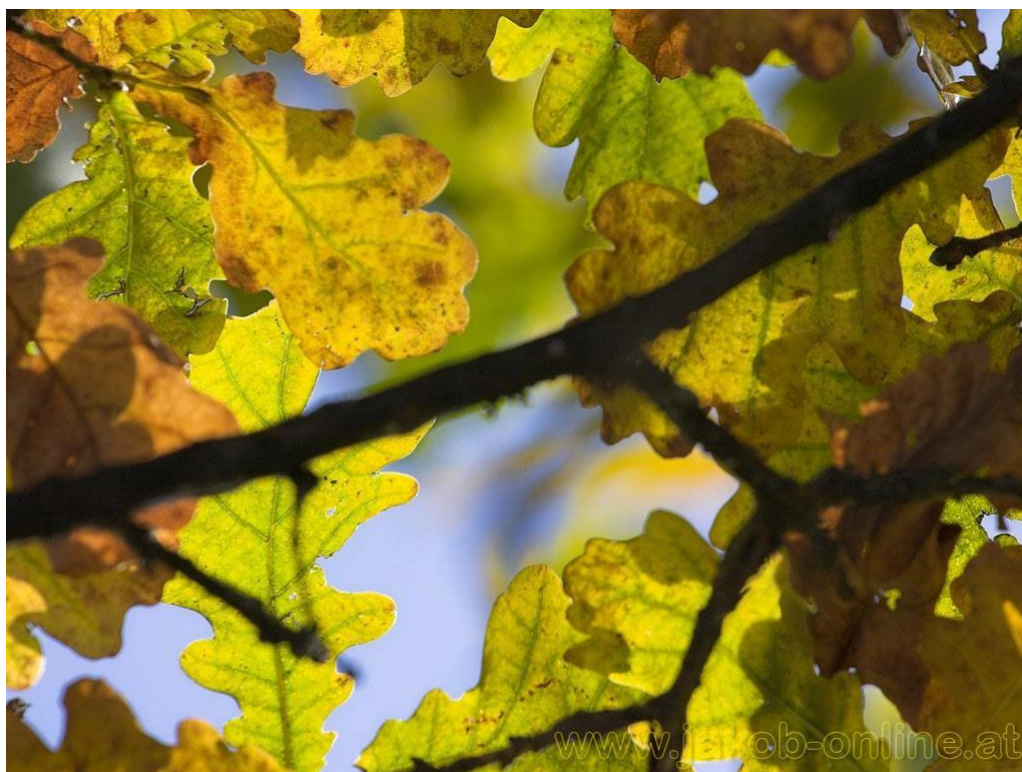


### Zmieniające się kolory liści jesienią.



Przedział wiekowy od:	Przedmiot:	Podtematy	Poziom wymagań	Poziom wdrożenia	Przygotowanie
14 lat	Biologia	Botanika/barwniki liści Fotosynteza	•	••	15 min i 2x 45 min

Jesień to pora roku, w której liście stają się „kolorowe”. Szczególnie gdy pojawia się „złoty październik”, ten nastrój natury ma wyjątkowy urok.

Ale dlaczego las - zanim ostatecznie straci swoje piękne liście - ukazuje się w tak barwnych kolorach? Jako przyrodnik można przypuszczać, że to zjawisko nie wynika (tylko) z „dobrego humoru”, ale ma sensowne biologiczne podłoże.

Uczniowie w każdym wieku mogą obserwować i cieszyć się tym spektaklem. Od odpowiedniego wieku mogą oni badać procesy związane ze zmianą koloru, tj. jej przyczynę, stosując odpowiednią metodę badania chromatografii różnokolorowych liści.

Co więcej, pomysłowi uczniowie mogą wyciągnąć wnioski z badania, dlaczego zmiana koloru następuje przed zrzucając liście. Wymaga to znajomości procesów fotosyntezy i funkcji poszczególnych pigmentów liści. Wiedza na temat zmiany wysokości słońca i długości dnia wynikającej ze zmiany pory roku musi być również do zapewnienia wystarczających wyjaśnień. Takie zadanie powinni otrzymać w całości uczniowie klas wyższych (Sek II).

Na lekcjach biologii na poziomie szkoły średniej I stopnia, proponowana tutaj ekstrakcja i analiza chromatograficzna pigmentów liści pod względem ich składu i ilości może zostać włączona do tematu ekologii/leśnictwa w formie eksperymentów uczniowskich opartych na podziale pracy. W tym celu sugestie należy zmodyfikować w taki sposób, aby trudne etapy pracy były w większym stopniu kierowane lub przygotowywane przez nauczyciela (np. produkcja superplastyfikatora).

