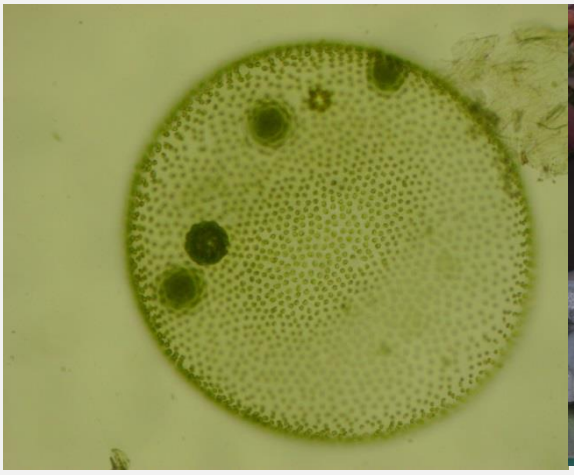
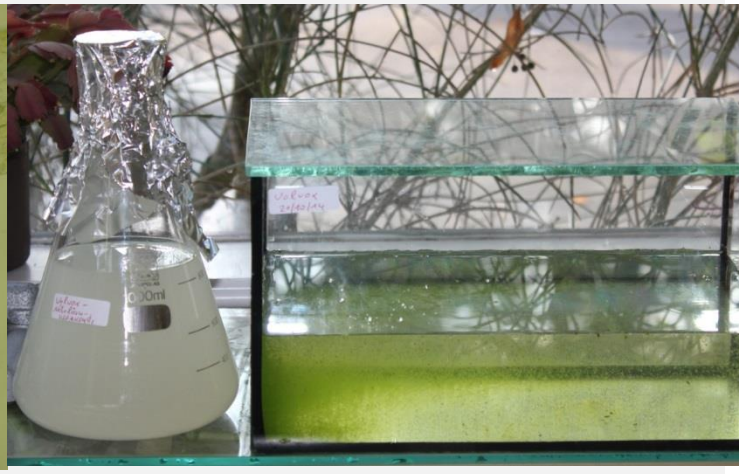
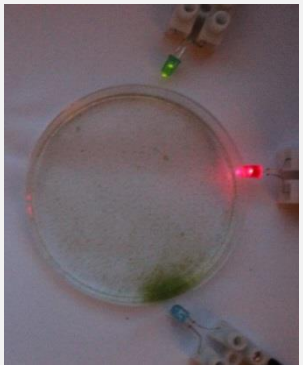
Landeshauptstadt Hannover

Hannover

Schulbiologiezentrum



19.63

Volvox, Licht und Farbe

Experimente zur Phototaxis und Photosynthese

Oktober 2014

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover

Titel: Volvox, Licht und Farbe
Experimente zur Phototaxis und Photosynthese

Titelbild und Fotos: Ingo Mennerich

Arbeitshilfe 19.63

Verfasser: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info

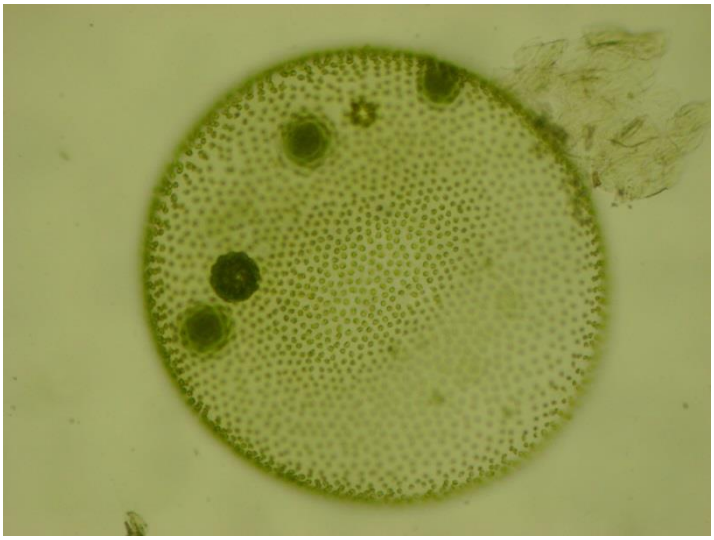
Inhalt

Einige Sätze vorweg: "Klimawandel" mit dem Taschenrechner? 3
Wer ist Volvox? 4
Wo finde ich Volvox? 5
Volvox in Kultur? 6
Volvox und das Licht 6
Volvox und die Farben 8
Warum ist Volvox grün? Absorptionseigenschaften und Spektroskopie von Chlorophyll 10
Volvox im Licht von LEDs 12

Einige Sätze vorweg:

Es war Zufall:
Schüler einer 12. Klasse hatten im Rahmen von "Experimenten zur Photosynthese" unter vielen anderen Angeboten eine Probe der tags zuvor von einer 10. Klasse gekäscherten Volvox-Kolonien unter dem Binokular. In einer anderen Station ging es um die Absorptionseigenschaften einer Chlorophyll-Lösung. Dort lagen als "Beigabe" Farbfolien und die Schüler begannen, sich zwischen den Stationen austauschend, mit den Folien unter dem Binokular zu spielen.
Wem ist es zuerst aufgefallen, den Lehrern oder den Schülern?
Das blaue "Lichtfenster" des Binokulars hatte Volvox offensichtlich gefallen. Dorthin schwammen viel mehr von ihnen als zu den grünen und roten "Lichtfenstern".
Zufall, oder haben wir eine Fähigkeit dieser stecknadelkopfgroßen grünen Alge entdeckt?
Kann sie Farben auseinanderhalten? Und wenn ja, warum "liebt" sie blau?
Im Folgenden stellen wir einige Experimente vor mit denen man dem Farbsehvermögen dieser Alge auf den Grund gehen kann.

Wer ist Volvox?



