

Die Wissenschaft des Lichts: Einführung in die Optik

1

In diesem Kapitel ...

- ▶ Die grundlegenden Eigenschaften des Lichts
- ▶ Ein erster Blick auf optische Anwendungen

Licht gehört wahrscheinlich zu den Dingen, die für Sie selbstverständlich sind wie etwa die Gravitation. Sie wissen nicht genau, was es ist und wo es her kommt, aber es ist immer da, wenn Sie es brauchen. Ihre Sicht hängt vom Licht ab; die Informationen, die Sie Ihrer Umwelt entnehmen, werden von dem Licht transportiert, das Ihr Auge erreicht.

Die Menschen haben Jahrhunderte damit verbracht, das Licht zu studieren, und trotzdem bleibt ein Rest von Geheimnis. Wir kennen viele Eigenschaften des Lichts und wissen, wie wir sie zu unserem Nutzen anwenden können, aber wir wissen trotzdem nicht alles. Daher ist die *Optik* das kontinuierliche Studium des Lichts; das reicht von der Frage, wie man es erzeugt und was es ist, bis hin zu der Frage, was man damit machen kann. Die Optik besteht im Allgemeinen aus drei Gebieten: der geometrischen Optik, der physikalischen Optik und der Quantenoptik. Je mehr die Menschen über das Licht gelernt haben, desto mehr neue Wege haben sie auch gefunden, es zu verwenden, um das Leben zu verbessern. Dies alles wird im folgenden Kapitel ein wenig beleuchtet.

Die Eigenschaften des Lichts

Aufgrund einer zufälligen mathematischen Entdeckung wird Licht auch als *elektromagnetische Welle* bezeichnet, ein Name, der darauf hinweist, dass Lichtwellen aus elektrischen und magnetischen Feldern bestehen. Wenn Sie an Licht denken, meinen Sie wahrscheinlich das, was Ihre Augen wahrnehmen. Zahlreiche Menschen, die regelmäßig mit Licht arbeiten, bezeichnen mit dem Begriff *Licht* aber die gesamte elektromagnetische Strahlung, also alles, was von sehr niedrigen Frequenzen über Radiofrequenzen bis zur Gamma-Strahlung reicht.

Licht hat sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaften (was in den weiteren Kapiteln dieses Teils erläutert wird), aber Sie können nicht beide gleichzeitig wahrnehmen. Unabhängig von seinen Eigenschaften wird Licht durch Atome oder durch beschleunigte Ladungen erzeugt. Sie können zwischen zahlreichen Geräten wählen, die Licht der gewünschten Wellenlänge oder Frequenz (im Prinzip die Farbe, die Sie möchten) erzeugen. Die Optik umfasst alle Lichtquellen von Glühbirnen bis hin zur Funkübertragungen.

Sie haben drei Möglichkeiten, den Weg des Lichts zu beeinflussen (das heißt, das Licht nach Ihren Vorstellungen zu lenken): Reflexion, Brechung und Beugung; sie werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt. Mithilfe einiger grundlegender Gleichungen können Sie berechnen, wie sich das Licht bei diesen Prozessen verhält. In der Optik werden darüber

hinaus Möglichkeiten untersucht, praktischen Nutzen aus diesen Phänomenen zu ziehen, etwa durch das Erzeugen von Bildern oder das Senden digitaler Daten durch Glasfasern.

Erzeugung von Bildern mit Hilfe der Teilcheneigenschaften des Lichts

Die Teilcheneigenschaften des Lichts treten gewöhnlich in Erscheinung, wenn man sich mit der *geometrischen Optik* (oder *Strahlenoptik*) beschäftigt bzw. Bilder erzeugt (siehe Teil II). In diesen Fällen legen die Lichtteilchen zwischen der Quelle und der nächsten Oberfläche geradlinige Wege zurück. Diese Idee führt zur einfachsten Art der Abbildung, dem Schatten. Schatten liefern nicht sehr viele Informationen, aber sie geben sowohl die Form des Körpers als auch den Ort der Lichtquelle richtig wieder.

