

DIE URANLAGERSTAETTEN DER WELT, IHRE BESONDERHEITEN UND IRE WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG *

von Ord. Prof. Dr. - Ing. F. SCHUMACHER

Es ist mir eine Ehre, heute über ein Thema zu Ihnen sprechen zu dürfen, mit dem ich mich seit 1945 naeher beschaefigt habe: Über Uranerzlagerstaetten. Es ist nicht ganz einfach, dieses Thema in Form einer zusammenfassenden Übersicht zu behandeln, trotzdem hierüber eine kaum übersehbare Literatur namentlich aus amerikanischen Quellen vorliegt. Denn eine erschöpfende Information ist wegen der seit 10 Jahren betriebenen Geheimhaltung aller Zahlen über Gehalte, Produktion und Reserven schwierig und vielfach sogar unmöglich. Gerade auf diesem Gebiet ist man daher mehr als anderswo auf eigene Beobachtungen angewiesen. So hatte ich die Gelegenheit, im Laufe der Jahre alle wichtigen Typen von Uranlagerstaetten mit Ausnahme der Carnotitvorkommen aus eigener Anschauung kennenzulernen. Eine Reise nach Brasilien, die ich im vorigen Jahre auf Einladung der dortigen Regierung zur Untersuchung der brasilianischen Uranvorkommen ausführen konnte, hat mich auch mit den ungewöhnlichen Urantypen dieses Landes bekannt gemacht. So hoffe ich, Ihnen auf Grund dieser persönlichen Beobachtungen ein Bild von dem mannigfaltigen Charakter dieser Lagerstaetten geben zu können; mannigfaltig sowohl in Bezug auf ihre

mineralogische und geologische Ausbildung als auch in Bezug auf ihren Urangehalt.

Diese Mannigfaltigkeit beginnt schon bei den *Uran-Mineralien*, deren Zahl fast unübersehbar ist. Man kennt heute ingefaeher 200 radioaktive Mineralien, die Uran und Thorium enthalten. Die meisten Feldgeologen sind aber mit nicht mehr als etwa einem Dutzend dieser Mineralien vertraut. Dies erklart sich daraus, dass die meisten radioaktiven Mineralien mineralogische Seltenheiten sind; nur relativ wenige besitzen eine grosse wirtschaftliche Bedeutung. Ungafaeher die Haelfte dieser Mineralien sind schwarz oder schwaerzlich gefaerbt und sehen einander mehr oder weniger aehlich. Da sie zudem vielfach eine sehr komplizierte Zusammensetzung besitzen, ist es verstaendlich, dass ihre mineralogische und chemische Untersuchung oft grossen Schwierigkeiten begegnet. In der Tat geben viele dieser Mineralien ihrer wissenschaftlichen Erforschung trotz Anwendung modernster Hilfsmittel noch zahlreiche Raetsel auf.

Es ist interessant, wiesehr die Uran- und Thorium - mineralien durch ihre radioaktive Strahlung ihre Nachbar-Mineralien veraendern, indem sie ungewöhnliche Faerfungen an ihnen verursachen. In der Naehe von Uran-Mineralien ist der Quarz rauchgrau gefaerbt. Calcit und Dolomit nehmen eine rote oder rotbraune

*) Vortrag, gehalten am 22. und 23.2. 1955 am M.T.A. Enstitüsü in Ankara.

Farbe an, und Fluorit wird tief dunkelviolett bis fast schwarz. Diamanten werden grün; ein Beispiel hierfür sind die grünen Diamanten in den goldführenden Conglomeraten des Witwatersrandes in Transvaal, welche diese ungewöhnliche Farbe dem Uraninhalt dieser alten Seifen verdanken. In der Nähe von Thorium-Mineralien wird der Quarz rot und der Feldspat bekommt in ihrer Nachbarschaft einen Hof von rötlicher Farbe, Diese Färbungen können wichtige Hinweise beim Prospektieren nach radioaktiven Mineralien geben.

Wie schon die grosse Zahl der radioaktiven Mineralien beweist, ist das Uran in der Natur keineswegs ein knappes Metall. Seine Vorkommen übertreffen sogar diejenigen der Edelmetalle bei weitem. Aber in konzentrierter Form, das heisst als nutzbare Lagerstätte, ist das Uran doch viel seltener. Was nun die Art dieser Lagerstätten betrifft, so erscheint es mir im Rahmen dieses Vortrages zweckmässig, diese Übersicht nicht nach genetischen, sondern nach praktischen Gesichtspunkten durchzuführen. Man kann dann zwei grosse Haupttypen auseinanderhalten:

1. Eigentliche *Uranlagerstätten*, in denen das Uran Hauptprodukt ist
- II. *Lagerstätten mit Uran als Nebenprodukt.*

Hauptvertreter der ersten Gruppe sind die

1. Pechblende führenden Erzgaenge.

Sie enthalten Pechblende in der niedrigen kolloidalen Form als wichtigstes und vielfach einziges Uranerz. Die Pechblende, das wertvollste Uranmineral, hat die allgemeine Zusammensetzung UO_2 und enthält zwischen 50 und 85% U_3O_8 . Als Begleiter fungieren gewöhnlich Kobalt-Nickel-Wismut- und Silbererze, nicht selten Kupfererze, in manchen Fällen

auch Eisenerze in Form von Haematit. Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Pechblendegaenge ist ausserordentlich gross, denn sie liefern vorläufig noch die Hauptmenge des auf der Erde erzeugten Urans. Ihre Verbreitung erstreckt sich auf 3 Hauptgebiete: Mitteleuropa, speziell das saechsische und böhmische Erzgebirge, Canada und den Belgischen Kongo.

Was das geologische Auftreten dieser Pechblendegaenge betrifft, so liegen sie vorzugsweise an der Peripherie grosser alter kristalliner Schilde oder von starren Massiven, besonders Graniten. Das Innere der Schilde ist dagegen gewöhnlich frei von Uran - Mineralien. Sehr klar zeigt sich dies in Canada, wo die Uranvorkommen am West - und Südrand des riesigen canadischen Schildes angeordnet sind. Im Inneren dieses Schildes wird man dagegen vergeblich nach Uranerzen suchen. Die gleiche Erscheinung zeigt sich auch im Erzgebirge, wo die wichtigsten Lagerstätten dem Ostrand einer grossen alten Granitintrusion folgen, der die Uranführung zweifellos entstammt. Sowohl in Canada als auch im Erzgebirge handelt es sich um typisch hydrothermale Bildungen, die bei mässig hohen Temperaturen entstanden sind.

