GLASTECHNISCHE BERICHTE

Im Auftrage der
Deutschen Glastechnischen Gesellschaft e. V.
herausgegeben von Dr.-Ing. H. Maurach.
*
Nachdruck oder Vervielfältigung im ganzen oder in Teilen ausdrücklich untersagt.
Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen vorbehalten. — Copyright 1937 by DGG in Frankfurt a. M.
15. Jahrg. August 1937 Heft 8

DK 535.514.4 : 547.83 : 666.11(042)

Filterpolarisatoren und ihre Anwendungsgebiete.

Von Dr. M. Haase, Jena.

[Vortrag bei der 20. Glastechnischen Tagung, Berlin, 20. Januar 1937. — Mitteilung aus dem Kristall-Laboratorium des Zeißwerks, Jena.]

Die neuen, aus dichroitischen Einkristallen bestehenden Filterpolarisatoren werden beschrieben sowie ihre Wirkungsweise auf den verschiedenen Anwendungsgebieten, wie bei der Reflexbeseitigung bei Photoaufnahmen, für den Autoblendschutz mit polarisiertem Licht, für Stereoprojektion, bei Polarisationsmikroskopen und besonders als Spannungsprüfbrillen und Spannungsprüfvorrichtungen, erläutert.

Polarisation des Lichtes durch Kristalle.

Die Verwendung polarisierten Lichtes für Spannungsprüfungen ist dem Glastechniker bekannt, und die bisher hierfür üblichen Mittel wie Glasplattensatz, Schwarzglasplatten und Nicolsche Prismen können daher als bekannt vorausgesetzt werden. Man verwandte also entweder das polarisierte Licht, das durch Reflexion entsteht (meist als Polarisatoren), oder das durch Trennung der in farblosen, doppelbrechenden Kristallen (wie z. B. Kalkspat) entstehenden geradlinig polarisierten Lichkomponenten hergestellt werden kann (Nicolsche Prismen). Diese letzteren wurden meist als Analysatoren vorm Auge benutzt.

Die sogenannten dichroitischen Kristalle, deren bisher bekanntester Vertreter der Turmalin ist, wurden (abgesehen von der als Spannungsprüfer geeigneten einfachen Turmalinzange aus zwei gegeneinander drehbaren Turmalinplättchen) kaum als Polarisatoren benutzt. Das lag daran, daß natürliche Turmaline mit geeigneter Absorption verhältnismäßig selten sind und man meist nur mit geringer Plättchengröße rechnen konnte. Man hat aber bereits an solchen farbigen Kristallen seit fast einem Jahrhundert die optischen Absorptions- und Polarisationseigenschaften studieren können.

Die Eigenart solcher doppelbrechender, farbiger Kristallplättchen liegt darin, daß sie das gewöhnliche Licht in zwei aufeinander senkrecht stehende geradlinig polarisierte Komponenten zerlegen und gleichzeitig noch diese zwei Komponenten verschieden stark absorbieren (Dichroismus). Wird die eine von diesen beiden möglichst vollständig absorbiert, die andere dagegen hindurchgelassen, so kann eine derartige Platte gut als Polarisator benutzt werden. Mit der Untersuchung und Herstellung von künstlichen dichroitischen Stoffen hatten sich schon seit Jahren zahlreiche Forscher — unter anderen Jörgensen, Haidinger, H. Ambronn, H. Zocher — beschäftigt. Erst in den letzten Jahren aber ist es gelungen, den nach W. Herapath[1]) genannten „Herapathit", ein Perjodid des Chininsulfats, auf künstlichem Wege, unter Verwendung verschiedener Verfahren in solche Form und Größe zu bringen, daß nunmehr großflächige Polarisationsfilter im Handel zu haben sind. Man ist hierdurch sowohl unabhängig von den in der Natur vorkommenden, meist sehr viel kleineren Turmalinkristallen geworden, als auch z. Zt. von den infolge ihrer Bauart in ihrer Oeffnung beschränkten Nicolschen Prismen. Die im Zeiß-Werk unter Verwendung von Angaben des Herrn Prof. Bernauer hergestellten Polarisationsfilter enthalten eine über die ganze Größe des Filters einheitliche Einkristallschicht aus Herapathit[2]).

