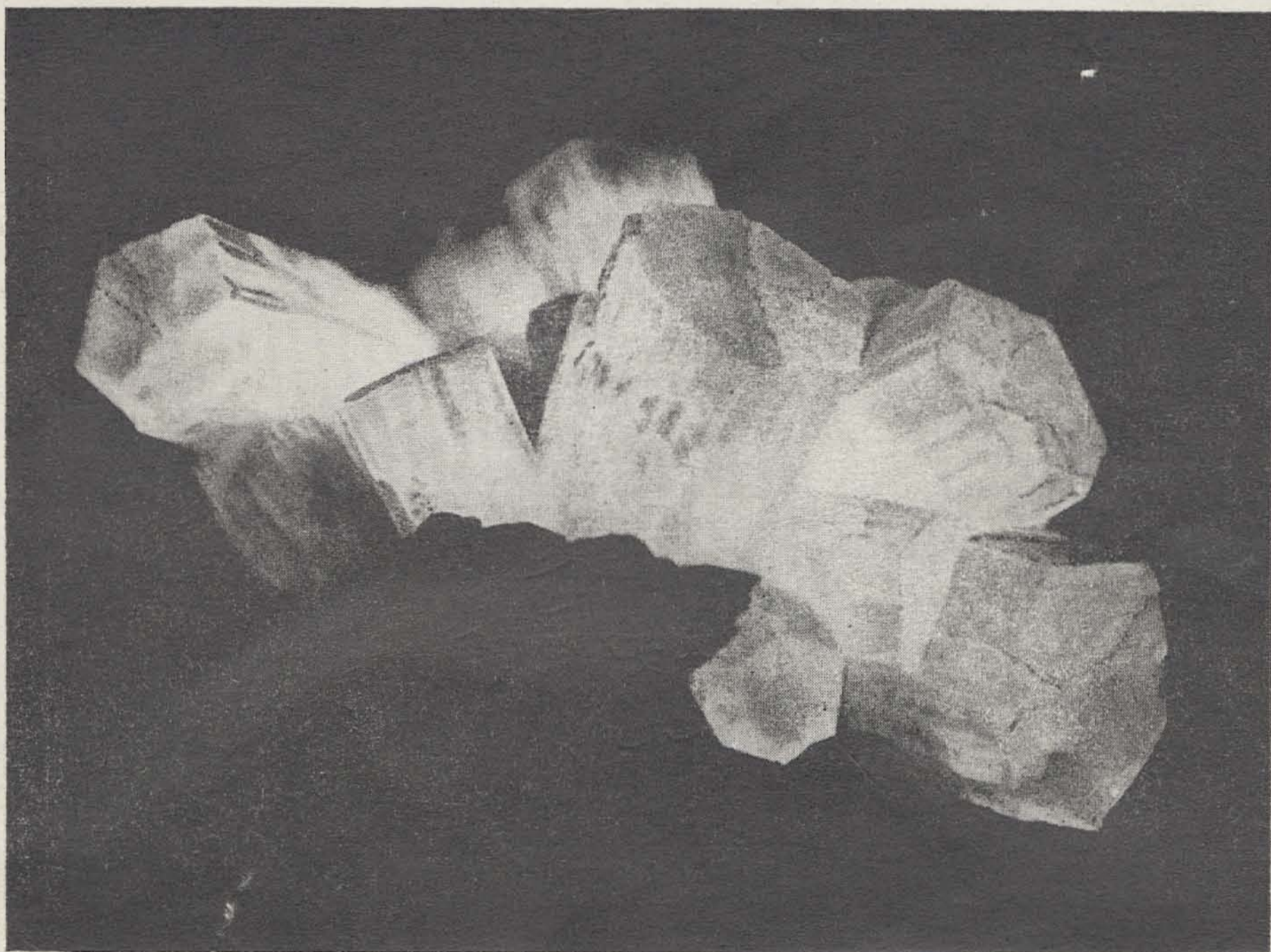


Dr. Werner Lieber

# Die Fluoreszenz von Mineralen



5. Sonderheft zur Zeitschrift „DER AUFSCHLUSS“

**Titelbild:** Phosphoreszierende Aragonit-Kristalle;  
vergl. Abbildung 17 im Text. Foto: W. Lieber.

Dr. Werner Lieber

# **Die Fluoreszenz von Mineralen**

5. Sonderheft zur Zeitschrift „DER AUFSCHLUSS“

Herausgegeben  
von der Vereinigung der Freunde der Mineralogie und Geologie  
(VFMG), Heidelberg 1957

Nachdruck, auch auszugsweise, sowie Übersetzung nur mit Genehmigung der Herausgeber.

## Geleitwort

Die augenfällige Erscheinungswelt der Mineralien ist erstaunlich vielseitig, auch gegenüber der Bestrahlung mit verschiedenen Strahlungsarten, wie Röntgenstrahlen, ultravioletten Strahlen usw.

Bemerkenswert ist nun das recht häufig beobachtbare „Leuchten“ bestimmter Mineralien im ultravioletten Licht, das sofort bei der Anwendung dieser energiereichen Strahlung eintritt und unmittelbar mit der Beendigung der Strahlung erlischt. Diese als „Fluoreszenz“ allgemein bekannte Erscheinung ist vielfach an den verschiedenartigsten Mineralien festgestellt und beschrieben worden, aber noch niemals in der deutschen Literatur zusammenfassend einem an diesem Erscheinungskomplex interessierten Leserkreis zugänglich gemacht worden. Diese Lücke soll durch das vorliegende Sonderheft geschlossen werden.

Der Verfasser, Dr. Werner LIEBER, hat in dieser Zusammenfassung nicht allein die Prinzipien der jetzt geltenden wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Fluoreszenz wiedergegeben, sondern diese durch eigene Beobachtungen und Untersuchungen an rund 40 000 Mineralien geprüft, bestätigt und ergänzt. Es liegt demnach in diesem Sonderheft das begrüßenswerte Ergebnis einer systematischen und zielstrebigem Arbeit vor, die zweifellos den augenblicklichen Stand der Probleme und Erkenntnisse über die „Fluoreszenz von Mineralien“ anregend, anschaulich und gründlich vermittelt, zugleich aber die Grenzen in ihrer wissenschaftlichen und praktischen Bedeutung absteckt. Hierbei findet nur ein ganz kleiner Teil der bereits in einigen AUFSCHLUSS-Heften veröffentlichten Darlegungen über „Fluoreszierende Minerale“ eine inhaltliche Wiederholung.

Die vom Verfasser geleistete Arbeit, die von einer inneren und lebendigen Bindung zu den Mineralien bestimmt und erfüllt ist, ist im hohen Maße verdienstlich und lohnend. Der Inhalt des Sonderheftes stellt nämlich in seinem klaren Aufbau und in seiner beziehungsreichen Wiedergabe ein so begrüßenswertes Ergebnis dar, daß dieses nicht nur dem Fach- und Liebhaber-Mineralogen bzw. -Geologen willkommen sein wird, sondern auch Bergleuten, Chemikern und anderen Interessenten. Jeder Benutzer dieser Schrift wird hierbei zwangsläufig den harmonischen Gleichklang zwischen Beobachtung und Auswertung, Erfassung und Deutung für seine eigenen Untersuchungen und Vergleiche anregend und vorteilhaft nutzen können.

Adelebsen/Göttingen, Februar 1957

Karl F. Chudoba

## Vorwort

Es ist mir ein echtes Bedürfnis, allen denen zu danken, die mich bei der Durchführung dieser Arbeit unterstützt haben. Mein Dank gilt vor allem Herrn Prof. Dr. K. F. CHUDOBA, der mich zur Abfassung dieses Sonderheftes zum Mitteilungsblatt DER AUFSCHLUSS anregte und mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Auch danke ich besonders dem Direktor des Mineralogischen Instituts der Universität Heidelberg, Herrn Prof. Dr. P. RAMDOHR, der mir bereitwillig die Mineralsammlungen seines Instituts für die Fluoreszenz-Untersuchungen zur Verfügung stellte. Namens der „Vereinigung der Freunde der Mineralogie und Geologie“ danke ich den inserierenden Firmen, die durch ihre finanzielle Hilfe den Druck dieses Heftes erleichterten.

Heidelberg, im Februar 1957

Werner Lieber

# Inhalt

<b>I. Theoretische Betrachtungen</b>	
Einleitung und	
Geschichtlicher Rückblick . . . . .	7
Die Entstehung und das Wesen des Lichtes . . . . .	9
Das Spektrum . . . . .	10
Die Entstehung von Fluoreszenz und Phosphoreszenz . . . . .	10
Die Ursachen der Fluoreszenz . . . . .	12
Natürliche und künstliche Leuchtstoffe . . . . .	13
<b>II. Die Praxis der Fluoreszenzanalyse</b>	
Lichtquellen . . . . .	15
Filter . . . . .	19
Beobachtungen an makroskopischen Objekten	
Fluoreszenzphotografie . . . . .	21
Fluoreszenzmikroskopie . . . . .	23
<b>III. Die Fluoreszenzfarben der Minerale</b>	
Uranminerale . . . . .	25
Elemente . . . . .	28
Sulfide . . . . .	29
Haloide . . . . .	31
Oxyde . . . . .	34
Karbonate . . . . .	37
Borate . . . . .	41
Sulfate . . . . .	42
Chromate, Molybdate, Wolframate . . . . .	46
Phosphate, Arsenate, Vanadate . . . . .	47
Silikate . . . . .	49
Minerale von Franklin, New Jersey . . . . .	52
Nachwort . . . . .	54
Literaturverzeichnis . . . . .	56
Register . . . . .	58

# I. Theoretische Betrachtungen

## Einleitung und geschichtlicher Rückblick

Im Jahre 1604 fand der Schuster Vincenz CASCIAROLO auf dem Monte Paterno bei Bologna einen Stein, der durch sein hohes Gewicht Aufmerksamkeit erregte. CASCIAROLO, der neben seinem Beruf noch alchemistische Studien betrieb, vermutete in dem ihm unbekanntem Stein Edelmetalle und glühte ihn zwecks deren Gewinnung mit Kohle. Nach dem Erkalten des Glühproduktes fand er weder Gold noch Silber, doch zeigte der Stein die merkwürdige Erscheinung, im Dunkeln zu leuchten, wenn er vorher dem Licht ausgesetzt war. Der Bologneser Schuster hatte den ersten künstlichen Leuchtstoff gefunden.

Wie wir heute wissen, handelte es sich bei dem Stein um Schwerspat, der durch das Glühen mit Kohle zum Teil in Bariumsulfid überführt wurde. Dieses ist der eigentliche „Leuchtstoff“ in dem Bologneser Stein.

In der Folgezeit erschienen zahlreiche Veröffentlichungen über das eigenartige Leuchtphänomen, ohne daß bei dem damaligen Stand der Kenntnisse brauchbare Fortschritte erzielt werden konnten. Im Gegenteil, durch die Entdeckung eines neuen chemischen Elementes wurde die Verwirrung noch größer, da dieses auch ohne vorherige Belichtung im Dunkeln leuchtete. Nach dieser Eigenschaft nannte der Entdecker BRANDT (1669) sein neues Element Phosphor, d. h. „Lichtträger“. Ein Lichtträger, also ein Phosphor, war künftig jeder Stoff, der im Dunkeln leuchtete.

Einige Jahre später berichtete J. S. ELSHOLTZ (1681) in seinem Buch über Phosphore von einem grünen Stein, der beim Erwärmen leuchtete. Dieser Stein wurde phosphorus smaragdinus genannt und erstmals von G. K. KIRCHMAJER in seiner Dissertation (1680) beschrieben. Der Stein war sicher ein Stück Flußspat. Du FAY (1724) und J. B. BECCARI (1745) beobachteten, daß viele Minerale teils durch Belichtung, teils durch Erwärmen auch ohne besondere Vorbehandlung leuchteten. Beccari gab darüber hinaus eine Zusammenstellung aller zu seiner Zeit bekannten Leuchterscheinungen und unterschied folgende Gruppen:

1. Selbstleuchtende Pflanzen, Tiere und andere organische Stoffe,
2. Steine, die beim Schlagen, Reiben oder Zertrümmern leuchten,
3. Stoffe, die beim Kristallisieren leuchten,
4. Steine, die beim Erwärmen leuchten,
5. Stoffe, die beim Luftzutritt leuchten (Brandt'scher Phosphor),
6. Steine, die beim Belichten leuchten oder nachleuchten.

Damit hatte Beccari eine grundsätzlich richtige Aufstellung von Leuchterscheinungen gegeben, die wir heute unter dem Sammelbegriff *Lumineszenz* erfassen, nämlich:

1. Biolumineszenz,
2. Tribolumineszenz
3. Kristallolumineszenz
4. Thermolumineszenz,
5. Chemilumineszenz,
6. Photolumineszenz (Fluoreszenz und Phosphoreszenz).

Wie später noch gezeigt wird, sind die Leuchterscheinungen im Prinzip gleichartig; sie unterscheiden sich lediglich durch die Art der „Anregung“. — Wir wollen uns hier mit solchen Lumineszenzerscheinungen befassen, die durch Bestrahlung angeregt werden, also mit Fluoreszenz und Phosphoreszenz.

Auch Fluoreszenz hatte man schon frühzeitig beobachtet, ohne aber den Zusammenhang mit Phosphoreszenz zu erkennen. Die erste Nachricht über eine fluoreszierende Flüssigkeit findet sich in einer von dem spanischen Arzt Niccolo MONARDES veröffentlichten Abhandlung aus dem Jahre 1570. Spätere Beobachtungen und Deutungen dieser Leuchterscheinung stammen von A. KIRCHNER (1646), R. BOYLE (1680), I. NEWTON (1750), HAUY (1801), und GOETHE (1858). Eine richtige Deutung der Fluoreszenz gelang erstmals G. G. STOKES (1852), der erkannte, daß es sich dabei um ein Selbstleuchten der betreffenden Substanz handelt, wobei das erregende Licht eine kürzere Wellenlänge besitzt als das emittierte Licht. Da die Erscheinung beim Flußspat besonders gut zu beobachten war, schlug Stokes dafür die Bezeichnung Fluoreszenz vor.

Von den zahlreichen Wissenschaftlern, die sich späterhin mit Fluoreszenz und Phosphoreszenz befaßten, seien genannt: A. BECQUEREL (1859), Sir William CROOKES (1879), LECOCQ (1886), A. VERNEUIL (1887), E. WIEDEMANN (1887), LENARD (1904) und G. URBAIN (1906). Man fand, daß besonders kurzwelliges blaues Licht, aber auch Röntgenstrahlen bei vielen Substanzen starke Fluoreszenz und Phosphoreszenz anzuregen vermochten. Darüber hinaus erkannte man die große Bedeutung von „Verunreinigungen“ in den Leuchtstoffen. Insbesondere Lecocq kam durch seine Arbeiten zu der Auffassung, daß Fluoreszenz und Phosphoreszenz an die Anwesenheit von Spuren von Verunreinigungen geknüpft sei, die er als die eigentlichen „aktiven“ Stoffe bezeichnete. Diese Ansicht bestätigte sich in sehr vielen Fällen. Aber erst die Quantentheorie von Max PLANCK (1900) und das Atommodell von Niels BOHR (1913) halfen, das Prinzip der Lichtausendung lumineszierender Körper zu verstehen.



## Die Entstehung und das Wesen des Lichtes

Jeder glühende Körper sendet Licht aus, und zwar um so mehr, je höher seine Temperatur ist. Beim Kerzenlicht sind es glühende Kohleteilchen, bei der Fadenlampe der glühende Metalldraht, bei den Sternen glühende Gase, die leuchten. Lumineszierende Körper glühen nicht, sie sind kalt, und trotzdem senden sie Licht aus. Man bezeichnet daher die Lumineszenz als „kaltes Licht“.

Um die Entstehung und das Wesen des Lichtes verstehen zu können, müssen wir uns kurz mit den kleinsten Bausteinen der Materie befassen, nämlich mit den Atomen. Ein Atom besteht aus dem Kern und den Elektronen, die diesen Kern mit hoher Geschwindigkeit umkreisen. Der Kern ist elektrisch positiv geladen und vereinigt in sich fast die gesamte Masse des Atoms. Die Elektronen sind elektrisch negativ geladen und kompensieren gerade die positive Ladung des Kerns. Die Anziehungskraft zwischen Kern und Elektronen einerseits und die Zentrifugalkraft der Elektronen andererseits halten sich gerade die Waage, so daß die „Planeten“ (Elektronen) weder in die „Sonne“ (Kern) stürzen, noch in den „Weltenraum“ geschleudert werden. Den Elektronen sind ganz bestimmte Bahnen vorgeschrieben, und auch ihre Zahl auf den einzelnen Bahnen kann einen jeweiligen Höchstwert nicht überschreiten.

In Abb. 1 ist der Bau des Natriumatoms schematisch dargestellt. Der Kern enthält 11 positive Ladungen; um ihn kreisen 11 Elektronen, von denen jedes eine negative Ladung besitzt. Zwei Elektronen kreisen auf der mit K bezeichneten Bahn, 8 auf den L-Bahnen und eines auf den M-Bahnen. Weiter außen befindliche Bahnen (durch N angedeutet) sind nicht besetzt. Wollte man z. B. das einzelne äußerste Elektron in eine vom Kern weiter entfernte Bahn zwingen, so müßte man Gewalt anwenden, denn Kern und Elektronen ziehen sich ja gegenseitig an. Tatsächlich kann durch Energiezufuhr, z. B. hohe Temperatur oder energiereiche Strahlung dieses Elektron in eine andere Bahn, sagen wir in eine N-Bahn gelenkt werden. Dieser „angeregte“, energiereiche Zustand entspricht aber keineswegs dem Normalfall, und es springt daher sofort wieder in seine alte Bahn zurück. Die vorher aufgewendete Energie gibt es dabei vollständig in Form von Licht zurück. Wir stellen also zunächst fest: Licht ist eine spezielle Art von Energie.

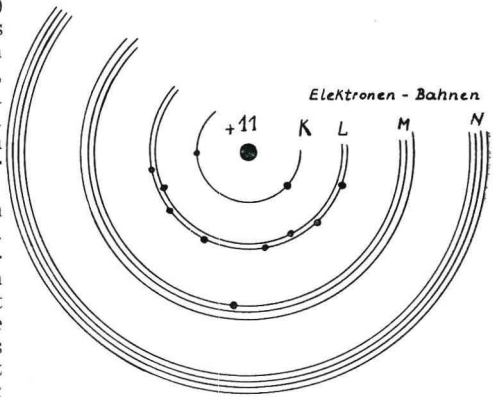


Abb. 1 Schematischer Bau des Natriumatoms

Bevor man die wahre Natur des Lichtes erkannt hatte, gab es zwei Theorien, mit deren Hilfe seine Eigenschaften erklärt werden konnten: Einmal die Wellentheorie, die das Licht als eine transversale Wellenbewegung beschrieb, zum anderen die Korpuskulartheorie, nach der das Licht ein Strom kleinster Lichtteilchen, sogenannter Lichtquanten sein sollte. Heute wissen wir, daß beide Theorien richtig sind. Nach der Wellentheorie besitzt jede Lichtwelle die

$$\text{Geschwindigkeit } (c) = \text{Wellenlänge } (\lambda) \cdot \text{Schwingungszahl } (\nu),$$

und nach der Korpuskulartheorie hat jedes Lichtquant die

$$\text{Energie } E = \text{Wirkungsquantum } (h) \cdot \text{Schwingungszahl } (\nu).$$

Diese Gleichungen sagen folgendes aus: Die Lichtgeschwindigkeit (im luftleeren Raum konstant 300 000 km/sec.) ist gleich dem Produkt aus der Länge der Welle und ihrer Frequenz, d. h. der Zahl der Schwingungen pro Sekunde. Je größer die Wellenlänge, desto kleiner ist die Frequenz; je kleiner die Wellenlänge, desto

größer ist die Frequenz. Ferner: Die Energie eines Lichtquantens ist gleich dem Produkt aus dem Wirkungsquantum und der Frequenz. Die Wirkungsgröße eines Naturvorganges, gleichgültig ob mechanischer, elektromagnetischer oder chemischer Natur, hat keinen beliebigen Wert, sondern ist ein ganzzahliges Vielfaches des Wirkungsquantums  $h$ . Die kleinste überhaupt beobachtbare Wirkung (an Elementarvorgängen) ist das Wirkungsquantum selbst. Das Wirkungsquantum ist eine sehr kleine, konstante Zahl, die nach dem Schöpfer der Quantentheorie „Planck'sches Wirkungsquant“ genannt wird. Die Energie eines Lichtquants ist also unmittelbar von der Frequenz der Lichtwelle abhängig. Je größer die Frequenz (also je kleiner die Wellenlänge), desto größer ist auch die Energie; je kleiner die Frequenz, desto geringer ist die Energie.

## Das Spektrum

Wenn man das Sonnenlicht mit einem Prisma zerlegt, so erhält man eine kontinuierliche Folge der verschiedenen Farben (Abb. 2). Man nennt diese Anord-

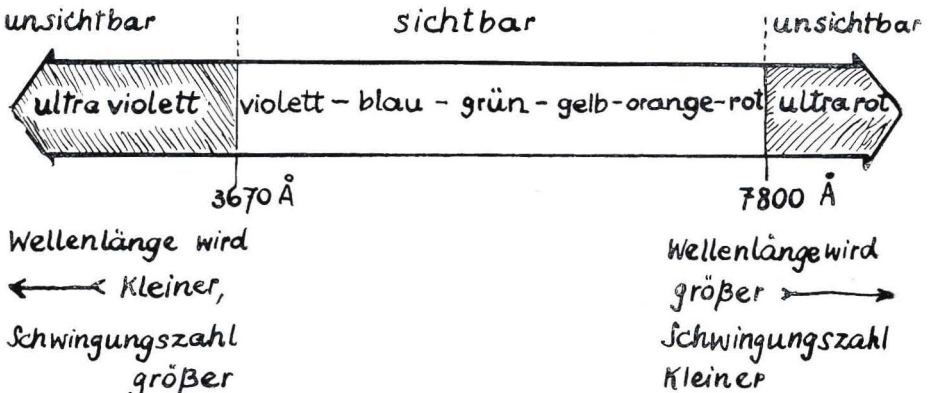


Abb. 2 Schematische Darstellung des Licht-Spektrums

nung ein Spektrum. Die Wellenlänge des Lichtes wird in Angström-Einheiten (abgekürzt Å) gemessen. Violette Licht hat eine geringere Wellenlänge als rotes. Von der Kleinheit einer Lichtwelle können wir uns eine Vorstellung machen, wenn wir bedenken, daß 1 Å der hundertmillionste Teil eines Zentimeters ist. Eine Rasierklinge von 1/10 Millimeter Dicke wäre also immerhin noch 250 mal dicker als die Länge einer (blauen) Lichtwelle.

Für das menschliche Auge ist nur das Licht zwischen etwa 3670 Å und 7800 Å sichtbar. Das Spektrum ist hier aber nicht zu Ende, sondern setzt sich einerseits nach Ultraviolett, andererseits nach Ultrarot fort. Die Schwingungszahl (Frequenz) des blauen Lichtes ist größer als die des roten Lichtes, folglich ist nach der Gleichung  $E = h \cdot \nu$  blaues Licht viel energiereicher als rotes. Ultraviolette Licht z. B. von der Wellenlänge 2000 Å ist etwa 3 mal energiereicher als rotes Licht.

## Die Entstehung von Fluoreszenz und Phosphoreszenz

Das von einem glühenden Körper ausgestrahlte Licht hat keine anderen Eigenschaften als das von einem kalten Körper emittierte Leuchten. In jedem Falle ist zur Erzeugung von Licht die Anregung des Körpers durch Energiezufuhr notwendig. Zur Anregung von Fluoreszenz und Phosphoreszenz genügt bereits ener-

giereiche Strahlung, wie z. B. ultraviolettes Licht. Was geschieht nun im Innern eines Atoms, wenn es durch energiereiche Strahlung angeregt wird?

