

Zur Phänomenologie der Polarisation

Johannes Grebe, Lutz-Helmut Schön

(aus: R. Brechel (Hrsg.) *Zur Didaktik der Physik und Chemie* 22. S. 254-256. Berlin : Leuchtturm. 2002)

Vorbemerkung

Es wird ein Ansatz zur modellfreien Beschreibung von Polarisationserscheinungen vorgestellt. Modellfrei heißt: indem man von Polarisation spricht, nicht von in der Vorstellung zugrunde gelegten Konstruktionen wie Strahlen, Teilchen oder Wellen auszugehen, die als solche keine Observablen sind, sondern zu beschreiben, was tatsächlich erscheint. Das klingt einfach, ist aber schwierig. Warum? Weil man im Aussprechen physikalischer Urteile gewohnt ist, die Erscheinungen als Folge von selbst nicht Erscheinendem zu verstehen, also z.B. die Effekte der Polarisation als durch Vorgänge mit Wellenfeldern verursacht zu denken, die sich selbst der direkten Wahrnehmung entziehen.

Weil man den konkreten Erscheinungszusammenhang eines Phänomens verlässt und das, was erscheint, zurückführt auf hypothetische Vorgänge, die einheitlichen Prinzipien gehorchen, ist man in der Lage, optische, elektrische, thermodynamische Probleme als mechanische Probleme zu formulieren. Darauf beruht die Reduktionismus genannte Urteilsform, die im 18. und 19. Jahrhundert als Instrument der klassischen Physik ausgebildet worden ist.

Demgegenüber besteht aus einer erkenntnistheoretisch motivierten, didaktischen Perspektive das Interesse, die Urteilsbildung gegenüber der Natur an die eigenen Wahrnehmungsmöglichkeiten anzuschließen, diese dadurch überhaupt zu entwickeln, zu stärken und damit das auf selbst gemachte Erfahrungen gestützte Urteil zu fördern. Von Schülern wünschen wir uns, dass sie ihre Sinne gebrauchen können, bevor sie den Nutzen vereinheitlichender Modelle schätzen lernen.

Polarisation als Bildzustand

Von den Erscheinungen ausgehen: was heißt das gegenüber der Polarisation? Ausgangspunkt einer modellfreien Optik, wie sie von Mackensen [?] und Maier [Mai86] entwickelt wurde, ist die dem Gesichtssinn sich unmittelbar darbietende Ansicht der Umgebung. Im Rahmen einer so verstandenen Optik der Bilder wird der Versuch unternommen, den Polarisationszustand nicht als Eigenschaft des elektrischen Feldvektors, sondern als *Bildzustand* zu beschreiben. Im Zusammenspiel verschiedener optischer Elemente in verschiedenen Phasen (Atmosphäre, Wasserspiegel, doppelbrechende Kristalle) ergeben sich Beobachtungsbedingungen, unter

denen sich charakteristische Helligkeitsänderungen der Ansicht wiederholen. Darauf und auf die Orientierung des sog. *Haidinger-Büschels*¹, dessen Beobachtung ähnlich wie die anderer Kontrastphänomene allerdings geübt werden muss, stützt sich die empirische Definition der Polarisationszustände.

Am Beispiel von vier einfachen Beobachtungen werden im Folgenden die hier gemeinten Bedingungen vorgestellt und eine empirische Definition des linearen Polarisationszustandes gegeben.

1 Beobachtung einer hellen Wolke im Spiegel einer Wasseroberfläche

In der Nähe, also unter steilen Aufblickswinkeln auf die Wasseroberfläche, hat man die Durchsicht auf den gehoben erscheinenden Grund des Sees; nur schwach und in Grautönen spiegelt sich der wolkige Himmel über einem. In der Ferne dagegen, unter flachen Blickwinkeln, ist der Wasserspiegel fast ideal; das Spiegelbild des gegenüberliegenden Ufers kommt nahezu dem Original gleich. Von Einblick ins Wasser kann hier keine Rede sein. Die Wasseroberfläche ist so zweierlei zugleich: *Fenster* und *Spiegel*. Im Wechsel zwischen nah und fern tritt eines zugunsten des anderen zurück.