Wenn Volvox beim "Tümpeln" im Herbst als "Beifang" im Käscher liegt fällt er den meisten zunächst gar nicht weiter auf. Spannender sind Wasserläufer, Rückenschwimmer, Eintagsfliegen-Larven, die Larven der Büschelmücke, Egel und die vielen winzigen Wasserflöhe, Hüpferlinge und Muschelkrebse. Das Wasser ist aber ungewöhnlich grün gefärbt und wer genauer hinsieht wird sehen, dass es nur so wimmelt von kleinen grünen Kugeln.
Unter dem Binokular sehen sie aus wie rollende Fußbälle. Viele der grünen "Fußbälle" tragen kleinere noch grünere "Fußbälle" in sich, die "Kinder" von Volvox.
Pflanze oder Tier? Hier verschwimmen die Grenzen. Das Grün spricht für sich von Licht ernährende Pflanzen und tatsächlich ist Volvox in Lehrbüchern der Botanik zu hause. Andererseits bewegt sich Volvox und, offenbar ziemlich zielgerichtet, zum Licht. Manchmal aber auch davon weg.
So wie Tiere sich um Nahrungsquellen scharen zieht es Volvox zum Licht und hier vor allem zum Blauen. Wer sich schon mal mit den Absorptionseigenschaften des grünen Blattfarbstoffes Chlorophyll beschäftigt hat weiß, warum: Chlorophyll "schluckt" die blauen und violetten Anteile des Spektrum. Genauer gesagt absorbiert es die Energie der kurzwelligen Photonen und stellt daraus im hochkomplexen Prozess der Photosynthese Nahrung her. Wären wir grün, könnten wir das auch.
Volvox lebt vom blauen (und etwas roten) Licht. Die "Fußballalge" kann "blau" erkennen und sich womöglich sogar für die eine oder andere Farbe entscheiden. Grün und Rot interessieren sie offenbar nicht.
Wo sind die Augen?
Wer sich mit Volvox beschäftigt sollte sich zuvor Chlamydomonas ansehen. Chlamydomonas ist eine vielfach in Laboren kultivierte einzellige Grünalge. Sie besitzt zwei bewegliche, unter starker Mikroskop-Vergrößerung gut sichtbare Geißeln mit denen sie sich ständig um ihre Längsachse rotierend fortbewegt, und einen roten, so genannten "Augenfleck" (Stigma). Neben dem Stigma befindet sich ein kaum sichtbarer, lichtempfindlicher "Photorezeptor", das "eigentliche Auge". "Auge" und "Augenfleck" bestimmen den Kurs: Wirft das um das "Auge" rotierende Stigma Schatten auf den Photorezeptor, wird die Bewegungsrichtung so lange korrigiert bis es keine Abschattung mehr gibt. So gelingt es diesem vermeintlich simplen Einzeller zu seiner Nahrungsquelle zu schwimmen, dem Licht.
Volvox bildet eine Hohlkugel aus tausenden miteinander vernetzten und miteinander interagierenden Chlamydomonas-Zellen. Im Gesamtbild verhält sich Volvox wie ein Individuum. Aber ist es das überhaupt? Oder ist Volvox wie ein arbeitsteiliges, differenziertes Bienenvolk das nur als "Staat" überleben kann?
Eine koordinierte und zielgerichtete Bewegung ist, wie bei einem Ruder-Achter, nur durch abgestimmtes Miteinander aller "Individuen" möglich. Jede Chlamydomonas-Zelle muss ihren Geißelschlag auf alle anderen abstimmen. Vielleicht lässt sich ein Teil der "rollenden" Bewegung des Gesamtorganismus Volvox dadurch erklären, dass jede einzelne Zelle die Abschattung des "Auges" zu vermeiden sucht. Welches "Gehirn", welcher "Prozessor" verarbeitet alle diese Informationen und steuert das "Ganze"? Oder ist Volvox mit einem Vogel- oder Fischschwarm zu vergleichen?

An bestimmten Stellen der Hohlkugel beginnen ganze Gruppen von Einzelzellen sich zu teilen. Die "Tochterzellen" bilden zunächst Einstülpungen ins noch hohle Innere der Kugel um sich dann als "Tochterkugeln" abzulösen und ein, noch von der Mutter umschlossenes "Eigenleben" zu führen.
Der eigentliche "Geburtsvorgang" wird eingeleitet, indem die danach absterbende "Mutterkugel" aufreißt und die Tochterkugeln freigibt.
Während sich Chlamydomonas unter geeigneten Bedingungen bei der Teilung in zwei Tochterorganismen und diese wiederum in zwei Tochterorganismen fortleben ist hier ein "Individuum" zum Sterben verurteilt, "opfert" sich gewissermaßen für den Nachwuchs. Volvox wird in Biologiebüchern oft als die "erste Leiche" in der Evolution der Pflanzen bezeichnet die eines natürlichen Todes stirbt. Es ist spannend, sich in Bezug auf Volvox und andere so genannte "niedere Organismen" mit dem Sinn des Sterbens auseinanderzusetzen.

Volvox mit Tochterkugeln

Links unten:
Beim "Geburtsvorgang" aufgerissene Hohlkugel

Wo finde ich Volvox?

Im Herbst bevölkert Volvox einige unserer flachen Teiche so stark, dass das Wasser grün ist. Mit sinkenden Temperaturen und weniger Sonnenlicht im November und Dezember verschwindet das Phänomen so schnell wie es gekommen ist. Vielleicht ist es auch so, dass die Nährsalze im Wasser aufgebraucht sind.
Im Frühjahr und Sommer sind die grünen Kugeln nur selten zu finden.

Volvox in Kultur?

Volvox ist ein schwieriges Zuchtobjekt. Es gibt viele Vorschläge für Nährmedien, einfache wie die Erdabkochung und solche, die nur von Speziallaboren herstellbar sind. Kaufen kann man solche Medien offenbar nicht. Wir haben es mit einer relativ einfachen Nährlösung nach USPANSKI/USPANKAJA versucht und Volvox - unter Dach - wenigstens in den Winter hinein gebracht.

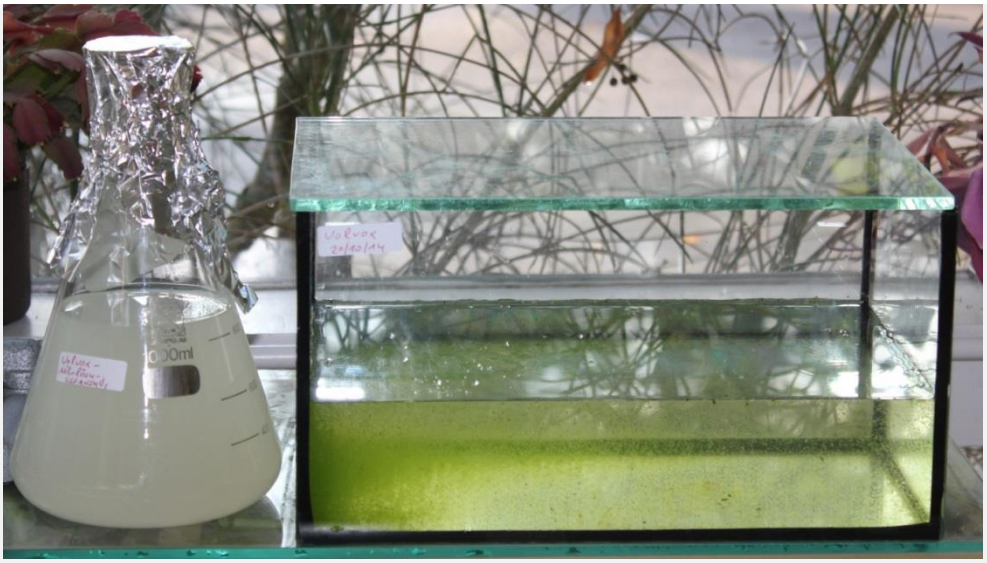
KNO_3 (Kaliumnitrat)	250 mg/l
$MgSO_4$ (Magnesiumsulfat)	250 mg/l
$Ca(NO_3)_2$ (Calciumnitrat)	1000 mg/l
KH_2PO_4 (Kaliumdihydrogenphosphat)	250 mg/l
K_2CO_3 (Kaliumcarbonat)	345 mg/l
$Fe_2(SO_4)_3$ (Eisen(III)sulfat)	12,5 mg/l

Die mit der Feinwaage abgemessenen Salze wurden in 1 Liter destilliertem Wasser aufgelöst und etwa eine Viertelstunde lang gekocht, anschließend in einen mit Alufolie verschlossenen Erlenmeyerkolben gegeben.
Volvox ist ein Indikator für sauerstoffreiche und nährsalzarme (oligotrophe) Gewässer der Güteklasse 2.
Daher waren wir mit der Zugabe der Salzlösung zunächst sehr sparsam.
Etwas Erdabkochung hinzuzugeben schadet auf jeden Fall nicht.
Die Nährlösung (oder das Eisen) sei im Sommer alle 10, im Winter alle 20 Tage zu ersetzen.