Projekt przedstawiony w tych instrukcjach nauczania i eksperymentowania wypróbowaną i przetestowaną sekwencję eksperymentów o przyjemnie wysokim poziomie aktywności uczniów w koncepcji ukierunkowanej na samoorganizację i kompetencje działania - zgodnie z kluczowymi treściami standardów edukacyjnych.

Dla uproszczenia, "uczennice" i "nauczycielki" naturalnie odnoszą się również do "uczennic" i "nauczycielek".

### **Przebieg lekcji:**

Celem jest zbadanie składu (samodzielnie przygotowanego) ekstraktu pigmentów barwnych z różnokolorowych liści tego samego gatunku przy użyciu metody chromatografii jako sposobu rozdzielania mieszanin substancji. Podczas gdy ogólne omówienie chromatografii jako procesu rozdzielania jest przeprowadzane jako (wstępny) eksperyment w grupach zwykłych uczniów, uczniowie są podzieleni na grupy ekspertów z różnymi obiektami badań (liście tej samej rośliny, ale każda grupa ekspertów o innym kolorze) w celu przeprowadzenia faktycznego badania. Następnie uczniowie wracają do swoich grup domowych, aby omówić wyniki (zasada układanki grupowej).

Podczas lekcji uczniowie samodzielnie uczą się, w jaki sposób można uzyskać ekstrakt pigmentów i jak przechodzą one przez fazę stacjonarną chromatografii z różnymi prędkościami ze względu na ich różną rozpuszczalność w rozpuszczalniku. Poznają również właściwości barwników liściowych i zapoznają się z konfiguracją eksperymentalną do chromatografii papierowej lub cienkowarstwowej w komorze separacyjnej.

Uczniowie doskonalią umiejętności obserwacji i analizy wyników poprzez odczytywanie danych, ich przedstawianie w innej formie (np. przekształcenie obrazu w tabelę), obliczenia oraz porównanie z wartościami referencyjnymi. Dzięki temu rozwijają kluczowe umiejętności związane z pracą naukową i samodzielnie, w sposób zorientowany na działanie, stosują je w praktyce.

Podczas porównywania zebranych wyników uczniowie dochodzą do wniosku, że nie powstają nowe barwniki, lecz zmieniają się jedynie proporcje na korzyść niezielonych pigmentów liściowych.

Zjawisko to można opisać jako fizjologicznie uzasadnione, biorąc pod uwagę następujące fakty:

Wraz z jesiennym skracaniem się dnia i obniżeniem wysokości słońca ilość promieniowania słonecznego maleje. Całkowita ilość chlorofilu staje się niepotrzebna, ponieważ była dostosowana do dużej ilości promieniowania w okresie letnim. Część chlorofilu jest degradowana lub przemieszczana do pnia drzewa, gdzie jest magazynowana i dostępna podczas wiosennego wzrostu.

Ksantofile i karotenoidy pełnią funkcję tzw. lejka – wychwytyują energię świetlną i przekazują ją do chlorofilu. Funkcja ta nabiera szczególnego znaczenia przy zmniejszonej ilości promieniowania, ponieważ zapewnia dostarczanie energii do fotosyntetyzujących chlorofilu, co pozwala na wytwarzanie substancji bogatych w energię nawet przy mniejszej ilości światła. Dzięki temu roślina może gromadzić zasoby na czas spoczynku zimowego, o ile intensywność promieniowania i temperatury są jeszcze wystarczające.

Spektrum kolorów liści dodatkowo rozszerzają procesy utleniania: jesienią obumierające liście nie są już w stanie przetwarzać tlenu. Tlen powoduje chemiczną przemianę obecnego w soku komórkowym żółtego barwnika, który zmienia barwę na czerwoną.

Zielony kolor chlorofilu przestaje dominować, odsłaniając pozostające i nagromadzone żółcie, pomarańcze oraz czerwienie liści, które następnie są zrzucane na czas najchłodniejszej i najuboższej w promieniowanie pory roku – zimy.

### **Możliwości modyfikacji eksperymentu:**

Eksperyment można dostosować i przeprowadzić w innych porach roku, na przykład porównując zawartość barwników w liściach wystawionych na światło i w liściach cieniowych lub analizując różnokolorowe liście roślin różnych gatunków. Szczególnie piękne efekty kolorystyczne można zaobserwować u buka pospolitego, dębu czy klonu. Czerwone liście mogą pochodzić również z hodowlanych odmian, takich jak buk purpurowy czy leszczyna purpurowa.

