den genannten gepulverten Gesteinsproben handelt es sich in einen Fall um eine bessere Durchschnittsprobe aus einem Geländebereich mit einer Strahlungsenergie von rund 700 μ R/h, im anderen Fall um ein Stück aus einem relativ stark strahlenden, nicht anstehenden Felsblock. Doch darf dieser Vergleich aufgrund der Geometrie der Einstrahlung im Gelände keinesfalls verallgemeinert werden.

5. Die Mineralparagenese

Durch auflichtmikroskopische Untersuchungen und durch Röntgendiffraktometrie haben wir *Pechblende* („*Nasturan*“: MAUCHER-REHWALD, 1960; RAMDOHR, 1960) und *Zippeit* nachgewiesen. Die Verteilung der Uranminerale im Gestein wurde im polierten Anschliff mikroskopisch sowie durch Radiographien (Abb. 3), die durch Belichtung von Filmen durch Gesteinsanschliffe hergestellt wurden, sowie durch Lumineszenzerscheinungen im filtrierten UV-Licht beurteilt.

Als Begleiter der Pechblende ist neben den Durchläufern *Pyrit* und *Markasit* häufig *Kupferkies* vertreten. Dazu kommen als Verdränger hauptsächlich *Goethit*, weniger *Lepidokrokit*, sowie *Digenit*, *Covellin*, *Cuprit*, *gediegen Kupfer* und *Malachit*.

Das Uranpecherz scheint vorwiegend an inkohlte Pflanzenreste gebunden zu sein, was durch pseudomorphe Abbildung von Pflanzenstrukturen durch Pyrit und Pechblende, zum Teil auch sekundär durch

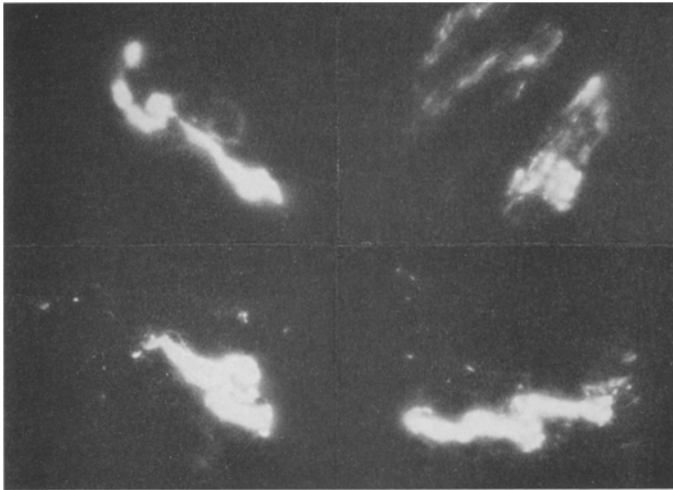


Abb. 3. Vier Radiographien entstanden durch 36stündige Belichtung eines Filmes durch Auflegen polierter Anschliffe der Größe von je 2×2 cm.

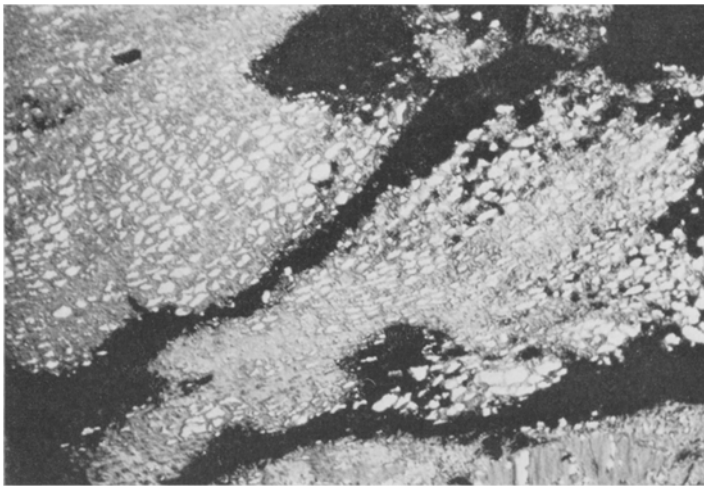


Abb. 4. Mit Pyrit (weiß) und Pechblende (lichtgrau) vererzter Teil eines Pflanzenrestes. Kohlige Substanz und Einbettmasse schwarz. Polierter Anschliff, Nicols —. Natürliche Größe des Bildausschnittes $0,72 \times 0,49$ mm.

