

Vorwort

Mit der Erstellung der vorliegenden fünften Auflage wurden drei übergreifende Ziele verfolgt: die Verbesserung didaktischer Details, die Modernisierung der Darstellungsweise (zum Beispiel gibt es nun etwas mehr über Photonen, Zeiger und Fourieroptik) und die Aktualisierung des Inhalts, vor allem im Hinblick auf neue Technologien (zum Beispiel gibt es nun einen Abschnitt zu Atominterferometern und einen über Metamaterialien). Die Optik ist ein sich schnell entwickelndes Gebiet, und die vorliegende Auflage soll dem Leser einen aktuellen Einstieg ermöglichen, wobei der Fokus auf der Didaktik liegt.

Dabei gab es mehrere Zielsetzungen: (1) Die zentrale Rolle der atomaren Streuprozesse bei fast allen Aspekten der Optik sollte klar herausgearbeitet werden. (2) Die grundlegend quantenmechanische Natur des Lichts (tatsächlich von allen Quantenteilchen) sollte von Beginn an eingeführt werden, auch wenn das Buch methodisch eher traditionell angelegt ist. Daher wird der Leser neben den vertrauten Photonenbildern auch Elektronen- und Neutronenbeugungsmuster finden. (3) Die Fouriertheorie als ein sehr mächtiges Werkzeug, das in der modernen Analyse so weit verbreitet ist, sollte bereits sehr früh eingeführt werden. Aus diesem Grund werden die Konzepte der Raumfrequenz und der räumlichen Periode bereits in Kapitel 2 vorgestellt und grafisch veranschaulicht.

Auf Wunsch von Studierenden habe ich über den gesamten Text mehr als einhundert vollständig ausgearbeitete Beispiele eingestreut, in denen die im jeweiligen Abschnitt behandelten Prinzipien angewendet werden. Außerdem sind zweihundert neue Aufgaben (ohne Lösungen) in den entsprechenden Übungsabschnitten am Ende der Kapitel hinzugekommen. Lehrende können auf Anfrage eine vollständige Zusammenstellung sämtlicher Aufgabenlösungen erhalten. Nach dem Motto „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“ wurde der Text durch zahlreiche neue Diagramme und Fotos ergänzt. Die didaktische Stärke des Buches liegt darin, dass der behandelte Stoff tatsächlich erklärt wird. Diesem Ansatz bleibt auch die vorliegende Auflage treu.

Seit Veröffentlichung der vierten Auflage habe ich jedes Jahr Optik unterrichtet, und dabei sind mir einige Stellen im Buch aufgefallen, die zum Vorteil der Studierenden noch klarer formuliert werden könnten. Aus diesem Grund werden in der vorliegenden Überarbeitung Dutzende kleine Fallstricke angesprochen und bei den Herleitungen

viele Zwischenschritte mit angegeben. Alle Zeichnungen wurden eingehend auf Korrektheit geprüft. Einige wurden geändert, um die Verständlichkeit zu verbessern.

