

3/2001

Zeitschrift
für Wissenschaft
und Kunst
in Bayern

aviso

Alfred Grimm
Roswin Finkenzeller
Egon Greipl
Raimund Wünsche
Dieter Dorn
Robert Schwankner
F. O. Büttner
u.a.



Schatzsucher



Standgefäß aus Uranglas; derartige, dem Lichtschutz des Inhalts dienende Urangläser wurden noch vor dem 1. Weltkrieg von Offizin-Ausstattern geliefert. Das Untersuchungsobjekt weist einen Urangehalt von 0,4 und einen Kupfergehalt von 0,3 Gewichtsprozent in der Glasmasse auf.



Uran im Glas

Robert Schwankner

Element Nr.: 92

Das Aktinoidenelement Uran mit der Ordnungszahl 92 ist eines der schwersten natürlich vorkommenden Elemente des periodischen Systems. In der Erdkruste ist es durchschnittlich mit einem Gehalt von rd. 3 Gramm pro Tonne (3 ppm) in zahlreichen Gesteinen vertreten. Seine Elementhäufigkeit übertrifft damit z.B. die von Silber, Gold und Cadmium. Typische Erzgehalte liegen zwischen 350 und 100.000 ppm, sein Anteil an der Erdkruste beträgt rd. 10^{14} Tonnen, das im Meer gelöste Uran wird mit 10^{10} Tonnen angegeben.

Metallisches Uran fällt nicht nur durch seine relativ hohe Dichte (rd. 19 g/cm^3) auf, sondern es ist auch ausgesprochen pyrophor, was zu breiter Anwendung in Gasanzündern, Feuerzeugen, Leuchtspurgeschossen ebenso führte wie zum Kinderspielzeug (!) mit Funkenflug.

Bereits vor der ersten Präparation von Uranmetall (1841) durch E.M. Péligot war bekannt, dass sich Uranmetall-Pulver bei Raumtemperatur entzünden kann und mit blendendem Glanz verbrennt. Auf dieser Basis wurde noch im 2. Weltkrieg pulverisiertes Uran für Leuchtspurgeschosse und Brandsätze verwendet. Uran und Uranlegierungen (Ferro-Uran) wurden als Zündsteine und Anzünder von Docht- und Gaslampen gegen Ende des letzten Jahrhunderts bekannt. Abgelöst wurde das Uran in diesen Verwendungszwecken durch Cer-Eisen, welches etwa ab 1903 in allgemeinen Gebrauch kam.

Sekundäre Uranvererzung im UV-Licht. Aufnahme im Stollen der Untersuchungsgrube Mühlenbach im Schwarzwald.

Auf eine weitere nicht-nukleare Verwendung von Uranmetall in Form von Urankernmunition weist A. Speer 1969 in seinen Erinnerungen hin: »Im Sommer drohte infolge der Sperrung unserer Wolfram-Importe aus Portugal eine kritische Lage für die Produktion der Hartkern-Munition. Ich ordnete daraufhin die Verwendung von Uran-Kernen für diese Munition an. Die Freigabe unserer Uranvorräte von etwa 1200 Tonnen zeigte, dass der Gedanke an eine Produktion von Atombomben im Sommer 1943 von meinen Mitarbeitern und mir aufgegeben worden war.«

200 oder 2000 Jahre Uran?

