Versuche mit dem Diffraktionsapparat
zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Die Verwendung von Bildern und Texten dieser Ausarbeitung ist unter Angabe der Quelle ausdrücklich erlaubt.

Hagen,17. November 2016

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Die Bildentstehung im Mikroskop

Die „**Geometrische Optik**“, die auf der Fiktion von Lichtstrahlen basiert, spielt eine wesentliche Rolle bei der optischen Abbildung. Mit ihrer Theorie werden Begriffe wie **Brennweite, Abbildungsmaßstab, Bildfehler usw.** erklärt. Darüber hinaus lassen sich mit ihr optische Berechnungen durchführen.

Grundsätzlich jedoch muss man sich der Theorie der „**Wellenoptik**“ bedienen, wenn es um Fragen der Optimierung und Leistungsbewertung von optischen Systemen geht. Hier stehen die Fragen des **Auflösungsvermögens, der objektähnlichen Abbildung usw.** im Vordergrund.

Einer der Wegbereiter dieser Theorie war Ernst Abbe. Er stellte die Fertigung der Mikroskopoptik auf eine wissenschaftliche Grundlage und erkannte die Beugung des Lichtes als wesentlich für die mikroskopische Abbildung. Er wies nach, dass man nicht beliebig vergrößern kann, um mehr Objektdetails zu erfahren, was bis dahin angenommen wurde, sondern, **dass es eine Auflösungsgrenze gibt, die u. a. in einem Verhältnis zur Wellenlänge des Lichtes und zur Apertur des Objektives steht**.

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Durch seine **Untersuchungen über die Auflösung periodischer Strukturen im kohärenten Licht und die Beeinflussung des mikroskopischen Bildes durch Eingriffe in die Pupillenebene des Mikroskopobjektives** hat er sehr zum Verständnis der Bildentstehung beigetragen und Grundlagen für die Weiterentwicklung mikroskopischer Verfahren geschaffen.
Die wichtigsten Resultate seiner Forschung veröffentlichte er 1873 in „ Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung“ in verbaler Form ohne mathematische Ableitungen. Die mathematische Darstellung seiner Lehre wurde erst 1910 von Lummer und Reiche veröffentlicht .

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Wellenoptische Grundlagen

Licht: Teil der elektromagnetischen Wellenstrahlung, den das Auge als Helligkeit oder Farbe empfindet.

Kohärenz: besteht bei 2 oder mehreren Wellenzügen des Lichtes, wenn sie von derselben Stelle einer Lichtquelle ausgehen. Interferenzen können nur mit kohärentem Licht erzeugt werden.

Interferenz : die Überlagerung von 2 oder mehr Wellen, wobei Verstärkung oder Auslöschung eintritt.

Beugung (Diffraktion): jede nicht durch Brechung oder Spiegelung bedingte Abweichung von der gradlinigen Ausbreitung einer Wellenbewegung. Beim Durchtritt des Lichtes durch eine Öffnung pflanzt sich dieses nicht nur gradlinig fort, sondern füllt hinter der Öffnung den gesamten Raumwinkel.

Brechung (Refraktion): ist die Tatsache, dass Licht beim Eintritt in ein anderes Medium von der geraden Richtung abgelenkt wird.

Dispersion: ist die Tatsache, dass der Brechungsindex von der Wellenlänge des Lichtes abhängig ist.

Versuche mit dem Diffraktionsapparat
zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Abbesche Aussage

Liegen zwei Öffnungen nebeneinander und werden sie von derselben Welle getroffen, tritt hinter der Öffnung Interferenz ein, oder **betrachtet man eine Lichtquelle aus einiger Entfernung durch ein Gitter, so erhält man mehrere Lichtquellenbilder, von denen das mittlere am hellsten (Hauptmaximum) ist und die rechts und links befindlichen werden immer lichtschwächer (Nebenmaxima).**

Ähnliches spielt sich im Mikroskop ab. Hier ist die **Mikroskopierlampe die Lichtquelle** und das **Präparat das Gitter**, und da die Lampe weit vom kurzbrennweitigen Objektiv entfernt ist, entstehen die **Lichtquellenbilder in der hinteren Brennebene des Objektivs**. Sie werden sichtbar, wenn man das Okular entfernt und in den Tubus blickt. Man spricht hier von einem **primären Beugungsbild**. Beim genauen Hinsehen fällt auf, dass das Hauptmaximum weiß ist, die Nebenmaxima aber mit farbigen Rändern versehen sind. Dabei ist der dem Hauptmaximum zugewandte Rand blau, der andere rot, da die rote Spektralfarbe stärker gebeugt wird als der Blauanteil.

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Da jede Präparatestelle nun ein für sie typisches Beugungsbild liefert, könnte man bereits aus der Anordnung der Nebenmaxima eine Aussage über die Gestalt des Präparates machen. Dies ist aber unüblich, da man das **Endbild** sehen möchte. Also lässt man die Lichtwellen weiter in Richtung Okular laufen, wobei sie sich gegenseitig durchdringen. Es kommt auch hier wieder zu **Interferenzen und damit zur Bildung heller und dunkler Stellen**, die sich in der Zwischenbildebene so anordnen, dass ein mehr oder weniger naturgetreues **Bild vom Präparat** entsteht. (sekundäres Beugungsbild)
Dabei beeinflussen die Wellenzüge der Nebenmaxima das Hauptmaximum, indem es zu Interferenzen kommt. Fehlen Nebenmaxima durch Blenden oder mangelnde Objektivöffnung, so kommt es nicht zu Interferenzen, und eine in der Realität vorhandene Präparatkontur wird mikroskopisch nicht erfasst.
Die **Nebenmaxima beinhalten also in verschlüsselter Form Informationen über Präparatstrukturen, an denen sie durch Beugung entstanden sind**.
Anhand von Versuchen kann man beweisen, dass das soeben Beschriebene den Tatsachen entspricht, denn eine Struktur verschwindet aus dem mikroskopischen Bild, wenn man die von ihr verursachten Nebenmaxima aus dem primären Beugungsbild entfernt.

Versuche mit dem Diffraktionsapparat
zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

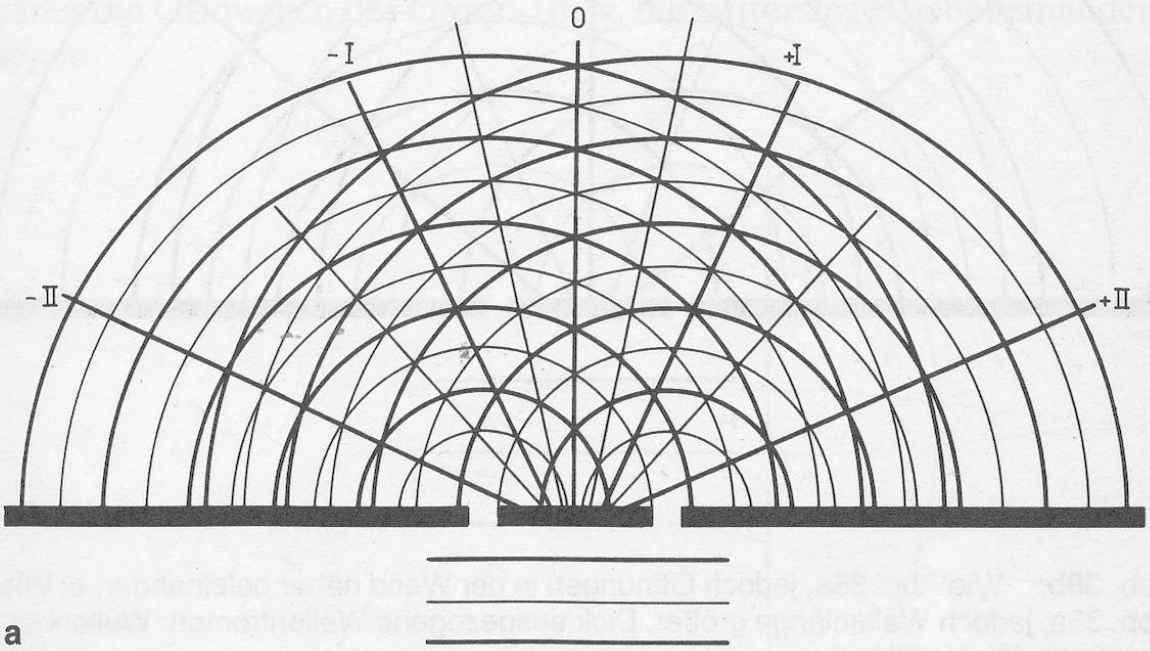


Abb. **38** Beugung in Aufsicht. **a:** Eine ebene Wellenfront trifft auf eine Wand, die zwei Öffnungen enthält. Aus den Öffnungen treten konzentrische Wellenbewegungen hervor, die sich überschneiden und miteinander interferieren. Es entstehen das Hauptmaximum O und die Nebenmaxima −I, +I, −II, +II (dicke Linien), die voneinander durch Bereiche getrennt sind, in denen die Amplitude bis auf 0 sinkt (dünne Linien).

Bilderquelle: Gerlach, Dieter, Das Lichtmikroskop, Stuttgart, New York 1985

Versuche mit dem Diffraktionsapparat
zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

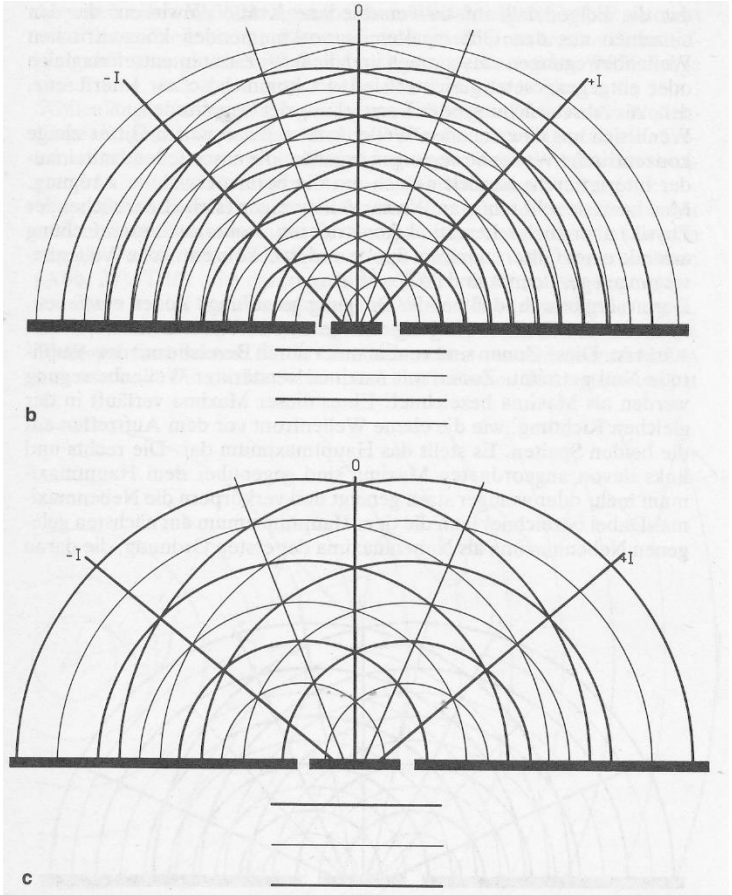


Abb. **38b:** Wie Abb. 38a, jedoch Öffnungen in der Wand näher beieinander. **c:** Wie Abb. 38a, jedoch Wellenlänge größer. Dick ausgezogene Wellenfronten: Wellenberge; dünne: Wellentäler.

Bilderquelle: Gerlach, Dieter, Das Lichtmikroskop, Stuttgart, New York 1985

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Jedes Präparat, sei es grob oder fein strukturiert, übt, in einen Abbildungsstrahlengang gebracht, eine beugende Wirkung aus, die theoretisch berechenbar ist, in der Praxis aber nicht, da es unmöglich ist, diese Berechnung für beliebig und unregelmäßig strukturierte Objekte durchzuführen. Interpretierbar und berechenbar sind allerdings die Beugungen und Interferenzen bei **einfachen periodischen Amplituden- und Absorptionsgittern**. Hierauf basieren die so genannten Abbeschen Diffraktionsversuche.

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Konsequenzen aus der Abbeschen Theorie von der Bildentstehung

Nach den vorstehenden allgemeinen Sätzen über die Bildentstehung nach Abbe ist anzunehmen, dass man

• ein sekundäres Interferenzbild aus einem künstlich erzeugten primären Interferenzbild herstellen kann, auch ohne dass sich ein Objekt im Strahlengang des Mikroskops befindet, dass sich also das Aussehen eines Objektbilds in dem Umfang aus den Informationen rekonstruieren lassen muss, in welchem sie in der primären Interferenzerscheinung enthalten sind

• die Objektähnlichkeit eines sekundären Interferenzbilds verändern kann, wenn das primäre durch willkürliche Eingriffe geändert wird. (Zitat Michel)

Literaturangaben:

Gerlach, Dieter, Das Lichtmikroskop, Stuttgart, New York 1985 (Abbildungen)
Michel, Kurt, Die Grundzüge der Theorie des Mikroskops, Stuttgart 1981

(Die in dieser Präsentation beschriebenen Versuche sind eng an dieses Buch angelehnt.)

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Die in den nachfolgenden Charts gezeigten Bilder sind zum einen im **orthoskopischen Strahlengang (Wiedergabe des Bildes durch Linsen)** dargestellt, d.h. das sekundäre Beugungsbild ist mit dem Okular betrachtet und zum anderen **im konoskopischen Strahlengang (indirekte Beobachtung der Interferenzbilder)**. Hier wird des primäre Beugungsbild mit einem Fernrohrsystem in der hinteren Brennebene des Objektivs betrachtet.

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Die Teile des Diffraktionsapparates von Carl Zeiss

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

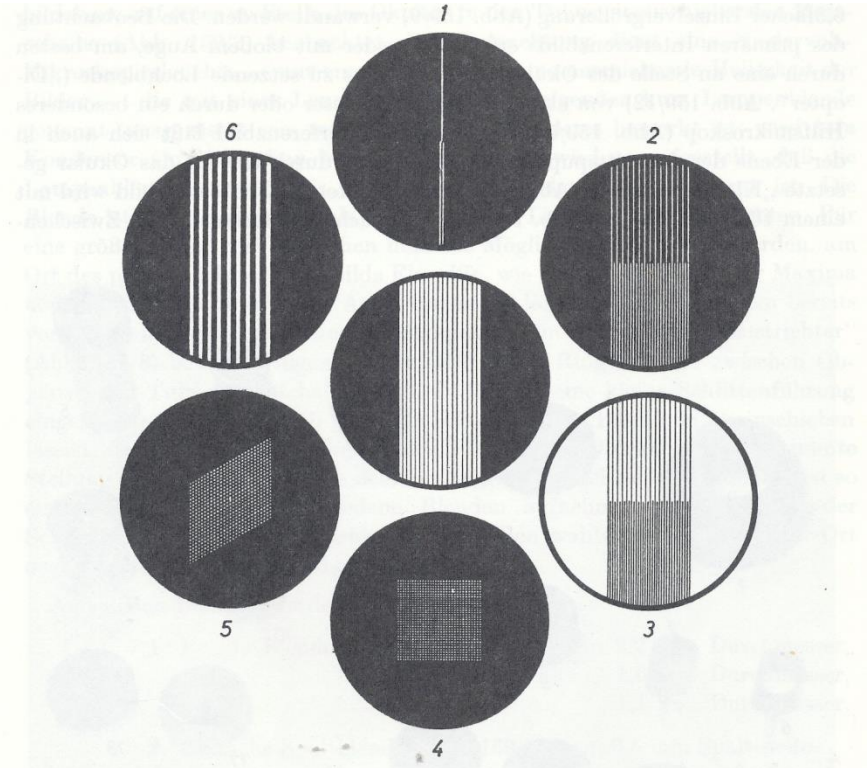


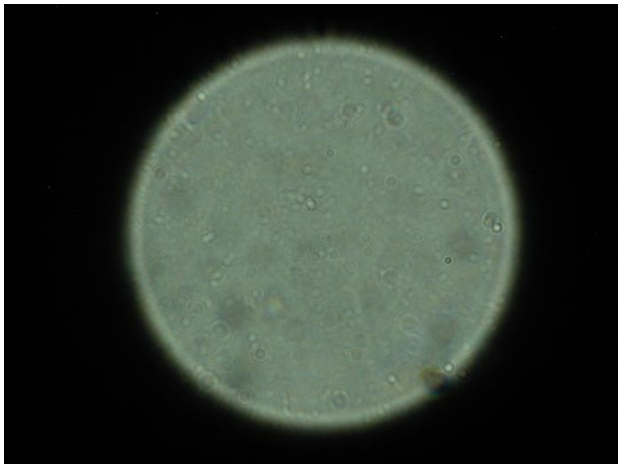
Abb. 158. Die künstlichen Modellobjekte für Versuche zur Theorie der sekundären Abbildung

1) Einzelspalt und Doppelspalt; 2) positives Gitter d = 0,016/0,008; 3) negatives Gitter d = 0,016/0,008; 4) 90°-Kreuzgitter; 5) 60°-Kreuzgitter; 6) Absorptionsgitter d = 0,016, a : d = 1 : 2; Mitte) Verzögerungsgitter d = 0,016, a : d = 1 : 2.