Andere Alternativen unter: http://www.drak.de/de/info/lebendfutterkulturen/volvox.html

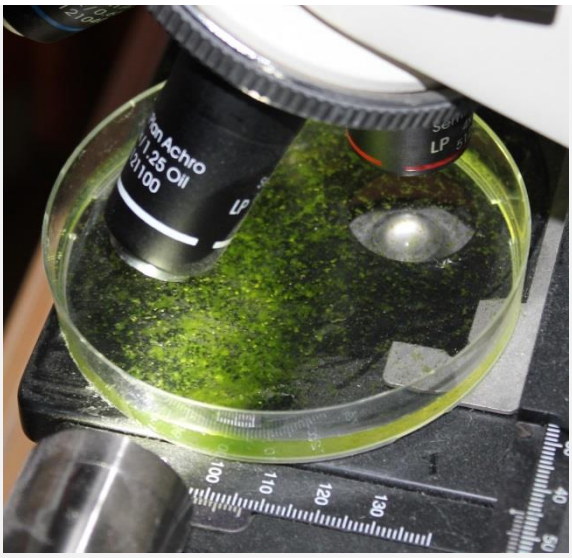
Volvox und das Licht

Volvox zieht es zum Licht hin (positive Phototaxis). Bereits nach kurzer Zeit hat sich ein frisch in ein Aquarium eingebrachte homogen verteilte Kultur entmischt und sich an der lichtzugewandten Seite versammelt.

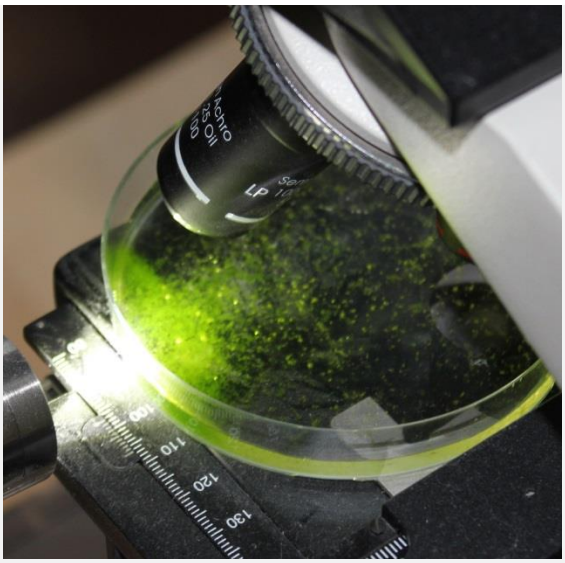


Volvox im Aquarium (später Nachmittag, kein direkter Lichteinfall, Sonnenlicht von links)
Links im Erlenmeyerkolben die Nährlösung nach Uspanski/Uspanskaja.

Hier liegt Volvox in einer Petrischale auf dem Objekttisch und wird von einer Seite her beleuchtet:
Die zunächst gleichmäßig verteilten Kugeln zeigen deutliche Orientierung zum Licht hin:



Nach einer Viertelstunde:
Ansammlung im Lichtkegel

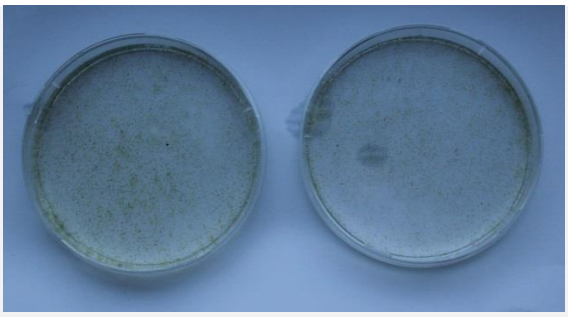


Nach einer halben Stunde:
Ansammlung im vorderen Bereich

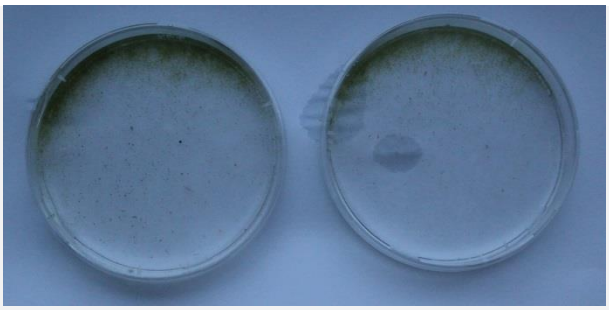
In Petrischalen rollt Volvox gut beobachtbar und relativ schnell zum Licht hin und versammelt sich am Rand.

Bei starker Besonnung zeigt sich aber auch ein vom Licht weg gerichtetes Verhalten (negative Phototaxis).

Volvox im **Dämmerlicht** (positive Phototaxis)

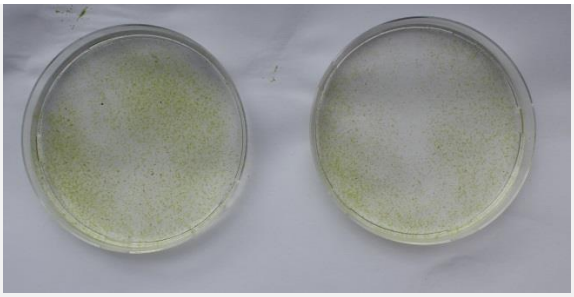


Volvox:
Nach Umrühren etwa gleichmäßig verteilt

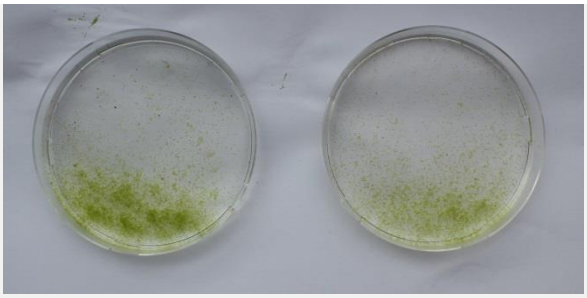


Volvox:
Nach etwa fünf Minuten Orientierung zum (schwachen) Lichteinfall

Volvox im **starken Sonnenlicht** (negative Phototaxis)



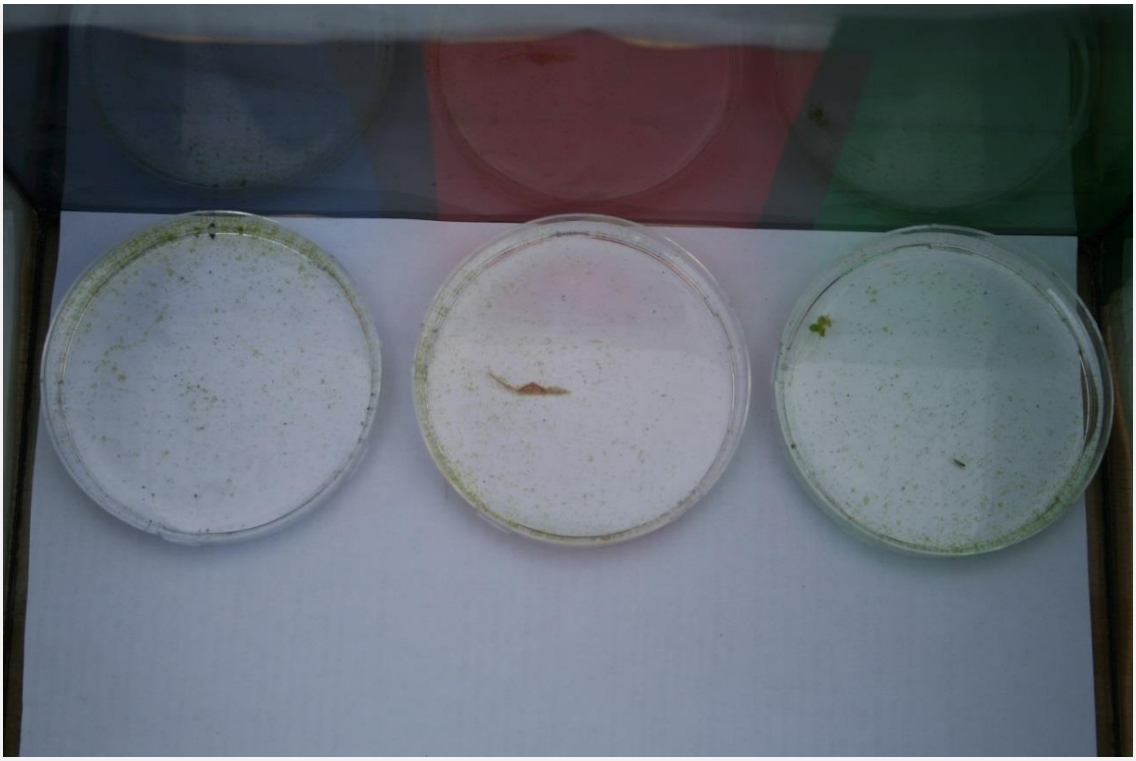
Volvox:
Nach Umrühren etwa gleichmäßig verteilt