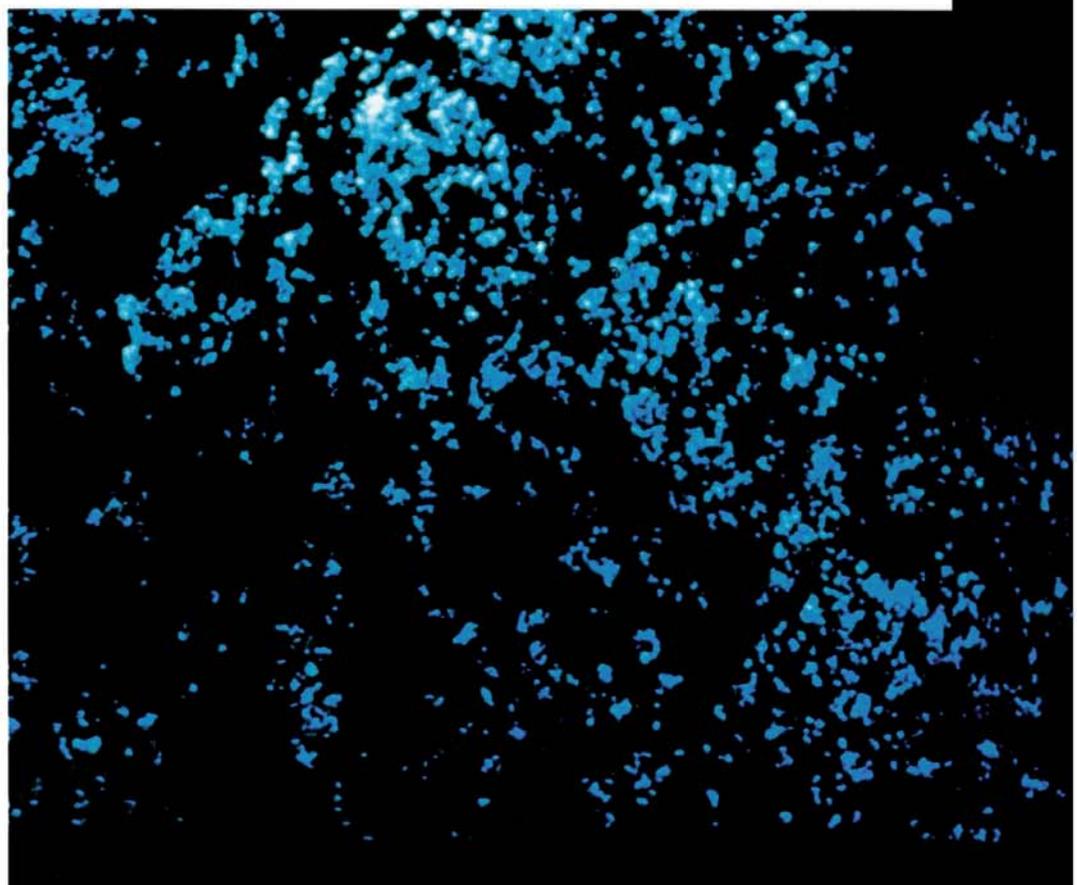
Gemeinhin wird die erste Beschäftigung mit Uran mit dem Jahr 1789 indiziert. Ort der Handlung war Berlin. Diese Feststellung bedarf jedoch der Ergänzung. Zu Beginn unseres Jahrhunderts fiel dem Archäologen R.T. Günther bei ausgedehnten Ausgrabungsarbeiten im Bereich einer kaiserlichen Villa am Cap Posilipo

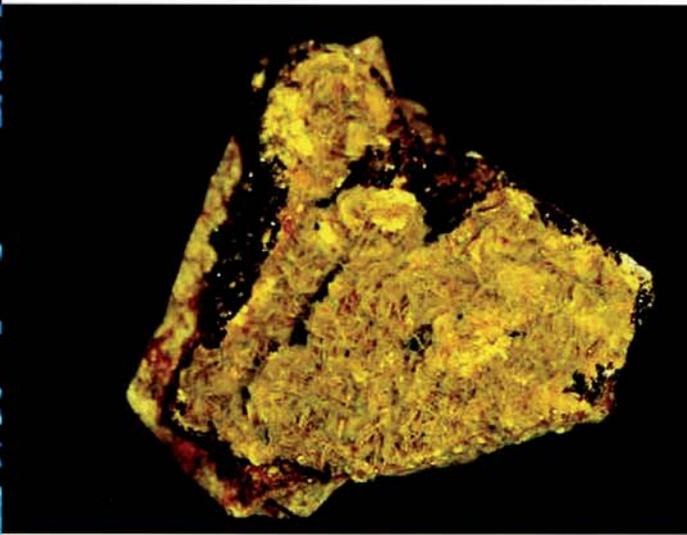
bei Neapel ein farbiges Glasmosaik auf, dessen Datierung er durch Vergleich mit ähnlichen Objekten mit 79 A.D. vornahm.

Für die dargestellten Pflanzen kam zweifarbiges, opakes, grünes Glas zur Anwendung. Erste, in der Arbeitsgruppe von J.J. Manley (Oxford) durchgeführte Analysen zeigten, dass das blassgrüne, gelbstichige Glas Uran als Chromophor enthielt.

Anfang der sechziger Jahre erfolgten auf Veranlassung von F. Kirchheimer röntgenfluoreszenzanalytische Studien an vom Ashmolean Museum Oxford überlassenen Proben des »Roman glass with uranium«, welche im Verein mit radiometrischen Untersuchungen die 1912 von Manley ermittelten Uranglasgehalte prinzipiell bestätigten. Die analytischen Daten belegen unzweifelhaft, dass der blassgrüne Glasfluss der Mosaiksteine seine Färbung unter anderem dem Zusatz uranhaltiger Minerale/Sande verdankt.

Bis heute ist dies die einzige dokumentierte, frühchristliche römische Glasprobe mit Uranzusatz geblieben.





Ein Beispiel aus den über 5000 bekannten Sekundär-Uranmineral-Varietäten, wovon viele im UV-Licht fluoreszieren: Uranocircit (Bariumuran-glimmer, typische Vorkommen: Wölsendorf, Schneeberg und Bergen im Vogtland).