Bilderquelle: Michel K., Die Grundzüge der Theorie des Mikroskops, Stuttgart 1981

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

1. Versuch

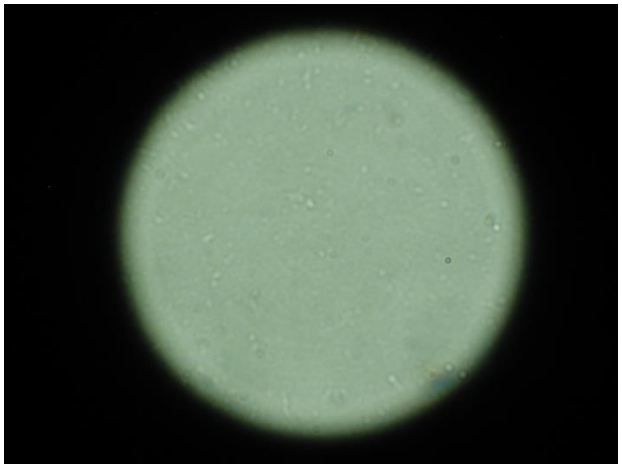


- Lampenblende ist auf ca. 1,5mm zugezogen

- In der Objektivöffnung erkennt man das Bild der Lampenblende

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

2. Versuch

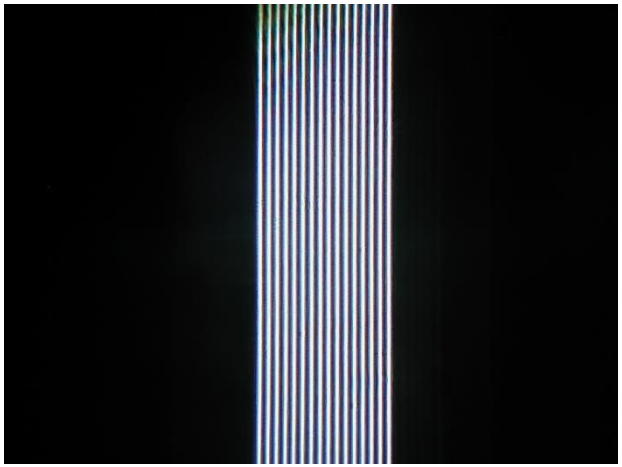


- Lampenblende ist auf ca. 6mm vergrößert. Das Bild wird heller

- In der Objektivöffnung erkennt man das Bild der vergrößerten Lampenblende

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

3. Versuch

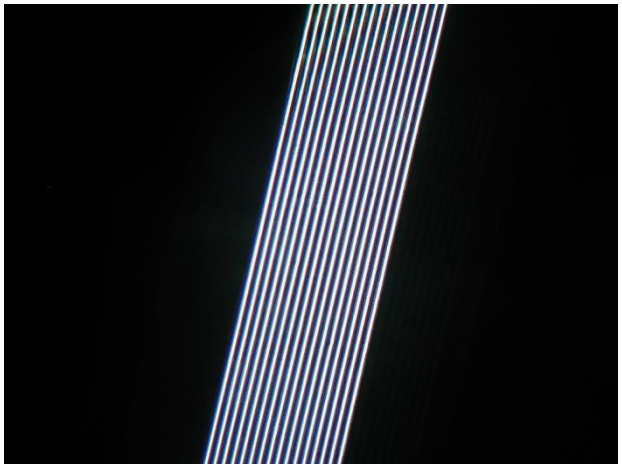


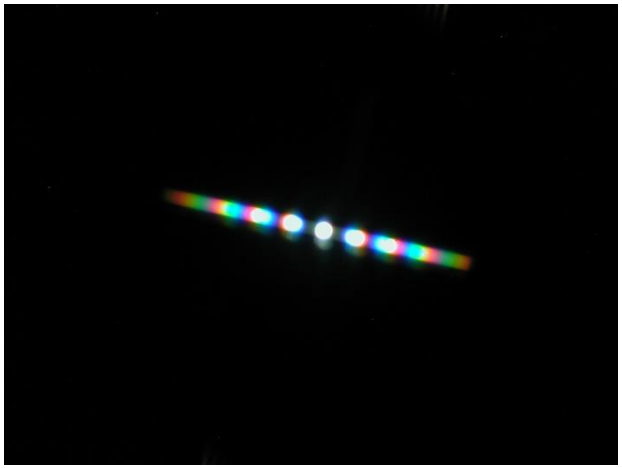
- Lampenblende 1,5 mm
  Gitter d=0,016mm

- Neben dem weißen Bildchen der Lichtquelle erscheinen weitere Lichtquellenbilder, die aus farbigen Einzelbildern zusammengesetzt sind und dadurch sichtbar werden, dass die blauen Bilder einen geringeren Abstand von der Mitte haben als die roten

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

4. Versuch



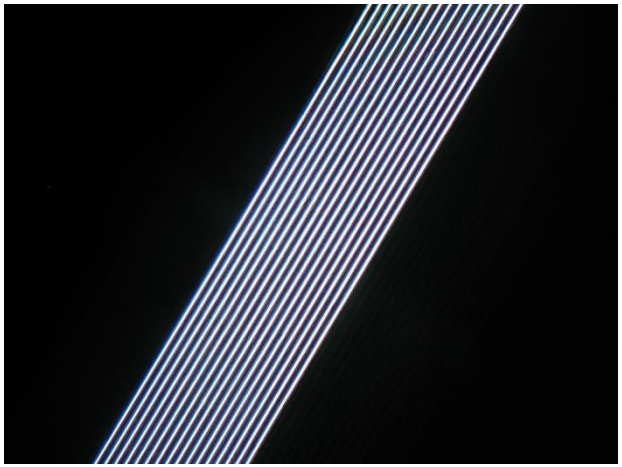


- Das Präparat wird um die optische Achse gedreht

- Das Beugungsbild dreht sich um das Maximum Null mit. Die Reihe der Maxima bleibt immer senkrecht zur Richtung der Gitterspalte

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

5. Versuch

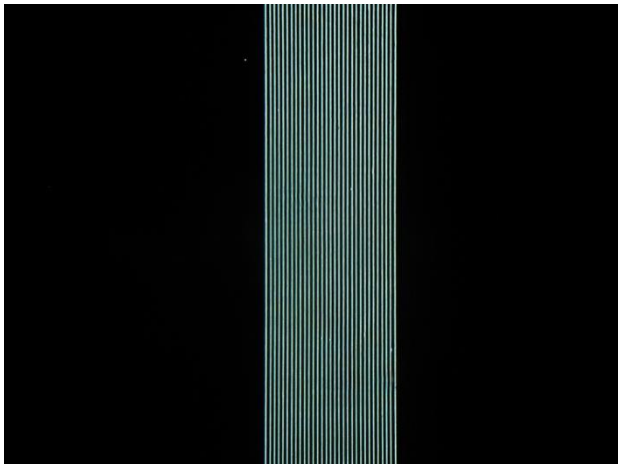


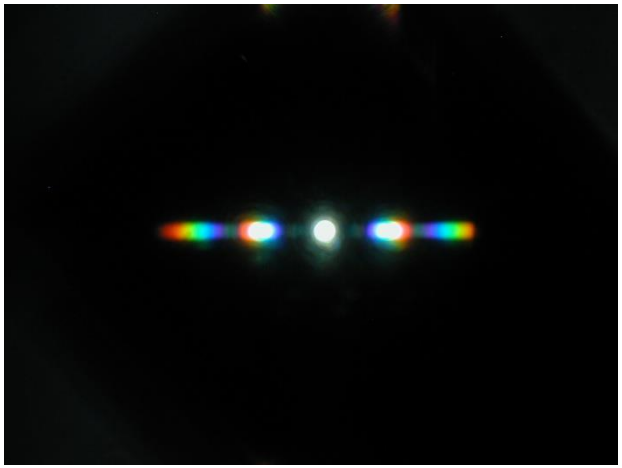
- Das Präparat wird um die optische Achse gedreht

- Das Beugungsbild dreht sich dreht sich um das Maximum Null mit. Die Reihe der Maxima bleibt immer senkrecht zur Richtung der Gitterspalte

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

6. Versuch





- Gitter d=0,008mm

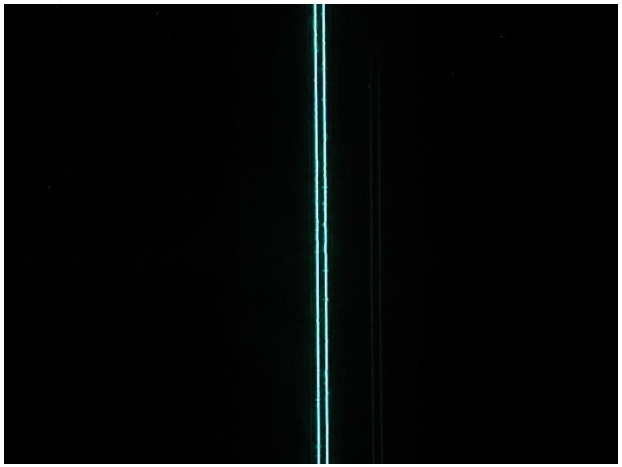
- Die Zahl der zur Beobachtung kommenden Maxima im Beugungsbild ist nur halb so groß wie vorher, ihr Abstand ist also doppelt so groß.

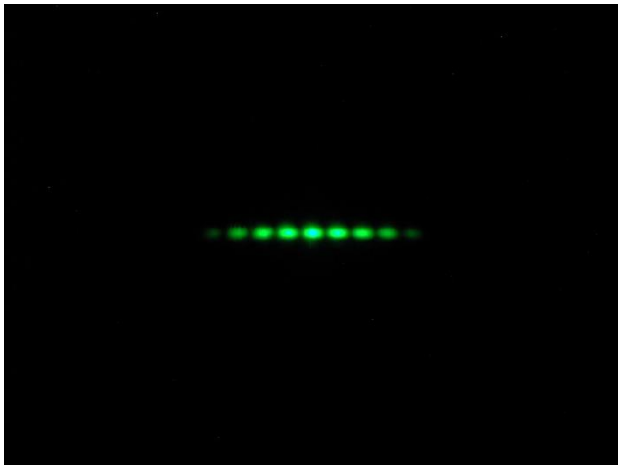
  Damit nur ein einfarbiges Beugungsbild in Betracht gezogen zu werden braucht, wird in den nächsten Darstellungen ein Grünfilter verwendet

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

7. Versuch





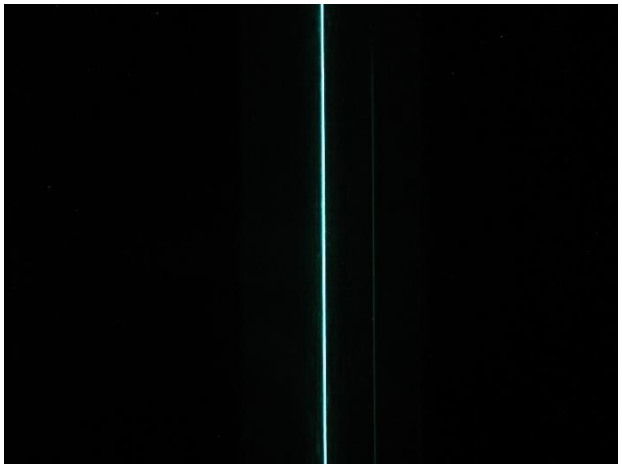
- Doppelspalt d=0,016mm

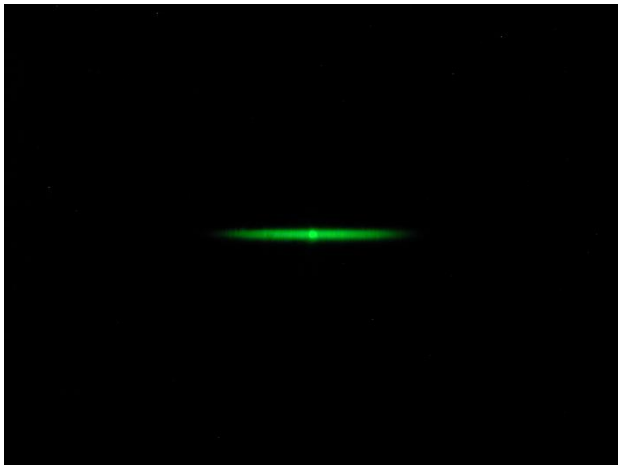
- Das Interferenzbild weist die gleiche Anzahl von Maxima auf wie bei dem Gitter d=0.016mm. Die einzelnen Maxima sind aber wesentlich lichtschwächer und seitlich erheblich verbreitert.

  Dieser Versuch verdeutlicht den Einfluss den die Zahl der Strukturelemente des Objekts auf das Interferenzbild

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

8. Versuch



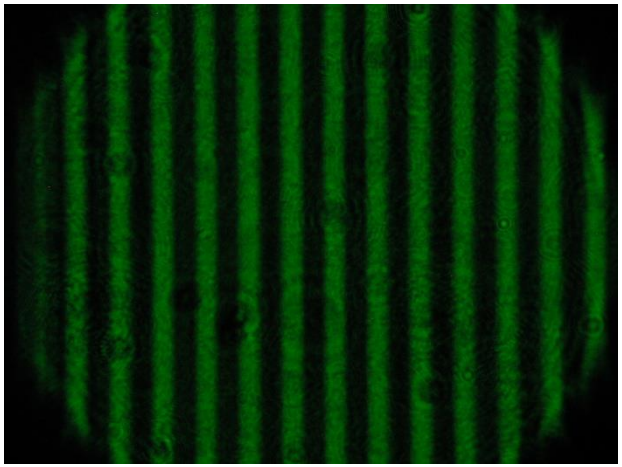


- Einzelspalt

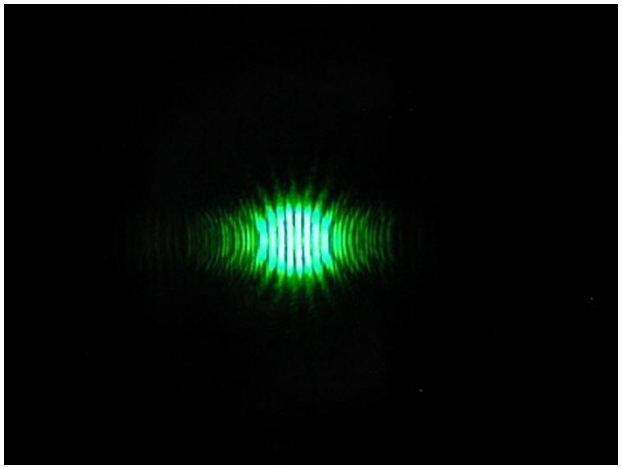
- Die Interferenzerscheinung besteht aus symmetrisch um ein zentral gelegenes , sehr helles und breites Maximum angeordnete seitliche Maxima, deren Helligkeit erheblich geringer ist und nach außen ziemlich rasch abnimmt. Ein typisches Beugungsbild einer Öffnung

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

9. Versuch



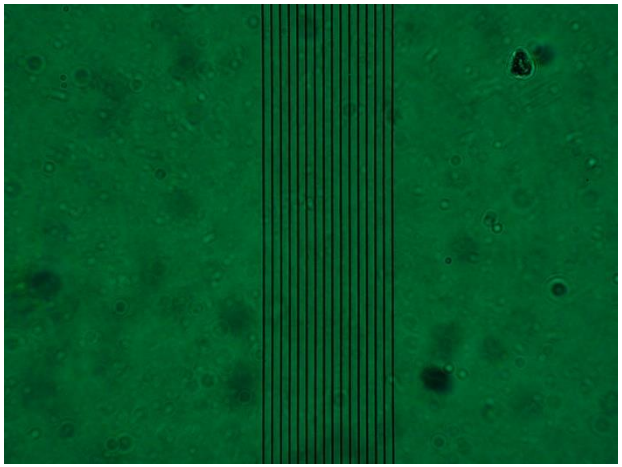
- Gitter d=0,016mm mit einem Objektiv Achromat 40



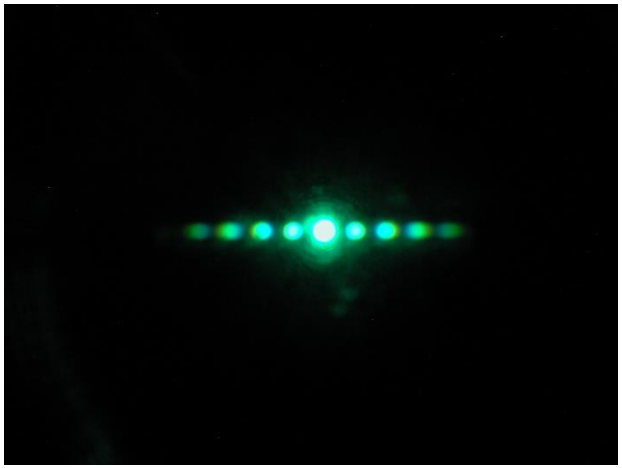
- Es ist eine wesentlich größere Anzahl von Maxima zu sehen

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

10. Versuch



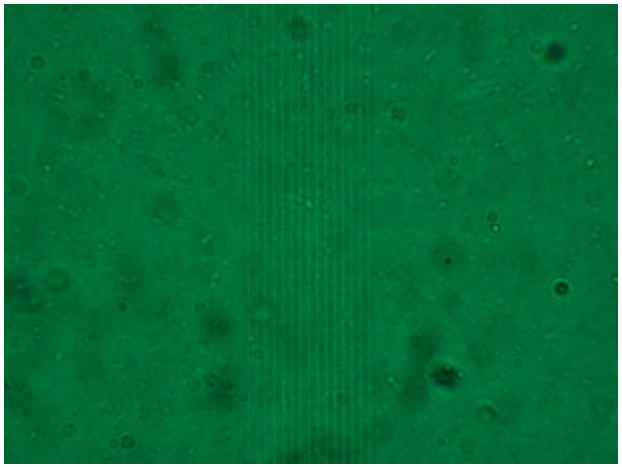
- Negatives Gitter d=0,016mm



- Verteilung der Maxima entspricht dem entsprechenden positiven Gitter. Allerdings überwiegt das Maximum Null erheblich die Helligkeit der seitlichen Maxima. Eine Folge des durchsichtigen Hintergrundes des Gitters

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

11. Versuch

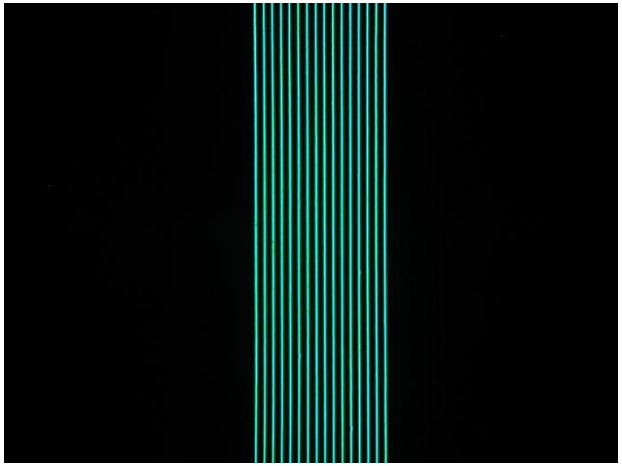


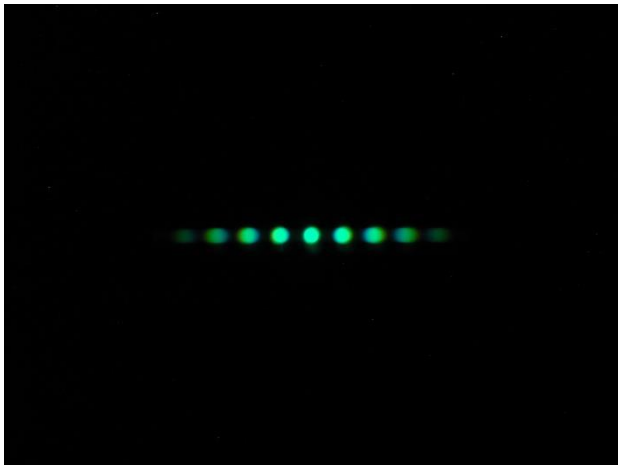
- Statt eines Absorptionsgitters wird ein Verzögerungsgitter (kaum sichtbares Phasenobjekt) verwendet. Das Gitter ist kaum sichtbar

- Das Interferenzbild lässt nur das Maximum Null gut erkennen, da es die seitlichen Maxima an Leuchtdichte außerordentlich übertrifft. Diese lassen sich am besten sichtbar machen, wenn das Maximum Null ausgeblendet werden kann

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

12. Versuch



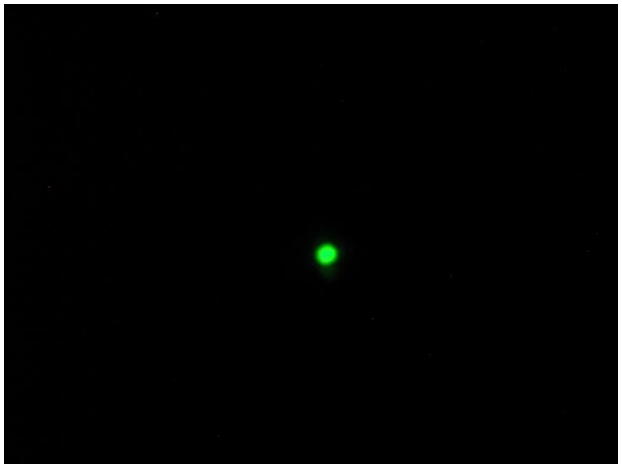


- Gitter d=0,016mm

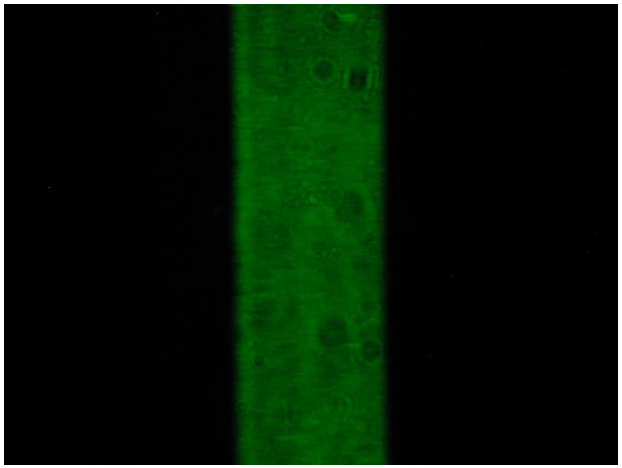
- Zwischen Tubus und Objektiv wird der Diffraktionstrichter geschraubt, der es ermöglicht, das primäre Interferenzbild mit Ring- und Spaltblenden zu beeinflussen und seine Wirkung auf das sekundäre Interferenzbild zu erkunden

