

Organischer Experimentalvortrag im
Lehramtsstudium Chemie

Gefiederfarben



Von
Michael Wieber

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Themenrelevante Definitionen	3
Historischer Überblick über das Thema	4
Auswahlkriterien für eine exemplarische Federsorte	4
Exogene Pigmentierung	6
Extraktion des gelben Pigments	7
Die Beziehung zwischen exogenen Pigmenten und der Nahrung	9
Carotine	10
Xanthophylle	11
Lumineszenzverhalten von Carotinoiden	
12	
Chromatographie von Federextrakt u.a.	13
Einlagerungsvarianten	14
Verhalten von Carotinoiden	15
Strukturfarben	16
Schillern	16
Reflexion	17
Endogene Pigmentierung	18
Bildung von Eumelanin	19
Extraktion von Melaninen	20
Kristallisation von Melanin	20
Bedeutung der Melanine	22
Defekte der endogenen Pigmentierung	23
Phenylketonurie	23
Schlußbetrachtung	24
Literaturverzeichnis	25

Themenrelevante Definitionen

Zur Einleitung in das Thema Gefiederfarbe seien an den Anfang zwei Definitionen gestellt. Zum einen muß zunächst erklärt werden, worum es sich bei dem Gefieder oder den daraus bestehenden Federn handelt. Ferner sei eine Erklärung gegeben, was man im chemischen Sinne unter dem Begriff der Pigmentierung versteht, wenn man von den Farben der Federn im eigentlichen Sinne spricht.

Federn

Federn kommen ausschließlich bei der Tiergattung „Vogel“ vor keine andere Spezies vermag seinen Körper mit diesen Gebilden bedecken. Es handelt sich hierbei um tote, verhornte Zellen der Epidermis. Diese Hautanhangsgebilde leiten sich stammesgeschichtlich von den Schuppen der Reptilien ab. Sie bestehen aus Keratin, dem Gerüst, und Pigmenten, die in das Gerüst eingelagert sind. Rein funktional beinhalten sie den Schutz vor Kälte und vor Sonneneinstrahlung. Ferner, und dies ist diesen Tieren auch alleine zu eigen, ermöglichen Federn die Fortbewegung in der Luft, was in einzelnen Fällen mit der Erzeugung von Instrumentallauten verbunden sein kann.

Pigmente

Der Begriff Pigment leitet sich von dem lateinischen Wort „pigmentum“ ab und bedeutet „Farbe“. Es ist also eine Verdoppelung, wenn man von Farbpigmenten spricht. Pigmente sind Färbungen der Haut im engeren Sinne oder der erweiterten Hautanhangsgebilde. Man unterscheidet prinzipiell drei Gruppen von Pigmenten:

- ➔ die Strukturfarben, die sich in Form von Schillern und Reflexion zeigen
- ➔ die endogenen Pigmente, die im Körper entstanden sind, in so genannten Chromatophoren und Allophoren, das sind bestimmte Zellen, gebildet werden
- ➔ die exogenen Pigmente, die von außen in oder auf den Körper gebracht werden.

Historischer Überblick über das Thema

Betrachtet man sich den Forschungsbereich der Gefiederfarben, so muß man erkennen, daß dieses Gebiet nur partiell interessant erscheint. Zwar werden einzelne Punkte hiervon untersucht, aber eine ganzheitliche Untersuchung der Thematik findet sich nicht.

Dennoch lassen sich zwei große zeitliche und regionale Räume feststellen, in denen das Thema „Gefiederfarben“ in der Forschung erscheint.

Dies ist einerseits der Zeitraum von 1930-40 in Deutschland, wo der Gießener Professor Otto Völker Untersuchungen über das chemische und physikalische Verhalten der gelben Farbe in Vogelfedern unternommen hatte. Es sind aus dieser Zeit einige Bilder bekannt, die einige Wellensittiche zeigen, die beim Photographieren mit UV-Licht beleuchtet wurden, so daß nur die Federn der Körperteile zu sehen sind, die gelbe Pigmente enthalten. Ferner ist hier sein Marburger Kollege H. Duncker zu nennen, der sich insbesondere mit der Genetik und der Beziehung zwischen Farbe und Vererbung befaßte.