Zwei wichtige Effekte der geometrischen Optik sind die Reflektion und die Brechung. Die *Reflexion* beschreibt das Zurückwerfen des Lichts an einer Oberfläche. Die *Brechung* ist dagegen die Ablenkung eines Lichtstrahls, wenn dieser aus einem Material in ein anderes eintritt. Man kann mithilfe dieses Vorgangs Bilder erzeugen und verändern; die genaue Kenntnis dieses Prozesses wird Ihnen helfen, die *Bildfehler* zu verstehen, die dafür sorgen, dass ein Bild unscharf ist. Sie können die Linsen und Spiegel, die mit Reflektion und Brechung arbeiten, aber auch dazu verwenden, den verwischten Effekt zu beseitigen, der manchmal bei der Bildherzeugung entsteht. Wenn Sie allerdings zuviel Licht haben, verschwimmen all die erzeugten Bilder, und Sie sehen nur noch Licht.

Sich die Welleneigenschaften zunutze machen: Interferenz und Beugung

Die *physikalische Optik*, die in Teil III behandelt wird, beschäftigt sich mit den Welleneigenschaften des Lichts. Die *Interferenz* (bei der zwei oder mehr Wellen miteinander wechselwirken) und die *Beugung* (die ungewöhnliche Eigenschaft von Wellen, sich um ein Hindernis herum zu winden, um den Raum dahinter zu füllen) sind einzigartige Eigenschaften der Wellen.

Um die *optische Interferenz* (die Interferenz zwischen Lichtwellen) zu verstehen, muss man zunächst die *optische Polarisation* verstehen. Die optische Polarisation beschreibt die Orientierung der Ebene, in der das elektrische Feld der Lichtwelle schwingt. In der Optik spielt in den meisten Wechselwirkungen mit Materie nur das elektrische Feld eine Rolle, da nur das elektrische Feld ruhende geladene Teilchen beeinflussen kann, das magnetische Feld aber nicht. Es gibt verschiedene Verfahren, mit deren Hilfe man den Polarisationszustand des Lichts verändern kann, so dass das Licht für zahlreiche verschiedene optische Anwendungen wie etwa den Laser oder optische Verschlüsselungen genutzt werden kann.

Die Welleneigenschaften des Lichts erlauben Ihnen, die Interferenz zur Messung zahlreicher Größen wie etwa des Brechungsindexes und von Oberflächenmerkmale wie Höhenunterschiede und Unebenheiten zu verwenden. Insbesondere verwenden bestimmte optische Geräte, die *Interferometer* genannt werden, den Effekt der Interferenz zur Messung.

Die Beugung, das zweite außergewöhnliche Wellenphänomen, bestimmt die Auflösung, also die Frage, wann zwei benachbarte Gegenstände noch getrennt wahrnehmbar sind. Optische

Instrumente, bei denen zahlreiche Spalte ganz dicht beieinander angeordnet sind, erzeugen ein Beugungsmuster, das man dazu verwenden kann, ein Material zu identifizieren, indem man die verschiedenen Farben des Lichts trennt, die das Material aussendet.

Die Optik zu Ihrem Vorteil verwenden: Grundlegende Anwendungen

Es ist eine Sache, die grundlegenden Eigenschaften des Lichts zu verstehen, aber eine andere, diese auch praktisch anzuwenden (blättern Sie zu dem vorangegangenen Abschnitt »Die Eigenschaften des Lichts« zurück, wenn Sie mehr über diese Eigenschaften erfahren wollen.) Die elementaren Kenntnisse der Optik sinnvoll zu verwenden, bedeutet, optische Instrumente für eine breite Reihe von Anwendungen zu entwickeln, wie sie in Teil IV vorgestellt werden. Hier folgen nur einige wenige der zahlreichen Anwendungen optischer Geräte:

- ✓ **Die Veränderung von Bildern:** Wie weiter oben in diesem Kapitel bereits angesprochen wurde, erlaubt die Kenntnis der Erzeugung und Veränderung von Bildern mithilfe verschiedener Arten von Linsen und Spiegeln die Entwicklung optischer Instrumente, die das Aussehen der Bilder verändern können. Brillen wurden entwickelt, um Kurz- und Weitsichtigkeit zu korrigieren, ein einfaches Vergrößerungsglas liefert ein vergrößertes Bild von ziemlich kleinen Körpern.