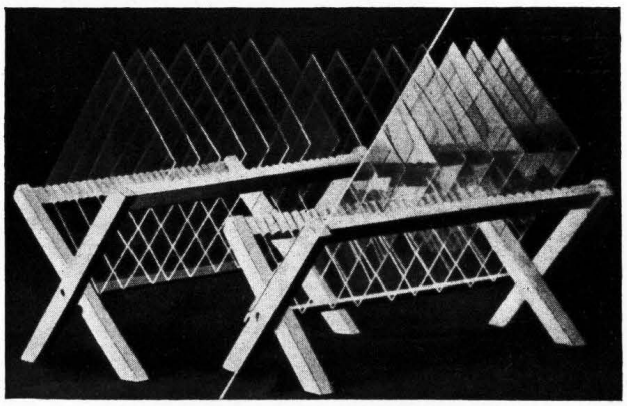

Bild 1. Aufnahme von reflektierenden Glasplatten mit „Bernotar" (links) und ohne „Bernotar" (rechts).

[1]) W. Herapath, Phil. Mag. (4) **3** (1852), S. 161 bis 173.

[2]) Vergleiche auch Filter der Polaroid Corporation nach amerikanischen Patenten von E. H. Land und der Marks Polarized Products Comp., Whitestone, New York. (Näheres s. Referate Glastechn. Ber., **14** (1936), S. 292.)

Eigenschaften und Anwendungen der Kristallpolarisationsfilter.

Diese Kristallpolarisationsfilter zeichnen sich durch besonders hohe optische Klarheit aus. Sie besitzen eine graugrünliche Färbung. Die Polarisation ist von kurzen Wellenlängen bis zu langen Wellenlängen von etwa 650 mμ des sichtbaren Lichtes ausgezeichnet vollkommen. Für weißes Licht liegen die Durchlässigkeiten von einzelnen Filtern in der Größenordnung von 40%. Zwei Filter hintereinander in Parallelstellung, d. h. wenn die Schwingungsrichtungen des aus den einzelnen Filtern austretenden polarisierten Lichtes zusammenfallen, lassen noch rund 35% hindurchtreten. Dagegen kann bei Drehung eines der beiden Filter in die gekreuzte Stellung nur noch etwa 0,1% austreten, also praktisch ist der Polarisationsgrad schon sehr hoch: 99,4%. Diese Tatsache läßt sich vorteilhaft zur Herstellung von Absorptionseinrichtungen (z. B. als Blendschutz) mit veränderlicher Durchlässigkeit, aber gleichbleibender Oeffnung benutzen. Bei Anwendung von monochromatischem Licht bis zu langen Wellenlängen von 650 mμ kann der Polarisationsgrad sogar noch gesteigert werden. Genaueres über diese physikalischen Eigenschaften ist in den bereits früher erschienenen Mitteilungen von mir zu finden[3]).

Wegen der jetzt möglichen größeren Durchmesser der Filter sind Oeffnung und Gesichtsfeld nicht mehr so eng begrenzt wie bei einem Nicolschen Polarisator, so daß sich viele neue wissenschaftliche und technische Möglichkeiten eröffnet haben, von denen hier einige nur gestreift werden können.

