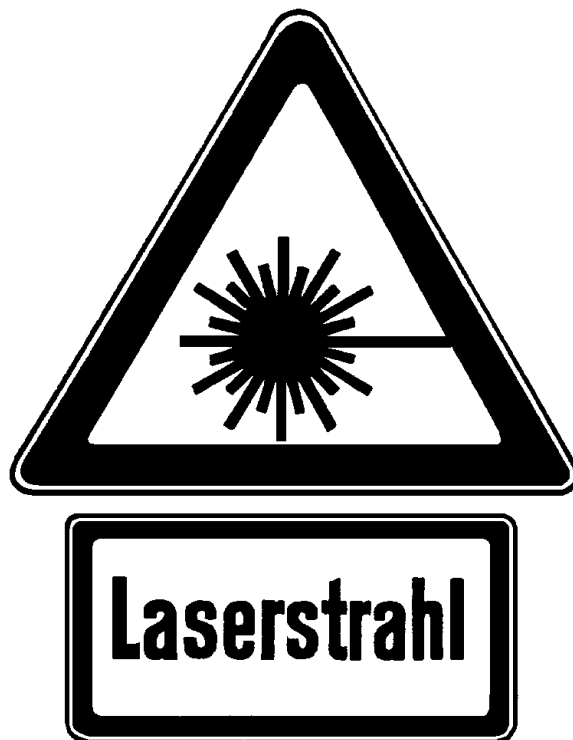


BEUGUNG AN ERYTHROZYTEN MIKROSKOP



BEUGUNG AN ERYTHROZYTEN/MIKROSKOP

In diesem Praktikumsversuch werden zwei verschiedene Methoden zur Bestimmung des Durchmessers roter Blutkörperchen (Erythrozyten) angewendet und miteinander verglichen. Einmal messen Sie mit dem Mikroskop eine Anzahl von Erythrozyten einzeln aus und ermitteln die Größenverteilungskurve und den Mittelwert (sog. PRICE-JONES-Verfahren, das in der Medizin eine gewisse Rolle spielt). Sie lernen dabei das für jeden Arzt und Biologen wichtige Mikroskop handhaben und in seiner Genauigkeit abschätzen. Zum anderen wird aus dem - mittels eines Lasers gewonnenen - Beugungsbild der mittlere Durchmesser der Erythrozyten bestimmt. Dabei handelt es sich um ein klinisch noch nicht eingesetztes Verfahren. Sie lernen einige Eigenschaften eines Lasers kennen, die auch in der Medizin bzw. Biologie eine Bedeutung haben.

Zur Auswertung dieses Versuchs wird ein Computer bereitgestellt. Computer sind aus der medizinischen und biologischen Praxis nicht mehr wegzudenken

Dieser Versuch soll - weil der Computer mit dem entsprechenden Programm nur während der Praktikumszeit zur Verfügung steht - z.T. sofort ausgewertet und ausgearbeitet werden.

1 Grundlagen des Versuchs

1.1 Beugung an einem Spalt

Auf einen schmalen Spalt falle paralleles Licht, das bei diesem Versuch durch einen Laser geliefert wird. Man kann auch andere intensive Lichtquellen mit zusätzlicher Optik zur Erzeugung parallelen Lichts heranziehen, wie dies früher gemacht wurde. Mit dem Laser steht heute eine sehr intensive Lichtquelle zur Verfügung, die darüberhinaus sehr paralleles Licht liefert.

Auf einem Schirm wird das Beugungsbild des Spaltes aufgefangen (siehe Abbildung 1), das aus dunklen und hellen Streifen besteht.

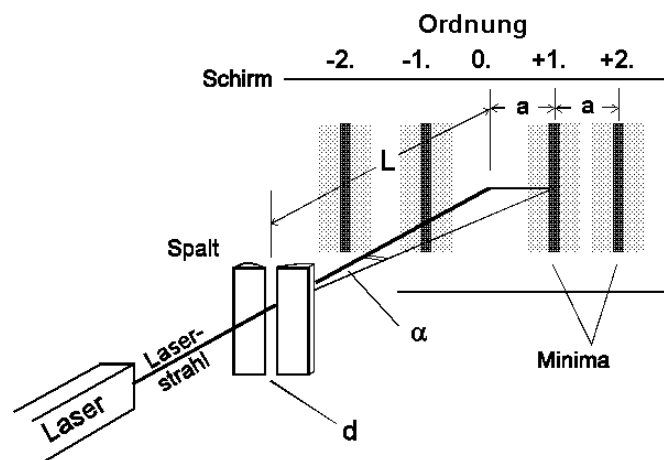


Abb.1: Anordnung der Beugung am Spalt

Für die Lage der dunklen Streifen (Minima) gilt nun

$$\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{d}$$

wobei n die Ordnung des jeweiligen dunklen Streifens (Minimum) bedeutet ($n = 1, 2, 3, \dots$). Die Wellenlänge des Lichts wird mit λ bezeichnet, die Breite (Durchmesser) des Spaltes ist d , der Winkel α kennzeichnet die hinter dem Spalt stattfindende Ablenkung (Beugung) des Lichts. a sei der Abstand vom Mittelpunkt der Beugungserscheinung bis zum ersten Minimum; L ist der Abstand Spalt-Schirm.

