

Eins aufs andere beziehen ...

Ein phänomenologischer Zugang zur optischen Polarisation in zehn Schritten

Von Johannes Grebe-Ellis

Im Folgenden wird ein kleiner Experimentalkurs skizziert, der mit der „Entdeckung“ des Haidinger-Büschels beginnt. Dass man Polarisation „sehen“ kann, ist immer noch kaum bekannt. Der Kurs bietet eine Möglichkeit, dieses Sehen schrittweise zu lernen. Phänomenologisch wird dieser Zugang genannt, weil den Beobachtungen gegenüber eine *Denkhaltung* geübt wird, die sich durch Sensibilität für die Unterscheidung zwischen Beobachtbarem und Hinzuge-dachtem auszeichnet [1]. Der vorläufige Verzicht darauf, Phänomene auf hinter ihnen liegende, unbeobachtbare Ursachen zurückzuführen, wird belohnt mit dem Sichtbarwerden einer dem Phänomenbereich innewohnenden Ordnung.

1. Schritt: Blicke durch getönte Folie – das Haidinger-Büschel

Der Einstieg mit einem Satz Polarisationsfolien ist einfach und deshalb für den Anfang geeigneter als der Einstieg mit einem Nicolprisma. ¹⁾ Gegen die Polarisationsfolie spricht allerdings, dass sie verbirgt, was am Nicolprisma noch nachvollzogen werden kann: Der Doppelspat zeigt nämlich, dass ursprünglich von Doppelbildern eines Urbildes auszugehen ist. Erst nachdem man eines dieser orthogonal polarisierten Doppelbilder zum Verschwinden gebracht hat, erhält man eine isolierte (und relativ zum Urbild abgeschattete) polarisierte Ansicht. Dass dies im Rahmen der hier vorgestellten Beobachtungsreihe zunächst im Dunkeln bleibt, wird in Kauf genommen. ¹⁾

Beobachtung

Jeder bekommt ein Stück Polarisationsfolie. Die Beteiligten werden aufgefordert, durch die Folie an den hellen Himmel, an eine weiße Wand oder gegen einen an-

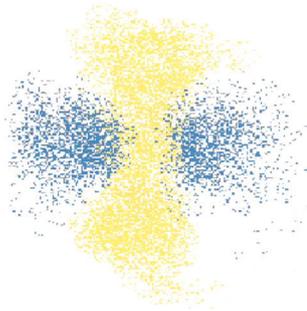


Abb. 1: Das Haidinger-Büschel

deren hellen Grund zu schauen und mit der Folie rasche Drehungen um jeweils etwa 90° auszuführen, mit einer kurzen Pause nach jeder Drehung.

Schon bald werden die Ersten auf eine zarte, gelbliche oder bläulich-violette „Hantel“ (s. Abb. 1) aufmerksam geworden sein, die infolge der Foliendrehung in ihrem Gesichtsfeld erscheint und in der Pause zwischen zwei Drehungen wieder verblasst. In der Regel dauert es nicht lange, bis alle dieses nach seinem Entdecker Wilhelm Karl Haidinger (1795–1871) benannte *Haidinger-Büschel* wahrgenommen und Sicherheit im Her-vorrufen desselben gewonnen haben.

Der Verständigung über die Form und Färbung des Büschels kann die Frage nach seiner Orientierung folgen. Dazu wird es erforderlich, Bezeichnungen einzuführen: Büschel, Garbe, Gelbrichtung, Blaurichtung etc. Die Frage nach der räumlichen Orientierung stiftet zunächst Verwirrung: Jeder sieht eine andere. Dies kann zu dem Vorschlag führen, die Folie nicht wie bisher ruckartig, sondern gleichmäßig und gerade so schnell zu drehen, dass die Figur nicht verblasst, sondern fortwährend im Gesichtsfeld erhalten bleibt. Wem dies gelingt, für den ist sofort evident: Das Büschel dreht sich mit. Seine Orientierung ist offensichtlich mit derjenigen der Folie fest verbunden. Dies legt nahe, „Gelbrichtung“

und „Blaurichtung“ als Eigenschaften der Folie zu betrachten. Damit erhebt sich die Frage, um was für eine Folie es sich überhaupt handelt. Diese Frage soll nicht durch abstrahierende Verweise, sondern operational, d. h. durch die beobachtbaren Veränderungen beantwortet werden, die sich im Durchblick durch die Folie gegenüber verschiedenen Ansichten im weiteren Verlauf ergeben.