Farbkraft von Uranverbindungen

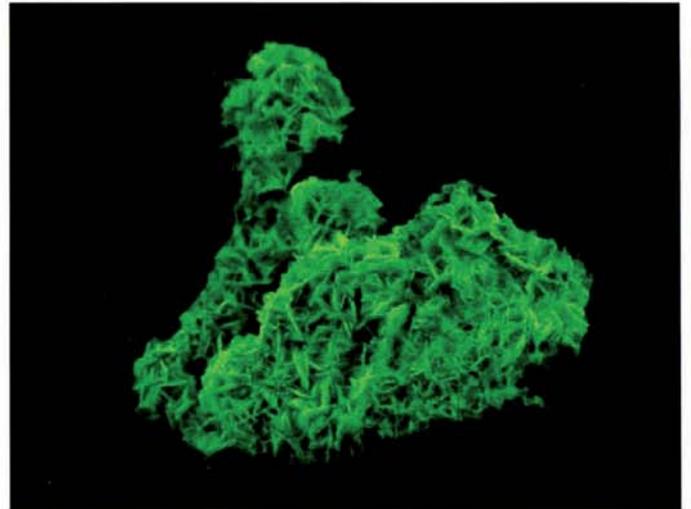
Auf die hervorstechende Farbkraft von Uranverbindungen hatte bereits ihr (Wieder-)Entdecker, der 1743 in Wernigerode im Harz geborene Apotheker und Inhaber der Simonschen Apotheke zu Berlin M. Klaproth (+ 1817), hingewiesen, als er solche 1789 bei der Analyse des Minerals Pechblende erstmals erhielt: »Ich versuchte nur noch die Farben, welche dieser Metallkalk [Alkaliuranat] den Glasfritten bey der Verglasung mittheilen, imgleichen, wie er als eine Mahlerfarbe auf Porzellan ausfallen würde... Verglaste Knochensäure 2 Drachmen, Gelber Metallkalk 10 Gran; ein flaches smaragdgrünes Glas. Beyde letztere Verglasungen zogen nach und nach die Luftfeuchtigkeit an. Der gelbe Metallkalk, gelinde durchgeglühet, mit dem gehörigen Fluß versetzt, und auf Porzellan im Emailfeuer eingebrandt, gab eine gesättigte Orangefarbe...«

Im Herbst 1855 wurde in Joachimsthal in Böhmen in den ehemaligen erzgebirgischen Silbergruben die k.k. Uranfabrik in Betrieb genommen. Bereits 1847 hatte A. Patera der neu gegründeten Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften eine Methode zur Bestimmung des Urangelhaltes Joachimsthaler Erze vorgestellt und darauf hingewiesen, dass hierbei auch der verfahrenstechnische Weg zur fabrikmäßigen Produktion aufgezeigt sei.

Uranhaltige Schmuck- und Gebrauchsgläser

Die Arkanisten der böhmischen, sächsischen und schlesischen Glashütten haben die Entdeckung Klaproths, dass Uranoxide Glasflüsse anfärben können, aufgegriffen. Mit 1834 beziffert F. Kirchheimer so das älteste ihm bekannt gewordene Urangebrauchsglas, ein kurz Halsiges, schwachgelbes Schmalzlerglas (schliffveredeltes Annaglas) der Sammlung Lesser (Karlsruhe), das wohl ein Erzeugnis der Hütten im Bayerischen Wald oder in Nordböhmen darstellt.

Glasmosaik (Breite 74 cm, Höhe 91 cm) aus einer spätrömischen Villa (Neapel, Cap Posilipo, 79 A.D.). Der Urangehalt der blassgrünen, opaken Mosaiksteinchen ist, mit rd. 1,5 Massenprozent Urandioxid angegeben, auffällig. Bis dato ist es das einzige, wenn auch umstrittene Belegexemplar für frühe Anwendung der Farbkraft des Urans geblieben.



Die Beliebtheit der fluoreszierenden Urangläser führte zu deren großer Verbreitung in den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts und geht wohl auch auf den Urandichroismus zurück. Unter diesem Begriff versteht man das Phänomen des Changerens von Urangläsern im Tageslicht, d.h. in Durchsicht erscheint das Glas gelb, wohingegen es im Auflicht ein wogendes grünes Farbenspiel zeigt. Aus



Uranglas wurden allerdings nicht nur Zierwaren, sondern auch ein ganze Reihe von Gebrauchsgegenständen hergestellt, z.B. Kragenknöpfe, Briefbeschwerer, Flakons, Schreibzeuge, Klingel- und Schubladenknöpfe, Eierbecher, Salzfässer, Biergläser, Möbelbeschläge, Mundstücke orientalischer Nargilehs.

