



Anleitung A

Wir dringen mit blossen Augen und Lupen in den Mikrokosmos vor

Vergleiche das, was du mit dem Auge siehst, mit dem, was Lupen hergeben.

Vorgehen:

- Nimm dir eine Vogelfeder aus der Schachtel und betrachte sie mit blossem Auge. Welche Details ihres Aufbaus fallen dir auf? Versuche, davon eine handgrosse Skizze zu erstellen.
- Nimm nun die Lupe und betrachte die Vogelfeder damit. Welche Details werden damit zusätzlich sichtbar? Kannst du deine Skizze von vorher ergänzen?

Um noch mehr Details sehen zu können, brauchst du ein Binokular oder ein Mikroskop. Dann kannst du mit der Anleitung B weiterarbeiten.

Anleitung B

Wir dringen mit einem Mikroskop in den Mikrokosmos vor

Mit immer stärkeren Mikroskopen betrachteten die Menschen bereits vor mehreren Hundert Jahren die Dinge um sich herum. Wer das Mikroskop letztlich erfunden hat, ist nicht so klar. Sicher gab es einen Antonie van Leeuwenhoek, der mit selbst geschliffenen Linsen ähnliche Dinge beobachtete wie du gerade vorhin. Genaueres erfährst du auf dem Infoblatt D.

Vergleiche das, was du mit dem Auge siehst, mit dem, was Mikroskope hergeben.

Vorgehen:

- Lege eine Vogelfeder unter die Optik eines Mikroskops. Betrachte mit einer Vergrösserung von rund 40 Mal. Welche Details werden damit sichtbar? Staune und sieh dich satt.
- Wenn du magst, kannst du eine Skizze erstellen oder die von einem vorherigen Posten ergänzen. Oder fotografiere durch das Okular.
- Was erkennst du mit dem Mikroskop, was dir dein Auge nicht zu zeigen vermag?

Lerne nun, wie du mit dem iPad gelungene Aufnahmen machen kannst. Du sollst dein eigenes iPad-Mikroskop bauen. Dazu brauchst du die Anleitung C.



Anleitung C

Wir dringen mit dem iPad-Mikroskop in den Mikrokosmos vor

Mit dem iPad fotografieren

Mit dem iPad oder Smartphone zu fotografieren, ist einfach und sehr beliebt. Auf vielen Geräten hat es denn auch Hunderte, wenn nicht Tausende von Aufnahmen. Technik und eine leistungsfähige Software übernehmen fast alle Einstellungen – du brauchst nur abzudrücken. Klick und die Aufnahme ist im Kasten.

Die Kamera- und die Verarbeitungssoftware leisten in den allermeisten Alltagssituationen gute Arbeit. Bei schwachem Licht, schnell bewegten oder sehr kleinen Objekten kann es sich lohnen, die Aufnahmeeinstellungen selber vorzunehmen. Wie du eine möglichst gute Aufnahme bekommen kannst, lernst du in diesem Abschnitt kennen. Welche Parameter kannst du selber einstellen und wo in den Kameraeinstellungen findet sich dies?

Gute Aufnahmen mit deinem iPad

Zuerst lernen wir die technischen Daten kennen. Du findest sie auf der Herstellerseite des iPads.

- Welche Bezeichnung hat dein iPad?
- Welche Auslösung ermöglicht die verbaute (Rück)Kamera?

Die Schärfe und die Belichtung werden durch die Aufnahmedauer, der sog. Verschlusszeit (t) und durch die Blendenöffnung (f) gesteuert. Das iPad steuert diese Grössen in der Regel selber. Wie du in diese Einstellungen eingreifen kannst, findest du auf den Supportseiten von Apple unter dem Stichwort «Fokus und Belichtung anpassen»¹.



Mit welchen Verschlusszeiten und Blendenöffnungen du eine bestimmte Aufnahme gemacht hast, findest du unter den Bildinformationen (Symbol ⓘ). Je nach Einstellung zeigen dir die sogenannten EXIF-Daten unterschiedliche Informationen: Verschlusszeit, Blendenöffnung, welche Kamera (wenn Smartphones mehrere Kameras aufweisen), Aufnahmedatum und Ort, ...

Im Beispiel rechts wurde die Aufnahme mit einem iPhone mit einer Blendenöffnung f 1.6 und einer Verschlusszeit von 1/419 s gemacht. Weitere Angaben beziehen sich u.a. auf das verwendete Objektiv, die Bildgrösse und den benötigten Speicherplatz.



Was sind gute Aufnahmen?

