

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: 11

Übungstitel: Mikroskop (TU)

Betreuer: Nico Knefz

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 13.10.2023

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	3
2 Voraussetzungen & Grundlagen	3
3 Versuchsanordnung	5
4 Geräteliste	8
5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse	8
6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse	11
6.1 Objektivvergrößerung altes Mikroskop und Diagramm	11
6.2 Okularvergrößerung	12
6.3 Objektivbrennweite	13
6.4 Gesamtvergrößerung neues Mikroskop	13
6.5 Vergleich Mikroskope alt/neu	13
6.6 Untersuchung von Proben (digital)	14
7 Diskussion	16
7.1 Objektivvergrößerung altes Mikroskop	16
7.2 Okularvergrößerung	16
7.3 Objektivbrennweite	17
7.4 Gesamtvergrößerung neues Mikroskop	17
7.5 Probenuntersuchung	17
8 Zusammenfassung	17
Literatur	18
9 Anhang	19

1 Aufgabenstellung

Das Experiment Mikroskop behandelt die grundlegende Untersuchung mittels Mikroskop. Dabei wird vor allem Fokus auf die Vergrößerung gesetzt und ein diesbezüglicher Vergleich zwischen einem altem- und einem neuen Mikroskop beschrieben. Die genaue Aufgabenstellung des Laborversuches sieht wie folgt aus:

- Gesamt- und Objektivvergrößerung des alten Mikroskops für fünf verschiedene Tubuslängen + Diagramm der Gesamtvergrößerung in Abhängigkeit von der mechanischen Tubuslänge α
- Okularvergrößerung V_{Ok}
- Objektivbrennweite f_{Obj} aus Diagramm
- Gesamtvergrößerung des neuen Mikroskops für alle drei Objektive
- Vergleich der beiden Mikroskope
- Probenuntersuchung mittels digitalem Mikroskop

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [3].

2 Voraussetzungen & Grundlagen

Mikroskope werden in der Regel dazu verwendet, für den Menschen nicht sichtbare Objekte und Stoffe zu Vergrößern und diese schärfstmöglich und gut erkennbar darzustellen. Im Grunde setzt sich dieses Vergößerungsmittel aus (von unten nach oben)

- Leuchtquelle
- Objektträger
- Objektiv
- Tubus
- Okular

zusammen.

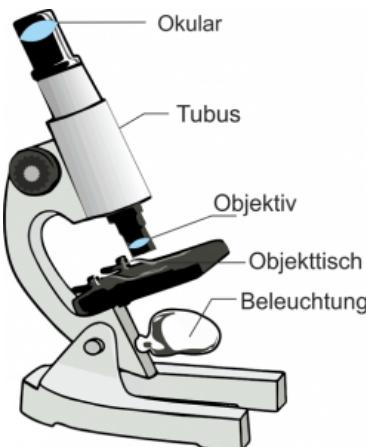


Abb. 1: Grundlegender Aufbau eines Mikroskops [1]

Der grobe Strahlengang sieht dabei wie folgt aus:

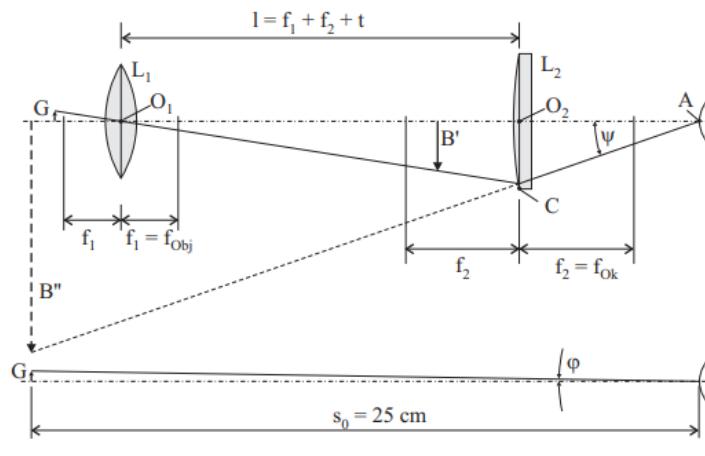


Abb. 2: Strahlengang Mikroskop [3]

Wie in Abbildung 2 ersichtlich, sind die beiden wichtigsten Elemente zur Vergößerung zwei Sammellinsen, das Objektiv und das Okular, dessen Abstand zueinander größer ist, als die Summe ihrer beiden Brennweiten f_1 und f_2 . Dadurch entsteht ein reelles, umgekehrtes Bild B' innerhalb der Brennweite f_2 des Okulars, und weiters ein sehr stark vergößertes, virtuelles Bild B'' innerhalb der Sehweite des Auges s_0 . Der Gegenstand befindet sich dabei dicht an der Objektivbrennweite f_1 .