Der bereits oben genannte zweite Forschungsbereich ist zwischen 1960-70 anzusiedeln, denn hier beschäftigten sich die beiden Engländer T. G. Taylor und C. Warner mit der Farbentstehung und Verteilung der Pigmente. Zusätzlich erarbeiteten G. Prota und R. H. Thomson die Grundlagen für die Erforschung der Melanin-Pigmentierung in Federn.

Auswahlkriterien für ein exemplarisches Beispiel

Um nun eine Grundlage für meinen Vortrag zu legen, stand am Anfang die Frage, welche Vogelart sich als Exempel eigentlich eignen könnte. Deshalb waren ein paar Vorüberlegungen nötig, die in den folgenden Auswahlkriterien für eine exemplarische Vogelart zusammengefaßt sind:

1. Die Beschaffung des zu untersuchenden Federmaterials muß gewährleistet sein. Sowohl die Menge als auch die Art und Weise der Entnahme sollte problemlos verlaufen.
2. Die ausgewählte Vogelart sollte eine möglichst große Bandbreite des Farbspektrums zeigen, Farben von gelb bis rot, grün/blau, braun/schwarz sollten, falls möglich, vorhanden sein.
3. Verweise zu anderen Vogelarten sollten machbar sein.

Ergebnis

Es kann sich bei der Vogelart nur um ein Haustier handeln, das jedoch exotisch sein muß, da die einheimischen Vogelarten nur gedeckte Farben, wie Schwarz- und Brauntöne zeigen. Die Vogelart soll das Federkleid regelmäßige wechseln. Somit war das Ergebnis der Wellensittich, der aufgrund seiner Farbe und seiner Domestikation weit verbreitet ist und häufig „mausert“.

Der Wellensittich

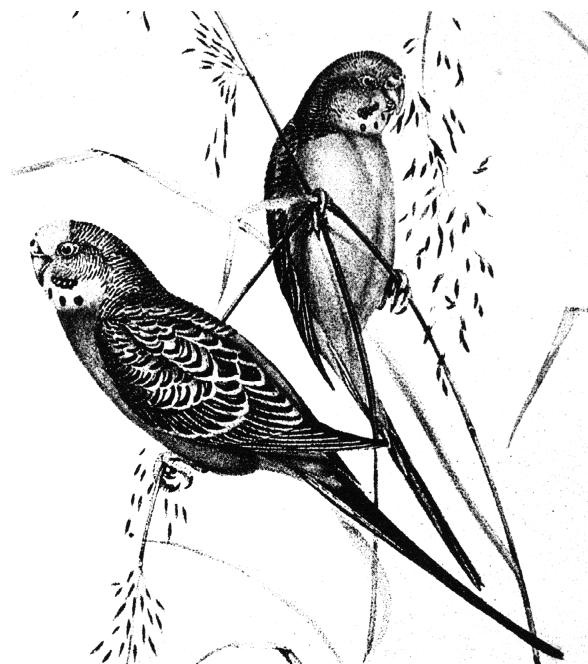
An dieser Stelle sollen ein paar Gedanken zu dem Wellensittich unterbreitet werden.

Die lateinische Bezeichnung ist *Melopsittacus undulatus*, er ist ursprünglich in Australien beheimatet.

In der Wildfarbe zeigt sein Gefieder zwar nur grün mit gelbem Kopfgefieder und schwarzbrauner Zeichnung, in der Zeit seiner Domestikation hat er jedoch bis auf Rot und Orange nahezu alle Farben des Spektrums erhalten.

