

herauszugreifen. Bringt man in einem undurchsichtigen Körper eine kleine Oeffnung an, wie ja auch die Pupille des Auges eine kleine Oeffnung ist, so wird aus der unendlichen Fülle von Licht, die von einem leuchtenden Punkte herrührt, ein kleines Strahlenbündel ausgesondert, das allein durch die Oeffnung hindurch dringt. Macht man die Oeffnung recht eng, so wird auch das Strahlenbündel eng, und in der Tat kann man an solchen recht engen Strahlenbündeln die Eigenschaften von Lichtstrahlen (Spiegelung und Brechung) recht schön zeigen. Es ist aber klar, dass man es auch bei sehr kleiner Oeffnung immer noch mit einem Strahlenbündel, nicht mit einem einzigen Strahl zu tun hat. Will man einen einzelnen Strahl zwar nicht unmittelbar haben, aber doch sich ihm möglichst nähern, so wird man versuchen, die Kleinheit der Oeffnung ganz ausserordentlich zu steigern. Tut man dies aber und geht bis zu Oeffnungen herab, die nicht nur Zehntel- oder gar Hundertstel-Millimeter breit sind, sondern deren Breite auf Tausendstel- und Zehntausendstel-Millimeter herabsinkt, so wird man mit Erstaunen bemerken, dass man sich dem Ideal eines Lichtstrahles nicht genähert, sondern im Gegenteil von ihm ganz erheblich entfernt hat. Lässt man durch eine solche Oeffnung Licht auf einen dahinterstehenden Schirm fallen, so findet man nicht bloss der Oeffnung gegenüber einen hellen Fleck, und zwar etwas breiter, als er nach der rein geometrischen Strahlkonstruktion sein müsste, sondern er zeigt sich auch farbig gesäumt. Deutlicher wird die Erscheinung, wenn man statt einer Oeffnung mehrere nebeneinander anbringt, am besten nicht in kreisrunder Gestalt, sondern spaltförmige Oeffnungen. Man erhält dann in der Mitte ein helles Spaltbild, zu dessen beiden Seiten farbige Bilder in den Regenbogenfarben von Violett bis Rot auftauchen. Benutzt man statt des weissen Lichtes Licht einer einzigen bestimmten Spektralfarbe, so verschwinden die farbigen Bilder, und statt dessen ist das helle Spaltbild der Mitte zu beiden Seiten von minder hellen Bildern in bestimmten Abständen umgeben.

Das Licht hat sich also von dem Spalt aus nicht nur in der geraden Richtung, in der es auf den Spalt fiel, ausgebreitet, sondern auch nach den seitlichen Richtungen. Der Lichtstrahl, den man erzeugen wollte, ist gewissermassen unter den Händen zerflossen, er existiert um so weniger, je näher man ihm durch Verengung des Spaltes zu kommen hoffte.

Die Erscheinung, die man Beugung des Lichtes nennt, beruht eben darauf, dass die Ausbreitung des Lichtes tatsächlich in ähnlicher Weise, wie die des Schalles, durch die wellenförmige Fortpflanzung einer Erschütterung in dem Erregungspunkte, der Lichtquelle, besteht. Dass man im gewöhnlichen Leben solche Erscheinungen nicht wahrnimmt, hat seinen Grund darin, dass die Länge der Lichtwellen gegenüber der Länge aller anderen uns bekannten Wellen ausserordentlich klein ist. Bei den kleinsten Schallwellen beträgt die Wellenlänge immerhin noch einige Centimeter, und auch bei kleinen Wasserwellen geht die Wellenlänge kaum bis unter die Hälfte eines Centimeters herab. Beim Licht dagegen handelt es sich um Wellen, deren Länge nicht etwa nach Millimetern oder selbst Zehntel-Millimetern zu messen ist, sondern nur nach Zehntausendsteln eines Millimeters. Während daher bei Schallwellen und Wasserwellen die Beugung schon bei den Oeffnungen von gewöhnlicher Breite eintritt, wird sie bei Lichtwellen erst wahrnehmbar, wenn die Breite der Oeffnungen von so geringer Dimension ist, dass sie mit der Wellenlänge selbst vergleichbar ist.

Hieraus geht aber sofort hervor, dass die Wirkung eines Mikroskopes ebenfalls eine verhältnismässig enge Begrenzung hat. Die organischen Teilchen, deren Struktur mit dem Mikroskop untersucht wird, sowie ihre gegenseitigen Abstände sind von einer Kleinheit, dass sie mit den Längen der Lichtwellen durchaus vergleichbar ist. Wird nun das mikroskopische Objekt auch noch so stark beleuchtet, so tritt an den Rändern der zu untersuchenden Struktur-Elemente doch Beugung des Lichtes auf, und in der mit dem Okular (Augenglas) betrachteten Bildebene kann man nicht eine dem Objekt irgendwie vergleichbare Abbildung sehen, sondern man erblickt Beugungerscheinungen des Lichtes, die ein vollständig verschiedenes Aussehen von dem untersuchten Gegenstande selbst haben. Die Beugung des Lichtes setzt also der auflösenden

Kraft des Mikroskopes eine Grenze, die nach den eingehenden und grundlegenden Untersuchungen des berühmten, vor 2 Jahren verstorbenen Physikers Abbe, des bekannten Begründers der Optischen Werkstätten und der Carl Zeiss-Stiftung in Jena, bei 2 Zehntausendsteln eines Millimeters liegt. Gegenstände, die nicht mindestens um solche Entfernung voneinander abstehten, können auch von den besten Mikroskopen nicht mehr zu irgendwelcher ähnlichen Abbildung gebracht werden.