Bleireiche Gläser mit Uranzusatz dienten als Edelsteinimitation; so fanden zum Beispiel derartige Chrysopras-Imitationen ebenso Liebhaber wie uranhaltiger Strass. Der Farbton änderte sich bei Beimengungen von Kupfer oder Chrom in tiefes Grün: Annagrün oder Elenorengrün.

Die Namensgebung wird auf die 1840 heimgeführte erste Gattin Anna des späteren Besitzers der Glashütte zu Unter-Polaun (böhmisches Iser-Gebirge) Joseph Riedel («Glaskönig») zurückgeführt. Das häufig auch bunt oder mit Gold- und Silberfarben bemalte oder geschliffene Glas ist als Brunnenbecher oder mit reichem Schliff versehenes Freundschaftsglas der nordböhmischen Bäder in die Welt gelangt, auch von seinem Gebrauch in Bad Ischl wird berichtet. Nicht nur im Vormärz, sondern auch bis in das späte 19. Jahrhundert und bis in unsere Tage

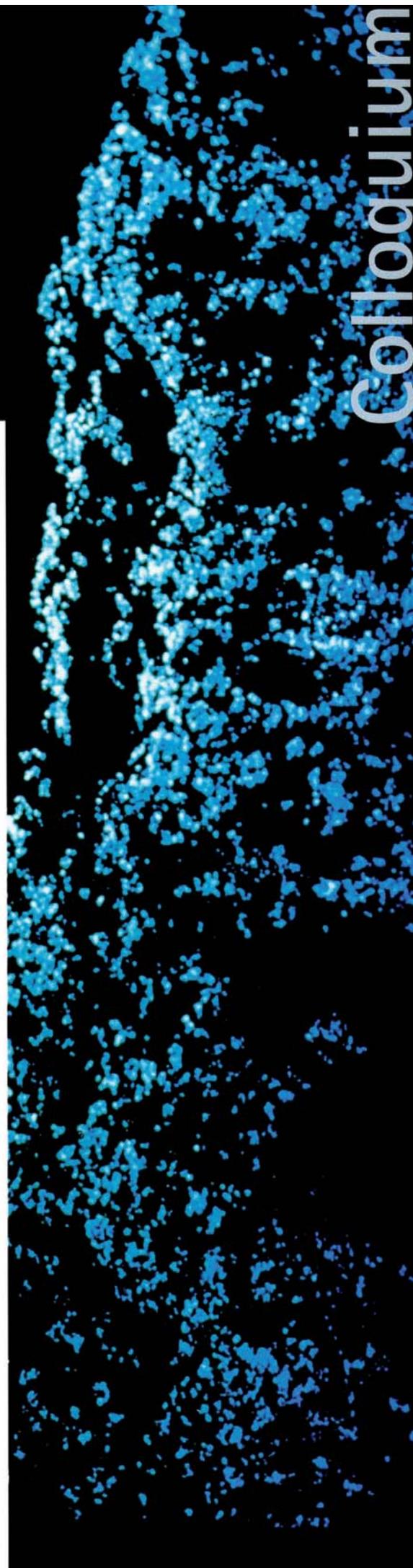


Martin Heinrich Klaproth (1743-1817; posthumes Ölgemälde, Deutsches Museum München, Abt. Chemie) trug der königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin in persönlicher Lesung am 24.09.1789 seine Arbeiten unter dem Titel »Über Uranit, ein neues Halbmetall« vor.

hinein hat man reichlich Gebrauchsgegenstände, von Artikeln der Bijouterie bis zu allgemeinen Gebrauchswaren daraus gefertigt.

Im deutschen Sprachraum werden in diesem Zusammenhang z.B. neben Bein-, Alabaster-, Bernstein-, Opal-, Ambraopak- und Topas-Gläsern durch weitere Chromophore grün eingefärbte, in ihrer Fluoreszenz dabei mehr oder minder geschwächte Anna-, Elenoren-, Elfenbein-, Jade-, Neuopak-, Reseda-, Erbsen-, Pompadour-, Seladon-, Smaragd- und Chrysoprasgrüne Glasschmelzen benannt.

Die typischen Urangelhalte derartiger Kompositionen liegen zwischen 0,02 und 2 Gewichtsprozent, wobei am oberen Ende der Skala Annagelbgefärbte Urangläser angesiedelt sind, was sich auch radiometrisch bestätigen lässt. Der Grad der Fluoreszenzlöschung in Urangläsern geht einher mit dem Gehalt von weiteren Chromophoren wie z.B. Kupfer, Chrom, Nickel, ja auch Eisengehalten der Glasmatrix. Uranoxidhaltige Glasuren (rot, orange, gelb, braun, schwarz) fluoreszieren ebenso wie primäre Uranminerale (z.B. Pechblende) hingegen nicht.