W przypadku, gdy liście są już wysuszone, a mimo to zachowały swoją pierwotną barwę, może to być korzystne w porównaniu z materiałem świeżym: enzym odpowiedzialny za rozkład chlorofilu został już dezaktywowany, dzięki czemu barwniki podczas ekstrakcji nie ulegają dalszym zmianom.

Jako wprowadzenie do chromatografii na zajęciach poprzedzających proces rozdzielania barwników liściowych uczniowie poznają metodę rozdzielania substancji na podstawie różnej rozpuszczalności, która jest prezentowana i demonstrowana w odpowiedzi na pytanie: „Jak można badać składniki liści i odróżniać je od siebie?”.

Uczniowie zostają podzieleni na 6 grup, każda składająca się z 4–5 osób. W tych podstawowych grupach przeprowadzają doświadczenie chromatografii bibułowej.

Zachęca się ich do wyrażania przypuszczeń dotyczących przewidywanego przebiegu doświadczenia (np. „Co się stanie, gdy pasek papieru zanurzymy w wodzie na dnie komory rozdzielczej?”). Następnie obserwują i wyjaśniają proces rozdzielania oraz różne rozłożenie barwników (np. z flamastra), wynikające z różnej rozpuszczalności i różnego przemieszczania się w rozpuszczalniku.

Proces chromatografii jest ogólnie opisany, a pojęcia specjalistyczne, takie jak wartość  $R_f$ , jako charakterystyczny wskaźnik rozdziału substancji w odniesieniu do konkretnego rozpuszczalnika, zostają omówione i wyjaśnione.

Na zakończenie uczniowie otrzymują karty z różnymi terminami fachowymi. Sortują znane pojęcia, a następnie w parach objaśniają sobie nawzajem wybrany przez siebie termin związany z chromatografią. Wszystkie niezrozumiałe pojęcia mają zostać wyjaśnione na kolejnych zajęciach.

**Ćwiczenie chromatograficzne – Grupa podstawowa nr:**

**Kolor liścia:**

**Chromatografia bibułowa**

Przebieg:

Materiały:

- Arkusze papieru (do chromatografii, bibuła filtracyjna)
- Komora rozdzielająca
- Flamastry (czarne/różne kolory, rozpuszczalne w wodzie)
- woda destylowana.

Na papierze chromatograficznym o rozmiarze odpowiednim dla komory separacji narysuj jednolitą, grubszą linię pisakiem fibrowym niezbyt blisko krawędzi (ta strona zostanie później umieszczona w wodzie i nie może dotykać poziomu wody).

Napełnij komorę rozdzielającą wodą i umieść w niej pasek papieru tak, aby dotykał tylko dna, a nie boków pojemnika; ostrożnie oprzyj go o górę.



**Zadania:**

1) Śledź przesuwany się front wody (nie spuszczań go z oczu, nie powinien dotrzeć do końca papieru).

**Pytanie:** Jak front cieczy wpływa na linię barwną, gdy ją osiąga?

**Odpowiedź:**

*Tusze flamastra rozpuszczają się w wodzie wędrującej w górę papieru i są przez nią unoszone.*

2) Opisz skład atramentu.

*Czerń atramentu nie jest wytwarzana przez pojedynczy czarny pigment, ale wrażenie koloru jest tworzone przez zmieszanie kilku pigmentów o różnych kolorach.*

3) Wyjaśnij przyczynę separacji, która sprawia, że kolorowe pigmenty są rozróżnialne, w tym następujące terminy: dystrybucja materiału, faza stacjonarna, faza ruchoma, rozpuszczalnik, siły kapilarne, transport, adsorpcja, separacja.

*Chromatografia papierowa jest chromatografią podziałową, ponieważ zasada rozdzielania opiera się na dystrybucji substancji między dwie niemieszające się fazy. Rozróżnia się fazę stacjonarną i fazę ruchomą. Faza stacjonarna jest fazą stałą nasyconą rozpuszczalnikiem (np. papier), faza ruchoma jest rozpuszczalnikiem. Lepiej jest mówić o środku przepływowym lub superplastyfikatorze. Fazą stacjonarną jest celuloza papieru (lub zaadsorbowany, a zatem nieruchomy rozpuszczalnik w porach celulozy można również uznać za aktywną część fazy stacjonarnej). Rozpuszczalnik lub mieszanina rozpuszczalników jest używana jako faza ruchoma, w której badane substancje muszą się rozpuścić. Ze względu na siły kapilarne w celulozie papieru, faza ruchoma migruje do papieru i porusza się po fazie stacjonarnej. Barwniki adsorbowane na włóknach celulozy. Im gorzej barwnik adsorbowany na włóknie i im lepiej rozpuszcza się w czynniku roboczym, tym szybciej jest desorbowany z włókna i tym dalej jest transportowany z fazą ruchomą. Powoduje to rozdzielenie mieszanin barwników.*

4) Dlaczego stosunek drogi cząstek barwnych do drogi frontu rozpuszczalnika (wartość  $R_f$ , charakterystyka rozdziału chromatograficznego) jest wartością służącą do identyfikacji substancji?

