Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 47 (1967)

Heft: 1: Feldspäte

Artikel: Die Thermolumineszenz einiger skandinavischer und nordamerikanischer Plagioklase. Teil V der Laboratoriumsuntersuchungen an Plagioklasen

Autor: Bächtiger, Kurt

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-36958

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 17.07.2025

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

Die Thermolumineszenz einiger skandinavischer und nordamerikanischer Plagioklase

(Teil V der Laboratoriumsuntersuchungen an Plagioklasen)

Von *Kurt Bächtiger* (Zürich)*)

Mit 3 Textfiguren und 1 Tabelle

Abstract

Natural and by X-ray excited thermoluminescence of 21 scandinavian and north american plagioclases was investigated. The author found, that especially acid plagioclases, such as albites and oligoclases, show in many cases a distinct natural thermoluminescence while basic ones have in most cases only a faint one or none. Non-transparent plagioclases have surprisingly in many cases a considerable natural thermoluminescence. In the peristerite-field from 6—16% the natural thermoluminescence seems to be rather feeble. The peaks of the natural thermoluminescence are not statistically distributed, but seem to form at least three characteristic groups according to specific trapping centers. The strongest intensity appears in the case of acid plagioclases rather at low temperatures, in basic ones rather at higher temperatures. The natural thermoluminescence shown by the northamerican samples is in the average thrice greater than the scandinavian ones, which may be attributed to local geology.

The examinated plagioclases show with a "blue receiver" (EMI 6256 S) no distinct line spectrum but a nearly uniform band from 350 to 650 mμ, but it is noted that oligoclases have a spectrum little different from albites. The emitted light can be supposed as white to yellowish, that could be verified on a hot-plate. X-ray excitation produced a thermoluminescence between 40° and 300°C, that was built up, saturated and reduced without any shifting of the main-peak to higher temperatures like at many quartzes with increasing irradiation time. The half of the investigated plagioclases showed a symmetric glow curve with a maximum approximately at 110°—130°C; about one fourth of the samples showed an asymmetric glow curve with the peak at the same temperature but with a dis-

*) Institut für Kristallographie und Petrographie, Eidgenössische Technische Hochschule, Sonneggstrasse 5, 8006 Zürich.

continuous glow till about 300°C. Two albites had a double peak of nearly the same intensity at 120° und 170°C. X-ray induced thermoluminescence is found to be nearly the same for scandinavian and northamerican plagioclases and consequently can be considered as a function of the lattice and of chemical composition.

The artificial spectra are similar to the natural ones, but they have a more pronounced maximum.

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung 366
II. Historisches 367
III. Das Prinzip der Thermolumineszenz 369
IV. Die Messapparatur 370
V. Die Auswahl der Proben und die Durchführung der Experimente . . . 371
VI. Die Resultate 372
VII. Schlussfolgerungen und Ausblicke 381
Literatur 383

I. EINLEITUNG

Auf Anregung von Herrn Prof. Dr. F. LAVES beschäftigt sich der Verfasser seit 4 Jahren intensiv mit der Thermolumineszenz von Bergkristallen, worüber demnächst berichtet werden soll (siehe dazu BÄCHTIGER et al., 1968). Da sich anderseits verschiedene Angehörige des Institutes in den vergangenen Jahren ebenfalls ausführlich mit der Struktur und dem Chemismus von Plagioklasen auseinandergesetzt haben, war es naheliegend, im Rahmen des vorliegenden Feldspatheftes prinzipielle Erscheinungen der Thermolumineszenz auch bei den Plagioklasen herauszuschälen. Dies war insofern eine dankbare Sache, als die nachfolgend beschriebenen Experimente an von BAMBAUER et al. (dieses Heft) gut untersuchten Proben durchgeführt werden konnten. Es durften indessen auf Grund der Komplexität der Plagioklase als solche anfänglich nur geringe Hoffnungen auf klar sichtbare Gesetze gehegt werden, was sich im Verlaufe der Untersuchungen dann allerdings glücklicherweise nicht ganz bestätigte.

Die bisherigen Resultate dienen aber nur als Grundstein für weitere ergänzende Untersuchungen und müssen auch weiter bestätigt werden.

II. HISTORISCHES

Nach KÖHLER und LEITMEIER (1934) soll ALBERTUS MAGNUS aus Schwaben († ca. 1280) der erste gewesen sein, der an Mineralien Lumineszenz-Erscheinungen beschrieb. So stellte er am *Diamanten* bei Erwärmung den von ihm geprägten Begriff „Phosphoreszenz" fest, was nach heutiger Auffassung allerdings als *Thermolumineszenz* zu bezeichnen ist. Diese Beobachtung wurde später von BOYLE (1664 und 1667) und DU FAY (1735) bestätigt, wobei der letztere auch bei *Fluorit* eine Thermolumineszenz beobachtete.

Die Thermolumineszenz von *Feldspat* und gleichzeitig von *Feuerstein* wird 1778 erstmals von Macquer erwähnt. Einige Jahre später wurde dies für einen roten Feldspat von Sachsen auch von WEDGWOOD (1792) bestätigt.

LEONHARD et al. (1817) fanden bei einem dichten Feldspat während einigen Minuten ein *grünes* und bei einem gemeinen, kristallinen Feldspat ein „*pomeranzenfarbenes*" Leuchten, während ein *Labradorit* über eine halbe Minute ein *hellweisses* Licht ausgestrahlt haben soll. Eine vierte Feldspatprobe soll bei zunehmender Erhitzung auf einer Kupferschale zuerst *mattweiss*, dann *gelblich*, *grünlich*, *bläulich* und zuletzt *glänzend-goldgelb* geleuchtet haben. Nach den gleichen Autoren soll das Leuchten bei den *Silikaten i. a. bei 250—375° C* stattgefunden haben.

BREWSTER (1819) erkannte etwas später als erster, dass

1. die Leuchtfarbe von erhitzten Mineralien in keinem Zusammenhange mit der Eigenfarbe des Minerales stehe;
2. durch anhaltendes Erhitzen die Leuchtfähigkeit zerstört werde;
3. verschiedene Individuen desselben Minerales sich verschieden verhalten können, und
4. bei Erwärmung ein Leuchten unabhängig von Reibung (sogenannter Triblumineszenz) entstehen kann.

Interessant ist weiter die Tatsache, dass bereits in den *90er Jahren* des vergangenen Jahrhunderts und um die Jahrhundertwende an der *Universität Bern* unter Prof. Dr. FORSTER offensichtlich systematisch an den Erscheinungen der Thermolumineszenz gearbeitet worden ist, indem nämlich 1889 von BADERTSCHER eine *Dissertation* über den Einfluss der Temperatur auf Phosphoreszenzerscheinungen (speziell Kalzium- und Strontiumsulfid-Phosphore) und 1909 von Zürcher eine solche über die *Thermolumineszenz von Fluoriten, Bergkristallen, Rauchquarzen, Rosenquarzen* und einigen anderen Mineralien erschienen ist. Später wurde von

Hirschi (1923, 1925), der sich zu jener Zeit auch schon intensiv mit der Radioaktivität von Mineralien und Gesteinen beschäftigte, ebenfalls an der Universität Bern die Thermolumineszenz von *Kalifeldspäten* untersucht.

In den 30er Jahren begannen sich vor allem österreichische und deutsche Forscher und vereinzelte anderer Nationen stark für die Thermolumineszenz der Mineralien zu interessieren.