Mit der Bezeichnung aus Abb. 1 ergibt sich

$$\sin \alpha_1 = \frac{a}{\sqrt{a^2 + L^2}}$$

Da man im Experiment L und a bequem bestimmen kann, läßt sich bei Kenntnis von λ die Breite d des Spaltes errechnen.

1.2 Beugung an einer kreisförmigen Öffnung

Läßt man paralleles Licht auf eine kreisförmige Öffnung (\emptyset d) fallen, entsteht ein Beugungsbild mit konzentrischen Kreisen (Abb. 2).

Für die Lage der dunklen Ringe gilt wie bei der Beugung am Spalt:

$$\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{d}$$

wobei d der Durchmesser der Öffnung ist.

ABER: In diesem Fall gilt $n = 1,22; 2,23; 3,24, \dots$

(Die Nichtganzzahligkeit von n hat recht komplizierte Gründe, die wegen der schwierigen damit verbundenen Mathematik hier nicht dargestellt werden können. Sie brauchen eine Herleitung dieser Zahlen auch nicht zu können! Das können auch Physiker nicht aus der hohlen Hand)

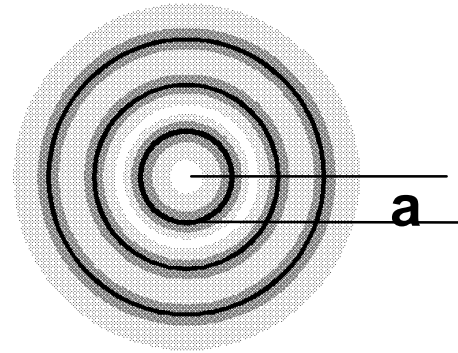


Abb.2: Beugungsbild an einer kreisförmigen Öffnung (Loch mit Durchmesser d)

1.3 Babinetsches Prinzip

Setzt man an Stelle der kreisförmigen Öffnung eine im Durchmesser gleich große undurchsichtige Scheibe auf sonst transparentem Untergrund, so ändert sich am Beugungsbild nichts. Das bezeichnet man als Babinetsches Prinzip.

1.4 Beugung an vielen unregelmäßig verteilten Scheibchen

Läßt man einen dünnen, parallelen Laserstrahl auf viele unregelmäßig verteilte Scheibchen fallen, so ändert sich an der Lage der Beugungsringe ebenfalls nichts. Ein dünner Ausstrich roter Blutkörperchen stellt näherungsweise eine Anzahl unregelmäßig angeordneter, kreisförmiger gleichgroßer Objekte dar (Abb. 3).

Die Struktur des Beugungsbildes erscheint allerdings durch Interferenz körnig: die Intensität der Maxima wächst außerdem mit der Zahl der zur Beugung beitragenden Teilchen.

Wenn die Teilchen nicht unregelmäßig, sondern in einer bestimmten Ordnung vorhanden sind, ändert sich das Beugungsbild drastisch. Probieren Sie die beim Versuch ausliegenden Objekte aus.

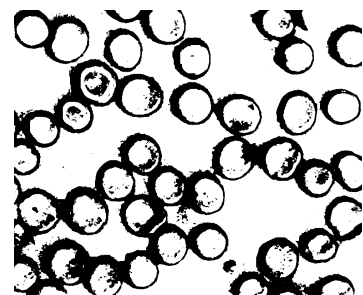


Abb.3: Erythrozyten im Mikroskop

1.5 Der Laser

Der Laser ist eine Lichtquelle, die etwa seit 1960 zur Verfügung steht und sich seitdem technologisch und anwendungsmäßig schnell fortentwickelt hat.

Sehr vereinfacht läßt sich der Laser so erklären: Licht ist der Übergang von Elektronen in den verschiedenen Schalen eines Atoms unter Aussendung elektromagnetischer Strahlung. Beim Laser wird ein höherenergetischer Zustand der Atome des Lasermaterials gegenüber dem Grundzustand bevorzugt besetzt. Durch gewisse Tricks kann man erreichen, daß diese Elektronen gleichzeitig in den Grundzustand übergehen. Es wird dann eine elektromagnetische Strahlung ausgesendet, die sehr monochromatisch und kohärent und außerdem sehr parallel und intensiv ist.

In dem vorliegenden Versuch werden die Monochromasie, Parallelität und Intensität der Laserstrahlung ausgenutzt.

In der Medizin wird sonst im allgemeinen nur die "Intensität" der Laserstrahlung verwendet, d.h. genauer die hohe Bestrahlungsstärke (Leistung pro Fläche; in W/cm^2), die mit Lasern erzielbar ist. In der Chirurgie, Zahnheilkunde, Ophthalmologie, Dermatologie usw. werden Laser bereits routinemäßig eingesetzt.

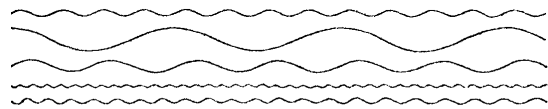
Die Kohärenz des Laserlichts wird beim sog. Hologramm ausgenutzt (dreidimensionales Bild; Demonstration auf Wunsch durch Betreuer).