Das Ausmaß der Vergrößerung einer einfachen Lupe wird durch deren physikalische Eigenschaften bestimmt. Sie können somit ein einfaches Mikroskop bauen, indem Sie zwei Linsen im richtigen Abstand anordnen, um kleine Körper entsprechend zu vergrößern. Um Dinge in großer Entfernung zu beobachten kann man ein Teleskop bauen, um schließlich Bilder auf einen großen Bildschirm abzubilden, einen Projektor.

- ✓ **Die Entwicklung von Beleuchtung:** Sie können mithilfe optischer Grundlagen auch Beleuchtungsquellen für die verschiedensten Anwendungen entwickeln, zum Beispiel Lampen, die nur bestimmte Bereiche beleuchten oder solche, die den gesamten Raum erhellen oder verschönern. Die Entwicklung von hell leuchtenden Glühbirnen, Leuchtmittellampen oder auch neueren Erzeugnissen wie lichtemittierende Diode (LEDs) beruhen auf der Kenntnis der optischen Eigenschaften der Materialien.
- ✓ **Sehen, wo das Auge nicht sehen kann:** Die Lichtleitertechnik und insbesondere Glasfasern ermöglichen es, Licht in Bereiche zu senden, die außerhalb unseres Sichtbereichs liegen, beispielsweise in ein eingestürztes Haus oder in einen Körper. Die Glasfaser-technik beruht auf der Kenntnis der Totalreflexion (siehe Kapitel 4), die es ermöglicht, Licht in einen dünnen Glasfaden einzuschließen.

Ihr Verständnis der Optik erweitern

Die grundlegenden Gesetze der Optik machen es möglich, das Verhalten des Lichts in unterschiedlichen Situationen vorherzusagen, doch daraus etwas nützliches zu machen, ist nicht ganz so einfach. Anwendungen der Optik, wozu auch optische Systeme gehören, machen gewöhnlich von zwei oder mehr optischen Phänomenen Gebrauch, um das gewünschte Ergebnis zu liefern. Die meisten Anwendungen der Optik beruhen auf dem Wissen, wie sich verschiedene optische Prinzipien in einem System kombinieren lassen. Wenn man optische

Systeme entwickelt, muss man sicher stellen, dass das Licht sich auch so verhält, wie man es im Hinblick auf das Ergebnis möchte, unabhängig davon, ob es sich um eine einzelne Lichtquelle (wie eine Glühbirne oder einen Laser) oder ein von einem Teleskop oder einer Kamera geliefertes Bild handelt.

Warum sind diese fortgeschrittenen Anwendungen so wichtig? Die Kenntnis des (oftmals raffinierteren) Zusammenspiels der verschiedenen optischen Phänomene bildet die Grundlage der technischen Optik. Mithilfe des Wissens, wie Licht sich verhält, wenn es auf verschiedene Materialien trifft und der Interpretation dieser Informationen wurden Anwendungen auf so wichtigen Gebieten wie der medizinischen Bilddarstellung und der Glasfaserkommunikationsnetzwerke entwickelt.

Komplizierte Anwendungen

Zahlreiche optische Geräte, wie sie in Teil V vorgestellt werden, erfordern die Kombination verschiedener optischer Prinzipien. Kameras, die Bilder aufzeichnen, erfordern Kenntnisse der Bildentstehung, der Fokussierung und der Intensitätskontrolle, um schöne Bilder zu erhalten. Bei der Holographie und bei dreidimensionalen Filmen muss man die Tiefenwahrnehmung berücksichtigen und Beugungsgitter einsetzen. Zahlreiche medizinische Bildgebungsverfahren beruhen auf der Wirkung des Lichts und dem Transports von Informationen durch Licht.