Volvox:
Nach etwa fünf Minuten Orientierung entgegen zum (starken) Lichteinfall

Volvox und die Farben

Kann Volvox auch Farben sehen?
Im Herbst 2009 hat ein Praktikant in einem kleinen Forschungsprojekt drei mit Volvox gefüllte Petrischalen hinter Farbfolien gestellt. Die Frage war, ob es eine verlässlichere Alternative zu den oft unzufrieden stellenden Versuchen zum Farbsehvermögen Euglenas gäbe.
Wie in der Abbildung zu sehen ist, zog es Volvox zum blauen Licht hin ohne dass Abdeckungen und Trennwände zwischen den Folien notwendig gewesen wären.
Ein mit drei farbigen "Bullaugen" versehener und in drei Abteilungen aufgeteilter Schuhkarton zeigt den Effekt natürlich deutlich besser.

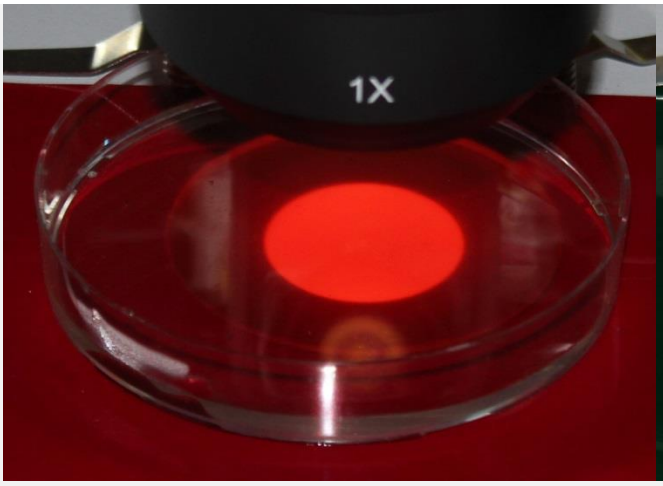


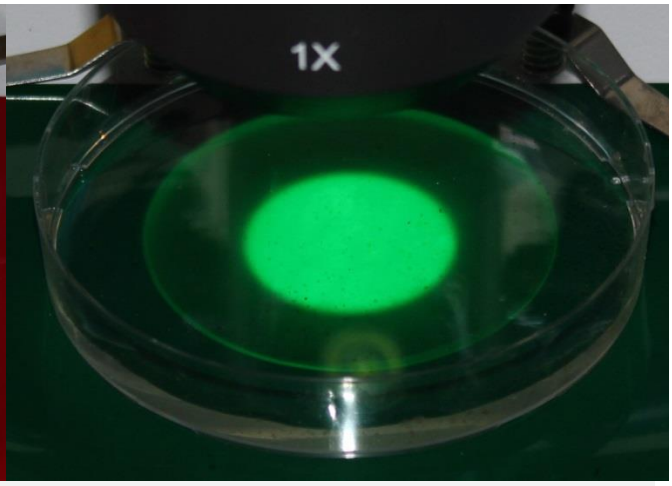
Experimente und Foto:
Constantin Riekeberg, Universität Hannover, (Praktikum im Schulbiologiezentrum 2009)

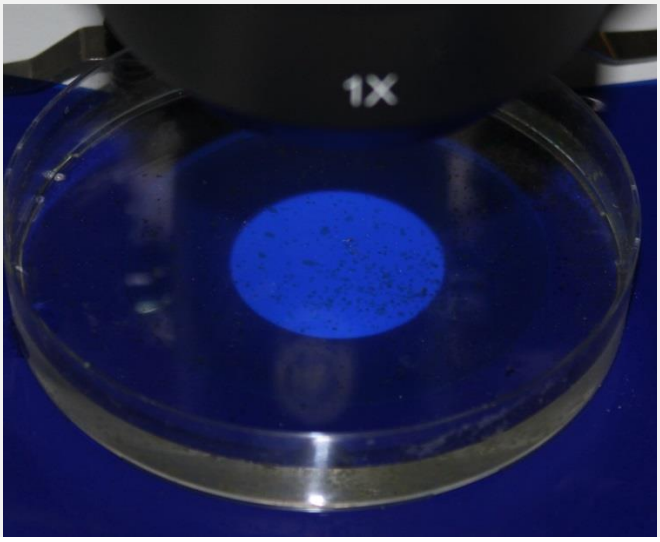
Volvox unter dem Binokular:

Unter die Petrischalen werden rote, grüne und blaue Farbfolien gelegt. Alle Petrischalen sind mit frisch aus dem Teich gekäscherten Volvox-Kolonien in etwa gleicher Konzentration gefüllt.
Die Binokulare sind im dunkelsten Teil des Raumes aufgestellt. Ein großer, senkrecht aufgestellter Plastikdeckel schwächt das vom Fenster kommende Licht.

Das Oberlicht der Binokulare ist ausgestellt, das Unterlicht auf Maximum. Das Unterlicht bildet ein durch die Folien farbiges "Lichtfenster".
Nach etwa einer halben Stunde zeigen sich mit bloßem Auge und mit 10facher Vergrößerung deutliche Unterschiede: Im blauen "Lichtfenster" haben sich viele Kolonien angesammelt, im grünen deutlich weniger und im roten kaum welche.







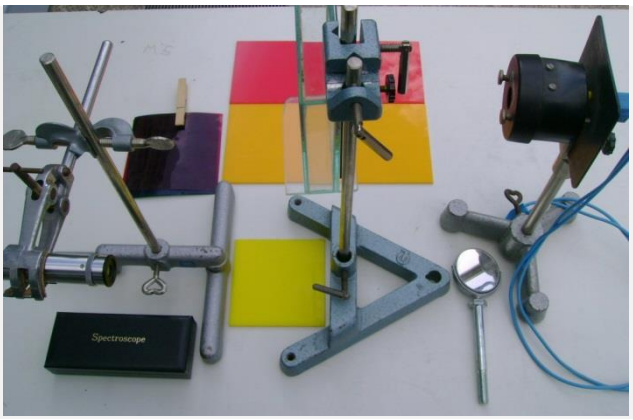
Mit dem Binokular kann man bei schwacher Vergrößerung (um den Überblick zu behalten) die Konzentrationsunterschiede viel besser erkennen als mit bloßem Auge.

Warum ist Volvox grün?
Absorptionseigenschaften und Spektroskopie von Chlorophyll

Chlorophyll absorbiert den blauen und violetten Anteil des Spektrums nahezu vollständig, dazu einen schmalen Bereich im Roten. Grün wird als nicht nutzbar reflektiert.
Das kann man mit einem Spektroskop hinter einer mit Chlorophyll-Lösung gefüllten Küvette gut sehen.
Als Lichtquelle dient die passend eingespiegelte Sonne oder eine helle Lampe, z.B. die eines Diaprojektors.
Schwache Leuchten erzeugen nur wenig blaues und violettes Licht.

