

1 Einleitende Gedanken

Die Farbe Grün ist die Farbe des Lebens. Im Islam z.B. ist es einzig dem Kalifen als Nachfolger Mohammeds gestattet einen grünen Turban zu tragen. Grün steht für Hoffnung, Fruchtbarkeit und Lebendigkeit. Nach dem Winter, bedeutet das Aufkeimen der Saat den Erhalt des menschlichen Lebens. Im Mittelalter trugen Heilige oft grüne Mäntel als Zeichen der Barmherzigkeit. Der „grüne Mann“ stellte bei den Kelten den Gott der Fruchtbarkeit dar. Auch bei Goethe spielt „Grün“ eine wichtige Rolle, so lässt er sogar Mephistopheles in seinem „Faust“ den Wert dieser Farbe hervorheben: „Grau, teurer Freund, ist alle Theorie und grün des Lebens goldner Baum“. Der Ursprung dieser Vorstellung liegt in der Natur. Tatsächlich verhält es sich so, dass fast jede Pflanze Blätter mit variierenden Grüntönen besitzt. Doch worin liegt der Sinn dieser Färbung? Warum besitzen Pflanzen nicht die Farbe, die sie dem Boden nahezu unvergleichbar erscheinen lässt, was Tiere davon abhalten würde sich von diesem Gewächs zu ernähren? Die Blattfarbstoffe und deren Funktion sind Gegenstand dieser Facharbeit.

2 Extraktion der Farbstoffe aus den Pflanzenteilen

2.1 Vorversuch zur Bestimmung des Lösungsmittels

Um die einzelnen Farbstoffe zu isolieren, muss man erst das Farbstoffgemisch aus den Pflanzenzellen extrahieren. Hierzu müssen die Zellen mit Hilfe mechanischer Gewalt aufgeschlossen werden, das Farbstoffgemisch wird mit einem geeigneten Lösungsmittel aus den Zellen herausgelöst. Zur Bestimmung des am besten geeigneten Lösungsmittels wurde der Versuch jeweils mit Wasser, Aceton sowie Ethanol durchgeführt.

Versuchsbeschreibung: V_1

Eine kleine Menge eines beliebigen grünen Pflanzenblatts (hier stellvertretend Blätter des *Acer campestre*) wird mit einer Schere in dünne Streifen zerkleinert und mit Hilfe eines Stößels unter Zugabe von schwedischem Seesand, der sich aufgrund seiner Körnung am besten dazu eignet, im Mörser zerrieben. Zu dieser Masse wird das jeweilige Lösungsmittel gegeben und das Extrakt abfiltriert bzw. abgenutscht.

Versuchsergebnis: V_1

Das Extrakt mit dem Lösungsmittel Ethanol zeigt die stärkste Grünfärbung, was bedeutet, dass sich die Blattfarbstoffe in Ethanol am besten gelöst haben.

Gesamtergebnis: V_1

Da Ethanol als bestes Lösungsmittel feststeht, kann bereits jetzt eine Schlussfolgerung über die Polarität der Blattfarbstoffe getroffen werden. Aufgrund der schlechten Löslichkeit in Wasser und der besseren Löslichkeit in Ethanol als in Aceton, müssen Blattfarbstoffe einen generell unpolaren Charakter haben und zudem ein polares Ende besitzen, wobei der unpolare Anteil überwiegt.

2.2 Versuch zur Extraktion der Blattfarbstoffe des Ahorns, des Efeus, der Hainbuche und des Grasses

Um zu beweisen, dass alle grünen Pflanzen die gleichen Farbstoffe besitzen, müsste man die Versuche mit allen existierenden Pflanzen durchführen. Da dies technisch nicht möglich ist, habe ich statt dessen vier in der Natur vorkommende Pflanzenarten verwendet. Den Ahorn (*Acer campestre*), den Efeu (*Hedera helix*), die Hainbuche (*Carpinus-betulus*) und die in den Gärten am meisten verbreitete Pflanze, das Gras (*Lolium perenne*), dies ist die meistgenutzte Rasen-Graspflanze in Deutschland. Aus allen Exemplaren soll das Farbstoffgemisch extrahiert werden.

Versuchsbeschreibung: V_2

Ausgehend von V_1 werden alle vier verschiedenen Pflanzenblätter nach dem gleichen Verfahren zu einer Masse verarbeitet, anschließend wird Ethanol dazu gegeben und das Extrakt abgefiltert. Da Blattfarbstoffe äußerst lichtempfindlich sind muss das Gefäß mit dem Extrakt anschließend mit Aluminiumfolie vor Lichteinfall geschützt werden. Zudem wird das Gefäß bei Kühlung gelagert, um eine eventuelle Reaktion zu verlangsamen.

Versuchsergebnis: V_2

Man erhält das Extrakt des jeweiligen Blattfarbstoffes, wobei die Blätter unterschiedlich viel Farbstoff enthalten haben. Hierbei lag beim Gras der niedrigste Ertrag vor.

Gesamtergebnis: V₂

Die Substanzen reichen nach ihrer Beschaffenheit für einen qualitativen Nachweis aus, werden aber nicht zur quantitativen Isolierung reichen. Deshalb ist es notwendig ein konzentrierteres Präparat herzustellen.