Bei diesem Versuch wird ein Helium-Neon Laser verwendet. Der Name rührt von dem für die Erzeugung verwendeten Material her. Der Laser hat hier eine Leistung von ca. 1mW und einen Strahlungsdurchmesser von ca. 1mm; seine Wellenlänge beträgt $\lambda = 633\text{nm}$; die Strahldivergenz etwa 1mrad (Bogenmaß).

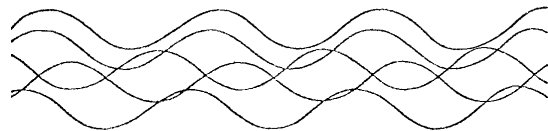
1.6 Sicherheitsaspekte beim Umgang mit Lasern

Die hohe Bestrahlungsstärke selbst relativ kleiner Laser kann Augenschädigungen auf der Hornhaut insbesondere aber auf der Netzhaut hervorrufen. Der parallele Strahl des Lasers wird ja noch durch die Optik des Auges fokussiert und kann in der Netzhaut Verbrennungen verursachen.

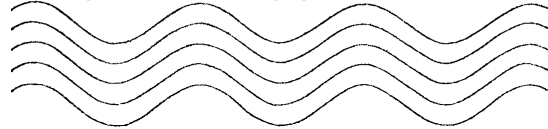
Ähnlich wie beim Arbeiten mit Röntgenstrahlen oder radioaktiven Präparaten Vorschriften zum Strahlenschutz zu beachten sind, müssen auch beim Umgang mit Lasern entsprechende Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. In der Deutschen Industrienorm (DIN 58215) ist die für Laser mit einer Wellenlänge 620 bis 1050nm maximal zulässige



"Weißes" Licht enthält verschiedenste Wellenlängen von 400 - 800nm



"Normales" Licht einer einzigen Farbe (monochromatisches Licht). Die gleichlangen Wellen sind gegeneinander versetzt



Kohärentes, monochromatisches Licht eines Laser. Die gleichlangen Wellen sind nicht gegeneinander versetzt.

Abb.4: Das monochromatische Licht eines Lasers ist "kohärent"

Dauerbestrahlungsstärke des Auges (MZB-Werte; direkter Blick in den Strahl) festgelegt mit $0,1\text{W/m}^2$. Wird dieser Wert überschritten, empfiehlt es sich, eine Schutzbrille zu tragen, wie sie auch bei diesem Versuch vorhanden ist. Für die Bestrahlung normaler Haut sind höhere Bestrahlungsstärken zulässig. Den Strahl des bei diesem Versuch verwendeten Lasers spürt man nicht einmal auf der Haut, dennoch

SEHEN SIE NIE DIREKT IN DEN LASERSTRAHL

Damit auch durch Reflexion an glänzenden Teilen nicht zufällig doch eine Strahlung ins Auge gelangen kann, sollten die beim Experiment verwendeten Teile matt sein. Weitere Regeln beim Umgang mit Lasern sind in der Unfallverhütungsvorschrift "Laserstrahlen" vom November 1987 (in der Fassung vom Januar 1993) enthalten. Auch die kleinen Laserpointer, die z.T. heute bei Vorträgen als Lichtzeiger benutzt werden, sollte man nicht direkt auf ein Auge richten!

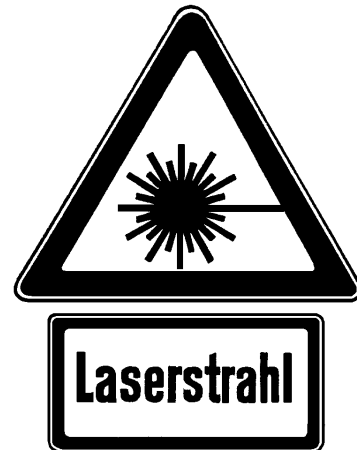


Abb.5: Laserwarnschild (schwarz auf gelbem Grund)

1.7 Das PRICE-JONES-Verfahren

Die bekannteste Technik zur Ermittlung des Erythrozytendurchmessers ist die von PRICE-JONES. Dabei werden unter dem Mikroskop die Durchmesser von 100 oder mehr Blutkörperchen ausgemessen (heute meist automatisiert mit entsprechenden - teuren - Geräten) und als statistische Verteilungskurve (Histogramm) aufgetragen. Der Gipfelpunkt dieser Kurve liegt normalerweise zwischen $7,0$ und $7,5\mu\text{m}$; in pathologischen Fällen kann er darüber oder darunter liegen.