*W określonym czasie rozpuszczona substancja przemieszcza się na pewną odległość fazą ruchomą, która jest określona przez jej rozpuszczalność lub równowagę rozpuszczalności między fazą ruchomą i stacjonarną. Są to wartości specyficzne dla substancji: Stosunek odległości przebytej przez substancję do odległości przebytej przez rozpuszczalnik (fazę ruchomą) pozwala na określenie substancji (wartość  $R_f$ ).*

(Wariant eksperymentu z okrągłym filtrem: W środku okrągłej bibuły filtracyjnej wykonaj otwór o średnicy około 1 cm. Narysuj flamastrem okrąg bezpośrednio wokół tego otworu. Zwiń drugą okrągłą bibułę filtracyjną w knot i przepchnij go przez otwór w pierwszej okrągłej bibule filtracyjnej. Teraz umieść okrągłą bibułę filtracyjną i knot w naczyniu krystalizacyjnym z wodą. Namalowany okrąg skierowany jest ku górze. Knot musi być zanurzony w wodzie. Knot zasysa wodę i przekazuje ją do okrągłego filtra. W tym miejscu rozpoczyna się oddzielenie mieszaniny barwników).

**Materiały:**

- Zestaw do chromatografii papierowej
- Szklany zestaw do chromatografii
- Zestaw do chromatografii polistyrenowej
- Papier chromatograficzny 130 x 260 mm 25 arkuszy
- Cylindryczna komora separacyjna DC,
- Komora separacyjna DC, prostokątna,
- Folia DC celuloza na poliestrze 40 x 80 mm
- Żel krzemionkowy DC na poliestrze 200 x 200 mm
- Żel krzemionkowy DC na aluminium 40 x 80 mm
- Cylinder pomiarowy
- Kolba Erlenmeyera
- Moździerz, tłuczek
- Lejek
- Wagi

Na początku lekcji (najlepiej podwójnej lekcji ze względu na wrażliwość pigmentów w ekstrakcie z liści i czas trwania chromatografii), która jest przedmiotem niniejszej instrukcji, uczniowie wracają do swoich grup domowych.

Uczniowie ponownie otrzymują karty z terminami związanymi z chromatografią. Każdy uczeń powinien teraz ułożyć je w logicznej kolejności. Następnie po kolei wyjaśniają strukturę koledze/koleżance z klasy (lub proszą kolegę/koleżankę o wyjaśnienie). zadeklarowany jako "zagraniczny").

Po tym dogłębnym ćwiczeniu uczniowie przeprowadzają ekstrakcję pigmentów z liści w swoich grupach domowych zgodnie z instrukcjami eksperymentu.

Następnie przygotowywane jest medium robocze (faza ruchoma i quasi-stacjonarna) - może to również zrobić nauczyciel ze względu na ograniczenia czasowe lub ze względów bezpieczeństwa.

Zaleca się stosowanie mieszaniny benzyny, eteru naftowego i acetonu. Wszystkie rozpuszczalniki przemieszczają się przez kapilary substancji nośnej (papier lub najlepiej płytka cienkowarstwowa do chromatografii cienkowarstwowej, DC). Ze względu na różne powinowactwo do materiału nośnego, ruch ten, który jest napędzany siłami kapilarnymi wbrew grawitacji, odbywa się z różnymi prędkościami: gdzie rodzaj pigmentu ostatecznie zatrzymuje się w stosunku do czoła medium przepływowego (które zostanie dokładnie wymieszane pod koniec chromatografii) zależy od ruchu medium przepływowego przez pory substancji nośnej i rozpuszczalności pigmentu w różnych proporcjach medium przepływowego (elucja). Powoduje to wielokrotną naprzemienną równowagę adsorpcji i desorpcji między substancją nośną / składnikiem superplastyfikatora a składnikiem superplastyfikatora / rodzajem pigmentu.