Diese Frage muss in Bezug auf das gewünschte Resultat beantwortet werden. Hier wollen wir möglichst durchgehend scharfe und gut belichtete Aufnahmen.

Unser Testobjekt ist Millimeterpapier².

Testaufnahme

Fotografiere das ganze A4-Papier oder Ausschnitte davon bei guter Beleuchtung. Halte dein iPad absolut ruhig und parallel zum Papier. Achte darauf, dass du oder das Gerät keinen Schatten wirft, und dass keine Reflexionen stören. Wiederhole eine Aufnahme, wenn sie nicht gelingt. Analysiere die gemachte Aufnahme(n).

- Ist (sind) sie überall gleich hell oder sind die Ränder/Ecken dunkler?
- Sind die Linien überall scharf abgebildet oder sind sie nur im Zentrum scharf?
- Sind die Linien auf der Aufnahme parallel bzw. rechtwinklig?

Eine gute Hilfe kann die sogenannte «AE/AF-Sperre» sein. Wie du die aktivierst, findest du auf den Supportseiten von Apple (siehe Link auf der vorherigen Seite).

Eine gute Aufnahme ist gleichmässig hell, die Linien sind überall scharf und parallel bzw. rechtwinklig.

Nun wird es ernst – Aufnahmen von deinem Gegenstand

Du wirst nun drei Aufnahmen vom gleichen Gegenstand erstellen. Folge dieser Anleitung genau. Du hast vorher als Übung ein flaches Papier fotografiert. Wenn du nun eine reale Situation fotografieren willst, werden Teile der Gegenstände näher als andere sein – du machst Aufnahmen mit unterschiedlichen Tiefen. Achte dich darum besonders darauf, ob die gewünschten Bildteile scharf abgebildet sind.

Erstelle die ersten zwei Aufnahmen vom gleichen Gegenstand

1. Aufnahme: Sie soll den ganzen Gegenstand zeigen.
2. Aufnahme: Sie zeigt einen Ausschnitt des Gegenstandes. Wähle den Ausschnitt geschickt, dass er das fotografierte Objekt nicht sofort verrät. Du gehst mit deiner iPad-Kamera nahe an den Gegenstand heran, möglichst ohne dass du auf dem Bildschirm zoomen musst.

Beurteile deine Aufnahmen auf dem Bildschirm. Sind sie gut ausgeleuchtet? Sind sie scharf? Falls nicht, wiederhole deine Aufnahme(n).

Bevor du die dritte Aufnahme machst

Um einen noch kleineren Ausschnitt des Gegenstands zu fotografieren, müsstest du nun vermutlich zoomen. Wenn du sehr stark zoomst, werden dir die Aufnahmen nur noch selten gelingen. Dies liegt vor allem daran, dass du nur noch digital zoomst. Dabei vergrössert sich nur die Ansicht auf dem Bildschirm. Die Kamera kann nicht mehr Daten liefern. Dabei arbeitet vor allem die Software und gaukelt dir vor, näher an das Objekt heranzugehen, ohne aber mehr Details zu liefern. Probier es aus und du stellst fest, dass die Aufnahmen meist nicht scharf und selten gut belichtet sind. Oft wirken sie auch farblos.



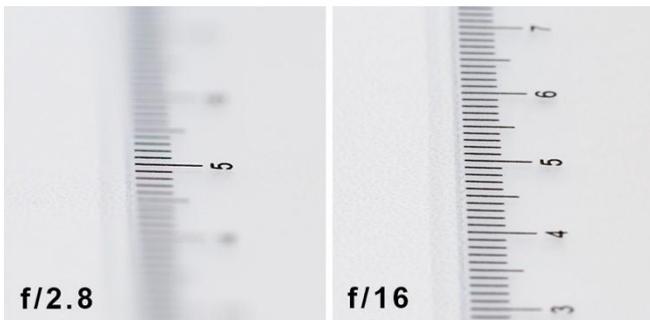
Um wirklich näher an das fotografierte Objekt zu kommen, braucht es zusätzliche Linsen. Solche kann man kaufen, wir wollen sie aber im nächsten Schritt selber bauen.

Der einfachste Weg: Befestige eine Linse aus der Auswahl zentriert vor deine iPad-Linse. Wie du das machst, spielt keine Rolle. Am einfachsten geht es, wenn du doppelseitiges Scotchklebeband benutzt. Das hält und lässt sich hinterher ohne Rückstände entfernen. Pass auf, dass du keine Fingerabdrücke auf dem Klebeband oder auf den Linsen produzierst. Die würden nachher das Bild stören.