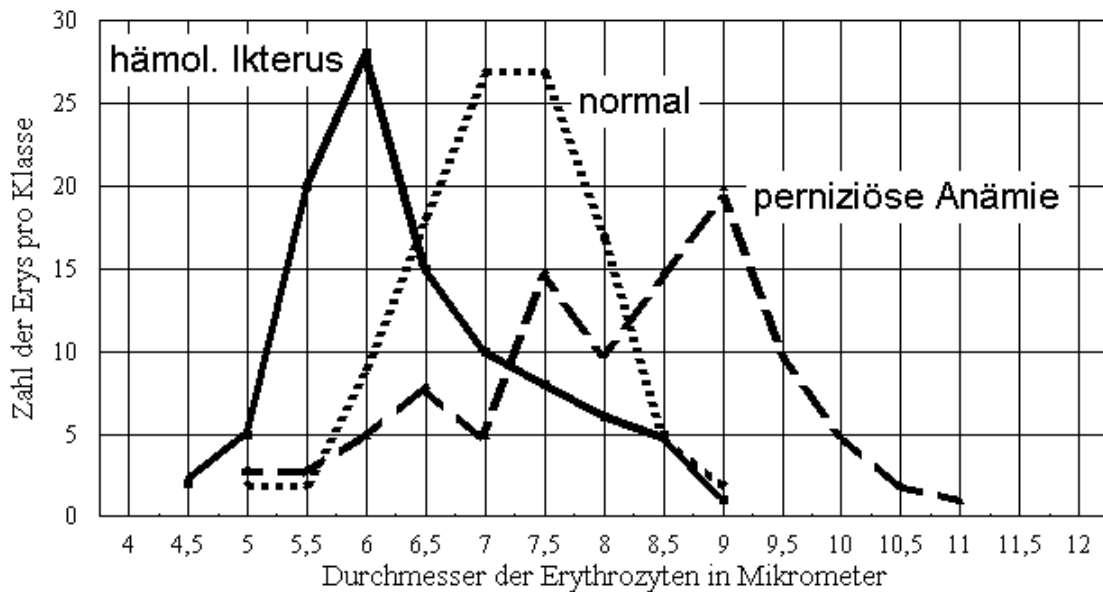


Abb.6: Price-Jones Kurve von Normalblut und pathologischen Fällen

2 Versuchsaufbau

2.1 Messung mit dem Laser

In Abb.7 ist schematisch der Aufbau des Versuchs mit dem Laser dargestellt. Auf einer optischen Schiene sind der Laser, eine Halterung für die Beugungsobjekte und ein Schirm aufgebaut.

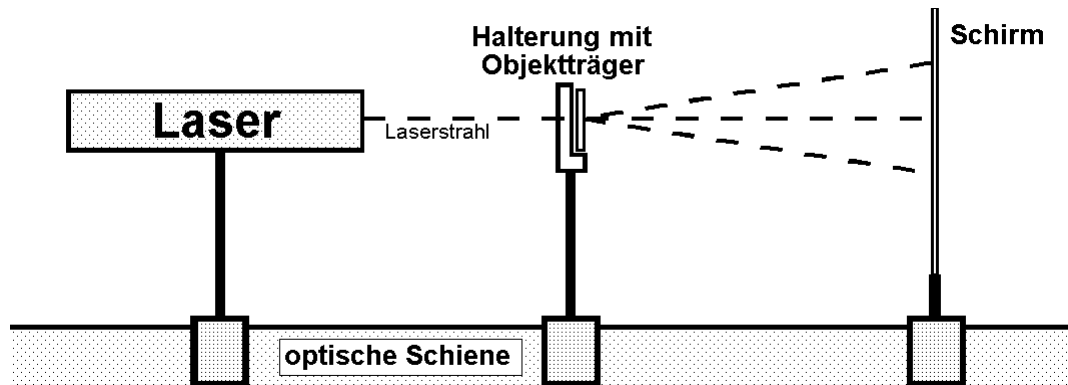


Abb.7: Versuchsaufbau mit Laser- und Beugungsobjekt

weiteres Zubehör: Schutzbrille, diverse Beugungsobjekte, Lineal, Objektträger, sterilisierte Hämostiletten, heparinisierte Kapillaren, Alkohol, Watte.

2.2 Messung mit dem Mikroskop

Bei diesem Versuch werden relativ einfache Mikroskope verwendet, die dennoch Vergrößerungen bis fast tausendfach ermöglichen. Zur Messung kleiner Längen ist ein Okularschraubenmikrometer (Abb. 8) vorhanden, das in das Mikroskop eingesetzt ist. Zur Eichung liegt ein Objektmikrometer (ein sehr fein, auf eine Glasplatte geritzter Maßstab) bei.

Eine Anleitung mit weiteren Hinweisen liegt beim Mikroskop

Einige Hinweise für die Mikroskopie

Bitte beachten Sie diese Hinweise. Häufig genug sind im Praktikum schon Objektmikrometer durch Nichtbeachten der Hinweise zerstört worden. Das ist dann grobe Fahrlässigkeit; ein Objektmikrometer kostet etwa DM 150.-!!

2.2.1 Die Bildeinstellung

Im allgemeinen beginnt man die Untersuchung mit einem schwachen Objektiv, dessen großes Gesichtsfeld das Auffinden wichtiger Strukturen wesentlich erleichtert.

Im Laufe der Untersuchung steigert man durch Objektivwechsel die Vergrößerung, bis die optimale Erkennbarkeit des Präparates erreicht ist.

Beginnt man die Beobachtung mit einem mittleren oder starken Objektiv, also ab 40-fache Eigenvergrößerung, besteht trotz des eingebauten Objektivschutzes Gefahr für die Frontlinse und Objektiv durch unbeabsichtigtes Aufstoßen auf das Präparat. Deshalb sollte man den Objektisch mittels Grobtrieb soweit anheben, bis man bei der Betrachtung von der Seite her zwischen Präparat und Objektiv nur noch einen schmalen Luftspalt sieht. Danach senkt man - bei Beobachtung durch das Okular - den Tisch soweit ab, bis das mikroskopische Bild sichtbar wird. Mit dem Feintrieb wird es danach scharf eingestellt. Dieses Verfahren schützt mit Sicherheit vor Schäden.