2.3 Versuch zur Extraktion der Blattfarbstoffe der Gurke (*Cucumis*) und des Spinats (*Spinaciae*) sowie der Zitronenmelisse (*Melissa officinalis*)

Um ein besonders konzentriertes Präparat herzustellen, müssen Pflanzen mit Blättern ausgesucht werden, die eine starke Grünfärbung vorweisen. Hierbei sind die Gurke, der Spinat, sowie die Zitronenmelisse besonders gut geeignet.

Versuchsbeschreibung: V₃

Da die Gurke das Farbstoffgemisch in der Schale konzentriert, wird diese zuerst mit einem Messer abgeschält. Wieder wird nach dem gleichen Verfahren wie schon in V₁ und V₂ beschrieben gearbeitet. Da Blattfarbstoffe äußerst lichtempfindlich sind muss das Gefäß mit dem Extrakt anschließend mit Aluminiumfolie vor Lichteinfall geschützt werden. Zudem wird das Gefäß bei Kühlung gelagert, um eine Reaktion zu verlangsamen.

Versuchsergebnis: V₃

Die Gurke sowie der Spinat erwiesen sich als unbrauchbar, da sie bei wiederholtem Versuch kein brauchbares Extrakt lieferten. Trotz Verwendung eines Pürriergerätes ließen sich die Zellen nicht aufschließen und das Lösungsmittel/Substanzgemisch konnte auch unter Verwendung einer Nutschvorrichtung nicht abfiltriert werden. Die Zitronenmelisse aber erwies sich als nutzvoll, da hier ein sehr konzentriertes Extrakt hergestellt werden konnte.

Es liegen nun fünf brauchbare Vergleichssubstanzen vor: Ahorn, Efeu, Hainbuche, Gras und Zitronenmelisse.

3 Chromatographische Trennung der einzelnen Bestandteile

3.1 Theoretische Grundlagen der Chromatographie

Um das Farbstoffgemisch in seine einzelnen Bestandteile zu trennen bedarf es einer Trennmethode: der Chromatographie. Unter dem Begriff Chromatographie werden physikalische Methoden zusammengefasst, bei denen eine Stofftrennung durch Verteilung zwischen einer ruhenden (stationären) und einer sich bewegenden (mobilen) Phase erfolgt.

Generell unterscheidet man zwischen zwei Hauptgruppen:

- a) die Adsorption als Verteilung an der Oberfläche eines Feststoffes als stationärer Phase
- b) die Verteilung als Lösungsvorgang in beiden, miteinander nicht mischbaren Phasen

Zur Trennung der Blattfarbstoffe wurden die zur Adsorptionschromatographie gehörige Dünnschichtchromatographie (DC), die Papierchromatographie (PC) sowie die Säulenchromatographie (SC) verwendet.

3.1.1 Die Dünnschichtchromatographie (DC)

Ihre Vorteile sind der geringe apparative Aufwand bei einem vergleichbaren Erfolg zu anderen Trennmethoden. Sie dient vor allem der qualitativen Trennung da eine quantitative Trennung hier einen erhöhten Einsatz von Material fordern würde. Als Beschichtung der Aluminium-, Glas- oder Plastikplatten dient normalerweise ein Material (vor allem Kieselgel) der Körnung 2-6 μ m. Die Trennung wird in der so genannten Trennkammer, zumeist ein rechteckiges verschließbares Glasgefäß, durchgeführt. Es gibt verschiedene Methoden der DC, zu nennen sind hier die aufsteigende DC, die absteigende sowie die horizontale DC. Zur Trennung der Blattfarbstoffe wurde nur die aufsteigende DC verwendet. Unter Adsorption versteht man eine Grenzflächenreaktion zwischen einem gelösten und einem festen Stoff. Die Idee der Adsorptionschromatographie ist, dass verschiedene Stoffe eine unterschiedlich starke Reaktion mit der Oberfläche der stationären Phase eingehen. Die Stoffe werden nur physikalisch an die Phasengrenzfläche gebunden, was reversibel ist und nach einer bestimmten Zeit wieder gelöst werden. Die Zeit, für die ein bestimmter Stoff gebunden bleibt ist von seiner Beschaffenheit abhängig. Somit werden im Stoffgemisch die Einzelbestandteile unterschiedlich schnell „wandern“, was eine Trennung möglich macht. Das Chromatogramm wird abgebrochen, sobald die

Laufmittelfront das Plattenende erreicht hat. Wenn man verschiedene Stoffgemische auf identische Bestandteile testen möchte, orientiert man sich am so genannten R_f -Wert

$$R_f \text{ Wert} = \frac{\text{Entfernung der Substanz vom Start}}{\text{Entfernung der Laufmittelfront vom Start}}$$

Bei identischen Voraussetzungen muss der R_f -Wert bei gleichen Stoffen identisch sein.