Besser werden die Aufnahmen, wenn du dir eine Halterung für die Linse ausdenkst, die du bei Bedarf vor die iPad-Linse montieren kannst. Diese Halterung kannst mit Karton, Holz oder auch mit einer Drahtkonstruktion erreichen.

Wenn du einen 3D-Drucker zur Verfügung hast, kannst du dir den Linsenhalter auch drucken. Plane zuerst auf Papier, zeichne mit einer geeigneten App (z.B. TinkerCad) ein 3D-Modell und drucke dieses aus. Deine Lehrerin/dein Lehrer wird dir helfen.

Nun bist du bereit für die 3. Aufnahme. Du erstellst sie mit der zusätzlichen Linse, für welche du die Halterung baust. Der abgebildete Objektausschnitt soll weniger als 1cm² gross sein. Prüfe die Aufnahme auf ihre Schärfe und Belichtung. Falls die Aufnahme den Kriterien für eine gute Aufnahme nicht genügt, wiederhole die Aufnahme.



Je weiter voneinander weg die Objekte sind, die du fotografieren willst und je näher du zum nächsten Objekt stehst, umso schwieriger wird es, die nahen und die fernen Objekte scharf abzubilden.

Illustrationen Stefano Paterna und Uni Passau.



Zusatzinformationen: Die Blende im Objektiv

Die Blende befindet sich im Objektiv einer Fotokamera. **Bewegliche Lamellen** verändern die Grösse der Blendenöffnung. Blendenöffnungen werden mit dem Buchstaben f angegeben.

Eine **geschlossene** Blende hat immer eine **grosse** Blendenzahl und eine **offene** Blende eine **kleine** Blendenzahl. Das verwirrt viele zu Beginn. $f\ 1.6$ ist die grössere Blendenöffnung als $f\ 4$. $f\ 22$ ist eine sehr kleine Blendenöffnung.

Mit der Blende kannst du die **Lichtmenge steuern**, die auf den Bildsensor trifft. Bei offener Blende kommt in der gleichen Zeit mehr Licht auf den Sensor als bei geschlossener Blende. Im Grunde kann man sich das wie einen Wasserhahn vorstellen. Drehe ich den nur ein bisschen auf (**geschlossene Blende**) kommt weniger Wasser aus dem Wasserhahn als wenn ich den Hahn voll aufdrehe (**offene Blende**).

Somit hat man die Möglichkeit, bei sehr hellem Licht die Blende zu schliessen um eine Überbelichtung des Bildes zu vermeiden. Ebenso kann man in dunklen Umgebungen die Blende öffnen, um bei kurzen Belichtungszeiten noch ausreichend Licht auf den Sensor zu bekommen.



Infoblatt D

Die Geschichte der Mikroskope

Das menschliche Auge ist ein ausserordentlich feines Sinnesorgan. Geht man von der normalen Sehweite von 25 cm aus, so vermag es (mit geringen Schwankungen) sieben Linien pro Millimeter zu unterscheiden. Dieser Wert kann bei geringerem Abstand noch deutlich unterschritten werden. Es werden also Gegenstände unterscheidbar im Bereich von 1/10 mm, entsprechend 100 µm, und das entspricht einem Sehwinkel von etwa 2' (Bogenminuten), also dem 30. Teil eines Grades.

Bei einer einzelnen Linie, kontrastreich schwarz auf weissem Grund, ist die Erkennbarkeit noch deutlich niedriger und erreicht Werte von etwa 10 µm. Dies muss jedoch als ein Sonderfall betrachtet werden.

Erste Bilder von vergrösserten Objekten haben die Menschen sicherlich vor Jahrtausenden schon gemacht, ermöglicht durch die Linsenwirkung eines Tropfens. Von der Kenntnis dieses Phänomens wird schon im Altertum berichtet, zum Beispiel von mit Wasser gefüllten Glaskugeln und ihrer vergrössernden Wirkung. Aber die alten Kulturvölker hatten die Nutzung dieser Effekte noch nicht erkannt. Die Araber waren die Ersten, die vor etwa 1'000 Jahren die Wirkung von Linsen untersuchten und beschrieben.

Die Möglichkeit einer Sehhilfe wird erstmals im Jahr 1267 durch den englischen Gelehrten und Franziskaner Roger Bacon³ beschrieben. Brillen kamen dann in den folgenden Jahrhunderten in Gebrauch. Man lernte, Gläser zu schleifen und zu polieren, Verfahren, die schon aus der Schmuckproduktion bekannt waren.