2.2.2 Die Beleuchtung

Zur Beleuchtung der Präparate dient entweder eine eingebaute Lichtquelle oder ein Umlenkspiegel mit einer externen Lampe.

Eine Irisblende unterhalb des Mikroskopisches ermöglicht zusätzlich eine Beleuchtungsoptimierung.

2.2.3 Längenmessung unter dem Mikroskop

Okular-Schrauben-Mikrometer werden verwendet, wenn genauere mikroskopische Messungen erforderlich sind, als diese mit allgemeinen Okularen mit eingebauter Strichplatte möglich sind. Denn selbst bei feinen Teilungen müssen die Abstände zwischen den Teilstrichen geschätzt werden. Mit dem Okular-Schrauben-Mikrometer werden jedoch diese Teilstrichabstände nunmehr noch weiter aufgelöst, so daß nicht nur eine höhere Meßgenauigkeit, sondern auch eine weit größere Ablesegenauigkeit erreicht wird.

Das Okular-Schrauben-Mikrometer hat eine feststehende Strichplatte von 8 mm Länge, geteilt in 8 Intervalle mit bezifferten Teilstrichen. Zur feststehenden Teilung ist ein, mit einer Mikrometerspindel verschiebbare Strichsystem (siehe Abb.9) angeordnet. Die Mikrometerspindel hat eine Steigung von 1mm und ihre Trommel hat eine Teilung mit 100 Intervallen. Ein Intervall auf der Meßtrommel entspricht einer Verschiebung des Strichsystems von 0,01 mm. Somit kann das vom Mikroobjektiv entworfene Bild mit einer Genauigkeit von $\pm 0,005$ mm ausgemessen werden.

Das Okular-Schrauben-Mikrometer kann bei jedem Mikroskop mit normalem Okular ($\varnothing 23,2$ mm) verwendet und gegeneinander ausgetauscht werden. Zum eigentlichen Messen wird der zu vermessende Teil des vom Objektiv in die Strichplattenebene abgebildeten Objektes an seinen Endpunkten mit einem verschiebbaren Strich angeschnitten, und die dazu gehörigen Einstellwerte auf der Strichplatte des Okulars und an der Meßtrommel abgelesen. Aus der Anzahl der Meßtrommel-Intervalle (abgekürzt MI), die auf die Meßstrecke entfallen, kann die gesuchte Objektgröße dann errechnet werden.

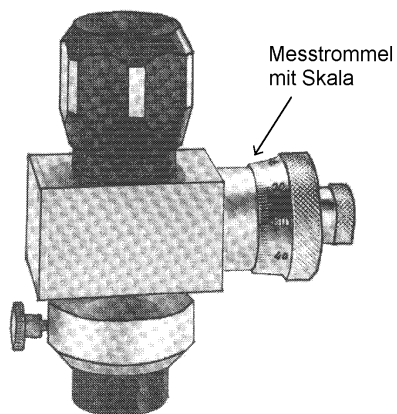


Abb.8: Okular-Schraubenmikrometer

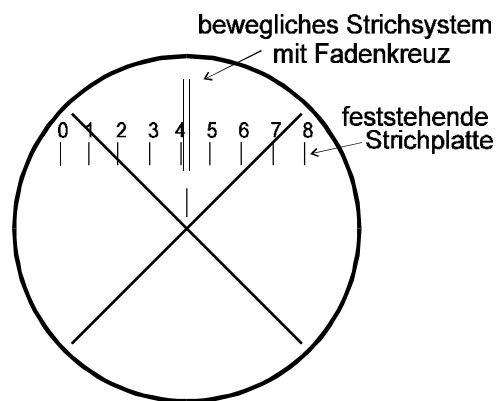


Abb.9: Strichsystem im Okularschraubenmikrometer

Objektgröße = Anzahl der Meßtrommelintervalle x Eichfaktor

Der Eichfaktor ist für jedes Mikroskop und auch für jedes verwendete Objektiv verschieden und für exakte Messungen muß der Eichfaktor für jedes Mikroskop bzw. Objektiv bestimmt werden. Dazu verwendet man Objektivmikrometer, das sind Strichplatten mit einer Teilung 2mm lang mit 200 Teilen oder 1mm lang mit 100 Teilen, sie werden auf den Objektisch des Mikroskops gelegt und mit dem zu eichenden Objektiv in die Strichplattenebene des Okular-SchraubenMikrometers abgebildet. Am Okular-Schrauben-Mikrometer wird jetzt festgestellt, wieviel Meßtrommelintervalle einer bestimmten Zahl Teilstriche des Objektiv-Mikrometers entsprechen. Der Eichfaktor für Mikroskop und Objektiv ist

$$\text{Eichfaktor} = \frac{\text{gemessene Strecke auf dem Objektivmikrometer}}{\text{Anzahl der Meßtrommelintervalle}}$$

Der Eichfaktor ist eine dimensionale Zahl und wird angegeben in $\mu\text{m}/\text{MI}$ oder mm/MI .