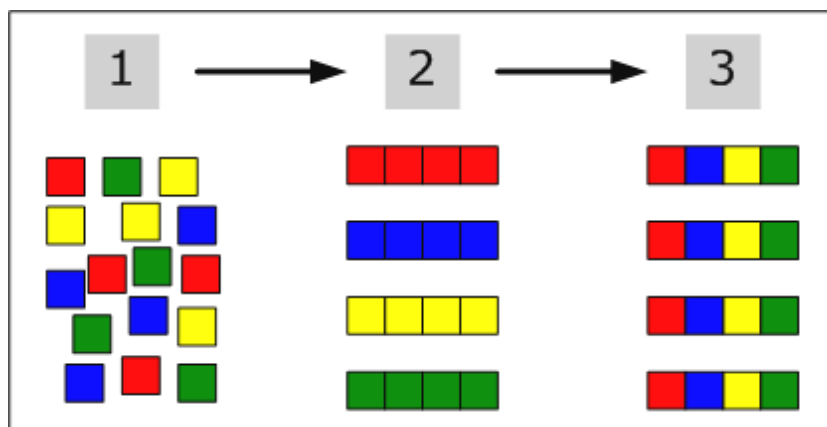
Wstępna ocena właściwości pigmentów prowadzi do wykonania transferu przez uczniów, którzy wykorzystują wzory strukturalne pigmentów i składników superplastyfikatora, aby uzasadnić skład superplastyfikatora z różnych rozpuszczalników ("Dlaczego dwie cieczki, jedna bardziej polarna, druga bardziej

apolarna?"). Najbardziej polarny rozpuszczalnik pokona najmniejszą odległość, ponieważ celuloza i żel krzemionkowy mają grupy polarne.

Aby uprościć sprawę, test można również przeprowadzić z superplastyfikatorem składającym się z jednego składnika rozpuszczalnika (benzyny lakowej). Wynik będzie mniej zróżnicowany pod względem separacji pigmentów.

Uczniowie przełączają się ze swoich grup domowych (1-6) do grup ekspertów (A-F), aby przeprowadzić chromatografię.

Oznacza to, że w grupach eksperckich jest po jednym uczniu z każdej grupy macierzystej.



Dwie grupy ekspertów pracują nad tym samym zadaniem; eksperci A i B przeprowadzają chromatografię z ekstraktem z zielonych liści, grupy C i D z ekstraktem z żółtych liści, a grupy E i F z ekstraktem z czerwonych liści.

Po udanej chromatografii eksperci wracają do swoich grup macierzystych i przedstawiają wyniki swojej pracy eksperckiej do końcowej dyskusji.

Metoda takiej pracy grupowej nie tylko przyspiesza i zapewnia osiągnięcie wyników, ale także promuje zdolność uczniów do współpracy i komunikacji.

Porównywane są obrazy chromatograficzne i wartości opracowane przez grupy ekspertów w grupach głównych.

Zamiast listy wartości  $R_f$ , dobrym pomysłem jest przekazanie grupom obrazu udanej chromatografii, w której pasma pigmentu są wyraźnie rozpoznawalne nazwane. Uczniowie obliczają własne wartości  $R_f$  i porównują je oraz zabarwienie z pasmami na obrazie referencyjnym.



Na koniec przedstawiono i omówiono wyniki grup.  
Demonstracja fluorescencji chlorofilu w świetle UV stanowi uzupełnienie

Obserwacja, którą można przeprowadzić w czasie elucji (runtime). Ułatwia późniejsze zrozumienie procesów zachodzących podczas reakcji świetlnej fotosyntezy i wspiera zrozumienie znaczenia nie-zielonych pigmentów liści, takich jak

pigmenty antenowe.

**Odniesienia do stron internetowych:**

<http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12.htm>

[http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/dv01/1\\_06.htm](http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/dv01/1_06.htm)

<http://www.uni-duesseldorf.de/MathNat/Biologie/Didaktik/Winterprojekt/se1/grundl1/v1.htm>

<http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/chromato/pcallge.htm>

[http://www.chemieexperimente.de/chroma/13\\_4.htm](http://www.chemieexperimente.de/chroma/13_4.htm)

[http://de.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnnschichtchromatographie#Herstellung\\_des\\_Chlorophyllextraktes.2F\\_Isolation\\_of\\_the\\_leaf\\_pigments](http://de.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnnschichtchromatographie#Herstellung_des_Chlorophyllextraktes.2F_Isolation_of_the_leaf_pigments)

[http://www.lehrerfortbildung-bw.de/unterricht/sol/05\\_gruppenpuzzle/](http://www.lehrerfortbildung-bw.de/unterricht/sol/05_gruppenpuzzle/)

**Poniżej znajdują się arkusze robocze**

## **Analiza pigmentów liści, grupa główna nr:**

### **Kolor liści:**

## **Przygotowanie roztworu pigmentu**

### **Materiał:**

Po jednym kolorowym liściu (zielone, żółte, brązowe, czerwone liście; zanotuj kolor, patrz wyżej); spirytus metylowany lub aceton, piasek morski/piasek kwarcowy, węglan wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ), ewentualnie kwas askorbinowy do ; waga, moździerz, tłuczek, spust, szpatułka, cylinder miarowy (100 ml), kolba Erlenmeyera, folia aluminiowa, lejek, bibuła filtracyjna.

jeden surowy ekstrakt chlorofilu z każdego liścia.