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

13. Versuch



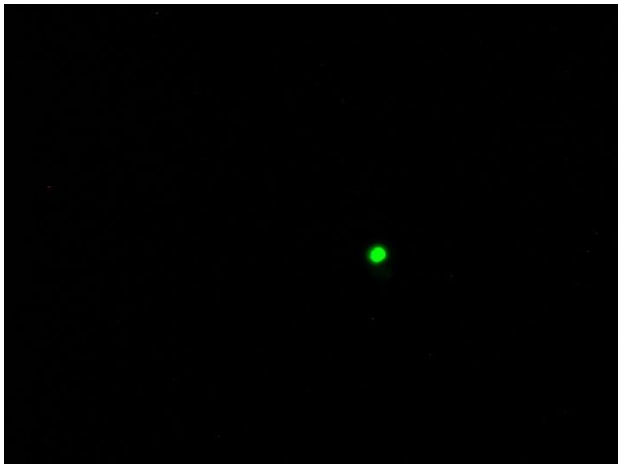
- Eine Spaltblende wird so platziert, dass nur das nullte Maximum in die Öffnung der Blende fällt



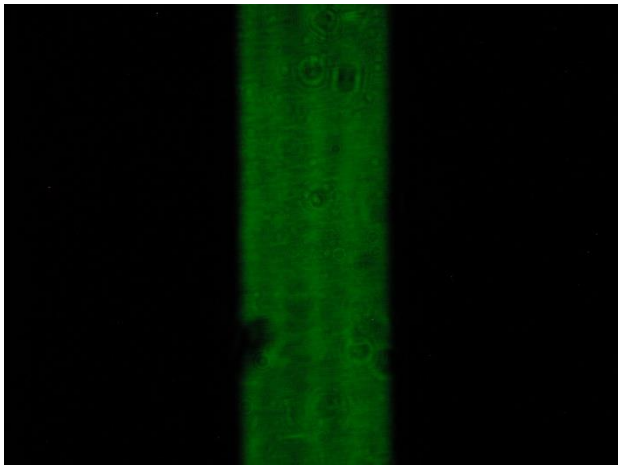
- Das Gitter d=0,016mm zeigt keinerlei Andeutung einer Gitterstruktur sondern eine gleichmäßig helle Fläche. Die Wolkigkeit dieser Fläche ist durch unvermeidliche Unsauberkeiten des Objekts bedingt

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

14. Versuch



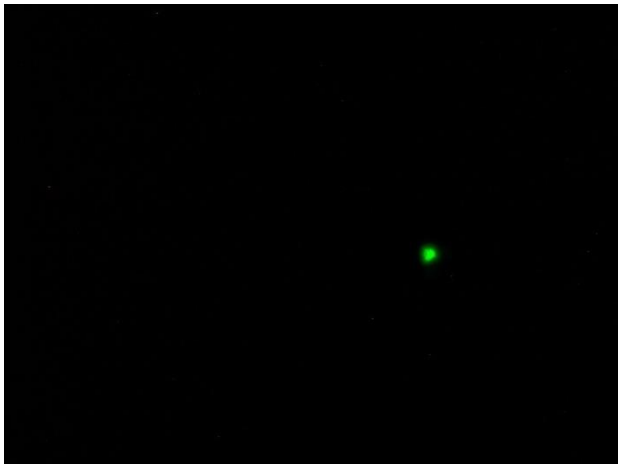
- Die Spaltblende wird so platziert, dass nur das Maximum +1 in die Öffnung der Blende fällt



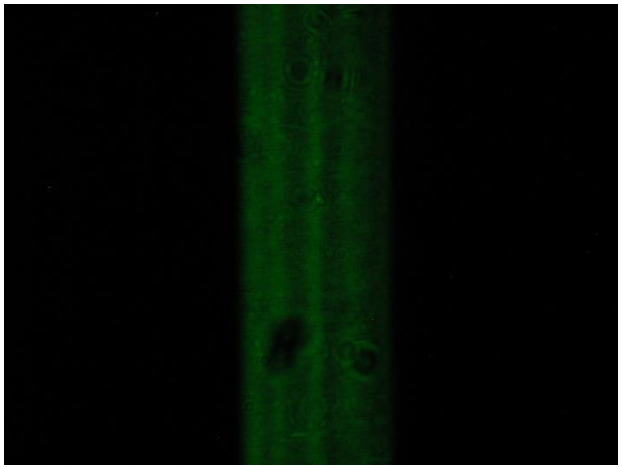
- Das Gitter d=0,016mm zeigt keinerlei Andeutung einer Gitterstruktur , allerdings erscheint die strukturlose Fläche dunkler

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

15. Versuch



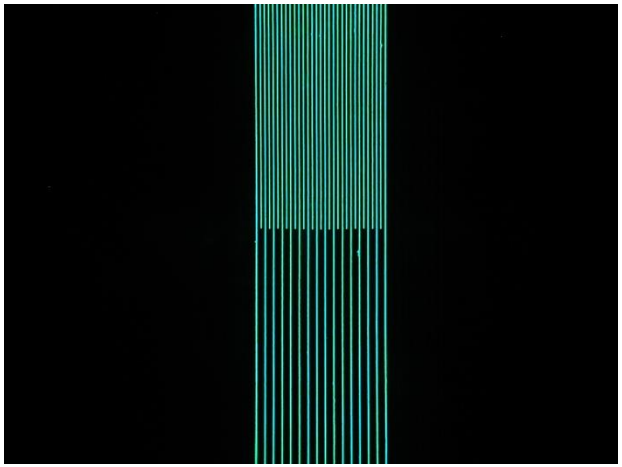
- Die Spaltblende wird so platziert, dass nur das Maximum +2 in die Öffnung der Blende fällt



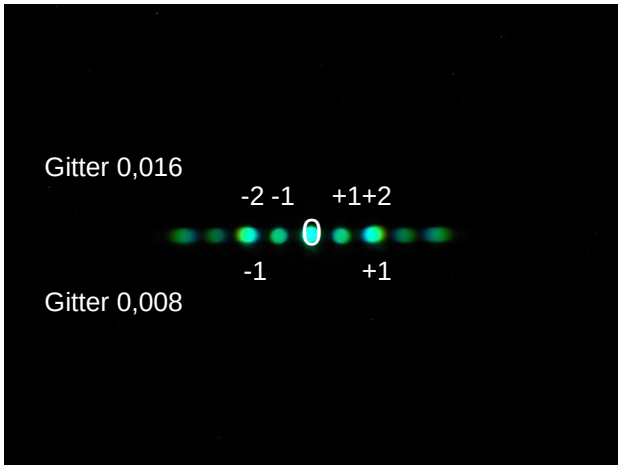
- Die strukturlose Fläche wird noch dunkler

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

16. Versuch



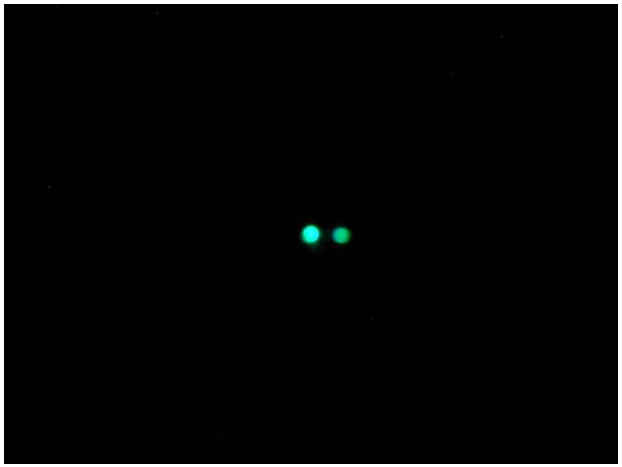
- Gitter d=0,008 mm
  Gitter d=0,016 mm



- Es erscheinen im primären Interferenzbild die Maxima des groben und des feinen Gitters

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

17. Versuch

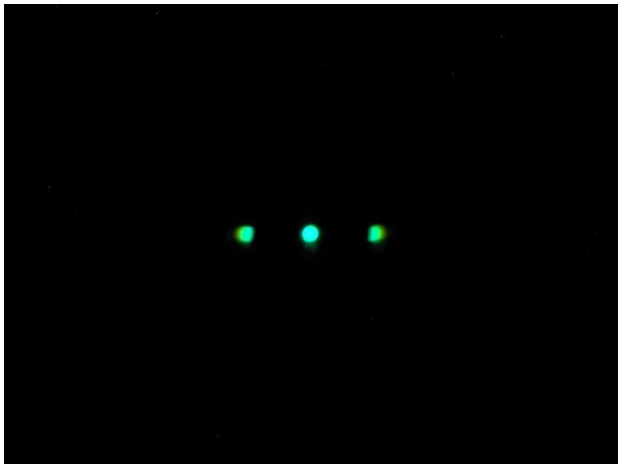


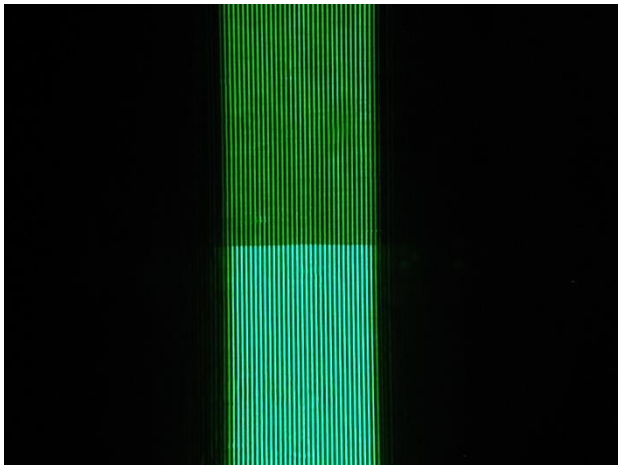
- Eine Ringblende wird so platziert, dass nur das nullte Maximum und das Maximum +1 des Gitters 0,016 durch die Blendenöffnung fällt

- Das feine Gitter zeigt keine Gitterstruktur. Beim groben Gitter wird das Vorhandensein der Struktur sichtbar, allerdings nicht mehr so fein und scharf begrenzt. Die Struktur ist nicht objektähnlich abgebildet, sondern sie wird nur gerade eben aufgelöst

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

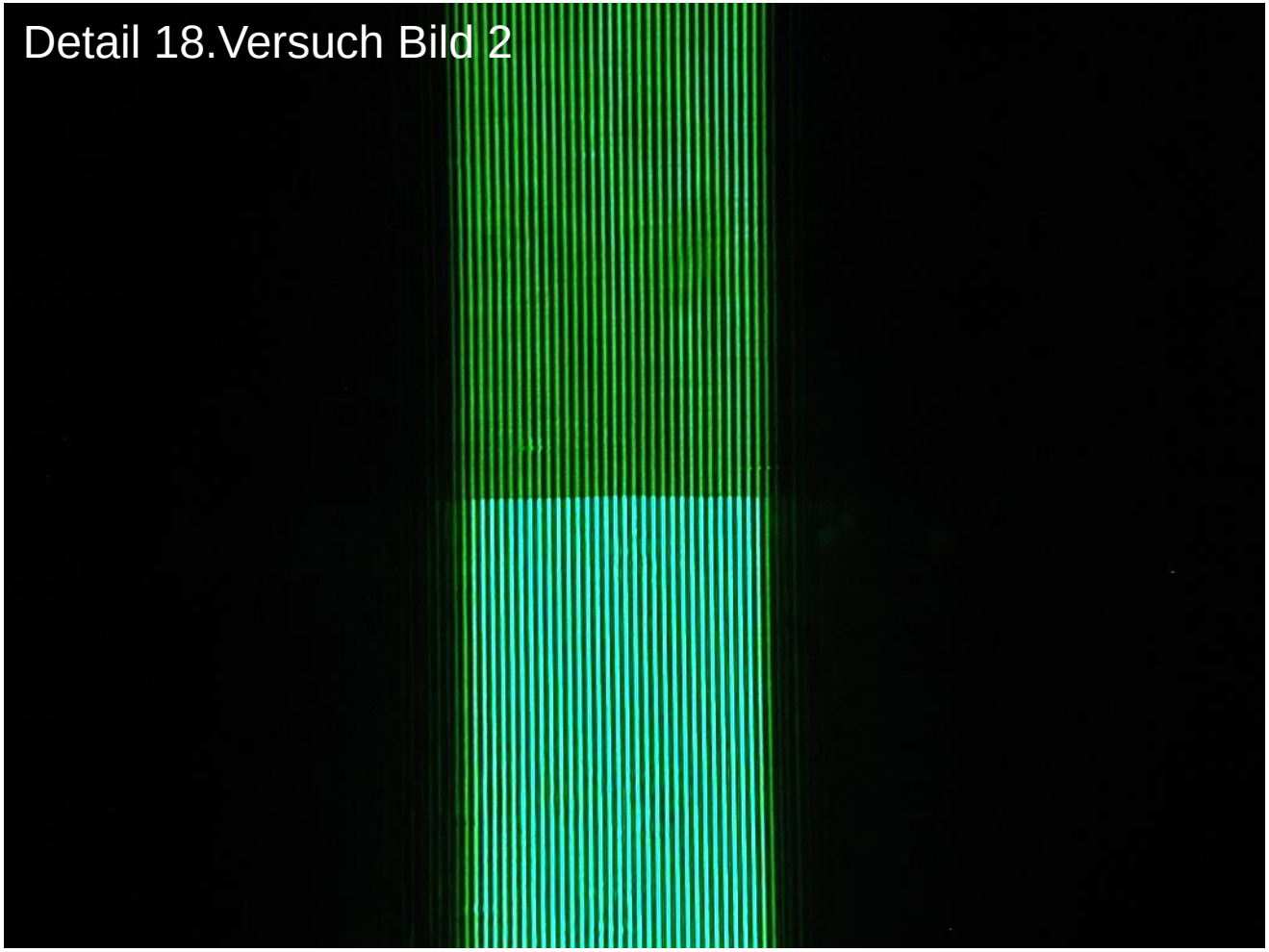
18. Versuch





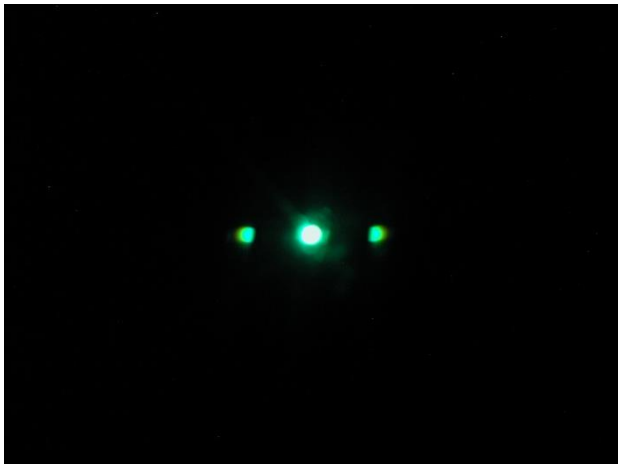
- Eine 3fache Spaltblende wird so platziert, dass das nullte Maximum in den mittleren Spalt fällt und die Maxima +1 und -1 des feinen Gitters und +2 und -2 des groben Gitters durch die seitlichen Spalte fallen
- Bis auf die Helligkeit bestehen zwischen beiden Gittern keine Unterschiede mehr. Das grobe Gitter zeigt dieselbe feine Struktur wie das feine Gitter, d.h. die Streifen sind verdoppelt. Das Verhältnis zwischen Spaltbreiten und Spaltabstand entspricht immer noch nicht der Wirklichkeit

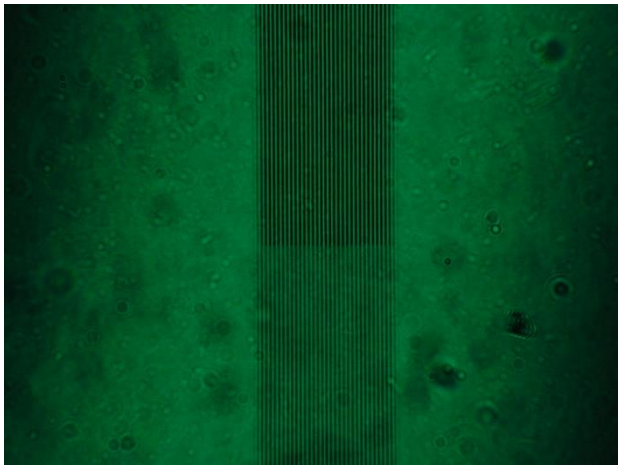
Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe



Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

19. Versuch

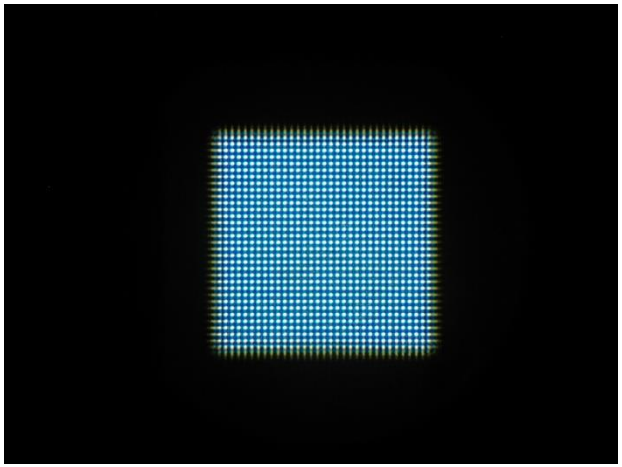


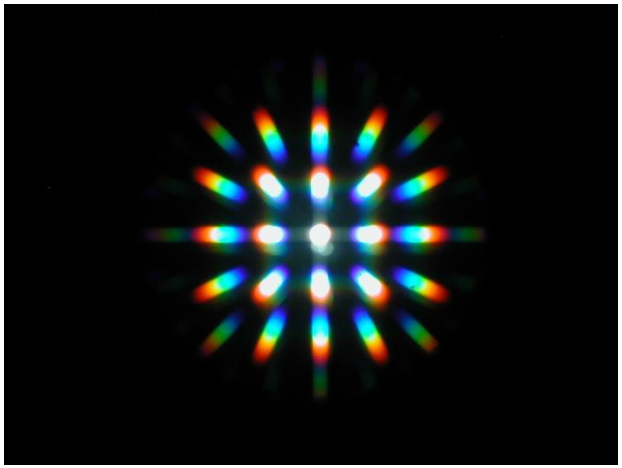


- Wiederholung des letzten Versuches mit einem negativen Gitter

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

20. Versuch

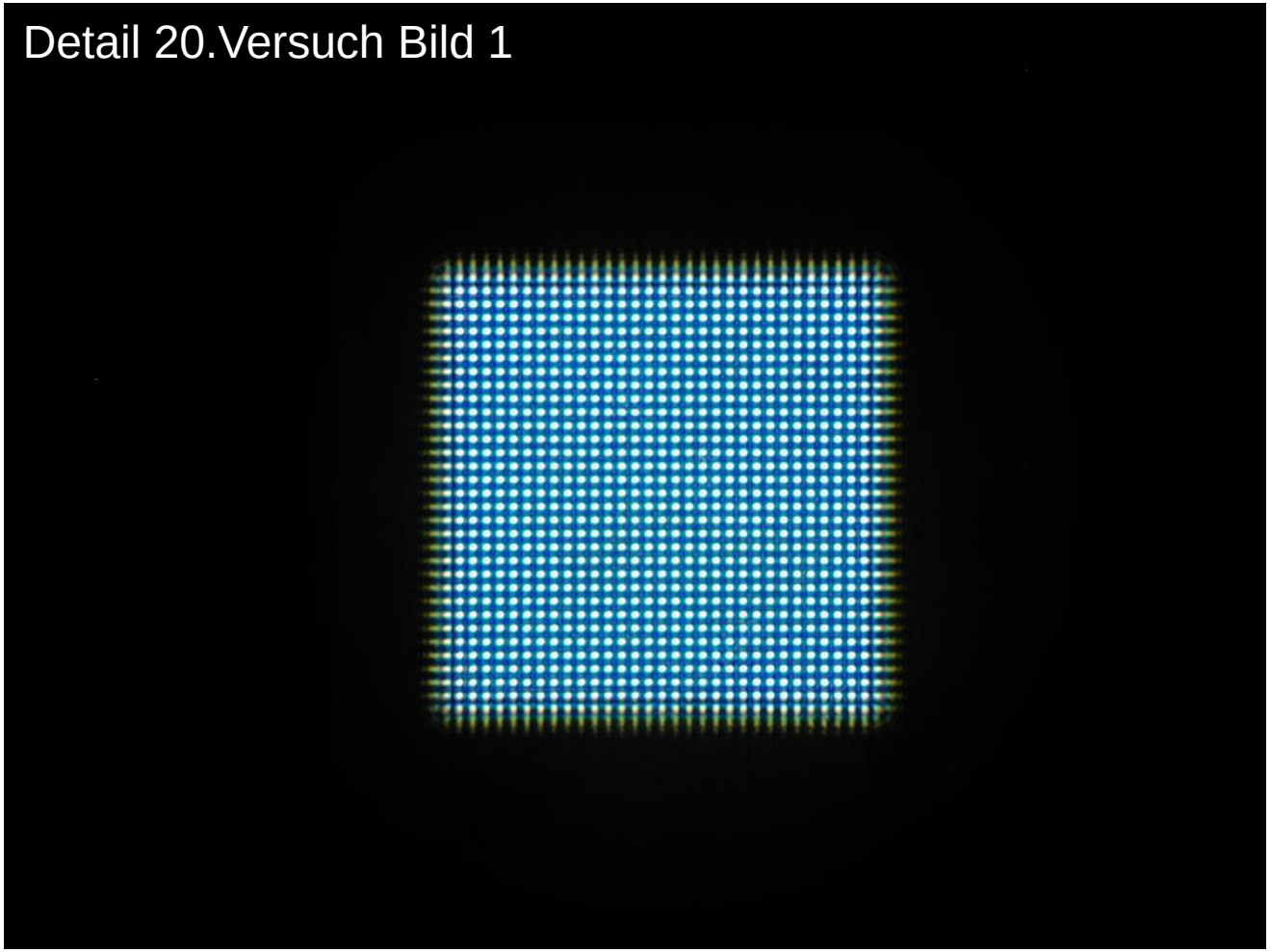




- 90° Punktgitter

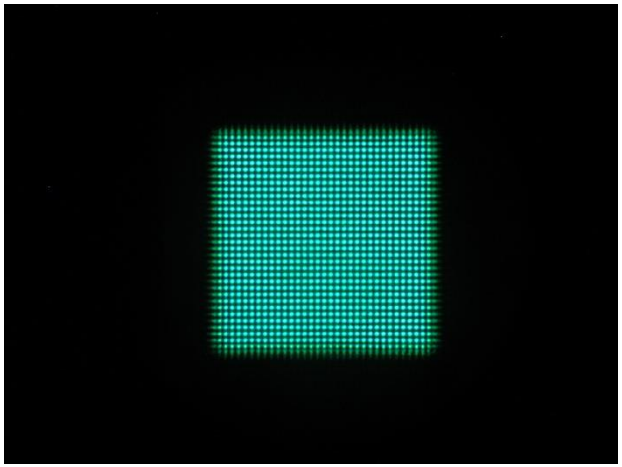
- Die Maxima sind in sich rechtwinklig kreuzenden Reihen angeordnet. Sie liegen regelmäßig um das Maximum 0 herum

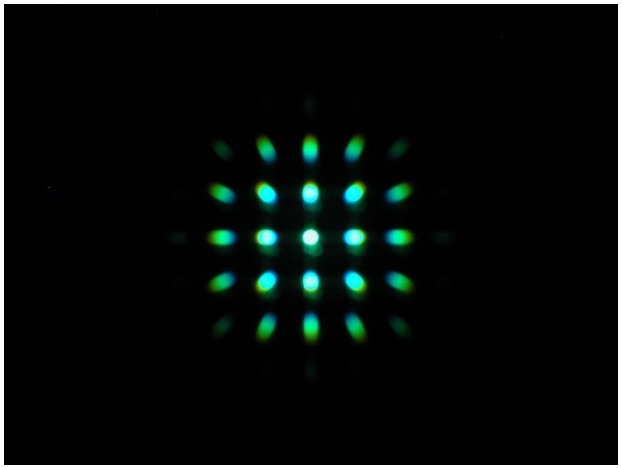
Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe



Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

21. Versuch

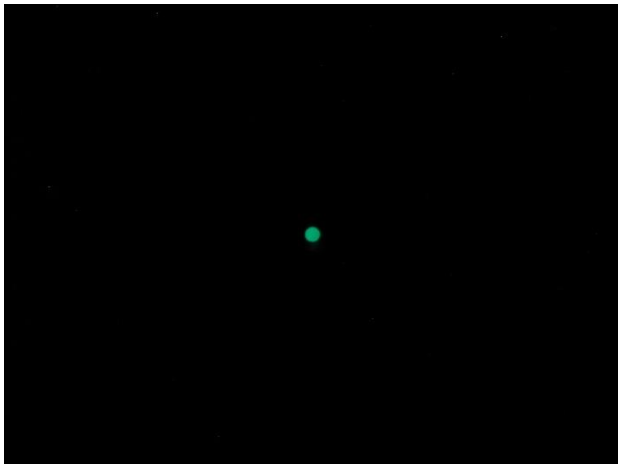


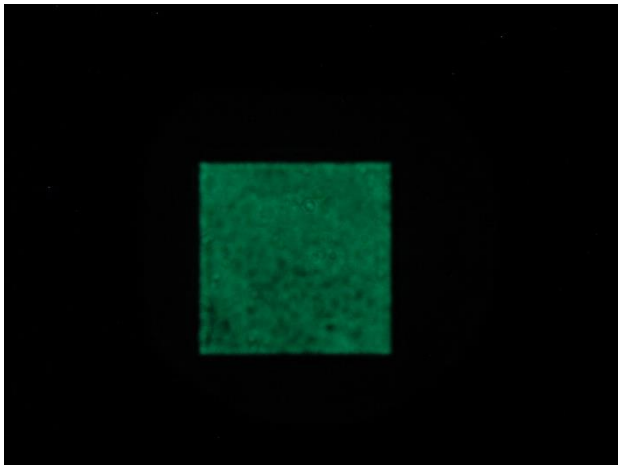


- Die gleiche Darstellung bei zwischengeschaltetem Grünfilter

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

22. Versuch



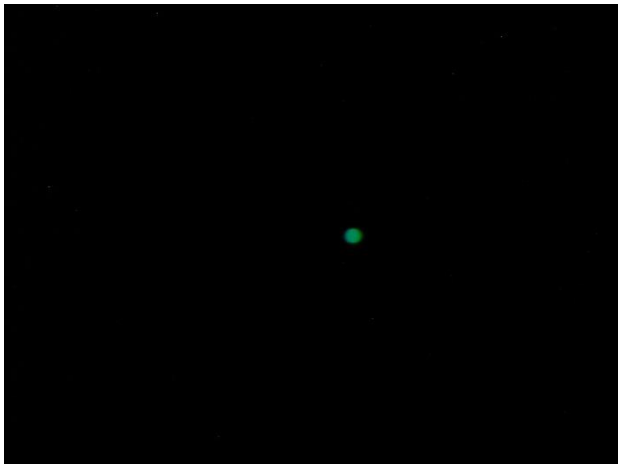


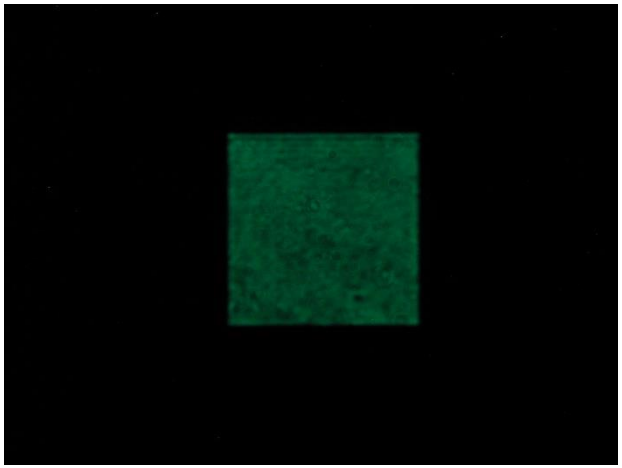
- Eine rund Blende von 1.1 mm Durchmesser in der hinteren Brennebene lässt nur das Maximum 0 in die Blendenöffnung fallen

- Das Bild zeigt eine gleichmäßig helle Fläche ohne Andeutung einer Struktur

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

23. Versuch

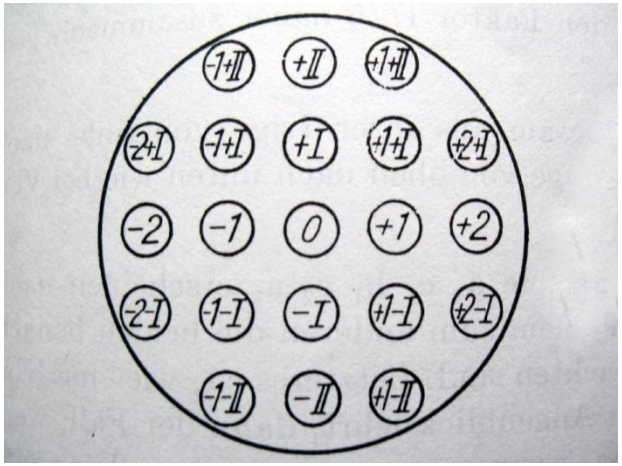


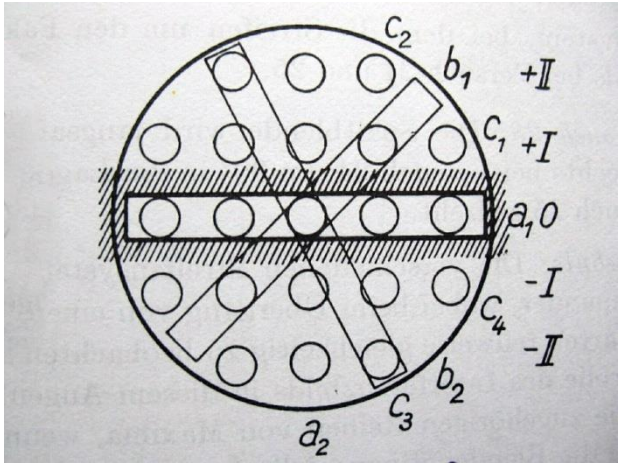


- Durch seitliches Verschieben der Blende wird ein beliebiges Maximum in die Blendenöffnung gebracht

- Das Ergebnis ist ganz ähnlich wie beim vorhergehenden Versuch

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe





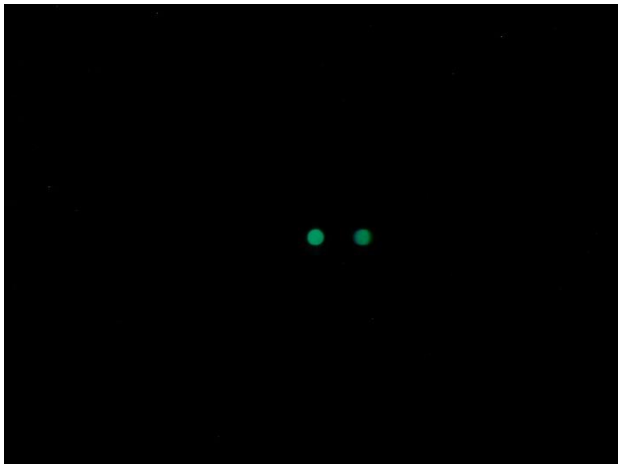
- Für die nachfolgenden Versuche ist hier die Bezeichnungsweise der einzelnen Maxima festgelegt

- Möglichkeiten der Ausblendung geradlinig angeordneter Maxima

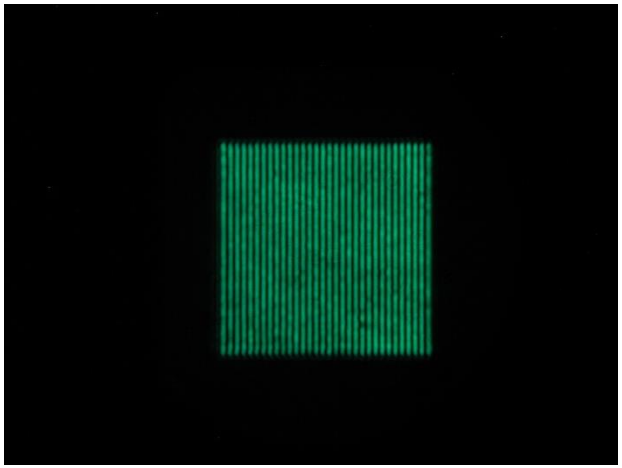
Bilderquelle: Michel K., Die Grundzüge der Theorie des Mikroskops, Stuttgart 1981

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

24. Versuch



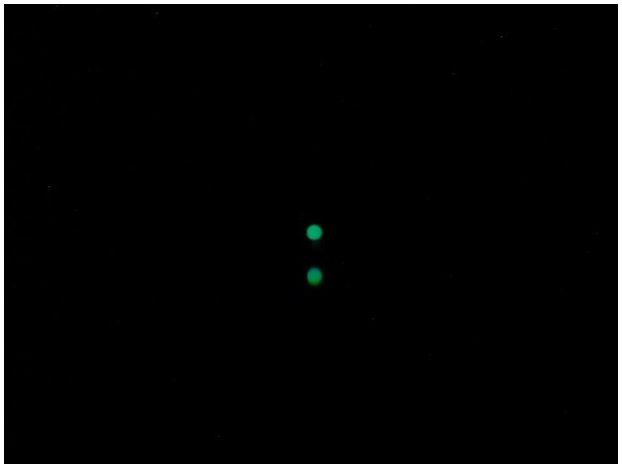
- Ein größere Blende (1,6 mm) lässt die Maxima 0 und +1 in die Blendenöffnung fallen

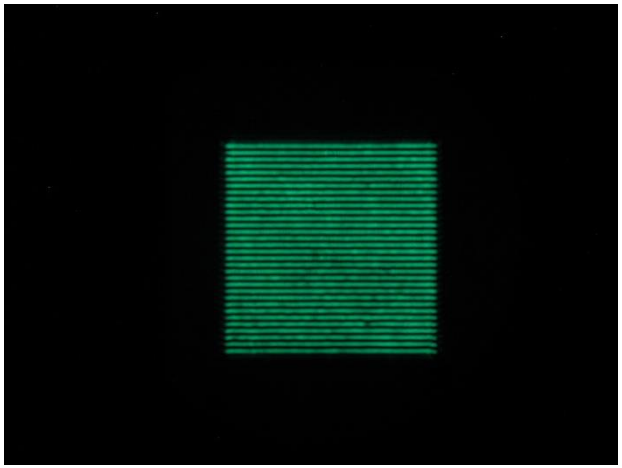


- Das Bild zeigt ein System von breiten und unscharfen hellen Streifen, die senkrecht zur Richtung der zur Wirkung liegenden Maxima liegen

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

25. Versuch

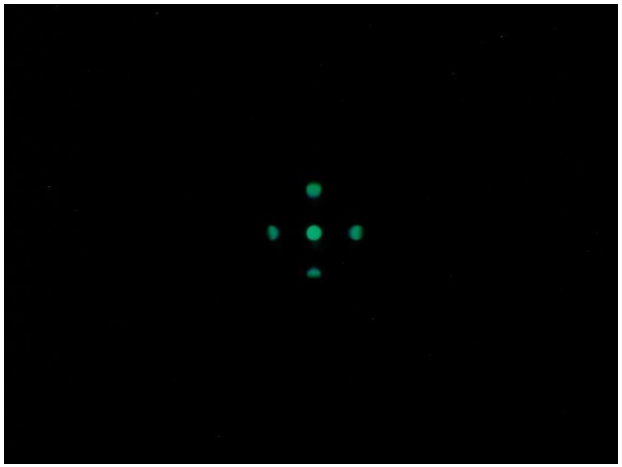


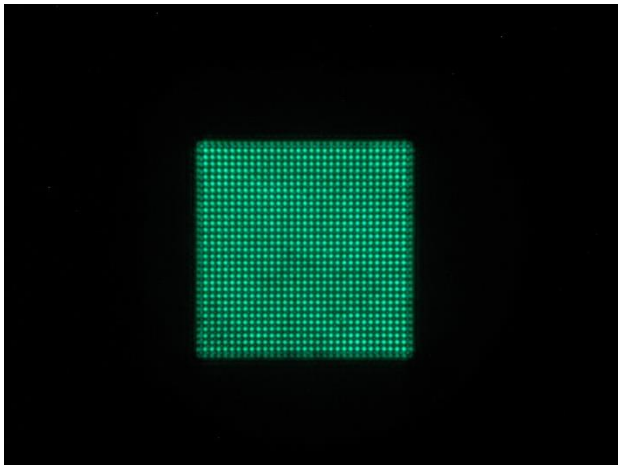


- Hier fällt das Maximum 0 und –I in die Blendenöffnung

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

26. Versuch

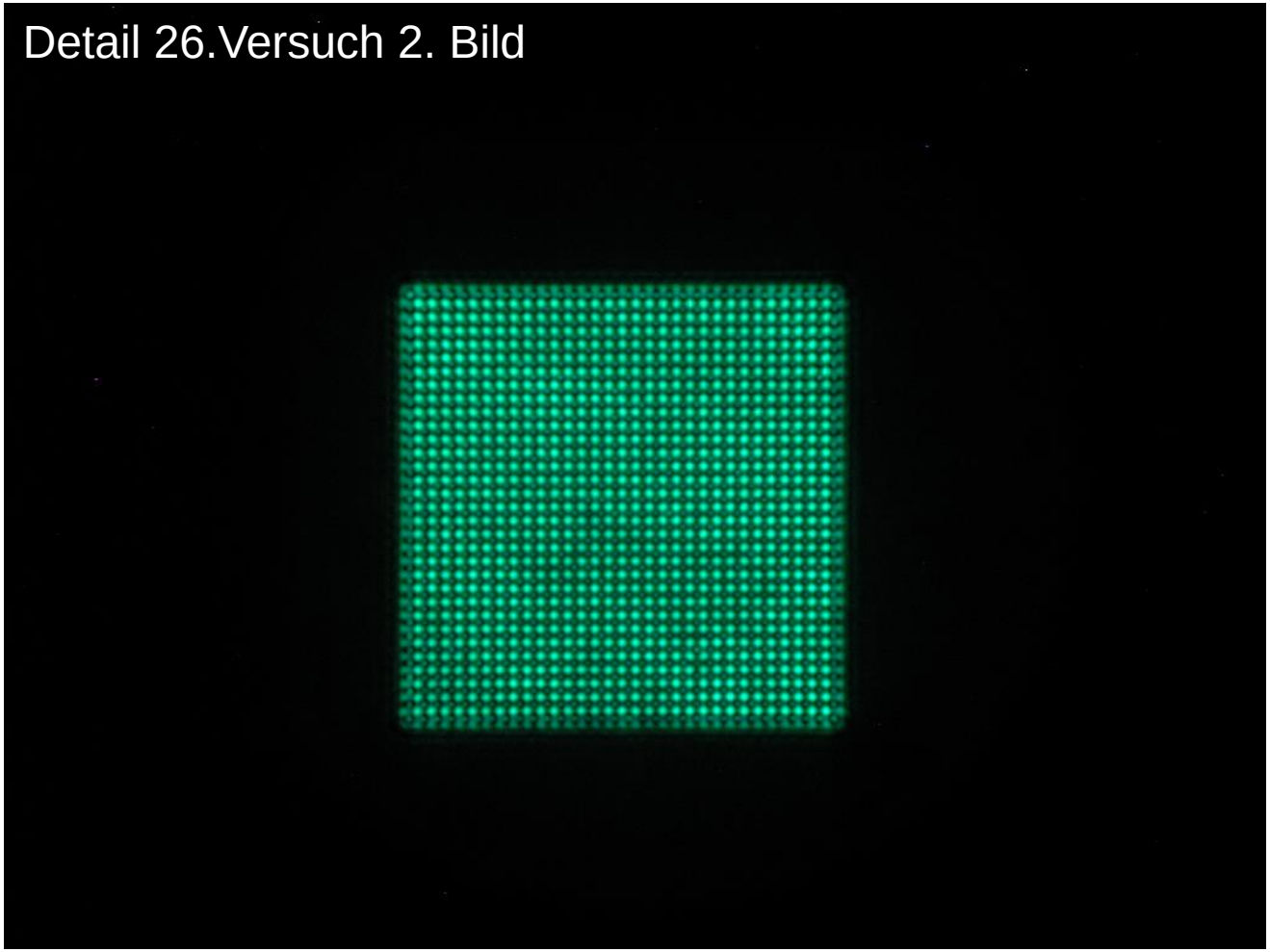




- Eine Blende von 2,2 mm lässt neben dem Maximum 0 die Maxima +/-1 und +/-I (wenigstens teilweise) in die Blendenöffnung fallen