Kommentar

Die Frage nach der Folie kann auch zum Anlass genommen werden, zu berichten, wie der österreichische Mineraloge Haidinger bei der Untersuchung von Dünnschliffen verschiedener dichroitischer Mineralien (Turmalin, Andalusit etc.) auf das von ihm zunächst so genannte „Lichtpolarisationsbüschel“ aufmerksam wurde [4]. Diese Antwort ist keine Erklärung im vielleicht gewünschten Sinn, zeigt aber dafür die Verwandtschaft zwischen den Dünnschliffen Haidingers und der Polarisationsfolie.

2. Schritt: Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit

Beobachtung

Die Beteiligten werden aufgefordert, sich paarweise einander zuzuwenden, sich durch ihre Folienstücke anzuschauen und dabei die Orientierung ihrer Folie zu ändern. Sie erfahren dabei, wie sich in Abhängigkeit von der relativen Orientierung der Folien die Durchsicht verdunkelt, wieder aufhellt und sich für eine bestimmte Stellung der Folien zueinander sogar vollständig auslöschen lässt. Die Überraschung über diese einfache und zugleich manchen fast unheimlich anmutende Erscheinung ist erfahrungsgemäß groß, und es ist nicht leicht, den spontanen Erklärungsversuchen mit Begriffen wie Schwingungs- und Durch-

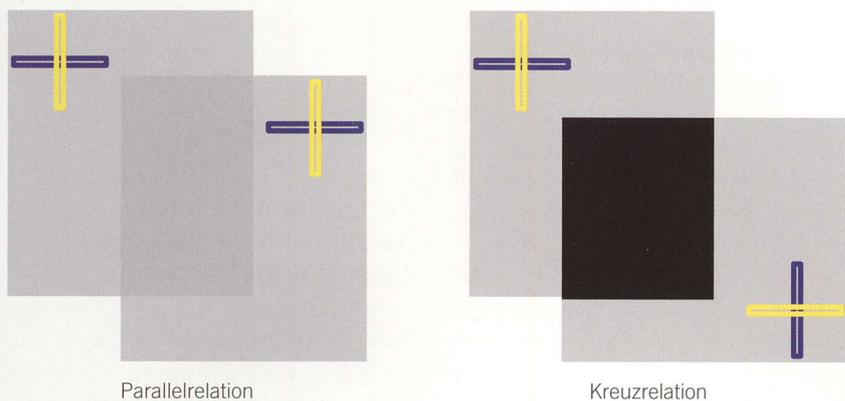


Abb. 2: Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit zweier Polarisationsfolien als Funktion ihrer relativen Orientierung, angegeben durch schematisierte Haidinger-Büschel

lassrichtung etc. zugunsten des Phänomens standzuhalten.

Dies gelingt z.B. dadurch, dass man nach den geometrischen Bedingungen fragt, unter denen sich die Durchsichtigkeit des Folienpaares verändert. Als Verständigungshilfe bietet sich die Orientierung der je zugehörigen Haidinger-Büschel an. Dies kann zu der folgenden Regel führen (s. Abb. 2):

Ist die Durchsichtigkeit des Folienpaares maximal, so sind die Haidinger-Büschel der beiden Folien parallel. Ist die Durchsichtigkeit des Ensembles dagegen vollständig aufgehoben, so sind die Haidinger-Büschel der beiden Folien überkreuz. Zwischenstellungen ergeben Zwischenstufen in der Durchsichtigkeit.

3. Schritt: Empfindliche Spiegelansichten

Wie gehen wir nun weiter? Die Entscheidung darüber fällt mit der Art der Frage, die wir als nächste stellen. „Warum?“ fragt nach Ursachen „hinter den Erscheinungen“, führt also weg von den Erscheinungen selbst. Mit „Wo noch?“ und „Wie da?“ bleiben wir weiter an „der Sache“ dran und versuchen, das inzwischen Bekannte unter neuen Bedingungen wiederzufinden.