Absorption einer Chlorophylllösung dargestellt mit einem selbstgebauten Schuhkarton-CD-Spektroskop und einem Diaprojektor als Lichtquelle.
Der blau-violette Spektralbereich wird nahezu vollständig absorbiert, im roten Bereich sieht man einen breiten dunklen Streifen.
(Foto: Ingo Mennerich)

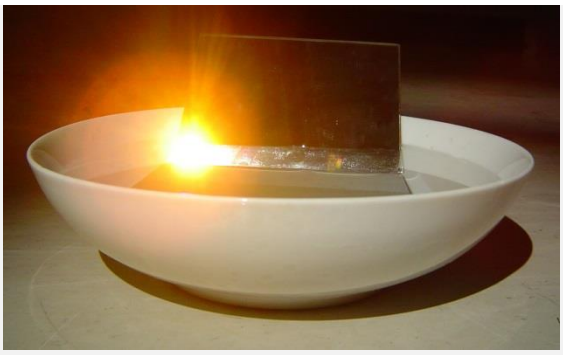
Im Schulbiologiezentrum ausleihbares Handspektroskop der Fa. Krüss

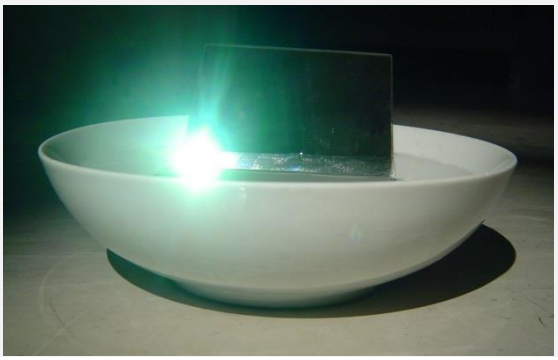


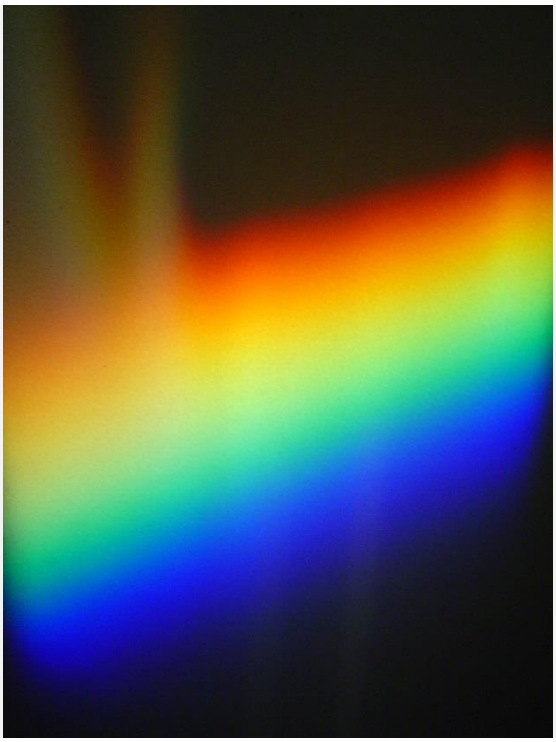
Handspektroskope kann man im Schulbiologiezentrum Hannover ausleihen, wie auch ein komplettes Experimentierset mit Lichtquelle (Halogenleuchte, schwenkbarer Spiegel), Küvette, Handspektroskop und Stativmaterial.

Farbfolien und Farbtafeln ermöglichen Versuche zur Absorption und Reflexion.

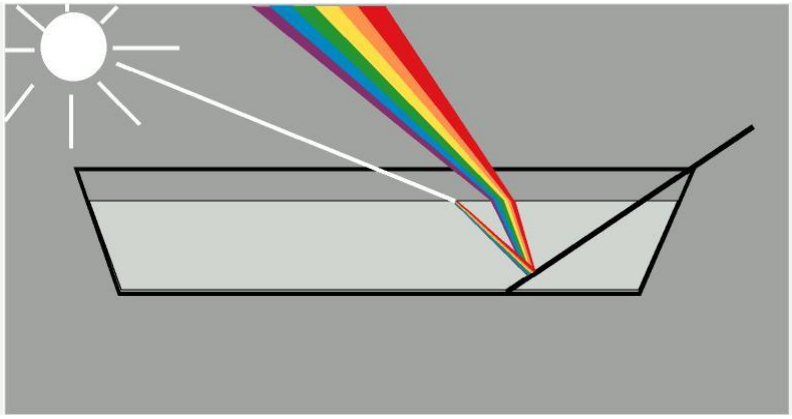
Die Bauanleitung für das "Schuhkarton-CD-Spektroskop" haben wir als Arbeitshilfe 19.56 ins Netz gestellt (www.schulbiologiezentrum.info).
Ein ganz einfacher Versuchsaufbau ist der "Regenbogen aus dem Suppenteller":







Ein Spiegel wird schräg in einen tiefen mit Wasser gefüllten Teller gestellt. Fällt Sonnenlicht oder das Licht z.B. eines Diaprojektors im richtigen Winkel und entsprechender Lage des Spiegels dann erscheint der Lichtquelle gegenüber ein farbenprächtiger "Regenbogen".



Aufstellung und Strahlengang beim "Suppenteller-Regenbogen":

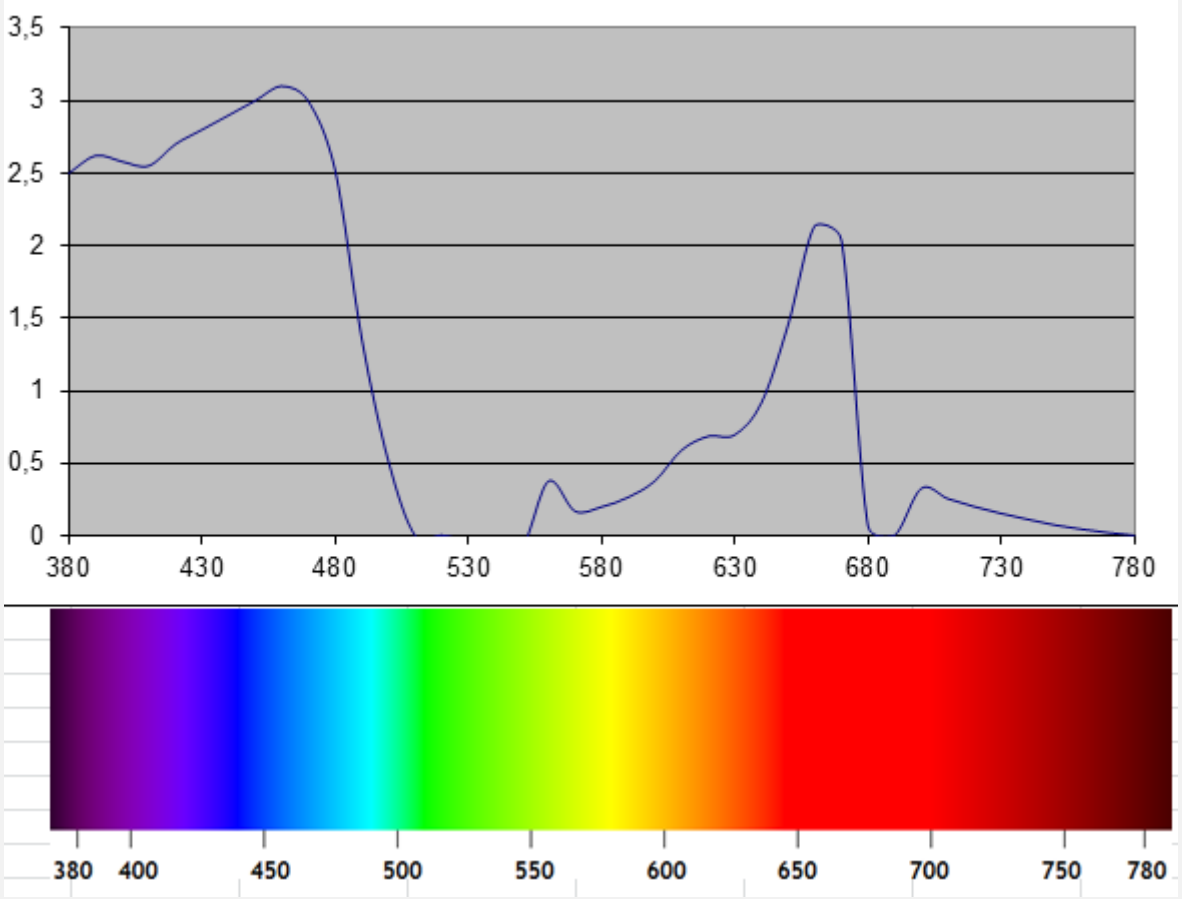
Das weiße Sonnenlicht wird beim Eintritt Luft-Wasser gebrochen und farbig aufgespalten (Dispersion), vom Spiegel reflektiert und beim Austritt Wasser-Luft erneut gebrochen und dispergiert.