Goethit zum Ausdruck kommt (Abb. 4, 5, 6). Diese im Probenmaterial immer wieder in ähnlicher Ausbildung beobachtbaren Gefüge erinnern an die von MAUCHER-REHWALD (1960, Abb. 140) bzw. MAUCHER (1962) gezeigten, von Pyrit und Pechblende abgebildeten Coniferenreste. Originalmaterial aus der Sammlung MAUCHER von der Huskon Mine, Arizona, steht uns zum Vergleich zur Verfügung, wofür Herrn Prof. Dr. Ing. A. MAUCHER freundlichst gedankt wird. Die in unseren permoskytischen Sandsteinen enthaltenen fossilen Fragmente sind allerdings wesentlich feinfaseriger und weisen verschieden

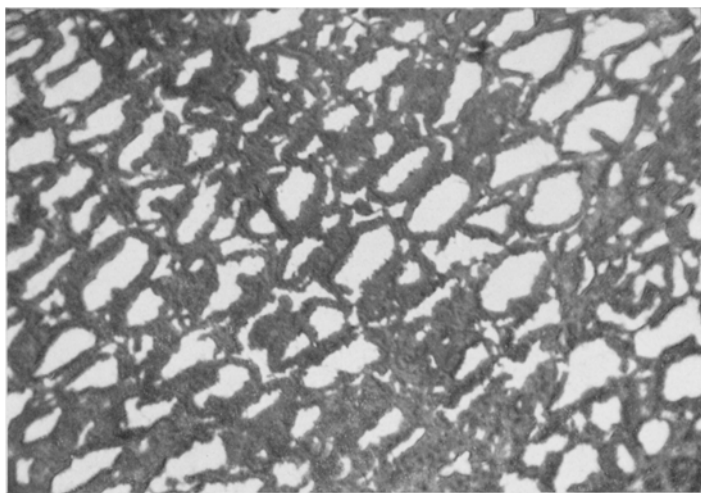


Abb. 5. Abbildung pflanzlicher Strukturen durch Pyrit und Pechblende. Pyrit (weiß) in den Zellumina, Pechblende (grau) als Verdränger der Zellwände. Polierter Anschliff, Nicols —. Natürliche Größe des Bildausschnittes $0,18 \times 0,12$ mm.

starke Veränderungen infolge Kompaktion und tektonischer Durchbewegung auf, so daß eine genauere Bestimmung unmöglich und lediglich mit Wahrscheinlichkeit auf Coniferenholzreste geschlossen werden kann. Ähnlichkeit besteht auch mit dem von RAMDOHR (1960, Abb. 608, S. 967) gezeigten Gefüge. Inkohltes Holz ist für die Ablagerungen des Buntsandsteins eine relative Seltenheit, so erwähnt z. B. KLEBELSBERG (1935) Kohleschmitzen im Soleten des Haller Salzberges.

Analog dem Befund von MAUCHER im Material der Huskon Mine vom Colorado-Plateau tritt auch in unserem Material der Pyrit bevorzugt als Ausfüllung der Zellumina auf, während das Uranpecherz vorwiegend die Zellwände abbildet. Doch gilt diese Feststellung nicht grundsätzlich. In Abb. 6 ist an der Abbildung pflanzlicher Gerüste

hauptsächlich Pechblende beteiligt. Der Verlauf der Pechblendeaggregate im Gestein wird von der Lage der pflanzlichen Reste diktiert (Abb. 3). Sie sind in s eingeregelt, weisen wie viele Glimmerlagen Feinfältelung auf und schmiegen sich an die durch die härteren Quarz- und Pyritaggregate bedingten Hindernisse an. Die Pechblende verhält sich isotrop und nur in einigen Fällen waren bei aufmerksamer Beobachtung mit Ölimmersion unter gekreuzten Polarisatoren dunkelbraune Innenreflexe zu sehen („Nasturan II, III“?). Im Falle inniger Verwachsung mit Goethit war die Identifizierung der Pechblende erschwert. Neben dem beschriebenen Auftreten von Pechblende in Pflanzenresten sind auch Ausfüllungen von Haarrissen zu finden.