Beispiel:

Werden mit einem 40-fach vergrößernden Objektiv 0,05mm des Objektivmikrometers in das Okularschraubenmikrometer abgebildet und entsprechen diese 0,05 mm 591 Meßtrommelintervallen (= 591MI), dann ist

$$\text{Eichfaktor} = \frac{0,05\text{mm}}{591\text{MI}} = 8,46 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{MI}} = 8,46 \cdot 10^{-2} \frac{\mu\text{m}}{\text{MI}}$$

Ein Objekt (z.B. Erythrozyt), für dessen Durchmesser 92 Meßtrommelintervalle bestimmt wurden, hat also eine Größe von $92 \cdot 8,46 \cdot 10^{-2} \mu\text{m} = 7,8 \mu\text{m}$.

3 Versuchsdurchführung

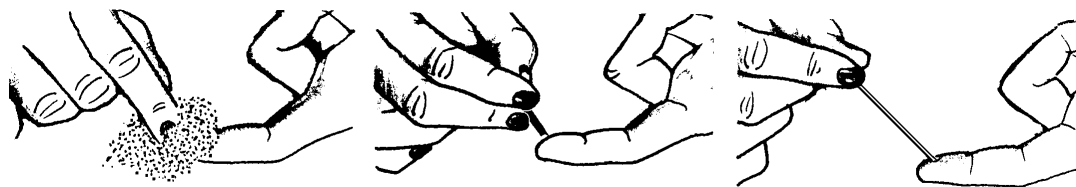
3.1 Herstellung eines Blutausstrichs

Für diejenigen, die ihr eigenes Blut vermessen möchten, ist im folgenden die Herstellung eines Blutausstrichs gezeigt. Andernfalls stehen fertige Präparate zur Verfügung.

Die roten Blutkörperchen (Erythrozyten) sind der weitaus häufigste korpuskuläre Bestandteil des Blutes (etwa $5 \cdot 10^6$ Stück/ mm^3); andere Bestandteile können bei diesem Versuch vernachlässigt werden.

Die Bildfolge zeigt nun die Herstellung eines dünnen Blutausstrichs.

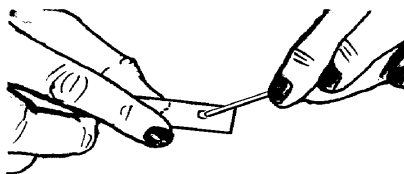
Es sei ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß die Herstellung auf eigene Gefahr erfolgt!



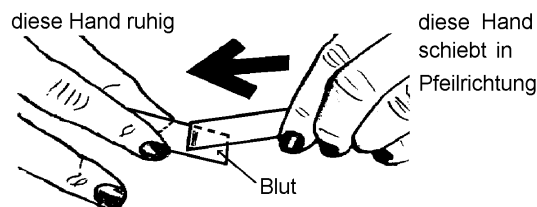
Finger mit Alkohol reinigen

Einen kleinen Stich in den Finger machen

Blut mit der Kapillare aufziehen



Etwas Blut (eher zu wenig) auf den Objektträger "klopfen"



Objektträger in Pfeilrichtung ausstreichen. Das Blut befindet sich in dem spitzen Winkel zwischen den Objektträgern (Kapillarwirkung)

Wichtig: Zügig arbeiten, sonst gerinnt das Blut!

Lassen Sie den Ausstrich einige Minuten trocknen. Dabei können die Blutkörperchen bis zu 10% ihres Durchmessers schrumpfen. Der Blutausstrich soll etwa so wie in Abb.3 aussehen.

3.2 Messung mit dem Laser

3.2.1 Bestimmung des mittleren Durchmessers von Erythrozyten

Spannen Sie den Objektträger mit Blut (entweder mit Ihrem eigenen oder dem vorgegebenen) in die Halterung ein und messen Sie den Abstand (L) Objektträger - Schirm und die Durchmesser der Beugungsringe für so viele Minima wie möglich. Schirm und Objektträger senkrecht zum Laserstrahl justieren.

Benutzen Sie zweckmäßigerweise das beim Versuch ausliegende transparente Geodreieck oder ein anderes transparentes Lineal.

Wiederholen Sie die Messung für einen anderen Abstand L. Um gute Beugungsbilder zu erhalten, muß man eine gute Stelle des Blutausstriches durch Probieren finden (Hin- und Herschieben des Objektträgers).

Schätzen Sie die bei den Längenmessungen auftretenden Fehler ab.

Achtung:

Gebrauchte Hämostiletten und Objektträger bitte in speziellen Behältern deponieren. Nicht in den normalen Papierkorb werfen! (Verletzungsgefahr für Reinigungspersonal)

3.2.2 Bestimmung des Durchmessers eines Haares

Spannen Sie ein Haar derart auf den *Spezialhalter* (aus schwarz-gebeiztem Messing; kein Objektträger aus Glas!), daß Sie das Beugungsbild auf dem Schirm bzw. auf der (weißen) Wand des Labors auffangen können. Messen Sie den Abstand einander entsprechender Minima.

3.3 Messung mit dem Mikroskop

Justieren Sie das Mikroskop gemäß der Anleitung und eichen Sie das Okularschraubenmikrometer mit dem vorhandenen Objektmikrometer.

Jeder Praktikumssteilnehmer soll diese Eichung möglichst unabhängig für sich durchführen.

Vergleichen Sie dann Ihre Resultate.