Umieść około 5 g rozdrobnionego materiału liściastego z odrobiną piasku i końcówką łopatką  $\text{CaCO}_3$  w moździerzu, dodaj niewielką ilość spirytusu metylowanego lub acetonu (20 ml) i energicznie rozetrzyj. Jeśli rozpuszczalnik odparuje zbyt mocno, należy dodać go ponownie.

Przefiltruj powstały ekstrakt za pomocą lejka i filtra karbowanego do kolby Erlenmeyera owiniętej folią aluminiową (ekstrakt jest wrażliwy na światło!).

Docisnąć masę liści tłuczkiem, aby wydobyć więcej płynu i powtórzyć ten proces kilka razy.

## **Fluorescencja chlorofilu w roztworze ("in vitro")**

Materiał: surowy ekstrakt chlorofilu z zielonych liści, lampa UV ( $\lambda \sim 350 \text{ nm}$ ), zaciemnione pomieszczenie.

Oglądaj ekstrakt w zaciemnionym pomieszczeniu pod lampą UV. Porównaj kolory, które można zobaczyć przy cieńszych i grubszych warstwach lub po obróceniu kolby (nie patrz bezpośrednio w światło UV!).

### **Zadania:**

1) Wyjaśnij przyczynę zmiany koloru chlorofilu, gdy jest on wzbudzany przez napromieniowanie światłem o dużej długości fali, korzystając z ilustracji.

*Chlorofil pochłania energię - w tym przypadku energię promienistą - i w ten sposób wchodzi w naenergetyzowany stan o wyższej energii. Kiedy powraca do stanu podstawowego, pochłonięta energia jest ponownie uwalniana (w innej formie) (zachowanie energii). Istnieją dwa różne stany wzbudzenia. Tylko pierwszy, niższy stan energetyczny może zostać osiągnięty poprzez absorpcję światła czerwonego. Absorpcja światła niebieskiego prowadzi do przejścia do wyższego stanu wzbudzenia, z którego ciepło jest uwalniane podczas powrotu do pierwszego stanu wzbudzenia. Z tego stanu do stanu podstawowego emitowane jest światło czerwone (fluorescencja, która jest zakrywana przez kolor absorpcji, jeśli grubość warstwy jest zbyt duża).*

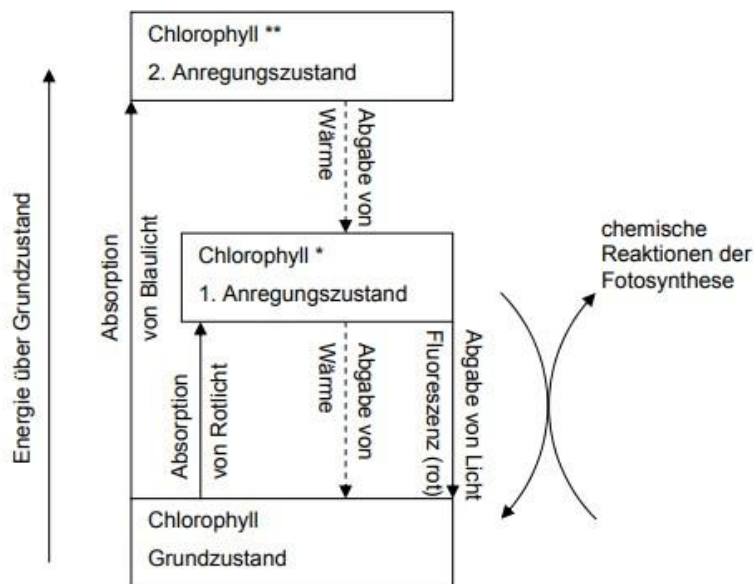
2) Dlaczego pochłanianie i uwalnianie energii (światłej) przez chlorofil jest podstawą asymilacji?

