



von C. Ucke und C. Himmler *

Beugung an Erythrozyten Diffraction by Erythrocytes

The mean diameter of red blood corpuscles (erythrocytes) can be measured with a simple laser experiment. The experiment described here is designed for the teaching of physics to medical students, rather than as a new method for clinical application. The didactic concept of the experiment is described.

Es wird ein für ein physikalisches Praktikum für Mediziner entwickeltes Experiment beschrieben, in dem ein Laser dazu benutzt wird, den Durchmesser von roten Blutkörperchen (Erythrozyten) zu bestimmen. Es wird auf die didaktische Konzeption des Versuchs eingegangen.

Einleitung

Seitdem der Laser zur Verfügung steht, ist es sehr einfach, Beugungsfiguren, die an Spalten, Lochblenden, Gittern o.ä. entstehen, auf einem Schirm aufzufangen. Schon 1823 hatte Young die Idee, als Beugungsobjekte eine Anzahl statistisch verteilter roter Blutkörperchen (Erythrozyten) zu nehmen. In der Hämatologie ist die Methode, aus der Beugungsfigur den Durchmesser der Erythrozyten zu bestimmen, als halometrisches Verfahren bekannt [1]. Mit herkömmlichen Lichtquellen ist der Aufwand aber relativ gross. Kürzlich schlug Bowit [2] vor, als Lichtquelle den Laser zu nehmen. Da der Versuchsaufbau sehr einfach ist, eignet er sich auch für einen Praktikumsversuch. Im folgenden wird kurz die Durchführung und Auswertung des Versuchs beschrieben.

Versuchsaufbau und Ergebnisse

Man streicht einen Tropfen Blut (mit einer Hämostilette leicht aus der Fingerbeere zu gewinnen) so auf ein Mikroskopdeckgläschen aus, dass möglichst eine Monoschicht von Erythrozyten entsteht (Bild 1a). Im normalen Blut überwiegt die Zahl der Erythrozyten die anderen Blutkörperchen bei weitem. Erythrozyten kann man in erster Nähe-

rung als kreisförmige Scheibchen (Durchmesser ca. 7,5 µm, Dicke ca. 2 µm) ansehen [1].

Bringt man das Deckgläschen mit den Erythrozyten in den Strahl eines He-Ne-Lasers (Bild 2) und ordnet dahinter einen Auffangschirm auf einer optischen Schiene an, so wirken die Erythrozyten als kreisförmige Beugungsobjekte, und auf dem Schirm ergeben sich eine Anzahl von Beugungsringen (Bild 1b). Nach dem Babinet'schen Prinzip ist es für das Aussehen dieser Beugungsringe gleichgültig, ob man eine Lochblende oder einen im Durchmesser gleich grossen undurchsichtigen Kreis auf sonst transparentem Grund nimmt.

Aus dem Radius r der dunklen Beugungsringe auf dem Schirm, dem Abstand L des Schirms vom Deckgläschen und der Wellenlänge λ des Lasers lässt sich der mittlere Durchmesser d der Erythrozyten errechnen:

$$d = \frac{n \cdot \lambda \cdot \sqrt{r^2 + L^2}}{r} \quad n = 1,22; 2,23; 3,24, \dots$$

Zugrunde liegt hier die bekannte Formel der Beugung an einer Lochblende.

Nimmt man als einfachstes Hilfsmittel zur Längenmessung ein Lineal, so erhält man im Mittel für den Durchmesser

$$d = 7,5 \mu\text{m} \pm 10\%$$

Die Genauigkeit ist dadurch begrenzt, dass sich die Radien (bzw. Durchmesser) der dunklen Beugungsringe durch einfaches Anlegen des Lineals nicht wesentlich besser bestimmen lassen.

Mit einer Fotodiode als Detektor und einem Weggeber lässt sich die Intensitätsverteilung der Beugungsringe auf einem XY-Schreiber (Bild 2) registrieren, wodurch die Genauigkeit etwas gesteigert werden kann.

Der auf diese Weise mit dem Laser bestimmte mittlere Durchmesser kann nun verglichen werden mit dem Maximum der mit Hilfe eines Mikroskops festgestellten Verteilungskurve, in der die Häufigkeit in Abhängigkeit vom Zelldurchmesser dargestellt ist (Bild 1c). Dabei ergibt sich im Rahmen der Messgenauigkeit Übereinstimmung.

Bei beiden Verfahren muss man berücksichtigen, dass die Erythrozyten nach dem Aufbringen und Trocknen auf dem Deckgläschen um bis zu 10% schrumpfen können.