Entsprechend interessiert uns, ob und – wenn ja – wo es weitere Ansichten in unserer Umgebung gibt, auf die unser Auge mit dem Haidinger-Büschel antwortet. Mit Blick auf die im 2. Schritt aufgestellte Regel können wir auch nach

Ansichten fragen, die, wenn sie durch eine Polarisationsfolie („Prüffolie“) betrachtet werden, Helligkeitsänderungen zeigen, die also „empfindlich“ sind bezüglich der „Prüfbeobachtung“ (Drehung der durchblickten Prüffolie).

Beobachtung

Wir begeben uns auf einen Spaziergang, auf dem wir verschiedene Ansichten unserer Umgebung mit der o.g. Prüfbeobachtung erkunden. Wir entdecken so, dass sich z.B. die Spiegelungen in den Fensterscheiben des gegenüberliegenden Hauses zum Verschwinden bringen lassen und wir so ungehindert durch die Fenster ins Hausinnere blicken können. Blicken wir dabei eine horizontale Fensterreihe entlang, so dass wir zwischen flacheren und steileren Blickwinkeln auf die Fensterscheiben variieren, so stellen wir fest, dass sich die Spiegelbilder nicht unter allen Blickwinkeln gleich gut zum Verschwinden bringen lassen. Vielmehr scheint es einen bestimmten Winkel mäßiger Schräge zu geben, unter dem die Auslöschung der Spiegelungen maximal wird. Geht man von diesem Winkel zu flacheren bzw. steileren über, nimmt die Auslöschbarkeit der Spiegelbilder unter Drehungen der Folie ab.

Was ist das für ein Winkel? Wovon hängt er ab? Mit ihm kommt offenbar eine geometrische Bedingung ins Spiel, die den Grad der Auslöschbarkeit bestimmt.

Kommentar

Weitergehende Beobachtungen könnten z.B. zu einer genaueren Untersuchung

dieses Winkels führen, zum diesbezüglichen Vergleich von Glas und Wasser als Spiegelfläche und dazu, dass bei diesem Winkel die optischen Wege der Brechung und Reflexion senkrecht zueinander stehen.

Auch eine andere Spur könnte man weiter verfolgen: Vielleicht hat man entdeckt, dass auch grünes Blattwerk, die asphaltierte Straße, die hölzerne Tischfläche, ein Buchrücken aus Leder und selbst die eigene Handfläche im schrägen Aufblick ein Glänzen oder Schimmern zeigen, das sich unter der Prüfbeobachtung als auslöschbar erweist.

4. Schritt: Spiegel und Fenster zugleich – das „Grenzflächenbüschel“

Spiegelansichten in spiegelnden und zugleich durchsichtigen Grenzflächen wie Glasscheiben oder Wasserflächen verhalten sich gegenüber unserer Prüffolie wie die Durchsicht durch eine Polarisationsfolie. Entsprechend erwarten wir, dass auch die Spiegelansicht (unter Berücksichtigung der Winkelbedingung) in der Lage ist, in unserem Auge ein Haidinger-Büschel hervorzurufen („Grenzflächenbüschel“).

Beobachtung

Nun müssen wir gegenüber z.B. der ruhigen Wasserfläche eines Teiches die zum Hervorrufen des Haidinger-Büschels nötige Drehung selbst ausführen: Wir neigen dazu den Kopf von links nach rechts und zurück und blicken dabei unter einem Winkel mäßiger Schräge ins Spiegelbild des hellen Himmels. Wer dazu die Lage der bevorzugten Blickrichtung genauer bestimmen will, kann mithilfe der Prüffolie diejenige Blickrichtung suchen, unter der sich das Spiegelbild des hellen Himmels ganz auslöschbar lässt.

Ist das Hervorrufen des Haidinger-Büschels unter diesen neuen Bedingungen gelungen, stellt sich die Frage nach seiner Orientierung. Diese zeigt sich schwankend und im Mittel so, dass die Gelbrichtung auf den Beobachter weist und die Blaurichtung parallel zur Wasserfläche erscheint.