Die grundlegenden Untersuchungen Abbes stammen aus dem Anfang der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts, und über ein Jahrzehnt hindurch glaubte man, hiermit die tatsächliche Grenze erreicht zu haben, bis zu der es uns in die Welt des Kleinsten einzudringen möglich ist. Aber seit 3 Jahren ist es gelungen, noch einen Schritt weiter zu gehen. Die Herren Siedentopf und Zsigmondy in Jena, beide Schüler Abbes, untersuchten die Struktur goldhaltiger Rubingläser in der Weise, dass sie auf eine dem Objekt ähnliche Abbildung der Struktur der Goldteilchen, die in feinsten Verteilung in dem Glase enthalten sind, zwar verzichteten, aber durch die bei intensivster Beleuchtung erhaltenen Beugungsbilder doch einen Aufschluss über die durch das Gold hervorgebrachte Ungleichmässigkeit in dem anscheinend ganz homogenen Stoffe erhielten. Die Benutzung dieser Beugungsbilder zwar nicht zur Erkennung der wirklichen Struktur, aber doch zur Erkennung der Tatsache einer Struktur überhaupt ist in der Folge weiter ausgearbeitet worden, und man kann sogar einen Anhalt über die Grösse der Teilchen bekommen, die mit dem für diesen Zweck besonders einzurichtenden Mikroskop nachzuweisen sind. Da die Teilchen jenseits der mit dem Mikroskop noch wahrnehmbaren Grössen liegen, nennt man sie Teilchen von ultramikroskopischer Grösse oder „Ultramikronen“, während man das Instrument selbst als „Ultramikroskop“ bezeichnet. Schon die Erfinder der Methode konnten in einzelnen Rubingläsern, sowie in anderen Goldlösungen rotfärbende Goldteilchen nachweisen, deren Anordnung zwar nicht erkennbar ist, deren Grösse aber sicherlich unterhalb 5 Milliontel-Millimetern liegt, also Teilchen, deren Grösse nur den hundertsten Teil dessen beträgt, was mit dem Mikroskop noch sichtbar ist.

In der seither verflossenen Zeit ist das Ultramikroskop zur näheren Untersuchung interessanter biologischer Fragen angewendet worden; so sind Bakterien in Flüssigkeiten auf ultramikroskopische Weise verhältnismässig leicht zu beobachten, und in faulenden Eiweisslösungen hat man ein vielgestaltiges Bild von Bakterien gefunden. Ueberhaupt zeigt sich in Eiweisslösungen die Zahl der Ultramikronen um so grösser, je komplizierter der chemische Bau des betreffenden Eiweisses ist. Zweifellos wird uns das Ultramikroskop noch manchen wichtigen Aufschluss gerade über solche die feinsten Lebensvorgänge betreffende Fragen liefern.

Noch in einer anderen Richtung ist vor 2 Jahren die auflösende Kraft des Mikroskopes erhöht worden. Während das Ultramikroskop unter Verzicht auf eine dem Gegenstand ähnliche Abbildung die Sichtbarmachung von hundertmal so kleinen Teilchen als vorher ermöglicht, geht die zweite Methode nicht ganz so weit, sie verdoppelt nur die auflösende Kraft des Mikroskopes, aber sie behält die dem Gegenstand ähnliche Abbildung bei, so dass unserer genauesten Kenntnis eine doppelt so mannigfache Welt des Kleinen erschlossen ist.

Wir erwähnten schon, dass die Wellenlänge des Lichtes nach Zehntausendstel-Millimetern zu messen ist; die längsten Lichtwellen sind die des roten Lichtes mit $7\frac{1}{2}$, die kleinsten die des violetten Lichtes mit 4 Zehntausendstel-Millimetern. Zwischen diesen Grössen liegen die Wellenlängen der übrigen, den Spektral- oder Regenbogenfarben entsprechenden Lichtarten. Nun gibt es aber noch eine Fülle von Wellen derselben Art wie die Lichtwellen, nur dass sie für unser Auge nicht wirksam sind. Die Netzhaut unseres Auges ist eben den ganz bestimmten Wellenlängen angepasst, die in uns die Lichtempfindung hervorrufen; von der Sonne und anderen Lichtquellen gehen aber eine Reihe teils längerer, teils kürzerer Wellen aus, die das Auge nicht wahrnimmt. Die längeren, sogen. ultraroten Wellen, verraten sich durch stärkere erwärmende Wirkung, die kürzeren, sogen. ultravioletten Wellen, bringen in hervorragender Weise chemische Wirkungen hervor, wirken also recht kräftig auf die photo-