Zur Beurteilung der Genese des Uranerzes ist das Verhalten der Fe- und Cu-Erzminerale nicht minder von Interesse. Die *Pyrit*- und *Markasit*aggregate der im Teil 3 beschriebenen Gefügetypen sind allenfalls als authigene syngenetische Kristallisate zu betrachten und sind demnach postkristallin unterschiedlich durchbewegt worden. Je nach ihrer Lage im Kornverband und je nach der Teilbeweglichkeit des umgebenden Milieus kam es teils zu Kataklyse bis Mylonitisierung, teils sind Einzelkörner und Aggregate gestaltlich offenbar unverseht geblieben.

Eine andere Rolle spielt der teilbeweglichere *Kupferkies*. Er findet sich in den Intergranularen des Sandsteines, in Nestern verschieden geformter Aggregate allein als Erzmineral oder noch häufiger zusammen mit Pyritaggregaten und mit Pechblende. Das Gefüge des Kupferkieses läßt keinen Zweifel über sein vortektonisches Auftreten im Sediment zu. Als zur bruchlosen Verformung neigendes Erzmineral wird er bei mechanischer Beanspruchung des Sandsteins in Spalten und Abschnitte besserer Ausweichmöglichkeit mechanisch eingewalzt. Seine achsiale Feinfältelung in Glimmerarealen wird in der Abb. 7 gezeigt. Die Kupferkiesaggregate bestehen aus einem meist mikronkörnigen Pflastergefüge ohne zwillingslamellierten Körnern, es handelt sich also offenbar um postdeformative Rekristallisate.

So wie Pyrit und Markasit häufig mehr oder weniger intensive Umwandlungen zu Eisenhydroxyden erkennen lassen, fällt beim Kupferkies eine Verdrängung hauptsächlich durch *Digenit* (blauer, isotroper Kupferglanz) auf. Eine geringere Rolle spielt das sekundäre Auftreten von *Covellin*, *Cuprit* und gediegen *Kupfer*, Digenit und Covellin verdrängen den Kupferkies selektiv und bilden auf diese Weise auch die feingefältelten primären Kupferkiesgefüge ab (Abb. 7).

Aus Pyrit und Kupferkies bestehende Gefüge zeigen in ausgezeichneter Weise einen lateralen und konzentrisch-schaligen Wechsel in

der Anlagerung von Goethit, Lepidokrokit, Digenit und Covellin. Goethitkrusten reichen vielfach noch über die Pyritkörner hinaus und umrinden noch auf kurze Distanz Kupferkiesareale, die sonst von einer Digenitrinde umgeben sind. Covellin tritt am häufigsten innerhalb des Digenits auf. Stellenweise wird die Digenit-Covellin-Rinde um Kupfer-