Der Ursprung des Uranbergbaus liegt in den klassischen *Kobalt-Nickel-Wismut-Silbererzgaengen des Erzgebirges*, die das Uran in Form von Pechblende führen. Sie knüpfen sich an die berühmten alten Bergstädte Annaberg, Schneeberg und *Johanngeorgenstadt* auf der saechsischen Seite und *St. Joachimsthal* auf der tschechischen Seite des Gebirges. Im Anfang berühmt durch ihren Silberreichtum, haben sie später durch die Darstellung der schönen blauen Kobaltfarben in den saechsischen Blaufarbenwerken jahrhundertlang den Kobaltmarkt der Welt beherrscht. Als dieses Monopol zu Anfang dieses Jahrhunderts zusammenbrach, fri-

steten sie nur noch als Wismutproduzenten ein bescheidenes Dasein. Aber seit 1945 sind sie wegen ihrer Uranführung zu neuem Leben erwacht und bilden den Gegenstand eines ausgedehnten Uranbergbaus durch die russische *Wismut-Aktiengesellschaft*, wie sie mit ihrem getarnten Namen heisst. Dieser Uranbergbau beschäftigte in den letzten Jahren ungefaehr 150.000 deutsche Arbeitskraefte, wozu noch etwa 40.000 - 50.000 sowjetische Arbeitskraefte einschliesslich des Bewachungspersonales hinzukamen.

In den saechsischen Gruben ist die Pechblende erstmals seit den 40er Jahren des vorigen Jahrhunderts, lange bevor sie als Traeger des Radiums bekannt war, zur Darstellung der gelben Uranfarben verarbeitet worden. Aber sie spielte nur die Rolle eines Nebenproduktes und ihre Produktion war unbedeutend. Erst die Russen haben die allgemeine Verbreitung der Pechblende auf diesen Gaengen mit Hilfe des Geigerzaehlers nachgewiesen. Dagegen ist in dem tschechischen *St. Joachimsthal* schon seit Jahrzehnten ein Bergbau auf Pechblende im Gang, die hier den Hauptgegenstand der Gewinnung bildet. Diese Pechblende findet sich in der tiefsten Zone der dortigen Erzgaenge der eigentlichen Uranzone, in Form schmaler Adern sowie in kleinen nestfoermigen und linsenfoermigen Partien. Begleitet wird sie von Dolomit und etwas Fluorit. Der Dolomit ist durch die radioaktive Strahlung des Uranerzes rotbraun verfaerbt, sodass er geradezu als Wegweiser zu den Pechblendemitteln benutzt werden kann. Der Fluorit ist dagegen in sogenannten «Stinkspat» umgewandelt, der radioaktiv fast schwarz gefaerbt ist und beim Anschlagen nach freiem Fluor riecht. Das gefoerderte Roherz war frueher ziemlich reich und enthielt durchschnittlich etwa 1% Pechblende.

Dieses St. Joachimsthal hat den Ruhm, dank der Entdeckung des Ehepaares Cu-

rie im Jahre 1898 das erste Radium der Welt geliefert zu haben. Und eine Zeitlang besass es auch das Radium - Weltmonopol, bis dieses durch die Entdeckung anderer grosserer Lagerstaetten gebrochen wurde. Heute aber liefert es einen wesentlichen Beitrag für die Urangewinnung der Sowjetunion.

Der radioaktiv verfaerbte Fluorit, der auf den Erzgaengen von St. Joachimsthal nur untergeordnet vorkommt, kann auch in Form selbstaendiger Lagerstaetten auftreten. Dazu gehoeren dies *Fluoritgaenge von voelsendorf in Bayern*. Sie fuehren den erwaehten dunkelvioletten «Stinkspat» zusammen mit etwas Pechblende und zahlreichen anderen Uranmineralien, die sekundaer aus ihrer Zersetzung hervorgegangen sind. Indessen ist der Urangehalt dieser Fluoritgaenge so gering, dass man ihnen kaum eine wirtschaftliche Bedeutung zusprechen kann.

Im Jahre 1930 wurden analoge Lagerstaetten wie im Erzgebirge im aeussersten Nordwesten *Canadas* am Ostufer des Grossen Baerensees entdeckt. Durch ihren Reichtum haben sie sich rasch zum grosssten Pechblendeproduzenten ganz Amerikas und darueber hinaus zum zweitwichtigsten Uranlieferanten der Welt entwickelt. Die dortigen Gaenge bilden Breccienzonen in stark metamorphen praecambrischen Gesteinen. Sie bestehen aus siliifizierten Gesteinsfragmenten und fuehren Adern und Linsen von nieraerger Pechblende, die wie im Erzgebirge von Kobalt-Nickel- und Silbererzen begleitet wird. Daher liefern sie neben Uran auch betraechtliche Mengen von Silber.

Diese Vorkommen werden seit 1933 von der inzwischen verstaatlichten *Eldorado Mining and Refining Company* abgebaut, die auch heute noch die gesamte canadische Uranindustrie kontrolliert. Die gewonnenen Erze waren anfaenglich ungewoehnlich reich. In der letzten Zeit

wurde ein Gehalt des Roherzes von 1.0% U_3O_8 und rund 700 g Ag pro t Erz angegeben. Sehr nachteilig wirkt sich allerdings die ungünstige Lage der Grube ungefaehr unter dem Polarkreis aus. Der Grosse Baerensee ist den grössten Teil des Jahres über zugefroren, sodass Schifffahrt nur in den 3 kurzen Sommermonaten möglich ist. Aus diesem Grunde vollzieht sich der Verkehr grösstenteils mit Flugzeugen. Die erzeugten Konzentrate werden über eine Entfernung von mehr als 1000 km bis zum Endpunkt der Eisenbahn geflogen und gelangen von dort mit der Bahn über weitere 3600 km zur Raffinerie in Port Hope, die am Ontariosee in der Naeh von Toronto liegt.