Substanzielle Erweiterungen wurden an folgenden Stellen vorgenommen: In Kapitel 2 (*Die Wellenbewegung*) wurde ein Abschnitt über *verdrilltes Licht* hinzugefügt. In Kapitel 3 (*Theorie des Elektromagnetismus, Photonen und Licht*) gibt es nun eine elementare Behandlung der Differentialoperatoren Divergenz und Rotation, eine zusätzliche Diskussion über Photonen sowie Unterabschnitte zu *gequetschtem Licht* und zur *negativen Brechung*. Kapitel 4 (*Die Ausbreitung des Lichts*) wurde ergänzt um Kommentare zur optischen Dichte und zu elektromagnetischen Randbedingungen, desweiteren um eine ausführlichere Darstellung abklingender Wellen sowie um Unterabschnitte zur *Brechung von Licht an Punktquellen*, zur *negativen Brechung*, zur *Strahlkonstruktion nach Huygens* und zur *Goos-Hänchen-Verschiebung*. Kapitel 5 (*Geometrische Optik*) enthält zahlreiche neue Zeichnungen, die das Verhalten von Linsen und Spiegeln illustrieren, außerdem zusätzliche Anmerkungen zur Faseroptik sowie Unterabschnitte zu *virtuellen Objekten*, zur *Strahlverfolgung in der Brennebene* und zu *mikrostrukturierten Fasern*. In Kapitel 6, in dem die Behandlung der geometrischen Optik weitergeführt wird, gibt es eine neue Darstellung der einfachen Strahlverfolgung durch eine dicke Linse. Kapitel 7 (*Superposition von Wellen*) bietet einen neuen Abschnitt über *negative Phasengeschwindigkeiten*, eine deutlich erweiterte Behandlung der Fourieranalyse mit vielen Diagrammen, die – ohne Rechnung – zeigen, wie die Methode funktioniert, und eine Diskussion des optischen Frequenzkamms (dessen Erfinder 2005 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurden). In Kapitel 8 (*Polarisation*) wird dargelegt, wie die mächtige Zeigermethode angewendet werden kann, um polarisiertes Licht zu analysieren. Außerdem gibt es hier eine neue Diskussion über das Transmissionsverhalten von Polarisatoren und einen Unterabschnitt über *Wellenfronten und Strahlen in einachsigen Kristallen*. Kapitel 9 (*Interferenz*) beginnt mit einer kurzen Diskussion über Beugung und Kohärenz im Zusammenhang mit dem Experiment von Young. Es gibt mehrere neue Unterabschnitte, darunter *Nahfeld / Fernfeld*, *Interferenz von Teilchen* und *Messung der Kohärenzlänge*. Kapitel 10 (*Beugung*) enthält einen neuen Unterabschnitt *Zeiger und die Amplitude des elektrischen Feldes*. Dutzende von neu hinzugekommenen Diagrammen und Fotos illustrieren eine Vielzahl von Beugungsphänomenen, Kapitel 11 (*Fourieroptik*) umfasst nun einen Unterabschnitt *Zweidimensionale Bilder*, in dem durch eine bemerkenswerte Serie von Illustrationen gezeigt wird, wie durch Kombination von räumlichen Frequenzkomponenten Bilder erzeugt werden. Kapitel 12 (*Grundlagen der Kohärenztheorie*) enthält mehrere neue Unterabschnitte von einführendem Charakter, darunter *Muster und Kohärenz* sowie *Beugung und verschwindende Streifen*. Dazu gibt es eine Reihe von zusätzlichen, sehr instruktiven Abbildungen. In Kapitel 13 (*Moderne Optik*) wurde die Behandlung von Lasern erweitert und aktualisiert; es wurden Tabellen und Abbildungen ergänzt, ebenso einige neue Unterabschnitte, darunter *Optoelektronische Bildrekonstruktion*.

Die vorliegende fünfte Auflage bietet in erheblichem Umfang neues Material, das besonders für Lehrende auf dem Gebiet der Optik von Interesse sein dürfte. Beispielsweise können wir nun, zusätzlich zu ebenen, sphärischen und zylindrischen Wellen, auch schraubenförmige Wellen erzeugen, für die die Fläche konstanter Phase während der Propagation durch den Raum eine Wendelfläche bildet (Abschnitt 2.11).

Abgesehen von der Mathematik bereitet es Studierenden oft Schwierigkeiten zu verstehen, was die Operatoren *Divergenz* und *Rotation* physikalisch bedeuten. Diesem Problem wurde in der vorliegenden Überarbeitung Rechnung getragen, indem im Rahmen von Abschnitt 3.1.5 in sehr einfacher Weise erläutert wird, was die Operatoren eigentlich machen.

Das Phänomen der *negativen Brechung* ist Gegenstand aktueller Forschung. Eine kurze Einführung in die physikalischen Grundlagen, die dabei eine Rolle spielen, ist nun in Kapitel 4 zu finden.