*Chlorofil pochłania energię świetlną i dostarcza ją do reakcji, które budują substancje bogate w energię. Tam energia jest utrwalana w wiązaniach chemicznych - i uwalniana ponownie, gdy substancje są rozkładane.*

*Ponieważ wychwycona energia promieniowania nie jest ponownie uwalniana, zielony liść nie fluoreszuje na czerwono, ale pojawia się w kolorze absorpcyjnym zielonym.*



Roztwór chlorofilu w świetle UV



Anregung von Chlorophyll durch Absorption energiereichen Lichts

**Badanie pigmentów liści, grupa ekspertów nr: Kolor liści:****Chromatograficzna separacja pigmentów chloroplastów Dla****uwagi:**

Wartość  $R_f$  chromatografii jest wartością charakterystyczną dla każdego związku i jest obliczana poprzez podzielenie odległości przebytej przez daną substancję przez odległość przebytą przez rozpuszczalnik od początku. Wartość  $R_f$  jest silnie uzależniona od czynnika roboczego i temperatury, ale jest trudna do odtworzenia.

**Materiał:**

Surowe roztwory chlorofilu z liści (o różnych kolorach); papier chromatograficzny lub gotowe do użycia płytki DC (ok. 4 cm x 8 cm), rozpuszczalnik składający się z benzyny, eteru naftowego i acetonu w stosunku 10 : 2,5 : 2 (uproszczona czysta benzyna lakowa), komora do rozdzielania chromatografii/cylinder stojący (200 ml), szklana pokrywa, szklana kapilara, pipeta (10 ml).

Użyj szklanej kapilary, aby nanieść krople surowego ekstraktu pigmentowego z arkuszy obok siebie na wysokości 1,5 cm nad papierem (lub krawędzią płyty DC) i 1,5 cm od krawędzi strony. Pozostaw krople do wyschnięcia i powtarzaj ten proces, aż do uzyskania silnie zabarwionej linii.

Napełnić komorę separacyjną około 10 ml czynnika roboczego, tak aby czynnik roboczy znajdował się na wysokości około 0,5 - 1 cm w szkle. Następnie umieść płytkę chromatograficzną w komorze separacyjnej i przykryj ją szkłem. Teraz pozostaw komorę bez ruchu.

Obserwować migrację ekstraktu.

Gdy czoło cieczy prawie górną część płytki chromatograficznej, zdejmij płytkę i ostrożnie zaznacz linię czoła cieczy cienkim ołówkiem.

**Badanie pigmentów liści, grupa główna nr:**

**Kolor liści:**

**Grupa ekspertów nr:**

**Kolor liści:**

**Chromatograficzny rozdział pigmentów chloroplastów**

**Zadania:**

Grupa ekspertów

1 Utwórz tabelę. Najpierw określ całkowitą długość przebiegu. Opisz chromatogramy, określając wartości  $R_f$  i przypisując je do pigmentów. Zwróć uwagę na odległość przebytą przez pigmenty, który rozpuszczalnik najlepiej rozpuści dany pigment (wskazówka: polarność), który rozpuszczalnik przemieści się najdalej (front rozpuszczalnika) i wyjaśnij to.

Grupa domowa

2) Porównaj pigmenty występujące w różnokolorowych liściach. Jaka zmiana powoduje, że liście zmieniają kolor jesienią?

3) Żółte i czerwone pigmenty liści mają tzw. "Funkcja anteny": Mogą również wiązać energię świetlną i przyjmować stany wzbudzone.

Narysuj nie-zielone pigmenty liści na ilustracji stanów wzbudzenia chlorofilu i wyjaśnij ogólnie ich funkcję.

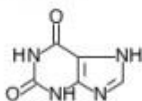
4) Jesienią długość dnia i położenie słońca zmieniają się szczególnie silnie na średnich szerokościach geograficznych.

Wyjaśnij wpływ tych zjawisk geograficznych na dostępną energię świetlną za pomocą tabeli danych i opisz wzrost znaczenia funkcji niezielonych pigmentów liści w tym zakresie.

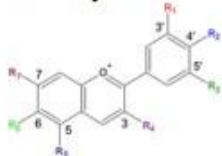
5) Wymień i wyjaśnij przyczyny zrzucania liści na zimę i transportu chlorofilu do obszaru łodygi w celu przechowywania.