1932 wurde in einer ersten vorläufigen Mitteilung von Köhler und Leitmeier aus dem Mineralogischen Institut der Universität Wien über die Thermolumineszenz fast des gesamten Mineralsystems berichtet. Der Impuls dazu scheint offensichtlich von den Untersuchungsergebnissen an Alkalihalogeniden von Urbach (1926) aus dem Institut für Radiumforschung ausgegangen zu sein. Die zuerst erwähnten Autoren fanden bei *Plagioklasen i. a. keine oder nur eine schwache Thermolumineszenz*, so z. B. spurenweise bis mässig bei Oligoklas (sog. Sonnenstein) von Fredriksvärn und Arendal (Norwegen). Perthite von Bagghagen (Norwegen) sollen *blass fleischrot* geleuchtet haben bei mässiger Intensität; ebenso ergaben ein mässiges Leuchten solche von Gorodischte bei Kiew und vereinzelte von Larvik (Norwegen), während sich die untersuchten Albite, Perikline, Labradore und Anorthite völlig negativ verhalten haben sollen.

1933 fanden Hegemann und Steinmetz in München ein *starkes Leuchten* bei einem migmatitischen *Paradiorit* (Quarz-Glimmer-Diorit) *vom Krottental* (Oberpfalz) und ein deutliches Leuchten bei einem Quarz-Diorit vom Kirnecktal, einem Melaphyr von Herchweiler an der Nahe und bei zwei Diabasen vom Radauthal (Harz) und von Schleiz (südl. Thüringen). Sie führen die natürliche Thermolumineszenz einerseits auf die Plagioklase und bei den letzten drei alten Ergussgesteinen eventuell auch auf eine spätere Stoffzufuhr durch hydrothermale Lösungen zurück.

Kranck (1933) fand zur gleichen Zeit eine *deutliche* Thermolumineszenz bei *Albit von Orijärvi* (Finnland) und eine unmerkliche bis sehr schwache bei Oligoklasen von Tvedestrand (Südnorwegen) bzw. Uuksu (Karelien), wobei Labrador von Kanada keine feststellbaren Lumineszenzerscheinungen gezeigt haben soll.

Später gelangten Köhler und Leitmeier (1934) zur Auffassung, dass das Fehlen einer deutlichen Thermolumineszenz i. a. für die Plagioklase bezeichnend sei; lediglich gewisse *Albite* und einige *Perikline* von Pfitsch in Tirol sollen ausser den bereits erwähnten Oligoklasen von Norwegen ein sehr schwaches und *kurzes Leuchten* gegeben haben.

Etwa zur gleichen Zeit führten Iimori und Iwase (1935) spektrographische Untersuchungen über die Thermolumineszenz von 12 weissen

und „farbigen" Feldspäten durch, ohne dass jedoch genau angegeben wurde, ob es sich im einzelnen Fall um einen Plagioklas oder einen Orthoklas handelt.

Auch BOBKOVÁ (1937) gelangte zur Ansicht, dass der Mangel einer deutlichen Thermolumineszenz für Plagioklase bezeichnend sei, indem nämlich plagioklashaltige Gesteine im Gegensatz zu solchen mit Orthoklas nur schlecht oder überhaupt nicht strahlen sollen. Ausnahmen werden auf Verunreinigungen von Orthoklas in Plagioklas zurückgeführt.

Interessant sind die Untersuchungen von NORTHUP und LEE (1940). Sie prüften *8 Plagioklase* von der *Ostküste der Vereinigten Staaten* auf ihre Thermolumineszenz, Triboluminesz enz und Phosphoreszenz. Eine Fluoreszenz oder Phosphoreszenz fanden sie bei keinem Plagioklas; 5 Plagioklase zeigten hingegen eine weisse Triboluminesz enz und *alle*, wenn auch *schwache Thermolumineszenz*. Die Farbe des emittierten Lichtes war generell weiss mit einer Nuancierung gegen bläulich oder gelblich. Einzig bei den Albiten (Clevelandit) von Portland (Connecticut) und Amelia (Virginia) wurde ein hellgrünes bzw. schwaches bläulichgrünes Leuchten beobachtet. Ausserdem machten sie noch die wichtige Feststellung, dass UV-Strahlung weder in Orthoklasen noch in Plagioklasen eine Thermolumineszenz erzeugen kann.

Seither scheint nicht mehr auf der Thermolumineszenz von Plagioklasen gearbeitet worden zu sein.

III. DAS PRINZIP DER THERMOLUMINESZENZ

Als Thermolumineszenz wird diejenige Lumineszenz bezeichnet, die bei gewissen Körpern durch Erwärmung ausgelöst wird, selbst aber nicht durch die Erhitzung erzeugt worden ist. Die *Anregung zur Thermolumineszenz kann durch 2 prinzipielle Faktoren erzeugt werden:* Einerseits ist durch Versuche festgestellt worden, dass unmittelbar nach der *Kristallisation eines Stoffes* bereits eine Thermolumineszenz vorhanden sein kann und durch Erhitzung sichtbar gemacht werden kann. Man nimmt an, dass die Fähigkeit zur Thermolumineszenz in diesem Falle durch freiwerdende Kristallisationsenergie erzeugt worden ist, die zusammen mit Fehlstellen im Gitter und Fremdatomen eine Speicherung von gewissen Elektronen in Haftstellen (Traps) unterschiedlicher Tiefe zwischen Valenzband und Leitfähigkeitsband bewirkt hat.

Anderseits kann vor allem *durch Einwirkung von Photonen (Gamma-, Röntgen- und UV-Strahlung) oder Korpuskularstrahlung (Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung)* in vielen Stoffen eine Thermolumineszenz

erzeugt werden. Dies kann bei Mineralien einerseits durch eine *natürliche Radioaktivität der Umgebung* (uran- und thoriumhaltige Mineralien und Wässer), anderseits durch *künstliche Bestrahlung* im Labor geschehen. Ist bei den Mineralien die *Thermolumineszenz durch Kristallisation und/oder natürliche Radioaktivität* erzeugt worden, so wird sie als *natürliche Thermolumineszenz* definiert, während die *durch Strahlung im Labor* erzeugte Thermolumineszenz als *künstliche* bezeichnet wird. Bei Bestrahlung können sich die 3 genannten Erzeugungseffekte natürlich auch wechselweise überlagern und eine eventuell bereits vorhandene natürliche Thermolumineszenz in unterschiedlichem Masse verstärken. Es kann aber auch beim Fehlen einer natürlichen Thermolumineszenz nach Bestrahlung trotzdem eine beachtliche künstliche auftreten, die dann auf „latente Zentren" bei Fehlstellen und Fremdatomen im Gitter zurückzuführen ist.

Als erster hat URBACH (1926) ein *Modell über den Mechanismus der Thermolumineszenz* gegeben. Später haben GURNEY und MOTT (1958, 1940), RANDALL und WILKINS (1945) und GARLICK (1949) die Thermolumineszenz-Vorgänge *mathematisch zu formulieren versucht.* In neuester Zeit haben vor allem SCHÖN (1953, 1958), HOUTERMANS et al. (1957) und MARINTSCHUK und PERLIN (1960) viele physikalische und mathematische Überlegungen gemacht, um die Thermolumineszenz-Erscheinungen besser interpretieren zu können. Da in unserem Falle die Untersuchung der Thermolumineszenz der Plagioklase noch nicht so weit fortgeschritten ist, hat es einstweilen keinen Sinn, auf die mathematischen Interpretationen weiter einzugehen und für detaillierte Auskünfte sei auf die erwähnten Arbeiten verwiesen.