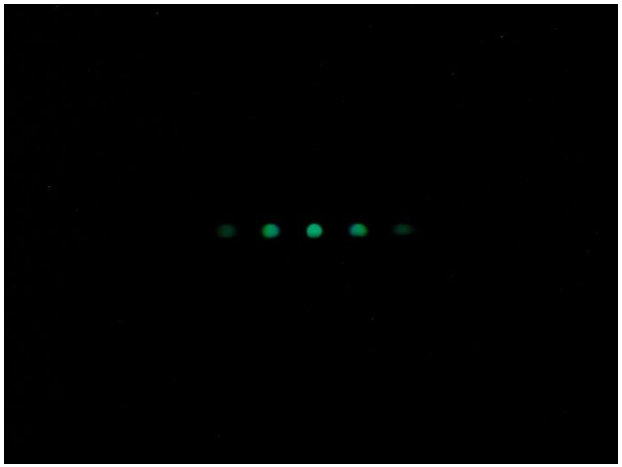
- Das Bild zeigt 2 sich rechtwinklig kreuzende Streifensysteme, aus deren Übereinanderlagerung ein System kleiner heller Flächenstücke ähnlich dem Objektbild entsteht, nur dass die hellen Stellen viel größer sind als die wirklich vorhandenen Löcher

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

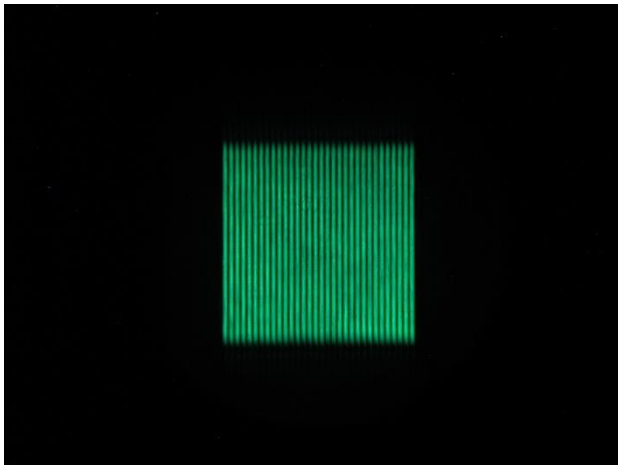


Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

27. Versuch



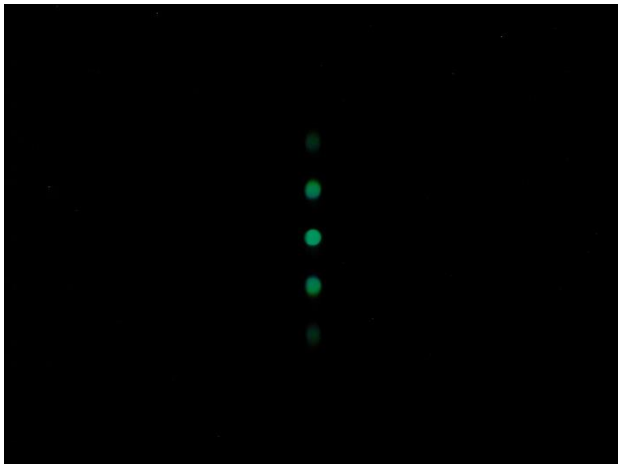
- Eine Spaltblende von 0,5 mm Breite lässt die Maxima -2, -1, 0, +1, +2 in die Blendenöffnung fallen



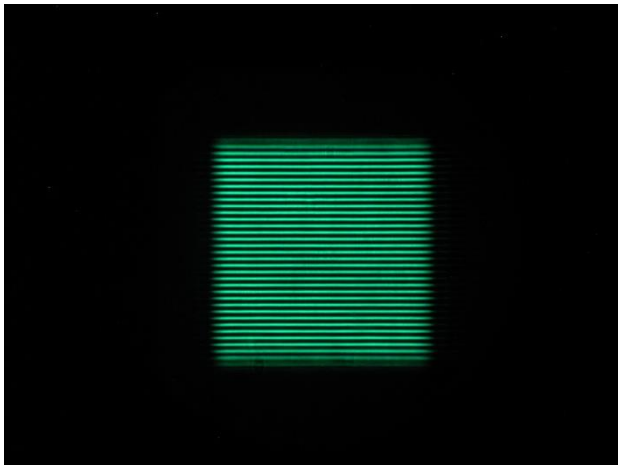
- Das Bild zeigt ein System von senkrecht zur Spaltblende also vertikal verlaufen Streifen. Die hellen Streifen sind erheblich schmaler als die dunklen Zwischenräume zwischen ihnen

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

28. Versuch



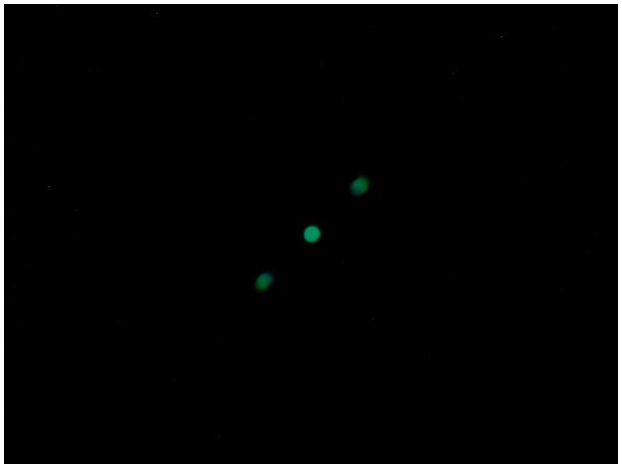
- Hier fallen die Maxima –II, -I, 0, +I, +II in die um 90° gedrehte Spaltöffnung

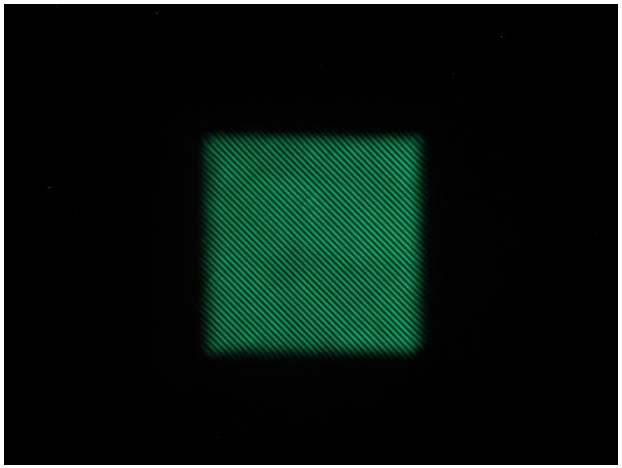


- Das Bild zeigt das gleiche Streifensystem wie beim vorhergehenden Versuch, hier aber von links nach , also ebenfalls senkrecht zur Spaltöffnung verlaufend

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

29. Versuch

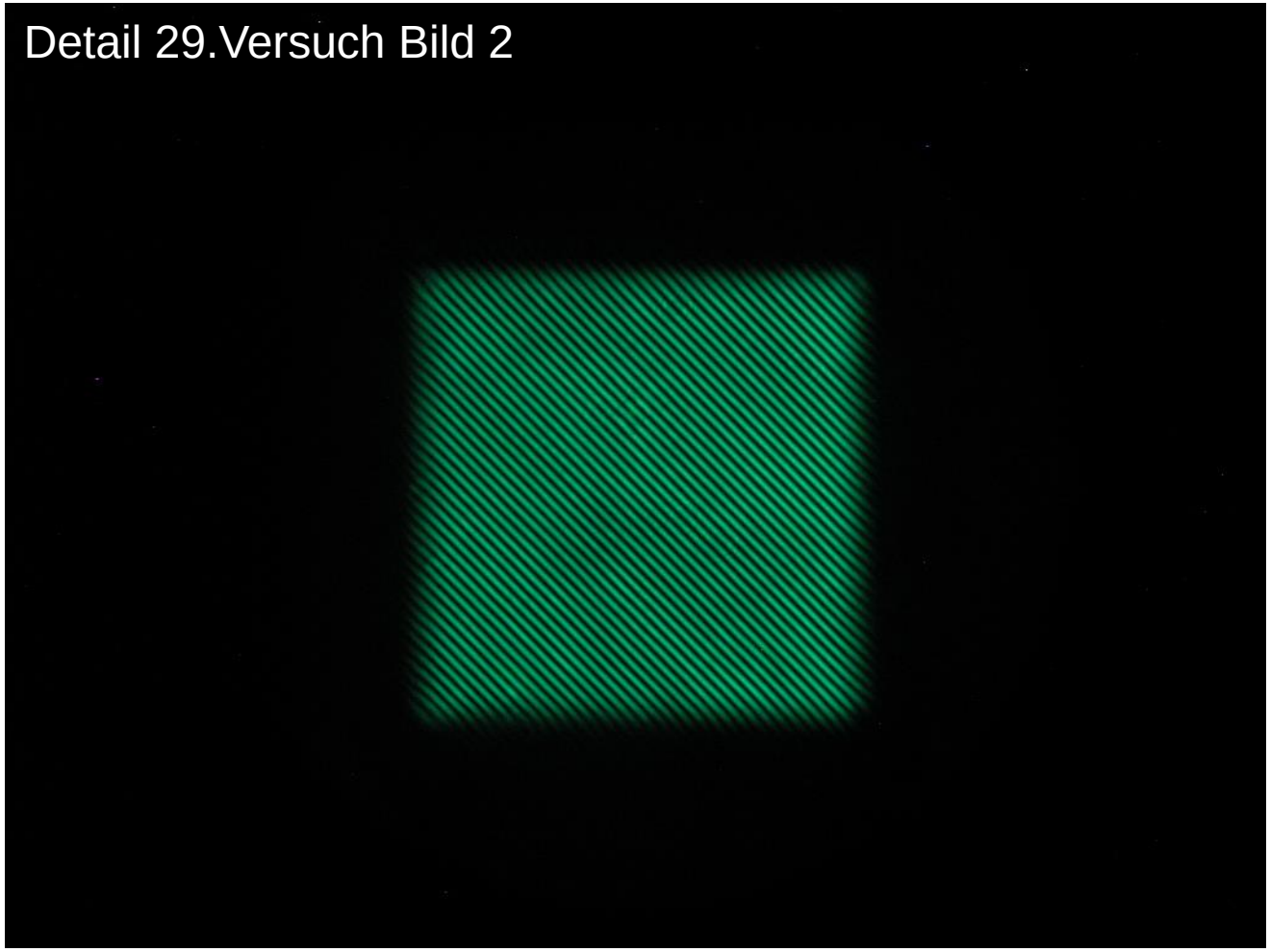




- Versuchsanordnung wie vorher, aber mit der Spaltblende von 0.5 mm Spaltbreite wird die Reihe der Maxima -1/-I, 0, +1/+I isoliert (Reihe b_1)

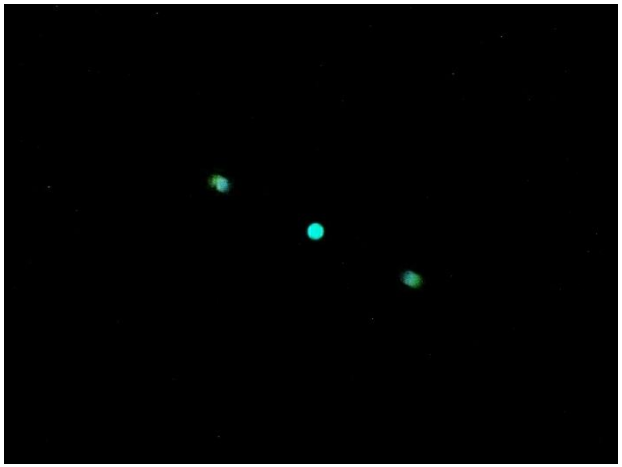
- Im Bild ist wieder ein senkrecht zum Spalt verlaufendes Streifensystem zu beobachten, dessen Streifen einen $1/\sqrt{2}$ kleineren Abstand als im letzten Versuch haben

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

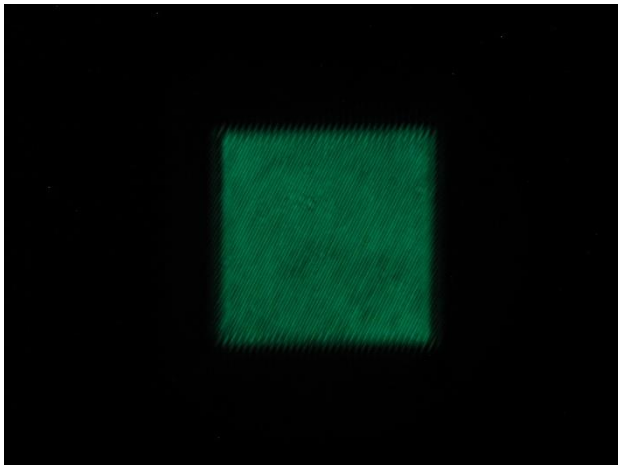


Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

30. Versuch

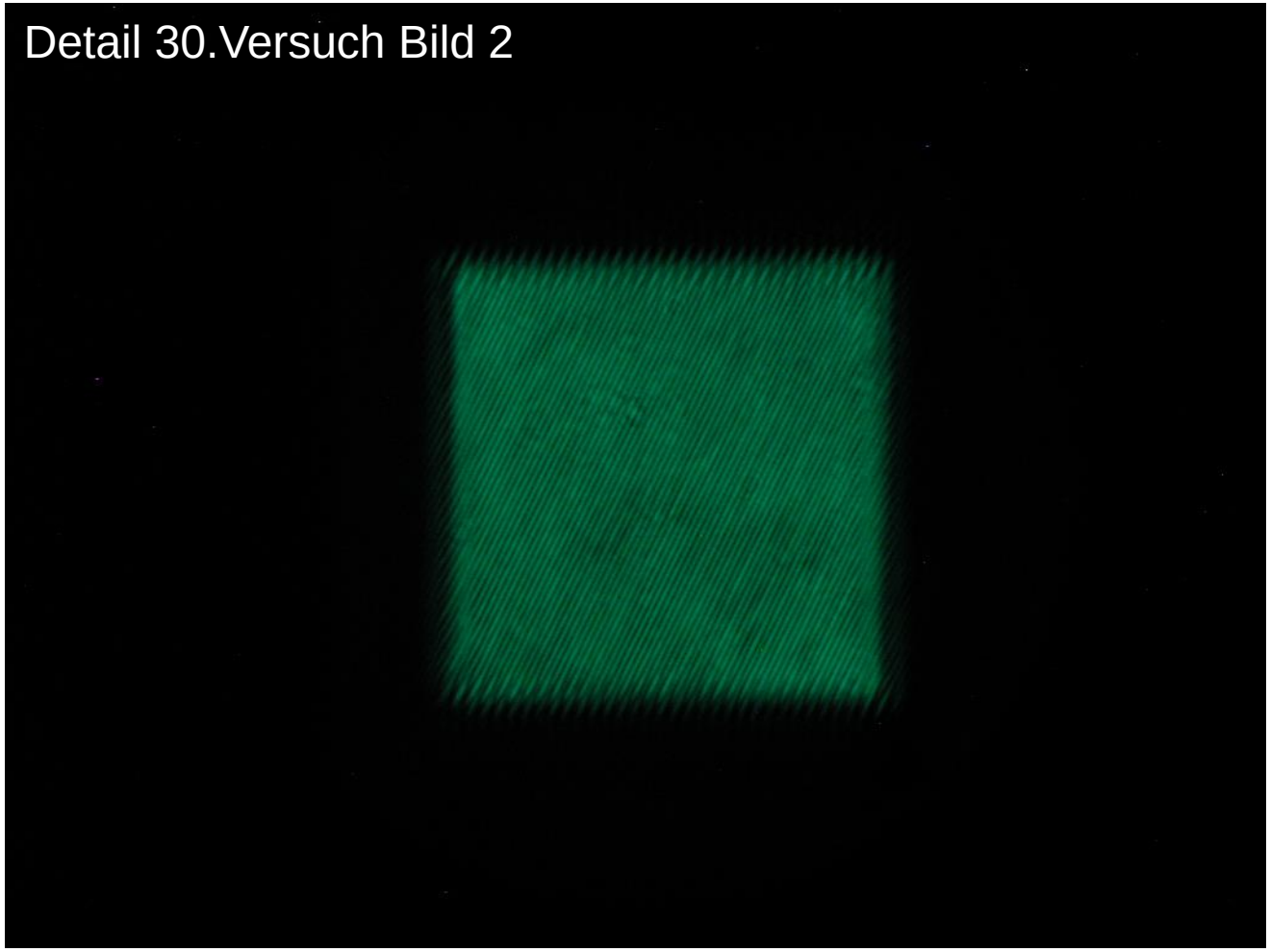


- In gleicher Weise wie bei Versuch 29 werden die Maxima -2/+I, 0,+2/-I isoliert (Reihe c_4)



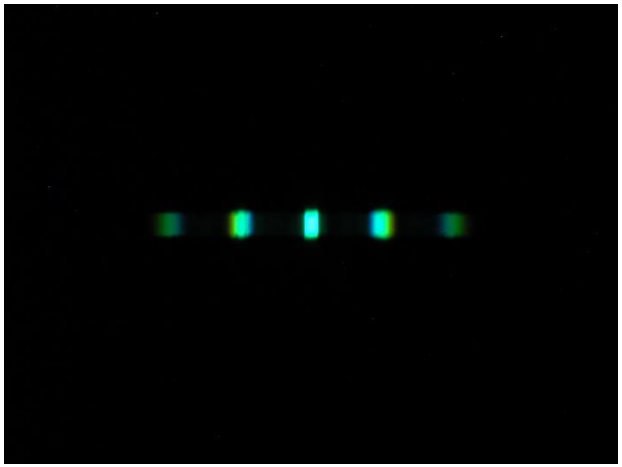
- Das Bild zeigt ein senkrecht zur Spaltrichtung liegendes Streifensystem, bei dem die Streifen um den Faktor 1/ √5 näher zusammen liegen als bei Versuch