Dies konnten evtl. wiederum diejenigen vorhersagen, die sich der Winkelbe-

dingung mit der Prüffolie versicherten: Im Fall maximaler Auslöschung des Spiegelbildes zeigte ihre Prüffolie eine zur Wasserfläche parallele „Gelbrichtung“. Wenn auch hier die im **2. Schritt** für die Relation zwischen Polarisationsfolien formulierte Regel (Auslöschung der Ansicht für orthogonale Haidinger-Büschel) gilt, war diese Lage des zur Spiegelung des Himmels gehörenden Haidinger-Büschels zu erwarten.

Kommentar

Die Blaurichtung des Haidinger-Büschels an einer Grenzfläche (Luft – Wasser) fällt demnach mit der elektrodynamischen Definition der Polarisationsrichtung zusammen, die besagt, dass die reflektierte Welle parallel zur reflektierenden Grenzfläche polarisiert ist.

5. Schritt: Empfindliche Himmelsansichten

Beobachtung

Auch beim Blick durch die Prüffolie in den blauen Himmel erzeugen wir durch geeignete Drehung der Prüffolie eine Abdunkelung. Die Empfindlichkeit verschiedener Himmelsansichten bezüglich der Prüfbeobachtung ist allerdings nicht überall gleich groß. Es ist also das ganze Himmelsgewölbe zu untersuchen.

Bei einer systematischen Beobachtung zeigt sich, dass mit der Beleuchtungsrichtung der Sonne eine an das Haidinger-Büschel erinnernde Symmetrie in die Gesamtansicht kommt: Die Abdunkelbarkeit der Ansichten nimmt mit zunehmendem Winkelabstand von der Sonne zu, bis sie bei 90° (also bei einem Blick *quer* zur Sonne) maximal wird. Vergrößert man den Winkelabstand zur Sonne über den 90° -Winkel hinaus, so nimmt die Empfindlichkeit der Himmelsansichten gegenüber der Prüffolie wieder ab.

Kommentar

Aspekte des Zusammenhangs zwischen Beleuchtungsrichtung, Beobachtungsrichtung und Stellung der Prüffolie lassen sich z. B. an einem mit leicht trübem Wasser gefüllten, stark durchleuchteten Aquarium näher untersuchen.

6. Schritt: Ein Himmelskompass – das „Atmosphärenbüschel“

Auch bei den Himmelsansichten zeigt sich also – wie bei den Spiegelungen im **4. Schritt** – bezüglich ihrer Abdunkelbarkeit durch die Prüffolie eine Verwandtschaft mit der Ansicht durch eine Polarisationsfolie (**1. Schritt**). Man darf also annehmen, dass auch Himmelsansichten ein Haidinger-Büschel im Auge hervorgerufen können („Atmosphärenbüschel“).

Beobachtung

Diese Beobachtung fällt erfahrungsgemäß zunächst nicht leicht. Sie erfordert wieder die bereits bewährte „Kopfneigetechnik“. Quer zur Sonne zeigt sich das Haidinger-Büschel am leuchtendsten und umso intensiver, je niedriger die Sonne steht. Am leichtesten sieht man es, wenn man den Blick vor Sonnenauf- und nach Sonnenuntergang über einen wolkenlosen Himmel wandern lässt.

Dass die „Blaurichtung“ der Prüffolie in der Stellung maximaler Abdunkelung der Himmelsansicht stets zur Sonne zeigt, legt – mit Blick auf die im **2. Schritt** formulierte Regel – die Vermutung nahe, dass die Haidinger-Büschel der Atmosphäre wie „Himmelskompass“ alle

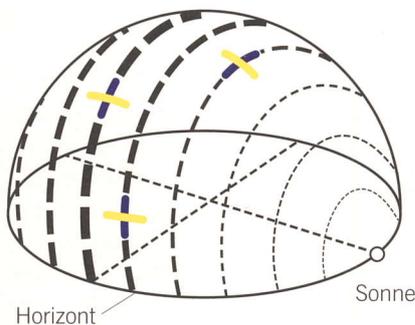


Abb. 3: Richtungsstruktur der Himmels-halbsphäre bei Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergang. Die Gelbrichtung des „Atmosphärenbüschels“ weist stets zur Sonne. Entsprechend zeigen die senkrecht dazu verlaufenden „Breitenkreise“ die Orientierung der Blau- bzw. Polarisationsrichtung. Die Strichstärke der Breitenkreise deutet den Grad der Auslöschbarkeit der Himmelsansicht mit einer Prüffolie bzw. den Polarisationsgrad an

mit ihrer Gelbrichtung auf Großkreisen durch die Sonne liegen (**Abb. 3**). Dies wird durch entsprechende Beobachtungen bestätigt.²⁾