3.1.2 Die Säulenchromatographie

Die Säulenchromatographie entspricht im wesentlichen der DC. Die SC ist besser dafür geeignet das zu trennende Gemisch in seine einzelnen Fraktionen zu zerlegen, da hier die einzelnen Banden einfach durchlaufen und am Säulenende aufgefangen werden können. Im Gegensatz zur DC wird hier aber ein größerer materieller Aufwand nötig. Zehn cm einer DC entsprechen ca. einem Meter bei einer SC. Die Substanzen werden hier mithilfe zweier Techniken aufgetragen:

- a) Die Frontaltechnik, bei der das Substanzgemisch kontinuierlich in der mobilen Phase gelöst auf die Säule gegeben wird; Sie dient der groben Trennung der Hauptbestandteile
- b) Die Verdrängungstechnik, bei der der zugegebene Stoff die mobile Phase verdrängt und somit die Fraktionen „schiebt“;

3.1.3 Die Papierchromatographie

Die PC verhält sich nahezu identisch zur DC ist aber historisch gesehen die Ältere. Sie benötigt keinen Träger und ist deshalb manchmal von Vorteil.

3.2 Versuche zur Trennung der Blattfarbstoffe mithilfe der Papierchromatographie

3.2.1 Fließmittel Butanol, Eisessig, Wasser 8/1/1

Versuchsbeschreibung: V_4

Im Abstand von je 3 cm werden die Farbstoffextrakte des Ahorns, des Efeus, der Hainbuche und des Grases auf die Startlinie auf dem Chromatographiepapier aufgetragen. Nun gibt man in die Trennkammer ein Fließmittelgemisch aus Butanol,

Eisessig und Wasser, im Verhältnis 8/1/1. Die Füllhöhe sollte ca. 1-2 cm betragen und deutlich unter der Höhe der Startlinie liegen. Nun gibt man die präparierte Platte in die Kammer, verschließt sie und verdunkelt das Ganze mithilfe von Aluminiumfolie. Von Zeit zu Zeit überprüft man den Stand der Laufmittelfront und sobald diese weit genug „gewandert“ ist, dass eine vollständige Trennung ersichtlich ist, wird der Versuch abgebrochen. Die Platte wird zur Sicherung der Ergebnisse unverzüglich mit Hilfe einer Digitalkamera archiviert, da die Farbstoffe schnell verblassen.

Versuchsergebnis: V₄

Die Laufmittelfront ergibt keine einheitliche Linie, die Farbstoffe haben sich nicht getrennt. Dieser Versuchsaufbau ist unbrauchbar für die Trennung von Blattfarbstoffen

3.2.2. Fließmittel Petrolether, Aceton 7/3

Versuchsbeschreibung: V₅

Nach dem Verfahren V₄ wird der Versuch erneut mit dem Fließmittel Petrolether, Aceton im Verhältnis 7/3 durchgeführt. Die Platte wird zur Sicherung der Ergebnisse unverzüglich mit Hilfe einer Digitalkamera archiviert.

Versuchsergebnis: V₅

Auch hier findet keine hinreichende Trennung statt, die PC ist für die Trennung von Blattfarbstoffen unbrauchbar.

3.3 Versuche zur Trennung der Blattfarbstoffe mithilfe der Dünnschichtchromatographie

3.3.1 Fließmittel: Butanol, Eisessig, Wasser 8/1/1

Versuchsbeschreibung: V₆

Im Abstand von je 3 cm werden die Farbstoffextrakte des Ahorns, des Efeus, der Hainbuche und des Grases auf die Startlinie auf der DC- Platte aufgetragen. Nun gibt man in die Trennkammer ein Fließmittelgemisch aus Butanol, Eisessig und Wasser, im Verhältnis 8/1/1. Nun gibt man die präparierte Platte in die Kammer, verschließt sie

und verdunkelt das Ganze mithilfe von Aluminiumfolie. Die Platte wird zur Sicherung der Ergebnisse mit einer Digitalkamera archiviert.

Versuchsergebnis: V_6

Die Laufmittelfront ergibt keine einheitliche Linie (Bild 1), die Farbstoffe haben sich nicht getrennt. Dieser Versuchsaufbau ist unbrauchbar für die Trennung von Blattfarbstoffen.

3.3.2 Fließmittel Methanol, Aceton, Wasser 15/5/1

Versuchsbeschreibung: V_7

Nach dem bereits beschriebenen Versuchsverfahren wird der Versuch mit dem Fließmittelgemisch Methanol, Aceton und Wasser im Verhältnis 15/5/1 durchgeführt.

Versuchsergebnis: V_7

Es erfolgt eine Trennung (Bild 2) bei der die Banden aber zu sehr verschmieren und somit nicht als Einzelbereiche festgelegt werden können.

3.3.3 Fließmittel: Petrolether, Aceton 7/3

Versuchsbeschreibung: V_8

Erneut wird der bereits beschriebene Versuch durchgeführt, wobei diesmal das Fließmittelgemisch Petrolether, Aceton im Verhältnis 7/3 seine Verwendung findet.

Versuchsergebnis: V_8

Das Farbstoffgemisch hat sich deutlich erkennbar in drei Fraktionen getrennt (Bild 3). Diese Fraktionen liegen bei allen vier Pflanzenarten auf der gleichen Höhe, haben also den gleichen R_f -Wert. Es liegt jeweils eine orange, eine grüne und eine gelbe Bande vor. Da diese jeweils den gleichen R_f -Wert besitzen, handelt es sich um gleiche Stoffe. Demzufolge enthalten alle Pflanzenblätter die gleichen Blattfarbstoffe und man kann nun mit einer der Substanzen die weiteren Versuche zur Isolierung vornehmen.