Seine Ersteinfuhr nach Europa wird auf das Jahr 1840 festgesetzt, als er von J. Gould, einem Engländer, auf unseren Kontinent gebracht wurde.

Neben den Farbmutationen erfolgte im Laufe der Domestikation aber auch eine Änderung der Federstruktur, so daß die heutigen Tiere größer als ihre wild lebenden Artgenossen erscheinen.



Exogene Pigmentierung

Zunächst werde ich die Gruppe der exogenen Pigmentierung erläutern, die wie am Anfang bereits angedeutet nur von außen in den Körper gebracht wird und von dort aus in den Federn abgelagert werden kann.

Generell besteht die Nahrung der Vögel aus Körner, den so genannten Grassaaten wie zum Beispiel verschiedenen Hirsesorten, Mineralien und Grünfutter, in Form von frischen Grünpflanzen. Sie gelangen über den Verdauungstrakt, wo die Nahrung aufgearbeitet wird und für den Organismus verwertbar gemacht wird, in die neu zu bildenden Federn. Sind diese erst einmal voll ausgebildet können keine weiteren Pigmente eingebracht werden.



Zur Illustration sind hier Aras bei der Aufnahme von Mineralien dargestellt und ein Bund Silberhirse als Nahrungsvertreter.

Extraktion des gelben Pigments

Laborgeräte:

Becherglas (250 ml)
Magnetrührer mit Rührfisch

Chemikalien:

Wasserstoffperoxidlösung (konz.)
Natronlauge (1 mol/l)

Verlauf:

Man gibt sowohl das Federmaterial als auch die Wasserstoffperoxidlösung in das Becherglas, gibt etwas Natronlauge hinzu und erwärmt leicht unter ständigem Rühren.

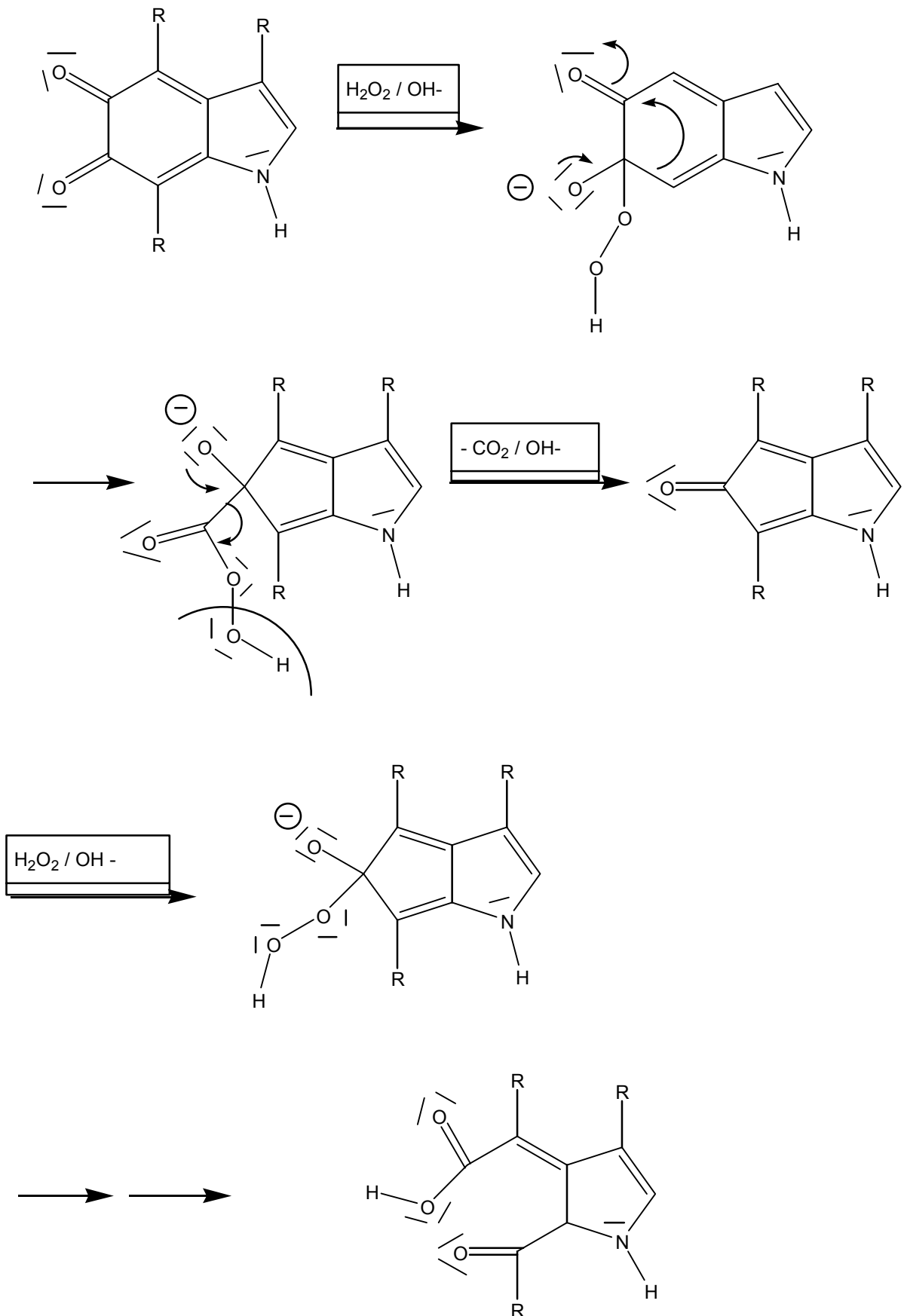
Ergebnis:

Man erkennt nach einiger Zeit, daß die Federstruktur aufgelöst wird und sich eine Art Brei bildet, der jedoch später zu einer dünnflüssigen Lösung übergeht. Ferner verlieren die Federn bestimmte Teile der Pigmentierung, so verschwindet das Schwarz und das Grün, sowie das Blau; einzig die gelbe Farbe bleibt erhalten.

Grund hierfür ist die Oxidation des Keratingerüsts. Ebenso die Melanine, die später noch erläutert werden, werden oxidiert und verlieren die Farbigkeit durch Aufbrechen des Doppelbindungssystems der einzelnen Moleküle.

Im Folgenden ist die Oxidation des Melanins als Beispielreaktion für die ablaufenden Oxidationsvorgänge aufgezeigt.

Reaktionsgleichung

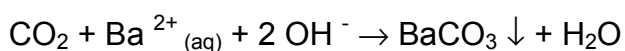
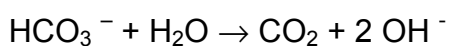
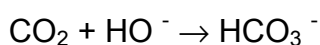


Nachweis des Nebenprodukts

Bei der oben dargestellten Reaktion erkennt man aber auch, daß eine enorme Gasentwicklung erscheint. Um dieses Nebenprodukt nun nachzuweisen, wird die folgt verfahren.

Um das Ganze zu erleichtern, wird in einem Reagenzglas gearbeitet, auf welches ein Gärröhrchen gesetzt wird, das mit Barytwasser gefüllt ist.

Nach Einleiten des Gases in die Barytlösung, fällt ein weißer Niederschlag aus, dabei laufen die in der Reaktionsgleichung formulierten Vorgänge ab:



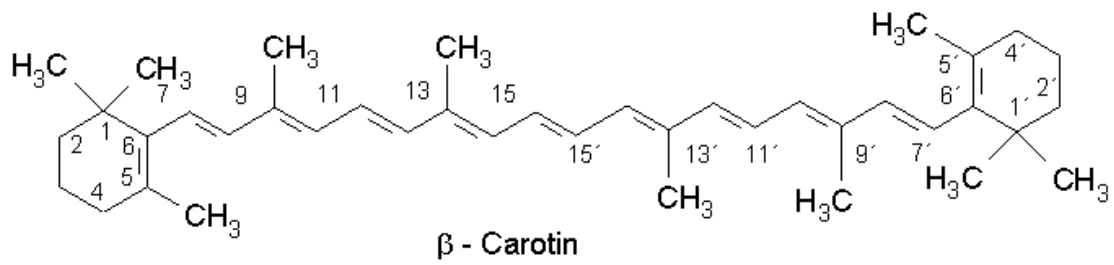
Hieraus erkennt man, daß es sich bei dem Nebenprodukt um Kohlendioxid handelt, der bereits in der Ausgangsgleichung als Nebenprodukt genannt wurde.

Die Beziehung zwischen den exogenen Pigmenten und der Nahrung

Die Nahrung der Vögel enthält eine bestimmte Gruppe von Stoffen, die aufgrund ihrer eigenen Farbigkeit für die Pigmentierung in den Federn verantwortlich ist. Es handelt sich hierbei um die große Gruppe der [Carotinoide](#)

Der Name leitet sich von dem bekanntesten Vertreter der Gruppe ab, dem Carotin. Die Palette der Farbigkeit erstreckt sich von gelb, orange bis rot. Grund hierfür ist eine Polyen-Struktur, die über ein System von 11-12 konjugierte Doppelbindungen unter einander verbunden sind. Carotine sind zwar rein pflanzlichen Ursprungs, aber dennoch im Tierreich weitverbreitet, da sie durch die Nahrung aufgenommen werden. Jährlich werden ca. 100 Millionen Tonnen gebildet. Sie besitzen, chemisch betrachtet, einen lipophilen Charakter, gehören zur Gruppe der Tetraterpene [C₄₀-Einheiten] und bestehen aus 8 Isopren-einheiten, die um ein Symmetriezentrum angeordnet sind.

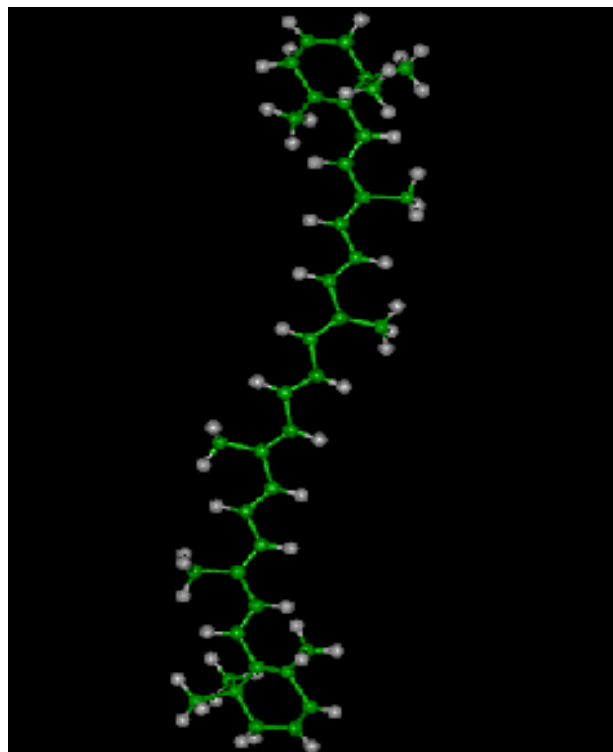
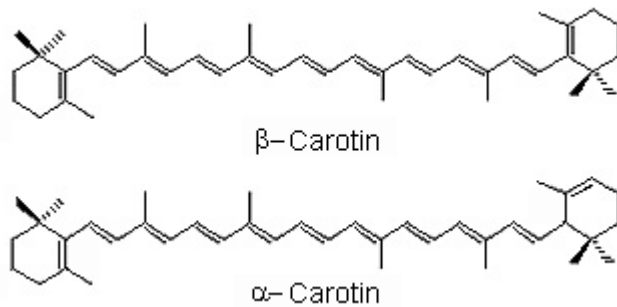
Beispiel:



Die Carotine teilen sich in zwei Untergruppen die **Carotine** und **Xanthophylle**.