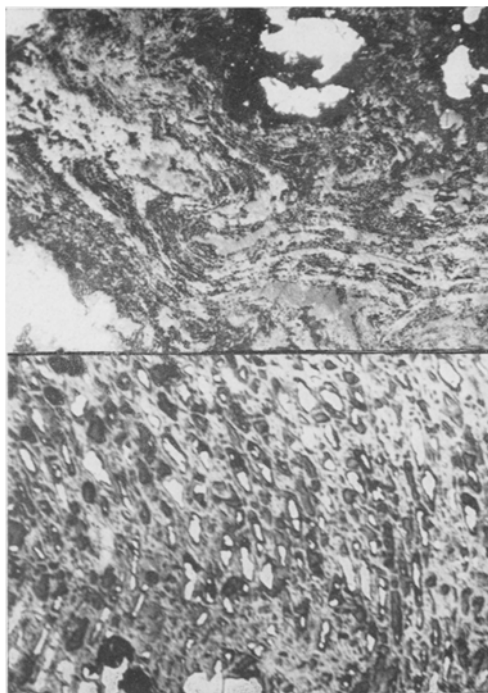


Abb. 6. Pechblende (lichtgrau) mit „Nasturan II, III“ (?) (grau) als Verdränger pflanzlicher Substanz. Pyrit (weiß) zum Teil von Goethit (weißgrau) umrandet (oberes Bild). Quarz dunkelgrau, Löcher schwarz. Polierte Anschliffe: Oberes Bild Ölimmersion, Nicols —. Natürliche Größe des Bildausschnittes $0,15 \times 0,11$ mm; unteres Bild Nicols —. Natürliche Größe des Bildausschnittes $0,32 \times 0,23$ mm.

kies noch von einer Goethitkruste umgeben. Alle Umwandlungen liegen in verschiedenen Stadien bis zur Pseudomorphosierung vor.

Nach bisherigen Kenntnissen fallen die besonderen U-Anreicherungen im Fels anscheinend durch dunkle Graufärbung (Pyritreichtum) oder durch gelblich-bräunliche Verwitterungsfarben (Goethit) auf. Im übrigen ist aber die U-Erzführung ganz unscheinbar und sind innerhalb der grauen Sandsteinbänke makroskopisch keinerlei Anzeichen zu finden.

6. Zur Genese

Die primären Erzminerale Uranpecherz, Pyrit, Markasit und Kupferkies liegen als chemisch angelagerte Komponenten im Sediment vor. Beim Uranerz kommt die Bindung an Pflanzenreste klar zur Geltung. Mineralbestand und Gefüge erinnern zum Teil an die Uranvererzung vom Typus „Colorado-Plateau“. Allerdings sprechen gegen eine genetische Gleichstellung die geologischen Bildungsbedingungen. Die permoskytischen grob- und feinklastischen Buntsandsteinablagerungen werden nach neueren Untersuchungen als marine bis lagunär-bracki-

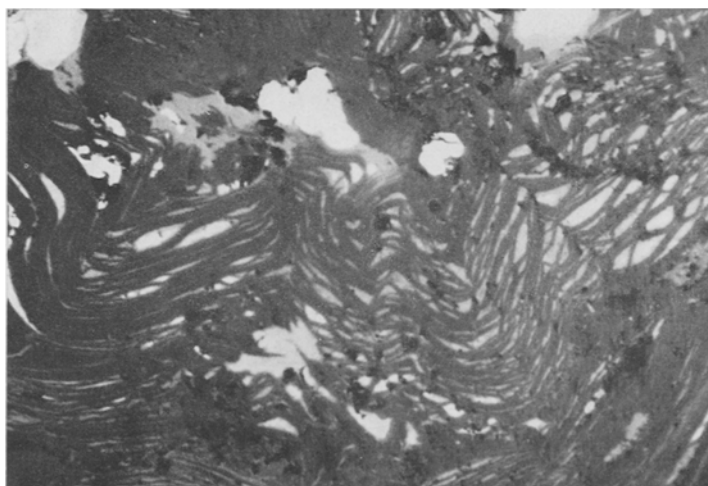


Abb. 7. Nachkristalline tektonische Durchbewegung mit Feinfältelung von Glimmer (dunkelgrau) und Kupferkies (grauweiß), der zum Teil Umwandlung in Digrenit und Covellin (lichtgrau) zeigt. Pyritaggregate (weiß) obere Bildhälfte, mit Goethit-Umkrustung (lichtgrau). Ausbrüche schwarz. Polierter Anschliff, Nicols —. Natürliche Größe des Bildausschnittes $0,27 \times 0,17$ mm.

sche Seichtwassersedimente aufgefaßt (EISBACHER, 1963 a, b), so daß Urankonzentrationen durch Fällung aus uranhaltigen Lösungen im Grundwasserbereich, wie sie innerhalb der ariden terrestren Sandsteine vom Plateautypus beschrieben sind, nicht als Erklärung in Frage kämen. Dagegen spricht aber auch das schichtige Auftreten der U-Anreicherungen und die Wechsellagerung roter und grauer Schichten sowie die s-parallele Anordnung von Magnesitknollen. BARNICK (1959) läßt die Frage, ob der Buntsandstein marin, brackisch, lakustrisch oder rein terrestrisch gebildet wurde, offen. Es sei noch erwähnt, daß es sich nach weiteren Meinungen um terrestrische Bildungen handeln könnte.