Das z. Zt. bevorzugte Anwendungsgebiet der neuen Polarisatoren liegt auf photographischem Gebiet. Da das reflektierte Licht in der Mehrzahl der Fälle polarisiert ist, kann man störende Reflexe durch Vorstecken des Polarisationsfilters vor das Aufnahmeobjektiv je nach der Stellung zum Objekt mehr oder minder (Polarisationswinkel!) beseitigen. Man dreht das Filter zunächst vor dem Auge um seine optische Achse, bis das reflektierte polarisierte Licht verschwunden ist. In der so ermittelten Stellung bringt man das Filter vor das Objektiv des Photoapparates und kann auf diese Weise sehr wirksame Aufnahmen herstellen. Auch für Himmels- und Wolkenaufnahmen ist es sehr gut geeignet, da man mit ihm den polarisierten Anteil des blauen Himmelslichtes beseitigen und dadurch die Schwärzung des Negativs herabdrücken kann. Das Photofilter hat jetzt den Namen „Bernotar"[4]) (Polarisationsfilter nach Prof. Bernauer) erhalten. Aus Bild 1 und 2 ist die Wirkung an reflektierenden Glasplatten mit und ohne „Bernator" gut ersichtlich*). Bild 3 zeigt einige Bernotare in der Aufsteckfassung; die Schwingungsrichtung des hindurchgehenden polarisierten Lichtes ist durch Markierungsstriche gekennzeichnet.

Das interessante Gebiet des Autoblendschutzes mit polarisiertem Licht bedarf noch eingehender Kleinarbeit und eines Zusammenwirkens der betreffenden Industriezweige. Dieses Verfahren kann nur durch gesetzliche Einführung für alle Fahrzeuge voll wirksam werden. Man kann unter Verwendung von Polarisationsfiltern, die in absehbarer Zeit zu erträglichen Kosten für diese Zwecke in entsprechender Form herstellbar sind, vor oder in den Scheinwerfern, und unter gleichzeitiger Anbringung eines Polarisationsfilters an der Windschutzscheibe bzw. bei Benutzung einer Polarisationsbrille, ohne irgend eine Vorrichtung zu betätigen, sein eigenes Licht immer sehen und das des entgegenkommenden Wagens weitgehend unter-

[3]) M. Haase, Zeiß-Nachr., **2.** Folge (1936), H. 2, S. 55—69. (Ref. Glastechn. Ber., **14** (1936), S. 462.) M. Haase, Z. techn. Physik, **18** (1937), S. 69—72.

[4]) Siehe Zeiß-Photodruckschrift Pho 315.

*) Im Vortrag wurde ein Schmalfilm gezeigt, der die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten auch bei anderen reflektierenden Oberflächen, wie z. B. Wasser, Holz, Lackierungen, Leder, Emaille, veranschaulichte.

Bild 2. Aufnahme einer Geschäftsauslage. Links: Die Spiegelung eines gegenüberliegenden, voll von der Sonne beschienenen Gebäudes in der Schaufensterscheibe macht das Bild vollkommen unkenntlich. Rechts: Dieselbe Aufnahme mit „Bernotar"; die störenden Spiegelungen sind fast restlos verschwunden.

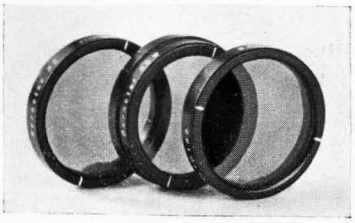

Bild 3. Zeiß-Polarisationsfilter „Bernotar" nach Bernauer in Aufsteckfassungen für Photozwecke.

drücken. Das wird erreicht durch die Anordnung der Schwingungsrichtungen aller Polarisatoren und Analysatoren in der 45°-Diagonalstellung. Der Fahrer hat dann stets zu seinen eigenen Scheinwerfern Parallelstellung seines Analysators (d. h. er sieht sein eigenes Licht) und zu denen der entgegenkommenden Wagen gekreuzte Stellung (d. h. diese sind ausgelöscht) (siehe Bild 4). Da dieses neue Blendschutzverfahren niemandem nützlich sein kann, wenn es nicht bei allen Fahrzeugen ausnahmslos angewandt wird, ist z. Zt. eine Anschaffung der Einrichtungen durch einzelne Personen oder Firmen nicht angezeigt. Es empfiehlt sich vielmehr, die Entwicklungsarbeiten der Industrie und die Entschließungen der zuständigen behördlichen Dienststellen abzuwarten. Die bisherigen Arbeiten haben die praktische Durchführbarkeit des Verfahrens gezeigt und bewiesen, daß mit diesem Verfahren eines der wichtigsten Probleme im Kraftverkehrswesen endgültig gelöst werden kann.