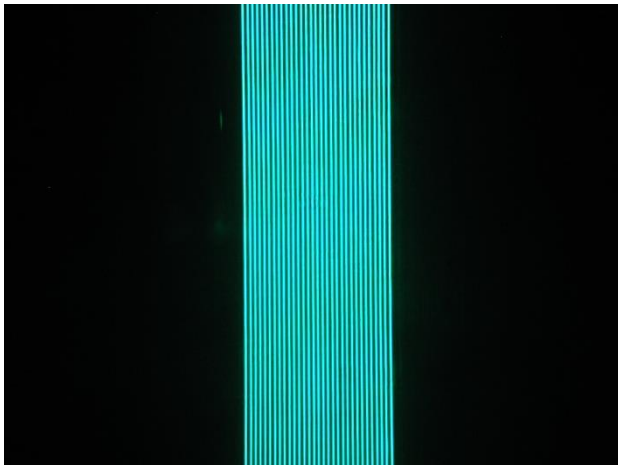
Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe



Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

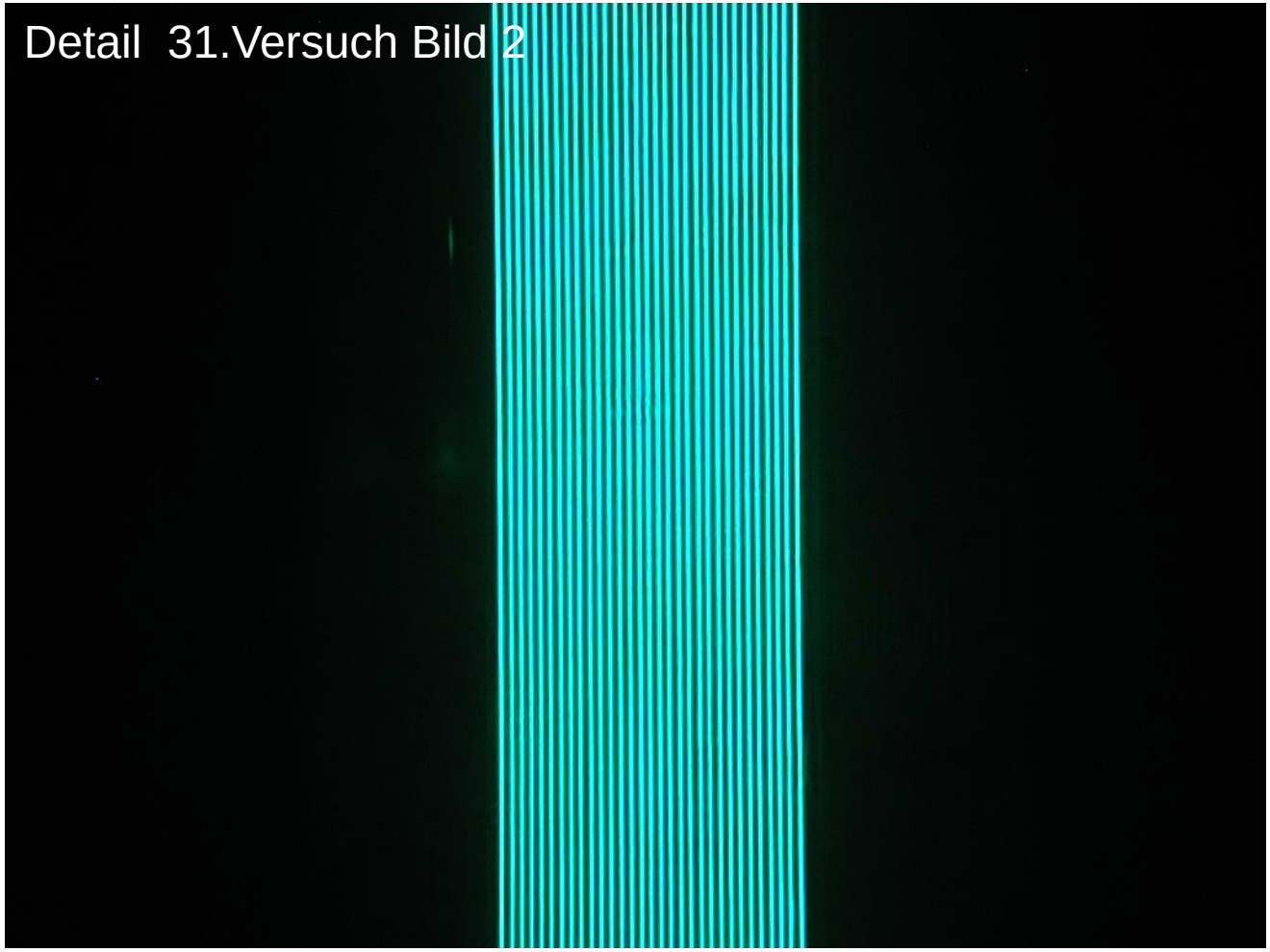
31. Versuch





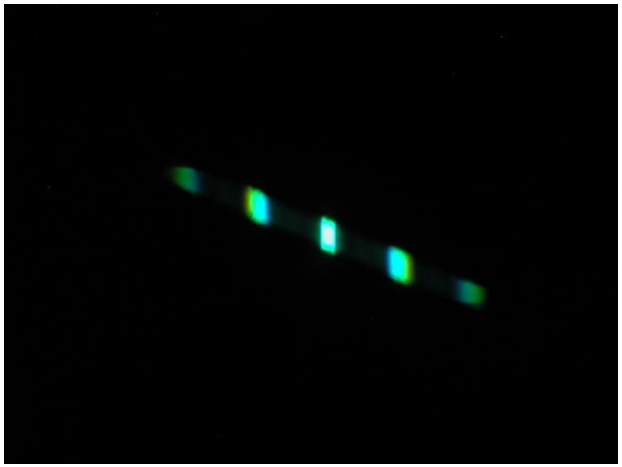
- Statt der runden Lampenblende wird eine ca. 1,5 mm breite spaltförmige Blende benutzt. Objekt ist das Gitter 0,08 mm. Die Spaltblende im Diffraktionstrichter steht senkrecht zur Richtung der ebenfalls spaltförmigen Maxima des Beugungsbildes
- Das Gitter wird aufgelöst

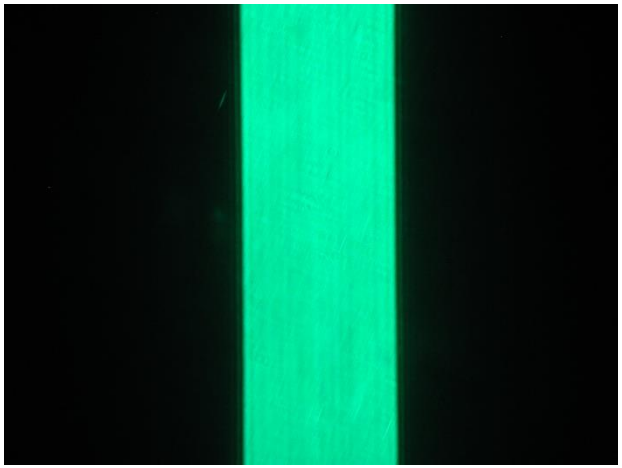
Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe



Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

32. Versuch

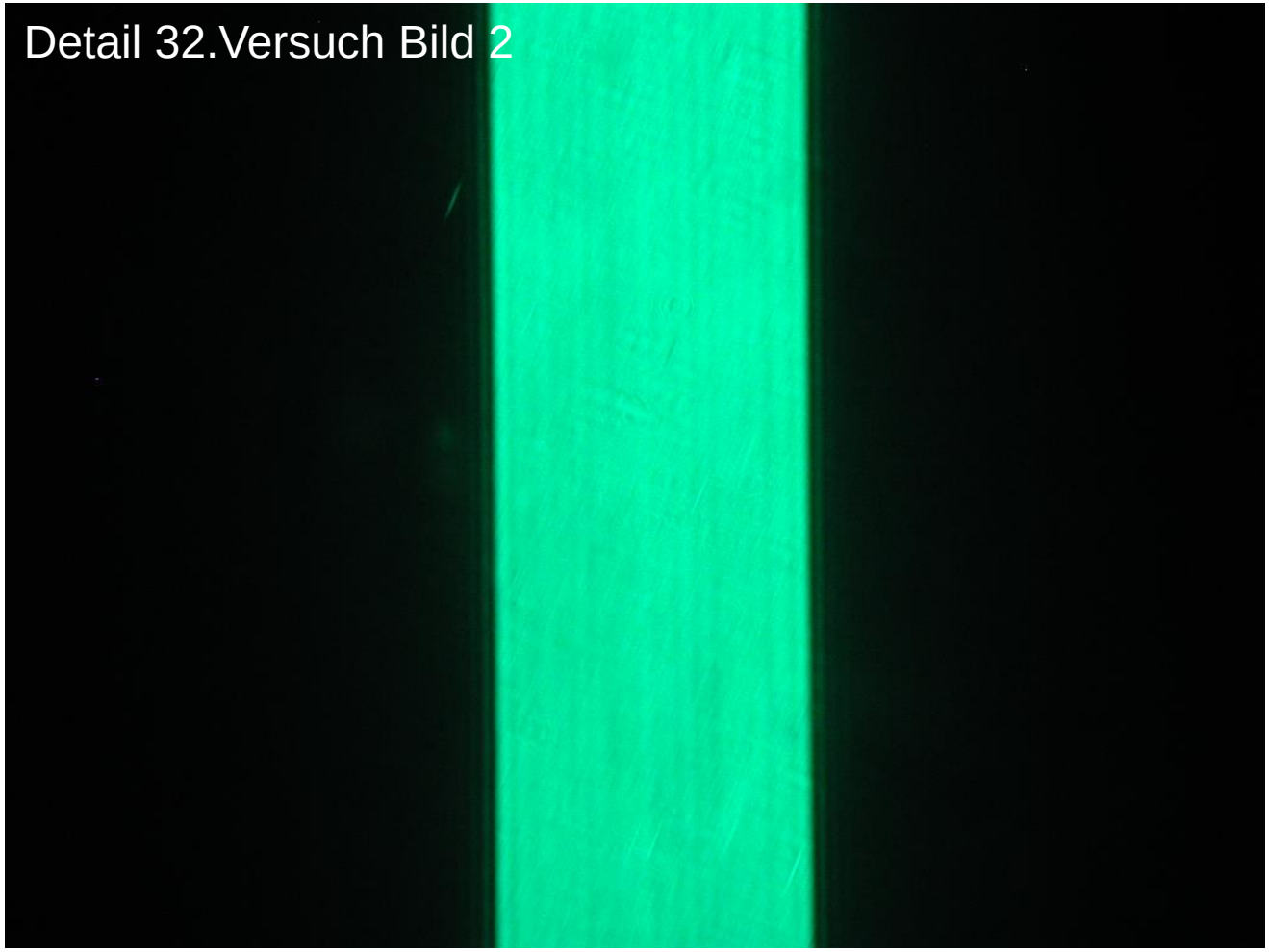




- Drehung der Spaltblende um ca. 45 °

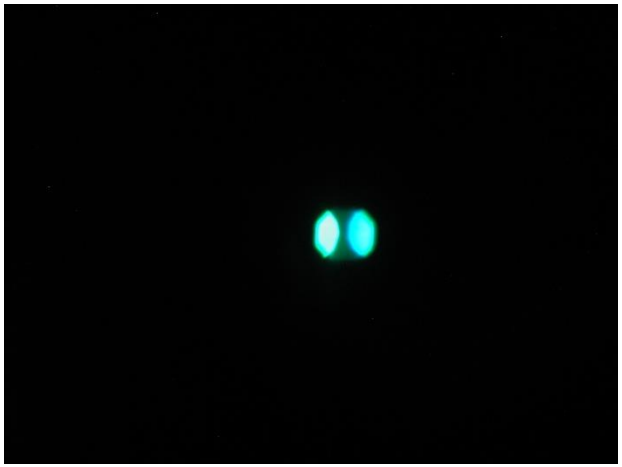
- Entgegen der Erwartung (3 Maxima fallen in die Öffnung der Spaltblende) wird das Gitter nicht mehr aufgelöst, da die zur Wirkung kommenden Teile der verschiedenen Maxima nicht dem gleichen Teil der Lichtquelle angehören. Sie sind nicht kohärent

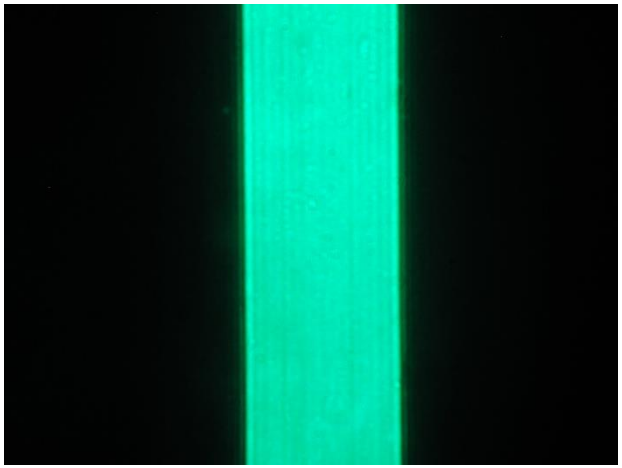
Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe



Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

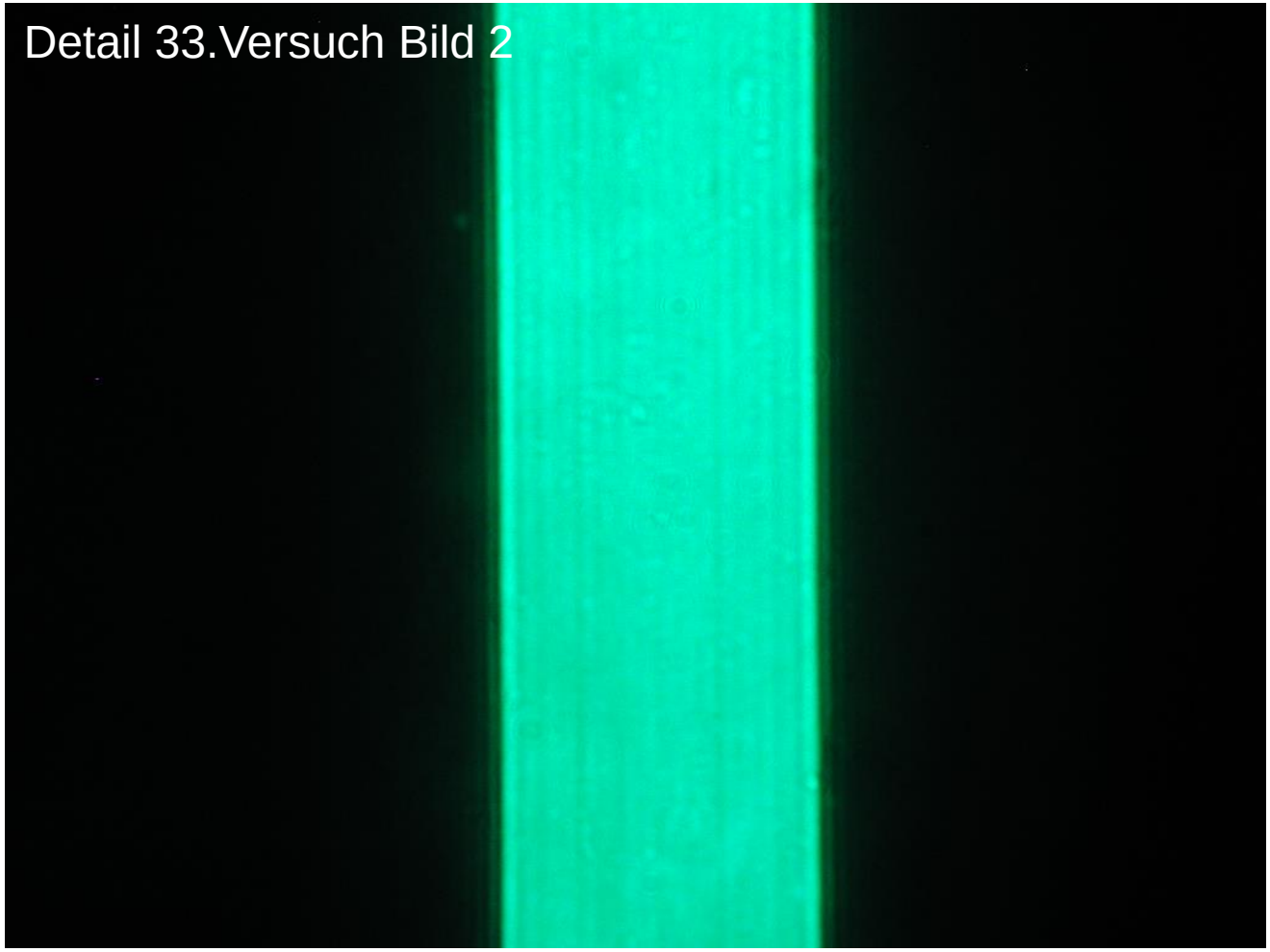
33. Versuch





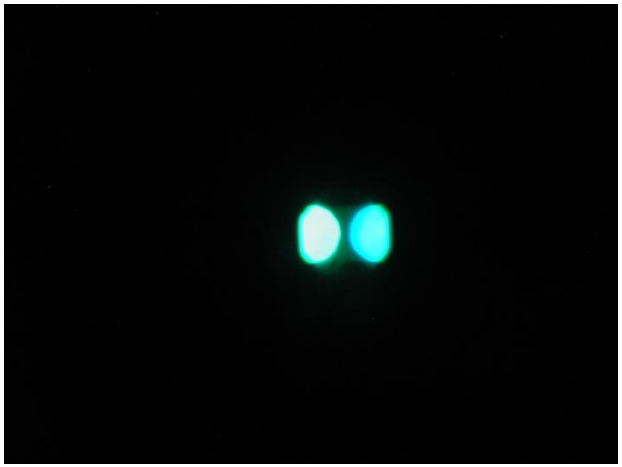
- Die runde Lampenblende wird im Durchmesser so eingestellt, dass die erscheinenden Maxima gerade voneinander getrennt sind. Eine Irisblende im Diffraktionstrichter lässt von 2 benachbarten Maxima Maxima jeweils etwas weniger als die Hälfte in die Blendenöffnung fallen
- Die Struktur des Gitters wird nicht aufgelöst. Es kommen nur inkohärente Teile der beiden Maxima zur Wirkung