Abb. 3 zeigt einen Ausschnitt von Bild 1, wobei die Elektronenbahnen durch M 1, 2, 3 und N 1, 2, 3, 4 schematisiert sind. Jede Elektronenbahn stellt einen bestimmten Energiezustand, ein Energieniveau, dar. Ein Elektron möge auf der Bahn M 1 um den Kern des Atoms kreisen. Durch Energiezufuhr (ultraviolette Bestrahlung) wird es z. B. in die Bahn N 3 gezwungen, wobei sich seine Energie erhöht. Der Betrag der aufgenommenen Energie wird durch die Länge des Pfeiles M 1 — N 3 angedeutet. Da dieser angeregte, energiereichere Zustand nicht dem Normalfall entspricht, fällt das Elektron wieder in seine ursprüngliche Bahn M 1 zurück. Gewöhnlich erfolgt der Übergang in einem einzigen „Sprung“. Bei den fluoreszierenden und phosphoreszierenden Stoffen geschieht die Rückkehr jedoch stufenweise. So könnte das Elektron von N 3 erst nach M 2 und dann nach M 1 zurückspringen, oder es könnte von N 3 erst nach M 3 und dann nach M 1 zurückkehren. Die Sprünge von N 3 nach M 2 bzw. M 3 sind durch Pfeile dargestellt, während die kleinen Übergänge nach M 1 nicht eingezeichnet sind, weil sie für das Fluoreszenzleuchten keine Bedeutung besitzen. Der bei der Rückkehr in Form von sichtbarem Licht abgegebene Energiebetrag wird durch die Länge der Pfeile veranschaulicht. Wie man sieht, sind die Einzelbeträge der abgegebenen Energie kleiner als die aufgenommene Energie. Nach der Gleichung

$$\text{Energie} = h \cdot \text{Frequenz}$$

muß also die Frequenz des abgegebenen Lichtes kleiner sein als die der aufgenommenen Strahlung. Mit anderen Worten:

Das ausgestrahlte Fluoreszenzlicht hat eine größere Wellenlänge als das eingestrahlte ultraviolette Licht (Regel von Stokes).

Die Summe der insgesamt ausgestrahlten Energie muß natürlich so groß sein wie die eingestrahlte Energie. Das ist auch tatsächlich der Fall. Nur sind die kleinen Übergänge, z. B. von M 2 nach M 1 mit so geringer Energieabgabe verbunden, daß die Frequenz sehr klein, die Wellenlänge also sehr groß ist. Es entsteht eine ultrarote, unsichtbare Strahlung (Wärmestrahlen).

Wir definieren jetzt: Fluoreszenz ist das durch energiereiche Strahlung (z. B. Ultraviolett) angeregte sichtbare Leuchten eines Stoffes. Das Leuchten beginnt sofort bei der Anregung und erlischt unmittelbar mit dem Ende der Bestrahlung.

Phosphoreszenz wird grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip angeregt wie Fluoreszenz, nur besitzen manche Stoffe die Eigenschaft, die aufgenommene Energie mehr oder weniger lange zu speichern. Auf unser Atommodell Abb. 3 übertragen heißt dies: Das von M 1 nach N 3 übergegangene Elektron kehrt nicht sofort auf seine ursprüngliche Bahn zurück, sondern verweilt eine gewisse Zeit in dem Zustand höherer Energie N 3. Diese Verweilzeit kann sehr kurz sein, sie kann aber auch viele Stunden betragen; das wird für jeden Stoff verschieden sein. Erst bei der Rückkehr des Elektrons wird sichtbares Licht ausgestrahlt. Nun werden aber niemals alle angeregten Elektronen einer phosphoreszierenden Substanz gleichzeitig zurückfallen, man würde dann nach einer bestimmten Zeit lediglich einen Lichtblitz beobachten. Vielmehr kehren sie schon während der Bestrahlung und vor allem mit dem Ende der Anregung zurück, und zwar anfänglich viele, mit der Zeit aber immer weniger. Man beobachtet also nach dem Ende

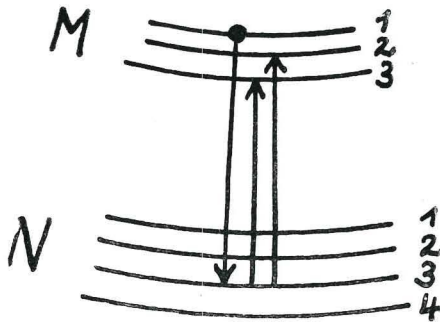


Abb. 3 Entstehung von Fluoreszenz; Erläuterungen im Text

der Belichtung ein mehr oder weniger kräftiges Leuchten, das mit der Zeit immer schwächer wird (Leuchtziffern einer Uhr).

Unter Phosphoreszenz versteht man das Nachleuchten einer Substanz nach beendeter Bestrahlung.

Auch alle anderen Lumineszenzerscheinungen beruhen auf Elektronenübergängen von einem Zustand höherer Energie auf einen energieärmeren Zustand. Nur die Art der Anregung, also die Energiezufuhr, ist jeweils verschieden.

## Die Ursachen der Fluoreszenz

Es gibt viele Stoffe, die zur Fluoreszenz angeregt werden können; ebenso vielseitig ist ihre chemische Beschaffenheit. Viele kompliziert zusammengesetzte organische Farben, unter denen das Fluoreszein am bekanntesten ist, vermögen zu fluoreszieren. Ebenso lumineszieren zahlreiche Minerale, echte und synthetische Schmucksteine und künstliche anorganische Leuchtstoffe, so daß es schwierig scheint, hier ein ordnendes Prinzip zu finden.

Indessen lassen sich die fluoreszierenden Stoffe in zwei große Gruppen einordnen, nämlich

1. Substanzen, die grundsätzlich, auch in reinstem Zustand fluoreszieren. Unter „reinstem“ Zustand soll der höchste Reinheitsgrad einer Substanz ohne jede fremdartige Beimengung verstanden sein.

2. Substanzen, die in reinstem Zustand nicht fluoreszieren, sondern erst dann, wenn sie kleine Mengen fremdartiger Beimengungen enthalten.

Zur ersten Gruppe zählen organische Verbindungen, vor allem Farbstoffe, gewisse Uranverbindungen, mehrere komplex zusammengesetzte anorganische Salze (allgemein bekannt ist das Bariumplatincyanoide), die Wolframate und Molybdate der Erdalkalien und die Salze vieler seltener Erden (unberücksichtigt bleiben hier Gase und Dämpfe). Die Leuchtfähigkeit der organischen Verbindungen ist an bestimmte Atomgruppierungen innerhalb des Moleküls gebunden, von denen die konjugierte Doppelbindung ( $>C=C-C=C<$ ) der Kohlenstoffatome die wichtigste ist. Viele organische Substanzen fluoreszieren in flüssigem Zustand oder in Lösung. Im Rahmen dieser Abhandlung interessieren die organischen Verbindungen nicht. Auch die Fluoreszenz der synthetischen komplexen anorganischen Salze und der Salze der seltenen Erden sei nur am Rande erwähnt.

Von großer Bedeutung ist jedoch die Fluoreszenzfähigkeit gewisser Uranverbindungen. Wie eingehende Untersuchungen zeigten, fluoreszieren nur Salze und Minerale des sechswertigen Urans, die das Uranyl-Ion ( $UO_2^{++}$ ) enthalten. Auch die wäßrigen Lösungen dieser Uransalze sowie Urangelaser fluoreszieren. Sobald das Uran jedoch in anders gebundener Form in einem Mineral enthalten ist, kann keine Fluoreszenz mehr beobachtet werden. Der Träger des Leuchtens ist demnach das Uranyl-Ion, das besonders empfänglich für anregende Strahlung ist.

Die Wolframate und Molybdate der Erdalkalien sind ebenfalls gute Leuchter. Die Ursache dafür sollen Störungen im Kristallgitter dieser Stoffe sein.

Bei allen Vertretern der ersten großen Gruppe ist die Fluoreszenzfähigkeit eine Eigenschaft des Stoffes selbst und durch seine chemische Zusammensetzung, die besondere Anordnung der Atome bzw. Moleküle bedingt.

Zur zweiten großen Gruppe zählen alle übrigen fluoreszierenden festen Substanzen. Schon LECOCQ (1886) kam zu dem Ergebnis, daß reinste Tonerde nicht fluoresziert; wenn jedoch geringe Mengen Chrom darin enthalten waren, konnte ein schönes rotes Leuchten beobachtet werden. Wie URBAIN (1906) zeigte, wird die Fluoreszenz mancher Flußspäte durch Spuren darin enthaltener seltener Erden verursacht, während reinstes Calciumfluorid nicht fluoresziert.

Fast kein Mineral ist ein reiner Stoff, sondern enthält die verschiedensten Fremdbestandteile. Diese kleinen Beimengungen sind die Ursache der Fluoreszenz, sie sind die „aktiven Zentren“. Als Gastatome sind sie in das Kristallgebäude der Gastgeber aufgenommen und ganz besonders empfänglich für Energiezufuhr. Sie absorbieren die Energie des ultravioletten Lichtes, wobei einige ihrer Elektronen

höhere Energiezustände durchlaufen und dann unter Aussendung von sichtbarem Licht in den Grundzustand zurückkehren, wie es bereits ausführlich erläutert wurde. Die geringen Beimengungen zu einer Wirtsubstanz nennt man „Aktivatoren“, weil sie den Stoff erst durch ihre Anwesenheit zur Fluoreszenz veranlassen.

Selbstverständlich zeigt ein bestimmtes Mineral, z. B. Calcit, nicht immer die gleiche Fluoreszenzfarbe; denn diese ist von der Natur des Aktivators, also den Beimengungen abhängig. Natürliche Fremdbestandteile sind aber meist für die Entstehungs- und Kristallisationsbedingungen eines Minerals typisch und von dem jeweiligen Fundort abhängig. Die Fluoreszenzfarbe kann demnach in manchen Fällen ein wertvolles Hilfsmittel zur Feststellung des Mineralfundortes werden. Ja, selbst die verschiedenen Generationsfolgen innerhalb einer Mineralagerstätte können unter Umständen erkannt werden, sobald ein Mineral, das in mehreren Generationen auftritt, bei seiner Bildung verschiedenartige Fremdbestandteile in sein Kristallgitter aufnahm.

Soweit möglich, wird bei der Beschreibung der Fluoreszenzfarben der Minerale die Art der Aktivatoren vermerkt.

### Natürliche und künstliche Leuchtstoffe

Unter den zahlreichen fluoreszierenden Mineralen gibt es nur wenige, die eine ungewöhnlich große Lichtfülle ausstrahlen, wie z. B. der Willemit, ein Zinksilikat, das geringe Mengen Mangan enthält. Man kennt auch eine ganze Reihe phosphoreszierender Minerale, doch spielen sie technisch keine Rolle, weil das Nachleuchten im allgemeinen nur sehr schwach ist.

Dagegen werden heute in großem Maßstabe fluoreszierende und phosphoreszierende Massen künstlich hergestellt. Die moderne Lichttechnik, die Röntgentechnik und das Fernsehen machen ausgiebig von lumineszierenden Stoffen Gebrauch. Die üblichen Leuchtstoffröhren sind mit einem verdünnten Gas (Neon) gefüllt, das durch den elektrischen Strom zum Leuchten angeregt wird. Etwa 62 Prozent der aufgenommenen Energie werden in Strahlung umgewandelt, während der Rest als Wärme ungenützt bleibt. Von dieser Strahlung sind aber nur 4 Prozent sichtbares Licht, der größere Teil Ultraviolett. Die Innenseite der Glasröhren wird daher mit einem fluoreszierenden Stoff bestrichen, der die ultraviolette Strahlung zum großen Teil in sichtbares Licht verwandelt. Der gesamte Nutzeffekt einer Leuchtstoffröhre beträgt rund 20 Prozent, der einer Glühlampe nur 4 bis 6 Prozent.

Die wichtigsten lumineszierenden anorganischen Stoffe sind:

1. Die Zink- und Zinkcadmiumsulfide, die durch Spuren

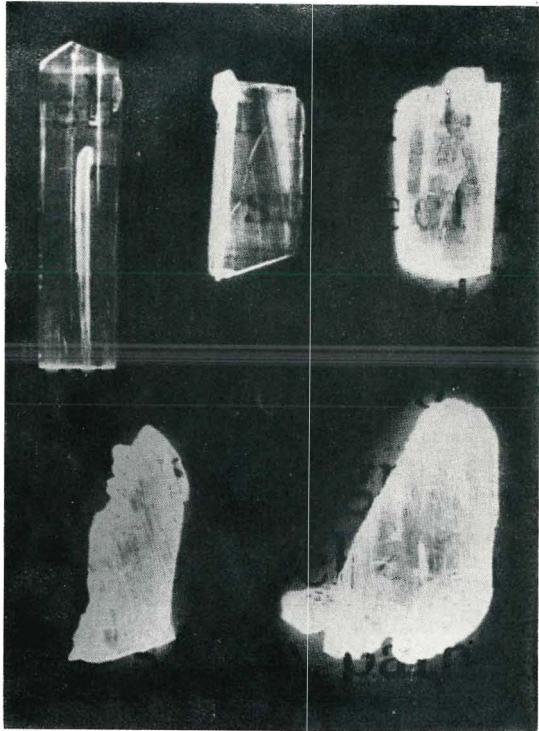


Abb. 4 Fluoreszierende Zinksulfid-Kristalle  
Mit freundlicher Genehmigung aus Scientific  
American, Oktober 1954, Seite 64

von Kupfer, Silber, Mangan usw. aktiviert sind (Sidot'sche Blende);

2. Die Silikate von Zink, Zink-Beryllium, Cadmium, Germanium usw., die fast ausschließlich durch Mangan aktiviert sind;

3. Die Wolframate und Molybdate der Erdalkalien und des Zinks;

4. Die Sulfide und Oxyde der Erdalkalien (Bologneser Stein), die durch die verschiedensten Schwermetalle aktiviert werden können;

5. Die Halogenide der Alkalien und Erdalkalien (Flußspat);

6. Viele Metalloxyde, insbesondere das mit Chrom aktivierte Aluminiumoxyd (Rubin);

7. Die fluoreszierenden Gläser, aktiviert durch Uranylsalze, seltene Erden, Kupfer, Mangan, Blei usw.

Vertreter der Gruppen 1, 2, 3, 5 und 6 finden sich recht häufig unter den Mineralen. Die künstlichen Produkte sind jedoch bedeutend bessere Leuchtstoffe. Wenn man z. B. 73 Gramm reinstes Zinkoxyd, 27 Gramm reinsten Quarzstaub und 0,3 Gramm Manganchlorid entsprechend 1/10 Prozent Mangan innig mischt und längere Zeit auf 1100 Grad Celsius erhitzt, so erhält man mangan-aktiviertes Zinksilikat (als Mineral: Willemit), das kräftige grüne Fluoreszenz zeigt. Auch die Darstellung künstlicher Einkristalle von manchen Leuchtkörpern, z. B. Zinksulfid, ist kein Problem mehr. Abb. 4 zeigt fünf Zinksulfid-Kristalle, die während der Aufnahme mit ultravioletter Strahlung zum Fluoreszenzleuchten angeregt wurden.

Manche künstlich hergestellte organische Farben zeigen schon bei Tageslicht kräftiges Leuchten und Fluoreszenz. Am bekanntesten ist das bereits erwähnte Fluoreszein, das mitunter Bestandteil von Badesalztabletten ist. Hier genügt bereits der im natürlichen Licht enthaltene ultraviolette und blaue Anteil zur Anregung der Fluoreszenz.

Dieses ungewöhnlich starke Leuchten zeigen Minerale am Tageslicht nicht. Man muß daher die Fluoreszenz in einem verdunkelten Raum beobachten und das zur Anregung erforderliche ultraviolette Licht künstlich herstellen.

## II. Die Praxis der Fluoreszenzanalyse

Wie im vorangegangenen Kapitel mehrfach erwähnt wurde, kann Fluoreszenz durch energiereiche Strahlung, z. B. Ultraviolett (künftig kurz als UV bezeichnet) angeregt werden. Damit sind die Möglichkeiten aber nicht erschöpft. Das Spektrum setzt sich über das UV hinaus noch weiter fort, und zwar folgen danach Röntgenstrahlen und schließlich Gamma-Strahlen. Ihrer Natur nach sind diese Strahlenarten ebenfalls „Licht“, jedoch von erheblich größerer Frequenz (kleinerer Wellenlänge). Gamma-Strahlen entstehen beim radioaktiven Zerfall von Atomen. Beide Strahlensorten sind ganz erheblich energiereicher als UV und vermögen viele Stoffe zur Fluoreszenz anzuregen. Schließlich kann Fluoreszenz auch noch durch Materiewellen (Kathoden- oder Anodenstrahlen) hervorgerufen werden. Wir beschränken uns hier ausschließlich auf die Erzeugung von Fluoreszenz mit UV.

Die meisten Stoffe absorbieren Licht zwischen 2000 und 3000 Å Wellenlänge. Zwar wird nicht dieser gesamte Wellenlängenbereich von dem betreffenden Körper aufgenommen, sondern die Atome suchen sich im allgemeinen ganz bestimmte Wellenlängen aus der Fülle des Angebotes aus. Man kann diese bevorzugten Wellenlängen sehr wohl ermitteln und erhält dann ein sogen. Absorptionsspektrum des Stoffes. Es wäre zu mühsam, für jede zu prüfende Substanz erst die Absorptionsbereiche zu bestimmen und sie alsdann mit eben dieser genau definierten Wellenlänge zu bestrahlen. Statt dessen verwendet man zur Fluoreszenzanregung zwei Wellenlängenbereiche, nämlich

- 1) kurzwelliges UV
- 2) langwelliges UV

Ein fluoreszierendes Mineral spricht entweder auf nur einen oder aber auf beide Bereiche an; es gibt auch Ausnahmen, bei denen eine ganz bestimmte Wellenlänge zur Anregung benutzt werden muß.

Das kurzwellige UV enthält hauptsächlich Strahlung der Wellenlänge 2537 Å, der kleinere Rest verteilt sich auf verschiedene andere Linien. Es eignet sich sehr gut zur Fluoreszenzanregung von anorganischen Stoffen (Mineralen), manchen organischen Verbindungen und reinen Lösungen anorganischer Salze.

Das langwellige UV enthält vorwiegend Strahlung der Wellenlänge 3658 Å und leistet besonders gute Dienste bei der Fluoreszenzanalyse organischer Stoffe. Auch sehr viele Minerale können damit zum Leuchten angeregt werden.

Als Lichtquellen, welche Strahlungen der genannten Wellenlängen erzeugen, dienen vor allem die verschiedenen Typen von Quecksilberdampf-Lampen.

### Lichtquellen

#### Geräte für kurzwelliges UV

Da etwa 80 % aller fluoreszierenden Minerale, ferner die meisten anorganischen Verbindungen durch kurzwelliges UV angeregt werden können, interessieren vor allem solche Lichtquellen, die Strahlung der Wellenlänge 2537 Å emittieren. Diesem Zweck dienen die Quecksilberniederdruck-Lampen mit einem Gasdruck, der geringer oder gleich 1 Atmosphäre ist. Leider enthält das Programm der deutschen Lampenindustrie kaum Analysenlampen für kurzwelliges UV, und es wäre wün-

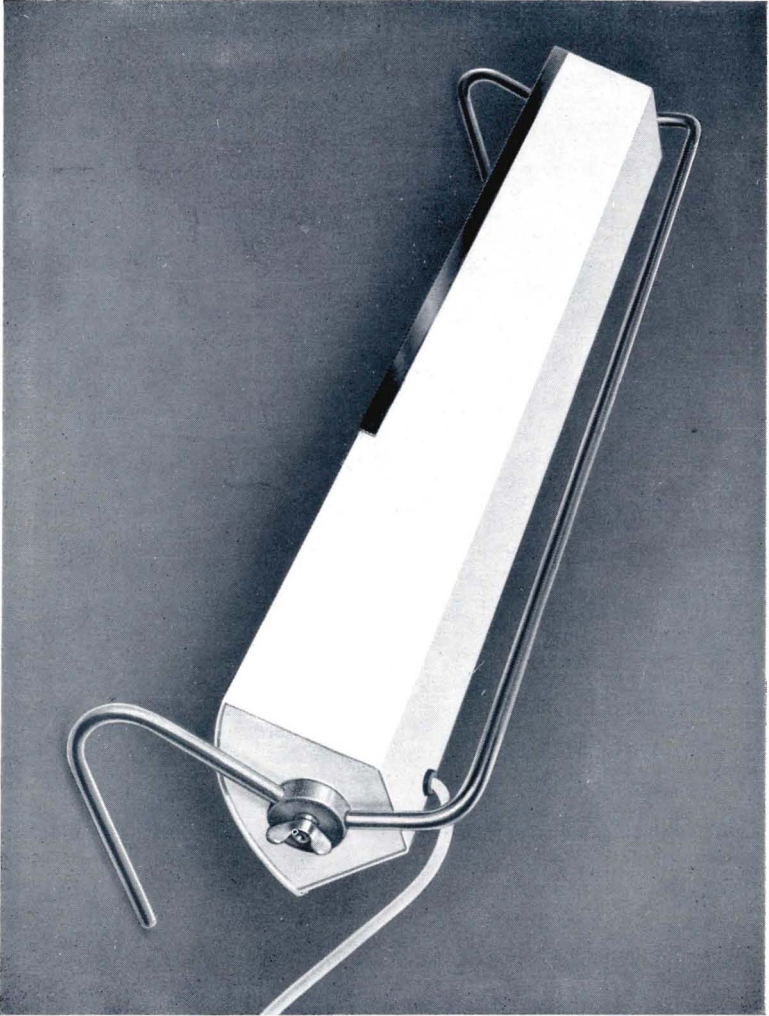


Abb. 5 Lampe PL 320 für kurzwelliges UV; Quarzlampegesellschaft mbH.



schenswert, daß diese Lücke durch Schaffung sowohl einfacher und handlicher als auch energiereicher Lichtquellen bald geschlossen wird.

Die Quarzlampengesellschaft mbH., Hanau/Main, bietet das Analysengerät PL 320 an (Abb. 5), in dem bereits alle zum Betrieb erforderlichen Teile einschließlich Filter fest montiert sind. Das etwa 4 kg schwere Gerät wird mit einer Spannung von 220 Volt betrieben. Die Öffnung für den Strahlenaustritt hat die Abmessungen  $3,5 \times 23$  cm. Der Preis der Lampe beläuft sich auf DM 260. (April 1956).

Die Deutsche Philips GmbH, Hamburg 1, Mönckebergstr. 7, bringt verschiedene Ultraviolettstrahler für kurzwelliges UV auf den Markt, die zur Entkeimung und Bakterienvernichtung bestimmt sind. Solche Lampen lassen sich aber in geeigneter Weise montieren und sind, mit einem Filter versehen, ebenfalls als Analysenlampen verwendbar. Besonders sei die Lampe TUV 6 Watt erwähnt, die ohne jede Zusatzgeräte direkt an die 220 Volt-Leitung angeschlossen werden kann. Die Röhre ist 14,6 cm lang und im Durchmesser 2,6 cm; sie läßt sich in jede Lampenfassung einschrauben. Der Preis beträgt DM 30.

Eine Lampe von größerer Leistung ist die TUV 15 Watt zum Preis von DM 45. Diese ist 44 cm lang und 2,6 cm im Durchmesser. Als Zubehör sind erforderlich: Das Vorschaltgerät VIF 15 für DM 12, ein Starter St 20 für DM 2 und ein Paar Fassungen für DM 3,40. Komplett zum Betrieb beläuft sich der Preis dieser Anordnung auf DM 62,40. Hierzu kämen noch die Kosten für ein Filter (vgl. nächster Abschnitt).

Ein sehr reichhaltiges Programm von Lichtquellen für kurzwelliges UV bieten amerikanische Firmen, von denen die Ultra-Violet Products, Inc., San Gabriel, California, als führend genannt sein soll.

Als einfachste Lampe bringt diese Firma das Mineralight Modell NH in den Handel, das etwa 90% der auf kurzwelliges UV reagierenden Minerale anzuregen vermag. Die Lebensdauer der Lampe beträgt 1000 — 2000 Stunden. Sie kostet komplett mit Filter 14,75 Dollar (DM 62). Da sie nur mit 110 Volt betrieben werden kann, ist noch ein Transformator vorzuschalten.

Ein tragbares Analysengerät ist das mit einer 6 Volt-Batterie ausgerüstete Modell M-12. Seine UV-Strahlung ist um  $\frac{1}{3}$  intensiver als die von Modell NH. Das komplette Gerät wiegt nur etwa 1,7 kg. Die Lebensdauer der Röhre beträgt mehr als 1500 Stunden. Ersatzbirnen können geliefert werden. Der Preis beläuft sich auf 39,75 Dollar (167 DM).