Im vorliegenden Falle wird eine Ausfällung des Urans aus U-hältigen Lösungen, und zwar jedenfalls in einem aquatischen Milieu angenommen. Es wird sich um Oberflächenverwitterungslösungen gehandelt haben, die ihren Gehalt an Uran und anderen Metallen aus präexistierenden Gesteinen bezogen haben. Die Möglichkeit einer aszendente-subaquatisch-hydrothermalen Metallzufuhr kann zwar nicht widerlegt werden, doch sehen wir hierfür keine Anhaltspunkte. Zwar ist das Einsetzen des initialen Vulkanismus in der alpinen Geosynklinale durch die submarinen Ergüsse basischer Laven und Anlagerung von Tuffen in den permotriadischen Werfener Schichten im zentralen und östlichen Kalkalpengebiet hinreichend bekannt, doch gilt der juvenil-simische (-basaltische) Geosynklinalvulkanismus als auffallend U-arm. Natürlich ist auch eine Mobilisation von Metallen aus dem Untergrund durch „erzleere“ Thermen nicht auszuschließen, doch sehen wir auch für diese Annahme keine Argumente. Eine im untersuchten Bereich in einem Aufschluß vorläufig erst auf kurze Distanz beobachtete diskordante, gangförmige Mineralisation mit Pyrit, Kupferkies, Fahlerz, Quarz und Karbonaten steht in keinem genetischen Zusammenhang mit der hier besprochenen Uran-Pyrit-Kupferkiesvererzung. Jene ist offenbar jünger und scheint entweder in Zusammenhang mit mesozoischen Stoffumlagerungen oder mit aszendenten Zufuhren zu bringen sein. Diesbezügliche nähere Untersuchungen werden durchgeführt.

Die radiometrischen Untersuchungen im Raume Kitzbühel—Gebra—Hochfilzen haben noch keinerlei Gesteine mit besonders erhöhten Strahlungswerten aufgezeigt. Weder die Gesteine der Eisenspatlagerstätte Gebra, der Kupferlagerstätte Kelchalpe, noch der Quarzporphyr vom Wildseeloder brachten Hinweise für höhere Radioaktivität. Geringe Strahlungsanomalien waren nur im Quarzporphyr des Wildseeloder (max. 30 $\mu\text{R/h}$) und in der Nähe der Fahrmanager Nieder-Alm (bis 25 $\mu\text{R/h}$) festzustellen. Es liegt daher der Verdacht nahe, daß die im Permoskyt vorhanden gewesenen Abtragsgebiete entweder heute im Untergrund verborgen bzw. abgetragen sind. Hier bringt das Arbeitsergebnis von EISBACHER einen brauchbaren Hinweis, wonach nämlich die Schüttrichtungen des von ihm untersuchten Buntsandsteins zwischen Innsbruck und Saalfelden für generellen Materialtransport aus dem Norden sprechen. Er nimmt an, daß die „bereits mehrfach umgelagerten Quarzsande“ aus einem kristallinen Liefergebiet stammen, „welchem die Grauwackenzone im Süden wahrscheinlich mantelförmig auflag“ (EISBACHER, 1963 b, S. 141).

Wir sind der Auffassung, daß die metallhaltigen Verwitterungslösungen wenigstens zum Teil aus heute unbekannten U-Cu-Fe-hälti-