3.3.4 Vergleichsversuch Gurke, Spinat, Zitronenmelisse mit den bisherigen Substanzen

Versuchsbeschreibung: V₉

Im Abstand von je 3 cm werden die Farbstoffextrakte des Ahorns, des Efeus, des Spinats, der Gurke und der Zitronenmelisse auf die Startlinie auf der DC- Platte aufgetragen. Nun gibt man in die Trennkammer ein Fließmittelgemisch aus Petrolether und Aceton im Verhältnis 7/3. Die Füllhöhe sollte ca. 1-2 cm betragen und deutlich unter der Höhe der Startlinie liegen. Nun gibt man die präparierte Platte in die Kammer, verschließt sie und verdunkelt das Ganze mithilfe von Aluminiumfolie. Das Ende des Versuchs wird wie oben beschrieben bestimmt. Die Platte wird zur Sicherung der Ergebnisse unverzüglich mit Hilfe einer Digitalkamera archiviert.

Versuchsergebnis: V₉

Erneut liegen die Banden der einzelnen Farbstoffbestandteile auf der gleichen Höhe (Bild 4). Daraus folgt, dass sowohl die Gurke, der Spinat als auch die Zitronenmelisse geeignete Präparate für die anschließende Isolierung der Blattfarbstoffe sind, da sie die gleichen Stoffe enthalten, die bereits bei den vorhergehenden Versuchen festgestellt wurden.

3.4 Versuche zur Isolierung der Fraktionen mithilfe der Säulenchromatographie

Da alle getesteten Blätter die gleichen Farbstoffe enthalten wird die Isolierung der Blattfarbstoffe mit dem Präparat durchgeführt, von dem die größte Menge vorhanden ist: der Zitronenmelisse.

3.4.1 Vorversuch mit Kieselgel 60, Glasrohr und Petrolether, Aceton 7/3

Versuchsbeschreibung: V₁₀

Ein Glasröhrchen wird mit Kieselgel 60 gefüllt. Anschließend werden ein paar Tropfen des Präparats auf die Säule gegeben. Das Röhrchen wird mit einer Muffe an einem Ständer fixiert. Auf die Säule wird kontinuierlich ein Gemisch aus Petrolether und Aceton im Verhältnis 7/3 gegeben. Sobald das Fließmittel das Ende des Röhrchens erreicht, wird der Versuch abgelesen.

Versuchsergebnis: V₁₀

Das Präparat hat sich bereits auf dieser kurzen Strecke getrennt (Bild 5). Die SC erscheint dadurch als geeignet die Blattfarbstoffe in einzelne Fraktionen zu trennen.

3.4.2 Säulenfüllung Kieselgel 100, stationäre Phase Petrolether, Aceton 7/3, mobile Phase Petrolether, Aceton 7/3

Versuchsbeschreibung: V₁₁

In eine trockene Säule wird bis zur Hälfte Kieselgel 100 eingefüllt und dies mit Petrolether, Aceton 7/3 aufgeschlemmt. Die Suspension wird gleichmäßig in der Säule verteilt. Nun lässt man das Lösungsmittel abfließen, bis es nur wenige mm über der Füllung steht. Nun wird das Präparat auf die Füllung pipettiert und anschließend weiteres Lösungsmittel vorsichtig hinzu gegeben. Man lässt das Lösungsmittel so lange durchlaufen, bis die Farbstoffe nacheinander aus der Säule treten (Bild 7). Diese Fraktionen werden einzeln in Reaktionsgläsern aufgefangen. Während des Versuches wird die Säule erneut mit Aluminiumfolie vor Lichteinfall geschützt.

Versuchsergebnis: V₁₁

Man erhält fünf Fraktionen (Bild 6), die in dieser Reihenfolge: bläulich-grün, grün, orange, orange-gelb und gelb sind.

3.4.3 Säulenfüllung Kieselgel 100, stationäre Phase Chloroform, mobile Phase Petrolether, Aceton 7/3

Zur Isolierung wird das Gemisch auf eine weitere Weise getrennt.

Versuchsbeschreibung: V₁₂

In eine trockene Säule wird bis zur Hälfte Kieselgel 100 eingefüllt und dies mit Chloroform aufgeschlemmt. Die Suspension wird gleichmäßig in der Säule verteilt. Das Lösungsmittel wird wieder bis zum Stand von wenigen mm über der Säulenfüllung abgelassen. Nun wird das Präparat auf die Füllung pipettiert und anschließend Petrolether, Aceton 7/3 vorsichtig hinzu gegeben. Man lässt das Lösungsmittel so

lange durchlaufen, bis die Farbstoffe nacheinander aus der Säule treten. Die Fraktionen werden wie beschrieben aufgefangen.

Versuchsergebnis: V_{12}

Man erhält fünf Fraktionen (Bild 8), die in dieser Reihenfolge: bläulich-grün, grün, orange, orange-gelb und gelb sind.

Gesamtergebnis: V_{11} und V_{12}

Da jeweils die gleichen Fraktionen auftreten kann man diese als Bestandteile des grünen Blattfarbstoffes ansehen.