Laser stellen eine besondere Lichtquelle für viele Zwecke dar. Da Laser Licht aussenden, müssen Sie wissen, wie Licht sich verhält, um Laser sinnvoll und sicher benutzen zu können. Heutzutage findet man Laser in Geräten wie medizinischen Apparaten, verschiedenen Fertigungsmaschinen, zahlreichen Qualitätskontrollanlagen, optischen Speicherplatten wie CDs und DVDs und im militärischen und Sicherheitsbereich (aber Laserpistolen gibt es noch nicht!).

Komplexe Bildgebungsverfahren ermöglichen es außerdem, in Bereiche ohne oder mit wenig Licht zu schauen. Infrarotkameras erzeugen Bilder, die eher auf Temperaturunterschieden als auf der Menge an reflektiertem Licht beruhen. Das jahrhundertealte Teleskop zur Beobachtung des Himmels verlangt nach Veränderungen, um die durch die Brechungsoptik gegebenen Grenzen zu überwinden.

Anwendungen der modernen Optik

Die fortgeschrittene Optik (siehe Teil VI) beschäftigt sich mit Phänomenen, die nicht nur auf der einfachen Brechung beruhen. Wenn der Brechungsindex, der normalerweise unabhängig von der Intensität des Lichts ist, sich mit der Intensität ändert, dann können eigenartige Dinge passieren wie etwa die Frequenzumformung in Kristallen. Der Bereich der Optik, der sich mit diesen Effekten beschäftigt, heißt *nichtlineare Optik*; diese hat zu vielen neuen Diagnostikmethoden und Laserwellenlängen geführt.

Ein weiterer Bereich der modernen Optik sind die Einzel-Photon-Anwendungen, die ein merkwürdiges Verhalten zeigen, das mit der Tatsache zusammenhängt, dass Licht in einem unbestimmten Zustand ist, sofern Sie keine Messung durchführen. Das ist die Grundlage (siehe ebenfalls Teil VI) für neue Anwendungen im Bereich abhörsicherer Kommunikation und superschneller Computer.

Sie ebneten den Weg: Beiträge zur Optik

Im Bereich der Optik gibt es zahlreiche Beiträge von Studenten, die das Establishment und den herkömmlichen Weg zu denken infrage stellen. In Teil VII werden einige Experimente vorgestellt, mit denen Sie versuchen können, die optischen Gesetze nachzuvollziehen, die in diesem Buch vorgestellt werden. Wenn Sie einige optische Instrumente bauen, werden Sie beginnen, die Herausforderungen zu entdecken, die im Bau optischer Systeme stecken. Da Experimente die Wurzel aller Entdeckungen sind, werden in Teil VII außerdem einige wichtige optische Durchbrüche und die Menschen vorgestellt, denen sie gelungen sind.

All diese Informationen erlauben Ihnen zu erkennen, wie die Grundlagen der Optik mithilfe von Beiträgen von Neueinsteigern sowie den Kenntnissen von auf dem Gebiet der Optik etablierten Naturwissenschaftlern weiterentwickelt wurde. Wenn Sie die grundlegenden Prinzipien der Optik anwenden, die in diesem Buch erläutert werden, dann haben Sie genug Kenntnisse um in der Lage zu sein, sich in alle optischen Probleme einzuarbeiten, die Ihnen in der Schule, bei der Arbeit oder anderen Gelegenheiten begegnen werden. Wenn die optische Technologie voranschreitet, haben Sie die grundlegenden Hintergrundkenntnisse, um jeden der neu entwickelten technischen Wege mitzugehen. Im Grunde genommen sind dem Gebiet der Optik zahlreiche Beiträge auf verschiedenem Niveau zugute gekommen; das sollte Sie motivieren, selbst einen nächsten entscheidenden Beitrag zu der Wissenschaft des Lichts zu liefern.