Während man mit dem Blick so hin- und her wandert, kann man unter einer Blickrichtung mäßiger Schräge im Spiegelbild einer hellen Wolke eine zarte gelblich-bläuliche Figur: das sogenannte *Haidinger-Büschel* entdecken. Dieses Büschel zeigt sich im Spiegelbild des Himmels überall da, wo der Blick mit mäßiger Schräge auf das Wasser fällt, und es ist dabei im Mittel so orientiert, dass die Gelbrichtung senkrecht zur Wasseroberfläche steht. Weil die Richtung dieses Büschels mit dem jeweiligen Standpunkt des Beobachters verbunden ist, wird die damit verbundene Sichtbedingung *Standpunktbedingung* und das zugehörige Haidinger-Büschel *Oberflächenbüschel* genannt.

2 Beobachtung des Himmels

An einem wolkenlosen Tag bemerkt man zunächst, dass die Bläue des Himmels nicht überall gleich ist: Über dem Horizont, in der Nähe der Sonne und ihr gegenüber ist er heller als senkrecht zur Sonne. Indem man seinen Blick wandern lässt, gewahrt man auch hier und bevorzugt

¹Das Haidinger-Büschel beruht auf einer Netzhautreizung im Bereich des gelben Flecks, mit der das Auge auf den Anblick einer linear polarisierten Fläche antwortet. Die Büschelrichtung wird im Folgenden der Farbe entsprechend mit Gelbrichtung, die Senkrechte dazu mit Blaurichtung bezeichnet. Zur ausführlicheren Erörterung dieser Erscheinung sowie zu den Bedingungen, unter denen sie hervorgerufen werden kann, vgl. [Hai44] oder [Prö98]

in den dunklen Zonen senkrecht zur Sonne die Erscheinung des Haidinger-Büschels. Immer dort, wo man gerade hinsieht, erscheint es in der Mitte des Gesichtsfeldes und zeigt, wenn man seine Gelbrichtung verlängert, auf die Sonne. Die Orientierung des Büschels ist offenbar mit der Himmelsumgebung, genauer: mit dem augenblicklichen Sonnenstand verbunden und ändert sich folglich mit diesem. Die hierdurch gegebene Sichtbedingung wird deshalb als *Umgebungsbedingung* und das zugehörige Haidinger-Büschel als *Atmosphärenbüschel* bezeichnet.

3 Beobachtung des *Atmosphärenbüschels* des Himmels im Spiegel der Wasseroberfläche

Dazu wird die Blickrichtung eingenommen, unter der sich in Beobachtung 1 auf der vorherigen Seite das *Oberflächenbüschel* zeigte. Man sucht dazu das Ufer des Sees auf; es möge Abend sein, die Sonne ist im Begriff unterzugehen. Senkrecht zur Blickrichtung nach der Sonne schaut man auf das Wasser. Dort zeigt sich allerdings weder das eine noch das andere Büschel. Stattdessen gewahrt man einen dunklen Fleck, einige Quadratmeter groß, eine Art Schatten: ein Loch im Spiegelbild des Himmels. Hebt man den Blick und schaut nach der Stelle am Himmel, die sich hier offenkundig der Spiegelung entzieht, so zeigt sich dort ein *Atmosphärenbüschel*, das jetzt – im Augenblick des Sonnenunterganges – eine horizontale Gelbrichtung aufweist. Indem man also versucht, dieses Büschel bzw. den entsprechenden Himmelsbereich im Spiegel des Wassers zu sehen, bezieht man die Ansichten zweier Sichtbedingungen: *Standpunkt-* und *Umgebungsbedingung*, aufeinander, die durch orthogonale Haidinger-Büschel gekennzeichnet sind – mit dem Ergebnis, dass die resultierende Ansicht *ausgelöscht* ist [Gre01].

4 Beobachtung mit einer Polarisationsfolie

Diese Folie ist halbtransparent und homogen. Im Durchblick zeigt sich ebenfalls ein Haidinger-Büschel und bemerkenswert ist dabei, dass die Gelbrichtung mit der Orientierung der Folie fest verbunden ist. D.h. dreht man die Folie, so dreht sich das Büschel mit. Weil die damit gegebene Sichtbedingung an einen Festkörper gebunden ist, wird sie als *Festkörperbedingung* und das zugehörige Haidinger-Büschel als *Festkörperbüschel* bezeichnet. Man wiederholt nun die Beobachtungen 1 auf der vorherigen Seite und 2 auf der vorherigen Seite: den Schrägblick auf das Wasser und den Blick zum Himmel, indem man diese Ansichten durch die Polarisationsfolie vornimmt. Im ersten Fall stellt man damit eine Beziehung her zwischen *Festkörperbedingung* und *Standpunktbedingung* bzw. zwischen Festkörperbüschel und Oberflächenbüschel. Und man bemerkt, wie es während der Drehung der Folie um die Blickrichtung Stellungen gibt, in denen das Bild dunkel wird, also das Spiegelbild der hellen Wolke verschwindet, und solche, wo es wiederkehrt. Im Fall der *Auslöschung* sind Festkörperbüschel und Oberflächen-