Das Mineralight SL 2537 (Abb. 6) ist ein sehr handliches und schönes Gerät, dessen Strahlung vier mal so intensiv wie die von NH und drei mal so intensiv wie die von Modell M-12 ist. Etwa 90% der UV-Strahlung besitzt die Wellenlänge 2537 Å. Die nur  $\frac{1}{2}$  kg schwere



Abb. 6 Mineralight Modell SL 2537

Lampe ist ein ideales Gerät, das allen Anforderungen an Leistung und einfacher Handhabung genügt. Der Preis einschließlich Filter beträgt 39,50 Dollar (166 DM). Dazu muß allerdings ein Transformator benutzt werden, da das Gerät nur mit 110 Volt betrieben werden kann.

Schließlich werden noch eine Reihe sehr intensiver Lichtquellen angeboten, die vor allem in der Industrie (z. B. zum Sortieren von Erzen) und in Museen Verwendung finden.

Die genannten Preise erhöhen sich noch durch Zoll, Steuer usw.

## Geräte für langwelliges UV

Zur Erzeugung von Strahlung der Wellenlänge 3658 Å werden Quecksilberhochdruck-Lampen verwendet. Auf dem deutschen Markt werden zahlreiche Analysenlampen dieser Art angeboten, die den verschiedensten Anforderungen genügen und jedem Geschmack entsprechen.



Abb. 7 Lampe PL 342 für langwelliges UV; Quarzlampengesellschaft mbH.

und als Vorschaltgerät eine Drosselspule. Preis der Lampe 28 DM, Drosselspule 24 DM. Schließlich erzeugt die Philips noch verschiedene Typen von Quecksilberhochdruck-Lampen, z. B. die CS 150 W, die in die Fluoreszenzleuchte (Abb. 12) der Firma E. Leitz, Wetzlar eingebaut ist.

Von den Modellen der amerikanischen Ultra-Violet Products, Inc., möge lediglich das Mineralight SL 3660 erwähnt sein, das genau wie das Gerät Abb. 6 aussieht. Es kostet 29,50 Dollar (124 DM). Dazu muß noch ein Transformator benutzt werden. Der Einfuhrpreis erhöht sich durch Zoll, Steuern usw.

Die Hanauer Quarzlampengesellschaft mbH. offeriert ein ideales Kleingerät PL 342 (Abb. 7) zum Anschluß an 220 Volt. Das Modell wiegt bei einer Gesamtlänge von 36 cm nur 0,9 kg. Zusatzgeräte sind nicht erforderlich. Es kostet komplett mit Filter 104,50 DM (August 1953). Sehr viele der fluoreszierenden Minerale können mit dieser Lampe angeregt werden. Darüber hinaus eignet es sich für Reinheits- und Echtheitsprüfungen auf den verschiedensten Gebieten.

Für erhöhte Ansprüche bietet dieselbe Firma die tragbare Koffer-Analysenlampe PL 327 (25 × 21,5 × 12 cm) an. Das Gerät kostet 159,50 DM. Als Tisch-Analysenlampe wird ferner das schöne Modell PL 344 angeboten (Abb. 8). Es besitzt ein größeres, gleichmäßig ausgeleuchtetes Feld. Gewicht 15 kg. Zusatzgerät ist nicht erforderlich. Komplett mit Filter kostet die Lampe 548 DM.

Die Deutsche Philips GmbH. bringt die einfache Analysenlampe HPW 125 W in Form einer Glühbirne auf den Markt. Sie ist ebenfalls eine Quecksilberhochdruck-Lampe, bei der das kurzwellige UV und das sichtbare Licht durch den Schwarzglaskolben absorbiert wird. Als Zubehör werden benötigt: Eine Fassung

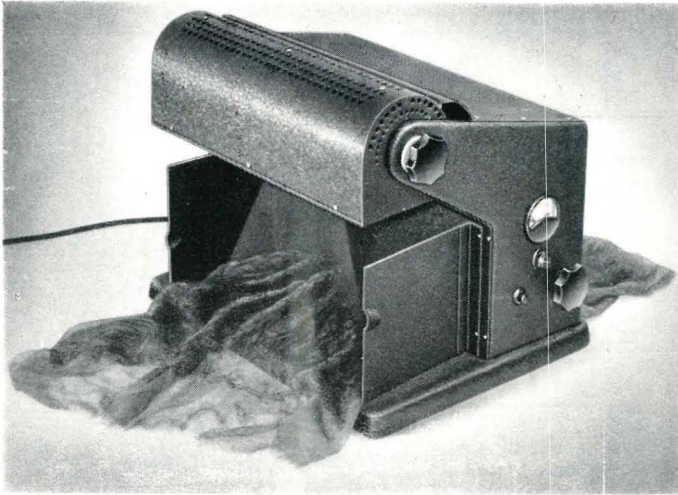


Abb. 8 Modell PL 344 für langwelliges UV;  
Quarzlampengesellschaft mbH.

## Filter

Die von den verschiedenen Lichtquellen emittierte Strahlung enthält außer der gewünschten Wellenlänge des UV stets noch sichtbares Licht. Dieses muß zur Beobachtung der Fluoreszenz absorbiert werden, weil sonst die Reflexion am Objekt eventuell Fluoreszenz vortäuscht, andererseits das oft sehr schwache Leuchten überdeckt. Die käuflichen Analysenlampen sind mit geeigneten Filtern versehen, die Strahlung der selbst installierten Lampen, z. B. der TUV 6 W Philips, muß erst noch gefiltert werden.

Für die kurzwellige UV 2537 Å emittierenden Lichtquellen eignet sich allein ein 2 mm dickes Filter UG 5 der Firma Schott & Gen., Mainz. Die Durchlässigkeit dieses Materials ist in Abb. 9a dargestellt. Wie man daraus ersieht, wird nicht nur das kurzwellige, sondern auch etwas blaues und rotes Licht durchgelassen. Allerdings strahlen die Quecksilberbrenner in diesem Wellenlängenbereich nur spärlich Licht aus. Will man selbst diese Strahlung absorbieren, so muß das Filter UG 5 mit einem Flüssigkeitsfilter kombiniert werden. Zu diesem Zweck füllt man in eine Quarzküvette von 2 cm Schichtdicke eine Lösung, die pro Liter Wasser 495 g Nickelsulfat,  $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  und 141 g Kobaltsulfat,  $\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  gelöst enthält.

Die Strahlung der Lichtquellen für langwelliges UV 3658 Å muß durch ein 2 mm dickes Filter UG 1 (Abb. 9b) gefiltert werden. Auch dieses läßt etwas rotes Licht durch, das man durch ein zusätzliches Filter BG 12 absorbieren kann. Es ist aber zu beachten, daß dadurch auch das UV erheblich geschwächt wird.

Schließlich sei noch auf solche Filter hingewiesen, die das UV- absorbieren und sichtbares Licht durchlassen. Derartige Filter dienen erstens zum dringend notwendigen Schutz der Augen bei längeren Arbeiten mit UV, zweitens zur völligen Absorption des erregenden Lichtes bei fotografischen Aufnahmen des Fluoreszenzlichtes.

Es genügt keineswegs, die Lampe abzuschirmen, bzw. die Augen vor direkter Strahlung der Lampe zu schützen; denn ein Teil des erregenden UV wird ja an den bestrahlten Gegenständen reflektiert und gelangt auf diesem Umweg in die

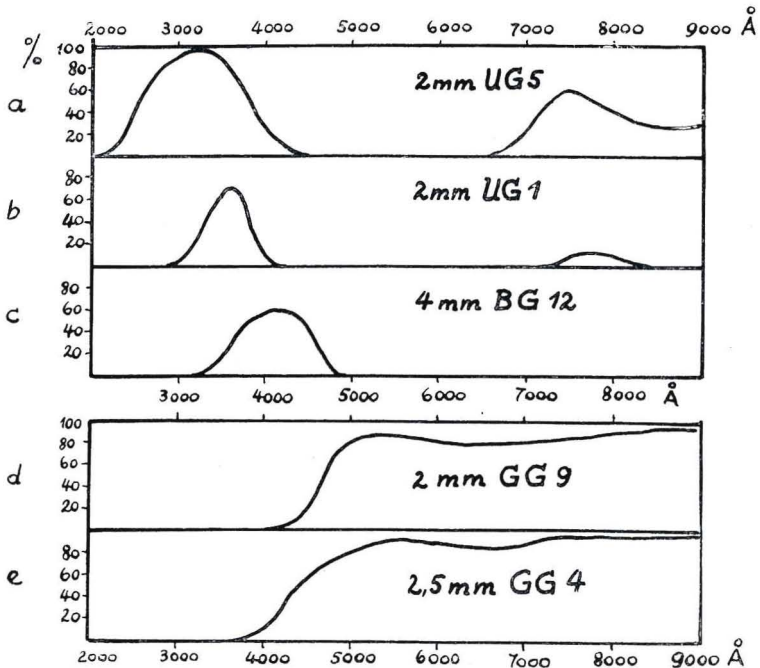


Abb. 9 Lichtdurchlässigkeit von Filtern in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Erklärungen im Text.

Augen. Als Augenschutz eignen sich alle guten Sonnenbrillen oder Brillen aus 2,5 mm dickem GG 4 Filterglas.

Für fotografische Aufnahmen muß das gesamte Licht der UV-Lampe absorbiert werden, da namentlich das UV-Licht, obwohl unsichtbar, die fotografischen Platten und Filme äußerst intensiv zu belichten vermag. Dazu sollen die Filter gegenseitig abgestimmt sein, d. h. wurde das UV-Licht 2537 Å mit UG 5 gefiltert, so ist als UV-absorbierendes Filter ein 2 mm dickes Glas GG 9 vor das Objektiv der Kamera zu montieren. Falls UG 1 zur Filtration des Erregerlichtes 3658 Å diene, kann ein 2,5 mm dickes GG 4-Filter benutzt werden. Die Abbildungen 9 d und e zeigen die Durchlässigkeit der beiden UV-absorbierenden Filter. Alle genannten Filter liefert die Firma JENAer Glaswerk Schott & Gen., Mainz, zu folgenden Preisen (Mai 1956):

Rohpoliertes, auf die Dicke und Größe zugerichtetes optisches Farbglas		
UG 5	40 × 40 × 2 mm	Stück 7,25 DM
UG 1	40 × 40 × 2 mm	„ 3,80 „
BG 12	40 × 40 × 4 mm	„ 3,70 „
GG 4	40 × 40 × 2,5 mm	„ 3,55 „
GG 9	40 × 40 × 2 mm	„ 3,50 „

Leider gibt es bis heute kein Filterglas, das alles sichtbare Licht restlos absorbiert und nur UV durchläßt. Man könnte zwar einfach ein wesentlich dickeres UG 5 -Filter benutzen, wodurch tatsächlich alles sichtbare Licht absorbiert würde. Dann würde aber auch das gewünschte UV so stark geschwächt werden, daß kaum noch Fluoreszenz beobachtbar wäre. Man ist also zu einem Kompromiß gezwungen: Die Filter werden mit einer Schichtdicke gewählt, bei der das durchgelassene sichtbare Licht gerade noch als nicht wesentlich störend empfunden wird, und bei

der man andererseits eine möglichst große Ausbeute an UV-Licht erhält. Bei der Beurteilung blauer Fluoreszenzfarben ist daher mit der größten Skepsis vorzugehen.

## Beobachtungen an makroskopischen Objekten

### Fluoreszenzfotografie

Die Beobachtung der Fluoreszenz soll in einem verdunkelten Raum erfolgen. Für viele Zwecke eignet sich bereits ein Kasten, in dem die Lichtquelle fest montiert ist und der an der Beobachtungsseite mit einem schwarzen Vorhang verschlossen werden kann. Eine sehr praktische Konstruktion eines Schaukastens hat L.C. Trumpe in „Gemmologist“ Juli 1953 Seite 127 beschrieben (Abb. 10).

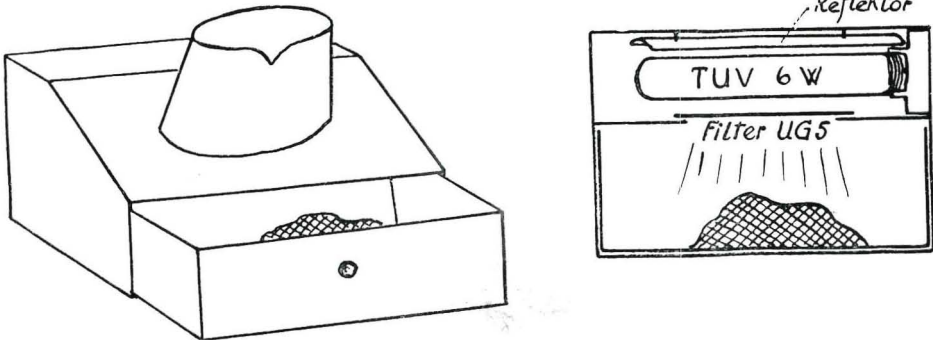


Abb. 10. Schaukasten zur Beobachtung der Fluoreszenz

Als Lichtquelle ließen sich z. B. die TUV 6 W von Philips oder die TUV 15 W mit einem UG 5 Filter in den Kasten montieren. Zur Erzielung einer besseren Lichtausbeute bringt man zweckmäßig noch einen Reflektor aus poliertem Aluminiumblech an der Oberseite des Kastens an. Zwischen Lampe und Objekt wird das Filter eingelegt. Zur Vermeidung einer Hitzeentwicklung muß die Oberseite mit einigen Luftlöchern versehen sein. Da die Lampe TUV 6 W recht schwach ist, wählt man den Abstand zwischen Lampe und Objekt so gering wie möglich. Die Innenseite des Kastens wird am besten mit schwarzem Samt ausgeschlagen, um jegliche Reflexion des UV zu vermeiden. Zudem lassen sich die Fluoreszenzfarben auf mattschwarzem Grund am sichersten erkennen.

Die Prüfung der Fluoreszenz kann an massiven Stücken, Kristallen oder Pulvern erfolgen. Dabei ist zu beachten, daß die Farben recht verschieden sein können. Eine frische Bruchfläche kann anders fluoreszieren als eine verwitterte. Mitunter können Ätzungen zur Veränderung der Leuchtfarbe beitragen. Bei Kristallen hängt die beobachtete Lumineszenz von deren Orientierung ab; außer denen des kubischen Systems besitzen nämlich alle Kristalle gewisse Richtungen bevorzugter Lichtabsorption. Es ist daher nicht gleichgültig, ob man einen Kristall senkrecht oder parallel zu seinen Absorptionsachsen betrachtet. Auch ein pulverisiertes Mineral zeigt im allgemeinen eine etwas andere Fluoreszenzfarbe als ein massives Stück. Meistens leuchtet ein Pulver intensiver als ein derbes, kompaktes Mineral, weil das Licht an den vielen kleinen Körnchen stark zerstreut wird. Auch die Temperatur des Objektes ist von erheblicher Bedeutung. Unsere Beobachtungen beziehen sich, soweit nicht anders vermerkt, auf Stücke von Zimmertemperatur. Bei hoher Temperatur wird die Fluoreszenz im allgemeinen ausgelöscht.

Bei quantitativen Beobachtungen kommt es darauf an, die Wellenlänge des Fluoreszenzlichtes und seine Intensität zu messen. Der Amateur wird sich im allgemeinen mit einem einfachen Taschenspektroskop begnügen, mit dessen Hilfe das Fluoreszenzspektrum des leuchtenden Körpers beobachtet werden kann. Im übrigen wird auf die einschlägige Spezialliteratur hingewiesen.

Fotografische Aufnahmen lumineszierender Minerale können mit jeder beliebigen Kamera gemacht werden, wobei UV-absorbierende Filter GG 9 bzw. GG 4 vor dem Objektiv anzubringen sind. Bei den Aufnahmen soll die Lichtquelle so angebracht sein, daß niemals direkt Strahlung zur Kamera gelangt, auch dann nicht, wenn ein Filter vor das Objektiv geschaltet ist. Als Negativmaterial werden panchromatische Filme empfohlen, die auch für rotes Licht bis etwa 7000 Å sensibilisiert sind. Bei vorwiegend blauen Fluoreszenzfarben sind orthochromatische Filme vorzuziehen. Für Farbaufnahmen empfehlen sich Tageslichtfilme. Der Ver-

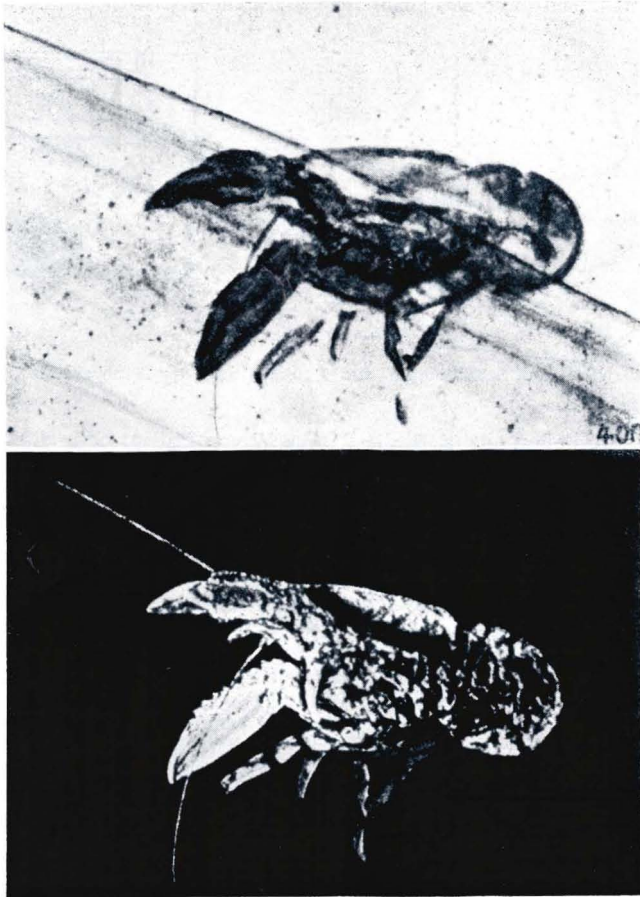


Abb. 11 Abdruck eines Panzerkrebses (oben) im Tageslicht, (unten) bei Bestrahlung mit UV-Licht. (Miethe)

Aus DANCKWORTH, Lumineszenzanalyse, 6. Auflage 1956. Mit freundl. Genehmigung durch Akad. Verlagsges. Geest & Portig KG, Leipzig.

fasser hat beste Erfahrungen mit Agfacolor Diapositiv-Filmen machen können. Auch mit Agfa-Negativ-Filmen erzielt man gute Ergebnisse, doch ist es meist nicht leicht, einen wirklich farbgetreuen Papierabzug zu erhalten. Die Diapositiv-Aufnahmen geben aber ein naturgetreues Abbild der Fluoreszenzfarben. Die Aufnahmen der beigefügten Farbtafel wurden ausschließlich mit 15/10<sup>0</sup>DIN Agfacolor Diapositiv-Filmen der Agfa-A.G. für Photofabrikation Leverkusen - Bayerwerk gemacht.

Die Belichtungszeiten variieren stark und sind von der Intensität des Fluoreszenzlichtes, vom Abstand Objekt/Kamera, von der Optik, von der Stärke der Lichtquelle, vom Filmmaterial und von der Empfindlichkeit der Filme abhängig. In jedem Fall wird man mehrere Aufnahmen mit verschiedenen Belichtungszeiten machen müssen. Belichtungsmesser sprechen auf relativ schwache Fluoreszenzleuchten nicht an, wie ein Versuch mit vorgeschaltetem GG-9- oder GG-4-Filter zeigt.

Obwohl diese Abhandlung nur die Fluoreszenz von Mineralen zum Gegenstand hat, sei noch besonders auf die Fluoreszenzuntersuchungen von Fossilien hingewiesen. Sehr oft sind im Gestein geringe ölige oder fette Reste der versteinerten Tiere und Pflanzen enthalten, die besonders unter langwelligem UV fluoreszieren und dadurch viele Einzelheiten besser hervortreten lassen als bei Tageslicht. Die Abb. 11 zeigt als Beispiel den Abdruck eines Panzerkrebses auf Solnhofener Kalk im Tageslicht und im Fluoreszenzlicht aufgenommen (H. Miethe).

## Fluoreszenzmikroskopie

Die Technik der makroskopischen Fluoreszenzanalyse und -beobachtung ist sinngemäß auch auf die Mikroskopie zu übertragen, wenn Gesteinsdünnschliffe, Anschliffe oder sehr kleine Mineralgruppen untersucht werden sollen. Dazu eignet sich jedes lichtstarke Mikroskop, da ja das sichtbare Fluoreszenzlicht von Glas durchgelassen wird. Wie bei der makroskopischen Fluoreszenzanalyse wird die von der Lichtquelle emittierte Strahlung gefiltert. Natürlich darf im Strahlengang bis zum Objekt nur UV-durchlässiges Material ohne Eigenfluoreszenz verwendet werden. Bevor das Licht in das Objektiv eintritt, muß das erregende UV durch geeignete Filter restlos absorbiert werden, da es die Beobachtung der Fluoreszenz sehr stören würde (Fluoreszenz der oft mit Canadabalsam gekitteten Linsen, Fluoreszenz des Augenwassers).

Ältere Fluoreszenzeinrichtungen verwendeten als Lichtquelle eine Bogenlampe. Diese Anordnung wird jetzt durch Quecksilberdampf Lampen mit entsprechenden Filtern verdrängt. So besteht die große Fluoreszenz-Einrichtung der Firma Carl Zeiss, Oberkochen/Württ., aus einem Quecksilber-Höchstdruckbrenner mit ausklappbaren Filtern, dessen Strahlung über einen Aluminium-Oberflächen Spiegel in das Standard-Mikroskop gelenkt wird. An einem auf der Grundplatte festmontierten Stativ kann eine Kamera nach Belieben über das Mikroskop eingeschwenkt werden. Für Auflichtuntersuchungen wird die entsprechende Einrichtung anstelle des Objektivrevolvers angesetzt. Eine Abbildung der formschönen und bewährten Einrichtung findet sich in der Anzeige der Fa. Zeiss am Schluß des Heftes.

Ähnliche Fluoreszenzeinrichtungen liefert auch die Firma Leitz, Wetzlar. Das Mikroskop „Ortholux II“ dieser Firma wird mit zwei Lampen für kombiniertes Durch- und Auflicht gebaut. Hierzu gibt es eine Doppelleuchte mit zwei Quecksilber-Höchstdruckbrennern für langwelliges UV. Abbildung 12 zeigt Aristophot II, eine vielseitig verwendbare fotografische Ergänzungseinrichtung mit Mikroskop, Doppelleuchte und Balgenkamera (Leitz). Natürlich kann auch eine Kleinbild- oder andere Kamera in Verbindung mit dem Mikroskop benutzt werden.

Die beiden beschriebenen mikroskopischen Fluoreszenzeinrichtungen arbeiten mit langwelligem UV. Wenn bei Untersuchungen jedoch kurzwelliges UV angewandt werden soll, so genügt die Optik aus Glas nicht; sie muß vielmehr aus Quarz

gefertigt sein, u. zw. auch der Lampenkollektor, der Kondensor und der Objektträger. Objektiv und Okular, bzw. die gesamte nach dem Objekt folgende Optik darf natürlich aus Glas sein.

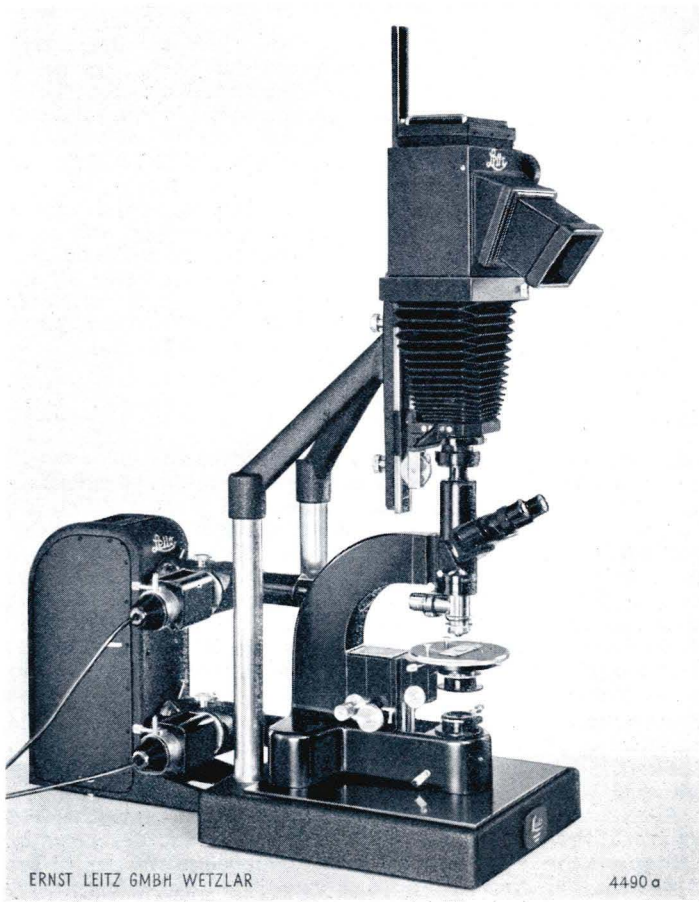


Abb. 12 Aristophot II, E. Leitz/Wetzlar



### III. Die Fluoreszenzfarben der Minerale

In den folgenden Abschnitten sind die fluoreszierenden Minerale in systematischer Reihenfolge nach Elementen, Sulfiden usw. geordnet. Lediglich die Uranminerale wurden in Abweichung davon an den Anfang der Liste gestellt, weil ihre gemeinsame Darstellung für die Prospektion von Uranmineralen von Interesse ist. Am Schluß der systematischen Aufstellung sind die fluoreszierenden Minerale von Franklin, New Jersey, zusammengestellt. Diese Lagerstätte liefert so zahlreiche fluoreszierende Minerale, daß ihre gemeinsame Beschreibung gerechtfertigt ist.