IV. DIE MESSAPPARATUR

Die für die Untersuchungen verwendete Apparatur wurde im Verlaufe der letzten 4 Jahre von Herrn Ing. G. O. Brunner und seinen Mitarbeitern am Institut für Kristallographie und Petrographie der ETH in Zürich entworfen und konstruiert. Sie beruht auf dem Prinzip eines *Doppelstrahlspektrometers,* das ausführlich von BRUNNER (1964) beschrieben worden ist. Auf Grund von Testversuchen und fortlaufenden wissenschaftlichen Experimenten wird die Apparatur fortwährend verbessert. In neuester Zeit erfolgte der Aufbau von *direkten Röntgen- und UV-Bestrahlungsquellen,* die das Arbeiten wiederum gewaltig erleichtern und die Präzision der Experimente und die Anzahl der Versuche im gleichen Zeitraum gegenüber früher wesentlich erhöhen.

V. DIE AUSWAHL DER PROBEN UND DIE DURCHFÜHRUNG DER EXPERIMENTE

A. Die Proben

Für die vorliegende Untersuchung wurden 21 Plagioklase verwendet, die im Verlaufe der vergangenen Jahre, wie bereits erwähnt, von BAMBAUER et al. (dieses Heft) systematisch untersucht worden sind und von denen noch genügend Material vorhanden war. Bei diesen Proben bestand infolgedessen die grösste Wahrscheinlichkeit, irgend ein Gesetz zwischen Thermolumineszenz und Chemismus und Struktur zu finden. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, stammen *10 Proben aus Skandinavien, 9 Proben aus Nordamerika*, 1 Probe aus Afrika, und bei 1 Probe ist der Fundort unbekannt. Bei allen Proben wurde das Material von idiomorphen Kristallen entnommen, die entweder pegmatitisch, pneumatolytisch oder hydrothermal gewachsen sind. Nur 3 Proben, nämlich diejenigen von Amelia (Va.), Sultan Hamud (Kenya) und Bakersville (N. C) waren von vollständig farbloser, durchsichtiger Beschaffenheit; 2 weitere Proben, die von Lake View (Oregon) und von Quebec (Kanada) sind schwach durchsichtig (gelblich) bzw. schwach milchig. Von den restlichen 16 Proben sind 13 undurchsichtig milchig- bis porzellanweiss und 3 sogar hell fleischrot bis „kupferrot" durch Einschlüsse von Hämatitblättchen.

Die einzelnen Proben wurden in einem Stahlmörser relativ grob pulverisiert. Wie sich nach den Voruntersuchungen von BÄCHTIGER et al. (1968) zeigte, erwies sich die *Fraktion von 120—180 μ* (0,12—0,18 mm) als sehr günstig, indem das Pulver einerseits nicht so fein war, dass durch das Mörsern viele Zentren der natürlichen oder anregbaren Thermolumineszenz zerstört worden wären, anderseits nicht so grob, dass nur einige wenige Körner auf den Ofen gebracht werden konnten, die dann nicht mehr einen Durchschnittswert repräsentiert hätten. Mit Hilfe von zwei entsprechenden Nylonsieben wurde die gewünschte Fraktion nach jeweils wenigen Mörserschlägen ausgesiebt, um Effekte der Triboluminesszenz so weit als möglich auszuschalten. Das gröbere Material wurde weiter verarbeitet, das feinere entfernt.

B. Die Vorversuche und die Durchführung der Experimente

Da sowohl die Zeit als auch der Umfang der Untersuchung begrenzt waren, beschränkte sich der Verfasser auf die Prüfung der natürlichen und einer durch Röntgenstrahlung erzeugten Thermolumineszenz. Wei-

tere Versuche mit γ- und Neutronenstrahlung werden in nächster Zukunft folgen.

Zuerst wurde mit einem sogenannten „Blauempfänger", einer Aufheizgeschwindigkeit von 2°/sec und einem Zeitmittel von 2,5 sec bei allen 21 Proben die *natürliche Thermolumineszenz* in Form der sogenannten *Glowkurve* (ganzes Spektrum) gemessen. Aus Raumgründen können leider nur die wichtigsten *Peak-Temperaturen* und ihre *Intensitäten* anstelle der spezifischen Glowkurve angegeben werden (Tabelle 1). Es wurde jedoch versucht, die Peaks *vier verschiedenen Gruppen* zuzuordnen. Anschliessend wurden die am stärksten leuchtenden Proben auf ihr Spektrum hin untersucht. Dies war insofern interessant, als 4 Proben des vorliegenden Untersuchungsmateriales in bezug auf ihren Fundort mit den Proben Nr. 1, 2, 3 und 6 von NORTHUP und LEE (1940) übereinzustimmen scheinen und somit zumindest ähnliche Resultate zeigen sollten.

Um auch bei den Plagioklasen mit sehr schwacher natürlicher Thermolumineszenz eine relativ starke Thermolumineszenz durch *Röntgenstrahlung* zu erzeugen, musste anhand von Vorversuchen diejenige *Bestrahlungszeit* gefunden werden, bei der eine *maximale Lichtemission* auftritt. *Testversuche* mit dem *Albit von Portland* und den *Oligoklasen* von *Bakersville* und *Hemet*, wobei während des ganzen Versuches dieselbe Substanz verwendet wurde, zeigten, dass bei 40 bzw. 80 Min. Bestrahlungsdauer eine gewisse Sättigung erreicht ist, die bei 320 Min. Dauer sogar wieder abzunehmen scheint. Dies kann allerdings insofern nicht ganz sicher ausgesagt werden, als sich im Laufe einer Stunde ziemlich starke Spannungsunterschiede im Netz zeigten, was bei genau gleicher Bestrahlungszeit Differenzen in der Intensität der Thermolumineszenz bis zu 20% ausmachen dürfte. Auf Grund dieser Feststellungen wurde eine *Bestrahlungsdauer von 90 Min.*, eine *Spannung von 50 kV* und eine *Stromstärke von 20 mA* gewählt.

VI. DIE RESULTATE

A. Die natürliche Thermolumineszenz der untersuchten Plagioklase

1. Allgemeine Feststellungen

Beim Betrachten von Fig. 1 fällt uns sofort auf, dass bei den *Plagioklasen mit zunehmendem Ca-Gehalt die natürliche Thermolumineszenz zusehends kleiner wird oder gar zu fehlen scheint*, indem nämlich ein fast

Tabelle 1. *Intensitäten und Peak-Temperaturen der natürlichen Thermolumineszenz von 21 untersuchten Plagioklasen*

T_I Temperatur des Peak und Gruppe
I_I Intensität des Peak in relativen Einheiten und Gruppe