Erwähnt sei ferner die neue Möglichkeit der stereoskopischen Projektion (Raumbild) unter Zuhilfenahme von Polarisationsfiltern für den Bildwurf und von Polarisationsbrillen bzw. Vorhaltern für die Betrachtung der auf einen Silberschirm oder durch eine Mattscheibe projizierten Stereoteilbilder. Aus der Photographie der Stereopolarisationsbrillen (Bild 5) ist deutlich zu ersehen, daß die Schwingungsrichtungen der beiden Augengläser aufeinander senkrecht stehen. Zu diesem Zwecke wurde vor das Aufnahmeobjektiv ein „Bernotar" gesteckt und gedreht, bis das links liegende Glas auf Dunkelheit eingestellt war. Dann zeigt gerade das rechte größte Durchlässigkeit. Da also die Schwingungsrichtungen der beiden Filter der Brille sowie der in der Projektionseinrichtung angebrachten Filter bzw. Filterhälften aufeinander senkrecht stehen, kann man mit dem einen Auge immer nur das eine zugehörige Teilbild, mit dem anderen Auge nur das andere Teilbild sehen. Dadurch kommt der räumliche Eindruck zustande. Grundsätzlich war dieses Verfahren mit einfachsten Mitteln schon 1898 von Anderton gelöst worden. Erst jetzt wird es aber umfangreichere Anwendungsmöglichkeit finden, da erst die flächenhaften Filter u. a. eine praktisch brauchbare Polarisationsbrille ermöglichen.

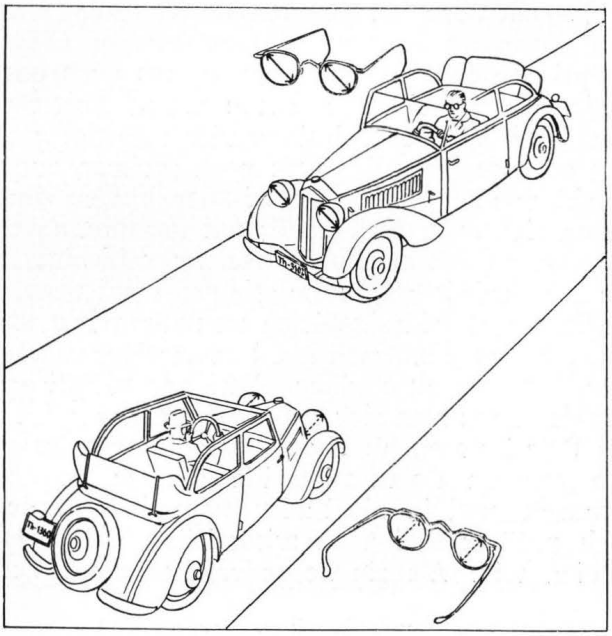

Bild 4. Autoblendschutz mit polarisiertem Licht.

Durch die nahezu neutrale Farbe der Filter ist die Projektion von farbigen Stereoaufnahmen möglich geworden. Der erste Stereofilm in Deutschland konnte bereits am 8. Juni 1936 anläßlich der Tagung der Deutschen Gesellschaft für photographische Forschung in Berlin einer größeren Oeffentlichkeit durch die Firma Zeiß-Ikon gezeigt werden, und der farbige Raumtonfilm wird ebenfalls bald folgen*).

