

203 Abbildende und nichtabbildende Optik

ZUSAMMENFASSUNG

Das Fachgebiet *nichtabbildende Optik* wird im Physikunterricht an Schule und Hochschule kaum angesprochen, obwohl es, was Methode und Inhalt betrifft, der Physik näher steht als die abbildende Optik.

Gegenstand

So wie man die geometrische Optik lernt, scheint es ihr einziges Ziel zu sein, optische Abbildungen zu realisieren. Sie findet ihre Anwendung im Bau optischer Geräte wie Lupe, Brille, Mikroskop und Teleskop. In jedem Fall soll sich möglichst viel Licht, das von einem Punkt des Gegenstandes ausgeht, in einem Bildpunkt wieder treffen.

Mängel

Bei einer gelungenen optischen Abbildung werden die Punkte eines Gegenstandes auf Punkte in der Bildebene „abgebildet“: Möglichst viel Licht, das von einem Gegenstandspunkt ausgeht, soll sich in einem Bildpunkt vereinigen. Möglichst alle Lichtstrahlen, die den Weg durch das optische System antreten, sollen im Bildpunkt wieder zusammenlaufen. Man erwartet dabei außerdem noch, dass das Bild nicht verzerrt ist, dass also die Verhältnisse zwischen den Winkeln, unter denen die Bildpunkte von einem Punkt auf der optischen Achse aus gesehen erscheinen, gleich den Winkelverhältnissen sind, unter denen man die Gegenstandspunkte sehen würde.

Wenn man den bei der Abbildung ablaufenden Vorgang als einen Energietransport betrachtet, so kann man auch sagen: Man realisiert einen Energietransport mit Licht, der eine Nebenbedingung zu erfüllen hat.

Wenn man sich nun umschaute, wo in Natur und Technik Lichttransporte realisiert sind, so stellt man fest, dass die Transporte, bei denen eine optische Abbildung gewünscht ist, nur ein Spezialfall sind, der zwar in bestimmten Zusammenhängen wichtig ist – nämlich immer wenn es um Datenübertragung geht –, in anderen aber nicht.

Wenn man sich auf die Forderung beschränkt, mit dem Licht Energie von einer bestimmten Stelle an eine andere zu transportieren, ohne dass dabei eine optische Abbildung realisiert werden soll, so entdeckt man, dass die Forderungen, die man an das optische System stellen muss, nicht einfach nur lockerer, sondern dass sie ganz anders sind. Man hat es zu tun mit dem Bereich der nichtabbildenden Optik.

Wie die abbildende Optik gehört sie zur geometrischen Optik. Ihr Ziel ist es, möglichst viel Licht von einer Quelle, gewöhnlich einer leuchtenden Fläche, zu einem Empfänger zu bringen, konkret: Die nichtabbildende Optik ist zuständig, wenn es um Beleuchtung geht, oder um die Konzentration oder das Sammeln von Licht.

Es ist schade, dass sich in Schule und Hochschule die abbildende Optik so breit gemacht hat, dass für die nichtabbildende kein Platz mehr ist. Es entsteht, wenn auch kaum deutlich ausgesprochen, der Eindruck, Probleme, die mit der Konzentration von Licht, oder mit Beleuchtung zu tun haben, seien einfach eine etwas vergrößerte Anwendung der abbildenden Optik. Das beste Gerät, das das Problem löst, so meint man vielleicht, sei ein viellinsiges Objektiv, das die Linsenfehler möglichst weitgehend korrigiert. Mit dieser Vorstellung würde man aber weit daneben liegen. Die neue Fragestellung führt zu einer ganz anderen Optik, in der andere Gesetze und Regeln entscheidend sind, und in der ein gut korrigiertes Objektiv eine ganz schlechte Lösung ist.

