

Die Naturwissenschaften, die so viel zur Formung unserer modernen Zivilisation beigetragen haben, entwickelten sich durch sorgfältige Analyse der Sinneseindrücke, die wir ständig von unserer Umwelt aufnehmen. Zur Hauptsache verlassen wir uns dabei auf das Auge, und so ist es auch verständlich, daß gerade dem Mikroskop, mit dessen Hilfe wir kleinere Einzelheiten sehen können, bei der Erweiterung unserer wissenschaftlichen Erkenntnisse ein sehr großes Verdienst zukommt. Theoretisch wurde nachgewiesen, daß von Objekten, die kleiner sind als ungefähr die halbe Wellenlänge der zur Abbildung benutzten Lichtstrahlen, keine Bilder mit wahrheitsgetreuen Einzelheiten mehr erhalten werden. Da blaues Licht eine Wellenlänge von 0,4 Mikron (0,0004 mm) besitzt, wird es gar nie möglich sein, damit Objekte von weniger als 0,2 Mikron Durchmesser zu sehen. Die optischen Mikroskope sind heute so vervollkommen, daß diese untere Grenze der Sichtbarkeit bereits erreicht ist.

Versuche, diese Grenze zu durchbrechen, führten zur Anwendung von Strahlen mit kürzeren Wellenlängen als derjenigen des sichtbaren Lichtes. Kleine Fortschritte konnten mit Aufnahmen im ultravioletten Licht erzielt werden; aber eigentlich hatten uns nur die Röntgenstrahlen ermöglicht, noch feinere Objekte wahrheitsgetreu abzubilden. Ein Röntgenmikroskop konnte aber nicht konstruiert werden, da kein Weg bekannt ist, um mit dieser Strahlenart durch Linsen in gleicher Weise Bilder zu erzeugen, wie es im gewöhnlichen Mikroskop mit dem sichtbaren Licht geschieht. Aus diesem Grunde sah es bis vor kurzem fast so aus, als hätte man die der direkten Beobachtung zugängliche Grenze erreicht, und daß unsere Kenntnisse über die sublichtmikroskopische Welt für immer auf Ergebnissen basieren würden, die man auf indirektem Wege durch logische Überlegungen finden kann. Diese pessimistische Aussicht wurde durch zwei Forschungsergebnisse verändert, nämlich erstens durch den Nachweis, daß geeignet geformte magnetische und elektrische Felder als Elektronenlinsen wirken können, und zweitens durch die Entdeckung, daß die sich schnell bewegenden Elektronen gleichzeitig Wellenstrahlen mit extrem kurzen Wellenlängen vorstellen. Die Elektronenmikroskope, die man seither auf Grund dieser Entdeckungen gebaut hat, sind denn auch Instrumente, welche die Elektronenstrahlen durch magnetische oder elektrische Felder in gleicher Weise wie die Glaslinsen des gewöhnlichen Mikroskops das Licht sammeln. Die Elektronenstrahlen besitzen so kurze Wellenlängen, daß bei voller Ausnutzung des Auflösungsvermögens noch kleinere Objekte als einzelne Atome abgebildet werden könnten. Trotz der technischen Kompliziertheit der heutigen Elektronenmikroskope sind wir jedoch noch nicht imstande, diese Grenze zu erreichen. Gleichwohl gelingt es aber, Dinge zu sehen, die hundertmal kleiner sind als alle bisher sichtbaren Einzelheiten.

Die neue Welt, die dadurch der direkten Beobachtung und Forschung zugänglich wird, ist von größter Wichtigkeit. Denken wir nur an die Feinstruktur der Bakterien oder anderer, im gewöhnlichen Mikroskop kaum noch wahrnehmbarer Mikroorganismen sowie an den molekularen Aufbau des Protoplasmas der lebenden Zelle. Für die Medizin ist die Elektronenmikroskopie wichtig, weil alle bis jetzt unsichtbaren Viren, die als Erreger von Influenza, Masern, Pocken, Mumps und Kinderlähmung auftreten, nun beobachtet werden können. Für die Biologie im allgemeinen ist sie von Interesse, weil diese Viren zusammen mit mutmaßlichen Teilchen gleicher Größe, die bis jetzt nicht erkannt worden sind, da sie keine Krankheiten verursachen, die einfachsten Lebensformen darstellen. Ebenso interessant ist die neue Forschungsrichtung für die Chemie, weil sie gestattet, die einzelnen Moleküle der Proteine (Eiweißstoffe) und anderer, in der Natur oder im Laboratorium aufgebauter hochmolekularer Stoffe sichtbar zu machen. Die Möglichkeit, einzelne Moleküle zu sehen, führt zu einer neuen Art Chemie und Physik, indem die bei chemischen Reaktionen entstandenen

Produkte direkt beobachtet und aus der Anordnung der Moleküle mechanische oder andere wichtige Eigenschaften fester Substanzen bestimmt werden können. Die erwähnten Anwendungen der Elektronenmikroskopie werden durch die hier wiedergegebenen Aufnahmen illustriert.