Diesem arktischen Vorkommen ist inzwischen ein bedeutender Konkurrent in der Naeh des *Athabaskasees* erwachsen, der fast 1000 km südöstlich vom Grossen Baerensee unter dem 59. Breitengrad gelegen ist. Im Jahre 1947 hatte die Eldorado Company nördlich dieses Sees neue bedeutende Uranfelder gefunden und hat dort die ebenfalls staatliche *Ace-Fay Mine im Beaverlodge-Gebiet* entwickelt. Diese reiche Grube, welche die alte Eldorado Mine am Grossen Baerensee in Zukunft an Bedeutung weit übertreffen wird, hat 1953 die Produktion mit einer taeglichen Kapazitaet von 500 t Erz aufgenommen. Auf Grund dieser Erfolge wurden spaeter auch private Unternehmer zur Uranprospektion zugelassen. So kam es im August 1952 zu jenem berühmt gewordenen «rush», der an die Vorgaenge zur Zeit des Goldrausches in Californien erinnert, nur dass es sich jetzt um Uran handelt. Mehrere 100 Prospektoren, die alle mit Geigerzaehlern ausgerüstet waren, traten dort zu einem Wettrennen nach den von der Regierung freigegebenen Claims an. Und in kurzer Zeit war ein Gebiet von ungefaehr 30 x 40 km Grosse lückenlos mit Grubenfeldern belegt. Eine neue Stadt - Uranium City -

wurde aus dem Boden gestampft und nun ging auch die Privatindustrie mit Macht an die Entwicklung des neuen Urangebietes heran. Der Erfolg ist nich ausgeblieben und man rechnet damit, dass in den naechsten Jahren 8 bis 10 neue private Urangruben in Betrieb kommen, darunter das bedeutende Vorkommen der *Gunnar Mine*, die schon über 3 millionen t Uranerz aufgeschlossen hat.

Geologisch liegt das uranführende Gebiet des Athabaskasees wie dasjenige des Grossen Baerensees am Westrand des canadischen Schildes. Alle Vorkommen von wirtschaftlicher Bedeutung sind an grosse Verwerfungszonen gebunden, die metamorphe praecambrische Sedimente von ziemlich basischem Charakter durchsetzen und sich über viele km Laenge verfolgen lassen. Von diesen Verwerfungsspalten aus ist das Nebengestein durch hydrothermale Lösungen selektiv fast ganz in Haematit umgewandelt worden. Dieser Haematit, der blutrot bis schokoladebraun gefaerbt ist, enthaelt Pechblende in feiner Verteilung, aber auch in staerkeren Adern und Nestern. Die Haematitisierung des Nebengesteins ist so charakteristisch, dass sie aehnlich wie in St. Joachimsthal als Wegweiser zum Aufsuchen guter Erzmittel benützt werden kann. Kobalt, Nickel und Silber fehlen und sind durch Eisen ersetzt. Man kann daher diesen Typus als Pechblende führende Haematitgaenge bezeichnen.

Das dritte Hauptgebiet von Pechblende führenden Erzgaengen liegt im Belgischen Kongo. Es handelt sich um die berühmten Uranerzgaenge von *Shinkolobwe im Kupferbezirk von Katanga*. Das Vorkommen wurde 1915 entdeckt und wird seit 1921 abgebaut. Seit dieser Zeit gilt es als die grösste und reichste Radium- und Uranlagerstaette der Welt. Geologisch tritt es in der sogenannten Minenserie von Katanga auf, einer altpalae-

ozoischen Schichtengruppe aus dolomiti-schen Schiefen, Dolomiten und Quarziten, Darin bildet die Lagerstaette ein Netz-
werk regelloser Adern und Linsen, die haeufig stockwerkartig verschnürt sind. Von diesen Adern aus ist auch das an-grenzende Nebengestein mehr oder we-niger stark mit Uran impraegniert wor-den. Haupterz ist auch hier Pechblende, jedoch nicht in der nierenigen kolloidalen, sondern in der kristallisierten Form als *Uraninit*, der bei höheren Temperaturen entstanden ist. Hierauf weisen auch die Begleitmineralien hin, die in verschie-denen Bildungsphasen auftreten : Als ae-lteste Quarz mit Apatit, Monazit und Tur-malin, dann folgt die Pechblende, und zum Schluss kam es zum Absatz von Sul-fiden, hauptsaechlich von Kupfer-, Ko-balt- und Nickelsulfiden. Charakteristisch für Shinkolobwe ist die Kombination des Urans mit Kupfer und Kobalt, den Haupt-metallen von Katanga. Nickel tritt zurück, Wismut und Silber fehlen ganz. Hierdurch sowie durch das Auftreten hochthormaler ind pneumatolytischer Mineralien unter-scheidet sich die Laaerstaette genetisch von den anderen Pechblendevorkommen, die wir bisher kennengelernt haben.

Die Erze von Shinkolobwe waren früher ausserordentlich reich mit Gehal-ten bis zu 50% Uranoxyd, und sind auch heute noch die reichsten der Welt. Es kamen massive Blöcke von Pechblende im Gewicht von mehreren Tonnen vor. Im Kongomuseum Tervueren bei Brüssel ist ein Block aus reinem Uranerz im Ge-wicht von 700 kg aufgestellt. Dieser Block besteht aus einem Kern von schwarzen Pechblende, die randlich in grell ge-faerbte Oxydationsprodukte von gelben, orangeroten und grünen Farben überge-gangen ist. Von diesen sekundaeren U-ranmineralien sind bis jetzt etwa 25 ver-schiedene Arten bekannt geworden, meist Uranhydroxyde, Bleiurane, U-ransilikate und Uranphosphate. Diese

reichen Derberze scheinen heute gröss-tenteils abgebaut zu sein, sodass sich der Bergbau mehr und mehr auf die Ge-winning der aermeren Impraeagnation-serze verlagert. Jedoch sind die Vorräte des Belgischen Kongo an Uranerzen offen-bar noch sehr gross und wahrscheinlich die grössten der Welt, zumal inzwischen entdeckt worden sind. Auch heute noch sollen etwa 60% des Urans der freien Welt aus dem Belgischen Kongo stammen.

Die Gesamtförderung von Shinko-lobwe betrug von 1921 - 1939: 126.000 t Uranerz, aus dem 776 g Radium erzeugt wurden. Seither sind keine neuen Zahlen mehr bekannt geworden.

Schon bei Shinkolobwe ist die Kom-bination Uran - Kupfer deutlich zu beo-bachten. In noch typischerer Entwicklung kennt man Uranführende Kupfererz-gaenge schon seit langen aus dem Zinn-bezirk von *Cornwall, England*, wo sie eine sulfidreiche Facies der dortigen Zin-nergaenge bilden. Die Pechblende ist hier mit sulfidischen Kupfererzen vergesell-schaftet, hat aber nie eine nennenswerte Produktion geliefert. Dagegen sind im Jahre 1949 aussichtsreiche Funde von Uran führender Kupfererzgaengen in *Nordaus-tralien* bei Rum Yungle südlich des Hafens Port Darwin gemacht worden. Diese Gaenge führen Chalkopyrit, Bornit, Bournonit und Pyrit zusammen mit Pechblende in praecambrischen Sedimenten. Nach dem, was bisher über diese Vorkommen bekannt geworden ist, sollen sie zu den wichtigs-ten Funden gehören, die in den letzten Jahren in der westlichen Welt gemacht worden sind.