7. Schritt: Polarisationsphänomene beruhen auf Beziehungen zwischen Sichtbedingungen

Zunächst kann offen bleiben, ob auf dem bisherigen Weg alle Arten von Sichtbedingungen bekannt geworden sind, unter denen das menschliche Auge mit der Erscheinung des Haidinger-Büschels antwortet, oder ob es mehr als diese drei gibt:

- Folien (*Festkörperbüschel*),
- spiegelnde und zugleich durchsichtige Grenzflächen (*Grenzflächenbüschel*) und
- die quer durchleuchtete Atmosphäre (*Atmosphärenbüschel*).

Möglicherweise ergeben weitere Beobachtungen Hinweise darauf, dass sich diese drei Sichtbedingungen und die jeweils mit ihnen verknüpften Phänomene zu einer charakteristischen *Gesamtheit* von Bedingungen zusammenschließen, unter denen polarisierte Ansichten *überhaupt* anzutreffen sind.

Das bisherige Vorgehen zeichnet sich durch die methodische Besonderheit aus, dass auf die übliche Erklärung polarisationsoptischer Phänomene durch quasimechanisch vorgestellte Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie zunächst verzichtet wird. Es geht vielmehr um die praktische Erkundung erfahrbarer Regelmäßigkeiten und Strukturmerkmale im Phänomengebiet der Polarisation. In diesem Sinne geht es zunächst um die Bedingungen von „Sicht“; von „Licht“ braucht dabei nicht die Rede zu sein.

Das heißt jedoch nicht, dass die hier beschriebenen Beobachtungen im Widerspruch zum „modellbasierten Konzept“ von Polarisation stehen. Im Gegenteil: Die drei Kontexte „Festkörper“, „Grenzfläche“ und „Atmosphäre“ können mit der Erzeugung von Polarisation durch Absorption, Reflexion und Streuung direkt in Beziehung gebracht werden. Die in der „phänomenbasierten Konzeptualisierung“ zur Ordnung von Beobachtungen erfassten geometrischen Bedingun-

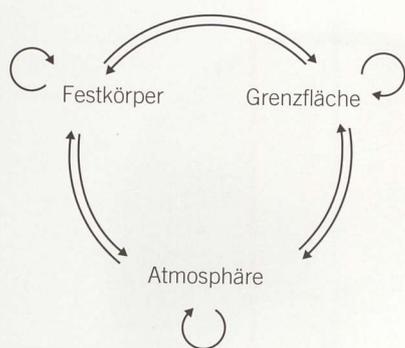


Abb. 4: Übersicht über die neun Möglichkeiten, die Sichtbedingungen in den Kontexten „Festkörper“, „Grenzfläche“ und „Atmosphäre“ je aufeinander und auf sich selbst zu beziehen

gen optischer Polarisation sind identisch mit den geometrischen Eigenschaften des „modellbasierten Konzepts“.

Im Folgenden soll der eingeschlagene Weg fortgesetzt werden: Die Möglichkeiten, in Beziehungen von Phänomenen und deren Erscheinungsbedingungen zu denken und nach deren Realisierbarkeit zu fragen, sind noch nicht ausgeschöpft. Von den insgesamt neun Möglichkeiten (**Abb. 4**), die Sichtbedingungen in den Kontexten „Festkörper“, „Grenzfläche“ und „Atmosphäre“ aufeinander (6) und auf sich selbst (3) zu beziehen, werden hier noch drei vorgestellt (vgl. [2]):

Ein Spiegelfenster als Prüfmittel

Wenn sich eine Spiegelansicht unter entsprechend schrägem Blickwinkel empfindlich gegenüber unserer Prüfbeobachtung erweist, gilt das auch umgekehrt: Indem wir das Spiegelbild der Polarisationsfolie betrachten und den Spiegel unter Beibehaltung des ausgezeichneten Winkels drehen, wird das Glas zum Prüfmittel gegenüber der Durchsicht durch die Polarisationsfolie. Die Rolle von Prüfmittel und zu prüfender Ansicht bzw. von Analysator und Polarisator sind also *vertauschbar*.