Nr.	Fundort	Anorthitgehalt[1])	Eigenfarbe	T_I	I_I	T_{II}	I_{II}	T_{III}	I_{III}	T_{IV}	I_{IV}
P 185	Newry (Maine)	0,4	milchigweiss	—	—	310°	220	—	—	420°	145
P 191	Amelia (Virginia)	0,4–0,6	farblos, durchsichtig	160°	10	—	—	—	—	—	—
P 178	Portland (Connecticut)	2,0/5,4	porzellanweiss	—	—	290°	220	360°	135	—	—
P 1	Fundort unbekannt	6,0	porzellanweiss	—	—	290°	10	—	—	—	—
P 129	Gregory Bottley (Norwegen)	10,8	milchig, rötlichweiss	—	—	280°	10	360°	15	—	—
P 176	Bamle (Norwegen)	11,0	milchig, rötlichweiss	—	—	280°	10	350°	15	—	—
P 14	Twedestrand (Norwegen)	11,0	grauweissfleischrot	—	—	280°	25	—	—	—	—
P 102	Stockholm	12,0	milchigweiss	—	—	—	—	—	—	—	—
P 46	Ytterby, Schweden	13,7	milchigweiss	—	—	280°	40	370°	30	—	—
P 84	Sultan Hamud (Kenya)	16,5	farblosgrünlich	220°	10	310°	20	—	—	—	—
P 171	Norwegen	17,2	milchigweiss	—	—	280°	115	—	—	400°	60
P 2	Utö (Schweden)	17,6	milchigweiss	—	—	310°	15	—	—	420°	30
P 86	Buckingham (Quebec)	18,5	milchigweiss	—	—	270°	100	360°	60	—	—
P 111	Bakersville (N. Carolina)	19,2/20,7	farblos, durchsichtig	—	—	270°	180	—	—	460°	80
P 166	Arendal (Norwegen)	21,5	grauweiss	—	—	270°	25	—	—	410°	30
P 170	Kragerö (Norwegen)	25,3	fleischrot	—	—	—	—	350°	20	—	—
P 193	Twedestrand (Norwegen)	25,6	fleischrotkupferrot	—	—	270°	60	330°	40	—	—
P 31	Quebec	27,8	milchig	—	—	—	—	—	—	—	—
P 179	Kalifornien	30,0	rötlich, porzellanweiss	—	—	320°	20	—	—	390°	125
P 174	Hemet (California)	30,0	rötlich, porzellanweiss	—	—	—	—	340°	20	440°	50
P 40	Lake View (Oregon)	59,1	gelblich	—	—	—	—	—	—	—	—

[1]) Nach CORLETT und EBERHARD (dieses Heft).

reiner Albit (Nr. 185) und ein Peristerit (Nr. 178) die stärkste Thermolumineszenz mit je ca. 220 relativen Einheiten zeigen, während ein Oligoklas mit ca. 30% Anorthit-Gehalt nur noch eine Intensität von 50 bzw. 20 rel. Einheiten und ein anderer Oligoklas mit 27,8% Anorthit und ein Bytownit mit 59,0% Anorthit praktisch überhaupt keine natürliche Thermolumineszenz mehr zeigen. Es muss in diesem Zusammenhang vielleicht noch einmal erwähnt werden, dass bereits KRANCK (1933) zu gleichen Resultaten kam, wenn er es auch infolge seiner geringen Anzahl von Proben noch nicht als „Gesetz" erkannte.

Dazu kommt weiterhin die interessante Tatsache, dass im Mischungsbereich von ungefähr 6—16% Anorthit, der nach freundlicher Mitteilung von Herrn PD Dr. EBERHARD dem sogenannten *Peristerit-Bereich* entspricht, mit einer einzigen Ausnahme (Nr. 178) ebenfalls eine *sehr schwache natürliche Thermolumineszenz* vorzuliegen scheint.

Auf Fig. 1 wurde auch versucht, die maximalen Intensitäten *4 verschiedenen Temperaturgruppen* und damit vielleicht *spezifischen Haftstellen-Tiefen* zuzuordnen. Wie man nämlich aus Tabelle 1 ersehen kann, scheint für die verschiedenen Peaks nicht eine statistische Verteilung der Temperaturen vorzuliegen, sondern gewisse Peak-Temperaturen (z. B. 270—290° C) erscheinen deutlich gehäuft, so dass diese Annahme durchaus zu Recht besteht. Dazu muss allerdings noch gesagt werden, dass die *Abgrenzung*, wie auch Tabelle 1 zeigt, nicht immer eindeutig möglich war und deshalb vorläufig nur *provisorischen Charakter* haben kann. In diesem Sinne könnte man aber dennoch zur Ansicht gelangen, dass bei den *Albiten* und *Oligoklasen* die stärkste *natürlich vorhandene Thermolumineszenz* eher bei *relativ tiefen Temperaturen*, nämlich bei ca. 160—320° C auftritt, während bei den *Ca-reicheren Gliedern* der Plagioklas-Gruppe die stärkste natürliche Thermolumineszenz eher *bei höheren Temperaturen*, nämlich bei 390—460° C erscheint, wobei die zweitstärkste Intensität vielfach auch in der dazwischenliegenden Temperaturgruppe (330 bis 370°) gefunden werden kann. Dies heisst, dass *bei den Ca-reicheren Plagioklasen die Elektronen* entweder durch primäre Vorgänge (Kristallisation) oder durch sekundäre (Entmischung, Strahlungseinflüsse) *eher in tieferen und damit energiereicheren Haftstellen* zu sitzen pflegen.

Wenn wir abschliessend die maximale Intensität der natürlichen Thermolumineszenz in bezug auf die *geographische Lage des Fundortes* noch kurz vergleichen wollen (siehe dazu Fig. 1, oben rechts), so ist es immerhin interessant festzustellen, dass die *nordamerikanischen Plagioklase* linear und generell gesehen eine vielleicht *ca. 3mal grössere natürliche Thermolumineszenz als die skandinavischen* aufweisen, wofür allerdings