Von viel geringerer Bedeutung als die Pechblende führenden Erzgaenge sind.

2. Die Gaenge mit Uranglimmer,

Es handelt sich hier meist um Quarz-gaenge, die mehr oder weniger reichlich

Uranglimmer als Haupterz oder einziges Erz führen: Entweder Autunit (wasserhaltiges Ca-U-Phosphat) oder Torbernit (wasserhaltiges Cu-U-Phosphat). Ersterer ist gelbgrün, letzterer smaragdgrün gefärbt. Sie sind fast immer an Granitgebiete gebunden, wo sie häufig in Form von Klüftbeschlagen auftreten, ohne dass sie eine wirtschaftliche Bedeutung erlangen. Bauwürdige Lagerstätten kennt man seit längerer Zeit namentlich aus *Portugal* in den Granitgebieten unweit der spanischen Grenze. Man hat sie seit 1908 mit wechselndem Erfolg, jedoch nur in kleinerem Ausmass abgebaut. Über die neueste Entwicklung ist nichts Näheres bekannt geworden; man weiss nur, dass die Uranglimmer in der tiefsten Grube nach unten in Pechblende übergehen. Träger der Vererzung sind pegmatitische Quarzgänge sowie der angrenzende kaolinisierte Granit.

Von ähnlicher Art sind die Lagerstätten, die zur Zeit in *Westdeutschland* bei Weissenstadt im Fichtelgebirge unweit der tschechischen Grenze aufgeschlossen werden. Sie sind an Klüfte im Granit gebunden und führen als einziges Erz Torbernit in Form von tapetenartigen Beschlägen. Da dieser Uranglimmer schon bis in 200 m Tiefe verfolgt werden konnte, ist er sicher primärer Entstehung und nicht aus Pechblende hervorgegangen. Obwohl es sich um kleine und arme Vorkommen handelt, werden sie voraussichtlich doch die zum Bau eines Atomreaktors nötigen Uranmengen zu liefern vermögen.

Der dritte Typus der eigentlichen Uranlagerstätten ist dagegen wieder von grösster wirtschaftlicher Bedeutung, die

3. Carnotitlagerstätten.

Der Carnotit ist ein wasserhaltiges Kalium-Uran-Vanadat von kanariengelber Farbe, das in reinem Zustand 50-60% UO_3

und 18-20% V_2O_5 enthält. Er ist also nicht bloss ein Uranerz, sondern zugleich auch ein wichtiges Vanadiumerz. Er findet sich zusammen mit anderen Vanadium-Mineralien, z. B. Tuyamunit, einem wasserhaltigen Calcium-Uran-Vanada, als Bindemittel oder Imprägnation in gewissen Sandsteinen des *Red Bed-Typus*. Hierunter versteht man meist grellrot gefärbte Sandsteine von *terrestrisch-arider* Entstehung, die vorwiegend dem Jura angehören. In genetischer Beziehung betrachtet man sie als Verwitterungslagerstätten, die auf dem Festland unter ariden Bedingungen in langen Zeiträumen entstanden sind.

Die Erzkörper bilden flachliegende Plateaulagerstätten in den erzfreien Sandsteinen. Meist handelt es sich um Lager, Linsen und Taschen von beschränkter Ausdehnung und grosser Regellosigkeit. Ihre Mächtigkeit schwankt von wenigen Zoll bis maximal 4 und 5 m, ist aber im Durchschnitt gering. Aus diesen Gründen enthalten sie im allgemeinen nur beschränkte Erzmengen, die in der Grosse von wenigen Tonnen bis zu Zehntausenden von Tonnen schwanken. Erzkörper mit einigen tausend Tonnen Inhalt gelten schon als gross. Dafür sind sie aber sehr zahlreich. Die Anreicherung der Uranerze ist oft an organische Substanz in Form von fossilisierten Baumstämmen und Zweigen gebunden. Die reichsten Erze bestehen meist aus Baumstrücker, die von Vanadium- und Uran-Mineralien verdrängt wurden. Die Gehalte der einzelnen Erzkörper sind durchgängig niedrig und schwanken von 0.1 bis 1% U_3O_8 , wobei der Durchschnitt näher an der niedrigeren Zahl liegt. Ein mittleres Erz, das noch mit Gewinn abgebaut werden kann, hat etwa, 0.2% U_3O_8 und 1% V_2O_5 . Unter diesen Gehalten ist in den kleinen Gruben nicht viel zu verdienen.

Diese Lagerstätten liefern in den Vereinigten Staaten von Amerika rund

90% der Uranproduktion. Infolge ihrer Kleinheit verteilt sich die Gewinnung auf Hunderte einzelner Gruben, deren Zahl sich von 1948 bis Mitte 1954 von 15 auf 530 erhöht hat. Viele dieser «Minen» sind winzige Zweimann - oder Dreimann - Betriebe, welche die Erze auf ihren Claims in primitiven Tagebauen fördern.

Die wichtigsten Carnotitvorkommen liegen auf dem Colorado - Plateau beiderseits des Colorado - Flusses, das über 300.000 km² gross ist. Sie verteilen sich hauptsächlich auf zwei Staaten: Das südöstliche Utah und angrenzende südwestliche Colorado, d.h. das Gebiet zwischen den Städten Denver im Osten und Salt Lake City im Westen. Inzwischen hat man die gleichen Lagerstätten auch in Arizona, New Mexico und Wyoming gefunden. Stratigraphisch gehören sie in der Hauptsache zur jurassischen Morrisonformation, sind aber nicht auf diese Formation beschränkt. Diese riesige Ausdehnung der Carnotit führenden Formationen sowohl in horizontaler wie in vertikaler Richtung eröffnet gute Aussichten für die Steigerung der Uranproduktion. Nach den letzten Berichten der amerikanischen Atomenergie - Kommission hat die Uranproduktion der Vereinigten Staaten inzwischen alle Erwartungen übertroffen, sodass die bestehenden 9 zentralen Aufbereitungen die angelieferten Erzmengen nicht mehr bewältigen können. Die private Initiative, die den Carnotitbergbau beherrscht, hat sich auch hier glänzend bezahlt gemacht.

Durch den Zustrom von Tausenden von Prospektoren hat sich auf dem Colorado - Plateau seit Mitte 1952 ein regelrechter Uran-rausch entwickelt, und zahlreiche Uran - Bergbaugesellschaften schossen wie Pilze aus der Erde. Jedoch scheint es, dass diese wilde Spekulation jetzt im Abflauen begriffen ist und dass die vielen winzigen Betriebe immer mehr durch grosse Bergbaugesellschaften ver-

drängt werden, welche die Abhänge des Canyons mit Flugzeugen abfliegen und durch empfindliche Scintillometer auf das Vorhandensein von Uran abtasten.