Nicht jedes »vaseline glass« erweist sich beim Fluoreszenztest bzw. radiometrischer Inspektion als Uranglas ... ; »echter« und »falscher« Vogel lassen sich so unschwer erkennen.



Rund 2/3 der gesamten Uranproduktion sind in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts in die Glasfabrikation eingegangen. Unter der Annahme eines mittleren Urangelhaltes von einem Gewichtsprozent errechnet Kirchheimer somit eine Herstellung uranhaltiger Glaswaren bis 1898 von rd. 15.000 t. Allein im Jahr 1896 hat man rund 800 t Uranglas erzeugt und abgesetzt. Eine Reihe weiterer unscharf verwendeter Bezeichnungen für uranhaltige Gläser ist geprägt worden, im anglo-amerikanischen Raum vase-line glass, canary glass aus Großbritannien, französisches verre canari, verre d'urane.

Alle erwähnten Glassorten sind als Pressglas mit Schliff (Brillantschliff), Überfang- oder als geätztes Dekorglas zur Verarbeitung gelangt. Die gelben und grünen Kompositionen erfreuten sich besonders in der Zeit des Biedermeier großer Beliebtheit. Brun-

nenbecher und Freundschaftsgläser aus den Weltbädern der k.u.k. Monarchie waren beliebte Souvenirs ihrer Zeit, viele davon übrigens durch Gravur und/oder Bemalung datiert. Die überwiegende Zahl von heute im Althandel aufscheinenden Gegenständen sind kunstgewerbliche Objekte aller Art, welche um 1900 herum entstanden sind. Als Trübungsmittel zur Herstellung von uranhaltigem Milch-, Alabaster- bzw. Opalglass diente die Einlagerung kleiner fester Teilchen, welche eine andere Lichtbrechung als die Matrix aufweisen.

Lumineszenz von Uranverbindungen

Uranverbindungen, welche das lineare Uranylkation ($[\text{UO}_2]^{2+}$) enthalten, zeigen – sofern weitere Schwermetalle abwesend sind – eine

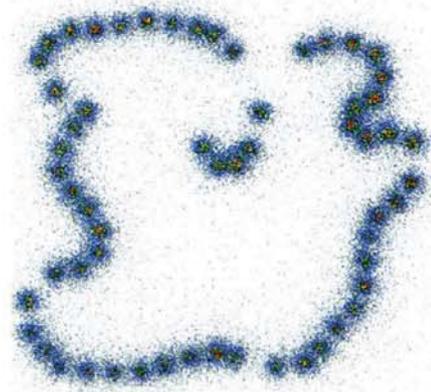
brillante gelbgrüne Fluoreszenz. Be- dient man sich bei der Inspektion von Uranlagerstätten über oder unter Tage einer intensiven UV-Lichtquelle, so kann man entsprechende Eindrücke bei den sekundären Uranmineralisatio- nen sammeln. Uranylsalzlösungen zeigen dieses schon in den dreißiger Jah- ren des 19. Jahrhunderts studierte Phänomen schwach, Uranylsalzkristalle bzw. Uranylionen in Glasmatrix ein- gebunden ausgeprägt. Uranglasuren ($UO_2 \dots UO_3$) dagegen nicht.

In vielen Fällen zeigt Uran- glas Dichroid-Charakter (*véritable jaune dichroïde*), d.h. in Durchsicht er- scheint es gelblich-grün, auffallendes Licht erzeugt ein wogendes Grün. Franz Welz im böhmischen Klostergrab bei Teplitz gelang es so durch den geschickten Einsatz von Selen, dieses auch als Changieren im Tageslicht be- zeichnete Verhalten zu erweitern: Werden der Glasmasse Selen und Uranoxyd zugesetzt, so erhält das unmittelbar aus dem Hafen ohne nachherige Anwär- mung oder Anlaufenlassen verarbeitete Glas einen im durchscheinenden Lichte orangegelben, im auffallenden Lichte grünlichen Farbenton. Auf die beschriebene Weise hergestelltes Glas unterscheidet sich wesentlich von den bekannten Urangläsern. Während letztere sowohl im auffallenden als im durchscheinenden Lichte stets einen grünlichen Farbton aufweisen, zei- gen mit Selen und Uranoxyd hergestellte

Gläser nur im auffallenden Lichte die grünliche, vom Uran herrührende Farbe, während sie im durchscheinenden Lichte den vom Selen herrührenden orangegelben Farbton besitzen.