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

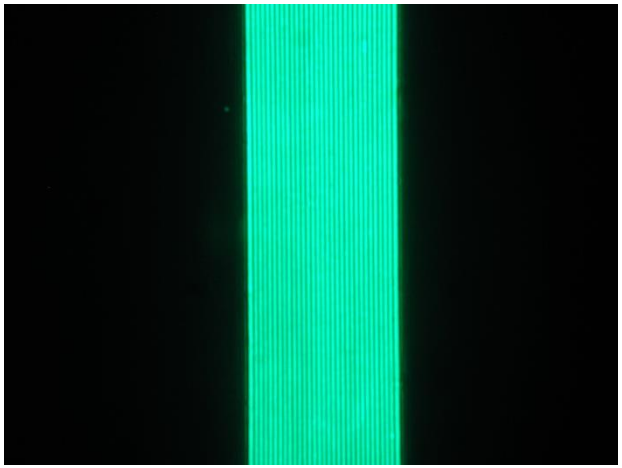


Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

34. Versuch

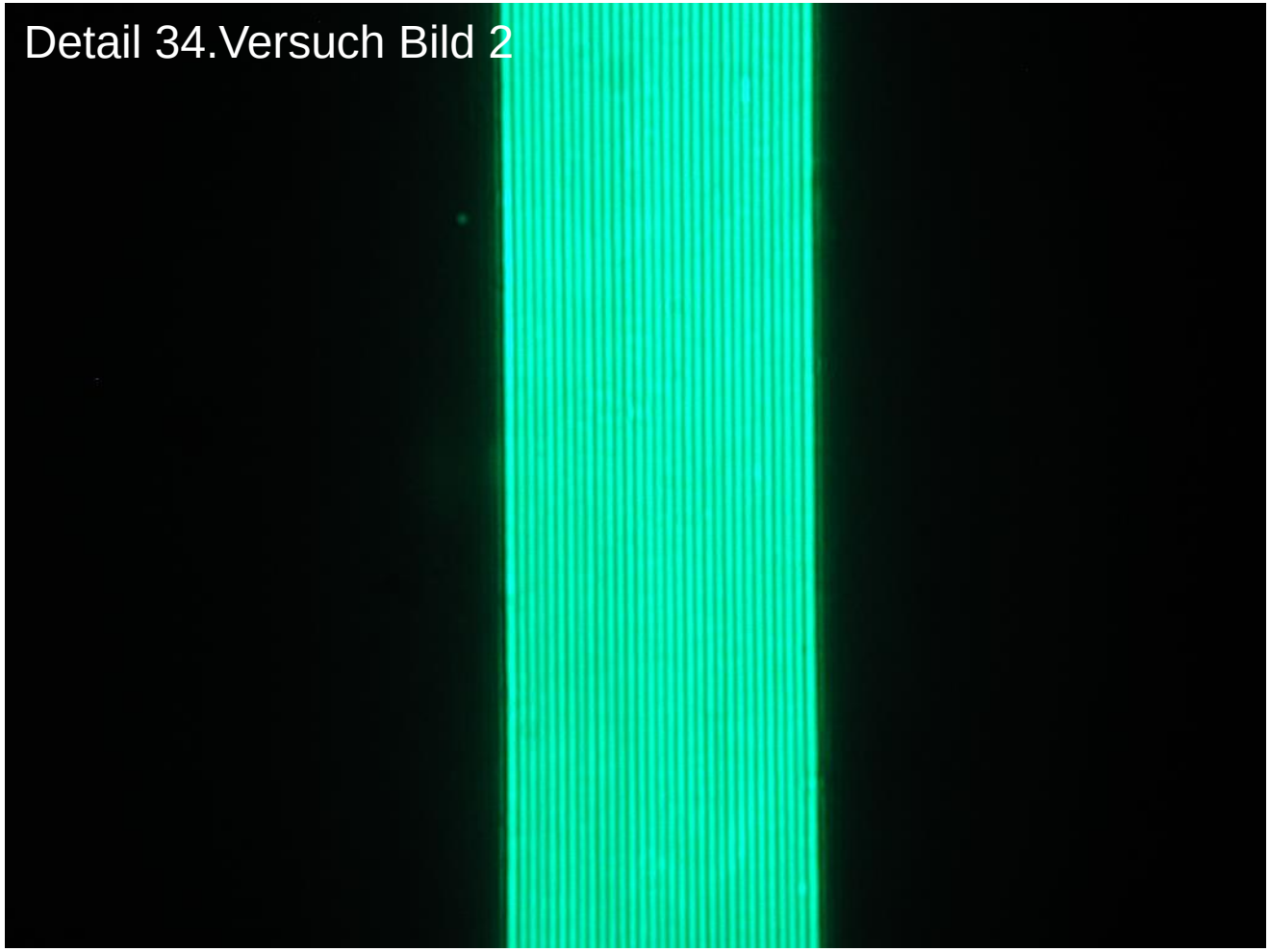


- Die Irisblende wird soweit geöffnet, dass von 2 benachbarten Maxima jeweils etwas mehr als die Hälfte in die Blendenöffnung fällt



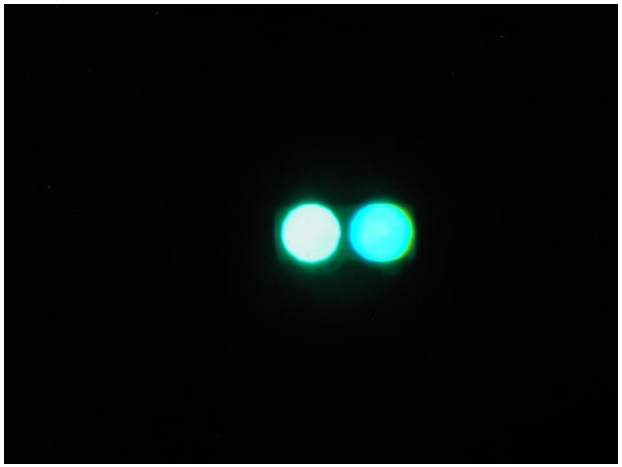
- Die Struktur des Gitters wird eben aufgelöst, das Bild ist aber sehr kontrastarm. Inhaltleere Teilbilder des Objektes erzeugt von inkohärenten Teilen der Maxima überlagern das Strukturbild aus den kohärenten Teilen der Maxima

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

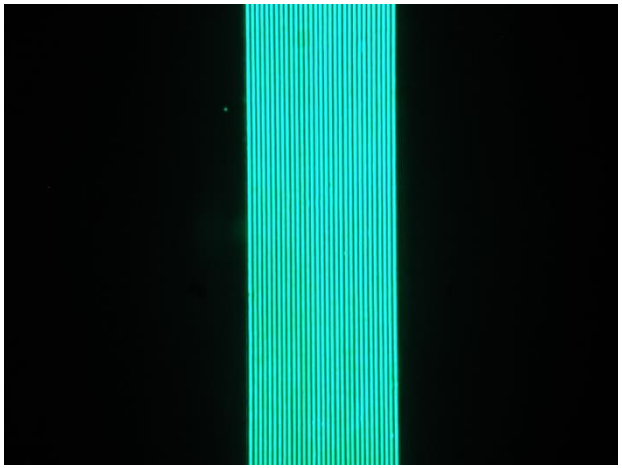


Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

35. Versuch

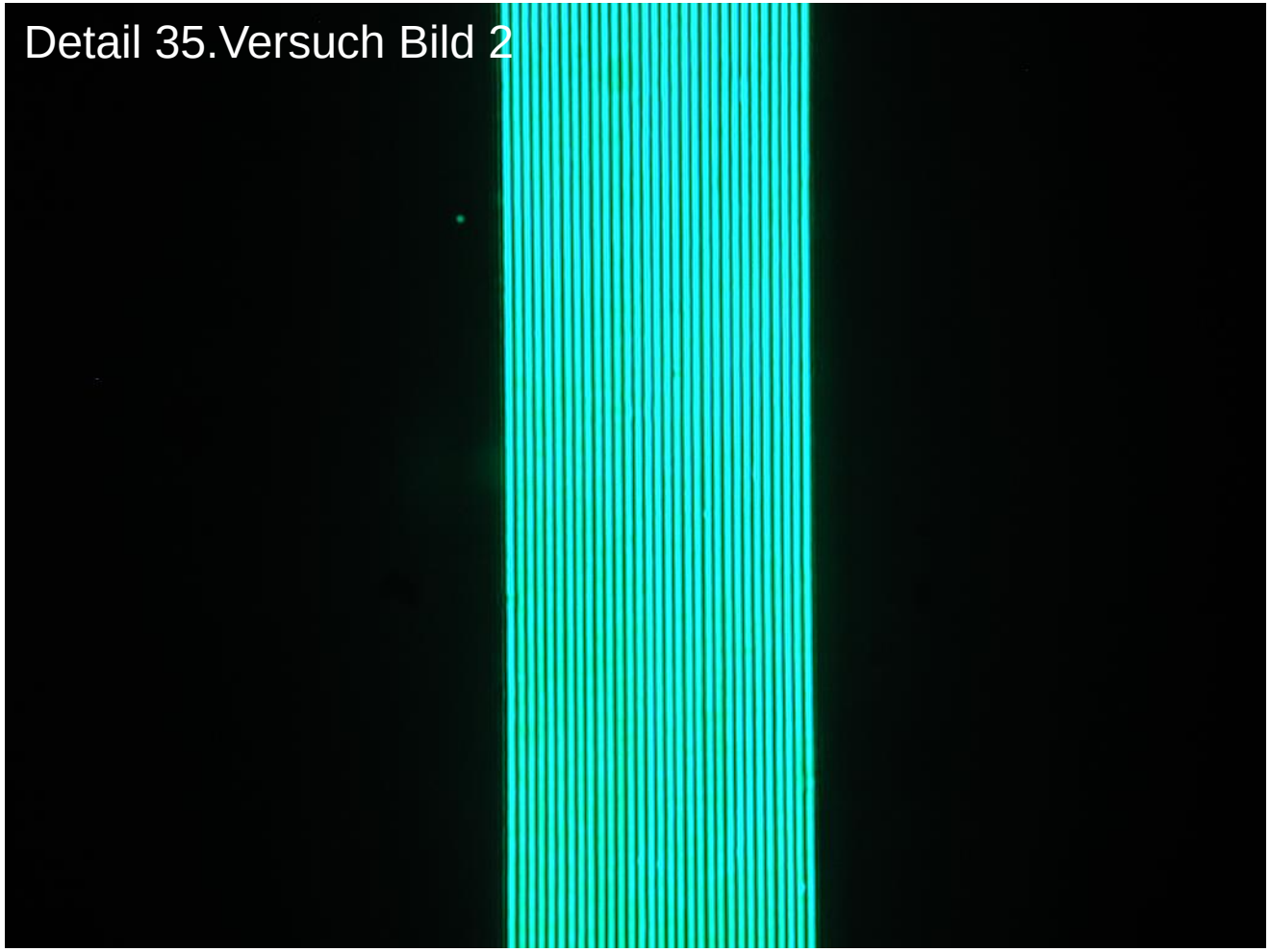


- Die Irisblende wird soweit geöffnet, dass von 2 benachbarten Maxima vollständig in die Blendenöffnung fallen



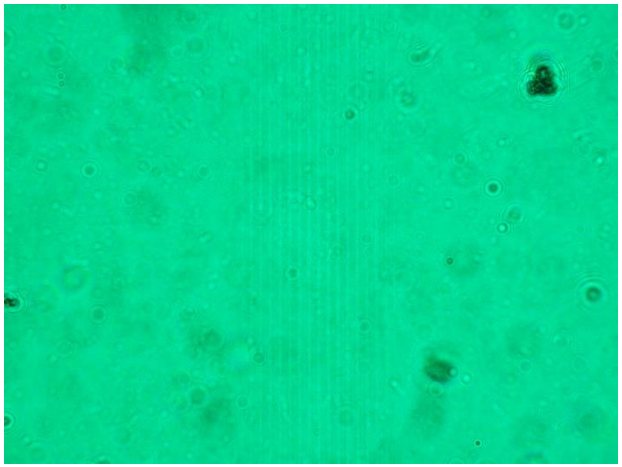
- Die Struktur des Gitters wird ebenfalls gerade aufgelöst, das Bild ist kontrastreich. Es kommen nur die kohärenten Lichtwellen zur Wirkung

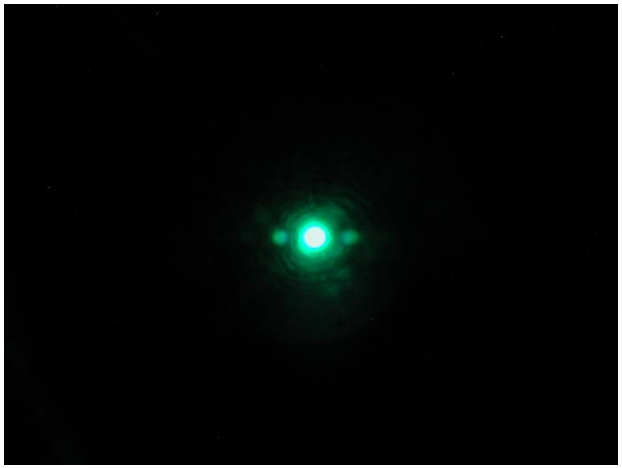
Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe



Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

36. Versuch



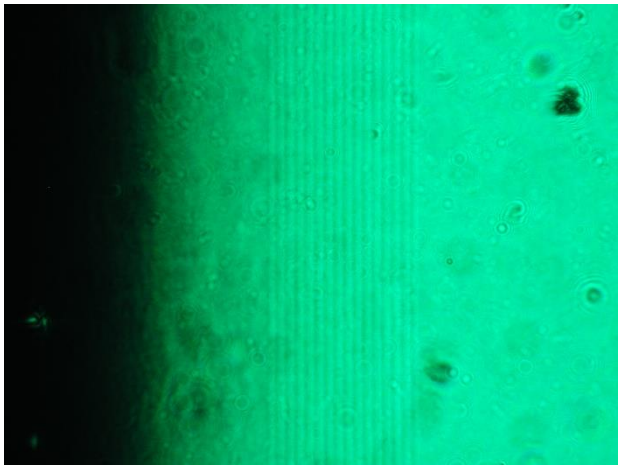


- Erneuter Einsatz des Verzögerungsgitters
- Von der Gitterstruktur ist kaum etwas zu erkennen

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

37. Versuch

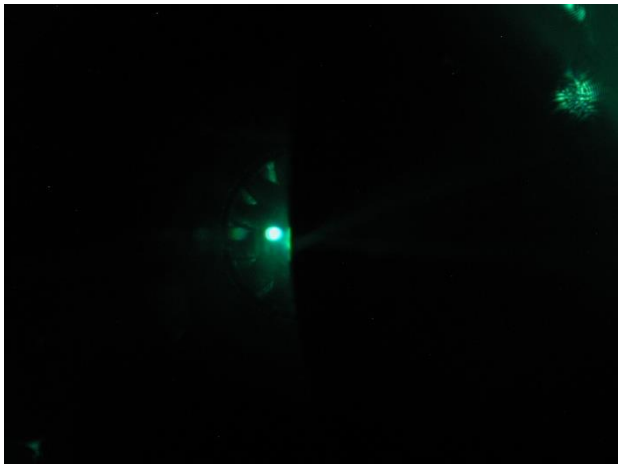
- Mit Hilfe eines Schiebers werden die Maxima einer Seite , aber ohne das nullte Maximum, abgeblendet



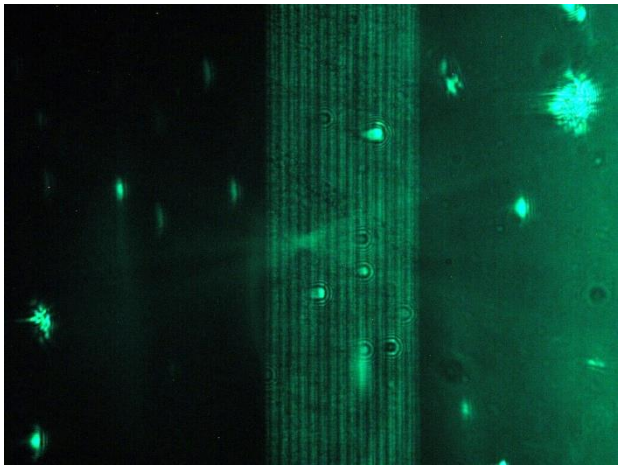
- Die Gitterstriche sind deutlicher zu sehen bei ungleichmäßiger Helligkeitsverteilung. Es entsteht eine schiefe Beleuchtung mit Reliefwirkung

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

38. Versuch



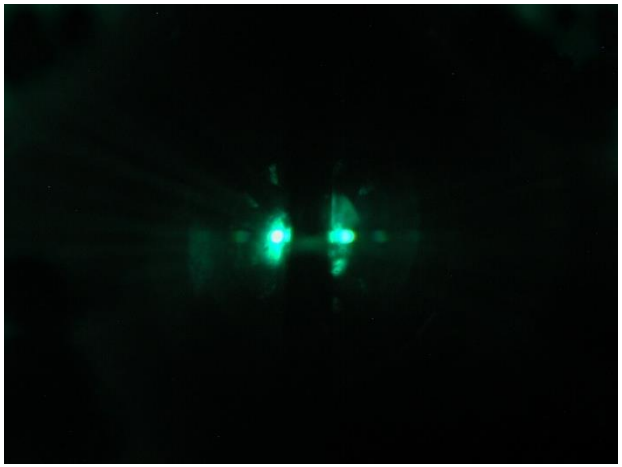
- Mit Hilfe eines Schiebers werden die Maxima einer Seite incl. des nullten Maximums abgeblendet



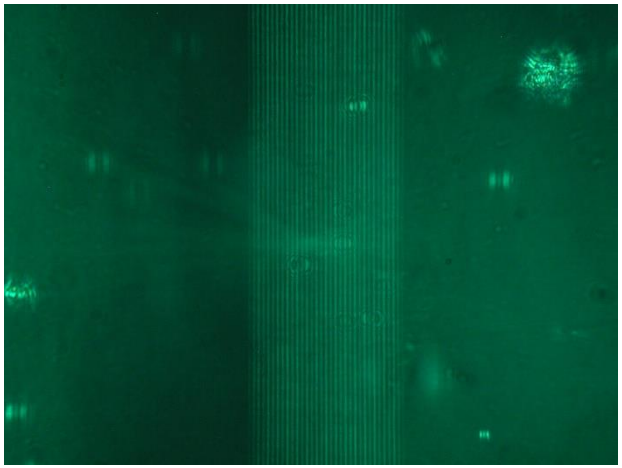
- Die Kanten der Gitterstriche erscheinen hell auf dunklem Grund. Es entsteht eine einseitig schräge Dunkelfeldbeleuchtung

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

39. Versuch



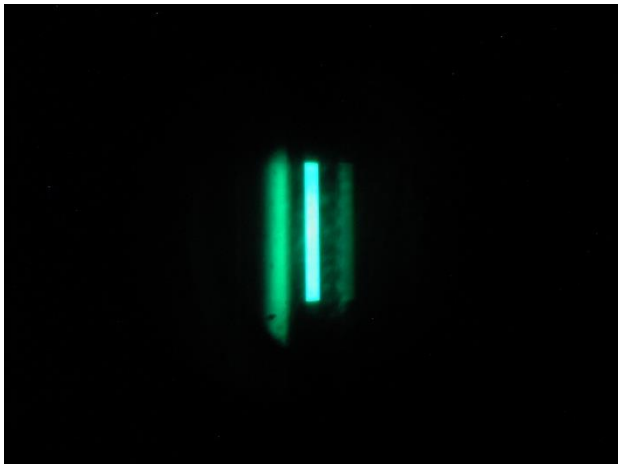
- Mit einer Stegblende wird jetzt allein das Maximum 0 herausgeblendet