Aber nicht nur die Diaprojektion von Stereodiapositiven zur Erzielung plastischer Bilder**), sondern auch die plastische episkopische Projektion von körperlichen Gegenständen[5]), die bisher nur mit dem Anaglyphenverfahren, d. h. unter Verwendung z. B. roter und grüner Farbfilter und -Brillen, ausgeführt werden konnte [siehe Zeiß-Epistereofilter nach Prof. Gräper], ist jetzt in ihren natürlichen Farben durch Anbringen eines geteilten Polarisationsfilters mit aufeinander senkrecht stehenden Schwingungsrichtungen vor dem Projektionsobjektiv in hervorragender Weise durchführbar.

Für die Glasindustrie und Glasforschung dürften aber die Verwendungen der Filter zur Umwandlung eines gewöhnlichen Mikroskops in ein Polarisationsmikroskop sowie zu neuen Spannungsprüfvorrichtungen von besonderem Interesse sein.

Die Filterpolarisatoren und Filteranalysatoren, die in den Bildern 6 und 7 dargestellt sind, gestatten durch Einlegen des Polarisators in den Blendenträger des Abbeschen Beleuchtungsapparates oder bei vereinfachten Beleuchtungsapparaten in den entsprechenden Träger, die volle Oeffnung des Kondensors auszunützen, so daß die Beleuchtung im Gegensatz zur Verwendung von Nicols nicht eingeschränkt wird.

*) Am 27. Mai 1937 wurde ein solcher von Zeiß-Ikon erstmalig bei der Gesellschaft für Stereoskopie in Berlin unter Verwendung von Zeiß-Filtern vorgeführt.

) Siehe u. a. W. Loos, Das Raumbild, **3 (1937), S. 82—85.

[5]) Gräper, Ergänzungsheft z. Anat. Anzeiger, Bd. **58** (1924). (Verhandlungen der Anatom. Gesellschaft in Halle.)

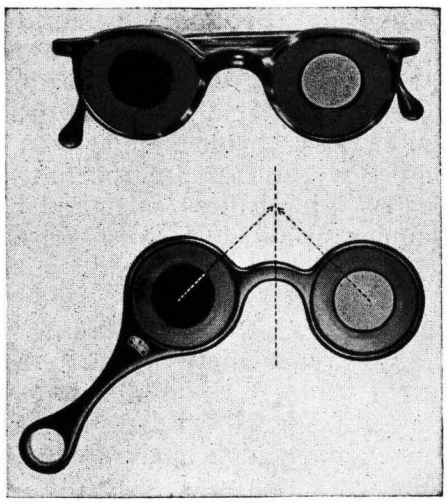

Bild 5.
Polarisationsbrille und Polarisationsvorhalter für Stereo-Betrachtung.

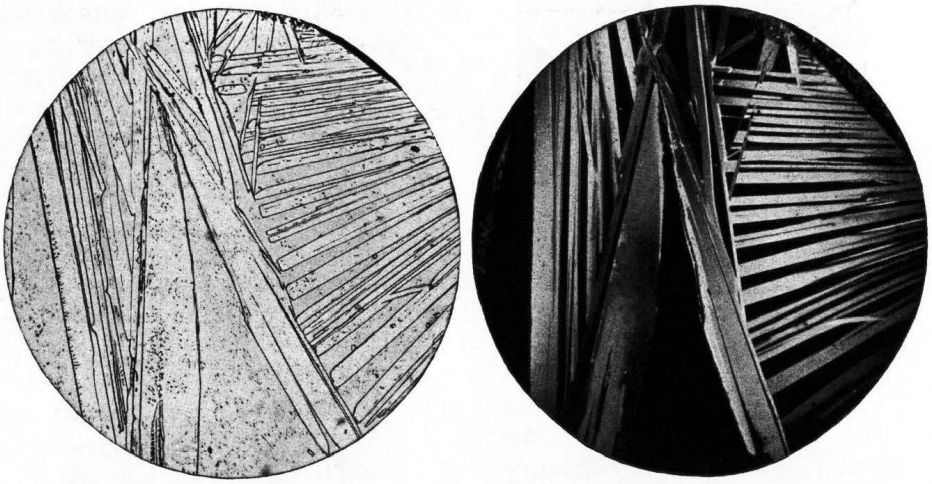

Bild 8. Mikroaufnahme von Kristallen im natürlichen Licht (links) und im polarisierten Licht (rechts).