* Physik-Department E 20 (TU München), D-8046 Garching b. München

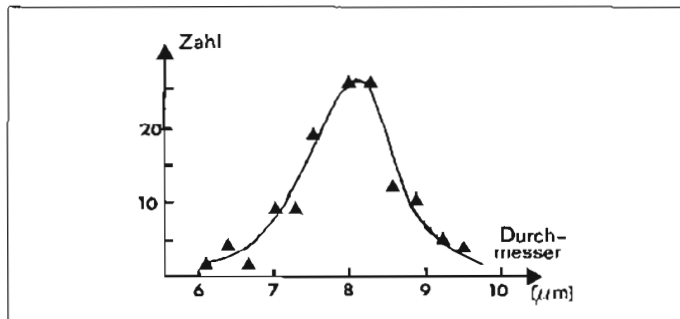
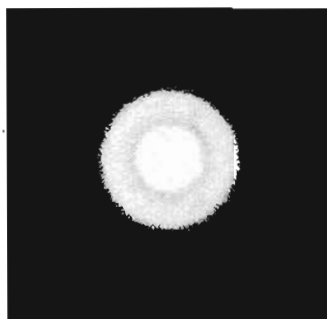
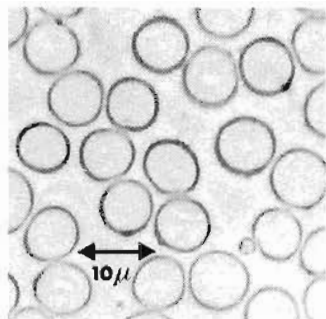


Bild 1a: Erythrozyten unter dem Mikroskop

Bild 1b: Beugungsfigur der Erythrozyten

Bild 1c: Häufigkeitsverteilung der Erythrozyten. Das Maximum liegt bei ca. 8 µm.

Zur diagnostischen Verwendung ist zu bemerken, dass man mit diesem Verfahren nur den mittleren Durchmesser bestimmt. Im Krankheitsfall kommt es aber ebenso auf die genaue Form der nur in erster Näherung scheibenförmigen Erythrozyten an, die nur unter dem Mikroskop bestimmt werden kann.

Didaktische Ziele des Versuchs

Das Ziel des Versuchsaufbaus lag aber nicht darin, ein diagnostisches Hilfsmittel für den klinischen Betrieb zu entwickeln, sondern vielmehr in den didaktischen Möglichkeiten für ein physikalisches Anfängerpraktikum, wie es nach der Approbationsordnung von jedem Mediziner absolviert werden muss:

a) Mit der beschriebenen Anordnung werden grundlegende Gesetzmässigkeiten der Beugung sichtbar gemacht. Die Relevanz der Physik für die Medizin und damit zugleich die Verbindung zwischen beiden Disziplinen wird aufgezeigt.

b) Es lassen sich zwei Methoden (Laserbeugung, Mikroskop) zur Bestimmung des Durchmessers der Erythrozyten elegant nebeneinanderstellen, die nach verschiedenen Gesichtspunkten miteinander verglichen und diskutiert werden sollen (physikalisches Prinzip, Voraussetzungen der Messungen, Interpretierbarkeit der Ergebnisse, Genauigkeit, Zeitaufwand usw.). Besonderer Wert wird auf eine Fehlerdiskussion gelegt.

c) Die charakteristischen Merkmale des Lasers (Parallelität, Monochromasie, Kohärenz, hohe Leistungsdichte) sollen von den Studenten beschrieben werden können. In welchen Gebieten der Medizin werden jeweils welche Merkmale des Lasers ausgenutzt bzw. erscheinen nutzbar [3, 4]? Auch Filme können den zukünftigen Medizinerinnen vorgeführt werden [5].

d) An diesem Versuch werden Fragen der Sicherheit erörtert. Warum ist der Laser gefährlich? Welche Schutzmassnahmen (Brille, matte Objekte usw.) muss man beachten?

Entsprechende Schutzvorschriften werden erwähnt bzw. besprochen [6, 7].

e) Der Begriff der Leistungsdichte (Dosis) spielt in der Medizin ausser beim Laser auch beim Ultraschall, bei Röntgenstrahlen und Radioaktivität eine Rolle. Es soll systematisch der Transfer wichtiger physikalischer Begriffe in verschiedenartige Gebiete geübt werden.

Aus den angeführten Punkten ist ersichtlich, dass sich eine Reihe fachlicher und fachübergreifender Fragen an diesem Versuch diskutieren lassen. Die meisten der Fragen wird man aber in einem Anfängerpraktikum nur auf qualitativem Niveau behandeln, da ja keine Spezialausbildung vorweggenommen werden soll.