Um nun die als Verhältnis des Sehwinkels mit Instrument, zum Sehwinkel ohne Instrument definierte gesamte Vergrößerung zu erhalten, kann die Formel

$$V_{ges} = V_{Obj} * V_{Oku} \quad (1)$$

$$\Delta V_{ges} = \left| \frac{\partial V_{ges}}{\partial V_{Obj}} * \Delta V_{Obj} \right| + \left| \frac{\partial V_{ges}}{\partial V_{Oku}} * \Delta V_{Oku} \right| \quad (2)$$

verwendet werden, wobei sich V_{Obj} aus

$$V_{Obj} = \frac{t}{f_1} \quad (3)$$

und V_{Oku} aus

$$V_{Oku} = \frac{s_0}{f_2} \quad (4)$$

zusammen setzt.

Die Brennweite f_{obj} des Objektives steht im direkten Zusammenhang mit der Steigung k bzw. $\frac{V_{ges}}{t}$. Dadurch lässt sie sich durch folgende Terme ausdrücken:

$$V_{obj} = \frac{V_{ges}}{V_{Oku}} = \frac{t}{f_{Obj}} \Rightarrow \frac{V_{ges}}{t} = k = \frac{V_{Oku}}{f_{Obj}}$$
(5)

$$\Delta f_{obj} = \left| \frac{\partial f_{obj}}{\partial k} * \Delta V_{Oku} \right| + \left| \frac{\partial f_{obj}}{\partial V_{Oku}} * \Delta k \right|$$
(6)

Zur Berechnung der jeweiligen Gesamtvergrößerungen werden folgende Formeln verwendet (VHM = Vergleichsskala Hinter Mikroskop, VIO = Vergleichsskala Im Okular, VOM = Vergleichsskala Ober Mikroskop, MAO = Messkala Am Objekt):

$$V = \frac{\text{Vergleichsskala Hinter Mikroskop}}{\text{Messkala Am Objekt}}$$
(7)

$$\Delta V = \left| \frac{\partial V}{\partial VHM} * \Delta VHM \right| + \left| \frac{\partial V}{\partial MAO} * \Delta MAO \right|$$
(8)

$$V = \frac{\text{Messkala Am Objekt}}{\text{Vergleichsskala Im Okular}}$$
(9)

$$\Delta V = \left| \frac{\partial V}{\partial MAO} * \Delta MAO \right| + \left| \frac{\partial V}{\partial VIO} * \Delta VIO \right|$$
(10)

$$V = \frac{\text{Vergleichsskala Ober Mikroskop}}{\text{Messkala Am Objekt}}$$
(11)

$$\Delta V = \left| \frac{\partial V}{\partial VOM} * \Delta VOM \right| + \left| \frac{\partial V}{\partial MAO} * \Delta MAO \right|$$
(12)

3 Versuchsanordnung

Die wichtigsten Elemente des Versuches lassen sich, abgesehen vom verwendeten Computer, auf das alte- und neue Mikroskop beschränken.

Das ältere Untersuchungswerkzeug lässt sich in folgender Abbildung 3 erkennen.



Abb. 3: Altes Mikroskop

Die Tubuslänge kann hier direkt am Mikroskop mit einem Drehrad verändert werden.



Abb. 4: Altes Mikroskop Tubuslänge

Um die Vergrößerung bestimmen zu können, muss die Messskala im Okular mit einer realen Skala verglichen werden, wobei sich Letztere beim alten Mikroskop hinter dem Gerät befindet.



Abb. 5: Altes Mikroskop Vergleichsskala

Das neuere Mikroskop sieht dabei etwas kompakter aus und wird in folgender Abbildung 6 abgebildet.



Abb. 6: Neues Mirkoskop [2]

Das neuere Hilfsmittel besitzt drei verschiedene Objektive, zwischen welchen man durch drehen wechseln kann. Weiters wurde oberhalb des Mikroskopes eine weitere Vergleichsskala angebracht. Mittels Drehräder an den Seiten lassen sich Fokus und Objektposition sehr präzise anpassen.

Außerdem waren aber auch einige kleinere Hilfsmittel vor allem zur Bestimmung der Vergrößerungen von großem Wert. Um die Messskala mit der Objektskala vergleichen zu können, wurde ein Aufsatz mit einem halbdurchlässigem Spiegel verwendet. Durch diesen konnte sowohl die Objektskala, als auch die Messskala hinter (altes Mikroskop) bzw.

oberhalb (neues Mikroskop) überlagernd beobachtet werden, was mit Blick auf Abbildung 7 bildlich veranschaulicht wird.

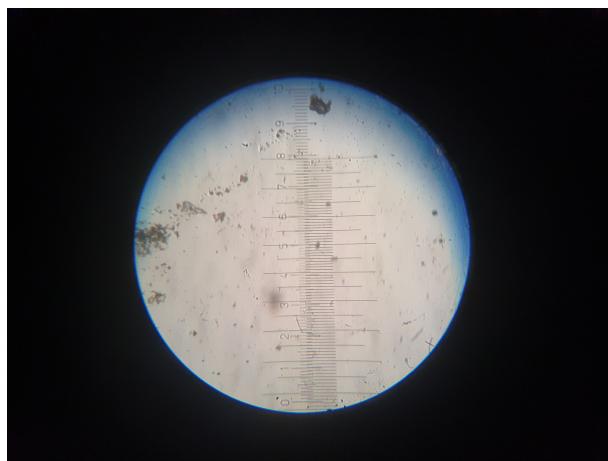


Abb. 7: Aufsatz mit halbdurchlässigem Spiegel

4 Geräteliste

Tab. 1: Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

Gerät	Gerätenummer	Unsicherheit
Altes Mikroskop mit Vergleichsskala	n.a	n.a
Neues Mikroskop mit Vergleichsskala	Zeiss Primostar 3	n.a
Aufsatz mit halbdurchlässigem Spiegel	n.a	n.a
Objekt mit aufgedruckter Messskala	n.a	n.a
Proben (Gitter, Haare - Melissa Eberhard)	n.a	n.a

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

Die Unsicherheiten der Werte der Messskalen wurden je mit einer kleinsten Messeinheit angenommen.