Herkunft

Wahrscheinlich sind die Fragestellungen der nichtabbildenden Optik später entstanden als die der abbildenden. Außerdem wurde die nichtabbildende Optik, wie auch zahlreiche andere technische Anwendungen der Physik, schon früh aus der Physik ausgegliedert und es entstand die Spezialdisziplin Lichttechnik, die an der Universität möglicherweise der elektrotechnischen Fakultät zugeordnet ist.

Entsorgung

Man untersucht ein anderes Problem als bei der abbildenden Optik: Es soll möglichst viel Licht von einer emittierenden Fläche auf eine andere gebracht werden. Ein typisches Gerät der nichtabbildenden Optik ist der Konzentrator. Bei einem Konzentrator tritt Licht durch eine Öffnung mit dem Flächeninhalt A_1 ein und durch eine andere Öffnung mit dem Flächeninhalt A_2 wieder aus, Abb. 1.

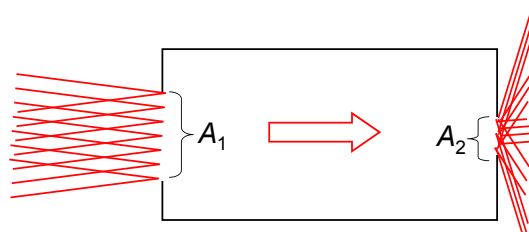


Abb. 1. Konzentrator schematisch

Das wichtigste Gesetz, das beim Design des Konzentrators zu beachten ist, ist die Sinusbedingung, auch Abbesche Sinusbedingung genannt, oder allgemeiner ausgedrückt: der 2. Hauptsatz:

$$A \cdot \sin^2 \alpha = \text{const}$$

Hier ist A die Querschnittsfläche des Lichtbündels und α der Öffnungswinkel der Lichtverteilung an jeder Stelle der Schnittfläche. Die Sinusbedingung sagt uns, dass die Unordnung im Ort (d.h. die Fläche) nur verkleinert werden kann, wenn dabei die Winkelunordnung zunimmt: Entropie kann nicht vernichtet werden.

Noch bevor man daran geht, zu fragen, wie ein Konzentrator zu konstruieren sei, kann man eine wichtige Aussage über den Konzentrationsfaktor

$$c = \frac{A_1}{A_2}$$

machen. Mit der Sinusbedingung kann man schreiben:

$$c = \frac{A_1}{A_2} = \frac{\sin^2 \alpha_2}{\sin^2 \alpha_1}$$

Nun kann der Öffnungswinkel α_2 am Ausgang des Konzentrators nicht größer als 90° werden. Die Konzentration kann daher höchstens den Wert

$$c_{\text{max}} = \frac{1}{\sin^2 \alpha_1}$$

annehmen.

Diese kurze Rechnung enthält schon viel fundamentale und gleichzeitig plausible Physik:

Je kleiner der Öffnungswinkel des eintretenden Lichts ist, desto stärker kann man es konzentrieren.

Für diffuses Licht, d.h. Licht mit $\alpha_1 = 90^\circ$, wird der Konzentrationsfaktor gleich eins; es lässt sich nicht konzentrieren.

Für die Sonne ist $\alpha_1 = 0,266^\circ$. Daraus folgt ein maximaler Konzentrationsfaktor von 46 400.

Ein optimal berechneter Konzentrator schafft 96% der theoretisch maximal möglichen Konzentration. Es lohnt sich aber gar nicht, einen solchen Konzentrator zu bauen, denn ein einfacher kegelförmiger verspiegelter Trichter schafft schon 92%.

Man mag erwarten dass ein korrigiertes Objektiv noch mehr schafft. Tatsächlich erreicht ein Objektiv, egal ob korrigiert oder nicht (Öffnungsverhältnis 1,7) nur 10 % davon.

An letzterer Aussage sieht man, dass die nichtabbildende Optik nicht einfach ein Verzicht auf Abbildungsqualität ist, sondern ein ganz anderes Stück Physik, ja, man kann sagen, hier geht es, im Gegensatz zur abbildenden Optik, tatsächlich um Physik.