Carotine sind reine Kohlenwasserstoffe ohne zusätzliche Gruppen, außer CH-Einheiten.

Beispiel:



β-Carotin (in einer 3d-Darstellung)

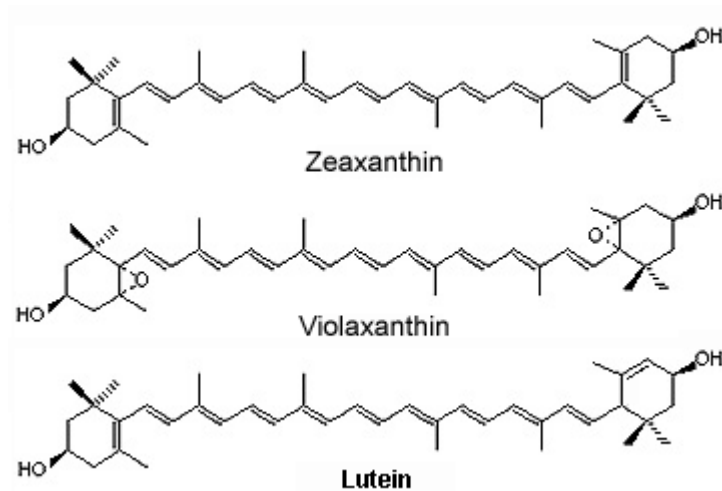
Lichtabsorption:

Carotine absorbieren Energie in Form von Licht im blauen bis grünen Spektralbereich des sichtbaren Lichts, das restliche Licht, das nicht absorbiert wird nimmt das menschliche Auge dann als Farbe der Substanz wahr, die hier von gelb bis rot reichen kann.

(Beispiel: β -Carotin zwischen 415 und 500 nm)

Xanthophylle

Bei der Untergruppe der Xanthophylle handelt es sich um sauerstoffhaltige Carotinderivate, die Hydroxy-, Epoxy- oder auch Oxo-Gruppen besitzen können.



Beispiele:

Die oben dargestellten Xanthophylle zeigen spezielle Farben. Dies sind:

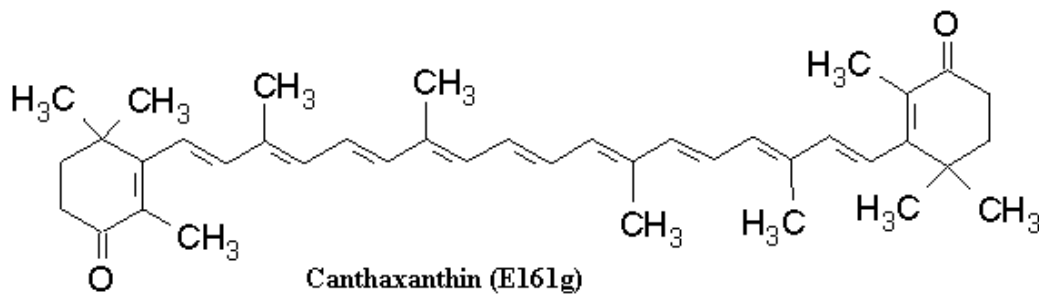
Zeaxanthin: β -Carotinderivat, in Maiskörnern enthalten => gelb

Violaxanthin: α -Carotinderivat, in Hummerschalen enthalten => rot

Lutein: α -Carotinderivat => orange

Die Nahrungsaufnahme und damit die Aufnahme der farbgebenden Substanzen aus der Gruppe der Carotine erfolgt wie bereits angedeutet in der Natur in Form von halbreifen Samen. In Menschenhand ist die Versorgung von halbreifen Saaten jedoch nicht immer gewährleistet, so daß hier ausgereifte Saatenmischungen gereicht werden, in denen die Carotine zum Teil bereits durch Oxidation zerstört wurden. Aus diesem Grund werden oft noch Zusatzprodukte wie zum Beispiel Vitaminpräparate oder spezielle Farbstoffe zugefügt.