Ich komme nun zur Gruppe II, den Lagersäeffen *mit Uran* als Nebenprodukt. Hier wären zunächst zu nennen die

4. Uranführenden Pegmatitgänge.

Sie sind zwar sehr verbreitet, haben aber für die Gewinnung des Urans nur eine geringe Bedeutung aus drei Gründen:

a. Wegen ihrem geringen Gehalt an Uran - Mineralien, die nur als Nebenprodukt vorkommen. In allgemeinen liegen die Urangelhalte der Pegmatite selten über 0.01%, d.h. über 100 Gramm U₃O₈ pro t, auf die ganze Gesteinsmasse bezogen. Dies ist weit unterhalb der Grenze, die man heute noch als abbauwürdig bezeichnen kann.

b. Wegen der regellosen und absatzigen Verteilung der Uran - Mineralien im Pegmatit in Form von nestförmigen Anreicherungen, die mehr vortauschen als sie nachher halten. Sie sind daher ausgesprochene «Blender».

c. Wegen ihrem geringen Aushalten nach der Tiefe.

Die Prospektion der Pegmatite auf Uran hat daher in fast allen Ländern zu Enttäuschungen geführt. Wenn überhaupt, so kann man die Uran-Mineralien nur als Nebenprodukt beim Abbau der Hauptmineralien verwerten. Die hierbei anfallenden Mengen sind aber gering. Die Pegmatite verkörpern daher eine diffuse Mineralisation, die zwar viele Museen mit schönen und seltenen Mineralien füllt, aber zur Versorgung von Aufbereitungen wenig geeignet ist. Sie stehen dadurch in scharfem Gegensatz zu den Pechblende führenden Erzgängen, in denen das Uran auf engem Raum konzentriert ist.

Der wirtschaftliche Wert der Pegmatite liegt in erster Linie in der Gewinnung von Tafelglimmer für die elektrotechnische Industrie, von Bergkristall, Beryll, Lithium-Mineralien und Edelsteinen. Soweit sie Uranerze enthalten, liegen sie entweder in Form von Uraninit, d.h. kristallisierter Pechblende vor, oder es handelt sich um Uran - Niobate, —Tantalate und— Titanate, vielfach mit seltenen Erden. Bekannte Vertreter der letzteren sind der uranreiche Betafit, der bis 27% U_3O_8 enthaelt, der Samarskit, Euxenit und viele andere. Ihre Hauptverbreitung liegt auf der Insel Madagaskar und vor allem in Brasilien, dem klassischen Land der Pegmatite.

Anders steht es dagegen um die

5. Uranführenden Zirkonlagerstaetten.

Diese sind bisher in grösserer Verbreitung nur aus Brasilien bekannt und stellen in diesem Lande den wichtigsten Traeger des Urans dar. Sie sind an ein grosses Eruptivfeld aus Nephelinsyeniten gebunden. Darin treten zahlreich schmale Gaenge auf, die sehr unregelmässig entwickelt und oft strak verzweigt sind. Ihr Füllmaterial besteht aus dem sog. *Caldasit*, einem mikrokristallinen Gemenge von Zirkonsilikat ($Zr SiO_4$) und Zirkonoxyd ($Zr O_2$). Je nach dem Vorherrschen des einen oder anderen dieser Mineralien weichen die Gehalte an Zirkonoxyd stark. Das Nebengestein der Gaenge, der Nephelinsyenit, ist fast immer stark zersetzt, und in diesen zersetzten Gesteinen wurden die Lagerstaetten bisher allein ausgebeutet. Die Tiefe der Aufschlüsse betraegt nicht mehr als 10 bis höchstens 15 m. Man muss daher annehmen, dass hydrothermale Lösungen die primären Zirkon - Mineralien des Nephelinsyenits aufgelöst und sie in der Verwitterungszone in Form von *Caldasit*-Gaengen wieder abgesetzt haben. Es

handelt sich also aller Wahrscheinlichkeit nach um oberflächennahe Bildungen.

Diese *Caldasit*gaenge wurden später durch die Erosion zerstört, wobei sich der *Caldasit* im Verwitterungsschutt des Eluviums angesammelt hat. So kam es zur Entstehung sekundärer oder Detritus - Lagerstaetten, die auf den Kuppen der Berge und an ihren Gehängen liegen und sich von hier bis in die Nähe der Täler herabziehen. Sie enthalten wahrscheinlich den grösseren Teil der Reserven an Zirkon-Erz.

Sehr bemerkenswert ist ein grosser *Block von Zirkonerz* im Gewicht von etwa 40 t, der im Eluvium liegt und anscheinend von einer mächtigen linsenförmigen Gangpartie in der Nähe herrührt. Dieser *Block* enthaelt ca 80% Zirkonoxyd und über 1% Uranoxyd und stellt damit ein einmaliges Unikum auf der Erde dar.

Die aufbereiteten Zirkonkonzentrate enthalten im Durchschnitt 65-75% ZrO_2 . Dazu kommt ein wechselnder Urangehalt, der erst in den letzten Jahren entdeckt wurde und der in den besseren Feldern bei 0.4 - 0.5 % U_3O_8 liegt, also hoch ist. Da auch die Erzreserven gross sind, werden die brasilianischen Zirkonlagerstaetten für die Gewinnung des Urans in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Sie liegen im Staate Minas Gerais in der Umgebung des Bades Pocos de Caldas, das durch seine Schwefelthermen berühmt ist.

Das Gleiche gilt für die

6. Uranführenden Monazitseifen.

Brasilien ist neben Indien das an Monazit reichste Land der Erde. Monazit ist im wesentlichen Ceriumphosphat ($CePO_4$) und enthaelt bis 70% seltene Erden. Seine Hauptbedeutung lag aber bisher in seinem Thoriumgehalt, der im aufbereiteten Monazitsand durchschnittlich 6% Thorium-

oxyd (Th O_2) betraegt. Dazu kommt ein gewisser Urangehalt, der zwar stark wechselt, im Durchschnitt aber bei 0.15-0.20% U_3O_8 liegen dürfte. Damit bildet der Monazit nicht bloss ein wertvolles Thoriumerz, sondern auch ein wichtiges Uranerz, zumal grosse Mengen davon vorhanden sind und ihre Gewinnung relativ einfach ist.