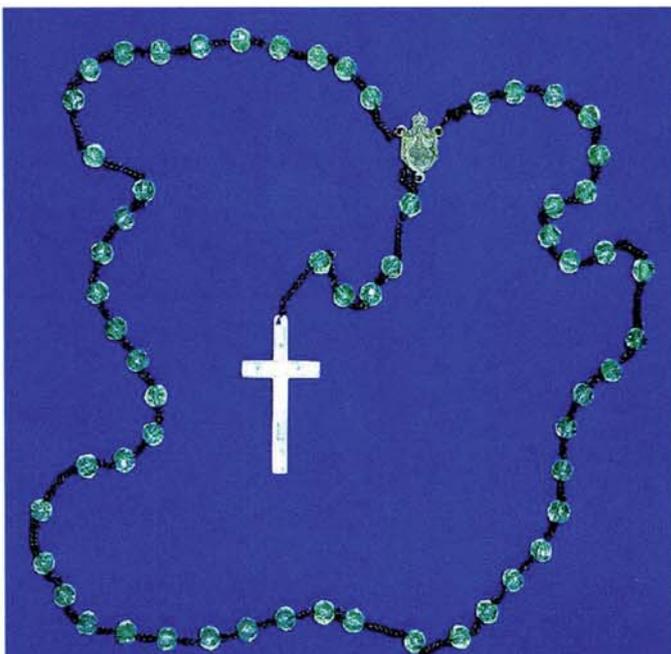
Bemerkenswerterweise können diese Lumineszenzerscheinungen nicht nur vom UV-Anteil im Tageslicht, sondern auch als Bestandteil von in Experimentalvorlesungen verwendeten Gasentladungsröhren oder unter Röntgenbestrahlung angeregt werden.

Während graue Uranglas- kompositionen optische Absorption in einem breiten Spektralbereich zei- gen, wurden die Absorptionsbanden des koordinierten Uranylkations seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts zum Ab- halten des chemisch wirksamen Lichts in photographischen Ateliers in Form von Urantafelglasscheiben »genutzt«. In dieselbe Richtung zielt ein Vorschlag von M. Brachet, *L'éclairage par la lumière*



électrique (»Beleuchtung durch elektri- sches Licht«), welcher vorträgt, elek- trische Lichtquellen mit Uranglaskugeln zu umgeben: ... *L'éclairage aurait lieu au moyen de lampes entourées d'un double globe de verre, l'un intérieur, en verre d'urane, destiné à arrêter les rayons chimiques, l'autre...* (»Die Beleuchtung würde mittels einiger Lam- pen geschehen, die von einem dop- pelten Glaskörper umgeben wären, wobei der innere – aus Uranglas – dazu bestimmt wäre, den chemisch wirksamen Strahlungsanteil zurückzuhalten (...); Übers. d. Red.) Als weitere Spezialan- wendung taucht die Verwendung von Uranglas z.B. bei Gewächshäusern ebenso wie bei speziellen UV-Schutzbrillen auf. Uran-Lichtschutzgläser fanden vor allem bei pharmazeutischen Stand- gefäßen eine weite Verbreitung.

Auf eine bemerkenswerte, wenn auch aus strahlenhygienischer Sicht nicht ganz unbedenkliche An- wendung von Uranverbindungen im Be- reich der Dentaltechnik soll abschlie- ßend hingewiesen werden. Bei der Her- stellung künstlicher Zähne (»englische Zähne«) werden bis dato auch Keramik- massen auf der Basis von Uran-, Samarium-Oxidzusätzen verwendet, um die natürliche Fluoreszenz der umge- benden Zähne kosmetisch zu imitieren. Allgemeinen Erwägungen der Strah-



Rosenkranz mit Uranglasperlen (Provence), aufgenommen in Kunst- und UV-Licht. Die von dem Objekt traditioneller Frömmigkeit ausgehende Beta-Strahlung kann zerstörungsfrei mit digitaler Autoradiographie aufgezeichnet werden.

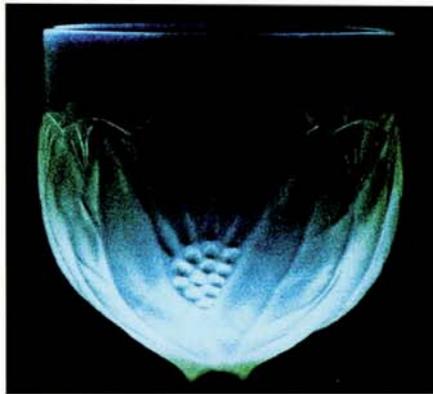


Lieckfeld

lenhygiene folgend wird jedoch mit mehr oder weniger Erfolg weiterhin der Versuch unternommen, inaktive Ersatzmassen etwa auf der Basis Cer-, Terbium-Oxid für diesen Verwendungszweck einzuführen.