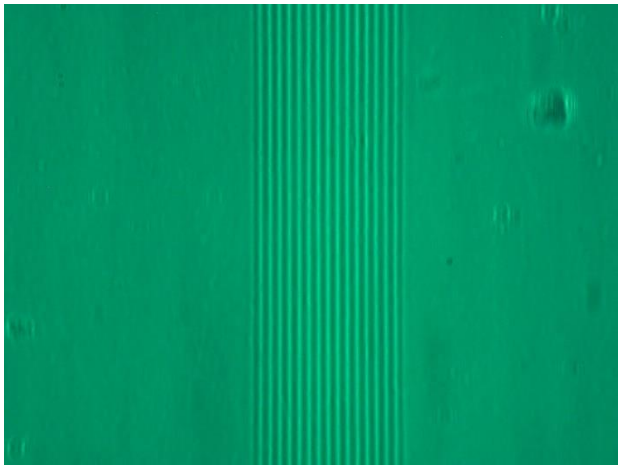


- Es erscheint ein reines Dunkelfeld

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

40. Versuch



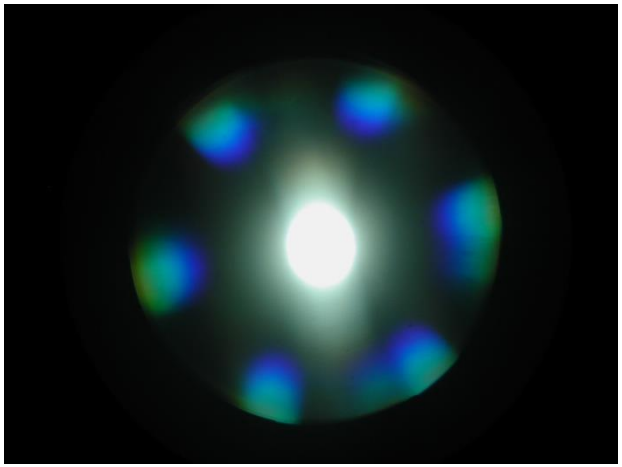


- Die Lampenspaltblende wird so eingesetzt, dass die Beugungsmaxima parallel zu den Gitterstrichen verlaufen. Eine streifenförmige Phasenplatte im Diffraktionstrichter ist ebenfalls parallel zu den Gitterstrichen orientiert

- Die Gitterstriche als Verzögerungsobjekt erscheinen, da sie eine größere optische Weglänge haben dunkel auf hellem Untergrund (positiver Phasenkontrast), allerdings azimutabhängig, da keine ringförmige Phasenplatte

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

41. Versuch



- Im Nachfolgenden einige Versuche am natürlichen Objekt Pleurosigma angulatum in Luft mit einem Apochromaten 40/1,0 Öl mit Iris und dem ABBEschen Kondensor n.A. 1,4 (trocken verwendet)

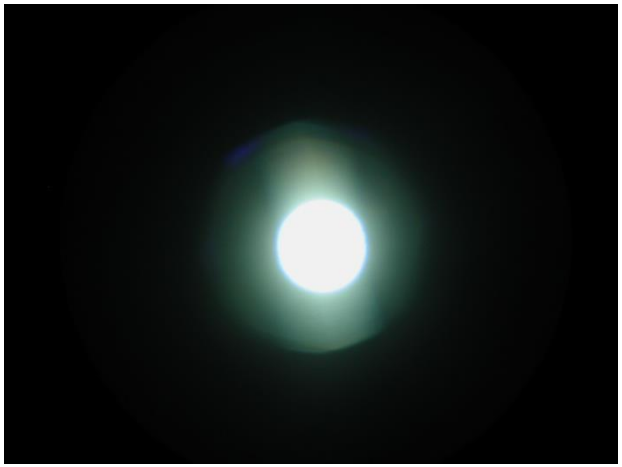
  Die Kondensorblende ist so weit geschlossen, dass das Maximum Null gut von den benachbarten Maxima getrennt ist

- Das Bild zeigt die bekannte wabenartige „Pleurosigmastruktur“

Versuche mit dem Diffraktionsapparat
zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

42. Versuch



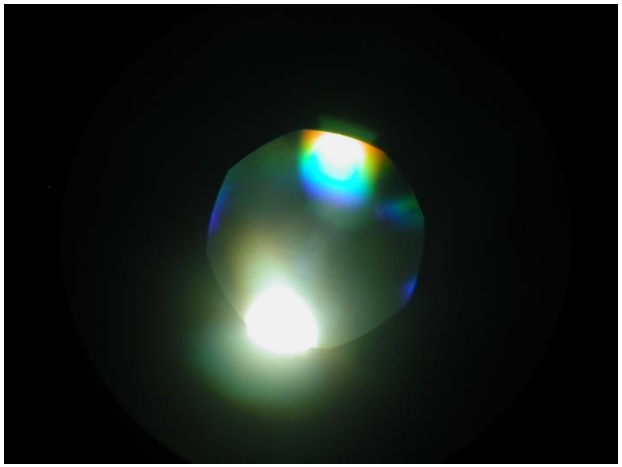
- Die Irisblende des Objektivs wird so weit geschlossen, dass die seitlichen Maxima nicht mehr in der Blendenöffnung liegen

- Das Bild zeigt keine Schalenstruktur

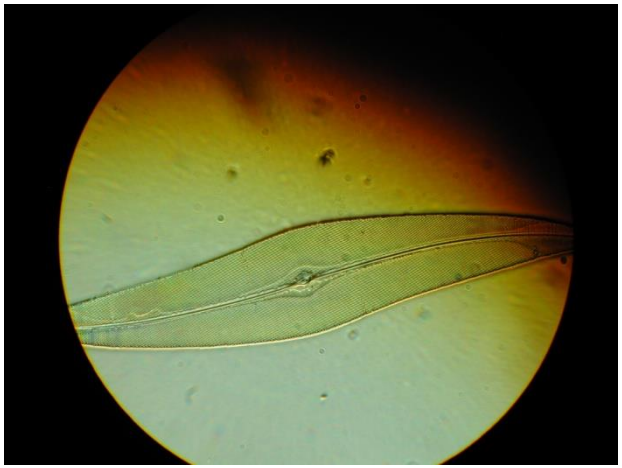
Versuche mit dem Diffraktionsapparat
zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

43. Versuch



- Die Kondensorblende wird so verschoben, dass neben dem Maximum Null noch eines der sechs 1. Maxima in der Objektivöffnung erscheint

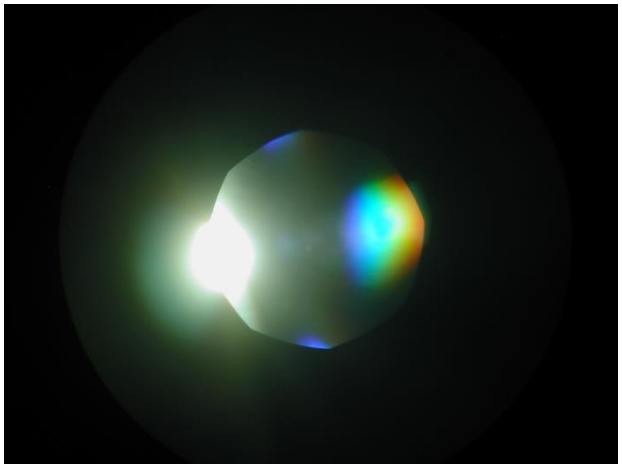


- Das Bild zeigt eine Parallelstreifung. Die Streifen verlaufen senkrecht zur Verbindungslinie der beiden wirksamen Maxima

Versuche mit dem Diffraktionsapparat
zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

44. Versuch



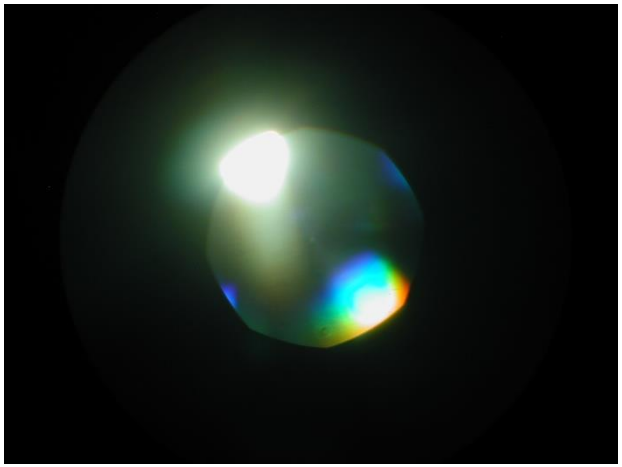
- Ein anderes 1. Maximum wird mit dem Maximum Null in der Objektivöffnung abgebildet

- Das Bild zeigt eine Parallelstreifung. Die Streifen verlaufen senkrecht zur Verbindungslinie der beiden wirksamen Maxima

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

45. Versuch



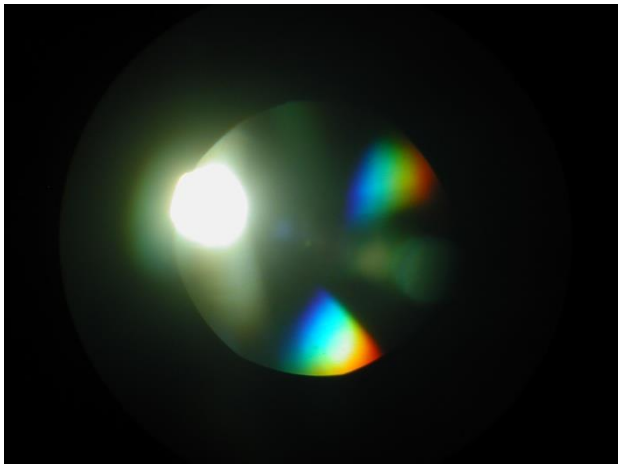
- Noch ein anderes 1. Maximum wird mit dem Maximum Null in der Objektivöffnung abgebildet

- Das Bild zeigt eine Parallelstreifung. Die Streifen verlaufen senkrecht zur Verbindungslinie der beiden wirksamen Maxima

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

45. Versuch



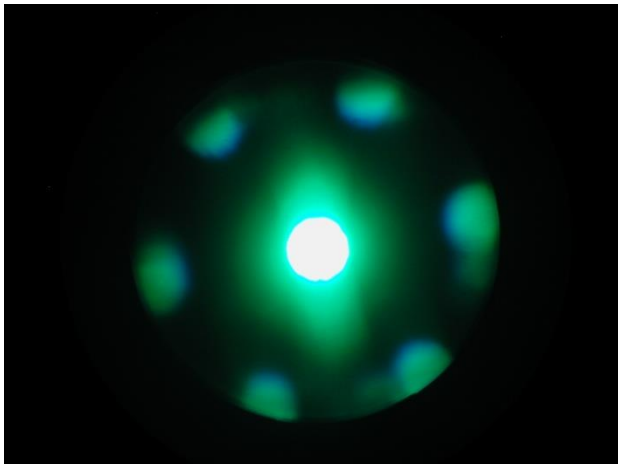
- Es erscheinen gerade 3 Maxima in der Objektivöffnung

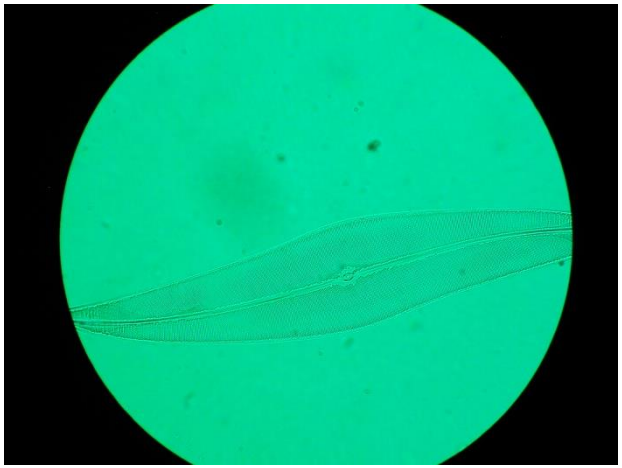
- Die Schale ist wie beim Versuch 41 aufgelöst. Das Bild ist allerdings etwas verwaschener

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

46. Versuch





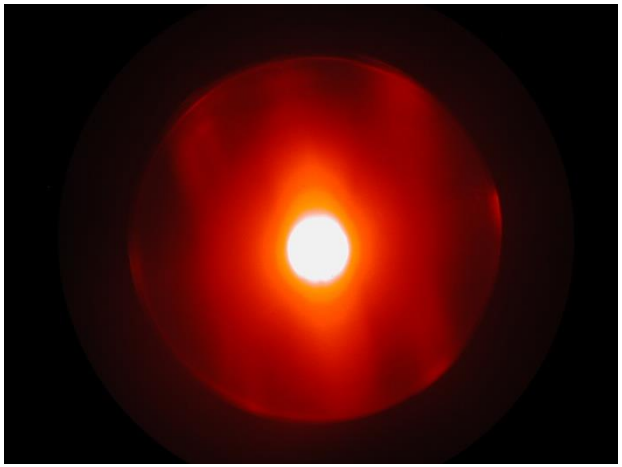
- Versuch 41 mit Einsatz eines strengen Grünfilters. Die ersten seitlichen Maxima fallen in die Objektivöffnung

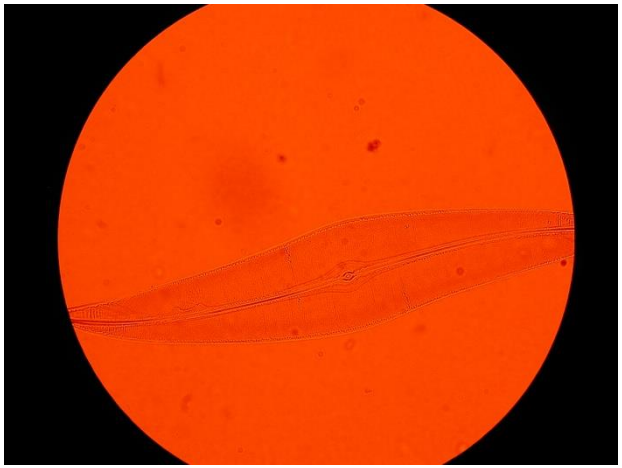
- Die Schalenstruktur ist wie zu erwarten aufgelöst. Allerdings ist das Bild einfarbig grün

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

47. Versuch

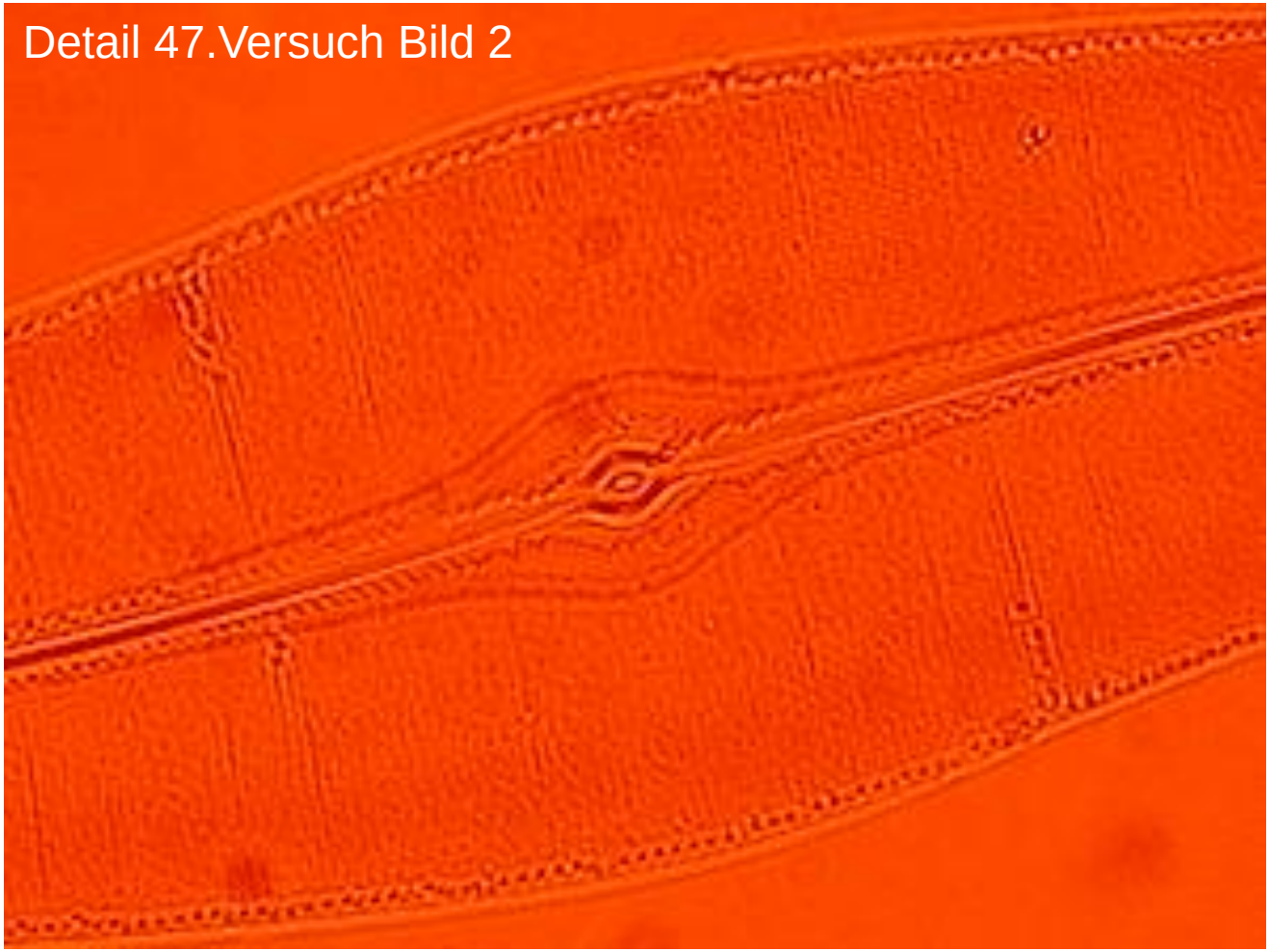




- Bei Einsatz eines dunklen Rotfilters fallen die ersten seitlichen Maxima nicht mehr in die Objektivöffnung

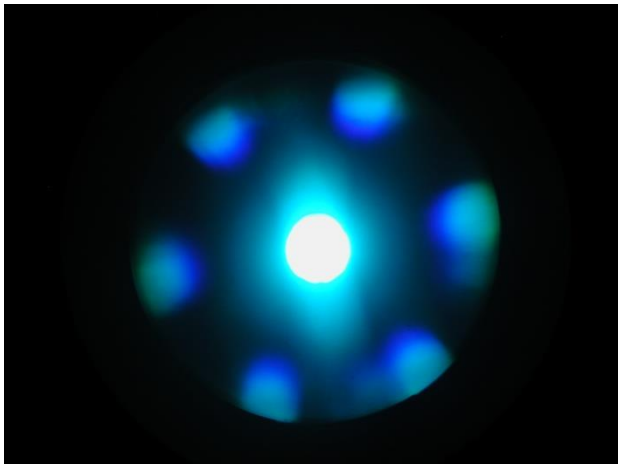
- Das Bild zeigt keine Struktur mehr

Versuche mit dem Diffraktionsapparat
zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe



Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

48. Versuch



- Zur Beobachtung wird jetzt ein Blaufilter eingesetzt. Die sechs ersten Maxima fallen fast vollständig in die Objektivöffnung

- Das Bild ist gegenüber Versuch 41 noch objektähnlicher geworden

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Versuche mit dem Diffraktionsapparat zur Theorie der mikroskopischen Bildentstehung nach Prof. Ernst Abbe

Was haben wir kennengelernt?

- Durch die Beugung des Lampenbildes durch das Objekt entstehen Beugungsmaxima, die die Bildinformationen enthalten.
- Objektstrukturen werden dann aufgelöst, wenn neben dem Primärstrahl mindestens ein Beugungsmaximum oder mindestens 2 Beugungsmaxima allein von der Optik erfasst werden.
- Eingriffe in die hintere Brennebene des Objektivs beeinflussen das Objektbild und lassen es objektunähnlicher werden.
- Einfluss der Wellenlänge des beleuchtenden Lichtes.
- Einfluss der Apertur des zur Betrachtung eingesetzten Objektivs.

Das Verständnis für die Zusammenhänge der Bildentstehung im Mikroskop hat sich noch weiter vertieft.

- Danke für die Aufmerksamkeit !