Der Monazit ist ein haeufiger Nebenbestandteil gewisser Gneise, Granite und Pegmatite. Durch die Zerstörung dieser Gesteine gelangte er zunaechst in die Flüsse und von da an die Meeresküste, wo er durch die Brandung des Meeres aufgearbeitet wurde und sich zu bauwürdigen Alluvionen angereichert hat. In Brasilien ist ein Küstensreifen von etwa 700 km Laenge als Monazit führend bekannt, in dem eine grosse Zahl von Lagerstaetten von verschiedenem Wert liegen. Die Gehalte des Rohsandes wechseln sehr stark zwischen etwa 0.5% Monazit als Minium bis zu reichen Sanden, die 30-40% Monazit enthalten können. Von sonstigen Mineralien enthaelt der Rohsand vor allem grosse Mengen von Quarz, sodann sehr viel Ilmenit, der sich durch seine schwarze Farbe verraet, reichlich Zirkon, ferner Rutil, Spinell, Korund und vieles Andere. Die aufbereitete Handelsware ist ein feiner Sand von gelber Farbe, der durchschnittlich 90% Monazit enthaelt.

Bereits hat man in Brasilien auch den Nutzen des Monazitsandes für die von Rheumatismus geplagte Menschheit entdeckt. Die Rheumakranken legen sich an der Küste in den rohen Sand und verlieren durch die wohltaetige radioaktive Strahlung des Thoriums allmaehlich ihre Schmerzen. So wirkt dieses radioaktive Mineral nicht bloss zerstörend im Sinne der Atombombe, sondern auch heilend.

Zu den verfestigten Seifen im weiteren Sinne des Wortes gehören schliesslich die.

7. Uranführenden Konglomerate.

Schon seit 30 Jahren ist bekannt, dass die *goldführenden Konglomerate des Witwatersrandes in Transvaal*, die grösste Goldniederlage der Erde, neben Gold auch gewisse Mengen Uran enthalten. Dieses Uran sitzt zusammen mit dem Gold im Bindemittel der Quarzkonglomerate, der sog. Reefs, und zwar in Form von kleinen schwarzen Körnchen des Minerals Uraninit. Gevöhnlich steht es in enger Verbindung mit dem sog. «Karbon», einer kohligen Substanz, die ebenfalls im Bindemittel vorhanden ist. Dies erklart sich so, dass bei der Metamorphose der Witwatersrandsschichten, die unter hohen Temperaturen erfolgte, ausser dem Gold auch das Uran frossenteils mobilisiert und von der kohligen Substanz adsorptiv aufgenommen wurde. Die Anreicherung des Urans durch organische Substanz spielt ja in der Geochemie dieses Elementes, wie wir schon beim Carnotit gesehen haben, eine grosse Rolle.

Auf Grund dieser geringen Gehalte ist inzwischen am Witwatersrand eine grossartige Uranindustrie entstanden. Mit welcher Grosszügigkeit man dabei vorgegangen ist. zeigt sich darin, dass im Jahre 1949 über 400.000 Muster von uranhaltigen Erzen der verschiedensten Goldminen in den Laboratorien der Vereinigten Staaten und Canadas auf Uran analysiert wurden. Die erste Urananlage wurde im Oktober 1952 in Betrieb genommen. Bis heute gibt es bereits 7 Goldgruben, die Uran als Nebenprodukt gewinnen. Insgesamt sollen auf 24 Goldminen Urananlagen errichtet werden. Die Kapitalinvestierungen für diese Urananlagen werden auf mehr als 50 Millionen Pfund Sterling veranschlagt. Eine Reihe von armen Goldgruben, die man schon aufgeben wollte, werden nun plötzlich zu neuem Leben erwachen. Denn das Uran sitzt mit Vorliebe in den goldärmeren Reefs, die bisher für die Goldgewinnung nur eine

geringe Bedeutung besessen. Was dies bedeutet, geht daraus hervor, dass von den über 50 Millionen metr. t Golderz, die man in Südafrika jährlich verarbeitet, in Zukunft mehr als 10 Millionen t Rückstandsschlaemme auf Uran weiterverarbeitet werden. So waechst im Süden Afrikas ein neues Urangebiet heran, das in Zukunft zu den grössten der Welt gehören wird.

Die goldführenden Konglomerate des Witwatersrandes sind aber nicht die einzigen Uranvorkommen dieser Art. Vor kurzem hat man im Südosten der canadischen Provinz Ontario ein aehnliches uranführendes Konglomerat entdeckt. Es handelt sich um das Blind River-Gebief, das unmittelbar nördlich des Huronsees nicht weit von dem berühmten Nickel-Kupferdistrikt Sudbury in sehr günstiger Verkehrslage sich befindet. Auch dieses Uranvorkommen liegt wie die anderen canadischen Lagerstaetten an der Peripherie des grossen canadischen Schildes, und zwar an dessen Südrand. Das Uran sitzt hier in einem Basalkonglomerat unter der praecambrischen Huronserie, das aus Quarzgeröllen mit teilweise viel Pyrit besteht und eine auffallende Aehlichkeit mit den Quarzkonglomeraten des Witwatersrandes besitzt. Traeger des Urans ist neben Uraninit das Mineral Brannerit, ein Titanat von Ca, Fe, U, Th, Zr und Y von sehr komplizierter Zusammensetzung. Obwohl die Urangelhalte sehr niedrig sind (durchschnittlich 0.1 % U_3O_8) ist die flaechenhafte Ausdehnung des Konglomerates so gross, dass man mit bedeutenden Erzvorraeten rechnet, die nach den vorlaeufigen Schaetzungen in die Dutzende von Millionen t gehen sollen. Bereits befassen sich 2 grosse Privatgesellschaften mit der Erschliessung dieses jüngsten Kindes der canadischen Uranindustrie und haben mit dem Bau einer Grube nebst zugehöriger Aufbereitung, für grosse Leistungen begonnen. Man

glaubt, dass hier in wenigen Jahren mehrere grosse Urangruben entstehen werden, deren Betriebskosten nur einen Bruchteil der im hohen Norden liegenden Vorkommen erreichen sollen.