gen Einzugsgebieten kommen, von wo auch die mechanischen Verwitterungsprodukte stammen. *In dem anscheinend bereits damals im Buntsandsteingebiet sich herausbildenden Sedimentationsraum der alpidischen Geosynklinale wurden wahrscheinlich in gewissen seichten Beckenabschnitten mit zeitweise reduzierendem Milieu die Erzminerale durch Fällung ausgeschieden.* Es wird ausschließlich chemische Internanlagerung der Erze, nach erfolgter mechanischer Anlagerung des Detritus durch Wasser- und Windtransport, in einem wahrscheinlich frühdiagenetischen Stadium mit bevorzugter Kristallisation in den Porenhohlräumen des klastischen Sedimentes angenommen. Für die Bildung der Pechblende im besonderen kommt die Bindung an Pflanzenreste in Betracht, wobei es zu einer teilweisen Abbildung derselben kam. Zur Charakterisierung des reduzierenden Milieus sei wiederholt, daß sich in den Sedimenten zahlreiche vererzte Bakterien befinden. Es handelt sich um die brombeerförmigen Pyritkügelchen, die auch zu Aggregaten geballt auftreten und vielfach zu derberen Pyrit-Markasitbildungen sammelkrystallisierten. Der Schwefel für die Fällung der Metallsulfide stammt also hier aus der bakteriellen Tätigkeit.

Das bakteriell gebildete H_2S konnte auch durch Reduktion zur Fällung des Urans aus Uranylverbindungen führen. Dazu kommt die Bedeutung der pflanzlichen Substanzen als Uran-Träger. Sie sind aus den Uransandsteinvererzungen verschiedener Typen, z. B. dem Colorado-Plateau-Typus, aus den Kohlenerzen (Typus Lignite), Schwarzschiefererzen (MAUCHER, 1962) bekannt und auch bei den lagerstättenbildenden Urananreicherungen im permischen Grödnert Sandstein der Südalpen (SCHMIDEGG und ZIRKL, 1963) als U-Träger erwähnt worden. Bei unseren U-Vererzungen kommt ebenfalls pflanzlichen Relikten in Form von wahrscheinlich inkohlten Hölzern, also Landpflanzen, wesentliche Bedeutung zu. Diese Stücke sind allerdings überwiegend durch Kompaktion und tektonische Durchbewegung derart verformt, daß die Zellumina und Zellwände nur relativ schlecht zu erkennen sind. Ob die Bindung des Urans an die Pflanzen schon vor deren mechanischer Anlagerung als Biodetritus oder erst im Zuge der Diagenese stattfand, muß offen bleiben. Wahrscheinlich ist aber die Adsorption erst nach dem Transport und der mechanischen Anlagerung der Pflanzenreste erfolgt. Die Abscheidung von Pechblende durch Reduktion mit H_2S aus den organischen Substanzen oder durch den Schwefel der Sulfide ist wohl zweifellos in einem diagenetischen, wahrscheinlich frühdiagenetischen Stadium erfolgt.

Bei den Untersuchungen fällt auf, daß die Urananreicherungen vorwiegend an graue Schichten gebunden sind, die innerhalb der roten arhythmisch auftreten. Die primäre Ursache für die Rot- bzw. Grau-

färbung des Sedimentes liegt einerseits im Hämatit-Pigment, welches rote Innenreflexe und damit Rotfärbung des Gesteins verursacht, anderseits am Pyrit-Markasit-Gehalt, der die Graufärbung bewirkt. Die Verteilung roter und grauer Areale ist zwar nicht grundsätzlich, aber doch auffallend deutlich schichtgebunden (Abb. 2), worin sich ein Wechsel des Oxydations- bzw. Reduktionspotentials im Sedimentationsraum widerspiegelt.

Dazu kommt aber noch eine durch die Pyrit-Markasit-Verwitterung verursachte sekundäre Gelbbraun- bis Rotbraunfärbung. Diese von Goethit, zum Teil auch von Lepidokrokot herrührende Verfärbung der primär grauen Schichten ist aber nicht schichtgebunden, sondern führt zu einer meist unregelmäßigen und mehr fleckigen Farbverteilung.

Das Auftreten der Pechblende zusammen mit Sulfiden ausschließlich in den grauen Sandsteinen hängt also primär mit den reduzierenden Entstehungsbedingungen im Ablagerungsraum zusammen. Dem zeitlichen Wechsel des Milieus entspräche auch die Vorstellung alternierender Flachwassersedimentation und zeitweiser Trockenlegung etwa lagunenartiger Ablagerungsbereiche.