Im 17. Jahrhundert mehren sich dann rasch Berichte über den Einsatz von Lupen und über Beobachtungen, die man dabei machte. René Descartes veröffentlichte im Jahr 1637 Baupläne eines einfachen Mikroskops, das aus einer Linse (Lupe) bestand, aber durch eine raffinierte Spiegelanordnung schon einen komplizierten Beleuchtungsapparat aufwies, der eine Auflichtbetrachtung ermöglichte. Schon 26 Jahre davor, im Jahr 1611, sollen die beiden holländischen Brillenmacher Johannes und Zacharias Janssen das zusammengesetzte Mikroskop erfunden haben, indem sie zwei Linsen kombinierten, wodurch sich deren Leistung erhöhte. Auch Galileo Galilei wird hier genannt, der durch eine Variation des nach ihm benannten Fernrohrs Vergrösserungen im Nahbereich ermöglichte. Von wesentlicher Bedeutung waren aber erst die Beschreibungen und Untersuchungen von Robert Hooke⁴ (<http://www.spaceship-earth.de/Biograph/hooke.htm>), der im Jahr 1665 die Darstellung eines Stückchens Kork veröffentlichte und auswertete.

Die ersten Mikroskopiker hatten natürlich grosse Schwierigkeiten. Sie mussten ihre Geräte selber bauen, das heisst insbesondere ihre Linsen selbst schleifen. Der Meister der Konstruktion und ihrer Nutzung war der Holländer Antonie van Leeuwenhoek⁵, der von 1632 bis 1723 lebte und aus heutiger Sicht Unglaubliches leistete. Es ist bekannt, dass Leeuwenhoek mehr als 500 seiner einfachen, aber doch sinnreichen Instrumente selbst baute. In zahlreichen Briefen teilte er seine Ergebnisse der Royal Society in London mit, wo sie zum Teil veröffentlicht wurden. Die winzigen Linsen, von denen jeweils eine zwischen zwei Metallplatten befestigt war, schliiff Leeuwenhoek selbst. Er schwieg sich aber offenbar bewusst darüber aus, wie er es machte. Vermutlich benutzte auch er folgende Methode, die von anderen Mikroskopikern seiner Zeit bekannt wurde: An einem Glasrohr wurde in der



Mitte ein Glasballon geblasen und das hintere Ende abgeschmolzen. Es blieb dann ein kleiner «Glas-tropfen» als linsenartige Verdickung bestehen, der aus dem Glasballon herausgebrochen werden konnte.

Auf diese Weise kann man Linsen mit sehr kurzer Brennweite erhalten. Von den zahlreichen Mikro-skopen Leeuwenhoeks sind einige erhalten geblieben. Eine neue Untersuchung dieser Instrumente zeigt ihre erstaunliche Leistung. Die Mehrzahl von Leeuwenhoeks Linsen ermöglichte eine fast 100-fache Vergrößerung. Das «Spitzenmodell», das im Museum in Utrecht aufbewahrt wird, hat eine Brennweite von weniger als einem Millimeter und damit eine Vergrößerungsleistung von 266 Mal. Das Auflösungsvermögen liegt bei $1,35 \mu\text{m}$ ($1/700 \text{ mm}$).

Leeuwenhoek beschrieb als erster Mikroskopiker Einzeller, aber auch Spermatozoen, die Querstreifung von Muskelfasern, Bakterien, Blutkörperchen und Kapillaren, die Strukturen von Schimmel und Staub, von Holz und Metall. Man muss sich dabei vor allem vergegenwärtigen, dass dies ja alles «echtes» Neuland war. Wir haben über die Existenz all dieser Dinge schon in der Schule etwas gehört. Er aber durfte sie als Erster neu entdecken, beschreiben und interpretieren.

Leeuwenhoek war ein Eigenbrötler, der seine praktischen Kenntnisse und Fähigkeiten leider nicht weitergab, obwohl er zum Beispiel vom deutschen Philosophen Gottfried Wilhelm Leibniz aufgefordert wurde, eine Schule für mikroskopische Forschung zu gründen.

Die Veröffentlichungen der leeuwenhoekschen Untersuchungen strahlten aber doch aus und regten weitere Mikroskopiker an, sich mit dem Mikrokosmos zu beschäftigen und neue Instrumente zu entwickeln.

Aus Italien kommt um die Mitte des 17. Jahrhunderts der Name «Mikroskop». Der Arzt und Naturforscher Marcello Malpighi⁶ entdeckte hier die nach ihm benannten Strukturen in der Niere und die schlauchförmigen Exkretionsorgane der Insekten.