Weitere grosse Reserven für die Urangewinnung liegen schliesslich in der ferneren Zukunft in den

8. Uranführenden Schiefen und Phosphaten.

In Frage kommen hauptsaechlich gewisse bituminoese Schiefer mariner Entstehung. Die meisten bituminoesen Schiefer sind schwach uranhaltig. Jedoch finden sich nennenswerte Gehalte im allgemeinen nur in solchen marinen Schiefen, die bei der Destillation über 10% Oel ergeben. Die Gehalte sind aber durchgaengig sehr niedrig und liegen im Durchshnitt bei etwa 0.01% = 100 g U_3O_8 pro t Gestein, nur selten höher. Aus diesem Grunde sind sie bisher für die Urangewinnung noch nicht in Angriff genommen worden, solange es Lagerstaetten gibt, die das Zehnfache bis Hundertfache dieser Gehalte aufweisen. Sie haben aber den Vorteil, dass sie regelmaessig gelagert, ziemlich maechtig sind und grosse Flaechen bedecken, sodass die Reserven an verwertbarem uranhaltigem Material in die Milliarden von Tonnen gehen. Aus diesem Grunde können sie in spaeterer Zukunft nach Erschöpfung der reicheren Lagerstaetten für die Erzeugung der Atomenergie in grossem. Umfang wichtig werden.

Bedeutende Reserven an solchen armen Schiefen enthalten das südliche Schweden, die Vereinigten Staaten und verschiedene Gebiete der Sowjet-Union.

Aehnliches gilt für die Phosphatlagerstaetten, deren geringe Urangelhalte als Nebenprodukt bei der Verarbeitung der Phosphate auf Düngemittel und andere

verwertet werden können. Hier liegt in der Zukunft vielleicht eine weitere Quelle von Uran für die Erzeugung der Atomenergie. Bereits wird auf einer Neuanlage in Florida Uran in geringem Umfang als Nebenprodukt gewonnen.

Aus dieser Übersicht geht hervor, das man bezüglich der künftigen Versorgung der westlichen Welt mit Uran recht optimistisch sein kann. In der Tat sind die Fundstätten von Uran in den letzten Jahren ungeheuer erweitert worden, und in allen Kontinenten werden ständig neue Vorkommen entdeckt. Unsere ganze bisherige Kenntnis über die Verbreitung des Urans wird dadurch völlig auf den Kopf gestellt. So findet sich das Uran z.B. in Canada in Form von 6 oder 7 verschiedenen Typen, zum Teil zusammen mit seltenen, nämlich: In hydrothermalen Pechblendegaengen vom Typus Grosser Baerensee, die weitaus die grösste Bedeutung besitzen;

in Granitpegmatiten und Migmatiten, d.h. alten Gneisen, die mit pegmatitischem Material durchtränkt sind;

in Gängen von pegmatitischem Syenit und Quarzsyenit, dies abbauwürdig zu sein versprechen, weil die Uranminerale ziemlich gleichmässig in Gestein verteilt sind:

in Nephelinsyeniten;

in metamorphen Proxeniten in der Aureole syenitischer Intrusionen;

in Konglomeraten, die im Blind River-Gebiet bereits zum Abbau vorbereitet werden.

Natürlich sagt diese Liste zunächst nichts über die Bauwürdigkeit und den Wert dieser verschiedenen Urantypen aus. Aber bezeichnend ist, dass in Canada die Zahl der registrierten radioaktiven Vorkommen mit mindestens 0.05% Uran oder Thoriumoxyd inzwischen 1100 er-

reicht hat! Ungefähr 90% dieser Vorkommen liegen im westlichen und südlichen Randgebiet des canadischen Schildes. Obige Zahl von 0.05% = 500 g/t wird als erforderlich betrachtet, damit das Erz offiziell als radioaktive Substanz anerkannt werden kann. Wohl wird der grösste Teil dieser Funde voraussichtlich nicht in Förderung kommen. Trotzdem rechnet man allein in Canada mit der Möglichkeit, in absehbarer Zeit bis zu 10.000 t Uranerz täglich, d.h. bis zu 3 Millionen t jährlich verarbeiten zu können. Die gegenwärtige Tageskapazität des canadischen Uranbergbaus übersteigt dagegen noch kaum 1000 t.

Zusammengefasst verteilt sich heute die Gewinnung des Urans auf folgende 5 grosse Gebiete:

1. Die Pechblende führenden Erzgaenge des *Erzgebirges* mit Erzen von vielleicht 0.1 — 1% Urangelalt, deren Ausbeutung sich gänzlich in den Haenden der Sowjet-Union befindet.

2. *Canada* mit den Pechblendelagerstätten des Grossen Baerensees und des Athabaskasees.

3. Den *Belgischen Kongo* mit den reichen Pechblende vorkommen von Shinkolobwe.

4. Die Carnofivorkommen des Colorado plateaus in den Vereinigten Staaten.

5. *Südafrika* mit den goldführenden Konglomeraten des Witwatersrandes.

Auch Australien ist auf dem Wege, ein wichtiger Uranproduzent zu werden.

Wenn man das, was bisher über die Geologie des Urans bekannt geworden ist, auf die Türkei anwendet, so ist die Möglichkeit des Auftretens bauwürdiger Uranvorkommen auch in diesem Lande nicht zu verneinen. Obwohl ich mit der Geologie der Türkei noch nicht genügend

vertraut bin, so glaube ich doch, dass man dabei in erster Linie den alten kristallinen Massiven, vor allem der Peripherie dieser Massive besondere Aufmerksamkeit schenken sollte. Kein Land kann sich heute der Notwendigkeit verschliessen, seinen Untergrund auf das Vorhandensein radioaktiver Mineralien zu untersuchen. Es wird sich daher empfehlen, dieses Problem in Zukunft mit aller Energie weiter zu verfolgen und die Prospektion auch der privaten Initiative freizugeben. Denn das Beispiel der Vereinigten Staaten und Kanadas hat gezeigt, welche grosse Erfolge damit zu erzielen sind.

Von den genannten 5 Hauptvorkommen sind heute noch wirtschaftlich am wichtigsten die Pechblende - Lagerstätten, weil diese das Uran in der konzentriertesten Form enthalten. Jedoch kann sich dies im Laufe der Zeit ändern, wenn es einer fortgeschrittenen Verarbeitungstechnik gelingt, auch die ganz armen uranföhrnden Gesteine (Konglomerate, Schiefer, Phosphate) mit wirtschaftlichem Nutzen zu verarbeiten. Denn in diesen Stecken die weitaus grössten Uranmengen. Heute, wo das Uran in erster Linie zur Herstellung von Atomwaffen dient, liegt das Schwergewicht nicht auf den eigentlichen Uranlagerstätten, in denen das Uran Hauptprodukt ist. Deren Vorräte sind aber beschränkt und werden in wenigen Jahrzehnten erschöpft sein. In Zukunft muss sich aber die Uranindustrie zweifellos auf die friedliche Verwertung der Atomenergie verlagern, wenn die Welt nicht in Tränen, Blut und Trümmern untergehen will. Die dafür nötigen grossen Uranmengen können nur die armen, aber sehr ausgedehnten Lagerstätten liefern, die das Uran als Nebenprodukt enthalten. Wie gross diese Uranmengen sind, das zeigen die neuesten Schätzungen der amerikanischen Atomenergie-Kommission, wonach sich die abbauwürdigen Weltreserven auf etwa 25 Millionen

Tonnen Uran belaufen sollen. Dabei wird allerdings vorausgesetzt, dass in Zukunft auch ganz arme Erze verarbeitet werden können, wenn es gelingt, das natürliche Uran durch den sogenannten «Breedingprozess» in spaltbares Uran überzuführen, was heute noch nicht der Fall ist. Das natürliche Uran besteht zu 99.3% aus U 238 und nur zu 0.7% aus dem spaltbaren Uranisotop U 235. Und nur der Atomkern von U 235 zerplatzt beim Beschiessen mit Neutronen bestimmter Geschwindigkeit unter Freigabe einer ungeheuren Kernenergie.