Der erste Teil des Versuches besteht aus der Bestimmung der Gesamt- und Objektivvergrößerung des alten Mikroskopes. Hierfür wurde eine Probe mit einer kleinen (0.01 mm Schritte) Messskala unter das Mikroskop gelegt. Mit Hilfe des Aufsatzes kann nun die Skala unter dem Mikroskop mit der Skala hinter dem Mikroskop verglichen werden (Prinzip ersichtlich in Abbildung 7).

Legt man einen Strich von einer der beiden Skalen als Eins fest, so kann das Verhältnis zur anderen Skala durch abzählen der kleinen Striche, welche in einen großen der anderen Skala passen, ermittelt werden. Dieses Verhältnis kann dann bereits als Vergrößerung angesehen werden. Um Fehler, insbesondere Parallaxenfehler, zu minimieren, wurden jeweils drei verschiedene Messungen aus leicht geänderten Blickwinkeln notiert. Durch adjustieren der Tubuslänge am Mikroskop können so verschiedene Vergrößerungsdaten gesammelt werden, welche in folgenden Tabellen festgehalten wurden.

Tab. 2: Messwerte Tubuslänge 20.1 cm

Nr.	Vergleichsskala hinter Mikroskop [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	10	0.12
2	10	0.12
3	10	0.12
Avg.	10	0.12

Tab. 3: Messwerte Tubuslänge 19.1 cm

Nr.	Vergleichsskala hinter Mikroskop [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	10	0.13
2	10	0.13
3	10	0.12
Avg.	10	0.127

Tab. 4: Messwerte Tubuslänge 17.1 cm

Nr.	Vergleichsskala hinter Mikroskop [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	10	0.14
2	10	0.14
3	10	0.14
Avg.	10	0.14

Tab. 5: Messwerte Tubuslänge 16.1 cm

Nr.	Vergleichsskala hinter Mikroskop [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	10	0.16
2	10	0.15
3	10	0.15
Avg.	10	0.157

Tab. 6: Messwerte Tubuslänge 14.1 cm

Nr.	Vergleichsskala hinter Mikroskop [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	10	0.17
2	10	0.17
3	10	0.17
Avg.	10	0.17

Zur Bestimmung der Okularvergrößerung wurden diese Messvorgänge wiederholt, jedoch kam jetzt ein Okular mit 10-facher Vergrößerung zum Einsatz. Außerdem enthält dieses Okular eine eigene Messskala, welche mit der Skala am Objekt verglichen wurde. Die Messwerte wurden wiederum in Tabellen gesammelt.

Tab. 7: Messwerte Tubuslänge 20.1 cm

Nr.	Vergleichsskala im Okular [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	0.1	9
2	0.1	9
3	0.1	9
Avg.	0.1	9

Tab. 8: Messwerte Tubuslänge 19.1 cm

Nr.	Vergleichsskala im Okular [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	0.1	10
2	0.1	10
3	0.1	11
Avg.	0.1	10.3

Tab. 9: Messwerte Tubuslänge 17.1 cm

Nr.	Vergleichsskala im Okular [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	0.1	9
2	0.1	9
3	0.1	8
Avg.	0.1	8.7

Tab. 10: Messwerte Tubuslänge 16.1 cm

Nr.	Vergleichsskala im Okular [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	0.1	8
2	0.1	8
3	0.1	8
Avg.	0.1	8

Tab. 11: Messwerte Tubuslänge 14.1 cm

Nr.	Vergleichsskala im Okular [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	0.1	8
2	0.1	7
3	0.1	7
Avg.	0.1	7.7

Um die Gesamtvergrößerung des neuen Mikroskopes zu bestimmen wurde mit der gleichen Herangehensweise gearbeitet, jedoch sind hier die Objektivvergrößerungswerte auf den jeweiligen Objektiven ersichtlich, weshalb nach den jeweiligen Objektivvergrößerungen gemessen wurde.

Tab. 12: Messwerte 4x Objektivvergrößerung

Nr.	Vergleichsskala ober Mikroskop [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.01
1	10	0.24
2	10	0.24
3	10	0.25
Avg.	1	0.247

Tab. 13: Messwerte 10x Objektivvergrößerung

Nr.	Vergleichsskala ober Mikroskop [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.001
1	10	0.090
2	10	0.091
3	10	0.090
Avg.	1	0.091

Tab. 14: Messwerte 40x Objektivvergrößerung

Nr.	Vergleichsskala ober Mikroskop [mm] ± 1	Messkala am Objekt [mm] ± 0.0001
1	10	0.0250
2	10	0.0240
3	10	0.0240
Avg.	1	0.0247

Weiters wurden am Ende der Durchführung Bilder von verschiedenen Proben mittels Computersoftware aufgenommen, welche in der Auswertung noch gezeigt und beschrieben werden.