Huygens entwarf eine Methode zur Konstruktion gebrochener Strahlen, die schon für sich genommen ihren Reiz hat, doch sie bietet zudem einen bequemen Zugang, um die Brechung in anisotropen Kristallen zu verstehen.

Wenn man die Wechselwirkung von elektromagnetischen Wellen mit Materie untersucht (beispielsweise bei der Herleitung der fresnelschen Gleichungen), dann macht man Gebrauch von den *Randbedingungen*. Da manche der Studierenden vielleicht noch nicht sehr vertraut mit der Theorie des Elektromagnetismus sind, enthält die fünfte Auflage eine kurze Diskussion der physikalischen Ursprünge dieser Bedingungen (Abschnitt 4.6.1).

Das Buch bietet nun auch eine kurze Einführung der *Goos-Hänchen-Verschiebung*, die bei der Totalreflexion auftritt (Abschnitt 4.7.1). Dies ist ein sehr interessantes Stück Physik, das in einführenden Abhandlungen häufig übergangen wird.

Die *Strahlverfolgung in der Brennebene* ist eine unkomplizierte Methode, um den Strahlenverlauf in komplizierten Linsensystemen zu konstruieren. Die Behandlung dieser einfachen, aber mächtigen Methode wurde ebenfalls neu in die vorliegende Auflage aufgenommen; sie funktioniert gut im Seminarraum und ist ein paar Minuten der Vorlesungszeit wert.

Durch mehrere neue Diagramme wird nun klarer, was es mit virtuellen Bildern und *virtuellen Objekten* auf sich hat, die von Linsensystemen erzeugt werden.

Der weit verbreitete Einsatz von Glasfasern hat eine aktualisierte Darstellung bestimmter Aspekte dieses Themas notwendig gemacht. Zu dem neu aufgenommenen Stoff gehören unter anderem ein Abschnitt zu *mikrostrukturierten Fasern* sowie allgemeinere Ausführungen zu *photonischen Kristallen*.

Ergänzend zu der normalerweise etwas formellastigen und leider „trockenen“ mathematischen Behandlung der Fouriertheorie enthält das Buch nun eine faszinierende

grafische Analyse, durch die deutlich wird, was die verschiedenen Integrale bewirken. Dieser Stoff eignet sich hervorragend für den Grundkurs.

Um die Addition von harmonischen Wellen für die Studierenden zu visualisieren, wird ausgiebig von Zeigern Gebrauch gemacht. Die Methode ist sehr nützlich bei der Behandlung von orthogonalen Feldkomponenten, welche die verschiedenen Polarisationszustände konstituieren. Darüber hinaus liefert die Methode ein hübsches Werkzeug, mit dem man das Verhalten von Wellenplatten analysieren kann.

Das Experiment von Young und allgemein die Doppelstrahlinterferenz spielen sowohl in der klassischen Optik als auch in der Quantenoptik eine zentrale Rolle. Allerdings ist die übliche Einführung in diese Thematik allzu vereinfachend, da sie die Limitierungen durch die Phänomene Beugung und Kohärenz vernachlässigt. Bei der Analyse wird nun bereits frühzeitig auf diese Komplikationen eingegangen (Abschnitt 9.1.1).

Die traditionelle Behandlung der Interferenz wird erweitert durch die Verwendung von Zeigern, die die Amplitude des elektrischen Feldes grafisch repräsentieren. Damit haben die Studierenden eine alternative Möglichkeit zu visualisieren, was passiert (Abschnitt 9.3.1).

Auch die Beugung lässt sich bequem mittels Zeigern beschreiben. Dieses Verfahren führt auf natürliche Weise zu der klassischen *Vibrationskurve*, die an Feynmans Zugang zur Quantenmechanik über Wahrscheinlichkeitsamplituden erinnert. Auf jeden Fall bietet sie den Studierenden eine alternative Möglichkeit, das Phänomen der Beugung zu verstehen, und zwar eine, die nahezu ohne Rechnung auskommt.