Aus Arbeitshilfe 19.57, "Licht & Farbe"

Diese und ähnliche Experimente bieten wir unter "Licht und Farbe" im Schul-LAB der IGS Mühlenberg an. Wenn statt Wasser Chlorophyll-Lösung verwendet wird, werden Violett, Blau und ein Teil des Roten "geschluckt" und der jetzt schmalere Regenbogen ist nur noch grün, gelb und rot. Mit etwas Geschick ist sogar der schwarze Streifen im Rot zu sehen.

Ein Fotospektrometer ermöglicht das wellenlängenmäßige Erfassen der prozentualen Absorption bzw. Durchlässigkeit (Transmission) des Lichts. Mit einem Drehknopf geht man in Schritten von 1 Nm (Nanometer) durch das ganze Frequenzband des sichtbaren Lichts und notiert den jeweiligen Wert z.B. in eine Excel-Tabelle. Das Ergebnis lässt sich dann als Kurve darstellen.

Hier das Ergebnis einer Schülergruppe (11. Klasse).



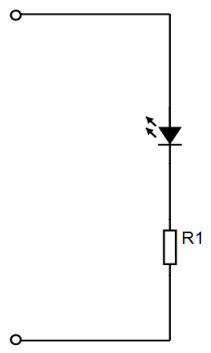
Absorptionskurve einer alkoholischen Chlorophyll-Lösung, hergestellt aus zerschnittenen Efeublättern und im verschlossenen Gefäß im Wasserbad erhitzten Brennspiritus.

Excel-Kurve, Daten aufgenommen mit im Schulbiologiezentrum ausleihbaren Foto-Spektrometer

Mehr zum Thema u.a. in unserer Arbeitshilfe 19.65 " Experimente Anregungen und zur Photosynthese"

Volvox im Licht von LEDs

Für die folgenden Experimente haben wir handelsübliche und preisgünstige rote, grüne, gelbe und blaue LEDs verwendet. LEDs benötigen geringe Gleichspannungen (+/-, 2 - 4 Volt je nach Farbe).
Vorteilhaft ist eine für jede LED getrennte stufenlose Spannungsregelung. Dieses kann man nach Art von "Dimmern" mit regelbaren Widerständen (Potentiometern) erreichen.



LEDs vertragen keine hohen Spannungen und der durch sie fließende Strom muss begrenzt werden.
Dazu dient der richtig bemessene Vorwiderstand.
Sein Widerstandswert (R1) richtet sich

- nach der Spannungsquelle (Volt)
- dem vom Typ der LED abhängigen zulässigen Strom

Am Vorwiderstand soll ein Teil der Gesamtspannung abfallen so dass an der LED nur ein kleiner Teil anliegt.
Der Widerstandswert (R1 in Ohm)wird nach $R = \frac{U}{I}$, wobei U die Spannung in Volt und I der Strom in Ampere ist.

Hier ein Beispiel, wie man den Widerstand berechnen kann.

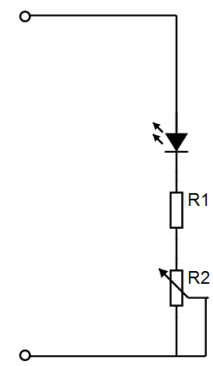
Gegeben:

- Gesamtspannung 12 V (Spannungsquelle)
- Leuchtdiode: Betriebsspannung 3,8 V, Strom 20mA

Gesamtspannung - gewünschter Spannungsabfall am Vorwiderstand 12 V - 3,8 V = 8,2 V

$$R = \frac{8{,}2\ \mathrm{V}}{0{,}02\ \mathrm{A}} = 410\ \Omega \text{ (Ohm)}$$

Ein regelbarer Widerstand wirkt wie ein Dimmer:

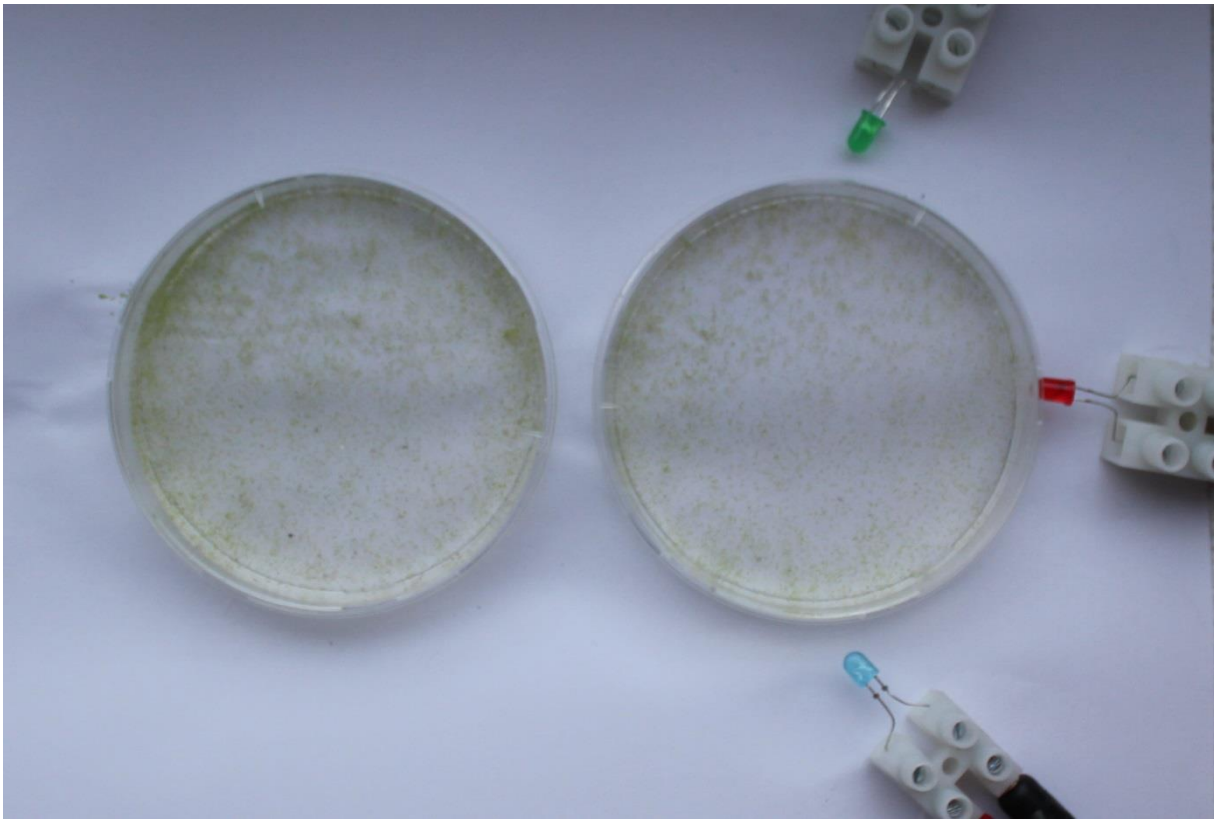


R1 hat nach wie vor die Funktion der Spannungs- und damit Strombegrenzung.
R2 ist ein regelbarer Widertand der, da in Reihe zu R1 geschaltet, den Gesamtwiderstand erhöht.
Hat R1 einen Widerstandswert von 410 Ω und wird R2 z.B. als Potentiometer 0 - 1000 Ω ausgeführt, beträgt der Gesamtwidertand (R1 + R2)

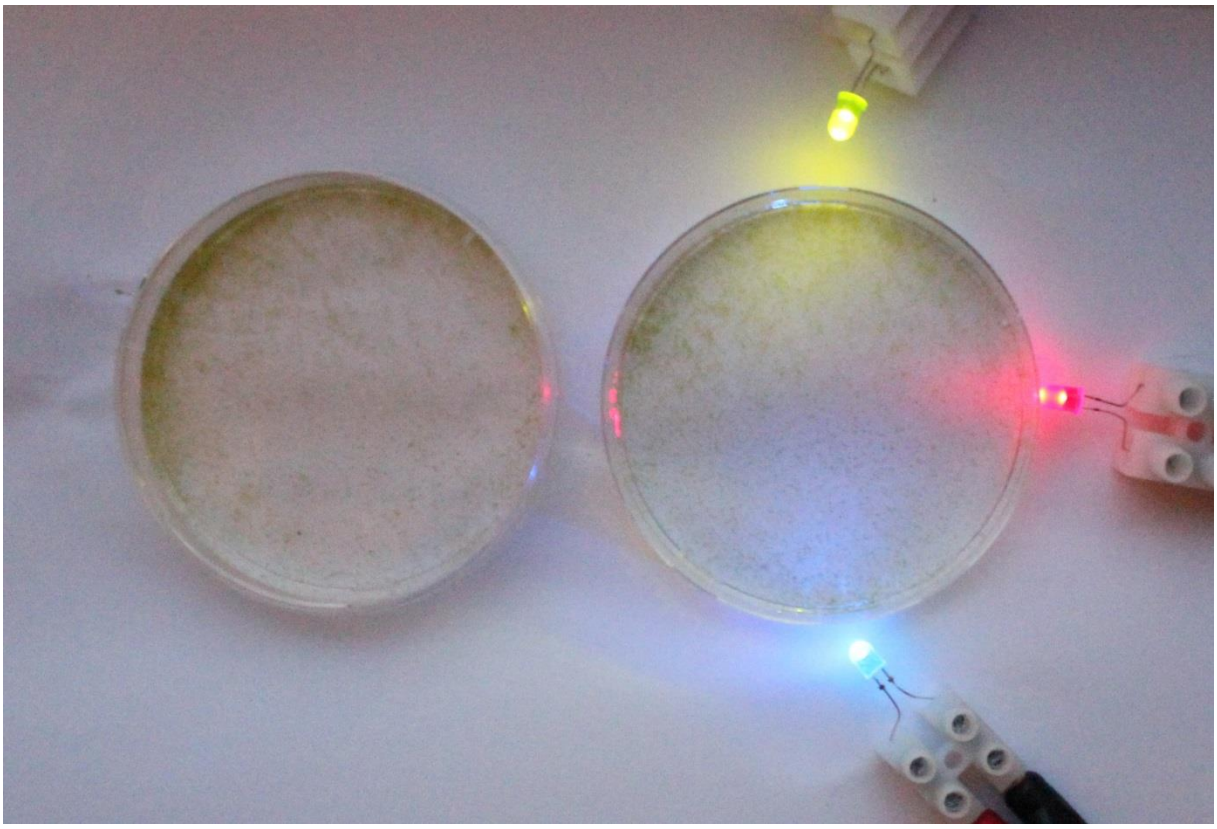
- minimal 410 Ω (410 Ω + 0 Ω), LED leuchtet hell
- maximal 1410 Ω (410 Ω + 1000 Ω), LED leuchtet schwach oder nicht

LEDs haben definierte Wellenlängen, rote z.B. 660 Nanometer (nm), grüne 568 nm und blaue 470 nm.
Im Spektroskop zeigen sich dennoch keine begrenzten Linien sondern breite rote, bzw. rot-gelb-grüne oder blaue Bänder. Elektronik-Geschäfte bieten mittlerweile eine Vielzahl von preisgünstigen LEDs in verschiedenen Größen, Lichtstärken und Wellenlängen an, einschließlich solche im unsichtbaren UV oder IR-Bereich.

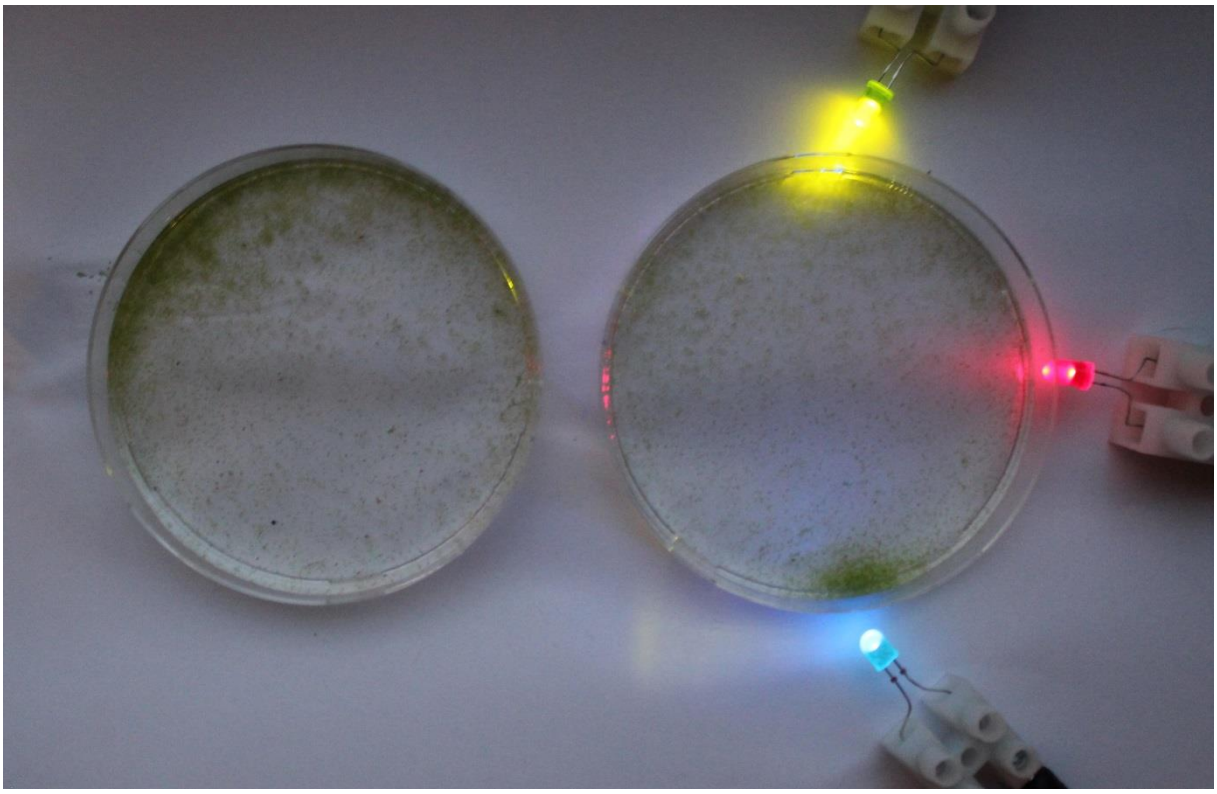
Unsere Versuchsanordnung im Tageslicht (LEDs ausgeschaltet). Volvox orientiert sich in beiden Petrischalen zum (schwachen) Tageslicht (Lichteinfall von links oben)