4 Funktion der Blattfarbstoffe

Generell ist die Funktion der Blattfarbstoffe, die Energie des Lichts für die Pflanze nutzbar zu machen. Darauf weist bereits ihre Farbigkeit hin, diese bedeutet, dass Licht bestimmter Wellenlängen absorbiert werden muss.

4.1. Arten der Blattfarbstoffe

Die erhaltenen Fraktionen lassen sich in drei Farbgruppen einteilen: grün, orange und gelb. Bei den grünen Farbstoffen handelt es sich um Chlorophyll (Chl), bei den orangefarbenen und gelben Substanzen handelt es sich um Carotinoide, die orange Bande steht für das Carotin, die gelben Fraktionen stehen für die Xanthophylle.

Die photosynthetisch aktiven Pigmente sind alle in den Chloroplasten enthalten. Zusätzlich findet man vor allem Herbst in Blättern rotes bis purpurfarbendes Anthocyan. Dieses hat jedoch keine photosynthetische Wirkung. [26]

4.1.1 Eigenschaften von Chlorophyll

Chlorophyll besteht aus einem Porphyrinringssystem mit einem Magnesiumion (Mg^{2+}) als Zentralion. Die Struktur ist grundsätzlich mit dem Hämoglobin, dem roten Blutfarbstoff verwandt. Man beachte das System alternierender Doppelbindungen, das durch die vier stickstoffhaltigen 5er-Ringe (Pyrrol) gebildet wird. Chl a und b unterscheiden sich nur durch einen Substituenten. Die Lichtabsorption erfolgt im blauen (um 440 nm) und roten (um 662nm) Spektralbereich des sichtbaren Lichts. [26]

Im grün gelben Bereich absorbiert das Chlorophyll fast nicht, das ist auch der Grund, weshalb es uns grün erscheint.

4.1.2 Eigenschaften von Carotin

Carotine sind Tetraterpene. Wiederum sind die alternierenden Doppelbindungen auffällig. Das wichtigste Carotin ist das β -Carotin. Die Lichtabsorption erfolgt im blauen bis grünen Spektralbereich des sichtbaren Lichts. (β -Carotin zwischen 415 und 500nm)

4.1.3 Eigenschaften von Xanthophyllen

Xanthophylle sind die Oxidationsprodukte der Carotine, die wichtigsten Xanthophylle sind Zeaxanthin, Violaxanthin und Lutein. Sie absorbieren das Licht, ähnlich wie bei Carotin, zwischen einer Wellenlänge von 420 und 500 nm.

4.2 Bedeutung der Blattfarbstoffe für die Pflanze

Alle Photosynthesepigmente haben die Gemeinsamkeit, dass sie zahlreiche konjugierte Doppelbindungen besitzen. Dies führt zur sog. Delokalisation von π -Elektronen. π -Elektronen sind energiereicher und daher leichter zu bewegen; sie sind in einem photochemischen Prozess reaktionsfähiger. Durch die ständige "Schwingung" der π -Elektronen zwischen ihren energetischen Grenzzuständen wird elektromagnetische Strahlung absorbiert. Liegt nur eine Doppelbindung vor, absorbiert das Molekül im UV-Bereich. Das Vorliegen mehrerer bis vieler Doppelbindungen führt zur Absorption von sichtbarem Licht. [16]. Die Aufgabe der Blattfarbstoffe ist es nun dieses absorbierte Licht für die Pflanze nutzbar zu machen. Dieser Prozess heißt Photosynthese. Die verschiedenen Blattfarbstoffe haben für die Photosynthese und somit für die Pflanze verschiedene Bedeutungen:

Chlorophyll a ist an den Photosystemen P680 und P700 beteiligt.

Chlorophyll b ist ein akzessorisches Pigment, da es nicht selbst Bestandteil der Photosynthesekette ist, sondern nur den Wirkungsgrad beim Einfangen von Lichtquanten erhöht.

Die Carotinoide sind ebenfalls akzessorische Pigmente und dienen nur als Zulieferung indem sie die Absorptionslücken des Chlorophylls auffüllen und somit ein größeres Spektrum abdecken.

4.3 Photosynthese

Die Photosynthese geht über eine Vielzahl von Reaktionsschritten. Die Funktion der Blattfarbstoffe findet aber nur in der Lichtreaktion statt, weshalb die Dunkelreaktion hier nicht angeführt wird. Die Produkte der Lichtreaktion sind einerseits das energieliefernde ATP aber vor allem das für die Dunkelreaktion benötigte NADPH/H⁺. Der Vorgang geht vom NADP⁺ aus, die Elektronen werden also „angesogen“. Diese Beschreibung geht den Weg aber von unten nach oben, da dies so leichter zu beschreiben ist.

Photonen spalten Wasser in Protonen (H⁺) und Sauerstoff (O₂), der als Gas entweicht. Zudem werden zwei Elektronen an das Chlorophyll a gegeben.