6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheiten wird, wenn nicht anders angegeben, die Größtunsicherheitsmethode verwendet.

6.1 Objektivvergrößerung altes Mikroskop und Diagramm

Zur Bestimmung der Objektivvergrößerung des alten Mikroskopes wurden die Durchschnittswerte aus den Tabellen 2-6 verwendet. Durch einsetzen dieser in Formel 7 bzw. Formel 8 für die Unsicherheiten ergeben sich folgende Werte für die Vergrößerung:

Tab. 15: Gesamtvergrößerungen der jeweiligen Tubuslängen

Nr.	Tubuslänge [cm]	Vergrößerung []
1	20.1	83.4 ± 15.3
2	19.1	78.8 ± 14.1
3	17.1	71.5 ± 12.3
4	16.1	63.7 ± 10.5
5	14.1	58.9 ± 9.4

Durch das grafische Darstellen dieser Werte in einem Diagramm und einer Ausgleichsgerade in qti-Plot lässt sich folgender Plot erkennen.

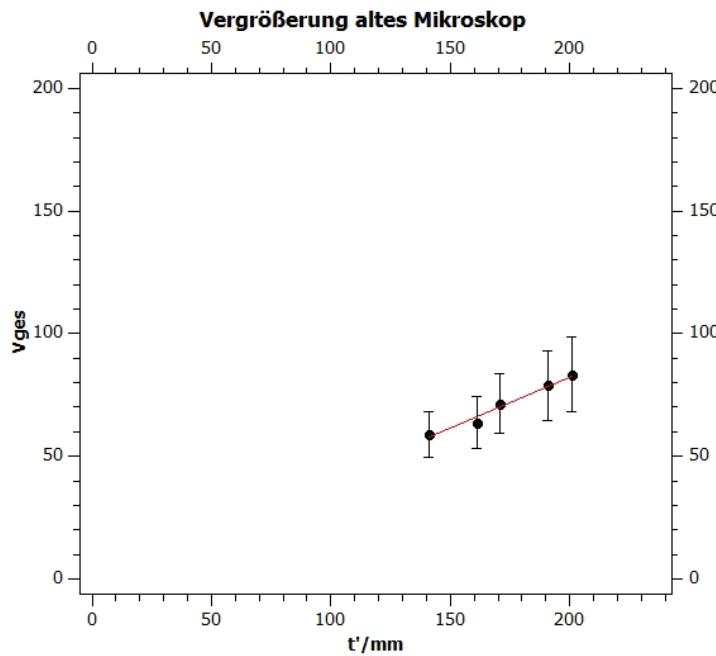


Abb. 8: Vergrößerung in Abhängigkeit der Tubuslänge in qti-Plot

Für die Ausgleichsgerade ergibt sich folgende Funktion $V(t') = kt' + d = 0.422 * t' - 1.69$ mit $\Delta k = 0.04$ und $\Delta d = 6.3$. Setzt man die Funktion gleich null, so erhält man durch umformen den Wert für $x = 0.4$.

Zur Bestimmung der Objektivvergrößerung wurde dann ein anderes Okular verwendet, welche eine bekannte Vergrößerung von 10 ± 0 besitzt. Mit den Gesamtvergrößerungen, welche mittels Formel 9 bzw. 10 und den Daten aus den Tabellen 7-11 berechnet wurden, konnten mit Hilfe von Formel 1 bzw. 2 die Objektivvergrößerungen der jeweiligen Tubuslängen ermittelt werden.

Tab. 16: Berechnete Objektivvergrößerungen der jeweiligen Tubuslängen

Nr.	Tubuslänge [cm]	Gesamtvergrößerung []	Objektivvergrößerung []
1	20.1	90 ± 19	9.0 ± 1.9
2	19.1	103 ± 21	10.3 ± 2.1
3	17.1	87 ± 19	8.7 ± 1.9
4	16.1	80 ± 18	8.0 ± 1.8
5	14.1	77 ± 18	7.7 ± 1.8

6.2 Okularvergrößerung

Mit Hilfe von Formel 1 bzw. 2 lässt sich außerdem die Okularvergrößerung des verwendeten Okulars bei den Werten von Tabelle 2-6 ermitteln.

Tab. 17: Berechnete Okularvergrößerung der jeweiligen Tubuslängen

Nr.	Tubuslänge [cm]	Gesamtvergrößerung []	Objektivvergrößerung []	Okularvergrößerung []
1	20.1	83.4 ± 15.3	9.0 ± 1.9	9.3 ± 3.7
2	19.1	78.8 ± 14.1	10.3 ± 2.1	7.7 ± 3.0
3	17.1	71.5 ± 12.3	8.7 ± 1.9	8.2 ± 3.3
4	16.1	63.7 ± 10.5	8.0 ± 1.8	8.0 ± 3.2
5	14.1	58.9 ± 9.4	7.7 ± 1.8	7.7 ± 3.1

6.3 Objektivbrennweite

Die Objektivbrennweiten ergeben sich mit Formel 5 bzw. 6 und den Werten für die Okularvergrößerungen aus Tabelle 17, wobei der Term $\frac{V_{ges}}{t}$ auch durch die Steigung der Ausgleichsgerade aus Abbildung 15 mit $\frac{V_{ges}}{t} = k = 0.422 \pm 0.04$ geschrieben werden kann. Somit setzt sich die Objektivbrennweite aus $f_{Obj} = \frac{V_{Oku}}{k}$ zusammen.