Leser, die sich für Fourieroptik interessieren, finden nun eine wunderbare Serie von Abbildungen, die zeigt, wie aus sinusförmigen räumlichen Frequenzbeiträgen ein erkennbares zweidimensionales Bild generiert werden kann – in unserem Fall ein Porträt des jungen Einstein. Diese außergewöhnliche Sequenz von Bildern sollte unbedingt diskutiert werden, sogar in einem Einführungskurs, in dem der Stoff aus Kapitel 11 ansonsten wahrscheinlich noch zu schwierig ist.

Um die weiterführende Behandlung der Kohärenz in Abbildung 12 für eine breitere Leserschaft zugänglicher zu machen, enthält die vorliegende Auflage eine Einführung, die fast ohne Mathematik auskommt und die die Grundlage für die traditionelle Darstellung schafft.

Schließlich wurde der Stoff über Laser erweitert (wenngleich er auch jetzt nur einführenden Charakter hat) und stärker mit dem aktuellen Stand der Laserphysik in Einklang gebracht.

In den seit der vierten Auflage vergangenen Jahren haben mir Dutzende Kollegen aus allen Teilen der Welt Kommentare, Hinweise, Vorschläge, Artikel und Fotos für diese neue Auflage zukommen lassen – ihnen allen gilt mein aufrichtiger Dank. Besonders hervorheben möchte ich Professor Chris Mack (University of Texas, Austin) und Dr. Andreas Karpf von der Adelphi University. Zu großem Dank verpflichtet bin ich auch meinen vielen Studierenden, an denen ich die neuen Texte ausgetestet habe. Sie

haben zudem die neuen Aufgaben durchgearbeitet (nicht selten in Klausuren) und mir bei der Aufnahme von einigen der neuen Fotos geholfen. In Bezug auf Letzteres danke ich besonders Tanya Spellman, George Harrison und Irina Ostrazhnyuk für die Stunden, die sie mit der Kamera in der Hand verbracht haben.

Die Unterstützung durch das Team von Addison Wesley weiß ich in höchstem Maße zu schätzen. Mein besonderer Dank gilt der Programmleiterin Katie Conley, die den Entstehungsprozess der vorliegenden fünften Auflage mit viel Geschick und Aufmerksamkeit von Anfang bis Ende geleitet hat. Das Lektorat besorgte gewissenhaft und geduldig Joanne Boehme – sie hat einen großartigen Job gemacht. Jim Atherton von Atherton Customs zeichnete Hunderte von komplexen Diagrammen. Die Ergebnisse sind wirklich außergewöhnlich und sprechen für sich. Die vorliegende Auflage wurde unter der stets präsenten Führung von John Orr von Orr Book Services entwickelt. Sein ausdauernder Einsatz für die Herstellung eines korrekten und schönen Buches verdient besonderes Lob. In einer Zeit, in der das traditionelle Verlagswesen einen radikalen Wandel durchlebt, hielt er kompromisslos an den höchsten Standards fest, wofür ich sehr dankbar bin. Es war wirklich ein Vergnügen und ein Privileg mit einem so hochprofessionellen Fachmann zusammenzuarbeiten.

Schließlich danke ich meiner lieben Freundin, außergewöhnlichen Korrekturleserin und Ehefrau Carolyn Eisen Hecht, die geduldig die Mühen einer weiteren Auflage eines weiteren Buches ertrug. Ihr Humor, ihre Nachsichtigkeit, ihre emotionale Großzügigkeit und ihr guter Rat waren sehr wichtig.

Wer mir Kommentare und Hinweise zur vorliegenden Auflage oder auch Vorschläge für eine künftige Auflage zukommen lassen möchte, erreicht mich an der Adelphi University, Physics Department, Garden City, NY, 11530 oder besser noch unter genehecht@aol.com.