Es ist sehr schwer, sich die extrem starken Vergrößerungen dieser Bilder zu vergegenwärtigen. Wenn wir uns vorstellen, daß die Aufnahmen ungefähr einen Durchmesser von 15—45 Kilometer aufweisen würden, wenn sie in gleichem Maße vergrößert worden wären, wie die darauf abgebildeten Objekte, so begreifen wir, wie unvorstellbar klein die wiedergegebenen Einzelheiten sind.

Obwohl im Elektronenmikroskop die für die Abbildung wichtigen Bestandteile, wie z. B. die Lichtquelle und die Linsen, die als Kondensor, Objektiv und Projektionsokular wirken, gleich angeordnet sind wie im Lichtmikroskop, ist doch das physikalische Verhalten der Elektronen von jenem des Lichtes so verschieden, daß die Analogie nicht zu weit getrieben werden sollte.

Im Lichtmikroskop treten die Einzelheiten des Präparates deshalb hervor, weil das Objekt für das durchfallende Licht nicht überall gleich durchlässig ist. Die Elektronen hingegen werden von aller Materie so stark absorbiert, daß das elektronenoptische Bild nicht durch verschiedene Absorption, sondern vielmehr durch unterschiedliche Streuung der Elektronen entsteht. Fallen die Elektronen auf ein genügend dünnes Präparat, wie das im Elektronenmikroskop geschieht, so werden es die meisten davon unbeeinflusst durchstrahlen; nur wenige werden absorbiert, zahlreiche andere dagegen gestreut, d. h. um verschiedene Winkel aus ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt. Die meisten dieser gestreuten Elektronen entgehen dem Felde der Linsen und gelangen daher nicht an den entsprechenden Punkt der Abbildung; durch die Abwesenheit dieser Elektronen ergibt sich ein Helligkeitsausfall, der als deutlicher Kontrast die feinsten Einzelheiten des Präparates in der Aufnahme sichtbar macht. Sehr dicke oder dichte Partien des Präparates oder Stellen, die viele schwere Atome enthalten, streuen die Elektronen am stärksten, erscheinen daher dunkel und heben sich darum in den Bildern deutlich ab.

Einzelne Riesenmoleküle oder andere Teilchen gleicher Größe konnten im Elektronenmikroskop kaum gesehen werden, da sie zu wenig Masse besitzen, um eine genügende Streuung der Elektronen zu verursachen. Diese Schwierigkeit kann jedoch beseitigt werden, indem man die Präparate vor der Untersuchung mit einer äußerst dünnen, nur einige Atome dicken, stark streuenden Schwermetallschicht bedeckt. Wenn diese Metallschicht im Vakuum von einer seitlich über dem Präparat liegenden Quelle her aufgedampft wird, so ist sie an den gegen die Verdampfungsquelle gerichteten Flächen am dicksten, während sie an Stellen fehlt, die gegen die eintreffenden Atomstrahlen durch oberflächliche Erhöhungen abgeschirmt werden. Solche «metallbeschatteten» Präparate erscheinen im Elektronenmikroskop wie ein dreidimensionales Relief. Ähnlich einer Landschaft, die bei auf- oder untergehender Sonne von oben betrachtet wird, werfen die feinsten Einzelheiten deutliche Schatten.

Es ist unmöglich vorauszusagen, was noch alles entdeckt wird, wenn wir tiefer in das vom Elektronenmikroskop erschlossene Gebiet eindringen. Die hier wiedergegebenen Aufnahmen sind Beispiele für seine Anwendung bei Problemen, die bereits früher mit indirekten Methoden bearbeitet und nun gelöst worden sind. Mehr als ein Jahrhundert war nötig, um das zusammengesetzte Mikroskop zu entwickeln und das dadurch erschlossene Wissensgebiet zu bearbeiten. Da das Elektronenmikroskop eine ebenso große Ausweitung des sichtbaren Bereiches ermöglicht wie seinerzeit das Lichtmikroskop, so können wir erwarten, daß auch hier mehrere Jahrzehnte erforderlich sind, um seine Möglichkeiten für die Forschung erschöpfend auszunützen.