Als Grundlage für diese Arbeit dienten Veröffentlichungen in der überaus umfangreichen Literatur (vgl. Anhang), von denen "Handbook of fluorescent gems and minerals" von Jack DeMent und "Gemstone-Luminescence" von Robert Webster als zusammenfassende Werke besonders erwähnt seien. Eigene Versuche wurden an über 40 000 Mineralen aus aller Welt durchgeführt, die sich teils in der Sammlung des Verfassers, zum größten Teil aber in den Sammlungen des Mineralogischen Instituts der Universität Heidelberg befinden.

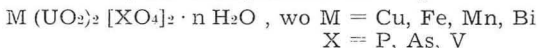
Für diese Untersuchungen kam als Lichtquelle für kurzwelliges UV das Mineralight SL 2537 zur Anwendung. Langwelliges UV wurde mit der Lampe PL 342 der Hanauer Quarzlampengesellschaft erzeugt. Beide Lampen genügen durchaus den Erfordernissen qualitativer Fluoreszenzuntersuchungen.

#### Uranminerale

Bezüglich ihrer Fluoreszenzeigenschaften können die Uranminerale in zwei Gruppen eingeteilt werden, nämlich

1. solche, die im natürlichen Zustand nicht fluoreszieren, sondern erst in eine andere Form umgewandelt werden müssen;
2. solche, die in natürlichem Zustand fluoreszieren.

Zur ersten Gruppe zählen die primären oxydischen Erze, wie z. B. Uraninit, Pechblende und deren Varietäten; die Niobate und Tantalate Betafit und Ellsworthit; die sekundären hydroxydischen Minerale Janthinit, Gummit; die Uran-silikate; das Sulfat Johannit; die Uranglimmer der allgemeinen Zusammensetzung



Schon früher wurde darauf hingewiesen, daß nur diejenigen Uranminerale fluoreszieren, die das Uran in Form der „Uranyl-Gruppe“  $UO_2^{++}$  enthalten, in der das Uran 6-wertig ist. Alle oxydischen Erze sind demnach nicht fluoreszierend. Jetzt kam als weitere Einschränkung die Abwesenheit von Schwermetallen in den Uranglimmern hinzu. So unterscheiden sich die beiden Verbindungen Torbernit und Autunit lediglich durch den Gehalt an Kupfer und Calcium. Der Kalkuranglimmer fluoresziert prächtig, der Kupferuranglimmer nicht. Die Fluoreszenzfähigkeit der Uranglimmer wird also durch Schwermetalle ausgelöscht.

Manche nicht fluoreszierende Uranminerale können zum Leuchten angeregt werden, wenn man sie mit etwas Säure bespritzt, wodurch unter Umständen ein wenig Mineral gelöst wird. Bekanntlich fluoreszieren auch gelöste Uranylsalze. Schließlich sei auf die Fluoreszenzprobe an uranhaltigen Schmelzperlen hingewiesen. Alle Uranminerale einschließlich der Oxyde und der übrigen nicht-fluoreszierenden können mit dieser Methode erkannt werden.

Zu diesem Zweck wird eine winzige Menge des zu prüfenden Minerals fein gepulvert. Ferner schmilzt man an einem Magnesiastäbchen oder zweckmäßiger an der Schlinge eines Platindrahtes etwas Borax oder am besten Natriumfluorid

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Fluoreszenzeigenschaften einiger Uranminerale.

**1. Gruppe**

Mineral	Fluoreszenzfarbe	
	des Minerals	der Natriumfluorid-Perle
<b>Oxyde und Hydroxyde</b>		
Uraninit	—	intensiv gelb(-grünlich)
Pechblende u. Varietäten	—	„ „
Betafit	—	gelbgrünlich
Ellsworthit	—	„
Thorianit	—	„
Gummit	—	intensiv gelb(-grünlich)
Euxenit	—	gelbgrün
Samarskit	—	grüngelb
Ianthinit	—	gelbgrün
Fourmarierit	—	intensiv gelb
<b>Sulfate</b>		
Johannit	—	intensiv gelb
Zippeit	—	„ „
<b>Phosphate, Arsenate, Vanadate</b>		
Torbernit	—	intensiv gelb
Zeunerit	—	intensiv gelb(-grün)
Fritzscheit	—	„ „
Bassetit	—	„ „
Walpurgin	—	intensiv gelb
Carnotit	—	„ „
Trögerit	—	„ „
Parsonsit	—	„ „
Dewindtit	—	kein Material
Dumontit	—	„ „
Renardit	—	„ „
Tujamunit	—	„ „
<b>Silikate</b>		
Uranophan	—	intensiv gelbgrün
Soddyit	—	„ „
Skłodowskit	—	„ „
Kasolit	—	„ „
<b>2. Gruppe</b>		
<b>Karbonate</b>		
Uranothallit (= Liebigit)	grün	intensiv gelbgrün
Schröckingerit	intensiv grün	„ „
<b>Sulfat</b>		
Uranopilit	gelbgrün	„ „
		„ „
<b>Phosphate, Arsenate, Vanadate</b>		
Autunit	intens. gelb	intensiv gelb
Uranospinit	„ gelbgrün	„ „
Uranocircit	„ grüngelb	„ „
Saléit	grüngelb	„ gelbgrün

zu einer Perle, taucht sie noch glühend in das gepulverte Mineral und schmilzt erneut, bis ein klarer Schmelzfluß entstanden ist (etwa 2—3 Minuten). Jetzt wird die Perle sofort auf eine nicht-brennbare Unterlage abgeschleudert und nach dem völligen Erkalten mit kurz- oder langwelligem UV bestrahlt. (Fluoreszenz wird bei höherer Temperatur ausgelöscht!) Die Natriumfluoridperlen leuchten intensiv gelblich, die Boraxperlen etwas schwächer und mehr grünlich. Das Glas ist gewissermaßen eine „feste Lösung“, in der selbst Spuren von Uran nachgewiesen werden können.

Über einige Uranminerale finden sich in der Literatur widersprechende Angaben, sowohl bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung als auch bezüglich ihrer Fluoreszenzeigenschaften. Da aber die oben gegebenen Richtlinien für das Auftreten von Fluoreszenz als zutreffend bestätigt werden konnten, dürften solche Unstimmigkeiten vor allem auf die Feststellung der chemischen Zusammensetzung zurückzuführen sein, wobei zu bedenken ist, daß von vielen, namentlich sekundären Uranmineralen bislang nur winzige Mengen gefunden wurden, wodurch deren analytische Bestimmung außerordentlich schwierig wird. Andererseits verleitet insbesondere nur schwache Fluoreszenz gern zu Fehlbestimmungen, weil es Filter zur völligen Absorption des sichtbaren Lichtes nicht gibt, und daher die Reflexion dieses geringen sichtbaren Anteils am Mineral irrtümlich als schwache Fluoreszenz angesprochen werden kann.

Eine zusammenfassende Darstellung der Fluoreszenzeigenschaften sekundärer Uranminerale findet sich bei H. W. BÜLTEMANN, Neues Jb. Mineral. Abh. **86**, 2, Seite 155, 1954.

## Elemente

Die Metalle und die im Mineralreich vorkommenden Halbmetalle fluoreszieren nicht, weil die Elektronen dieser Elemente im Kristallgitter keine festen Plätze besitzen. Sie sind keinen bestimmten Atomen zugeordnet, sondern fließen zwischen den Atomrümpfen, ohne an bestimmte Bahnen gebunden zu sein (elektrische Leitfähigkeit!). Eine Energiezufuhr in Form von UV-Strahlung kann also auch keinen Elektronenübergang auf energiereichere Bahnen verursachen.

### Diamant

Gewöhnlich fluoreszieren Diamanten blau, oft aber auch grün, orange, orange-gelb, braun und rot. Die Anregung der Fluoreszenz gelingt sowohl mit kurz- als auch mit langwelligem UV. Mitunter kann auch zonare Fluoreszenz, insbesondere auf den Oktaederflächen beobachtet werden. Die Ursache der Fluoreszenz wurde erstmalig 1941 eingehend von J. ORR und J. DeMENT geprüft. Die beiden Autoren analysierten zahlreiche Diamanten spektrochemisch, um eventuell Spurenelemente aufzufinden. Über die Ergebnisse dieser Arbeiten gibt die Tabelle Auskunft.

	nicht fluoresz. Diamanten enthielten	blau fluoresz. Diamanten enthielten	gelb fluoresz. Diamanten enthielten
Aluminium	+	+	++
Calcium	Spur	++	Spur
Chrom	—	++	—
Eisen	—	+	+
Magnesium	+	+	—
Rhodium	—	Spur	—
Silizium	—	+	—
Silber	—	Spur	—
Titan	Spur	++	—

Nach diesen Ergebnissen ist es schwierig, eine Gesetzmäßigkeit oder Regel zu erkennen. Im Jahre 1942 untersuchte F. W. CHESLEY ebenfalls zahlreiche Diamanten und fand in allen Proben Aluminium, Calcium und Silizium, in manchen noch zusätzlich Magnesium, Kupfer, Eisen, Barium, Strontium, Natrium, Silber, Titan, Chrom und Blei. CHESLEY widmete sich eingehend der Zonenfluoreszenz. Unter anderen werden folgende Lumineszenzfarben beschrieben:

Fundort	Zonenfluoreszenz
Angola	innere und äußere Zone lichtblau, dunkler Kern
Premier (brauner x)	gelbgrüne äußere, dunkle innere Zone
Kongo (Oktaeder)	lichte innere Zone
Premier (schwarzer Ballas)	lichte innere Zone, außen nicht
Brasilien	lichtblau außen, dunkler Kern
Bahia	lichtblaues Band, dunkle innere Zone

Man ist sich heute noch nicht klar darüber, ob die Fluoreszenz der Diamanten durch Verunreinigungen (Spurenelemente) oder aber durch Störungen (Fehlorderungen, Baufehler) im Kristallgitter verursacht wird. Für Echtheitsprüfungen von Diamanten hat die Fluoreszenzprobe keinen Wert.

## Sulfide

Alle Kiese, Glanze und Fahle sowie die legierungsartigen Sulfide (z. B. Domeykit, Dyskrasit) zeigen keine Fluoreszenz.

### Zinkblende

Viele Zinkblenden fluoreszieren nicht nur, sie zeigen auch schöne Phosphoreszenz und Tribolumineszenz, insbesondere die Stücke von Tsumeb sind dafür bekannt. Die Fluoreszenzfarbe der tribolumineszierenden Stücke ist ganz charakteristisch orange.

Man fand in natürlicher Zinkblende die verschiedensten Elemente wie Mangan, Eisen, Kobalt, Kupfer, Aluminium, Gallium, Indium, Thallium, Germanium, Molybdän, Silber, Cadmium, Seltene Erden, Blei, Wismut usw.

Praktische Bedeutung besitzt das künstlich hergestellte Zinksulfid, das mit Spuren von Kupfer oder Silber aktiviert werden kann und als Sidot'sche Blende in den Handel kommt. Dabei zeigt das mit Kupfer aktivierte Präparat prächtige grünlige Fluoreszenz und Phosphoreszenz, während das mit Silber aktivierte Zinksulfid lediglich mit tiefblauer Farbe fluoresziert ohne zu phosphoreszieren. B. BARTELS hat (1936) im Rahmen seiner interessanten Arbeit reinstes Zinksulfid hergestellt und auf seine Fluoreszenzeigenschaft überprüft. Er fand dabei, daß Präparate, die unter 600 Grad geglüht waren, keine Fluoreszenz zeigten; solche die zwischen 700 und 900 Grad geglüht waren, leuchteten bei Bestrahlung intensiv hellblau. Lag die Glühtemperatur über 1000 Grad, so zeigte sich nur noch schwache Fluoreszenz. Wie er durch Röntgenuntersuchungen beweisen konnte, lag unter 600 Grad reine Zinkblende, die kubische Modifikation des Zinksulfides vor, oberhalb 1050 Grad reiner Wurtzit, die hexagonale Modifikation. In dem gesamten Gebiet der fluoreszierenden Präparate (also zwischen 700 und 1000 Grad) fand er neben Zinkblende auch gleichzeitig Wurtzit. Der Umwandlungspunkt von Zinksulfid liegt bei 1020 Grad. Unterhalb ist Zinkblende stabil, oberhalb Wurtzit. Die hellblaue Fluoreszenz von Zinksulfidpräparaten ist demnach wohl durch eine Übergangsstruktur bedingt.

Nach Untersuchungen anderer Autoren sollen Germanium, Indium und Thallium keine aktivierenden Eigenschaften in Zinkblende ausüben. Inwieweit die anderen genannten Elemente die Fluoreszenz beeinflussen, d. h. als Aktivator. Inhibitor oder Neutralsubstanz wirken, ist bis heute noch nicht mit Sicherheit geklärt. Es ist zwar bekannt, daß Eisen die Fluoreszenz verhindert.

In einer neueren Arbeit von N. RIEHL und H. ORTMANN in der Zeitschrift für Angewandte Chemie 68, 513 (1956) wird dem beim Glühprozeß in das aktivatorfreie Kristallgitter eintretenden Sauerstoff (aus sauerstoffhaltigen Zinksalzen, Hydratwasser oder vom Röstprozeß stammend) die Bedeutung eines direkten Bestandteiles der Leuchtzentren zugeschrieben.

Hellbraune, derbe Zinkblende von Wölsendorf leuchtete unter langwelligem UV schwach dunkelgelb, ebenso hellrote Kristalle von Braubach. Massive, dunkle Stücke von Freiberg, Sachsen, leuchteten unter langwelligem UV gelborange. Die hellen Kristalle aus dem Dolomit des Binnentals fluoreszierten überhaupt nicht. Honigbraune Stücke von Picos de las Europas, Santander, Spanien, fluoreszierten unter langwelligem UV orangerot. Derbe Stücke von Caracolas, Chile, leuchteten sowohl unter kurz- als auch langwelligem UV intensiv orange. Die Stücke sind stark tribolumineszierend. Dieselbe intensiv orange Fluoreszenzfarbe unter beiden Wellenlängen zeigten Stücke aus Tsumeb und Abenab, Südwestafrika. Es zeigte sich, daß nur die tribolumineszierenden Stücke auch unter kurzwelligem UV leuchten. Mehrere, sehr hellrote Zinkblendekristalle von Joplin, Missouri, fluoreszierten nicht.

**Wurtzit** von Wiesloch leuchtete unter kurzwelligem UV kaum, unter langwelligem UV intensiv gelborange.

**Greenockit** leuchtet im allgemeinen unter langwelligem UV stark gelb bis orange.

### **Zinnober**

Das wichtigste Quecksilbererz fluoresziert nicht. Thomas S. WARREN, Präsident der Ultra-Violet Products, Inc., beschrieb aber eine empfindliche Methode, um selbst Spuren eines beliebigen Quecksilberminerals zu erkennen. Sie beruht auf der starken Absorption von kurzwelligem UV (2537 Å) durch Quecksilberdämpfe. Zur Ausführung der Prüfung wird lediglich ein Fluoreszenzschirm (z. B. aus Willemite oder Sidot'scher Blende) benötigt. Stellt man eine UV-Lichtquelle vor einen solchen Schirm, so leuchtet er auf. Sobald sich aber zwischen Lichtquelle und Schirm Quecksilberdampf befindet, absorbiert dieser die Strahlen vollkommen, so daß der Schirm beschattet wird. Lichtquelle und Schirm sollen 5 bis 10 cm voneinander entfernt sein. Dazwischen wird eine Probe des fein gepulverten Minerals auf eine heizbare Unterlage gelegt und erwärmt. Zeigen sich auf dem leuchtenden Schirm Schatten, so ist mit Sicherheit Quecksilber in der Probe. Leuchtschirme von 12 x 32 cm können zum Preis von 6.75 Dollar von der Ultra-Violet Products, Inc., San Gabriel, California, bezogen werden.

Andere Sulfide, insbesondere die hellen Gültige und Blenden, konnten nicht oder nicht mit Sicherheit als fluoreszierend erkannt werden. —

## Haloide

Obwohl die Minerale dieser Klasse bei weitem nicht durch so viele Arten vertreten sind wie etwa die Sulfide, gibt es unter ihnen trotzdem zahlreiche fluoreszierende Verbindungen. Der in diese Klasse gehörende Fluorit war ja bekanntlich das Mineral, an dem man Fluoreszenz erstmals beobachtet hatte. Außerdem sind die meisten Minerale dieser Klasse farblos oder allenfalls allochromatisch (durch geringe Fremd Beimengungen) gefärbt, während bei den meisten Sulfiden die Farbe ein stoffeigenes Merkmal darstellt; sie sind idiochromatisch gefärbt. Wie wir noch später sehen werden, stehen Fluoreszenz und Eigenfarbe eines Minerals in nahem Zusammenhang derart, daß die meisten fluoreszierenden Minerale von Natur aus ungefärbt oder allochromatisch gefärbt sind, wohingegen unter den idiochromatisch gefärbten Verbindungen kaum fluoreszierende Vertreter anzutreffen sind.

### Steinsalz

Einige Fundorte liefern schön rot fluoreszierendes Steinsalz. Die Fluoreszenz kann nur bei Anregung mit kurzwelligem UV beobachtet werden, mit langwelligem UV gelingt sie überhaupt nicht. Kristalle von Hänigsen, Hannover leuchteten intensiv orangerot (Abb. 13). Intensiv rotes Leuchten zeigten Stücke aus dem Kaliwerk Siegmundshall bei Wunstorf. Stücke von Friedrichshall und Heringen an der Werra fluoreszierten nicht. Kristalle von Wieliczka, Galizien, leuchteten schwach rotviolett.

### Sylvin

Auch dieses Salz läßt sich, wenn überhaupt, nur mit kurzwelligem UV anregen. Stücke von Staffurt leuchteten nicht, wohingegen Kristalle von Buggingen, Baden, intensiv rote Fluoreszenz zeigten. Fluoreszierende Stufen von anderen europäischen Fundorten konnten nicht festgestellt werden.

**Hornsilber** von verschiedenen Fundorten fluoreszierte nicht.

**Quecksilberhornerz** (Kalomel) fluoresziert — wie übrigens alle Minerale mit 1-wertigem Quecksilber — stark. Die Anregung gelingt sowohl mit kurz- als auch langwelligem UV. Außerdem sei auf die Probe mit dem Fluoreszenzschirm hingewiesen. Kalomel von Moschellandsberg leuchtete unter kurzwelligem UV rötlich, unter langwelligem UV intensiv orange. Ebenso verhielten sich Proben aus Terlingua, Texas.

### Flußspat

Die Lumineszenzeigenschaften des Fluorits sind seit langem bekannt, schon aus dem Grunde, weil man mitunter selbst bei Tageslicht Fluoreszenz beobachten kann. Außer Fluoreszenz zeigen die meisten Flußspäte Tribolumineszenz und Thermolumineszenz. Reinstes Calciumfluorid fluoresziert nicht; stets sind kleine Mengen Aktivatoren die Ursache hierfür. Die erste Untersuchung auf Spurenelemente erfolgte durch URBAIN (1909), der in vielen Stücken seltene Erden in geringster Menge fand, wie Samarium, Gadolinium und Europium. HUMPHREYS wies bei der spektralanalytischen Untersuchung von 129 Flußspäten in 102 Stücken einen geringen Gehalt an Yttrium, in 12 Stücken geringe Spuren von Ytterbium und in 15 Stücken beide Elemente nach. Diese seltenen Elemente, die gern in das Kristallgitter des Fluorits eingebaut werden (Yttrifluorit, Ytrocrit), verursachen die Fluoreszenzeigenschaften.

Die Fluoreszenz kann durch kurz- und langwelliges UV erregt werden. Am intensivsten fluoreszieren die kräftig gefärbten Fluorite von Cumberland. Die grünen, purpur und lila Kristalle von Alston Moor leuchten blau, dagegen zeigen die braungelben und gelben Varietäten vom gleichen Fundort keine nennenswerte Fluoreszenz. Auch die tief violetten und schwarzvioletten Stücke von Wölsendorf und Rosiclare, Illinois, leuchten nicht.

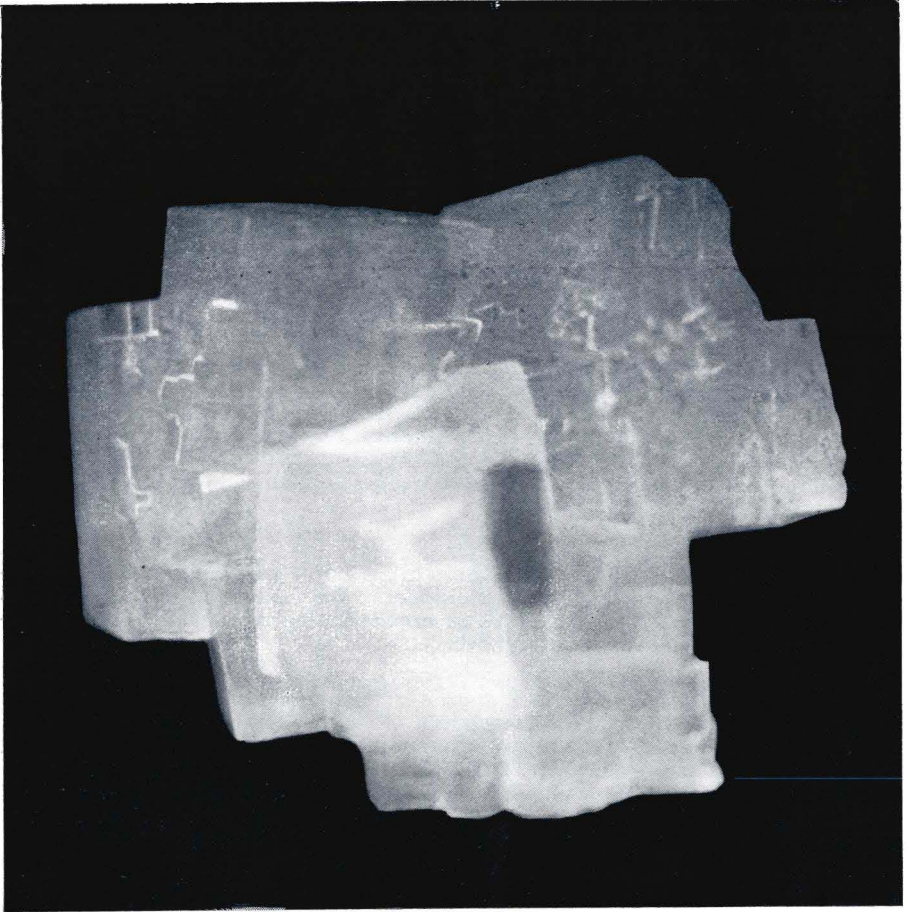


Abb. 13 Fluoreszierende Steinsalzkristalle bei Bestrahlung mit kurzwelligem UV. Blende 3,8. Zeit: 7 Minuten, Filter GG 9, Abstand: 30 cm, Mineralight SL 2537, 22/100 DIN

Die grünen Oktaeder auf weißem Calcit vom Artenberg, Steinach, Kinzigtal, leuchteten intensiv blau, die Calcite schön rot (Abb. 14). Fast farblose große Würfel vom Flußschacht, Stolberg, zeigten parallel 100 schwach violett leuchtende Zonen. Grüne Kristalle vom gleichen Fundort fluoreszierten unter beiden Wellenlängen blau. Gelbe Kristalle von Wildschapbach leuchteten unter kurzwelligem UV schwach blau, unter langwelligem UV kräftig blau. Farblose Kristalle von Teufelsgrund leuchteten ebenfalls blau, unter langwelligem UV aber weit intensiver als unter kurzwelligem. Kristalle von Oberkirch, Baden, und Sulzbach bei Regensburg fluoreszierten unter beiden Strahlungen blau. Alle Stücke Stinkfluß von Wölsendorf fluoreszierten nicht.