Schätzen Sie die auftretenden Fehler ab.

Notieren Sie die Vergrößerung des verwendeten Objektives.

Die Messung mit dem 100fachen Objektiv wird bei diesem Versuch ohne Immersionsöl durchgeführt. Das Bild ist dann nicht so gut, aber es geht.

Objektmikrometer und Objektträger mit dem Blutausstrich müssen mit der Skala bzw. der Blutseite zum Objektiv hin orientiert sein. Andernfalls läßt sich kein scharfes Bild erzeugen. Das ist ein häufiger Einstellfehler!

3.3.1 Bestimmung des Durchmessers von Erythrozyten

Messen Sie bei dem gleichen Präparat, wie unter Punkt 3.2.1 benutzt, die Durchmesser von 200 Blutkörperchen. Jeder von Ihnen soll dabei 100 Stück ausmessen; es muß vermerkt sein, wer welche Meßwerte erhoben hat.

Meßwerte notieren (Meßtrommelintervallablesungen!; die Differenzen der Trommelablesungen sind schon errechnete Werte!)

Frage: Wie kann bei der Messung mit dem Mikroskop möglichst gut die gleiche Stelle des Blutausstriches im Blickfeld sein, wie bei der Messung mit dem Laser? Die gleiche Frage stellt sich beim Haar.

3.3.2 Bestimmung des Durchmessers eines Haares

Bestimmen Sie den Durchmesser des Haares aus Punkt 3.2.2 (mehrere Messungen!)

4 Versuchsauswertung

Die Versuchsauswertung soll z.T. noch während der Praktikumszeit vorgenommen werden. Ein Computer (PC) mit einem Programm zur Auswertung der Meßergebnisse aus Punkt 3.3.1 steht dann zur Verfügung (wenn er funktioniert).

Ihr Betreuer erklärt Ihnen die Bedienung des Computers und des Programmes. Bei dem hier verwendeten Programm handelt es sich um ein kommerziell vertriebenes Tabellenkalkulationsprogramm (Lotus 123), das statistische Analysen machen und auch für Histogrammdarstellungen benutzt werden kann.

4.1.0 Geben Sie Ihren Namen, den Eichfaktor (in $\mu\text{m}/\text{MI}$) und die per Hand ausgerechneten Differenzen der Meßtrommelintervalle in den Rechner ein. Ihr Betreuer macht Ihnen dann einen Ausdruck Ihrer eingegebenen Werte und der berechneten Durchmesser der Erythrozyten. Mit diesem Ausdruck machen Sie dann eine **Sofortige Auswertung zu Punkt 3.3.1:** Jeder Praktikumssteilnehmer soll auf Karopapier per Hand eine Größenverteilungskurve (Histogramm) der von ihm gemessenen 100 Werte zeichnen. Die Klassenbreite soll dabei $0,5\mu\text{m}$ betragen; der Beginn der Klasseneinteilung soll bei $4,8\mu\text{m}$ liegen, das Ende bei $10,8\mu\text{m}$. Eventuell gibt Ihnen hier Ihr Betreuer andere Werte vor.

4.1.1 Errechnen Sie den mittleren Durchmesser der Erythrozyten des Präparates aus den Messungen mit dem Laser (Punkt 3.2.1) und geben Sie einen Fehler an.

4.1.2 Errechnen Sie den Durchmesser des Haares (mit Fehlerangabe).

4.2.1 (Mit Rechner) Errechnen Sie die arithmetischen Mittelwerte der Durchmesser der Erythrozyten aus der Messung mit dem Mikroskop, einmal für alle Messungen eines Präparates und zum zweiten für die Meßwerte getrennt nach Beobachtern. Errechnen Sie dazu auch die entsprechenden Standardabweichungen der jeweiligen Mittelwerte. Lassen Sie die Größenverteilungskurven (Histogramme) ausdrucken. Diskutieren Sie eventuelle Unterschiede der Mittelwerte und der Histogramme! Vergleichen Sie die per Hand gezeichneten Histogramme mit den Computerausdrucken. **Hinweis:** Der Computerausdruck alleine stellt keine Versuchsausarbeitung dar (wir haben da leider schlechte Erfahrungen in früheren Semestern gemacht). Computerausdrucke bitte ins Heft kleben oder heften (evtl. auch zerschneiden).