Nach Zeitungsmeldungen sind zur Zeit sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in England *Atomkraftwerke* mit grossen Leistungen für industrielle Zwecke in Entwicklung. Das amerikanische Atomkraftwerk, das eine Kapazität von 60.000 KW besitzen wird, soll im Laufe des Jahres 1957 fertiggestellt werden und ungefähr 85 Millionen Dollar Kosten, das ist das Mehrfache eines thermischen Kraftwerkes gleicher Grösse. Die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen wird wesentlich durch die Erzeugungskosten des Urans bestimmt, die von der Atomenergie-Kommission noch geheimgehalten werden. In Europa kostet 1 kg reines natürliches Uranmetall zur Zeit ungefähr 75 Dollar, da aber das natürliche Uran nur 0.7% spaltbares U 235 enthält, ist der Preis für dieses Material viel höher und wird zur Zeit auf ungefähr 20.000 Dollar pro kg geschätzt. Das heisst: Das spaltbare U 235 ist heute noch ungefähr 17 mal teurer als Gold! Man muss sich daher bei diesen Projekten des Unterschiedes zwischen dem technisch Möglichen und dem wirtschaftlich Erreichbaren klar bewusst sein.

Aber die friedliche Verwertung der Atomenergie ist auf dem Marsch und nicht mehr aufzuhalten. Und jedes Jahr bringt neue Fortschritte, deren Aussichten noch nicht abschätzbar sind. Zur Unterstüt-

zung dieser Bestrebungen hat die Atomenergie-Kommission der Vereinigten Staaten vor wenigen Monaten 100 kg spaltbares Uran für experimentelle Atomreaktoren zur Verfügung gestellt. Mit dieser Menge können im Ausland 15 Versuchsreaktoren 5 Jahre lang bei einem Verlust von nur 1/3 ihres Atombrennstoffes betrieben werden. Ein solcher Reaktor ist also sehr sparsam im Gebrauch.

Die Aussichten, die bei diesen Forschungen für die Atomtechnik der Zukunft eröffnen, sind phantastisch. Aber nicht weniger phantastisch sind auch die apokalyptischen Folgen dieser Kraft wenn sie in Form von Atombomben Schrecken und Zerstörung auf der Erde verbreitet. Denn

die standardisierte Atombombe entspricht einer Wirkung von ungefähr 20.000 Tonnen Trotyl, d.h. 2000 Eisenbahnwagen dieses Sprengstoffes. Und die Wasserstoffbombe, welche bis jetzt in 2 Modellen existieren soll, steigert diese Wirkung noch in das Hundertfache bis Tausendfache. Es ist unvorstellbar, was geschehen würde, wenn eine solche Bombe über einem dicht besiedelten Wohngebiet platzen würde. Möge es daher den vereinigten Anstrengungen der Nationen gelingen, die Welt von der lähmenden Furcht vor dieser entfesselten Naturkraft zu befreien und sie zum Glück und Segen der Menschheit zu verwenden!

WICHTIGSTE LITERATUR

1. Bain Geology of the fissionable materials. Economic Geology 45, 1950, Nr. 4, S. 273/323.
2. Everhart-Wright: The geologic character of typical pitchblende veins. Economic Geology 48, 1953, Nr. 2, S. 77/96.
3. Kohl: Uran. Heft 10 der Schriftenreihe «Die metallischen Rohstoffe». Stuttgart 1954.

DIE WICHTIGSTEN TYPEN VON URANLAGERSTÄTTEN

I — Eigentliche Uranlagerstätten mit Uran als Hauptprodukt:

1. Pechblende führende Erzgaenge
 - a. Erzgebirge: Annaberg, Schneeberg, Johanngeorgenstadt, Sachsen, St. Joachimsthal, Tschoslowakei
 - b. Canada: Grosser Baerensee (Eldorado Mine) Athabaskasee (Ace-Fay Mine, Gunnar Mine, Beaverlodge - Gebiet)
 - c. Belgisch-Kongo: Shinkolobwe, Katanga
2. Gaenge mit Uranglimmer (*Autunit*, *Torbernit*)
 - Portugal, Westdeutschland (Fichtelgebirge)
3. Carnoflagersstätten
 - Colorado-Plateau, U.S.A.

II — Lagerstaetten mit Uran als Nebenprodukt :

4. *Uranfuehrende Pegmatitgaenge*
Madagaskar, Brasilien u.a.
5. *Uranfuehrende Zirkonlagerstaetten*
Poços de Caldas, Brasilien
6. *Uranfuehrende Monazitseifen*
Brasilien, Indien
7. *Uranfuehrende Konglomerate*
Goldkonglomerate des Witwatersrandes, Transvaal Blind River-Gebiet, Ontario, Canada
8. *Uranfuehrende Schieter und Phosphate*
Schweden, U.S.A., Sowjetunion u.a.

DIE WICHTIGSTEN URANMINERALIEN

1. Pechblende (Uraninit): UO_2 , 50-85% U_3O_8
2. Autunit (Ca-U-Phosphat) Ca 60% U_3O_8
3. Tobernit (Cu-U-Phosphat)
4. Curit (Pb-Uranat)
5. Gummit (Gemenge mit ueberwiegend
6. Kasolit (Pb-U-Silikat) Curit)
7. Carnotit (K-U-Vanadat), 50-60% UO_3 , 18-20% V_2O_5
8. Tujamunit (Ca-U-Vanadat)
9. Uran-Niobate, -Tantalate, -Titanate:
Betafit, Samarskit, Euxenit u.a.
10. Caldesit (Brasilien): $\text{ZrSiO}_4 + \text{ZrO}_2$, 0.4-0.5% U_3O_8
11. Monazit: CePO_4 mit ThO_2 (du. 6%) und U_3O_8 (du. 0.15-0.20%).