Die freien Durchmesser der Mikrofilterpolarisatoren von zirka 30 mm waren bei Polarisationsprismen kaum oder nur mit hohen Kosten zu erreichen. Auch der Analysatoraufsatz (siehe Bild 7) bedingt keine Einschränkung des Gesichtsfeldes. Das wirkt sich als besonderer Vorteil bei der Mikrophotographie aus. Es wird ferner häufig notwendig sein, Entglasungen nicht nur zu erkennen und zu photographieren, sondern auch die entstandene Kristallart optisch zu bestimmen. Alles dies kann nur mit dem Polarisationsmikroskop geschehen, und die Filterpolarisatoren sind hierfür ein gut geeignetes Hilfsmittel. Die Mikrophotographien im Bildpaar 8 lassen die Wirkungsweise von Aufnahmen zwischen gekreuzten Polarisatoren gut erkennen.

Die bisher üblichen Spannungsprüfeinrichtungen, seien es nun fertige Geräte oder Behelfseinrichtungen, hatten als Analysatoren bis heute in den meisten Fällen Nicolsche Prismen. Die schon erwähnte Bauart der Polarisationsprismen und ihre durch das seltener werdende Kalkspatmaterial bedingte geringe Größe legten aber für die Größe des zu überblickenden Gesichtsfeldes starke Beschränkungen auf. Nunmehr können für alle Spannungsprüfungen und -messungen die Analysator-Nicols ohne weiteres durch Polarisationsfilter ersetzt werden. Ferner gestattet die flächenhafte Form der Filterpolarisatoren ihre Verwendung in Brillen, womit eine bequeme beidäugige Spannungsprüfung ermöglicht wird. Derartige Brillen wurden auch im Vortrag in Berlin gezeigt und ihre Wirkung durch projiziertes polarisiertes Licht erläutert. In Bild 9 sind einige weitere Ausführungsformen von Polarisationsbrillen für Spannungsprüfungen zu sehen, wie sie bisher versuchsweise für diese Sonderzwecke in einzelnen Stücken hergestellt wurden. Die Polarisationsgläser lassen sich als volle, halbe oder Teilscheiben ausbilden, und es ist leicht möglich, damit noch ein Kompensatorplättchen, z. B. von Rot erster Ordnung, zu kombinieren. Dieses doppelbrechende Plättchen (z. B. aus Gips oder Cellophan) geeigneter Dicke kann entweder direkt mit dem Polarisationsfilter verkittet werden oder davor, u. U. auch noch drehbar, angebracht werden†). Die Polarisationsfilterscheiben lassen sich auch gleichzeitig mit Farbfiltern verwenden, so daß man ohne besondere Lichtquelle die Möglichkeit hat, in einfarbigem Licht bzw. in bestimmten Spektralgebieten zu untersuchen und dadurch die Empfindlichkeit der Beobachtung bzw. Messung zu erhöhen. Auch vor schädlichen Strahlen kann man sich auf diese Weise schützen. Als Polarisatoren für Spannungsprüfungen lassen sich größere Polarisationsfilterscheiben bequem benutzen, und in nicht allzu langer Zeit werden auch größere Folien zu erträglichen Kosten erhältlich sein. Als ein besonders bequemes Ver-

Bild 6.
Filter-Polarisator.

Bild 7.
Filter-Analysator und Gipsplättchen am Okular.