Fluorit von Ehrenfriedersdorf leuchtete unter langwelligem UV sehr intensiv blau, ebenso farblose Kristalle von Freiberg in Sachsen, wogegen die ganz dunklen Stücke von Zinnwald keine oder nur äußerst schwache Fluoreszenz zeigten.



Die rosa Kristalle von den alpinen Fundorten leuchteten nicht. Grüne Oktaeder von Giebelsbach bei Fiesch, Wallis, fluoreszierten aber prächtig blau. Von den Cumberlander Vorkommen wurden zahlreiche Stücke von Weardale und Alston Moor untersucht, und zwar seegrüne, fast farblose und violette. Sie alle leuchteten unter beiden Wellenlängen höchst intensiv blau. Die Kristalle aus Cornwall fluoreszierten schwächer als die Cumberlander. Ganz dunkelviolette Stücke von Derbyshire fluoreszierten nicht.



Abb. 14. Leuchtende Fluorit-Oktaeder auf Calcit  
Blende 3,8. Zeit 5 Minuten, Filter GG 4, Abstand 30 cm, Lampe PL 342, 22/10° DIN.

Ebensowenig leuchteten die tief dunkel violetten Kristalle von Rosiclare, Illinois, während die Stücke von Clay Center, Ohio, gelbgrüne Fluoreszenz zeigten. Flußspat von Jefferson Co., Montana, fluoreszierte hellblau, solcher von Cardiff Township, Ontario, tief blau.

Massive Stücke Yttrifluorit vom Hundholmen Tysfjord, Norwegen, leuchteten unter kurzwelligem UV weißgrün, unter langwelligem UV intensiv gelbgrün.

- Matlockit** von Derbyshire fluoreszierte unter beiden Wellenlängen intensiv und charakteristisch gelb.
- Kryolith** von Island zeigte unter kurzwelligem UV keine Fluoreszenz, unter langwelligem UV war schwaches, schmutzig graues Leuchten zu beobachten.
- Atacamit** fluoreszierte nicht. Siehe auch die Ausführungen im Nachwort.
- Nocerin** von Nocera bei Neapel leuchtete unter kurzwelligem UV intensiv weißgrün, unter langwelligem UV nur schwach graugrün.
- Terlinguait**, ein Quecksilber(I)-oxychlorid von Terlingua, Texas, fluoreszierte unter kurzwelligem UV gelb.

## Oxyde

In dieser großen Klasse gibt es relativ nur wenig fluoreszierende Minerale. In der Hauptsache sind dies der Spinell, die verschiedenen Korund-Varietäten und die Vertreter der Familie des Quarzes. Ursache dafür ist (ähnlich wie bei den Sulfiden) der „metallähnliche“ Charakter und der Gehalt an Schwermetallen in vielen Oxyden. Ferner sind die meisten idiochromatisch gefärbt.

**Spinell**, also das Magnesium-Aluminium-Oxyd, fluoresziert nur in manchen Fällen. Der rote Spinell leuchtet bei Bestrahlung mit kurzwelligem UV gewöhnlich schwach rot infolge Aktivierung durch Chrom. Die violetten Spinelle können durch langwelliges UV zu schwach blauem Leuchten angeregt werden. Synthetische Spinelle, die Spuren von Mangan enthalten, fluoreszieren mit langwelligem UV grün. Unter den vielen untersuchten synthetischen Steinen gab es manche, die unter kurzwelligem UV intensiv grüngelb, unter langwelligem dagegen stark rot leuchteten.

**Chrysoberyll**. Während die gelben und braunen Varietäten nicht fluoreszieren, werden die grünen Kristalle von kurzwelligem UV zu schwach roter Fluoreszenz angeregt. Aktivator ist Chrom.

**Senarmonit** vom Djebel Hamimat, Algier, zeigte lediglich unter langwelligem UV schwache, schmutzig hellbraune Fluoreszenz.

### Korund

Reinstes Aluminiumoxyd fluoresziert nicht. Die durch Spuren von Chrom und Titan gefärbten edlen Varietäten können jedoch fast alle zum Leuchten angeregt werden. Dabei spielen diese Spurenelemente die Rolle der Aktivatoren.

Die meisten **Rubine** fluoreszieren infolge ihres Chromgehaltes sowohl unter kurz- als auch langwelligem UV schön intensiv rot. Das Fluoreszenzspektrum enthält zwei typische Linien der Wellenlängen 6927 und 6942 Å. Die Siam-Rubine sind wegen ihres Eisengehaltes durch langwelliges UV gewöhnlich nicht anregbar. Rubine von Ceylon fluoreszieren oft gelb.

Viele blaue **Saphire** fluoreszieren infolge Eisengehaltes nicht. Aus dem gleichen Grunde lumineszieren grüne Steine und die gelben von Siam, Australien und Ceylon meist nicht oder nur sehr schwach. Die farblosen Leukosaphire werden durch kurzwelliges UV zu tief violettblauer, die von Ceylon durch langwelliges UV meistens zu orangegelber Fluoreszenz angeregt. In die folgende Zusammenstellung sind auch die Synthesen aufgenommen.

Farbe	Fundort	Fluoreszenzfarbe	anregende Strahlung
<b>Rubin</b> ,	allgemein	meist rot	lang UV, kurz UV
	Birma	rot	lang UV, kurz UV
	Siam	—	lang UV
	Ceylon	gelb	lang UV, kurz UV
	Ceylon (Adamspeak)	rot	lang UV
<b>Saphir</b>	blau, allgemein	viele xx nicht	lang UV, kurz UV
	blau, allgemein	violett	kurz UV
	grün, Montana	—	lang UV, kurz UV
	gelb, Ceylon, Siam, Australien	—	lang UV
	gelb, Ceylon, Austral.	schwach orange	kurz UV
	farblos, Ceylon	meist orangegelb	lang UV
	farblos, allgemein	tief violettblau	kurz UV

## Synthesen

rot	meist rot	lang UV,	kurz UV
blau	meist —	lang UV,	kurz UV
grün	schwach orange	lang UV	
grün	schmutzig braunrot		kurz UV
farblos	grünlich	lang UV	

Diagnostische Bedeutung hat die Fluoreszenzfarbe (außer bei farblosem Saphir) nicht. Eine Unterscheidung zwischen echten und synthetischen Korunden ist jedoch durch ihre Phosphoreszenzeigenschaft möglich. Synthesen können mit Röntgenstrahlen zur Phosphoreszenz angeregt werden (Nachleuchten etwa 1 Minute bei Zimmertemperatur), natürliche Steine dagegen überhaupt nicht.

## Quarz und Varietäten

Die meisten Quarzkristalle zeigen keine Fluoreszenz. Als einzige Ausnahme unter zahlreichen untersuchten Stücken fand Verfasser auf tiefvioletterm Fluorit von Cave-in-Rock bei Rosiclare, Illinois, aufsitzende kleine Rauchquarzkriställchen, die sowohl unter kurz- als auch langwelligem UV gelb leuchteten.

Geringe Verunreinigungen wirken aktivierend, ganz besonders bei den kryptokristallinen Varietäten. An manchen Fundorten werden fluoreszierende Achate gefunden, so z. B. in den uranfunden Gebieten von Utah und Wyoming. Im Sweetwater Co., Wyoming, gibt es grün und gelbgrün fluoreszierende Achate und Chalcedon, die die typische Fluoreszenz von Uranmineralien zeigen. Tatsächlich werden sie durch Uran aktiviert. Von deutschen Fundstellen konnten lediglich einige Achate von Gronig ausfindig gemacht werden, die teilweise grün fluoreszieren. Um das Zentrum besitzen sehr viele dieser Achate ein braunrotes Band, welches unter kurzwelligem UV intensiv grün fluoresziert. Damit scheint die allgemeine Ansicht sehr zweifelhaft, die rotbraunen Bänder seien durch Eisenoxyd gefärbt, denn bekanntlich löscht Eisenoxyd die Fluoreszenz. Hierzu kann ich noch einen anderen Versuch erwähnen.

Achate von Uruguay und Brasilien zeigen mitunter ein nicht besonders charakteristisches Leuchten von weißlicher Farbe. Ein solcher Achat wurde bei Tageslicht fotografiert (Abbildung 15). Viele Stellen, die auf dem Bild dunkel erscheinen, so insbesondere die kleine Druse und ihr rechter unterer Teil, ein dünnes Band wenige Millimeter von der Umgrenzung entfernt und verschiedene Bänder im Innern sind gelb bis ockerfarben, also offensichtlich eisenhaltig. Bild 16 zeigt denselben Achat bei Bestrahlung mit langwelligem UV. Alle vermutlich eisenhaltigen Stellen und Bänder leuchten dabei nicht, sie erscheinen völlig schwarz, so insbesondere die Druse und ihr rechter Teil, das Band entlang der Umrandung und mehrere Bänder im Innern. Hier ist also mit Sicherheit anzunehmen, daß die gelbbraune Farbe von Eisenoxyd verursacht wird.

Achatisiertes Holz von Holbrook in Arizona leuchtete unter langwelligem UV schön orange. Chalcedon von Morristown in Arizona fluoreszierte unter kurzwelligem UV stark grün, ebenso Dendritenquarz von Gronig. Chrysopras von Jordansmühl leuchtete unter kurzwelligem UV nicht, unter langwelligem UV nur schwach schmutzgrün.

Opal fluoresziert in den meisten Fällen. Feueropal zeigen gewöhnlich grünlich-blaue Fluoreszenz. Die Milchopal von Queensland leuchten unter langwelligem UV weiß und phosphoreszieren außerdem stark; mit kurzwelligem UV sind sie fast nie anregbar. Ebenso verhalten sich die Milchopal von Mexico. Ein Milchopal von Calama, Antofagasta, Chile, leuchtete unter kurzwelligem UV intensiv grün, ebenso unter langwelligem UV. Hyalite leuchten unter kurzwelligem UV meist sehr intensiv grün, unter langwelligem nicht. So verhielten sich Stücke von Radigheim/Hessen, Limburg/Kaiserstuhl, Jordansmühl/Schlesien und Waltsch/Böhmen. Auch Holzopal vom Washoe Co., Nevada, reagierte so.

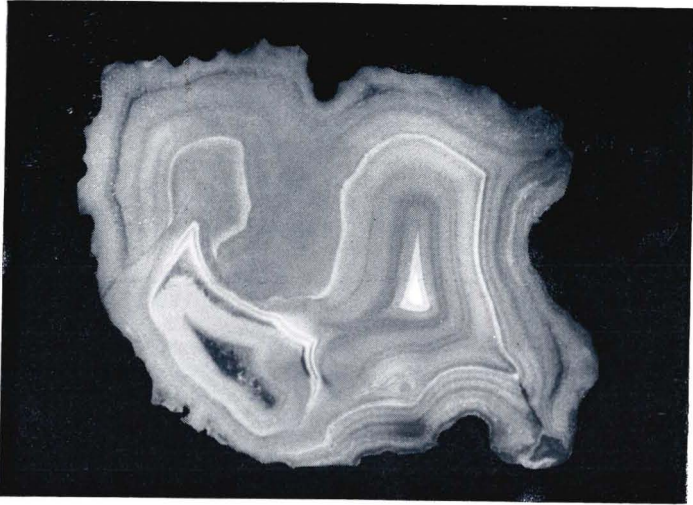


Abb. 15 Achat von Uruguay bei Tageslicht

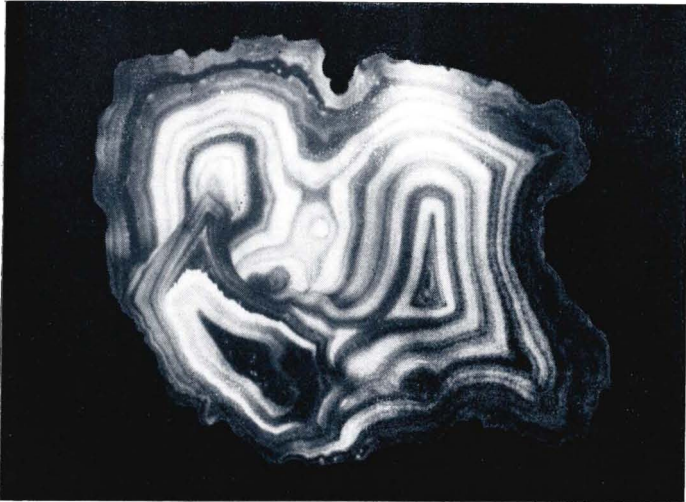


Abb. 16 Derselbe Achat wie Abb. 15, jedoch bei Bestrahlung mit UV;  
 Blende 3.0. Zeit 4 Minuten, Filter GG 4, Abstand 30 cm,  
 Lampe PL 342, Film: Agfa 21/100 DIN

**Rutil, Zinnstein, Anatas und Brookit** fluoreszieren nicht.

Hier seien noch zwei Hydroxyde angeführt, und zwar

**Hydrargillit** vom Chester Co., Pennsylvania, der unter beiden Wellenlängen weiß fluoreszierte, ferner

**Brucit** vom Lancaster Co., Texas, der unter beiden Wellenlängen intensiv weißgrün leuchtete.

## Karbonate

Unter den Karbonaten gibt es eine ganze Reihe schön fluoreszierender Vertreter. Auch hier gilt das bei den Haloiden Gesagte insofern, als auch die fluoreszierenden Karbonate meist farblos oder nur allochromatisch gefärbt sind.

### Calcit

Über die Fluoreszenz von Calcit arbeiteten 1924 NICHOLS, HOWES, WILBUR und erkannten dabei die Bedeutung des Mangans als Aktivator. Manganhaltige Calcite fluoreszieren rot in verschiedenen Abstufungen. Seltene Erden, vor allem Dysprosium, verursachen orange Fluoreszenz. 1939 stellte G. FONDA künstliche, manganaktivierte Calcite her, indem er eine Lösung von Calciumchlorid und Manganchlorid mit Ammoniumkarbonat unter bestimmten Bedingungen versetzte. Das dabei entstehende, manganhaltige Calciumkarbonat zeigte dieselbe rote Fluoreszenz wie der Calcit von Franklin, New Jersey, wenn auf 30 Teile Calcium 1 Teil Mangan kam. Bei den Calciten herrschen rötliche Fluoreszenzfarben vor, grüne und gelbe sind weniger häufig.

In der folgenden Beschreibung sind die Calcite von deutschen Fundorten besonders stark berücksichtigt worden. Das darf natürlich nicht zu der Annahme verleiten, fluoreszierende Calcite gäbe es vorwiegend in Deutschland. So zahlreich die Calcit-Fundstellen in der Welt sind, so zahlreich sind auch die fluoreszierenden Exemplare.

Weißer Kristalle vom Klotz bei Idar zeigten unter kurzwelligem UV rot fluoreszierende Zonen; andere weiße Kristalle leuchteten rosa. Rote Kristalle vom selben Fundort fluoreszierten insbesondere an den stark rot gefärbten Stellen intensiv gelb. Dies läßt darauf schließen, daß die Kristalle trotz ihrer oft intensiv roten Farbe nicht viel Eisen enthalten, da Eisen die Fluoreszenz bekanntlich auslöscht. Unter langwelligem UV leuchteten die Kristalle schön rosa. Weiße Kristalle mit rot gefärbter äußerer Zone aus dem Steinbruch Setz bei Idar leuchteten unter kurzwelligem UV innen rot und außen gelb.

Ebenfalls gelbe Fluoreszenz an den Kanten und Ecken zeigten rotgelbe Calcite vom Steinbruch Juchem im Fischbachtal unweit Idar-Oberstein. Auch schwach gelbe Kristalle leuchteten unter kurzwelligem UV gelblich, unter langwelligem UV aber weiß. Farblose Kristalle vom gleichen Fundort fluoreszierten unter beiden Wellenlängen kräftig rot.

Farblose Calcite von Teufelsgrund im Münstertal/Baden fluoreszierten nicht bemerkenswert unter kurzwelligem UV, während sie unter langwelligem UV zart rosa leuchteten. Calcite vom Schauinsland verhielten sich sehr verschieden. Kristalle, die auf Erz saßen oder mit Erz verwachsen waren, ferner schöne klare Kristalle leuchteten nur ganz schwach oder gar nicht. Derbe Partien oder Spaltstücke aus kristallinen Calcitgängen zeigten dagegen unter beiden Wellenlängen intensiv rotes oder rosa Leuchten.

Weiße Rhomboeder von Oberschaffhausen im Kaiserstuhl leuchteten unter beiden Wellenlängen weiß, Kristalle von der Limburg/Kaiserstuhl fluoreszierten unter kurzwelligem UV zart grün, unter langwelligem UV zart rosa.

Zahlreiche Kristalle aus der Grube Segen Gottes bei Wiesloch leuchteten unter kurzwelligem UV intensiv rot, unter langwelligem UV mehr rosarot. Ein fast klares Calcit-Spaltstück von Auerbach an der Bergstraße fluoreszierte unter beiden Wellenlängen schwach rosa. Stengeliger Calcit von Mainz zeigte unter kurzwelligem UV zart grünes, unter langwelligem UV weißes Leuchten.

Kristalle von der Grube Gnade Gottes bei Dillenburg fluoreszierten unter kurzwelligem UV intensiv rot, unter langwelligem UV dagegen nicht. Völlig klare Kristalle, Kombinationen von Prisma, Skalenoeder und stumpfem Rhomboeder, aus der Grube Nikolaus bei Oberscheld/Dillgebiet, leuchteten unter kurzwelligem UV kräftig violettrot, unter langwelligem UV prächtig rosarot. Spießige Calcite vom gleichen Fundort zeigten unter beiden Wellenlängen zart rosa Fluoreszenzfarbe, während ganz stumpfe, weiße Rhomboeder mit abgerundeten Ecken und Kanten unter beiden Wellenlängen weiß leuchteten.

Calcite vom Iberg im Harz leuchteten unter kurzwelligem UV grünlich bis grüngelb, unter langwelligem UV weiß bis weißgelb; außerdem phosphoreszierten diese Stücke kräftig. Phosphoreszenz findet man übrigens bei grünlich fluoreszierenden Calciten recht häufig. So phosphoreszierte auch ein Tropfstein vom Winterberg im Harz grünlich, die Fluoreszenzfarbe unter kurzwelligem UV war intensiv weißgrün.

*mit Lösung*  
Calcite von St. Andreasberg verhielten sich recht verschieden. Während die klaren Kristalle meist nicht fluoreszierten, leuchteten milchige Kristalle oft intensiv rot. Schwach gelbe, mittelsteile Rhomboeder zeigten unter kurzwelligem UV grüngelbe Fluoreszenzfarbe, unter langwelligem UV weißes Leuchten. Große Spaltstücke aus kristallinem Calcit leuchteten unter beiden Wellenlängen intensiv rosarot. Diese Calcite phosphoreszierten nach Abschalten der Lichtquelle für den Bruchteil einer Sekunde höchst intensiv feurig wie glühendes Metall.

Calcit-Kristalle auf einer Manganit-Stufe von Ilfeld/Harz leuchteten unter kurzwelligem UV gelborange, unter langwelligem UV weißlich. — Alle untersuchten Kristalle von Freiberg/Sachsen leuchteten nicht charakteristisch und nur ganz schwach. Zahlreiche Stufen von Bräunsdorf/Sachsen fluoreszierten unter beiden Wellenlängen intensiv rot bis rosa. Je klarer aber die Kristalle waren, desto schwächer war auch die Fluoreszenz. Calcite von Schneeberg, Marienberg und Johanngeorgenstadt in Sachsen fluoreszierten im allgemeinen rot und nicht charakteristisch. Lediglich vom Fichtelberg/Sachsen zeigten weiße Rhomboeder unter kurzwelligem UV blaugrüne Fluoreszenz, nach Verlöschen der Lichtquelle grünliche Phosphoreszenz, unter langwelligem UV hellblaue (!) Fluoreszenz.

Die meisten alpinen Calcite leuchteten nicht stark und nicht charakteristisch. Lediglich der Strontianocalcit von Hochgrub im Kleinarltal fluoreszierte unter kurzwelligem UV intensiv weißgelb und phosphoreszierte nach Entfernen der Lichtquelle stark grünlich. Calcite von Girgenti/Sizilien konnten von kurzwelligem UV kaum, von langwelligem UV aber zu intensiv rosarotem Leuchten angeregt werden. — Doppelspat von Island leuchtete meist nicht.

Die schönen, klaren Calcite von Egremont/Cumberland fluoreszierten meist nicht oder kaum merklich. Kristalle von Frizington/Cumberland und Alston Moor sind ebenfalls in den wenigsten Fällen anregbar. Einige fluoreszierten unter langwelligem UV zart rosa oder hellgrau. Kristalle von Yorkshire leuchteten unter kurzwelligem UV grünlich, unter langwelligem UV weiß. Auch bei diesen Kristallen war Phosphoreszenz zu beobachten.

Steile Rhomboeder von Abenab fluoreszierten unter kurzwelligem UV gelbgrün, unter langwelligem UV weißlich.

Der Calcit von Franklin, New Jersey, leuchtet unter kurzwelligem UV ganz prachtvoll rot, unter langwelligem UV nur schwach rosa. Da der Calcit meist innig mit Willemit verwachsen ist, der unter kurzwelligem UV intensiv grün fluoresziert, bieten die Gangstücke dieses Vorkommens bei Bestrahlung mit kurzwelligem UV ganz wundervolle Farbkombinationen in immer neuen Variationen. Calcit von Terlingua/Texas leuchtet unter kurzwelligem UV charakteristisch zitronengelb. Zahlreiche untersuchte Calcite von Joplin/Missouri ließen sich nicht zum Leuchten anregen. Die Calcite von Guanajuato/Mexico fluoreszierten unter kurzwelligem UV fast alle rot, unter langwelligem UV intensiv hellrosa.

### **Magnetit**

Im allgemeinen fluoreszieren Magnetite nicht charakteristisch, unter langwelligem UV zeigen sie meist schmutzig graue, mitunter weißliche Leuchtfarben.

### **Manganspat**

Der echte Manganspat fluoresziert nicht. In der Literatur findet man zwar die Angabe, der Manganspat von Franklin, New Jersey, würde unter kurzwelligem UV blaß rosa leuchten. Vermutlich handelt es sich dabei um einen stark manganhaltigen Calcit. Steigt der Mangan Gehalt über etwa 3% an (bzw. der Mangan-karbonatgehalt über 6%), so wird keine Fluoreszenz mehr beobachtet. Die fluoreszierenden „Manganspäte“ von Franklin werden wahrscheinlich Mischkristalle von  $MnCO_3$  und  $CaCO_3$  sein.

Von den überaus zahlreichen untersuchten Manganspäten konnten nur 3 als fluoreszierend erkannt werden. Zwei davon stammten von Franklin, der dritte von Butte/Montana. Auch bei diesem handelte es sich vermutlich um einen manganhaltigen Calcit.

### Zinkspat

Von wenigen Fundorten sind fluoreszierende Zinkspäte bekannt geworden, so z. B. Stücke von Laurium in Griechenland, die unter langwelligem UV grünliche bis grügelbe Fluoreszenz zeigten. Zinkspäte von Granby/Missouri leuchteten unter langwelligem UV weiß. Stücke vom Inyo Co., California, sollen grün fluoreszieren.

### Dolomit

Bezüglich seiner Fluoreszenzeigenschaften verhält sich Dolomit ähnlich wie Calcit bzw. Aragonit. Viele Dolomite fluoreszieren wegen ihres hohen Eisengehaltes nicht.

Kristalle von Freiberg leuchteten unter kurzwelligem UV bläulich, unter langwelligem UV schmutzig rosa. Dolomite aus den Binnental fluoreszierten unter langwelligem UV zart rosa. Zahlreiche Stufen von Nagyag zeigten unter kurzwelligem UV kräftige scharlachrote Fluoreszenz, unter langwelligem UV leuchteten sie intensiv rosa.

### Aragonit

Nach KUNZ und BAKERSVILLE (1903) leuchten manganaktivierte Aragonite orange bis rotorange, strontiumaktivierte grünlich und uranaktivierte gelbgrün. Bei den Aragoniten herrschen grüne und gelbliche Fluoreszenzfarben vor.