Zur Untersuchung gibt man z. B. handgroße Stücke von Fensterglas und schwarze Pappe zu ihrer Hinterlegung oder Schwarzglas³⁾ aus. Die Beobachtung mit diesem neuen Prüfmittel ist allerdings schwierig, weil man sich erst klar machen muss, wie man das Glasstück relativ zu der zu untersuchenden Ansicht drehen muss, damit die Winkelbedingung zwischen Glasoberfläche und Ansicht erhalten bleibt.

Das Spiegelbild eines Spiegelbildes

Das Auslöschungsphänomen in Kreuzrelation der maßgeblichen Achsen müsste sich nun auch durch die Konfiguration „Spiegelbild eines Spiegelbildes“ realisieren lassen. Damit wird es aber kompliziert; wem es gelingt, in der Variation der räumlichen Beziehung zweier Glasscheiben unter Beibehaltung der erforderlichen Winkelbeziehung den Übergang von Auslöschung und Aufhellung des „Spiegelbildes eines Spiegelbildes“ zu erzeugen, der hat die hier wirksamen geometrischen Verhältnisse wirklich erfahren und verstanden.

Ein Loch im Spiegelbild des Himmels – der Polarisations Schatten

Wie wäre es, sich den blauen Himmel dort, wo das Haidinger-Büschel besonders intensiv zu sehen ist, im Spiegel eines ruhigen Gewässers anzuschauen? Man würde damit das Haidinger-Büschel der Spiegelansicht (mit *horizontaler* Blaurichtung) auf das Haidinger-Büschel der direkten Himmelsansicht beziehen und dürfte für die Kreuzrelation derselben eine Auslöschung der Himmelsansicht erwarten: ein „Loch im Spiegelbild des Himmels“. Dieses Phänomen, auch „Polarisationsschatten“ genannt, ist bei Sonnenauf- und Sonnenuntergang, wenn das Atmosphärenbüschel hoch über dem südlichen Horizont eine *vertikale* Blaurichtung zeigt, auch tatsächlich beobachtbar (s. [7]).

Kommentar

Der Untersuchung von Beziehungen zwischen Sichtbedingungen kann der Hinweis auf technische Anwendungen folgen, die auf den dargestellten Relationen beruhen (u. a. der Malus-Apparat zur polarisationsoptischen Untersuchung von Mineralien, sog. Polfilter zur Unterdrückung von Reflexen auf Fotos, die Seglerbrille).

8. Schritt: Ein Radialpolarisator

Unberücksichtigt geblieben ist bisher die Frage nach den Bedingungen, unter denen das Haidinger-Büschel im menschlichen Auge entsteht. Wie dieser

Frage unter Verwendung der bisherigen Beobachtungen nachgegangen werden kann, deuten die **Schritte 8. – 10.** an. Die Darstellung erfolgt allerdings stark verkürzt und punktuell (detaillierter in [2] und [3]).

Die konzeptionelle Bedeutung der folgenden Beobachtungen liegt darin, dass sie zeigen, wie die im Kontext „Festkörper“ wirksamen Bedingungen identisch sind mit denen, die im menschlichen Auge für die Form und Färbung des Büschels maßgeblich sind. Wahrnehmung und Wahrgenommenes sind von gleicher Art: *Polarisation wird durch Polarisation wahrgenommen*.

Beobachtung

Auf einem Lichttisch werden vier quadratische Polarisationsfolienstücke so zu einem Geviert zusammengesetzt, dass die Blaurichtungen der benachbarten Stücke jeweils senkrecht zueinander liegen. Schaut man sich dieses Geviert durch eine Polarisationsfolie an, so zeigt sich ein diagonalsymmetrisches Helldunkelmuster, das unter Drehung der Folie um 90° in sein Komplement übergeht.