Tab. 18: Berechnete Objektivvergrößerungen der jeweiligen Tubuslängen

Nr.	Tubuslänge [cm]	Okularvergrößerung []	Objektivbrennweite [mm]
1	20.1	9.3 ± 3.7	22.1 ± 10.9
2	19.1	7.7 ± 3.0	18.3 ± 8.9
3	17.1	8.2 ± 3.3	19.5 ± 9.7
4	16.1	8.0 ± 3.2	19.0 ± 9.4
5	14.1	7.7 ± 3.1	18.3 ± 9.1

6.4 Gesamtvergrößerung neues Mikroskop

Für die Gesamtvergrößerungen des neuen Mikroskopes der einzelnen Objektivvergrößerungen wird wiederum die Formel 1 verwendet. Gemeinsam mit den Durchschnittswerten der Gesamtvergrößerung aus Tabellen 12-14 kann mittels Formel 11 bzw. 12 auf die Gesamtvergrößerung geschlossen werden.

Tab. 19: Berechnete Objektivvergrößerungen der jeweiligen Tubuslängen

Nr.	Objektivvergrößerung []	Gesamtvergrößerung berechnet []	Gesamtvergrößerung gerundet []
1	4	40.5 ± 6.7	40
2	10	109.9 ± 13.3	100
3	40	404.9 ± 66.4	400

6.5 Vergleich Mikroskope alt/neu

Vergleicht man die beiden Mikroskope miteinander, so sollte einem jedem sofort ins Auge fallen, dass das ältere Mikroskop ihrem modernerem Gegenstück optisch, als auch praktisch etwas hinterherhinkt. Zum einen gibt es natürlich den großen Unterschied, dass man beim alten Mirkoskop die Tubuslänge manuell einstellen kann. Dafür gibt es beim neuen Mikroskop die Möglichkeit, die Objektive zu wechseln.

Das neue Mikroskop weist außerdem ein kompakteres und einfacheres Design auf, was sich vor allem beim Bestimmen der Vergrößerungen als vorteilhafter herausgestellt hat.

Mit Hilfe der folgenden Tabelle lassen sich nun die Vergrößerungsleistungen der beiden Mikroskope vergleichen.

Tab. 20: Berechnete Objektivvergrößerungen der jeweiligen Tubuslängen

	Mikroskop neu	Mikroskop alt
max. gemessene Gesamtvergrößerung	400	103
min. gemessene Gesamtvergrößerung	40	77

Mit dem neuen Mikroskop lässt sich ein wesentlich größerer Vergrößerungsbereich abdecken. Beim modernen Forschen sollte das neue Mikroskop mit Sicherheit für die meisten Untersuchungsaufgaben das bessere und handlichere Hilfsmittel darstellen. Es schadet jedoch sicherlich nicht, sich auch mit dem älterem Mikroskop auseinanderzusetzen, da auf digitale Technologie nicht immer Verlass ist.

6.6 Untersuchung von Proben (digital)

Im letzten Punkt der Aufgabenstellung sollten Proben mit dem neuen Mikroskop untersucht und vermessen werden.

Hierfür wurden ein altes Transmissionsgitter und eine Graphenprobe im wahrsten Sinne des Wortes unter die Lupe bzw. unter das Mikroskop genommen. Die Resultate wurden digital am Computerbildschirm dargestellt und zur weiteren Untersuchung auf

- Transmissionsgitter: Liniendichte
- Graphenprobe: Graphenbedeckung der Oberfläche

abfotografiert. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen zu sehen:

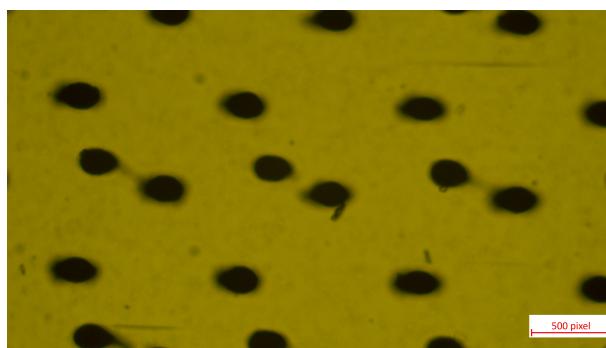


Abb. 9: Transmissionsgitter 15%

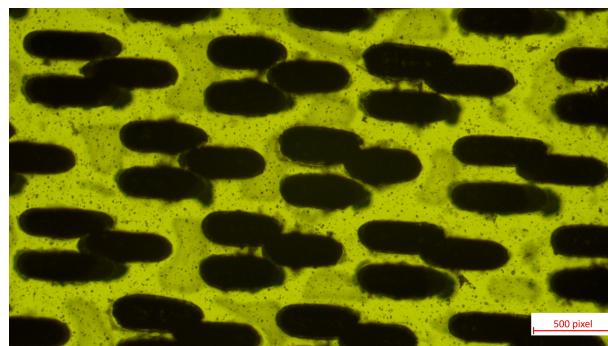


Abb. 10: Transmissionsgitter 50%

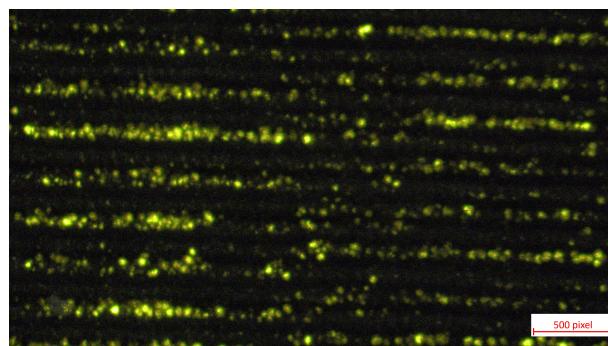


Abb. 11: Transmissionsgitter 100%

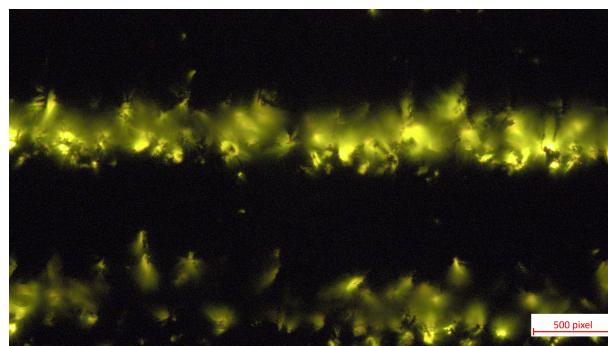


Abb. 12: Graphenprobe

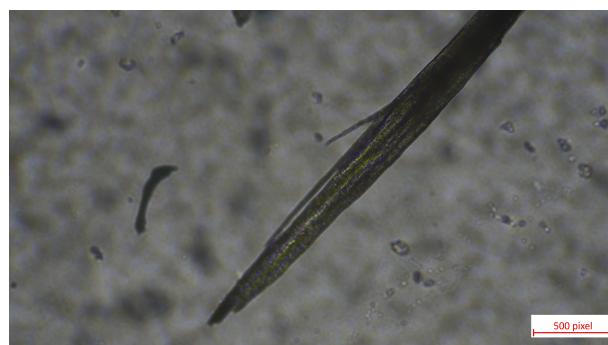


Abb. 13: Haarprobe

Mit Hilfe des Histogrammtools der Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop wurden die Verhältnisse der schwarzen Flächen festgestellt, um dann mit der angegebenen Prozentzahl verglichen zu werden. Da dadurch ein genauere Markierungen erzielt werden konnten, wurden die gelben Pixel markiert und diese für die dunklen Pixel von der Gesamtpixelzahl abgezogen. Zum genaueren Bestimmen der Pixel wurde außerdem der Kontrast erhöht und die richtigen Bereiche erst grob automatisch erfasst und dann angepasst (Resultat in Abbildung 14).

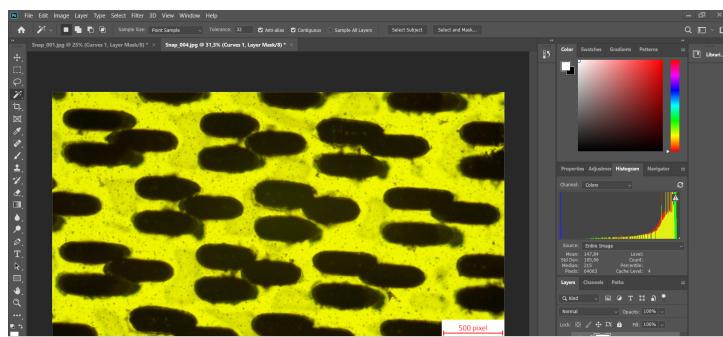


Abb. 14: Beispiel Bildanalyse in Photoshop 50% Transmissionsgitter

Tab. 21: Probenaufgaben

Objekt	Aufgabe	Ergebnis
Transmissionsgitter 15%	Liniendichte	14%
Transmissionsgitter 50%	Liniendichte	51%
Transmissionsgitter 100%	Liniendichte	92%
Graphenprobe	Graphenbedeckung	74%
Haarprobe		

7 Diskussion

Ein Mikroskop ist ein unabdingbares Hilfsmittel in der Forschung.

7.1 Objektivvergrößerung altes Mikroskop

Die Gesamtvergrößerungen von Mikroskopen hängt von der Zusammensetzung aus Okular- und Objektivvergrößerung ab. Da die Vergrößerung des eingebauten Objektives nicht bekannt ist, lässt sich auch kein literarischer Wert für die Gesamtvergrößerung anführen.

Eine Verlängerung der Tubuslänge führt jedoch meist zu einer Vergrößerung, was sich auch bei den genannten Messergebnissen bemerkbar macht. Dies ist möglicherweise ein Indiz für eine richtige Durchführung des Experiments.