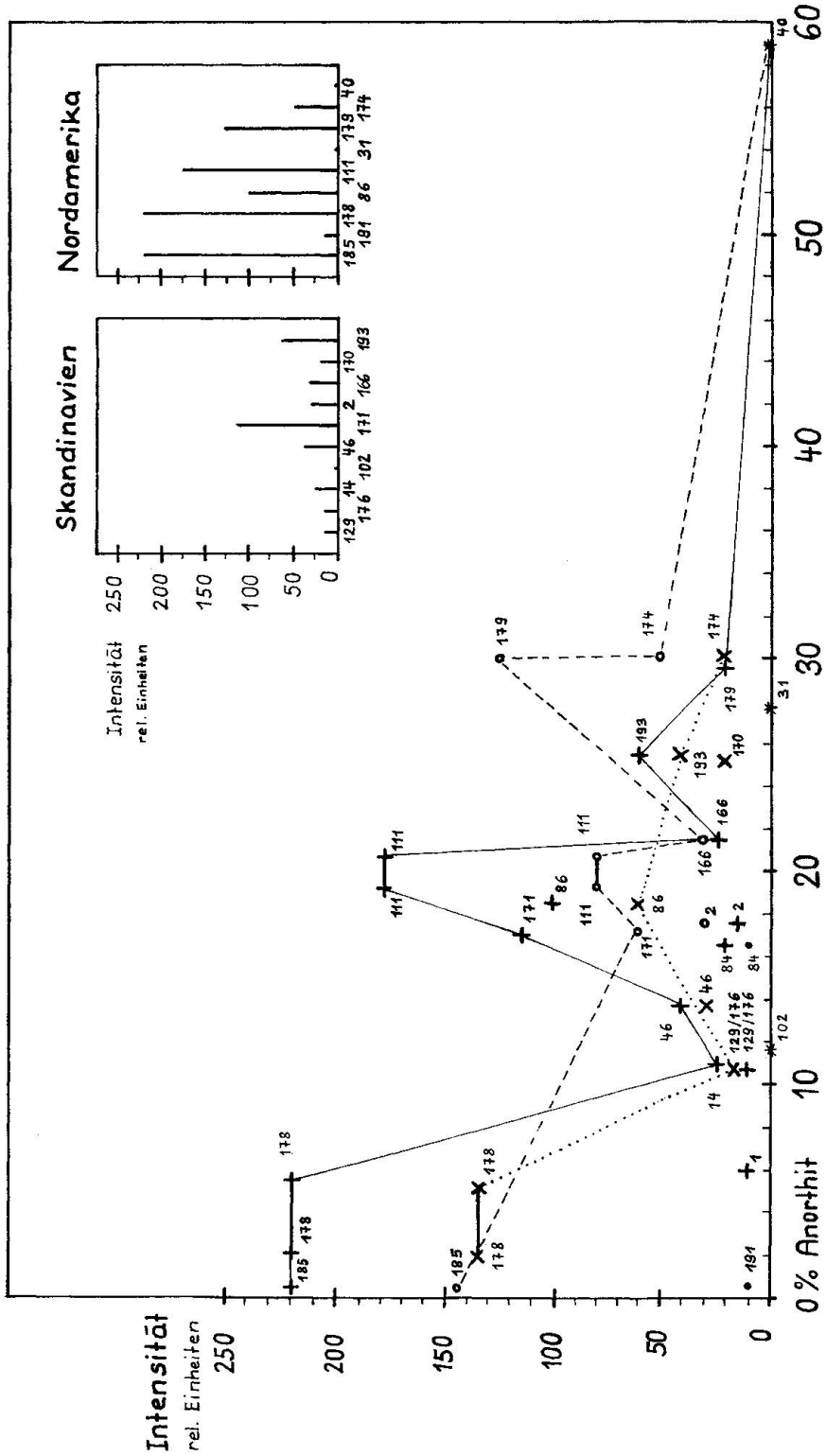

Fig. 1. Die natürliche Thermolumineszenz von skandinavischen und nordamerikanischen Plagioklasen als Funktion des Anorthit-Gehaltes.

• 160—220°C + 270—320°C × 330—370°C ○ 390—460°C

* Keine oder nur sehr schwache natürliche Thermolumineszenz.

bis heute keine ausreichende Erklärung gegeben werden kann. Es muss dies entweder mit den spezifischen Bildungsbedingungen der regionalen Petrogenese oder vielleicht auch mit der Radioaktivität des Nebengesteins zusammenhängen.

Da aber bis jetzt nur 21 Plagioklase untersucht werden konnten, sind alle diese „Regeln" noch mit einer gewissen Vorsicht aufzunehmen und durch weitere umfassende Untersuchungen gründlicher abzuklären und zu bestätigen.

2. Durchsichtigkeit, Eigenfarbe und Intensität der natürlichen Thermolumineszenz

Durch Vergleiche dieser drei Eigenschaften soll geprüft werden, in welcher Beziehung die Intensität zu einem eventuellen H_2O- oder OH^--Gehalt steht. Entsprechende exakte Untersuchungen über die zuletzt erwähnten Eigenschaften sind soeben von Herrn PD Dr. E. Eberhard (mündliche Mitteilung) durchgeführt worden. Wie wir aus Tabelle 1 ersehen können, finden wir die *stärkste natürliche Thermolumineszenz bei dem milchigweissen, leicht rötlichen Albit von Newry,* dem porzellanweissen Albit von Portland, einem milchigweissen Oligoklas von Norwegen, einem milchigweissen von Buckingham, dem farblos durchsichtigen von Bakersville und dem rötlich-porzellanweissen von Kalifornien.

In den meisten Fällen sind es also auf Grund der Trübung und Eigenfarbe eher wasser- oder wasserstoffreiche Plagioklase, die eine starke natürliche Thermolumineszenz entwickeln, woraus zu schliessen wäre, dass *ein H_2O- oder OH^--Gehalt nicht unbedingt ein Hindernis für die Entstehung einer natürlichen Thermolumineszenz* sein muss. Dieser Zusammenhang wird im Moment von Bächtiger et al. (1968) auch bei den alpinen Bergkristallen untersucht, deren H_2O-, OH^-- und H_2-Gehalte in vielen Fällen schon von Bambauer (1961), Bambauer et al. (1962, 1963) und Brunner et al. (1961) bestimmt worden sind.

3. Die Spektren einiger Peaks

Auf Grund der gefundenen Intensitäten wurden als am stärksten leuchtende Plagioklase die *Albite von Newry und Portland* und die *Oligoklase von Bakersville und Kalifornien* untersucht.

Die Aufnahmen mit dem „*Blauempfänger*" zeigten dabei, dass es sich bei den beiden *Albiten* in keiner Weise um scharfe Intensitätsmaxima handelt, sondern um ein mehr oder weniger *gleichmässiges Band,* das sich

noch über das Messgebiet von 350—650 mμ hinaus fortsetzt. Falls man dieses Spektrum mit einem physiologischen Farbeindruck wiedergeben möchte, muss man die gemessenen Intensitäten umrechnen, wobei die Wellenlängenabhängigkeit der Empfindlichkeit des Empfängers (EMI 6256 S) und die spektrale Durchlassbreite des Monochromators (Quarzglas-Prisma) zu berücksichtigen sind. Dies ergibt einen *leichten Intensitätsanstieg gegen 600 mμ*. Da aber einerseits die Konstanten des „Blauempfängers" über 600 mμ hinaus nicht mehr bekannt sind und anderseits die Korrektur bei diesem Wert schon sehr gross ist, ist eine *Extrapolation unzulässig* und eine physiologische Farbangabe auf Grund des nur schwachen Anstieges gegen 600 mμ ungenau. Die beiden *Oligoklase* scheinen aber insofern etwas anders zu leuchten, als bereits die unkorrigierten Spektren ein schwaches Maximum bei ca. 550 mμ aufweisen, was *nach der Korrektur* als relativ *steiler Anstieg gegen 600 mμ* zur Geltung kommt. Auch hier kann aus denselben Gründen anhand des gemessenen Spektrums keine konkrete Farbe mit Sicherheit angegeben werden.

Um diese technischen Schwierigkeiten zu beheben, wurde auf die alte Methode der *Heizplatte* zurückgegriffen. Dabei zeigte es sich, dass sowohl die beiden *Albite als auch* die beiden *Oligoklase* entweder beim Aufheizen oder auf die heisse Platte gestreut im Dunkeln als Pulver *weiss aufleuchten*. Infolge der relativ geringen Intensität ist es aber für das feine Pulver praktisch unmöglich, irgendwelche Farbnuancierungen anzugeben. Dies ist nur bei grösseren Kristallbruchstücken möglich, die dem Verfasser leider nicht zur Verfügung standen.

Die von NORTHUP und LEE (1940) bei den Albiten von Newry und Portland gefundene blass gelblichweisse bzw. hellgrüne natürliche Thermolumineszenz scheint damit in Anbetracht der Umstände etwa der von uns gemessenen spektralen Intensitätsverteilung und der beobachteten Leuchtfarbe zu entsprechen.

B. Durch Röntgenstrahlung erzeugte Thermolumineszenz

Zwei interessante Phänomene theoretischer Natur, die bei weiteren Plagioklasen zwar noch weiter geprüft werden müssen, zeigten sich schon in diesem Vorversuch. Einerseits ist es die Tatsache, dass im Gegensatz zu vielen Bergkristallen, wo nach BÄCHTIGER et al. (1968) nach der Röntgenbestrahlung vor allem eine Verstärkung eines natürlichen Peaks erfolgte, beim *Albit von Portland* (Nr. 178) schon *bei 1 Min. Bestrahlung ein relativ breiter Peak zwischen 40° und 300°* mit der Haupt-

spitze bei 200° und einer Nebenspitze bei ca. 110° entsteht, während der *natürliche Peak zwischen 200° und 400°* liegt mit der Hauptspitze bei 290° und einer Nebenspitze bei 360° (Fig. 2).