Erhöht man in einem nächsten Schritt die Anzahl der Foliensegmente zu einer radialsymmetrischen Anordnung, in der die Gelbrichtung jedes der nun tortenstückartig geschnittenen Segmente radial orientiert ist, so ergibt die Betrachtung dieses „Radialpolarisators“ durch eine Prüffolie eine Helldunkelfigur, deren Form und Symmetrieeigenschaften denen des Haidinger-Büschels nahekommen (s. **Abb. 5** auf S. 42).

Kommentar

Der Ort auf der Netzhaut des menschlichen Auges, welcher der Mitte des Gesichtsfeldes entspricht (und wo auch das Haidinger-Büschel gesehen wird), heißt wegen des dort eingelagerten gelben Pigments Gelber Fleck. Der Verlauf der Sinnesnervenzellen ist in diesem Bereich des Auges annähernd radialsymmetrisch, so dass der Gelbe Fleck wie ein Radialanalysator wirkt. Wäre also der Gelbe Fleck die einzige am Zustandekommen des Haidinger-Büschels beteiligte Komponente des Auges, so würde es sich um eine Helldunkelfigur handeln.

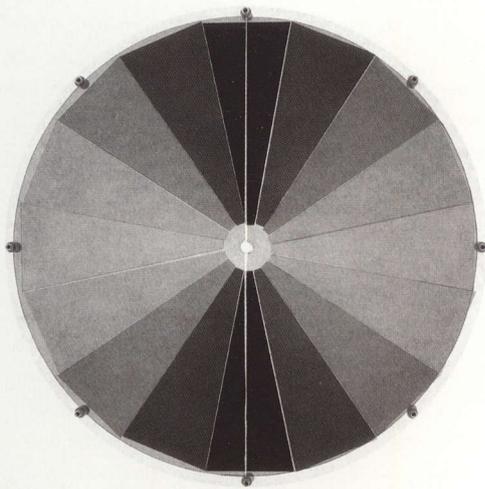


Abb. 5: Radialsymmetrische Anordnung von Polarisationsfolien, betrachtet durch eine Polarisationsfolie, die sich zu den vertikalen Segmenten in Kreuzrelation und zu den horizontalen Segmenten in Parallelrelation befindet

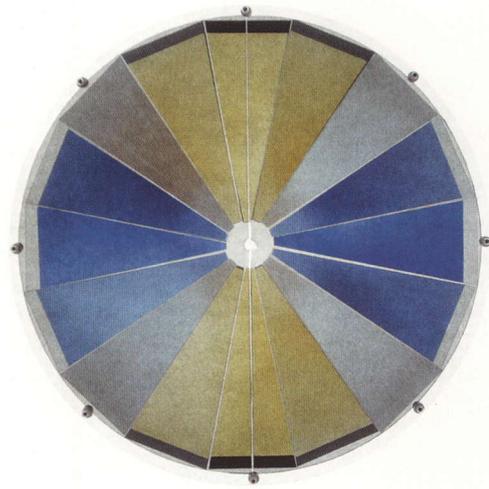


Abb. 6: Radialsymmetrische Anordnung, bestehend aus Polarisations- und Verpackungsfoliensegmenten, betrachtet durch eine Polarisationsfolie

9. Schritt: Haushaltsfolie zwischen Polarisationsfolien

Beobachtung

Auf einem Lichttisch werden zwei größerformatige Polarisationsfolien in Kreuzstellung so fixiert, dass man *zwischen* ihnen hantieren kann. Bringt man in diesen Zwischenraum Stücke gewöhnlicher durchsichtiger Haushalts- oder Verpackungsfolie, wird das gesamte Ensemble im Bereich der eingebrachten Folie durchsichtig und zugleich farbig. Dabei unterscheiden sich Knicke oder Prägungen in der Folie sowie unterschiedliche Schichtdicken in der Farbigekeit. So erscheint der Eindruck, als zeige das Material zwischen gekreuzten Polarisationsfolien ein Bild seiner inneren Beschaffenheit bzw. seines mechanischen Zustands.