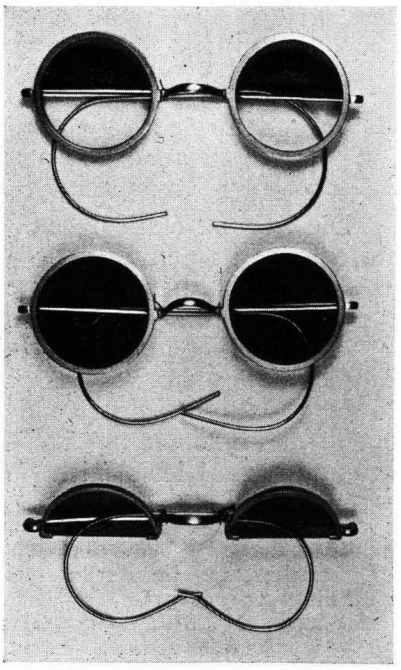

Bild 9. Polarisationsbrillen mit voller oder halber wirksamer Scheibe.

†) Geeignete Fassungen und Formen sind zur Zeit in der Entwicklung.

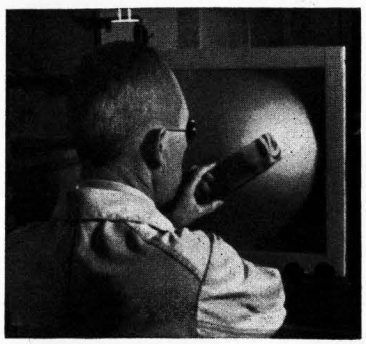

Bild 10. Großflächiger Spannungsprüfer (Versuchsaufbau) mit auf eine Mattscheibe projiziertem polarisierten Licht als Polarisator und Beobachter mit Polarisationsbrille als Analysator. (Aufnahme mit „Bernotar" zur Sichtbarmachung der Spannungen im Versuchskörper.)

fahren, großflächige Polarisatoren herzustellen, sei im folgenden, wie bereits früher, die Verwendung der Projektion polarisierten Lichtes empfohlen[6]). Man braucht nur vor das Objektiv eines Projektionsgerätes ein Polarisationsfilter entsprechend der Objektivgröße von kleinerem Maßstab zu bringen und kann nun eine große Fläche, z. B. eine Mattscheibe, mit polarisiertem Licht ausleuchten. Es ist ja bekannt[7]), daß Mattscheiben in der Durchsicht, ebenso wie Silberschirme im Auflicht, den Polarisationszustand des Lichtes bestehen lassen. Die auf diese Weise in der Durchsicht oder im Auflicht ausgeleuchteten Flächen können ohne weiteres als großflächige Polarisatoren bis zur Größe von einigen Quadratmetern dienen, wobei sich im Falle der Verwendung von Mattscheiben, die selbstverständlich möglichst spannungsfrei sein müssen, durch die direkte Beobachtung in der Durchsicht noch intensivere Helligkeit ergibt. Einen solchen Groß-Spannungsprüfer gibt beispielsweise die in Bild 10 dargestellte Versuchsanordnung wieder. Als Analysator benutzt man eine Brille und kann dann die Spannungsbeobachtungen beidäugig ausführen. Da die Polarisationsfilter auch bei schrägem Durchblick noch gute Auslöschung und nur geringe Aufhellung zeigen, ist dieses Verfahren auch erst durch die neuen Flächenpolarisatoren möglich geworden*).

[6]) Vergleiche auch M. Haase, Orpho, 1936, S. 519.
[7]) O. Vierling, Das Raumbild, **2** (1936), S. 158 bis 160.

Zusammenfassung.

Bisher benutzte man in der Hauptsache Nicolsche Prismen, Glasplatten und Glasplattensätze zur Herstellung und zur Analyse polarisierten Lichtes. Dichroitische Kristallplatten mit zwei verschiedenen starken Absorptionsrichtungen (Schwarz - Weiß - Dichroismus) sind ebenfalls schon seit langem bekannt, haben aber bisher — abgesehen vom Turmalin für gelegentliche (kostspielige) Zwecke — keine wesentliche Anwendung gefunden.