Radiometrie und Strahlenhygiene

Nach ausgiebigen Untersuchungen ist festzustellen, dass die Alpha-, Beta- und Gamma-Aktivität von Urangläsern durch einen Urangehalt von 0,02 bis 2 Gewichtsprozent herrührt. Aufgabe einer konservatorischen Radiometrie ist es zum einen, zur näheren Charakterisierung der Objekte (Uran-, Radium-, Kaliumgehalt; Natururan oder bzgl. spaltbaren Anteil abgereichertes Uran) durch allgemeine radiometrische, sowie nuklearspektrometrische Untersuchungen beizutragen, zum anderen, strahlenhygienische Hinweise für den sicheren Umgang mit derartigen Gebrauchsgegenständen zu geben. Uranhaltige Matrices können prinzipiell durch Emission ionisierender Wellen- und Teilchenstrahlung zu einer Exposition durch Bestrahlung, durch Exhalation des möglichen gasförmigen Folgeproduktes Radon zu einer Emanationsbelastung und durch Herauslösen von Uran- und seinen Tochternukliden aus der Glasmatrix zur Inkorporation bei ihrem alltäglichen Gebrauch beitragen. Während Uranglasuren im Kontakt mit aciden Komplexbildnern (z.B. Haushaltssessig) in Experimenten Auslaugraten zwischen 1-200 Millibecquerel pro

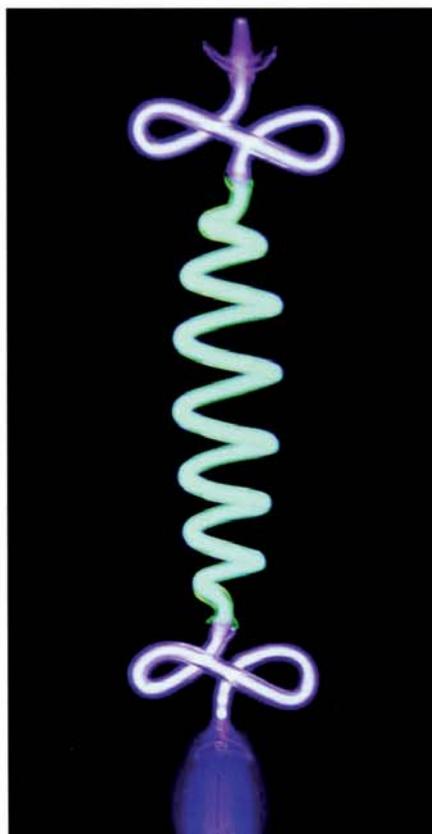


Lieckfeld

Die Uranyl-Lumineszenz lässt sich auch mit Hilfe von Röntgenbestrahlung auslösen. Bei dem untersuchten Weinglas handelt es sich um grünes Pressglas; Fußscheibe, Stiel und Kupa mit Weinbaurelief. Glas bis auf Trinkrand geätzt, ca. 1930; der Urangehalt beträgt hier rd. 0,2 Gewichtsprozent.

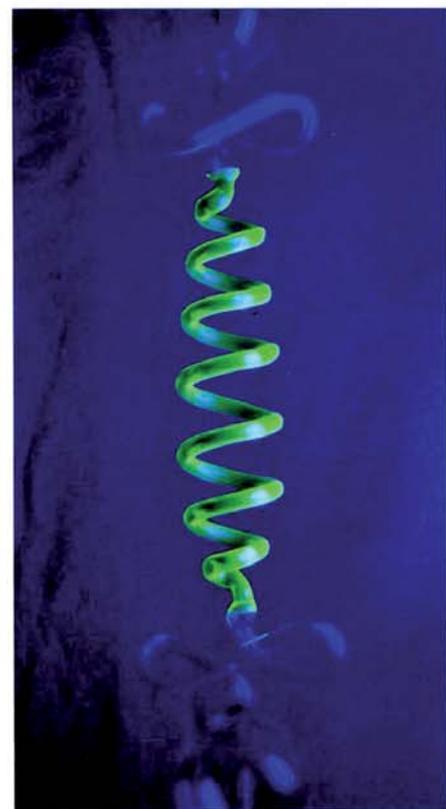
Sekunde und Quadratcentimeter aufwiesen und auch deutlich höhere Werte registriert wurden, zeigen dagegen Langzeitexperimente bei der Auslaugung von Uranglasmatrices (0,5 Gewichtsprozent Urangehalt, 115 Tage Auslaugung mit 5%iger Essigsäure unter kontinuierlichem Rühren) nur minimalste Laugungsraten, die ein Tausendstel bis ein Zehntausendstel der von Uranglasuren betragen. Der Expositionspfad Inkorporation steht somit nicht im Vordergrund einer möglichen Humanexposition beim Umgang mit Uranglas.