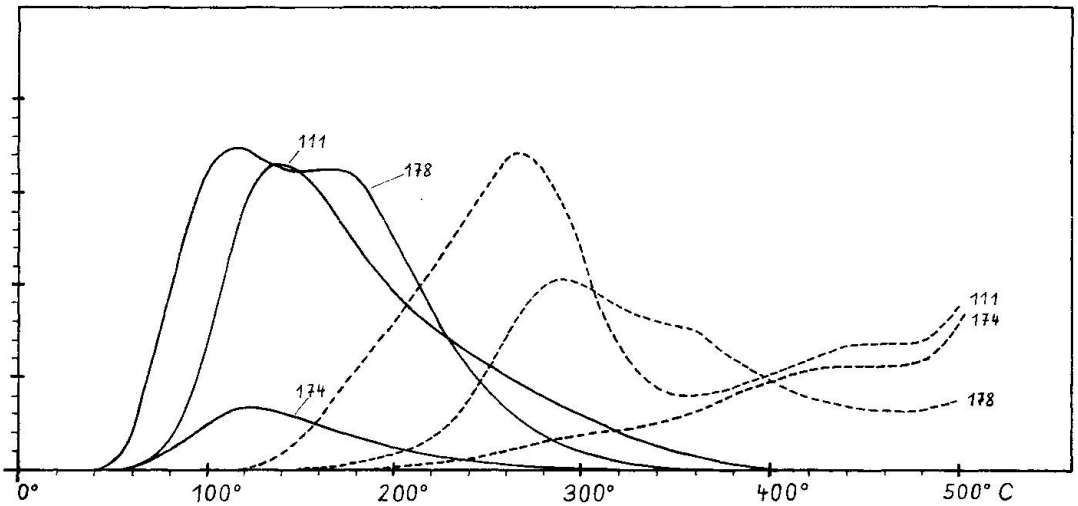

Fig. 2. Die Glow-Kurven der natürlichen und durch Röntgenstrahlung erzeugten Thermolumineszenz am Beispiel des Albites von Portland (Nr. 178) und der Oligoklase von Bakersville (Nr. 111) und Hemet (Nr. 174). Die Intensitäten der natürlichen Thermolumineszenz verhalten sich zur künstlichen bei den Proben Nr. 111 und 174 wie 1 : 500, bei 178 wie 1 : 200.

----- Natürliche Thermolumineszenz.
——— Künstliche Thermolumineszenz (160 Min. röntgenbestrahlt, 50 kV, 20 mA, ungefähre Sättigung).

Die zweite Überraschung brachten die Versuche mit *zunehmender Dauer der Bestrahlungszeit.* Während nach BÄCHTIGER et al. (1968) bei den Bergkristallen mit zunehmender Bestrahlungszeit die Peaks der tiefen Temperaturen zuerst aufgebaut, gesättigt und auf Kosten neu entstehender Peaks von höherer Temperatur wieder abgebaut werden, war es bei allen 3 Testproben so, dass nur der schon nach 1 Min. Bestrahlung sichtbare *Peak-Bereich ohne jegliche Verschiebung aufgebaut, gesättigt und scheinbar wieder abgebaut wird* und dass *keinerlei neue Peaks bei höherer Temperatur* auftreten. Dies heisst, dass bei der Röntgenbestrahlung von Plagioklasen, im Gegensatz zu den meisten Bergkristallen, in den meisten Fällen nur ein einziges spezifisches Haftniveau mit Elektronen angereichert und gesättigt wird. Die Breite des Peaks schliesst allerdings in einigen Fällen ein diskretes Niveau einheitlicher Energie aus, und es muss eher von einer Streuung der Haftstellen in einem gewissen Energiebereich gesprochen werden.

1. Die Temperaturen der Peaks und deren Intensität

Von den 21 untersuchten Proben zeigen *11 einen einfachen*, d. h. mehr oder weniger *symmetrischen Peak*, dessen Maximum bei einer Aufheizgeschwindigkeit von 2°C/sec ungefähr *zwischen 120° und 130°* bei fast allen Proben liegt; einzig beim Oligoklas von Quebec ausnahmsweise bei 110°. Dazu kommen noch *6 weitere*, nämlich die Albite von Newry und von einem unbekannten Fundort, und die Oligoklase von Stockholm, Norwegen, Sultan Hamud und Bakersville, die *keine symmetrische Kurve* zeigen, sondern meist diskontinuierlich abnehmend vereinzelt *bis 300° leuchten*, was auf kleinere Nebenpeaks höherer Temperatur zurückzuführen ist, die aber infolge ihrer geringen Intensität nicht als selbständige Peaks zur Geltung kommen können. Von den restlichen 4 Plagioklasen zeigt der Bytownit von Lake View auch nach 1½ Std. Röntgenbestrahlung keine Thermolumineszenz, während die beiden *Albite von Amelia und Portland* je einen sehr schönen *Doppelpeak* von fast gleicher Intensität bei *110° und 170° bzw. 120° und 170°* und der Oligoklas von Ytterby einen halb so starken Nebenpeak bei ca. 260° aufweisen. Die drei zuletzt erwähnten Plagioklase haben demnach im Gegensatz zu den zuerst erwähnten *zwei* spezifische *Haftniveaus*, und zwar zu dem mit der ersten Gruppe gemeinsamen Niveau (entsprechend den Peaks zwischen 110° und 130°) ein *zusätzlich tieferes*. Die Gründe dafür konnten bis heute allerdings noch nicht herausgefunden werden.

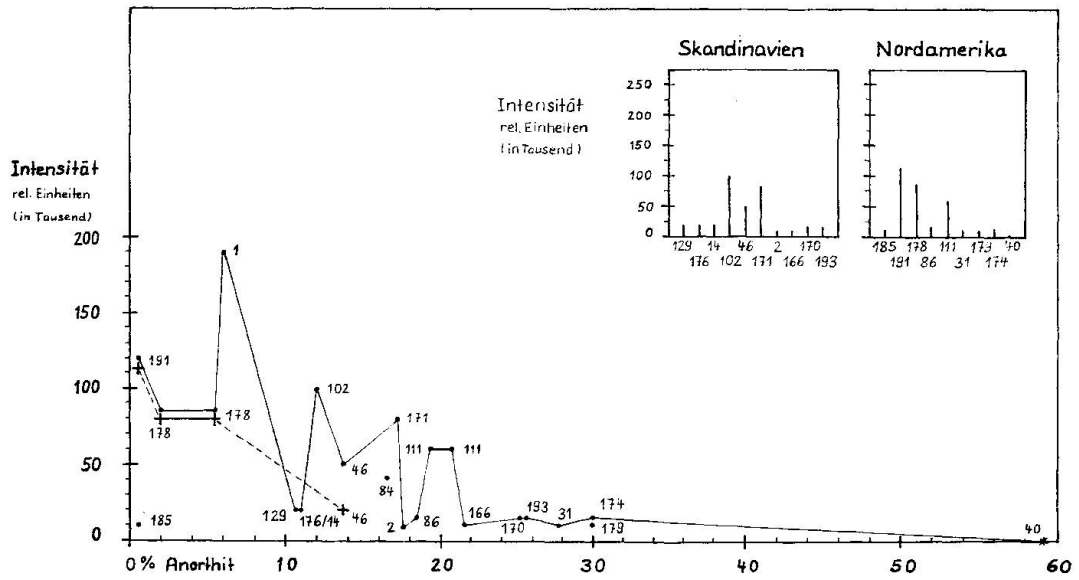

Fig. 3. Durch Röntgenbestrahlung erzeugte Thermolumineszenz von skandinavischen und nordamerikanischen Plagioklasen als Funktion des Anorthit-Gehaltes.
• 110—130°C + 160—180°C