Neuerdings ist es aber gelungen, künstliche dichroitische Kristalle, z. B. den Herapathit, eine Jodverbindung des Chininsulfats, in geeignete Formen zu bringen, so daß heute bereits sogenannte Filterpolarisatoren von flächenhafter Ausdehnung im Handel zu haben sind. Oeffnung und damit Gesichtsfeld und Helligkeit war z. B. beim Nicolschen Polarisator sehr eng begrenzt, während jetzt Polarisationsfilter bis zu einigen Dezimetern Durchmesser hergestellt werden können. Die Filter zeigen eine grau-grünliche Färbung, und die Durchlässigkeitswerte liegen in der Größenordnung von 40% für weißes Licht. Der Grad der Auslöschung zweier gekreuzter Filter ist vom Violetten bis zum Roten von etwa 650 mμ ausgezeichnet. Der Verlauf der Durchlässigkeitswerte und der Polarisationsgrad läßt in vielen Fällen nicht nur einen Ersatz der bisherigen Polarisatoren zu, sondern eröffnet besonders wegen der größeren Durchmesser für viele wissenschaftliche und technische Gebiete neue Möglichkeiten. Besonders werden auch die Glasindustrie u. a. das neue Verfahren, jedes gewöhnliche Mikroskop durch zusätzliche Filterpaare in ein Polarisationsmikroskop umzuwandeln, sowie die nunmehr herstellbaren großen Glasspannungsprüfer und die Polarisationsbrillen für Spannungsbeobachtungen interessieren.

(11 546)

*) Um Spannungen an Objekten bis etwa 200 mm Durchmesser einem großen Zuhörerkreis zu zeigen, wurde bei diesem Vortrag das Projektionsgerät „Belsazar" (siehe Zeiß-Mikro-Druckschrift Nr. 468) mit Polarisationsfilterscheiben über der Tischöffnung als Polarisator und über dem Projektionsobjektiv als Analysator gewählt, so daß die Spannungserscheinungen an Gläsern und Kunststoffen von allen Seiten gut im Großbild gesehen werden konnten.

DK 535.511 : 539.319 : 666.17(045)

Anordnung zur Feststellung von Glasspannungen durch räumliche Betrachtung von Glaskörpern in polarisiertem Licht.

Von Manfred von Ardenne, Berlin.

(Eingegangen 23. April 1937.)

Die Prüfung von Glasspannungen und die Sichtbarmachung von elastischen Spannungen an durchsichtigen (Kunstharz-) Modellen ist eine wichtige Aufgabe der Polarisationsoptik. Der zu untersuchende Gegenstand wird zwischen gekreuzten Analysator und Polarisator (Dunkelfeld) gebracht. Die Spannungsdoppelbrechung ist dabei bekanntlich aus der entstehenden Aufhellung oder den auftretenden Interferenzfarben zu erkennen. Letztere werden besonders deutlich bei Einschaltung eines $\lambda/4$-Plättchens zwischen Analysator und Polarisator. Das durch dieses Plättchen z. B. rötlich aufgehellte Gesichtsfeld schlägt dann schon bei relativ schwachen Glasspannungen in die anschließenden Interferenzfarben Gelb und Blau um, je nach dem Vorzeichen des durch die Glasspannung erzeugten Unterschiedes der interferierenden Lichtstrahlen*).

Polarisator und Analysator bestehen bei den bisher üblichen Anordnungen (je nach der Größe des zu untersuchenden Objektes und je nach dem für notwendig angesehenen Polarisationsgrad) aus Glasplattensätzen oder Nicolschen Prismen oder aus Kombi-

*) Näheres bei F. Späte: „Ueber die Untersuchung von Glas mittels des polarisierten Lichtes", Glastechn. Ber., **2** (1924/25), S. 1—19.