Dieser Eindruck bestätigt sich, wenn man Stücke von Haushaltsfolie streckt oder Plexiglasstücke biegt. Die dabei auftretenden farbigen Formen geben Auskunft über den inneren Spannungszustand. Neben den zahlreichen Möglichkeiten, solche Beobachtungen hin zur *Spannungsoptik* systematisch zu vertiefen, ist hier die folgende Beobachtung von besonderer Bedeutung:

*Die Farbe, die eine gestreckte Verpackungsfolie zwischen **gekreuzten** Polarisationsfolien zeigt, und die, welche dieselbe Folie zwischen **parallelen** Polarisationsfolien zeigt, sind **komplementär**.*

Beim Versuch, durch eine geeignete Wahl der Foliendicke die Farbigekeit des Haidinger-Büschels anzunähern, hat sich die Verpackungsfolie von Niederegger-Marzipan-Pralinen als brauchbar erwiesen: Das Gelb, das diese Folie zwischen gekreuzten Polarisationsfolien zeigt, geht bei Parallelstellung derselben in ein leuchtendes Blau über.

Kommentar

Die für die Färbung des Haidinger-Büschels maßgebliche Komponente des menschlichen Auges ist die Hornhaut. Ihre optischen Eigenschaften können hinsichtlich der Dicke und inneren Symmetrie durch anisotrope (doppelbrechende) Materialien wie Verpackungsfolie angenähert werden [2].

10. Schritt: Ein Modell des Haidinger-Büschels

Nun wird auf jedes Segment des Radialpolarisators aus dem **8. Schritt** ein gleich geschnittenes Stück der Verpackungsfolie aus dem **9. Schritt** aufgebracht. Entscheidend ist, dass die Streckrichtung der Verpackungsfolie *diagonal* zur Blau- bzw. Gelbichtung des jeweiligen Segments verläuft. Verläuft sie parallel, verschwindet die Färbung (s. [2]–[3]).

Betrachtet man die so präparierte radialsymmetrische Anordnung (**Abb. 6**) (Radialanalysator: Gelber Fleck; Pha-

senplatte: Hornhaut) durch eine weitere Polarisationsfolie, so zeigt sich eine komplementärfarbige Figur, deren Farben und Symmetrieeigenschaften denen des Haidinger-Büschels nahekommen.

Anmerkungen

- 1) Ein Vorschlag zum Einstieg in die Polarisation mit einer Versuchsreihe zum Doppelspat wurde in [2]–[3] ausgearbeitet.
- 2) Manche Insekten (Bienen, verschiedene Ameisen und Käfer) können eine Art von Polarisationsmuster am Himmel sehen, das ihnen die räumliche Orientierung gestattet (s. [5]–[6]).
- 3) Die Durchfärbung dieses Glases bewirkt eine Abschattung der Durchsicht, so dass die Spiegelung umso besser zu sehen ist.

Literatur

- [1] Østergaard, E. et al.: Doing phenomenology in science education: a research review. In: *Studies in Science Education* 44 (2008); N° 2, p. 39–121.
- [2] Grebe-Ellis, J.: *Grundzüge einer Phänomenologie der Polarisation*. Berlin: Logos, 2005.
- [3] Grebe-Ellis, J.: *Bildverdopplung und Polarisation*. In: Grebe-Ellis, J.; Theilmann, F. (Hrsg.): *open eyes 2005 – Ansätze und Perspektiven der phänomenologischen Optik*. Berlin: Logos, 2006.
- [4] Haidinger, W. K.: Über das direkte Erkennen des polarisierten Lichts. In: *Poggendorf Annalen* 63 (1844), S. 29–39.
- [5] Wehner, R.: Der Himmelskompass der Wüstenameisen. In: *Spektrum der Wissenschaft* (1998), N° 11, S. 56–67.
- [6] von Frisch, K.: Die Polarisation des Himmelslichts als orientierender Faktor bei den Tänzern der Bienen. In: *Experientia* 5 (1949), S. 142–148.
- [7] Grebe-Ellis, J.: Vom Polarisations Schatten. In: *Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht* 54 (2001), N° 8, S. 452–454.

Bezugsadresse

Polarisationsfolie: <http://www.wenger-lehrmittel.de>