Die mehr oder weniger systematische Abnahme der Thermolumineszenz mit zunehmendem Ca-Gehalt zeigte sich aber vollends deutlich, wenn diese einer *einheitlichen Bestrahlungsdosis* ausgesetzt werden (Fig. 3). Dabei weist der Bytownit von Lake View auch nach Bestrahlung praktisch keine Thermolumineszenz auf, während die nächstfolgenden *6 Oligoklase* mit einem Anorthitgehalt von 21,6—31,2% in der Versuchsserie nur eine mässige Lumineszenz zeigen. Eine gewisse Ausnahme davon macht der Oligoklas von Bakersville mit seiner auch schon beträchtlichen natürlichen Thermolumineszenz. Die beiden nachfolgenden Oligoklase von Utö und Buckingham sind wieder eher schwach leuchtend, während die weiteren Oligoklase und Albite — mit Ausnahme der 3 Peristerite von Norwegen — alle eine *generell zunehmende Intensität mit abnehmendem Ca-Gehalt* zeigen. Paradox ist die Situation allerdings bei den Albiten von Newry und Amelia; während der milchigweisse Albit von Newry mit seiner sehr starken natürlichen Thermolumineszenz auch nach der Röntgenbestahlung von 90 Min. nur eine geringe Intensität zeigt, weist der Albit von Amelia mit seiner sehr schwachen natürlichen Lumineszenz nach der gleichen Behandlung eine starke künstlich erzeugte Thermolumineszenz auf; dasselbe gilt auch für den porzellanweissen Albit von einem unbekannten Fundort. Auch für dieses Phänomen fand der Verfasser bis jetzt keine befriedigende Erklärung.

Wenn man abschliessend die künstlich erzeugten Intensitäten nach Fundorten in Skandinavien und Nordamerika statistisch aufträgt, sieht man, dass im Gegensatz zur natürlichen Thermolumineszenz die Summen der Intensitäten beider Gruppen einander etwa gleich sind, d. h. die *künstlich erzeugte Thermolumineszenz ist eine Funktion des Kristallgitters und der chemischen Zusammensetzung* und nicht der geographischen Lage wie bei der natürlichen Thermolumineszenz.

2. Die Spektren einiger Peaks

Auf Grund der durch 90 Min. Röntgenbestrahlung erzeugten künstlichen Thermolumineszenz wurden für die Untersuchung des Spektrums die am stärksten leuchtenden Proben Nr. 191 (Amelia), 1 (Fundort unbekannt), 178 (Portland) und 102 (Stockholm) ausgewählt.

Dabei zeigte mit dem „Blauempfänger" vor allem der *Oligoklas von Stockholm* schon im unkorrigierten Spektrum ein relativ starkes Maximum bei ca. 550 mμ. Die Umrechnung ergab einen *starken Intensitätsanstieg gegen 600 mμ*, was vermutlich ebenfalls einem gelblichweissen Leuchten entsprechen würde. Auch die drei andern Plagioklase zeigten

diesen Intensitätsanstieg gegen 600 mμ mehr oder weniger deutlich, und zwar sowohl im Peak der tieferen als auch der höheren Temperatur.

VII. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICKE

Kurz zusammengefasst brachte die vorliegende Untersuchung die folgenden grundlegenden Tatsachen in bezug auf die Thermolumineszenz der Plagioklase zutage:

1. Im Gegensatz zu den Beobachtungen der meisten früheren Autoren haben vor allem die sauren Plagioklase vielfach eine deutliche natürliche Thermolumineszenz.
2. Die natürliche Thermolumineszenz nimmt mit zunehmendem Anorthitgehalt eher ab.
3. Die natürliche Thermolumineszenz der Plagioklase ist keine Funktion der Durchsichtigkeit des Minerales; bei undurchsichtigen, milchigen ist sogar eher eine grössere Intensität zu erwarten.
4. Im Peristerit-Bereich von 6—16% ist die natürliche Thermolumineszenz eher schwach.
5. Die Peaks der natürlichen Thermolumineszenz sind nicht statistisch verteilt, sondern lassen sich mehr oder weniger gut in mindestens 3 charakteristische Gruppen, die spezifischen Haftniveaus entsprechen, einteilen.
6. Die stärkste natürliche Thermolumineszenz tritt bei sauren Plagioklasen eher bei tieferen Temperaturen, bei basischeren eher bei höheren Temperaturen auf.
7. Nordamerikanische Plagioklase zeigten auf Grund von ca. 20 Proben eine durchschnittlich 3mal grössere natürliche Thermolumineszenz als die skandinavischen.
8. Die mit einem Blauempfänger geprüften Plagioklase zeigen keinerlei scharf begrenzte schmale Intensitätsmaxima, sondern ein fast gleichmässiges Band von 350—650 mμ. Die Oligoklase scheinen dabei ein etwas anderes Spektrum als die Albite zu haben.
9. Durch Röntgenbestrahlung wird schon nach kurzer Zeit eine Thermolumineszenz zwischen 40° und 300° erreicht, die mit zunehmender Bestrahlungsdosis aufgebaut, gesättigt und wieder abgebaut wird, aber sich im Gegensatz zu den meisten Quarzen nicht gegen höhere Temperaturen verschiebt.

10. Die Hälfte der untersuchten Plagioklase zeigten nach der Röntgenbetrahlung bei einer Aufheizgeschwindigkeit von 2° C/sec eine symmetrische Glowkurve mit einem Maximum bei 110°—130°.
11. Ein Viertel zeigen eine asymmetrische Glowkurve mit einem Hauptpeak bei 110°—130° und einem diskontinuierlich abnehmenden Leuchten bis zu 300°.
12. Zwei Albite weisen einen Doppelpeak fast gleicher Intensität bei ca. 120° und 170° auf.
13. Die künstliche Thermolumineszenz ist statistisch gesehen für nordamerikanische und skandinavische Plagioklase etwa gleich; d. h. sie ist eine Funktion des Kristallgitters und der chemischen Zusammensetzung und nicht der geographischen Lage.
14. Die Spektren der künstlichen Thermolumineszenz sind bei den meisten Plagioklasen den natürlichen Spektren ähnlich; lediglich der Intensitätsanstieg gegen 600 mμ ist im korrigierten Spektrum etwas stärker, weshalb ein gelblichweisses Leuchten vermutet wird.
15. Eine fundamentale Frage liegt schliesslich noch darin, ob eine Beziehung zwischen der Temperatur der Thermolumineszenz und derjenigen der Bildung eines Plagioklases besteht und von welcher Art diese ist. Die Erhöhung der Peak-Temperatur mit zunehmendem Anorthit-Gehalt macht eine solche Korrelation, wenn auch von sehr komplexer Natur, wahrscheinlich.