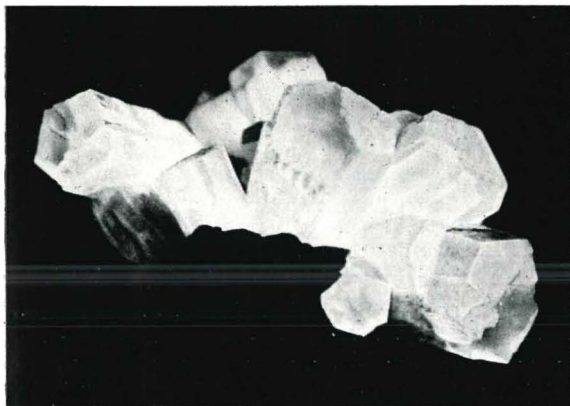


Abb. 17. Phosphoreszierende Aragonit-Drillinge  
Blende: 3,8. Aufnahmetechnik im Text erläutert.

Die schönen Kristalle von Horschenz bei Bilin/Böhmen leuchteten unter kurzwelligem UV intensiv grünlich, unter langwelligem UV intensiv weiß. Zahlreiche Kristallstufen von Herrengrund in Ungarn leuchteten unter beiden Wellenlängen intensiv scharlachrot. Dieses Fluoreszieren war sehr charakteristisch.

Ganz wundervoll war die Fluoreszenz der bekannten Aragonit-Drillinge von Girgenti/Sizilien. Unter beiden Wellenlängen leuchteten sie intensiv rosarot. Sobald man aber die Lichtquelle abschaltete, begann ein intensives grünes Nachleuchten. Diese prachtvolle Phosphoreszenz konnte auch durch Blitzlicht hervorgerufen werden, da dieses ja bekanntlich viel ultraviolette Strahlung enthält. Die Abbildung 17 zeigt eine phosphoreszierende Kristallgruppe von Aragonit. Die Phosphoreszenz dauerte etwa 5 Sekunden bei stetiger Abnahme der Leuchtstärke; für eine fotografische Aufnahme wäre dies zu kurz gewesen. Daher wurde in folgender Weise verfahren: Bei geschlossenem Kameraverschluß erfolgte Belichtung durch einen Blitz, danach wurde der Verschluß sofort geöffnet und einige Sekunden offen gehalten, dann wieder geschlossen. Dieses Belichten durch Blitz, Öffnen und Schließen des Verschlusses wurde für eine Schwarz/Weiß-Aufnahme 15 mal, für eine Farbaufnahme 35 mal wiederholt. Die im Vordergrund erscheinende schwarze, eckige Stelle sind nichtleuchtende Schwefelkristalle.

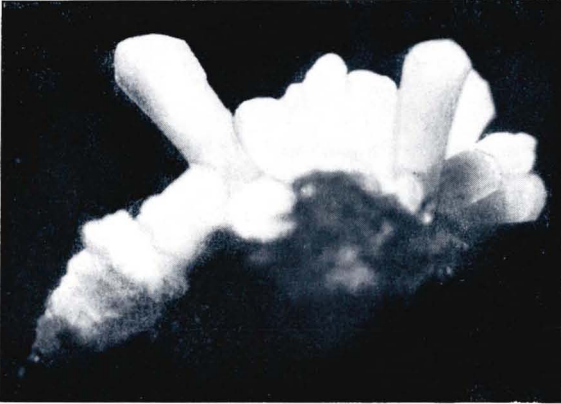


Abb. 18. Fluoreszierende Tarnowitzitkristalle bei Bestrahlung mit langwelligem UV. Blende 4,5, Zeit 5 Minuten, Filter GG 4, Abstand: 30 cm, Lampe PL 342, Agfa 21/10° DIN.

Ebenfalls schöne Fluoreszenz und Phosphoreszenz zeigten die bekannten Aragonitkristalle (Tarnowitzit) von Tsumeb. Unter kurzwelligem UV leuchteten sie hellgelb bis grünlich, unter langwelligem UV gelb (uranaktiviert?). Nach Abschalten der Lichtquelle konnte man Phosphoreszenz beobachten, die aber bei weitem nicht so intensiv war wie bei Aragoniten von Sizilien. Abbildung 18 zeigt fluoreszierende Tarnowitzitkristalle bei Bestrahlung mit langwelligem UV.

Von Mammoth, California, werden gelb fluoreszierende, von Creede, Colorado, grün leuchtende Aragonite beschrieben.

### Strontianit

Unter kurzwelligem UV fluoreszierte ein stengeliges Aggregat von Strontianit grünlich und phosphoreszierte nach Abschalten der Lichtquelle stark grün. Der Fundort des Stückes ist Ascheberg in Westfalen. Kristalle von Clausthal leuchteten unter beiden Wellenlängen gelborange. Strontianitkristalle von Girgenti leuchteten unter langwelligem UV intensiv himmelblau.

### Witherit

Stücke und Kristalle von Rosiclare, Illinois, leuchteten sowohl unter kurz- als auch langwelligem UV hellgrün bis weißlich.

### Cerussit

Bei Cerussit herrschen vor allem gelbe Fluoreszenzfarben vor. Die dunklen Kristalle oder solche mit Bleiglanz einschließen fluoreszieren im allgemeinen nicht. Ferner ist bemerkenswert, daß die Intensität des Leuchtens bei Anwendung von langwelligem UV größer ist als mit kurzwelligem UV.

Kristalle von Holzappel leuchteten unter langwelligem UV gelb, unter kurzwelligem UV kaum. Cerussit von Ems fluoreszierte unter langwelligem UV zart rosa (!). Ein Stück Bleiglanz vom Bleiberg war mit dunkel gefärbten Cerussitkristallen und hellen Cerussit-Drillingen besetzt. Nur die hellen Drillinge leuchteten bei Bestrahlung mit UV beider Wellenlängen intensiv gelb. Kristalle vom Monte Poni auf Sardinien leuchteten unter langwelligem UV intensiv gelb. Die stärkste Leuchtkraft hatten Kristalle von Leadhills in Schottland, die unter langwelligem UV gelb, unter kurzwelligem UV weißlich fluoreszierten.

Unter den Tsumeber Cerussiten leuchteten nur die hellen Kristalle unter langwelligem UV schön gelb. Kristalle von Nertschinsk/Sibirien zeigten unter langwelligem UV stark gelbes Leuchten, unter kurzwelligem UV hellgelbe Farbe. Von Phoenixville in Pennsylvania werden grün leuchtende Cerussite beschrieben.

**Azurit, Malachit und Aurichalcit** fluoreszieren nicht.

**Hydrozinkit (Zinkblüte)** vom Bleiberg in Kärnten leuchtete unter kurz- und langwelligem UV schwach weiß.

**Leadhillit** fluoreszierte unter kurzwelligem UV gewöhnlich gelb.

**Phosgenit** vom Monte Poni zeigte unter langwelligem UV intensives, charakteristisches Leuchten, unter kurzwelligem UV nur schwach gelbe Fluoreszenz.



## Borate

Ein relativ hoher Prozentsatz der bekannten Borate läßt sich zur Fluoreszenz anregen. Der Grund dafür ist, daß das Bor selbst die Fluoreszenz nicht verhindert, zum andern, daß die meisten Borate (von wenigen Ausnahmen abgesehen) keine Schwermetalle oder idiochromatisch gefärbten Bestandteile enthalten.

### **Boracit**

Bräunliche Tetraeder von Hänigsen und dunkel gefärbte Würfel von Bismarckshall fluoreszierten nicht. Wahrscheinlich wird die Fluoreszenz durch Eisen verhindert. Etwas heller gefärbte Würfel zeigten schwaches Leuchten.

**Kernit** von Boron, Kern Co., California, leuchtete unter kurzwelligem UV zorn gelb, ebenso unter langwelligem UV.

**Boronatrocalcit (Ulexit)** von Trona, California zeigte unter kurzwelligem UV grün-gelbes Leuchten und nach Abschalten der Lichtquelle starke grüne Phosphoreszenz.

**Colemanit** vom Death Valley, California, leuchtete bei Bestrahlung mit kurzwelligem UV weiß und phosphoreszierte nach Abschalten der Lichtquelle stark grün.

**Meyrhoferit** vom Death Valley fluoreszierte unter kurzwelligem UV schwach bläulich, unter langwelligem UV schwach grau.

## Sulfate

Auch unter den Sulfaten gibt es eine ganze Reihe schön fluoreszierender Minerale, besonders die nach Art einer „Sanduhrstruktur“ leuchtenden Gipse verdienen besondere Beachtung. Im übrigen gilt auch hier die bereits mehrfach erwähnte Tatsache, daß idiochromatisch gefärbte Minerale nicht fluoreszieren.

### Anhydrit

Kristalle von Hänigsen fluoreszierten unter langwelligem UV rötlich. Ganz charakteristisch war die Fluoreszenz von Anhydrit von Wathlingen bei Celle, der bei Bestrahlung mit kurzwelligem UV schwach rosa, unter langwelligem UV aber intensiv blutrot leuchtete. Stücke von Staßfurt zeigten unter langwelligem UV orange Fluoreszenz.

### Baryt

Bei weitem nicht alle Baryte können zum Leuchten angeregt werden. Hier seien nur einige charakteristische Fluoreszenzfarben beschrieben.

Kristalle von Bieber in Hessen zeigten unter kurzwelligem UV eine intensiv lauchgrüne, unter langwelligem UV weißgrüne Fluoreszenz. Viele Kristalle von Bleialf in der Eifel zeigten bei Bestrahlung mit UV beider Wellenlängen zonar gelbe Fluoreszenz. Die leuchtenden Zonen gingen im allgemeinen der Fläche  $c(001)$  parallel. Phosphoreszenz war nach Abschalten der Lichtquelle meist deutlich zu beobachten.

Die schönen Baryte von der Grube Christian Levin bei Essen verhielten sich verschieden. Die flachtafeligen Kristalle fluoreszierten nur ganz schwach. Bei den dicktafeligen Kristallen war insbesondere an trüben Stellen intensive Fluoreszenz zu beobachten, und zwar bevorzugt zonar parallel den Flächen  $c(001)$ . Unter kurzwelligem UV war die Farbe mehr gelbgrün, unter langwelligem UV gelbweiß. — Kristalle von der Zeche Graf Moltke in Gladbach bei Essen fluoreszierten unter kurzwelligem UV kaum, unter langwelligem UV schön dunkelgrün bis dunkelblau.

Von der 10-Meter-Sohle der Grube Silberbach, Stolberg/Harz, lagen 14 Stufen zur Untersuchung vor. Sie alle zeigten bei Bestrahlung mit UV beider Wellenlängen weißgrüne Fluoreszenz und nach Abschalten der Lichtquelle Phosphoreszenz. Zahlreiche andere Harzer Schwerspäte zeigten keine nennenswerte Fluoreszenz.

Viele Baryte von Freiberg in Sachsen leuchteten unter kurzwelligem UV weißgrün, unter langwelligem UV mehr weißlich. Einige Kristalle von Schemnitz fluoreszierten zonar an Ecken oder Kanten weißgrün. Fast alle untersuchten Stufen von Przibram fluoreszierten intensiv grünweiß unter beiden Wellenlängen und phosphoreszierten nach Abschalten der Lichtquelle. Ebenso verhielten sich Kristalle von Mies in Böhmen.

Versuche an über 100 Kristallen und Stufen von den verschiedensten Fundorten Cumberlands ergaben, daß kurzwelliges UV nicht zur Fluoreszenz anzuregen vermag. Unter langwelligem UV leuchteten aber alle Kristalle tief meergrün.

Mehrere Stücke Baryt vom Monte Paterno bei Bologna, Ausgangsmaterial für den ersten künstlichen Leuchtstein, leuchteten bei Bestrahlung mit UV beider Wellenlängen kräftig orange. Phosphoreszenz war nicht zu beobachten. Diese würde, wie schon in der Einleitung gesagt, erst nach Glühen des Baryts mit Kohle, also nach Reduktion des Bariumsulfates in Bariumsulfid in Erscheinung treten.

### Cölestin

Kristalle von Obergembach bei Waldeck fluoreszierten unter beiden Wellenlängen grau. Klare Kristalle von Girgenti leuchteten nicht. Nur die weißen und trüben Cölestine dieses Vorkommens zeigten unter kurzwelligem UV hellviolette Fluoreszenz und nach Abschalten der Lichtquelle grünliche Phosphoreszenz. Unter langwelligem UV leuchteten diese Kristalle zart rosa. — Die schönen Cölestine von Clay Center, Ohio, fluoreszierten bei Bestrahlung mit UV beider Wellenlängen weiß. Kristalle von Dundas, Ontario, zeigten nur unter langwelligem UV gelborange Leuchten.

## Anglesit

Es gibt nicht sehr viele fluoreszierende Anglesitkristalle, anscheinend sind sie nur auf einige Fundorte beschränkt und insofern charakteristisch. Aber selbst innerhalb einer Lagerstätte wechselt die Fluoreszenzfarbe der Stücke, was durch den Einfluß verschiedener Aktivatoren während des Bildungsprozesses bedingt wird.

So fluoreszierten viele Kristalle aus der Grube Friedrich bei Müsen überhaupt nicht. Wenige Kristalle leuchteten unter beiden Wellenlängen rosarot und einige Kristalle zeigten unter kurzwelligem UV gelbes, unter langwelligem UV intensives weißrosa Leuchten. Leider war bei den einzelnen Stufen keine Tiefen- oder Streckenangabe vermerkt.

Anglesite vom Bleiberg in Kärnten leuchteten unter beiden Wellenlängen gelb. — Sehr intensive Fluoreszenz zeigten Kristalle vom Monte Poni. Unter langwelligem UV leuchteten sie meist zitronengelb, unter kurzwelligem UV gelb, mitunter orange-gelb oder weißlich. — Kristalle von Matlock, Derbyshire, leuchteten unter langwelligem UV höchst intensiv gelb, unter kurzwelligem UV schwächer gelb. Von den Kristallen der Tsumeb-Grube leuchteten nur die helleren Kristalle, während sich die dunklen nicht zur Fluoreszenz anregen ließen. Die Fluoreszenzfarbe war im allgemeinen honiggelb bis braungelb.

**Brochantit** und **Linarit** leuchten wegen ihres hohen Kupfergehaltes nicht.

**Hanksit** vom San Bernardino Co., California, fluoreszierte unter kurzwelligem UV intensiv seegrün, unter langwelligem UV weiß. Nach Abschalten der Lichtquelle beobachtet man kräftige grüne Phosphoreszenz.

## Gips

Wohl die schönsten Leuchtstrukturen waren an Gipskristallen zu beobachten. Insbesondere die Wieslocher Gipse zeigen bei Bestrahlung mit UV eine sogenannte „Sanduhrstruktur“, wie in Abbildung 19 gezeigt. Nur die wohlausgebildeten Kristalle zeigen diese Struktur, die bei Benutzung von kurzwelligem UV grün, unter langwelligem UV weißgrün leuchtet. A. JOSTEN hat im Zentralblatt für Mineralogie, Abt. A. 1930 (siehe Literaturverzeichnis) solche Strukturen beschrieben. Ferner berichtete er über Leuchterscheinungen an fünf Kristallen von Braunschweig (vermutlich Thiede), elf gerundeten Kristallen von Dux in Böhmen und drei Kristallen von Ellsworth, Ohio, die in ähnlicher Weise fluoreszieren. In Bezug auf die ausgeprägte Sanduhrstruktur trifft dies auch zu. Allerdings fluoreszieren auch Gipse von anderer Tracht, wie gleich beschrieben wird, wenngleich nicht nach der Art der Sanduhr. Andererseits gibt es auch Gipse mit der gleichen Tracht wie die der Wieslocher Kristalle, ohne jedoch Sanduhrstruktur zu zeigen. Diese Kristalle waren in fast allen Fällen aufgewachsen. Außer der „Wieslocher Tracht“ scheint als weitere Vorbedingung für das Auftreten der Sanduhrstruktur das freie, allseitige Wachstum, die schwebende Bildung zu sein.

Ein Kristall von Thiede bei Braunschweig zeigte lediglich intensiv fluoreszierende Randzonen von etwa 2 mm Dicke parallel m (011). Die Fluoreszenzfarben waren wie bei den Wieslocher Gipsen grünlich bzw. weißlich. Wie die Wieslocher Gipse phosphoreszierten auch die vorher fluoreszierenden Stellen nach Abschalten der Lichtquelle.

Alle untersuchten Kristalle von Mansfeld und Eisleben fluoreszierten nicht. — Von Flörshcim bei Frankfurt lag ein Aggregat sich durchwachsender Kristalle mit Mergeleinschlüssen vor, das unter kurzwelligem UV hellgrün, unter langwelligem UV weißbläulich fluoreszierte.

Abbildung 21 zeigt einen leuchtenden Gips-Zwilling (Montmatre-Gesetz) vom Steigertal im Harz. Außer der etwa 5 — 8 mm starken Randzone fluoreszierten noch einige Stellen entlang der Zwillingsnaht, im übrigen war das Leuchten des Kristalls sehr schwach. Während kurzwelliges UV kaum Fluoreszenz verursachte, leuchteten die genannten Stellen unter langwelligem UV stark orange bis hellbraun. — Dieselbe Fluoreszenzfarbe zeigte ein Gipszwilling vom Montmatre, hier leuchtete aber der ganze Kristall, ohne eine bestimmte Struktur erkennen zu lassen.



Abb. 19 Fluoreszierender Gipskristall von Wiesloch. Blende 4,5. Zeit 8 Minuten, Filter GG 9, Abstand 25 cm, Lampen Mineralight + PL 342, Agfa 21/100 DIN

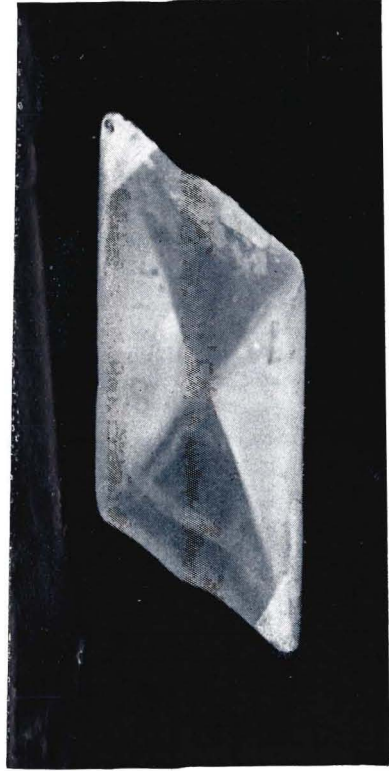


Abb. 20 Gipskristall v. Mahoming Co., Ohio, bei Bestrahlung mit UV. Aufnahmedaten wie bei Abb. 19

Aufgewachsene Kristalle von Caltanisetta, Sizilien, die dieselbe Tracht wie die Wieslocher Gipse zeigten, fluoreszierten nur an vereinzelten Stellen. Phosphoreszenz war ebenfalls zu beobachten. Ein Stalaktit aus kleinen Gipskristallen leuchtete unter kurzwelligem UV grünlich, unter langwelligem UV weiß.

Kleine aufgewachsene Kristalle von Schemnitz leuchteten unter kurzwelligem UV schwach rosa, unter langwelligem UV stark rosa.

Nach Tracht und Habitus sind die Gipskristalle von Ellsworth, Ohio, nicht von den Wieslocher Kristallen zu unterscheiden. Auch zeigte sich nach Form und Farbe die gleiche Sanduhrstruktur. Eben solche Kristalle vom Mahoming Co., Ohio, zeigten ebenfalls gute Sanduhrstruktur, die jedoch etwas schwächer leuchtet. Sehr charakteristisch für diese Kristalle ist ein etwas kräftigeres Leuchten in den spitzen Ecken, wie es Abbildung 20 zeigt. Bei allen 15 Kristallen dieses Fundortes fanden sich die fluoreszierenden Ecken. Starke Phosphoreszenz war auch hier zu beobachten.



Abb. 21. Gips-Zwilling unter UV-Bestrahlung. Blende 4,5; Zeit 30 Min., Abstand 35 cm, im übrigen wie bei Abb. 19.

Marienglas von Osterode im Harz leuchtete unter beiden Wellenlängen stark orange. Fasergips von Wasenweiler im Kaiserstuhl fluoreszierte nur unter langwelligem UV schmutziggelb. Alle untersuchten Fasergipse von Siersburg bei Merzig, Saar, zeigten unter langwelligem UV schwach oranges Leuchten.

## Chromate, Molybdate, Wolframate

Schon von Natur aus gibt es in diesen Gruppen nicht viele Mineralarten. Was nun die Fluoreszenzeigenschaften betrifft, so läßt sich sagen, daß Chromate überhaupt nicht fluoreszieren. Auch künstliche Chromate zeigen keine Fluoreszenz. Molybdate und Wolframate fluoreszieren dagegen. Aber auch hier machen die Eisen- und Manganwolframate (Wolframit) eine Ausnahme. Inwieweit auch das Bleimolybdat Wulfenit eine Ausnahme macht, läßt sich schwer bestimmen. Verfasser glaubte manchmal, ein schwaches dunkelrotes Leuchten zu erkennen, doch mag dies auch durch Reflexion des von der Lampe emittierten Lichtes kommen, das stets noch etwas rot enthält. In der Literatur finden sich keine diesbezüglichen Angaben.

### Powellit

Das Calciummolybdat fluoresziert unter kurzwelligem UV stark goldgelb. Aktivatoren sind nicht vorhanden.

### Scheelit

Das Calciumwolframat leuchtet unter kurzwelligem UV charakteristisch blau. Diese Farbe ist eine Mischfarbe der Wellenlängen 4000—4600 Å (am intensivsten), 4700—5400 Å und 6000 Å (J. DeMent, 1943). Eines Aktivators bedarf es nicht; auch die reinsten synthetischen Präparate fluoreszieren. Die Leuchtfähigkeit soll durch Störungen im Kristallgitter verursacht sein.

Scheelit und Powellit sind isomorph. Im Kristallgitter kann Wolfram durch Molybdän ersetzt werden. Die Fluoreszenzfarbe des Scheelits ist vom Molybdängehalt abhängig, und zwar ändert sie sich von blau bei 0,0 bis 0,35 % Molybdän über weiß bei 0,35 bis 1,0 % (rein weiß bei 0,5 %) Molybdän nach gelb bei 1,0 und mehr % Molybdän. Mischkristalle mit 4,8% Molybdän fluoreszieren stark goldgelb, höhere Anteile bis hin zum reinen Powellit ändern die gelbe Fluoreszenzfarbe nicht mehr. Auf Grund dieser Erkenntnisse hat R. S. CANON, Jr. im Jahre 1942 eine Methode zur quantitativen Bestimmung des Molybdäns in Scheelit entwickelt, die auf dem Vergleich der Fluoreszenzfarbe einer Probe mit der Farbe von Testsubstanzen bekannten Molybdängehaltes beruht. Eine Zusammenstellung von 12 Testproben nach steigendem Molybdängehalt in Scheelit liefert die Ultra-Violet Products, Inc., San Gabriel, California, zum Preis von 6.— Dollar.

Die vielen untersuchten Scheelite zeigten meist blaue und weißliche Fluoreszenzfarbe, gelb ist viel seltener. Daher sollen einige charakteristische erwähnt werden. — Alle Scheelite von Zinnwald zeigten gelbe und dunkelgelbe, charakteristische Fluoreszenzfarbe (Molybdängehalt über 1 %). Ebenso fluoreszierten Kristalle von Traversella und dem Sellenkar bei Krimml gelb.

## Phosphate, Arsenate, Vanadate

Unter den Phosphaten und Arsenaten gibt es eine größere Anzahl fluoreszierender Minerale. Die Verbindungen mit Metallen wie Eisen, Mangan, Kupfer usw., oder allgemein gesagt, die idiochromatisch gefärbten Verbindungen fluoreszieren nicht. Vanadate fluoreszieren überhaupt nicht, weder die natürlichen noch die künstlichen. Selbst der Tujamunit, Calciumuranylvanadat, läßt sich nicht zur Fluoreszenz anregen. — In der folgenden Beschreibung sind die idiochromatisch gefärbten Minerale nicht erwähnt. Da es unter den Phosphaten, Arsenaten und Vanadaten eine größere Zahl solcher gibt, enthält die Zusammenstellung im Vergleich zu den vielen Mineralen dieser Gruppe relativ wenig fluoreszierende Vertreter. Die zu diesen Gruppen zählenden Uranverbindungen wurden bereits besprochen.