Für die Netto-Gammaoberflächendosisleistung von Urangläsern ist neben ihrem Urangehalt ausschlag-



gebend, inwieweit der Uranchromophor im Zuge seiner Herstellung von den radiogenetischen Töchtern (wie z.B. Radium) durch chemische Elementtrennung gereinigt wurde. Es ist wohl auch praktiziert worden, dass sekundäre (und primäre) Uranminerale ohne chemische Erzaufbereitung in (oxidierenden) Glasschmelzen verwendet wurden, wodurch radiumhaltige Objekte entstanden.

In diesem Zusammenhang wird daran erinnert, dass das Ehepaar Curie im Zuge der Entdeckung und Präparation des Elementes Radium als Ausgangsmaterial insbesondere die verworfenen Auslaugungsrückstände der k.k. Uranfarbenfabrik Joachimsthal im Tonnenmaßstab herangezogen hat, da beim ebendort gewählten Aufschlussverfahren im Verfahrensschritt schwefelsaurer Laugung das Radium mit den weiteren schwerlöslichen Sulfa-



Um die Licht-Effekte von Gasentladungsröhren zu variieren, wurden oftmals Einsätze aus Uranglas integriert. Diese lassen sich mit Hilfe einer UV-Lampe ebenso erregen, wie durch die Gasentladung: Kathodolumineszenz.

ten der Erdalkalielemente präzipitiert. Tatsächlich gelang dem französisch-polnischen Forscherehepaar 1898 ja auch die erste Präparation von reinen Radiumsalzen aus von der k.k.-Verwaltung freundlichweise überlassenen Laugungsrückständen der Joachimsthaler Haldenmaterialien, Titel dieser wegweisenden radiometrischen Publikation ist: *Sur une nouvelle substance fortement radioactive contenue dans la pechblende* (»Über eine neue, stark radioaktive Substanz in der Pechblende«).

Zum Abschluss soll der Doyen der Urangeschichtsschreibung Franz Kirchheimer nochmals zu Wort kommen,



Als Schatzsucher betätigte sich Robert Schwankner schon als Bub: Uranminerale und Uransalze waren die ersten Experimentierfelder für seinen – selbst gebauten – Geigerzähler, der ihn fortan in – fast – allen Lebenslagen begleiten sollte. Als er dann auf einem Trödelmarkt eine Geldscheinprüflampe entdeckte und erwarb, stand der Hebung des eigentlichen Schatzes nichts mehr im Weg: Das Interesse an der Fluoreszenz von Uranglas war geweckt und führte ihn auf seinen Urlaubsreisen in die europäischen Uranprovinzen. Kaum ein Altwarenhandel in Cornwall, Tschechien oder im Burgund, dessen Uranglasexponate nicht aufgespürt wurden, kaum ein Flohmarkt, der seiner Aufmerksamkeit entging. Und selbst eine ganze Reihe historischer Uranbergwerke entkamen seinen radiometrischen Untersuchungen nicht. Verständlich, dass sich

er muss aktuell leider bereits hinsichtlich bloßer konservatorischer Präsentation (!) von Uranglasobjekten in Ausstellungen großer deutscher Museen erweitert werden: »Die Nutzung des Urans für die Herstellung der Kernbrennstoffe und Kernwaffen hat seit etwa 1942 die Verwendung seiner Verbindungen in der Industrie eingeschränkt oder verhindert. Die neuerliche Freigabe des »abgereicherten«, d.h. des Isotops ²³⁵ beraubten und größerer Mengen natürlichen Urans ist mit hygienischen, durch die *R a d i o p h o b i e* unserer Zeit bedingten Auflagen verbunden worden. Demnach dürfte die ausgedehnte Verwendung von Uranverbindungen in den Glashütten und Porzellanmanufakturen der Vergangenheit angehören und wahrscheinlich nicht wiederkehren.« av/so

bald auch die Sammlerleidenschaft unseres Schatzsuchers regte, wobei seine Aufmerksamkeit nicht nur wertvolle und kunsthistorisch interessante Jugendstil-, Biedermeier- und Vormärzgläser hervorriefen, sondern auch einfache Gegenstände des täglichen Gebrauchs sowie Bijouteriewaren. Das Hobby »Uran-Radiometrie« hat bis heute Professor Dr. Robert Schwankners Berufsweg als Radiochemiker bestimmt: Nach einer Zeit als Referent für Radioökologie im Bayerischen Umweltministerium und als Konservator für Chemie am Deutschen Museum vertritt er heute an der Fachhochschule München die Fachgebiete Strahlenschutz und Geschichte der Naturwissenschaften. Seit 1993 leitet er hier auch das unter studentischer Mitwirkung von ihm aufgebaute Radiometrische Labor.

Auskunft: Fachhochschule München 089/1265-0. Ein Katalog zum Thema »Uranglas, Uranglasuren« kann beim Bergbau- und Industriemuseum Ostbayern, Schloss Theuern, Portnerstraße 1, 92245 Kümmersbruck erworben werden.