**Wzory strukturalne pigmentów i rozpuszczalników (rozpuszczalników)**

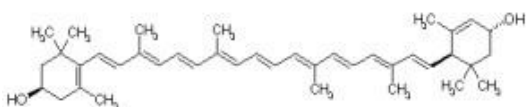
Xanthin



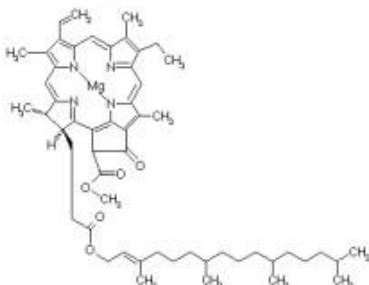
Anthocyan



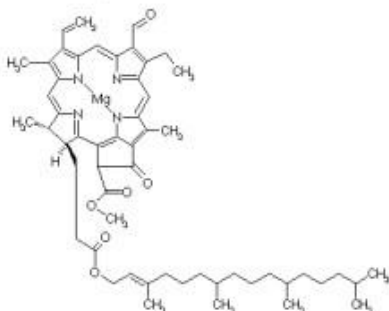
Lutein



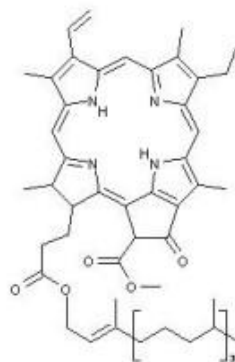
Chlorophyll a



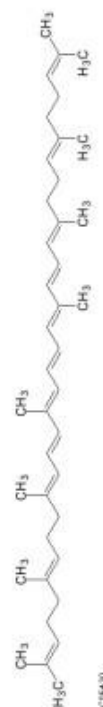
Chlorophyll b



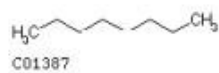
Phaeophytin



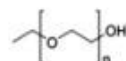
Carotin



Benzin (Octan)

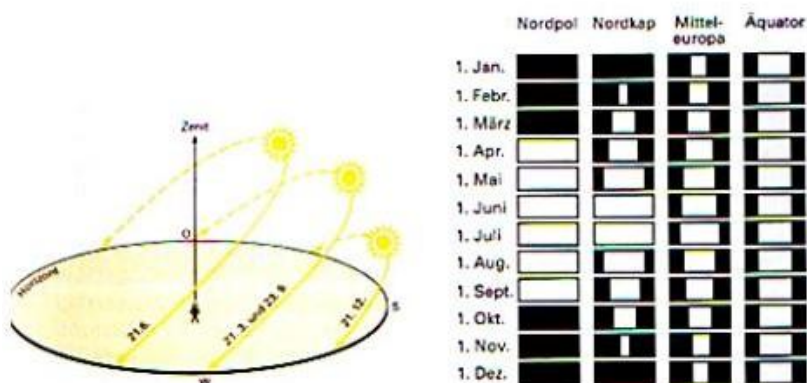


Petroleumether

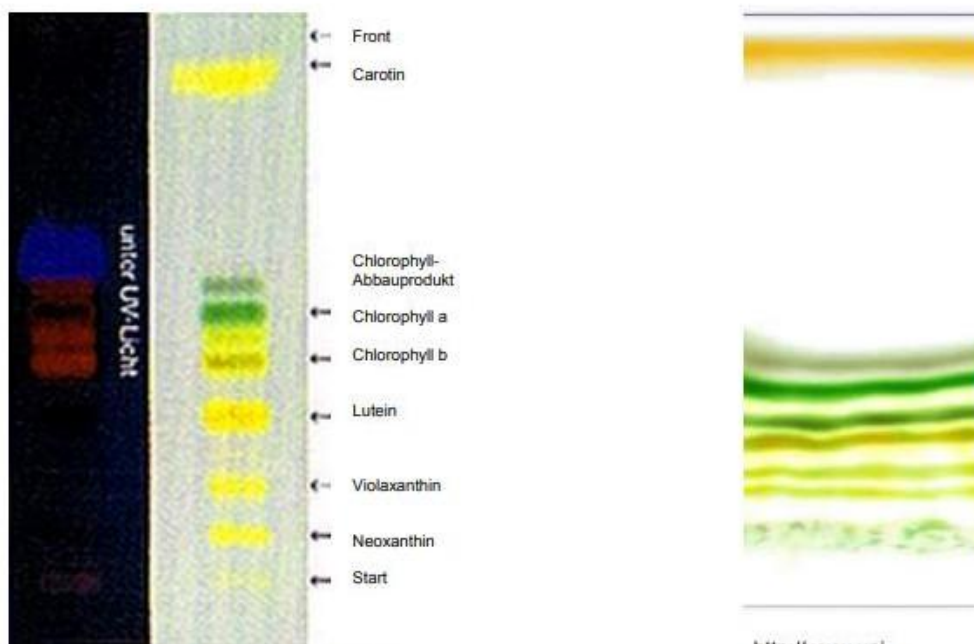


Aceton





Sonnenstandshöhen in Deutschland und Tageslängen in den mittleren Breiten und verschiedener Regionen der Erde (verändert nach Fundamente, Physische Geographie, Klett-Verlag)



Chromatogramm von Pigmentextrakt grüner Blätter  
(verändert nach Linder Biologie, Schroedel-Verlag)

[http://www.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/c-hembox/x\\_blat/blatt\\_2.htm](http://www.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/c-hembox/x_blat/blatt_2.htm)