4.3.1 Photosystem P680 (Photosystem 2)

Da Wasser bereits ein äußerst niedriges Redoxpotential aufweist braucht es einen Stoff der ein noch niedrigeres Redoxpotential vorweisen kann: das Chlorophyll. Dieses nimmt ein Elektron auf. Wie man bereits aus dem niedrigen Redoxpotential schließen kann tendiert das Chlorophyll nicht dazu das Elektron abzugeben. Wird nun das Chlorophyll mit Licht der Wellenlänge 680 belichtet, hebt das Photon das Elektron auf einen energiereicheren Zustand. (Das funktioniert auch mit Blaulicht, hier aber fallen die angeregten Elektronen wieder auf den Zustand zurück, den sie bei Rotlicht erreichen.) Hierzu dient die sogenannte photosynthetische Einheit, ein komplexes aus Proteinen und Pigmenten bestehendes Gebilde, das mit Hunderten von Chlorophyllmolekülen als Antenne oder „Lichtfalle“ wirkt. In diesem Zustand besitzt das Chlorophyll ein größeres Redoxpotential und gibt das Elektron nun leicht an die nächste Stufe des Transportsystems. Dies ist die Übertragung des freigesetzten Elektrons auf das Pigment Phaeophytin Plastochinon (Qa) und Chinon (Qb) als primäre und sekundäre Elektronenakzeptoren unter Beteiligung von Manganionen (Mn²⁺), Chloridionen (Cl⁻) und Kalziumionen (Ca²⁺). Während Qa fest an die Membran gebunden ist, kann Qb sich frei zwischen den Proteinen bewegen, wenn es zwei Elektronen aufgenommen hat. Damit aus Qb ein Qb²⁻-Ion wird, muss der Absorptions-Oxidationsprozess am P 680 zweimal durchlaufen werden. Die Aufnahme von zwei Protonen aus dem Chloroplastenstroma führt zur Neutralisation von Qb. Das auf diese Weise neutralisierte Qb (es ist noch nicht reduziert, denn es hat Protonen zwar

aufgenommen, aber keine Elektronen abgegeben) wandert nun zu einem weiteren Elektronenakzeptor, einem Chinon und gibt dort seine beiden Elektronen ab. [16] Vom Plastocyanin aus geht es dann weiter zum Photosystem P700.

4.3.2 Photosystem P700 (Photosystem 1)

Hier wird das Chlorophyll erneut nach Aufnahme des Elektrons belichtet. Diesmal aber mit Licht der Wellenlänge 700nm. Es kommt zum angeregten Zustand, das Chlorophyll gibt das Elektron wieder an den weiteren Transportweg ab. Der Elektronenakzeptor ist diesmal Ferredoxin, von dem aus sich nun zwei alternative Wege bieten. Die Elektronen können über das Cytochrom zurück auf das Plastocyanin übergehen und durch das Gefälle ATP aus ADP und P bilden oder statt dessen NADP^+ zu NADPH/H^+ reduzieren, das dann in der Dunkelreaktion weiter verwendet wird.

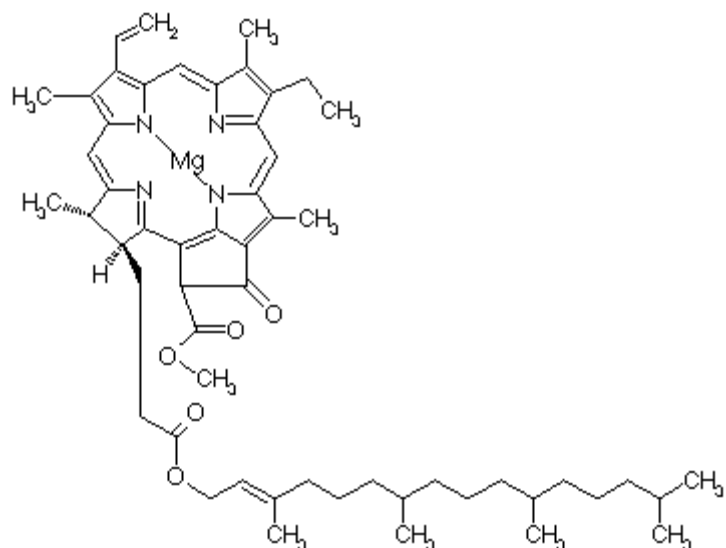
5 Dreidimensionale Darstellung der Moleküle mithilfe des Programms RASMOL

Vor genau 10 Jahre entstand Rasmol, das wohl am meisten verbreitete Molekülvisualisierungsprogramm. Der Name Rasmol leitet sich aus den beiden Begriffen RASter (damit ist das Speicherfeld der Pixel auf einem Bildschirm gemeint) und MOLEcules (Moleküle) ab. 1989 begann ein Student des Imperial College in London - Roger Sayle - ein Programm zu entwickeln, das plastische 3D-Darstellungen von Molekülen darstellen und sogar schnell bewegen (rotieren, verschieben, zoomen) kann.