büschel *orthogonal*: man erhält das Dunkelbild bzw. Schatten. Im Fall der ungestörten Ansicht des Spiegelbildes der Wolke sind die Büschelrichtungen *parallel*. Zwischenstufen ergeben Zwischenhelligkeiten, die eine Funktion des zugehörigen Richtungswinkels sind.

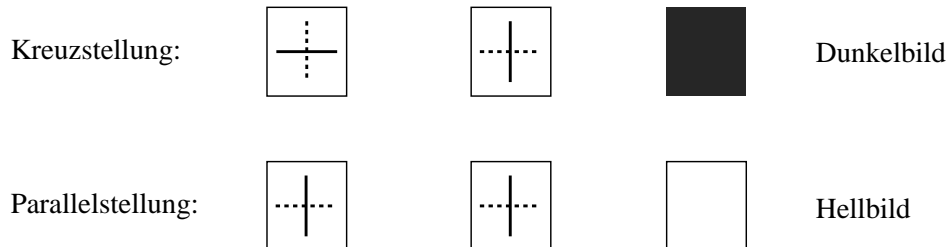


Abbildung 1: Dunkelbild und Hellbild bezogen auf die Büschelstellungen der jeweils beteiligten Sichtbedingungen (gepunktet: Gelbrichtung, durchgezogen: Blaurichtung).

Indem man in gleicher Weise den Himmel betrachtet, stellt man damit eine Beziehung her zwischen *Festkörperbedingung* und *Umgebungsbedingung* bzw. Festkörperbüschel und Atmosphärenbüschel. Es möge wieder Abend sein, man fixiert im Durchblick durch die Folie den Himmelsbereich senkrecht zur untergehenden Sonne, und auch hier erhält man: Abdunkelung bzw. Aufhellung der Ansicht in Abhängigkeit vom Drehwinkel der Folie um die Blickrichtung. Bezüglich der zugehörigen Büschel gilt wiederum: stehen sie *parallel*, haben wir die ungestörte Ansicht des Himmels, das *Hellbild*; stehen sie dagegen *senkrecht*, ist die Ansicht ausgelöscht, wir erhalten das *Dunkelbild* (Abbildung 1).

5 Zusammenfassung

Am Beispiel der genannten Beobachtungen ergeben sich drei Sichtbedingungen, die jeweils verbunden sind mit dem Auftreten eines Haidinger-Büschels. Es zeigt sich, dass die *Beziehungen* zwischen jeweils zwei dieser Sichtbedingungen wirksam werden können als Helligkeitsänderungen bzw. Auslöschung der Ansicht, und dass diese Helligkeitsänderung eine Funktion des Winkels zwischen den Richtungen der zugehörigen Haidinger-Büschel ist (*Malus-Gesetz*).

Zurückkommend auf die Ausgangsfrage nach einer empirischen Definition des linearen Polarisationszustandes kann diese beispielsweise folgendermaßen formuliert werden:

Ein optisches Bild heißt *linear polarisiert*, wenn es eine Polarisationsfolie und eine spezielle Orientierung derselben gibt, so dass bei dieser Orientierung das Bild vollständig abgedunkelt erscheint. Die zugeordneten Haidinger-Büschel stehen dann senkrecht zueinander, d.h. die Gelbrichtung der Folie fällt mit der Blau-Richtung des Bildes zusammen. Diese wird als *Polarisationsrichtung* P des Bildes bezeichnet.

Literatur

- [Gre01] GREBE, J.: Vom Polarisations Schatten – Eine phänomenologische Betrachtung. In: *MNU* 54 (2001), Nr. 8, S. 452
- [Hai44] HAIDINGER, W. K.: Über das direkte Erkennen des polarisierten Lichts. In: *Poggendorf Annalen* 63 (1844), S. 29–39
- [Mai86] MAIER, G.: *Optik der Bilder*. Dürnau : Verlag der Kooperative Dürnau, 1986
- [Prö98] PRÖBSTL, A.: Das Haidinger-Büschel als Urphänomen der Polarisationserscheinungen. In: *Elemente der Naturwissenschaften* 68 (1998), Nr. 2, S. 1–26