Auf Grund der gefundenen Resultate sollen nun in nächster Zeit vor allem Albite, Perikline und Adulare aus alpinen Zerrklüften auf ihre Thermolumineszenz hin untersucht werden.

Abschliessend möchte der Verfasser in erster Linie Herrn Prof. Dr. F. Laves für die Einführung der Thermolumineszenz am Institut und für die Beschaffung der sehr grossen finanziellen Mittel für den Bau der modernen Apparatur danken, die zu einem grossen Teil in verdankenswerter Weise von der Owens-Illinois Inc., Toledo (Ohio), aufgebracht worden sind.

Ein Stipendium des Nationalfonds ermöglichte dem Verfasser die Voruntersuchungen und Experimente an Bergkristallen zu machen, worüber in einer späteren Arbeit ausführlich berichtet werden soll.

Wertvolle Ratschläge und Diskussionen verdankt der Verfasser auch den Herren Ing. G. O. Brunner, PD Dr. E. Eberhard und Dipl.-Physiker H. Boehm, wobei vor allem Herrn Ing. G. O. Brunner und Herrn H. Haas für den Bau der modernen Apparatur Anerkennung gezollt werden muss.

Meiner lieben Gattin danke ich herzlich für die Anfertigung der Zeichnungen.

LITERATUR

SMPM = Schweiz Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

BÄCHTIGER, K., BRUNNER, G. O. und LAVES, F. (1968): Regionale Untersuchung der Thermolumineszenz von alpinen Bergkristallen. SMPM *48* (in Vorbereitung).

BADERTSCHER, G. A. (1889): Über den Einfluss der Temperatur auf die Phosphoreszenzerscheinungen. Bern. Diss. Univ.

BAMBAUER, H. U. (1961): Spurenelementgehalte und γ-Farbzentren in Quarzen aus Zerrklüften der Schweizer Alpen. SMPM Bd. *41*/2, 335—369.

BAMBAUER, H. U., BRUNNER, G. O. und LAVES, F. (1962): Wasserstoff-Gehalte in Quarzen aus Zerrklüften der Schweizer Alpen und die Deutung ihrer regionalen Abhängigkeit. SMPM *42*/1, 221—236.

— (1963): Merkmale des OH-Spektrums alpiner Quarze (3-μ-Gebiet). SMPM *43*/1, 259—268.

BAMBAUER, H. U., CORLETT, M., EBERHARD, E. und VISWANATHAN, K. (1967): Diagrams for the determination of plagioclases using x-ray powder methods. SMPM *47*/1, 333—349.

BOBKOVÁ, B. (1937): Die Thermolumineszenz einiger mährischer Gesteine. Příroda, *30*, 18—21 (Tschechisch).

BOYLE, R. (1664, 1667): Observationes de adamante in tenebris lucente. London und Amsterdam.

BREWSTER, D. (1819): On the phosphorescence of minerals. Edinb. Phil. Mag. 1, 383-8; Ann. de chim. et phys. (2), *14*, 288—299, 1820.

BRUNNER, G. O. (1964): Thermolumineszenzmessung mit Doppelstrahlspektrometer. Helv. Phys. Acta, *37/1*, 51—54.

BRUNNER, G. O., WONDRATSCHEK, H. und LAVES, F. (1961): Ultrarotuntersuchungen über den Einbau von H in natürlichem Quarz. Z. f. Elektrochemie, *65/9*, 735—750.

CORLETT, M. und EBERHARD, E. (1967): Das Material für chemische und physikalische Untersuchungen an Plagioklasen. SMPM *47*/1, 303—317.

DU FAY, CH. F. (1735): Recherches sur la lumière des diamants et de plusieurs autres matières. Hist. de l'acad. roy. d. sci. de Paris.

GARLICK, G. F. J. (1949): Luminescent Materials. Oxford. Univ. Press.

GURNEY, R. W., MOTT, N. F. (1938): Conduction in Polar Crystals. III. On the Colour Centres in Alkali-Halide Crystals. Trans. Faraday Soc. *34*, 506—511.

HEGEMANN, F., STEINMETZ, H. (1933): Über die Thermolumineszenz der Mineralien in ihrer minerogenetischen Bedeutung. Zentralbl. Miner. A, 24—38.

HIRSCHI, H. (1923): Das Wesen der Lumineszenz nach heutiger Auffassung. SMPM, *3*, 161—169.

— (1925): Thermolumineszenz der Kalifeldspäte. SMPM *5*, 427—428.

HOUTERMANS, F. G., JÄGER, E., SCHÖN, M., STAUFFER, H. (1957): Messungen der Thermolumineszenz als Mittel zur Untersuchung der thermischen und der Strahlungsgeschichte von natürlichen Mineralien und Gesteinen. Ann. Physik. *6*. F., *20/1—6*, 283—292.

IIMORI, S., IWASE, E. (1935): Spectrographic investigation of the thermoluminescence of feldspar. Sci. Pap. Inst. Phys. chem. Research *28*, 147—151.

Köhler, A., Leitmeier, H. (1932): Beobachtungen über Thermolumineszenz an Mineralien. Anz. d. Akad. d. Wiss. Wien *18*, 163—168.

— (1934): Die natürliche Thermolumineszenz bei Mineralien und Gesteinen. Z. Krist. *87*, 146—180.

Kranck, E. H. (1933): Einige Beobachtungen über Thermolumineszenz. Soc. Sci. Fenn., Comm. Phys.-Math. *V/1*, 1—14.

Leonhard, C. C., Kopp, J. H., Gaertner, C. L. (1817): Propädeutik der Mineralogie. Frankfurt/M. J. Ch. Hermann. B. Die Phosphoreszenz. 67—75.

Macquer, J. P. (1778): Dictionaire de Chymie. Paris. *III*.

Marintschuk, E., Perlin, Ju. E. (1960): Zur Theorie der Thermolumineszenz durch Verunreinigungen in Kristallen. Nachr. Moldauer Filiale Akad. Wiss. UdSSR, Nr. 3 (69), S. 57—69 (Russisch).

Mott, N. F., Gurney, R. W. (1940): Electronic Processes in Ionic Crystals. Oxford, Univ. Press.

Northup, M. A., Lee, J. O. (1940): Experiments on the thermoluminescence of some common and some unusual minerals. J. Opt. Soc. Am. *30*, 206—223.

Randall, J. T., Wilkins, M. H. F. (1945): Phosphorescence and electron traps. Proc. Roy. Soc. London A, *184*, 365—389.

Schön, M. (1953): Über die strahlungslosen Übergänge der Elektronen im Gitter der Kristallphosphore. Techn.-wiss. Abh. Osram-Ges. *6*, 49—68.

— (1958): Bemerkungen zur Theorie der Glow-Kurven. Techn.-wiss. Abh. Osram-Ges. *7*, 175—184.

Urbach, F. (1926): Über Lumineszenz und Absorption, insbesondere des mit Becquerelstrahlen behandelten Sylvins. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl. IIa, *135*, 149—185.

Wedgwood, Th. (1792): Experiments and Observations on the Production of Light from different Bodies, by Heat and by Attrition. Phil. Trans. Royal Soc. London. Part I, 28—47.

— (1792): Continuation of a Paper on the Production of Light and Heat from different Bodies. Phil. Trans. Royal Soc. London. Part II, 270—282.

Zürcher, J. (1909): Beiträge zur Kenntnis der Thermolumineszenz. Bern. Diss. Univ.

Manuskript eingegangen am 20. Juli 1966.