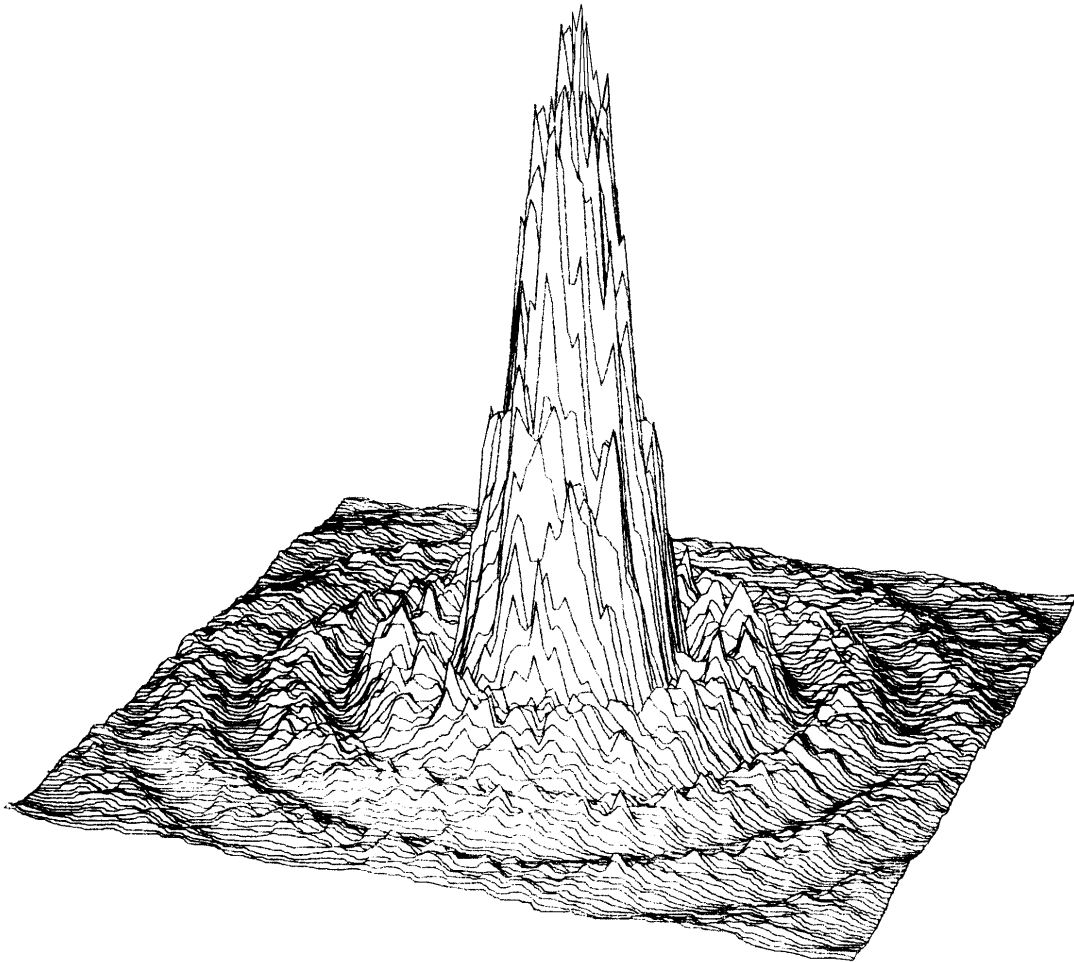
4.2.2 Berechnen Sie den Durchmesser des Haares aus der Messung mit dem Mikroskop.

4.3 Vergleichen Sie die Werte aus 4.1.1 und 4.2.1 bzw. 4.1.2 und 4.2.2 und stellen Sie einen Vergleich der Vor- und Nachteile beider Meßmethoden an.

5 Aufgaben

- 1) Berechnen Sie die Bestrahlungsstärke des bei diesem Versuch verwendeten Lasers. Empfiehlt es sich demnach eine Schutzbrille zu tragen?
- 2) Welche Bestrahlungsstärke erhält ein menschliches Auge von einer 60 W-Glühlampe in 2 m Abstand?
- 3) Der Durchmesser der Erythrozyten betrage 8 μm . Der Durchmesser des Laserstrahls sei 1 mm. Wieviele Erythrozyten können maximal zur Beugung beitragen, wenn man voraussetzt, daß sie auf dem Objektträger nicht übereinanderliegen? (Angabe eines ungefähren Wertes).
- 4) Ein Haar mit einem Durchmesser von 70 μm diene als Beugungsobjekt für den Laser ($\lambda = 633 \text{ nm}$). Welchen Abstand haben die Minima des Beugungsbildes auf einem 70 cm vom Haar entfernten Schirm?
- 5) Wie sieht das Beugungsbild eines elliptischen Loches aus?
- 6) Wie würde sich das Beugungsbild der Erythrozyten verändern, wenn der Durchmesser des Laserstrahls immer größer wird?
- 7) Würde man nicht monochromatisches Licht sondern gleichmäßig gemischtes Licht aller Wellenlängen verwenden, hätte das Beugungsbild farbige Säume. In welcher Reihenfolge tauchen die Farbsäume bei einer Beugung an einem Loch auf (vom Zentrum der Beugungerscheinung aus beschrieben)?
- 8) In der Gleichung $\sin\alpha = n \cdot \lambda / d$ treten für kreisförmige Objekte nicht ganzzahlige n auf. Beschreiben Sie eine Versuchsanordnung, mit der man den Wert der n bestimmen kann?
- 9) Ein 1 mW-Laser habe eine Strahldivergenz von 1 mrad (Bogenmaß). In welchem Abstand vom Laser ist die Bestrahlungsstärke nicht mehr gefährlich für das Auge?
- 10) Wie verändern sich Wellenlänge, Frequenz und Geschwindigkeit eines Laserstrahls, wenn er aus Luft in Wasser übertritt?

Zum Versuch BEUGUNG an ERYTHROZYTEN



Räumliche Darstellung der Intensitätsverteilung des Beugungsbildes von statistisch verteilten Erythrozyten auf einem Objektträger (Simulation auf einem Rechner; mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Schneider, Heidelberg)