7.2 Okularvergrößerung

Selbiges Problem wie bei der Objektivvergrößerung lässt sich auch bei der Okularvergrößerung finden, jedoch sinkt auch hier die Vergrößerung mit der Tubuslänge.

7.3 Objektivbrennweite

In der Mikroskopie liegen die Objektivbrennweiten meist zwischen 2mm und 20mm, manchmal auch mehr. Diese Werte decken sich ebenfalls mit den berechneten Brennweiten aus Tabelle 18.

7.4 Gesamtvergrößerung neues Mikroskop

Die berechneten Werte der Gesamtvergrößerung aus Tabelle 19 legen ein verwendetes Okular mit einer Vergrößerung von 10 nahe, was ebenfalls auf die korrekte Versuchsdurchführung hinweist.

7.5 Probenuntersuchung

Die Untersuchungen der Proben stimmten größtenteils mit den Beschriftungen überein. Die Ungenauigkeit wird mit zunehmender Gitterfläche immer größer, was sich abgesehen von der Messungenauigkeit in Photoshop dadurch erklären lässt, dass die Aufnahmen unter sehr starker Vergrößerung gemacht wurden und dadurch auch die kleinsten "Löcher" groß aussehen und die Durchlässigkeit erhöht. Die Methode, die Flächenverhältnisse in Photoshop zu bestimmen wurde aber nichtsdestotrotz als genauer erachtet, als die Pixelflächen ungefähr abzumessen, weshalb auch meist ziemlich gute Ergebnisse erzielt werden konnten.

8 Zusammenfassung

Hier noch einmal die Ergebnisse zusammengefasst.

Tab. 22: Ergebnisse altes Mikroskop

	TL 21.1	TL 19.1	TL 17.1	TL 16.1	TL 14.1
Gesamtvergrößerung	83.4 ± 15.3	78.8 ± 14.1	71.5 ± 12.3	63.7 ± 10.5	58.9 ± 9.4
Objektivvergrößerung	9.0 ± 1.9	10.3 ± 2.1	8.7 ± 1.9	8.0 ± 1.8	7.7 ± 1.8
Okularvergrößerung	9.27 ± 3.7	7.65 ± 3.0	8.22 ± 3.3	7.97 ± 3.2	7.65 ± 3.1
Objektivbrennweite	22.1 ± 10.9	18.3 ± 8.9	19.5 ± 9.7	19.0 ± 9.4	18.3 ± 9.1

Tab. 23: Ergebnisse neues Mikroskop

	Obj 4x	Obj 10x	Obj. 40x
Gesamtvergrößerung	40.5 ± 6.7	109.9 ± 13.3	404.9 ± 66.4

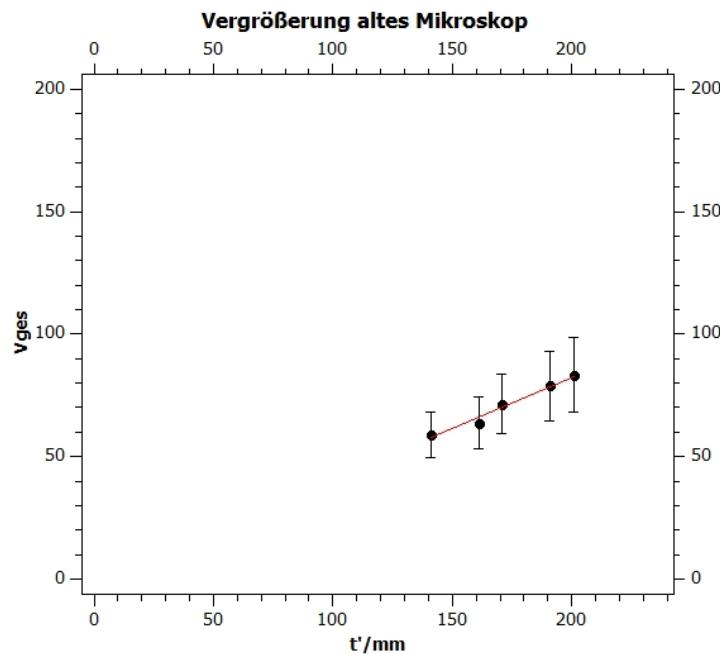


Abb. 15: Vergrößerung in Abhängigkeit der Tubuslänge in qti-Plot

Die Ausgleichsgerade beläuft sich dabei auf $V(t') = 0.422 * t' - 1.69$ mit $\Delta k = 0.04$ und $\Delta d = 6.3$.

Literatur

- [1] Ulf Konrad. *Aufbau Mikroskop Bild.* (besucht am 13.10.2023). URL: <https://www.ulffkonrad.de/physik/5-6/optik/mikroskop>.
- [2] ZEISS Mikroskopie. *Neues Mikroskop Bild.* (besucht am 13.10.2023). URL: <https://www.zeiss.com/microscopy/de/produkte/lichtmikroskope/weitfeldmikroskope/primostar-3.html>.
- [3] TU Graz TeachCenter. *"Laborübungen 1: Mechanik und Wärme". Kurs: PHYD20UF.* (besucht am 13.10.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=127>.