**Monazit** fluoreszierte im allgemeinen rotorange.

**Adamin** von der Ojuela Mine, Mapimi, Durango, Mexico, leuchtete bei Bestrahlung mit UV beider Wellenlängen prächtig grün. Abbildung 22 zeigt eine leuchtende Stufe solcher Kristalle. Aktivator sind vermutlich Spuren von Kupfer-

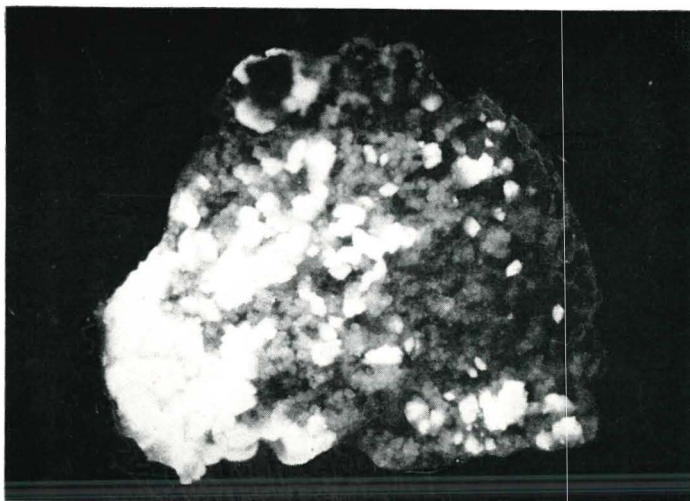


Abb. 22 Fluoreszierende Adaminkristalle von Mina Ojuela, Mexico.  
Blende 4,5; Zeit 5 Minuten, Filter GG 9, Abstand 35 cm,  
Lampe Mineralight, Agfa 21/100 DIN

**Amblygonit** von Dakota fluoreszierte unter langwelligem UV hellgrau bis bläulichgrau.

**Apatit** leuchtet im allgemeinen kaum. Sehr typisch ist jedoch die starke gelbe Fluoreszenz der Kristalle von Ehrenfriedersdorf, wenn sie mit langwelligem UV bestrahlt werden. Kristalle von Ginzling nahe Mayrhofen fluoreszierten ganz schwach graublau. Apatite von der Knappenwand fluoreszierten nicht. Der derbe Apatit von der Chibinen Tundra leuchtete unter langwelligem UV ganz schwach blaugrau. Kristalle von Hull, Quebec, sollen gelblich leuchten. Die schönen Kristalle von Durango, Mexico, leuchten nicht.

**Pyromorphit** fluoresziert im allgemeinen nicht, insbesondere die grünen Kristalle zeigen keinerlei Fluoreszenz. Braunbleierz von Bad Ems leuchtete unter langwelligem UV dunkel-orange.

Eine Stufe mit fast farblosem Pyromorphit in Kristallen leuchtete unter langwelligem UV intensiv weißgelb. Als Fundort war Braubach angegeben.

Der eigentliche Chemismus des Pyromorphits läßt also ohne weiteres Fluoreszenz zu. Vielleicht wirkt in den grünen Kristallen Eisen als Inhibitor.

**Mimetesit** von Tsumeb, und zwar die langen, mit Bayldonit überzogenen Kristalle leuchteten unter beiden Wellenlängen schön rosarot nach Entfernen des Überzugs. Der Mimetesit war von weißer Farbe. Die honiggelben, kurzen Kristalle vom gleichen Fundort leuchteten nicht.

**Pharmakolith** von Wittichen in Baden leuchtete unter beiden Wellenlängen weiß.

**Weinschenkit** von Auerbach in der Oberpfalz leuchtete schwach rosa.

**Wavellit** von Magnet Cove, Arkansas, zeigte unter langwelligem UV teilweise himmelblaue Fluoreszenz.



## Silikate

Diese Mineralgruppe umfaßt wohl die größte Zahl verschiedenartiger Minerale, und trotzdem sind die fluoreszierenden Vertreter recht spärlich vorhanden. Der Grund dafür ist der Eisengehalt sehr vieler Silikate. Daneben enthalten sie noch andere idiochromatisch gefärbte Bestandteile.

**Phenakit** fluoresziert fast nie.

**Willemit** zeigt unter kurzwelligem UV prachtvolle grüne Fluoreszenz. Die genauere Beschreibung folgt im Anschluß an die Silikate gemeinsam mit den anderen Mineralen von Franklin.

**Disthen** leuchtet mitunter rot bei Bestrahlung mit langwelligem UV. Aktivator ist Chrom. Auf einer Stufe vom Pizzo Forno, Tessin, fand sich unter zahlreichen nichtfluoreszierenden Kristallen nur einer, der schwach rot leuchtete.

**Topas** fluoresziert weder stark noch charakteristisch. Kristalle vom Schneckenstein zeigten unter kurzwelligem UV schwach lichtgrünes bis gelbliches Leuchten, unter langwelligem UV schwach rosa Fluoreszenz.

**Granat** fluoresziert wegen seines Eisengehaltes nur selten. Lediglich einige Fundstellen für fluoreszierenden Grossular wurden bekannt. Kristalle von Coahuila, Mexico, zeigten unter langwelligem UV sehr schwaches bräunliches Leuchten.

**Zirkon** Braune Kristalle fluoreszieren im allgemeinen stärker als farblose. Viele Zirkone von British Columbia leuchteten unter langwelligem UV orange. Aktivator ist Hafnium. Kristalle von Burke Co., North Carolina, fluoreszierten unter beiden Wellenlängen gelb. Ebenso verhielten sich Zirkone vom Ilmengebirge.

**Axinit** fluoresziert wegen seines häufigen Eisengehaltes nicht. So konnte an keinem alpinen Kristall Leuchten beobachtet werden. Der manganhaltige Axinit von Franklin fluoreszierte unter kurzwelligem UV rötlich. Hier wirkt eine geringe Menge Mangan als Aktivator.

**Hemimorphit** leuchtet im allgemeinen nur schwach und nicht charakteristisch. Kristalle vom Bleiberg in Kärnten leuchteten unter beiden Wellenlängen gelblich.

**Klinoedrit** von Franklin wird gemeinsam mit den Franklin-Mineralen besprochen.

**Benitoit** vom San Benito Co., California, leuchtete bei Bestrahlung mit kurzwelligem UV brillant hellblau. Unter langwelligem UV fluoreszierten nur die weißen Stellen der Kristalle rot, die blauen Stellen nicht. Die Abbildung 23 zeigt eine Stufe mit fluoreszierenden Benitoitkristallen. In der linken Hälfte erkennt man deutlich einen großen trigonalen Kristall, dessen „Umrandung“ (die trigonalen Pyramiden) kaum leuchten. Diese Stellen besitzen von Natur eine blaue Farbe. Die Basis ist ungefärbt und fluoresziert sehr stark.

**Wollastonit** von Oberschaffhausen im Kaiserstuhl leuchtete unter kurzwelligem UV rosa. Kristalle und kristalline Aggregate vom Riverside Co., California, fluoreszierten unter kurzwelligem UV goldgelb. Wollastonit von Willsboro, New York, leuchtete nur unter langwelligem UV gelb.

**Pektolith** von der Rauschermühle bei Kaiserslautern fluoreszierte bei Bestrahlung mit langwelligem UV zart rosa. Ebenso verhielten sich Stücke vom Steinbruch „Vulkan“ bei Haslach, ferner Kristalle von Paterson, New Jersey. Stücke von Franklin, New Jersey, fluoreszierten nur unter kurzwelligem UV gelb.

**Rhodonit** fluoresziert nicht. In der Literatur wird zwar angegeben, der Rhodonit von Franklin, New Jersey, würde rot fluoreszieren. Dieser sogenannte Bustamit ist kein echter Rhodonit. Wahrscheinlich wird die Fluoreszenz durch Beimengungen von leuchtendem, manganaktiviertem Calcit verursacht.

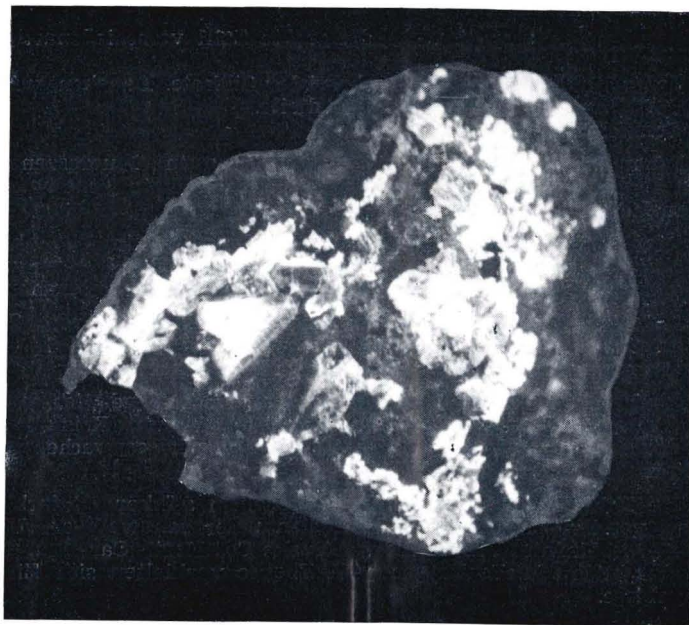


Abb. 23 Benitoitkristalle bei Bestrahlung mit langwelligem UV.  
Lampe PL 342, Agfa 21/100 DIN  
Blende 3,8; Zeit 4 Minuten, Abstand 30 cm, Filter GG 4,

### Beryll

Gemeiner Beryll fluoresziert im allgemeinen nicht oder doch nur sehr schwach. Kristalle von Weeks Quarry, East Wake Field in New Hampshire leuchteten unter langwelligem UV manchmal matt pfirsichblütfarben.

Smaragd der meisten Fundorte fluoresziert nicht oder sehr schwach. Die Kristalle von den Chivor Minen in Columbien werden jedoch von langwelligem UV zu schwach rotem Leuchten angeregt. Aktivator ist Chrom. Die synthetische n Smaragde fluoreszieren unter langwelligem UV alle dunkelrot.

Aquamarin und Morganit fluoreszieren nicht.

**Prehinit** fluoresziert nur schwach und nicht charakteristisch.

**Dumortierit** von Lyon, Frankreich, leuchtete unter kurzwelligem UV blau. Ebenso verhielten sich kristalline Aggregate von San Diego, California.

### Spodumen

Gemeiner Spodumen von Spittal an der Drau leuchtete unter langwelligem UV dunkelrosa. Stücke von Namaqualand in Südafrika zeigten unter langwelligem UV prächtig rosarotes Leuchten, unter kurzwelligem UV war nur schwache Fluoreszenz zu beobachten.

Kunzit fluoreszierte unter langwelligem UV stark goldrosa oder orange. Mit kurzwelligem UV angeregt phosphoreszierten Kristalle vom Mt. Apatite in Maine, von Newry in Maine und von Portland in Connecticut. Aktivator ist Mangan. Der Kunzit vom San Diego Co., California, fluoreszierte kräftig orange. Kristalle von Brasilien leuchteten wenig intensiv und nicht sehr charakteristisch.

Der durch Chrom und Eisen (!) grün gefärbte Hiddenit fluoresziert nur selten, in manchen Fällen rötlich bis purpur infolge Aktivierung durch Chrom.

- Apophyllit** fluoresziert nicht stark und nicht charakteristisch. Kristalle von Niederrotweil im Kaiserstuhl zeigten an manchen Stellen mit kurzwelligem UV grünes, mit langwelligem UV weißes Leuchten. Kristalle von St. Andreasberg fluoreszierten nicht.
- Talk** von Fowler, New York, fluoreszierten unter kurzwelligem UV partiell stark grün. Diese Stücke waren weiß und grobblättrig. Der Speckstein vom Fichtelgebirge fluoresziert nicht.
- Pyrophyllit** von Mariposa, California, leuchtete unter UV beider Wellenlängen prächtig gelb.
- Petalit** von Karibib, Südwest-Afrika, fluoreszierte unter langwelligem UV schwach graublau.
- Leucit** von Arizia, Italien, fluoreszierte unter langwelligem UV weiß bis schwach gelb.
- Pollucit** fluoresziert unter kurzwelligem UV manchmal rosa. Diese Literaturangabe war nicht durch Fundstellenangaben belegt. Stücke von Veruträsk leuchteten unter langwelligem UV schwach lauchgrün.
- Analcim** von Renfrewshire in Schottland zeigte unter langwelligem UV schwach weißes Leuchten.
- Sodalith** war nur durch langwelliges UV anregbar. Stücke von Mouttonboro, New Hampshire leuchtete orangerot, Stücke von Bancroft, Ontario, partiell rot.
- Hauyn** vom Laacher See leuchtete unter langwelligem UV orangerot.
- Orthoklas** und seine Varietäten, sowie die übrigen **Feldspäte** fluoreszieren selten und nicht charakteristisch.
- Skapolith**. Die gelben, massiven Stücke von Quebec fluoreszierten unter langwelligem UV stark gelb, während die klaren gelben Kristalle aus Brasilien lila leuchteten.
- Datolith** von Paterson, New Jersey, leuchtete unter langwelligem UV hellgrau.
- Chabasit** vom Klotz bei Idar leuchtete unter langwelligem UV hellgrau. Die Kristalle auf diesen Stücken sind sehr leicht zu identifizieren, weil der begleitende Calcit rosa, die Quarzkristalle nicht leuchten.
- Die übrigen **Zeolithe** fluoreszieren weder stark noch charakteristisch. Meistens zeigen sie schwach graues, weißliches oder gelblichweißes Leuchten.

## Minerale von Franklin, New Jersey

Wenn die fluoreszierenden Minerale von Franklin gesondert zusammengefaßt und beschrieben werden, so geschieht es deshalb, weil dieses Vorkommen eine derartige Fülle der verschiedensten, prächtig fluoreszierenden Minerale liefert, wie sonst kaum eine andere Lagerstätte. Bei der Beschreibung mußte sich der Verfasser hauptsächlich auf eine Veröffentlichung von F. E. MUTSCHLER in Rocks and Minerals 242 (1954) Seite 482 stützen, da ihm nur einige der fluoreszierenden Minerale von Franklin zugänglich waren. Immerhin wurden an vielen Stücken eigene Untersuchungen durchgeführt, und man ist immer wieder von der Schönheit der brillanten Farben beeindruckt. Die vom Verfasser aufgenommenen Bilder der beigefügten Farbtafel vermögen nur ungefähr einen Eindruck der vielfältigen Farbkombinationen zu geben, die jedes Stück dieser Fundstätte in immer neuen Variationen bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht zeigt.

**Calcit**, das häufigste Gangmineral fluoresziert bei Bestrahlung mit kurzwelligem UV kräftig rot in verschiedenen Abstufungen. Man kann orange, rötliche und auch rotviolette Fluoreszenzfarben beobachten. Das hängt vom Mangangehalt ab, der hier als Aktivator wirkt. Der Mangangehalt der Stücke kann zwischen 0,24 und 17% variieren. Kräftigste Fluoreszenz wird bei 3,6% Mangankarbonat-Gehalt (entsprechend etwa 1,8% Mangan) beobachtet. Steigt der Mangananteil auf über 6%  $MnCO_3$  an, so tritt keine Fluoreszenz mehr auf.

**Willemit** leuchtet bei Bestrahlung mit kurzwelligem UV (mit langwelligem UV nicht so intensiv) prachtvoll grün. Auch hier gibt es gewisse Abstufungen der Farben, manchmal beobachtet man ein gelblichgrün, dann wieder ein sattes dunkelgrün. Auch Willemit wird durch Mangan aktiviert.

**Calcium-Larsenit** kommt mitunter in Form weißlicher Massen in den Gangstücken vor. Es fluoresziert unter kurzwelligem UV intensiv zitronengelb. Die Farbe ist so charakteristisch, daß sie als Test dienen kann.

**Baryt** zeigt mit kurzwelligem UV bläuliche bis graue Fluoreszenz.

**Axinit**, und zwar der „Mangan-Axinit“, fluoresziert unter kurzwelligem UV rötlich. Aktivator ist Mangan.

**Zinkspat** fluoresziert unter langwelligem UV gelblich.

**Bustamit** wird von langwelligem UV zu schwach tieferer Fluoreszenz angeregt.

**Klinoedrit** leuchtet unter kurzwelligem UV orange, unter langwelligem UV schwach gelblich. Klinoedrit ist ein ziemlich seltenes Mineral und findet sich als Neubildung auf den Erzen von Franklin.

**Hydrozinkit** zeigt unter kurzwelligem UV schwach blaues Leuchten.

**Hardystonit** wird von kurzwelligem UV mitunter zu mattem, tiefviolettem Leuchten angeregt.

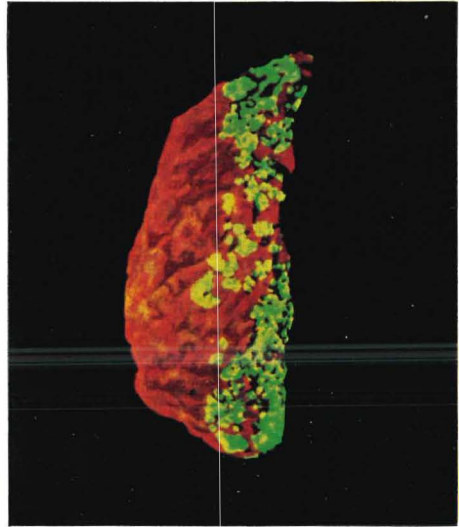
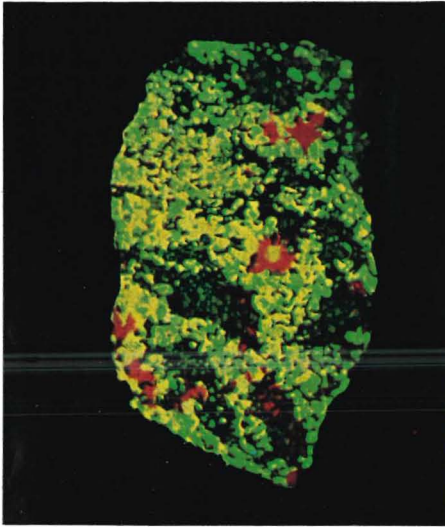
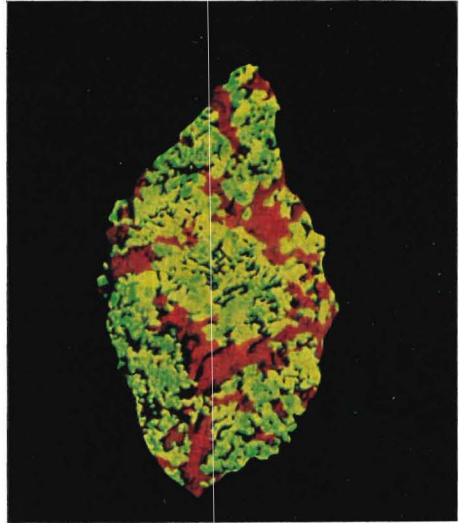
**Pektolith** leuchtet unter kurzwelligem UV gelb.

**Wollastonit** zeigt unter kurzwelligem UV eine brillante orange bis rosa Fluoreszenzfarbe. Langwelliges UV vermag auch zu schwacher Fluoreszenz anzuregen, die durch Mangan als Aktivator hervorgerufen wird. Der Wollastonit von Paterson, New Jersey, fluoresziert nicht.

**Diopsid** in schwach grauen Kristallen aus dem Kalkstein von Franklin zeigt unter kurzwelligem UV schwach blaues Leuchten.

**Apatit** in durchscheinenden bläulichen Kristallen aus dem Kalkstein von Franklin leuchtet unter kurzwelligem UV schwach grünlich.

**Korund** in grauen oder rötlichen Körnern aus dem Kalkstein wird durch langwelliges UV zu roter Fluoreszenz angeregt. Aktivator ist Chrom.



Links oben : Rosarot leuchtender Calcit mit einigen grüngelb leuchtenden Willemit-Einschlüssen. Zeit 4 1/2 Minuten, Blende 3,8; Abstand Objekt/Kamera 30 cm; Filter GG 9; Lichtquelle Minerallight SL 2537 in 20 cm Entfernung vom Objekt; Film 15/10° DIN Agfacolor Diapositivfilm.

Rechts oben : Gangstufe von Willemit, durchzogen von rot leuchtenden Calcitschnüren. Zeit 4 Minuten; alle übrigen Daten wie bei der ersten Aufnahme.

Links unten : Gangstufe mit grün leuchtendem Willemit, reichlich Rotzinkerz (nicht leuchtend) und rot fluoreszierenden Calciteinschlüssen. Zeit 1 1/2 Minuten. Die übrigen Daten wie erste Aufnahme.

Rechts unten : Gangstufe mit rot leuchtendem Calcit und grün fluoreszierendem Willemit. Zeit 2 Minuten. Im übrigen wie bei der ersten Aufnahme.

Die von den Franklin-Minen erhältlichen Stücke bestehen fast nie aus einem einzigen Mineral, sondern meistens aus einem Gemisch verschiedener Minerale, wie Calcit, Willemit, Franklinit, Zinkit usw. Die Unterscheidung der einzelnen Minerale durch bloßen Augenschein bereitet manchmal Schwierigkeiten, da einerseits kaum Kristalle gefunden werden, andererseits die natürlichen Farben (z. B. des Willemits) sehr verschieden sein können. Man findet weißen, orangen, gelblichen, rötlichen, grauen, grünlichen Willemit. Mit der Fluoreszenzlampe kann aber Willemit sofort an seiner brillanten grünen Fluoreszenzfarbe erkannt werden. Man hat diese Eigenschaft auch beim Sortieren der Erze ausgenutzt, indem über den Klassiertrögen intensive UV-Lampen aufgehängt wurden.

---

## Nachwort

Dem Leser der vorstehenden Beschreibung wird es nicht entgangen sein, wie wenig charakteristische Fluoreszenzfarben es gibt, mit deren Hilfe eine Mineraldiagnose möglich wäre. Der Grund dafür ist, daß ein Mineral je nach Herkunft verschieden fluoreszieren kann. Man darf daher die Fluoreszenzlampe auch nicht zu Echtheitsprüfungen heranziehen. Wohl kann man in einer Kollektion von Steinen, die von dem gleichen Fundort stammen, einen „falschen“ unter Umständen entdecken, der von einem anderen Vorkommen stammt.

Trotzdem leistet die Fluoreszenzprobe gute Dienste. Denn abgesehen von einigen tatsächlich sehr charakteristischen Reaktionen — z. B. sei hier noch einmal an die Probe auf Quecksilber, die Unterscheidung von Powellit, Scheelit und ihrer Zwischenglieder, die Natriumfluoridperle mit Uranmineralen, die Fluoreszenz von Matlockit, Adamin, Willemit usw. erinnert — abgesehen also von diesen typischen Fluoreszenzerscheinungen, lassen sich in einem Mineralgemisch mitunter die Einzelkomponenten leicht erkennen. Technische Bedeutung hat die Fluoreszenzprobe z. B. für die Erkennung von Willemit in Erzgemischen erlangt. Auch sehr geringe Mengen fluoreszierender Minerale, die mit bloßem Auge kaum erkannt werden können, lassen sich mit der Fluoreszenzlampe sofort feststellen.

Für den Mineraliensammler und Mineralienhändler ist es wertvoll, geklebte Kristalle oder Kristallstufen sofort zu erkennen. Auch in diesen Fällen leistet die UV-Lampe (insbesondere das langwellige UV) wertvolle Dienste, da fast alle Klebstoffe mehr oder weniger intensiv weiß oder hellgrau, manchmal grünlichweiß fluoreszieren.

Rückblickend läßt sich noch eine andere, wichtige Feststellung treffen: Alle idiochromatisch gefärbten Minerale fluoreszieren nicht. Das sind also diejenigen, die auf einer Strichplatte einen Strich erzeugen. Nun stehen aber die Eigenfarbe einer Verbindung und der Atombau der teilnehmenden Elemente in nahem Zusammenhang. Überblicken wir das Perioden-System der chemischen Elemente, in dem diese systematisch in senkrechte Gruppen und waagerechte Perioden eingeordnet sind, so stellen wir zunächst fest, daß Verbindungen aus Hauptgruppenelementen im allgemeinen von Natur aus farblos sind. Es handelt sich also um Verbindungen der Alkalimetalle, der Erdalkalimetalle, der Elemente aus der 3. Hauptgruppe (Bor, Aluminium, Gallium usw.) sofern sie überhaupt als selbständige Minerale vorkommen, der 4. Hauptgruppe (Kohlenstoff, Silizium, Germanium, Zinn, Blei), der 5. Hauptgruppe (Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon, Wismut), der 6. Hauptgruppe (Sauerstoff, Schwefel, Selen, Tellur) und der 7. Hauptgruppe (Fluor, Chlor, Brom, Jod).