Mit entsprechenden Erweiterungen ist der Versuch auch für ein Praktikum für Physiker denkbar; diese werden umgekehrt auf andere Disziplinen (Medizin, Biotechnik) aufmerksam gemacht.

Erwähnt werden soll noch, dass sich der Versuch auch dazu eignet, beispielsweise Gruppenarbeit (Teamwork) zu üben. Verschiedene Gruppen können verschiedene Methoden anwenden; am Ende werden die Ergebnisse verglichen und gemeinsam miteinander diskutiert.

Für Physiker wären auch kleine Aufgaben mit Projektcharakter denkbar: Ist es zum Beispiel möglich, aus der Intensität der Beugungsringe auf die Zahl der beugenden Erythrozyten zu schliessen?

Der Versuch ist im einfachsten Fall (Laser, Deckgläschen, Halter, Schirm, opt. Schiene) mit weniger als DM 1000,- realisierbar. Ab 1976 wird er als einer unter zwölf Versuchen im physikalischen Prak-

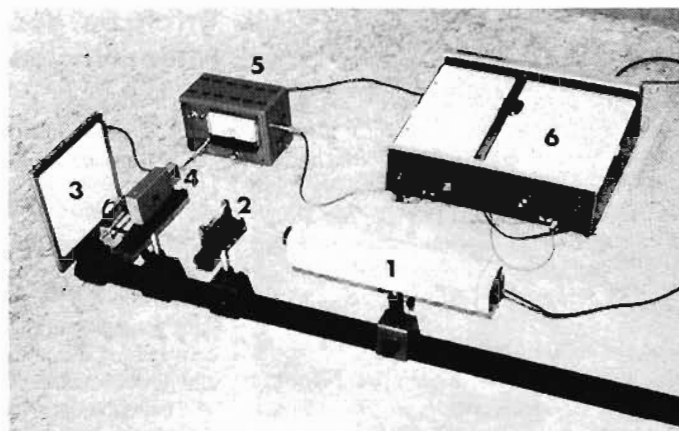


Bild 2: Versuchsaufbau zur Bestimmung des Durchmessers von Erythrozyten mittels Beugung durch einen Laser. Auf einer optischen Schiene sind der Laser (1) (Typ Metrologic ML 660, 1 mW, Strahldurchmesser $\sim 1,2$ mm), das Deckgläschen mit den Erythrozyten auf einem Halter (2) und wahlweise ein Schirm (3) oder eine Fotodiode als Detektor (4) justiert. Die Fotodiode ist senkrecht zur optischen Schiene verschleubar und direkt mit einem potentiometrischen Weggeber verbunden. Die Spannungsversorgung von Fotodiode und Weggeber ist in (5) untergebracht. Auf einem XY-Schreiber (6) kann die Intensität der Beugungsringe in Abhängigkeit vom Ort festgehalten werden.

tikum für Mediziner an der Technischen Universität München eingesetzt werden. Er wurde im Rahmen einer Zulassungsarbeit für das Staatsexamen unter besonderer Berücksichtigung der didaktischen Überlegungen im Physikdepartment E 20 der TU München aufgebaut [8].

Literatur

- [1] Matthes, M.: Messungen, Kurven, Indizes in: Heilmeyer, Hiltmair (Hrsg): Handbuch der gesamten Hämatologie, München 1960. - [2] Bowit, C.: Measurement of Red Blood Cell Diameters Using a Laser, Physics Education (1971): 13-15. - [3] Goldman, L., Rockwell, R.J.: Lasers in Medicine, New York 1971. - [4] «Medical Potential of Laser» und «Clinical Applications of Laser», Forschungs- und Dokumentationsfilm-Gesellschaft Dr. N. Schenker, München. - [5] Unfallverhütungsvorschrift Laserstrahlen (VBG 93) Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, 1973. - [7] DIN 58 215: Laserschutzfilter und Laserschutzbrillen (Entwurf 1972). - [8] Himmler, C.: Aufbau eines Praktikumsversuches «beugung an Erythrozyten», Zulassungsarbeit, Physikdepartment E 20, Technische Universität München, 1975.

Zu verkaufen

YAG-Dauerstrich-Laser

Holobeam 256 QT, 50-Watt-Laser mit Q-Switch und Moden-Blende. Aufbau für universelle Anwendung in Labor oder Fabrikation. 450 Betriebsstunden, einwandfreier Zustand, günstiger Preis.

Ar-Ionen-Laser

Spectra Physics 162.00 mit all line option, ergibt 10 mW/488 nm und 5 mW/514 nm, 25 Betriebsstunden, neuwertig, günstiger Preis.

Offerten bitte unter Chiffre 973 an
Aargauer Tagblatt AG, CH-5001 Aarau