9 Anhang

Unschärfeberechnung

a) Gesamtvergrößerung ultas Mikros.

$$x = \sqrt{10} \quad y = \sqrt{10} \quad \Delta x = 1 \text{ nm} \quad V = \frac{x}{y} \quad \Delta y = 0,01 \text{ nm}$$

$$\text{Bsp.: } \Delta V = \left| \frac{1}{y} \right| + \left| \frac{x}{y^2} \right| \Delta y = \left| \frac{1}{\sqrt{10}} \right| + \left| \frac{-1}{(\sqrt{10})^2} \right| \cdot 0,01 = 1,527 = 1,53$$

b) Gesamtvergrößerung 10x + Objektivvergr.

$$- \quad x = \sqrt{10} \quad y = \sqrt{10} \quad \Delta y = 1 \text{ nm} \quad V = \frac{x}{y} \quad \Delta x = 0,01$$

$$\text{Bsp.: } \Delta V = \left| \frac{1}{y} \right| + \left| \frac{x}{y^2} \right| \Delta y = \left| \frac{1}{\sqrt{10}} \right| + \left| \frac{1}{(\sqrt{10})^2} \right| \cdot 0,01 = 1,9$$

$$- \quad V_{obj} = V_{obj} + V_{okn} \quad \rightarrow \quad V_{obj} = \frac{V_{ges}}{V_{okn}} \quad \Delta V_{okn} \approx 0$$

$$\text{Bsp.: } \Delta V_{obj} = \left| \frac{1}{V_{okn}} \right| \cdot \Delta V_{ges} + \left| \frac{-V_{ges}}{V_{okn}^2} \right| \cdot \Delta V_{okn} = \left| \frac{1}{10} \right| \cdot 1,9 = 1,9$$

c) Okularvergrößerung

$$- \quad V_{ges} = V_{obj} \cdot V_{okn} \quad \rightarrow \quad V_{okn} = \frac{V_{ges}}{V_{obj}}$$

$$\text{Bsp.: } \Delta V_{okn} = \left| \frac{1}{V_{obj}} \right| \cdot \Delta V_{ges} + \left| \frac{-V_{ges}}{V_{obj}^2} \right| \cdot \Delta V_{obj} = \left| \frac{1}{4} \right| \cdot 1,953 + \left| \frac{-0,7}{16} \right| \cdot 1,9 = 3,65 = 3,7$$

d) Objektivbrennweite

$$- \quad f_{obj} = \frac{V_{okn}}{k} \quad \Delta k = 0,04 \quad \Delta V_{okn} \text{ aus Tabelle}$$

14/15

Abb. 16: Rechnungen 1

Bsp.: $\Delta f_{\text{obj}} = \left \frac{1}{k} \cdot \Delta k_{\text{obj}} + \left \frac{v_{\text{obj}}}{k^2} \right \cdot \Delta k \right = \left \frac{1}{0,722} \right \cdot 3,7 + \left \frac{9,3}{0,422^2} \right \cdot 0,07 = 1,85 = 1,9$		
• Vergleichende Messwerte		
- $x = 100$ $y = 100$ $\Delta x = 100$ $V = \frac{x}{y}$ $\Delta y_{\text{rel}} = 0,01$		
Dsp.: $\Delta V_{\text{rel}} = \left \frac{1}{y} \right + \left \frac{-x}{y^2} \right \cdot \Delta y = \left \frac{1}{0,247} \right + \left \frac{-10}{0,247^2} \right \cdot 0,01 = 6,63 = 6,7$		$\Delta y_{\text{abs}} = 0,001$ $\Delta y_{\text{abs}} = 0,0001$
$\Delta V_{\text{abs}} = \left \frac{1}{y} \right + \left \frac{-x}{y^2} \right \cdot \Delta y = \left \frac{1}{0,091} \right + \left \frac{-10}{0,091^2} \right \cdot 0,001 = 13,27 = 13,3$		
$\Delta V_{\text{abs}} = \left \frac{1}{y} \right + \left \frac{-x}{y^2} \right \cdot \Delta y = \left \frac{1}{0,0247} \right + \left \frac{-10}{0,0247^2} \right \cdot 0,001 = 66,36 < 66,4$		
Probamalyse		
15% \rightarrow gelb: 111 630 Gesamt: 129 600		
Schwarz: $129600 - 111630 = 17970$		
Verh.: $\frac{17970}{129600} = 0,14 \sim 14\%$		
50% \rightarrow gelb: 64 063 Gesamt: 129 600		
Schwarz: $129600 - 64063 = 65537$		
Verh.: $\frac{65537}{129600} = 0,51 \sim 51\%$		
100% \rightarrow gelb: 17483 Gesamt: 129 600		
Schwarz: $129600 - 17483 = 112117$		
Verh.: $\frac{112117}{129600} \sim 0,92 \sim 92\%$		
Graphen: \rightarrow gelb: 33 911		
Schwarz: $129600 - 33911 = 95689$		% Bedeck: $\frac{95689}{129600} \sim 0,75 \sim 75\%$
		15/16

Abb. 17: Rechnungen 2