5.1 Darstellung des Chlorophyll a- Moleküls

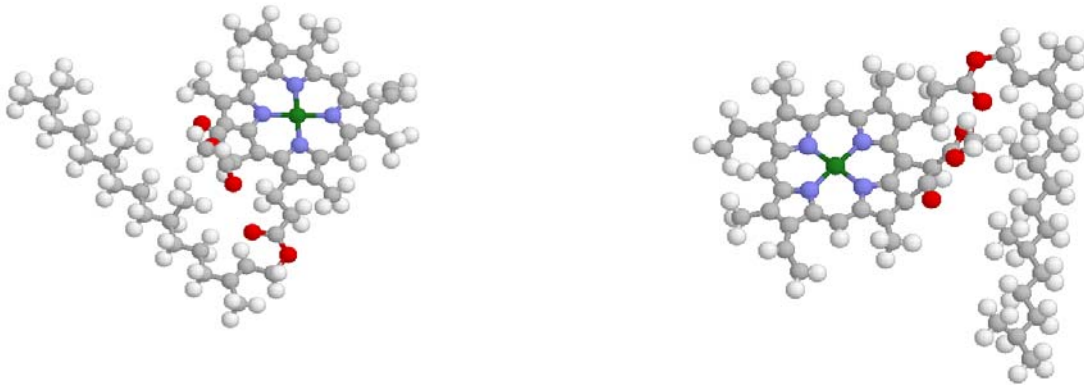
Struktur:

Abb.1



C05306

Dreidimensionale Darstellung:



5.2 Darstellung des Chlorophyll b- Moleküls

Struktur:

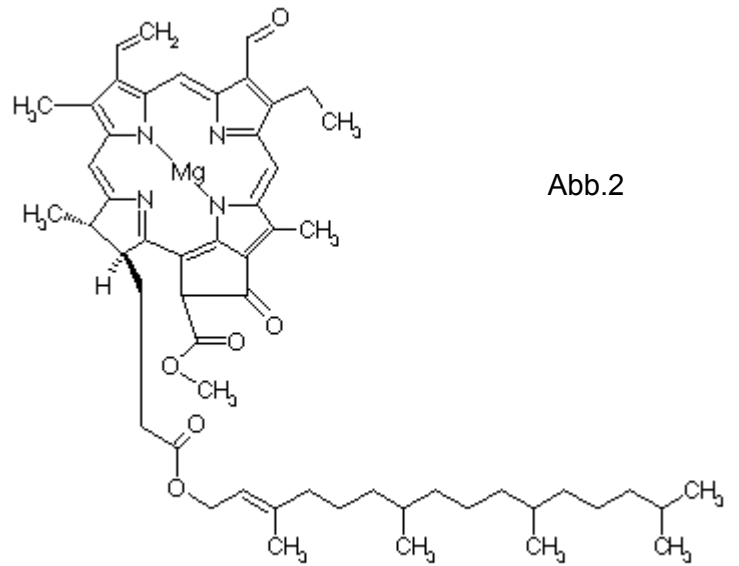
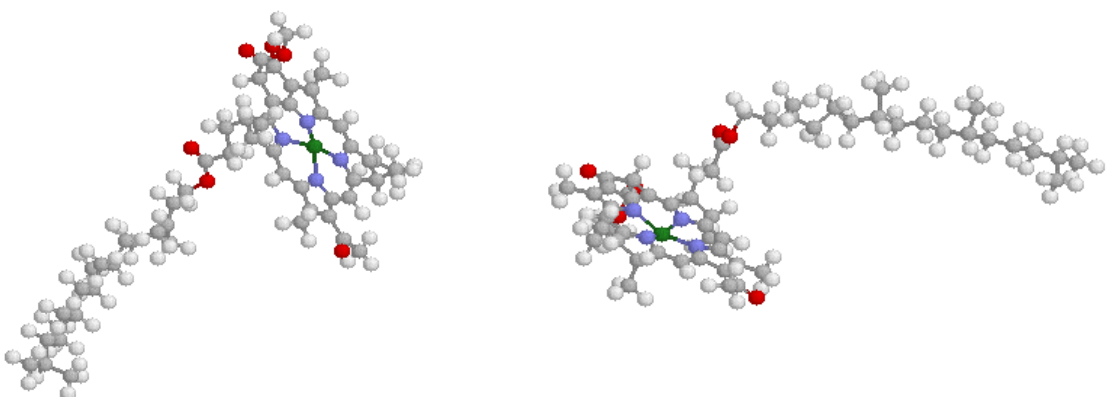


Abb.2

C05307

Dreidimensionale Darstellung:



5.3 Darstellung des β -Carotin- Moleküls als Vertreter der Carotine

Struktur:

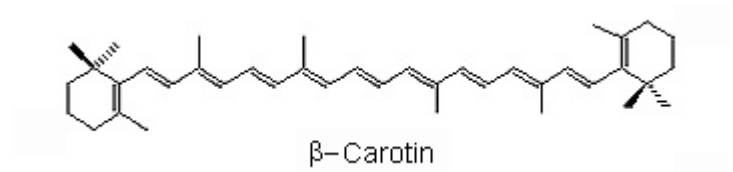
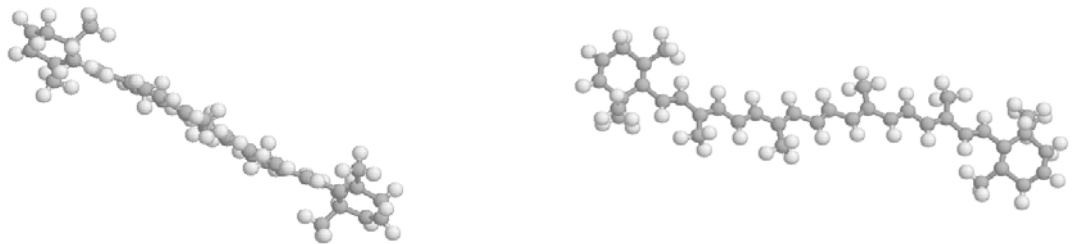