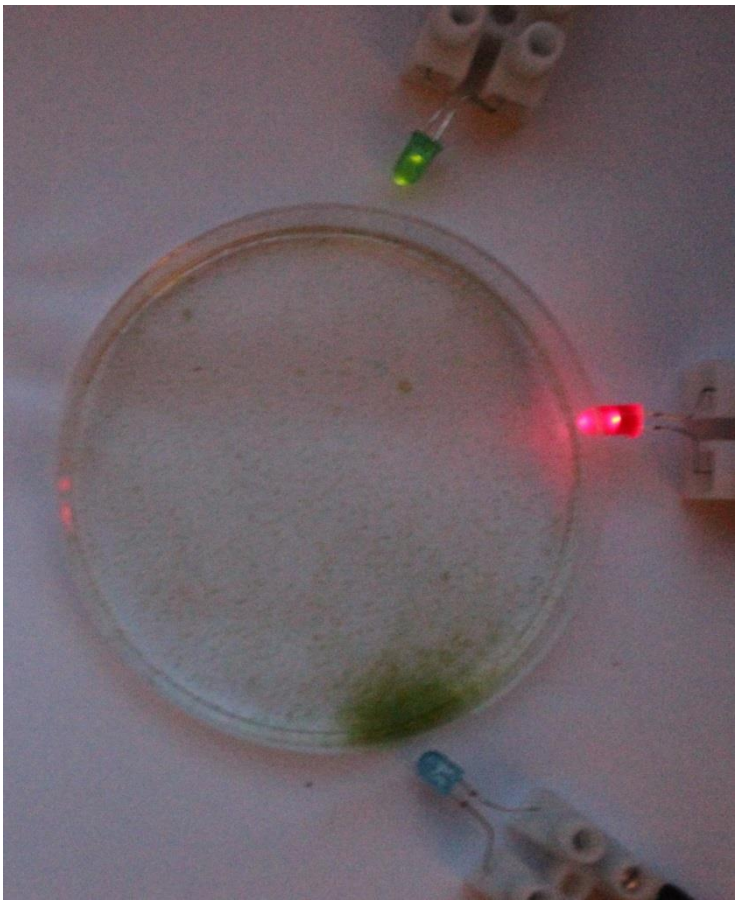


LEDs eingeschaltet



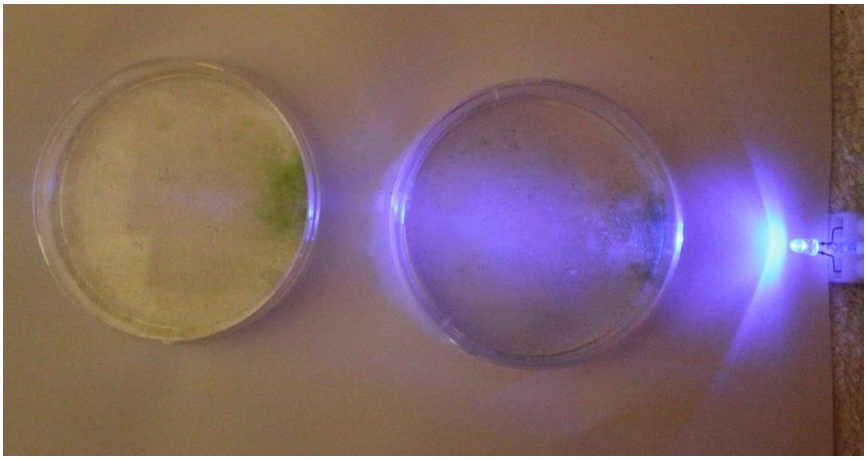
Linke Schale: Volvox orientiert sich zum schwachen Tageslicht.
Rechte Schale: Ein Teil orientiert sich zur blauen LED hin. Rot wird ignoriert.





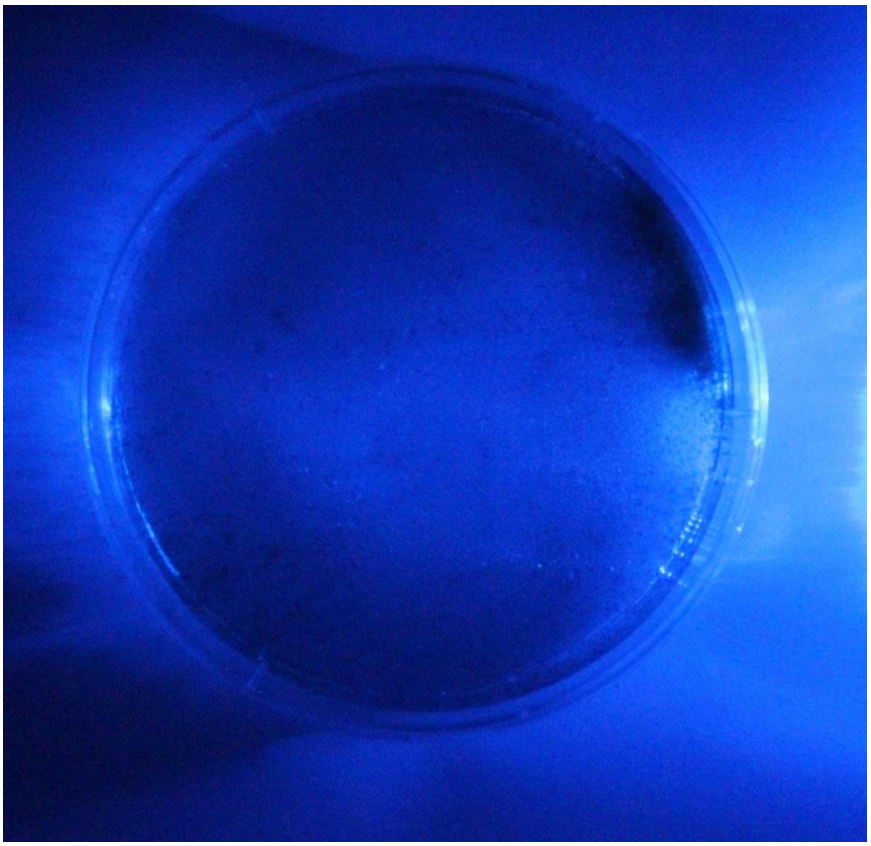
Bei abnehmendem Tageslicht orientiert sich Volvox in der rechten Schale ausschließlich auf das blaue Licht zu.

Rot und grün werden offenbar ignoriert.



Völlige Dunkelheit
(zum Fotografieren kurze Hintergrundbeleuchtung!):

Volvox hat sich in beiden Schalen zur blauen LED hin orientiert.



Aufnahme nur im Licht der blauen LED