7. Wirtschaftliche Gesichtspunkte

Die Erkundungen über diese Lagerstätte stecken noch in den Anfängen. Die bisher vorliegenden radiometrischen Ergebnisse aus dem Gebiet Fieberbrunn-Hochfilzen sind durchaus erfolgversprechend im Hinblick auf eine wirtschaftlich interessierende U-Lagerstätte. Zukünftige Aufschlußarbeiten müssen die Feststellung von Homogenitäten bzw. Inhomogenitäten in der U-Verteilung im Sedimentverband zum Ziele haben und insbesondere zur Erkennung von Schichten, die für die Radioaktivität prädestiniert sind, führen. Dazu sind künstliche Geländeaufschlüsse und Bohrungen erforderlich. Weitere Prospektierungsarbeiten müssen die Verfolgung des U-führenden Sandsteinhorizontes nach Osten über die Landesgrenze Tirols nach Salzburg zum Ziele haben.

Falls sich die weiteren Untersuchungen als positiv erweisen und die bisher an der Oberfläche gewonnenen Informationen (lokal 1% U, max. bis 2%) sich auch über weitere Distanzen bestätigen und sich eine schurfbergbauliche Tätigkeit entwickeln könnte, würde zunächst eine Gewinnung des Materials im Anfangsstadium im Tagbau möglich sein. Infolge des flachen bis mittelsteilen Bergwärtsfallens der Schichten müßte man aber in einem späteren Stadium auf untertägigen Abbau übergehen. Eine künstliche Anreicherung U-hältigen Materials

durch Auskütten mit Hilfe radiometrischer Methoden wäre allenfalls notwendig. Nachdem die Abbauwürdigkeit nach allgemeinen Angaben derzeit bei 0,1% U/t liegt, könnte der Lagerstätte Fieberbrunn-Hochfilzen in Zukunft durchaus wirtschaftliches Interesse zukommen.

Literatur

- BARNICK, H., 1959: Petrographische Untersuchungen der permotriadischen Basisschichten im Bereich der Nördlichen Grauwackenzone zwischen Brixlegg und Hochfilzen. Diss. Universität Innsbruck.
- EISBACHER, G., 1963 a: Sedimentpetrographische Untersuchungen am alpinen Buntsandstein im Raume Innsbruck—Saalfelden. Diss. Universität Innsbruck.
- 1963 b: Primäre gerichtete Gefüge und Paläogeographie des alpinen Buntsandsteins im Raume Innsbruck—Saalfelden. Veröff. des Museum-Ferdinandum 43, 133—141.
- 1969: Neue Beobachtungen zur Deutung der knolligen Magnesite im Tonschieferkomplex des alpinen Buntsandsteins der Nördlichen Kalkalpen. Mineralium Deposita 4, 219—224.
- Geologische Karte von Kitzbühel und Umgebung, 1 : 25.000, von TH. OHNE-SORGE. K. K. Geol. Reichsanst., Wien, 1917.
- Geologische Spezialkarte des Bundesstaates Österreich, Blatt Nr. 5049, Kitzbühel und Zell am See, 1 : 75.000, Geol. Bundes-Anst., Wien, 1935.
- HURLEY, P. M., 1956: Direct radiometric measurement by gamma-ray scintillation spectrometer. Part I. Uranium and thorium in equilibrium. Bull. Geol. Soc. Amer. 67, 395—404.
- KLEBELSBERG, R. v., 1935: Geologie von Tirol. Berlin: Gebr. Borntraeger.
- MAUCHER, A., 1962: Die Lagerstätten des Urans. Braunschweig: F. Vieweg u. Sohn.
- und G. REHWALD, 1960: Bildkartei der Erzmikroskopie. Frankfurt a. M.: Umschau.
- RAMDOHR, P., 1960: Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Berlin: Akademie-Verlag.
- SCHMIDEGG, O., und E. J. ZIRKL, 1963: Uranvererzungen in Südtirol. Verh. Geol. Bundes-Anst., Jg. 1963, 97—109.

Prof. Dr. O. SCHULZ und
Dr. W. LUKAS
Institut für Mineralogie und
Petrographie der Universität
Innsbruck
Universitätsstr. 4, A-6020 Innsbruck