Verbindungen dieser Elemente, die im Mineralreich vorkommen, sind z. B. Amblygonit ( $\text{Li Al}[\text{F}, (\text{OH})\text{PO}_4]$ ), Steinsalz ( $\text{NaCl}$ ), Chrysoberyll ( $\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), Flußspat ( $\text{CaF}_2$ ), Baryt ( $\text{BaSO}_4$ ), Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) usw. Sie alle sind in reinstem Zustand farblos, und sie alle fluoreszieren, falls sie aktivierende Beimengungen enthalten. Eine Ausnahme bilden die Sulfide von Zinn, Blei, Arsen, Antimon, Wismut und die Oxyde von Blei, die alle gefärbt sind; diese fluoreszieren auch nicht. Aber allgemein kann man doch sagen, daß farblose Verbindungen bzw. Minerale aus Elementen der Hauptgruppen des Perioden-Systems aufgebaut sind. Es spielt dabei keine Rolle, ob das betreffende Mineral durch eine geringe Fremdbeimengung allochromatisch gefärbt wird. Das beeinflußt weder die Strichfarbe (Eigenfarbe) noch die Fluoreszenzeigenschaft.

Die Nebengruppenelemente sind ausschließlich Metalle. Die meisten ihrer Verbindungen sind idiochromatisch gefärbt und fluoreszieren daher nicht. Eine Ausnahme machen lediglich einige sekundäre Uranminerale, die das Uran in Form des Uranyl-Ions ( $\text{UO}_2^{++}$ ) enthalten und frei von Schwermetallen sind. Uran zählt zur 6. Nebengruppe des Perioden-Systems. In die gleiche Gruppe gehören noch Chrom, Molybdän und Wolfram. Während die Chromate gefärbt sind und nicht fluo-

reszieren, ist das als Mineral bekannte Calcium-Molybdat und -Wolframat ungefärbt und zeigt bei Bestrahlung mit UV starke Fluoreszenz. Weiter fluoreszieren einige farblose Verbindungen der Metalle der 2. Nebengruppe, also Minerale von Zink, Cadmium und Quecksilber. Und schließlich kann auch der Zirkon fluoreszieren, das Silikat eines Metalls der 4. Nebengruppe. In der Literatur werden noch einige künstlich hergestellte Verbindungen der Nebengruppen als fluoreszierend beschrieben, doch soll diese Betrachtung auf Minerale beschränkt bleiben. Im allgemeinen fluoreszieren Minerale, die Nebengruppenelemente als wesentliche Bestandteile enthalten, recht selten, und man kann daher mit der Fluoreszenzlampe einen Hinweis erhalten, ob ein Mineral als wesentliche Bestandteile Hauptgruppen- oder Nebengruppenelemente enthält. Fluoreszenz deutet mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit auf Minerale aus Hauptgruppenelementen.

Wie steht es nun mit den Aktivatoren, also den spurenhafte Beimengungen, die für die Fluoreszenz verantwortlich sind? Als wichtigste und häufigste Aktivatoren lernten wir die Elemente Chrom, Mangan, Kupfer, Silber, Uran, Yttrium und die seltenen Erden Samarium, Europium, Gadolinium, Dysprosium, Ytterbium usw. kennen. Alle diese Elemente sind Metalle und zählen zu den Nebengruppenelementen.

Eisen, das ebenfalls ein Nebengruppenelement ist, verhält sich dagegen völlig anders: Es löscht die Fluoreszenz. Selbst geringe Mengen in einem an sich fluoreszenzfähigen Material verhindern das Leuchten. Aus diesem Grund beobachtet man bei einigen Mineralen, die fast immer eisenhaltig sind, niemals Fluoreszenz, so vor allem bei Zinnstein.

Abschließend kann als Regel (nicht ohne Ausnahme) gelten, daß das Grundmaterial eines fluoreszierenden Minerals aus Hauptgruppenelementen besteht, die Aktivatoren Metalle der Nebengruppen des Perioden-Systems sind und daß idiochromatisch gefärbte Minerale, welche als Hauptbestandteile Nebengruppenelemente enthalten, keine Fluoreszenz erwarten lassen.



## Literaturverzeichnis

- Barett, R. L., Ein Vergleich der Ultraviolett-Lichtquellen zur Erregung von Fluoreszenz von Mineralien, *American Mineralogist* 19, 578 (1934)
- Bartels, B., Über die Zinksulfid- und Zinkcadmiumsulfid-Luminophore, Dissertation Leipzig 1936.
- Birus, K., Krystallphosphore, *Ergebnisse exakt. Naturwiss.* 20, 183 (1942)
- Braun, Fr., Morphologische, genetische u. paragenetische Trachtstudien am Baryt, *Neues Jahrb. Min. Beilageband* 65, 173 (1932)
- Braun, L. W., Fluoreszenz von manganhaltigen Calciten, *University of Toronto Studies Geol. Ser. Nr. 36, 45* (1934)
- Bültemann, H. W., Fluoreszenzanalytische Untersuchungen an sekundären Uranmineralien, *Neues Jahrb. Min. Abh.* 86/2, 155 (1954)
- Chudoba, K. F. und Gübelin, E. J., *Schmuck- und edelsteinkundliches Taschenbuch*, Verlag Bonner Universitäts-Buchdruckerei Gebr. Scheue, 1953
- Chudoba, K. F. und Gübelin, E. J., *Echt oder synthetisch? Rühle-Diebener-Verlag K. G. Stuttgart* 1956
- Dankwortt, P. W. und Eisenbrand, J., *Lumineszenzanalyse im filtrierten ultravioletten Licht*, 6. Auflage, Akad. Verlagsges. Geest & Portig KG, Leipzig 1956
- De Ment, J., *Handbook of Fluorescent Gems and Minerals*, Mineralogist Publishing Comp., Portland 15, Oregon, USA, 1949
- Drevermann, Versteinerungen im ultravioletten Licht, *Senckenb. naturf. Ges. Natur u. Museum* 57, 193 (1927)
- Ernst, P., Naturfarbaufnahmen von Lumineszenzerscheinungen im gefilterten Ultraviolettlicht, *Photogr. Korresp.* 67, 149 (1931)
- Freund, H., *Handbuch der Mikroskopie in der Technik*, Bd. I. Teil 1, S. 357, Umschau Verlag, Frankfurt/M. 1957.
- Gunnell, E. M., Die Fluoreszenz des Illinois Flußspat u. gewisser Zinkmineralien u. verwandter Mineralarten aus dem Joplin-Missouri-District, *American Mineralogist* 18, 68 (1933)
- Haberlandt, H., Fluoreszenzanalyse von Mineralien, *Wiener Ber. II a.*, 143, 11 (1934)
- Haberlandt, H., Lumineszenzuntersuchungen an Fluorit, *Wiener Ber. II a.*, 141, 441 (1932) und 142, 29 (1933)
- Haberlandt, H., Zur Fluoreszenz von Fluorit, *Wiener Ber. II a.*, 143, 151 (1934) und 144, 77 (1935)
- Haberlandt, H. und Köhler, A., Fluoreszenzanalyse von Skapolithen, *Chem. d. Erde* 9, 139 (1934)
- Haitinger, M., Die Fluoreszenzanalyse in der Mikrochemie, Verlag Emil Haim & Co., Wien und Leipzig 1937
- Haitinger, M., *Fluoreszenzmikroskopie*, Akad. Verlagsges. mbH., Leipzig 1938
- Holstein, O., Edelsteinbestimmungen durch Ultraviolettstrahlen, *Dtsch. Goldschmiedeztg.* 39, 150 (1936)
- v. Horn, Frank R., Verdrängung von Wolframit durch Scheelit mit Beobachtungen über die Fluoreszenz einiger Wolframminerale, *American Mineralogist* 15, 461 (1930)
- Iwase, E., Zur Kenntnis der Fluoreszenz von japanischen Hyalithen im ultravioletten Licht, *ref. in Chem. Zentralbl.* 1935 I, 2499
- Josten, A., Versuche mit Gips, *Zbl. Min. Geol. Paläont. Abt. A.*, 432 (1930)
- Köhler, A. und Leitmeier, H., Das Verhalten des Kalkspates im ultravioletten Licht, *Zbl. Min. Abt. A.*, 401 (1933)
- Köhler, A. und Leitmeier, H., Fluoreszenzversuche an natürlichen Sulfaten, *Zbl. Min. Geol. Paläont. Abt. A.*, 364 (1934)
- Köhler, A. und Haberlandt, H., Lumineszenzanalyse von Apatit, Pyromorphit u. a. Phosphaten, *Chem. d. Erde* 9, 88 (1934)
- Köhler, A., Die Leuchtfarben der Phosphatminerale im ultravioletten Licht, *Forschungen und Fortschr.* 10, 69 (1934)
- Kreutz, St., Über die Lumineszenz der Mineralien in Abhängigkeit von ihrem Vorkommen u. ihrer Generation, *Bull. int. Acad. polon. Sci. Lettres Ser. A.* 1933, *ref. in Chem. Zentralbl.* 1934 I, 2407
- Metzner, P., Einfache Einrichtungen zur Fluoreszenzmikroskopie u. Fluoreszenzmikrographie, *Biologica generalis* 6, 415 (1930) u. *Mikrochemie* 9, 72 (1931)
- Michel, H., Die Lumineszenzerscheinungen von Perlen im ultravioletten Licht, *Dtsch. Goldschmiedeztg.* Nr. 16, 1926
- Miethel, H., Über die Photographie von Fossilien bei ihrem eigenen Fluoreszenzlicht, *Photogr. Korresp.* 63, 69 (1927)
- Mutschler, F. E., *The Luminescent Minerals of Franklin*, New Jersey, *Rocks & Minerals* 242, 482 (1954)
- Obenauer, K., Edelsteine im ultravioletten Licht, *Wissen u. Fortschritt*, März 1936
- Obenauer, K., Das Verhalten der gefärbten Achate im ultravioletten Licht, *Dtsch. Goldschmiedeztg.* 38, 384 (1935)
- Obenauer, K., Über die Änderung der Lumineszenzfarbe auf frischen Spaltflächen des Kalkspates, *Zbl. Min. Geol. Paläont. Abt. A.*, 357 (1935)
- Pringsheimer, P., *Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neuen Atomtheorie*, Springer Verlag 1928

- Przibram, K., Zur Fluoreszenz der Fluorite, Wiener Ber. II a, 144, 97 (1935)
- Riehl, N., Physik u. technische Anwendungen der Lumineszenz, Berlin 1941
- Riehl, N. und Ortman, H., Kristallchemischer Aufbau der Leuchtzentren im Zinksulfid, Z. Angew. Chem. 68, 513 (1956)
- Schiebold, E., Vergleichende Untersuchungen an natürlichen und synth. Smaragdkristallen, Z. Kristallogr. Mineral. Petrog. Abt. A., 92, 435 (1935)
- Spencer, L. J., Fluoreszenz von Mineralien im ultravioletten Licht, American Mineralogist 14, 33 (1928)
- Tomaschek, Physik in regelm. Ber. 2, 33—46 (1934)  
und 8, 49—79 (1940)
- Warren, Th. S., Prospecting for Uranium with an Ultra Violet Lamp, Gems and Minerals, Juli 1955, Seite 20
- Weber, K., Über Filterlösungen für die Fluoreszenzphotographie, Photogr. Korresp. 66, 317 (1930)
- Webster, R., Gemstone Luminescence, The Gemmologist, Mai 1953 ff.

### Bildernachweis:

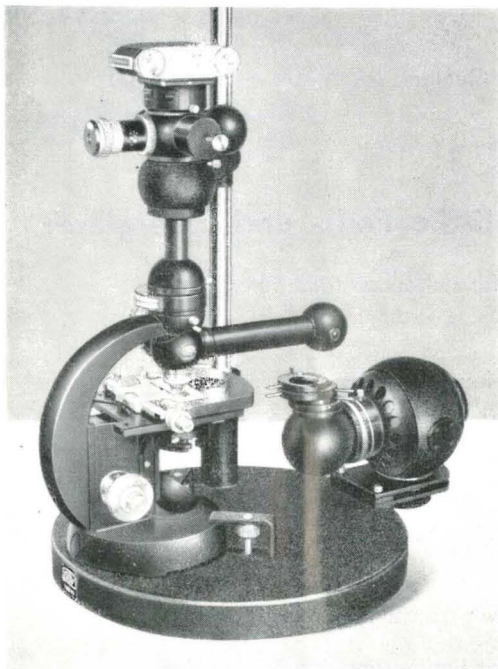
- Werkfoto Quarzlampengesellschaft mbH. Hanau: Abb. 5, 7, 8.  
Scientific American: Abb. 4.  
Ultra-Violet Products, Inc. Werkfoto: Abb. 6.  
Dr. H. Miethe: Abb. 11.  
Werkfoto E. Leitz, Wetzlar: Abb. 12.  
Dr. W. Lieber: Abb. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23.

## Register

- Achat 35, 36  
 Adamin 47  
 Aktivatoren 12, 13, 55  
 Allochromatisch 31  
 Amblygonit 47  
 Analcim 51  
 Anatas 36  
 Anglesit 43  
 Angström 10  
 Anhydrit 42  
 Anregung 10, 11  
 Apatit 47, 52  
 Apophyllit 51  
 Aquamarin 50  
 Aragonit 39  
 Arsenate 26, 47  
 Atacamit 33  
 Atombau 9  
 Aurichalcit 40  
 Autunit 26  
 Axinit 49, 52  
 Azurit 40  
  
 Bariumsulfid 7, 42  
 Baryt 42, 52  
 Bassetit 26  
 Benitoit 49  
 Beryll 50  
 Betafit 26  
 Biolumineszenz 7  
 Bologneser Stein 7, 14, 42  
 Boracit 41  
 Boraxperle 25, 27  
 Boronatrocalcit 41  
 Brochanthit 43  
 Brookit 36  
 Brucit 36  
 Bustamit 52  
  
 Calcit 37, 38, 52  
 Carnotit 26  
 Cerussit 40  
 Chabasit 51  
 Chaledon 35  
 Chemilumineszenz 7  
 Chromate 46  
 Chrysoberyll 34  
 Chrysopras 35  
 Colemanit 41  
 Cölestin 42  
  
 Datolith 51  
 Lendritenquarz 35  
 Dewindtit 26  
 Diamant 28  
 Diopsid 52  
 Disthen 49  
 Dolomit 39  
 Dumontit 26  
 Dumortierit 50  
  
 Ellsworthit 26  
 Euxenit 26  
  
 Feueropal 35  
 Filter 19, 20  
 Fluoreszenz 8, 11 ff.  
 Fluoreszenzlampen 15 ff.  
 Flußspat 7, 31  
 Fossilien 22, 23  
 Fourmarierit 26  
 Frequenz 9  
 Fritzscheit 26  
  
 Gips 43  
 Granat 49  
 Greenockit 30  
 Grossular 49  
 Gummit 26  
  
 Hanksit 43  
 Hardystonit 52  
 Hauyn 51  
 Hemimorphit 49  
 Hiddenit 50  
 Holzopal 35  
 Hornsilber 31  
 Hyalit 35  
 Hydrargillit 36  
 Hydrozinkit 40, 52  
  
 Idiochromatisch 31, 54  
 Ianthinit 26  
 Johannit 26  
  
 Kalomel 31  
 Kasolit 26  
 Kernit 41  
 Klinoeidrit 49, 52  
 Korund 34, 52  
 Kristallolumineszenz 7  
 Kryolith 33  
 Kunzit 50  
  
 Larsenit 52  
 Leadhillit 40  
 Leuchtstoffe 13  
 Leuchtstoffröhren 13  
 Leucit 51  
 Leucosaphir 34  
 Lichtgeschwindigkeit 9  
 Lichtquellen 15 ff.  
 Liebigit 26  
 Linarit 43  
 Lumineszenz 7  
  
 Magnesit 38  
 Malachit 40  
 Manganspat 38  
 Matlockit 33  
 Meyerhofferit 41  
 Milchopal 35  
 Mimetesit 48  
 Molybdate 46  
 Monazit 47  
 Morganit 50  
  
 Nachleuchten  
   s. Phosphoreszenz  
 Natriumfluoridperle 25, 27  
 Nocerin 33  
  
 Opal 35  
 Orthoklas 51  
  
 Parsonsit 26  
 Pechblende 26  
 Pektolith 49, 52  
 Petalit 51  
 Pharmakolith 48  
 Phenakit 49  
 Phosgenit 40  
 Phosphoreszenz 11  
 Photolumineszenz 7  
 Pollucit 51  
 Powellit 46  
 Prehnit 50  
  
 Pyromorphit 47  
 Pyrophyllit 51  
  
 Quecksilberhornerz 31  
 Quarz 55  
  
 Renardit 26  
 Rhodonit 49  
 Rubin 34  
 Rutil 36  
  
 Saléit 26  
 Samarskit 26  
 Saphir 34  
 Scheelit 46  
 Schröckingerit 26  
 Schwingungszahl 9  
 Senarmonit 34  
 Sidiot'sche Blende 14, 29  
 Skapolith 51  
 Sklodowskit 26  
 Smaragd 50  
 Sodalith 51  
 Soddyit 26  
 Spektrum 10  
 Spinell 34  
 Spodumen 50  
 Steinsalz 31  
 Strontianit 40  
 Strontianocalcit 38  
 Sylvin 31  
  
 Talk 51  
 Tarnowitzit 40  
 Terlinguait 33  
 Thermolumineszenz 7, 31  
 Thorianit 26  
 Topas 49  
 Torbernit 26  
 Tribolumineszenz 7, 29, 31  
 Trögerit 26  
 Tujamunit 26  
  
 Ulexit 41  
 Uraninit 26  
 Uranocircit 26  
 Uranophan 26  
 Uranopilit 26  
 Uranospinit 26  
 Uranothallit 26  
 Uranverbindungen 12, 25  
  
 Vanadate 26, 47  
  
 Walpurgin 26  
 Wavellit 48  
 Weinschenkit 48  
 Willemit 14, 49, 52  
 Witherit 40  
 Wolframate 46  
 Wollastonit 49, 52  
 Wulfenit 46  
 Wurtzit 30  
  
 Ytrocercit 31  
 Yttrifluorit 31, 33  
  
 Zeunerit 26  
 Zinkblende 29  
 Zinkspat 39, 52  
 Zinnober 30  
 Zinnstein 36  
 Zippeit 26  
 Zirkon 49



## GROSSE FLUORESZENZ- EINRICHTUNG



für  
Beobachtung und  
Mikrophotographie  
im durchfallenden und  
auffallenden Licht

mit

**ZEISS**  
STANDARD-  
**Mikroskopen**

Die Strahlung eines Quecksilber-Höchstdruckbrenners OSRAM HBO 200 wird über einen festjustierten Aluminium-Oberflächenspiegel nach dem Köhler'schen Beleuchtungsprinzip in das Mikroskop gelenkt. Vier ausklappbare Filterhalter an der Leuchte ermöglichen es, verschiedene Erregerfilter wahlweise einzuschalten. Eine Reihe von Sperrfiltern — zum bequemen Wechsel in einem Filterzwischen-tubus angeordnet — bieten ebenfalls zahlreiche Variationsmöglichkeiten. Die Schnellwechsellvorrichtung am **STANDARD Mikroskop** gestattet einfachen Austausch verschiedener Tuben. Anstelle des Objektivrevolvers kann eine Einrichtung für Auflicht angesetzt werden. Die Kamera ist an einem besonderen Halterarm ein- und ausschwenkbar über dem Mikroskop angeordnet. Dieses kann auch für übliche Beobachtungen benutzt werden.

Fordern Sie bitte unseren Katalog 40—215 „Fluoreszenz-Mikroskopie“ an, den wir Ihnen kostenlos und unverbindlich zur Verfügung stellen.

**CARL ZEISS - OBERKOCHEN / WÜRTT.**

Wir liefern in bekannter Qualität:



## **Optische Farb- und Filtergläser**

Interferenz-Monochromatfilter

Als Neuentwicklung:

### **Interferenzverlauffilter**

Anwendung :

1. zur Bestimmung von Brechzahlen  
nach der  $\lambda$ -T-Methode
2. zur Messung von Dispersionseigenschaften
3. in der Auflicht-Mikroskopie

**JENAER GLASWERK SCHOTT & GEN. MAINZ**

# Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale

Teil 1

Bestimmungstabellen

Von

W. Ehrenreich TROGER

Dr.-Ing., ord. Professor für Mineralogie, Gesteins- und  
Lagerstättenkunde an der Universität Freiburg i. Br.

2. verbesserte Auflage

der „Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale“

17 Tabellen, 90 Diagramme, 258 Figuren, 16 Stereogramme im Text und auf  
2 Beilagen, 10 Nomogramme, XI, 147 Seiten, Format: 16,5x25 cm. — 1956 —

In Leinen gebunden DM 27,80

Nachdem die im Jahre 1952 erschienenen „Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale“ allgemein eine sehr gute Aufnahme gefunden haben, und aus den Fachkreisen häufig Stimmen laut geworden sind, auch einen beschreibenden Teil zu den „Tabellen“ herauszubringen, haben sich Autor und Verlag entschlossen, die 2. Auflage in erweiterter Form, nämlich in einem Tabellen-Band und einem gesonderten Text-Band erscheinen zu lassen. Damit wurde ein schon ursprünglich gefaßter Plan durchgeführt und gleichzeitig der Wunsch vieler Benutzer und Kritiker erfüllt. Es konnte dadurch eine wesentliche Erweiterung der paragenetischen und differentialdiagnostischen Hinweise erfolgen. Der Textband, der voraussichtlich noch 1957 erscheinen kann, wird diese beiden Kapitel besonders betonen.

In der vorliegenden 2. Auflage der „Tabellen“ wurde eine ganze Reihe von Verbesserungen und Neuerungen eingefügt. So wird der 1. Teil („Bestimmungstabellen“) der „Optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale“ in neuer Auflage zu seinen bisherigen Benutzern rasch viele neue Freunde gewinnen, die sich des Werkes als bewährtem Hilfsmittel sicher sehr gerne bedienen werden. Mit Erscheinen des 2. Teiles (Textbandes) liegt dann ein abgerundetes Werk über die „Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale“ vor, das für jeden Kristallographen, Mineralogen und Petrographen unentbehrlich ist.

## Fluoreszierende Mineralien

für Versuche mit Quarzlampen:

Aragonit, Benitoit, Calcit, Fluorit, Hackmannit, Scheelit und verschiedene andere.  
Sonderliste über Analysenlampen und Versuchsmineralien auf Wunsch!

**Dr. F. KRANTZ · Rheinisches Mineralien-Kontor · BONN, Herwarthstr. 36**

**Mineralien, Gesteine, Petrefakten** aus aller Welt zu günstigen Preisen

**Geiger-Zähler, Wismut-Zähler  
Fluoreszenzlampen** in allen Preislagen  
**ECKERT MINERAL RESEARCH**  
110 East Main Street, FLORENCE, Colorado (USA)

Zahlbar in DM an unsere hiesige Vertretung: Bergassessor Dr.-Ing. Fritz Eckert-Greifendorff,  
Bergwerk-, Industrie- und Baubedarf, Aachen, Höfchensweg 94. Telefon 36 736.



**ABC-DRUCK GMBH HEIDELBERG**  
ODENWALDSTRASSE 72 · TELEFON 31150

Die Farbtafel  
dieses Heftes  
wurde  
in unserem Hause  
hergestellt

**Bisher erschienene „Sonderhefte“  
zur Monatsschrift „DER AUFSCHLUSS“**

- Heft 1: Zur Geologie, Petrographie und Mineralogie des Westharzes (56 Seiten, 29 Abbildungen) . . . . . DM 2,95
- Heft 2: Neue Beiträge zur Kenntnis der Mineral- und Gesteinswelt des Odenwaldes (124 Seiten, 59 Abbildungen) . . . DM 4,90
- Heft 3: Vom Hunsrück zum Westrich  
Zur Geologie des oberen Nahegebietes um Idar-Oberstein (76 Seiten, 50 Abbildungen) . . . . . DM 4,65
- Heft 4: Die Aeolischen Inseln  
von E. NICKEL (32 Seiten, 12 Abbildungen) . . . . . DM 2,25

Der für Mitglieder der VFMG geltende, wesentlich verbilligte Sonderpreis, ist aus den Mitteilungen der Monatsschrift DER AUFSCHLUSS zu ersehen.