Abb.3

Dreidimensionale Darstellung:



5.4 Darstellung des Zeaxanthin- Moleküls als Vertreter der Xanthophylle

Struktur:

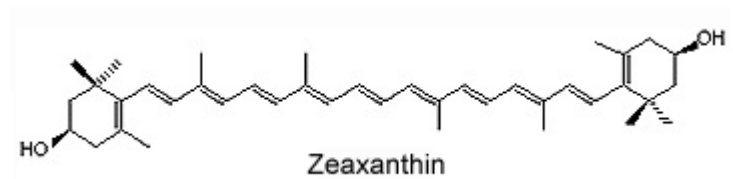
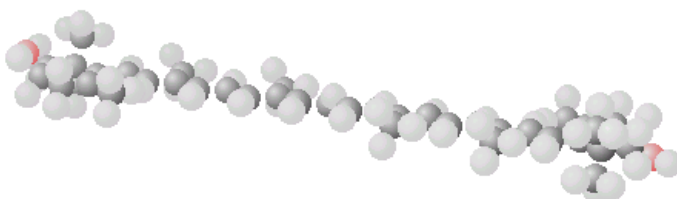
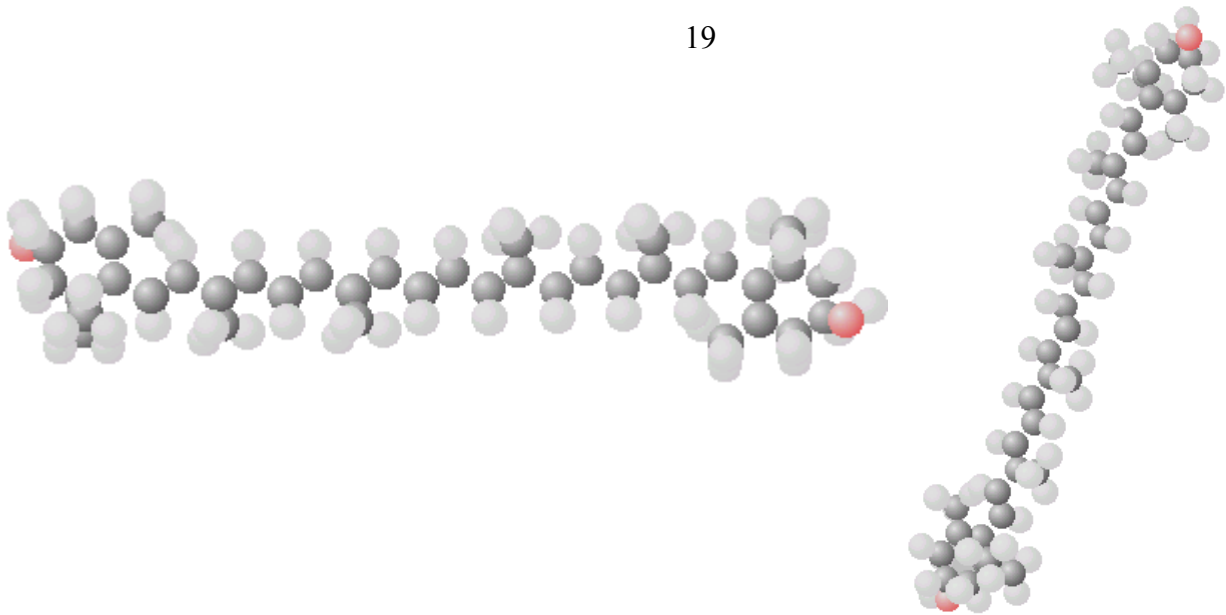


Abb.4

Dreidimensionale Darstellung:





6 Waldsterben: Bedeutung der Säureinstabilität der Blattfarbstoffe für die Umwelt

Ungefähr dreißig Prozent der Fläche Deutschlands sind mit Wald bedeckt. Dies entspricht 35 Milliarden Bäumen. Der Wald erfüllt für die Umwelt und ihre Bewohner eine Vielzahl wichtiger Funktionen: Klimakontrolle, indem der Wald einen Windwiderstand bildet oder Bodenerosion verhindert. Als Sauerstofflieferant oder Lärmschutz, die Bedeutung des Waldes ist immens. Dennoch herrscht seit den siebziger Jahren in Deutschland das Waldsterben. fünfundsechzig Prozent des deutschen Waldes sind geschädigt. Die Hauptursachen für das Waldsterben sind die von der Industrie oder den Haushalten abgegebenen Gase: Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenmonoxid (CO) oder Stickstoffoxide (N_xO_y) bilden als Emissionen mit Wasser Säuren: den sauren Regen. Diese Säuren greifen die Blattfarbstoffe in den Blättern der Bäume und Sträucher an und zerstören diese. Die Pflanze kann nunmehr keine Photosynthese mehr betreiben und geht zu Grunde. Ein solch kleines Detail in den Eigenschaften der Blattfarbstoffe kann zu solch verheerenden Folgen führen. Dies lässt erkennen, wie bedeutend die Blattfarbstoffe nicht nur für die Pflanze sind, sondern welchen Einfluss dies auf das Leben aller hat.