Futterzusatz:



Versuch 2

Lumineszenzverhalten von Carotinoiden

Das Ziel dieses Versuchs ist es einen Nachweis über die Anwesenheit von Carotinoiden in Futtermitteln und in Federn zu geben.

Als Proben wurden hier untersucht:

1. Federextrakt: bereits in einem vorhergehenden Versuch wurde das gelbe Pigment, Carotine, aus den Federn herausgelöst.
2. Extrakt aus zermahlernen Körnern einer handelsüblichen Saatenmischung, die mit Methanol und Petrolether aufgeschlämmt und abfiltriert wurden
3. Gemisch aus β -Carotin und Canthaxantin, die in Wasser gelöst wurden
4. Blindprobe, reiner Petrolether

Die Proben werden in Reagenzgläsern bereit gestellt und mit UV-Licht der Wellenlänge 366 nm bestrahlt.

Ergebnis ist eine gelbe Farberscheinung, die allen Substanzen in variierender Intensität zu eigen ist.

Man erkennt eine **Fluoreszenzerscheinung** der Carotine, da diese Stoffe zur Unterstützung der Photosynthese die Fähigkeit besitzen kurzwelliges Licht in langwelligeres umzuwandeln und dann abzugeben. Ursache für die Umwandlung in langwelligeres Licht ist das konjugierte Doppelbindungssystem der Stoffe.

Versuch 3

Chromatographie von Federextrakt, β -Carotin/Canthaxanthin und Futterextrakt

Laborgeräte:

DC-Kammer

DC-Karte

UV-Lampe

Chemikalien:

die unter Versuch 2 vorbereiteten Lösungen

Petrolether

Aceton.

In eine DC-Kammer wird eine DC-Karte mit den oben angegebenen Proben auf der Startlinie eingebracht. Als Fließmittel dient ein Gemisch aus Petrolether : Aceton 7 : 3.

Nach erfolgtem Lauf des Fließmittels betrachtet man das Ergebnis mittels einer Bestrahlung mit UV-Licht der Wellenlänge 366 nm.

Man erhält hierbei die folgenden Rf-Werte:

Substanz	Rf-Wert
β -Carotin	0,34
Canthaxantin	0,03
Futtermittlextrakt	0,76
Federextrakt	0

Begründung:

Da die Carotine bei der Nahrungsaufnahme im Organismus verändert wurden und sich hierbei ihr lipophiler Charakter geändert hat, verhalten sie sich nicht mehr wie ihre Ausgangsstoffe.

Einlagerungsvarianten

In den Federn kann die Einlagerung auf verschiedene Art und Weise erfolgen:

1. Die Farbstoffe werden direkt in den Federn abgelagert. Die aufgenommenen Substanzen können vom Körper nicht verarbeitet werden, da der Organismus diese aber nicht auf natürlichem Weg ausscheiden kann, lagert er sie in den absterbenden Hautanhangsgebilden ab. Es handelt sich also um einen Schutzmechanismus des Organismus.
2. Die Farbstoffe werden im Körper verändert. Dies geschieht durch Oxidation in bestimmten Körperzellen, den Xanthophoren und Erythrophoren. Es kommt dadurch zur Bildung von Lipochrompigmenten.
3. Die Pigmente werden aus der Nahrung synthetisiert. Bei Sittichen ist bekannt, daß aus der Nahrung Stoffe benutzt und umgewandelt werden. Bei diesen gebildeten Substanzen spricht man allgemein vom Psittacin, einer carotinoidähnliche Substanz.



Beispiel: Lutein im Kopfgefieder der Gouldamadine

Versuch 4

Verhalten von Carotinoiden

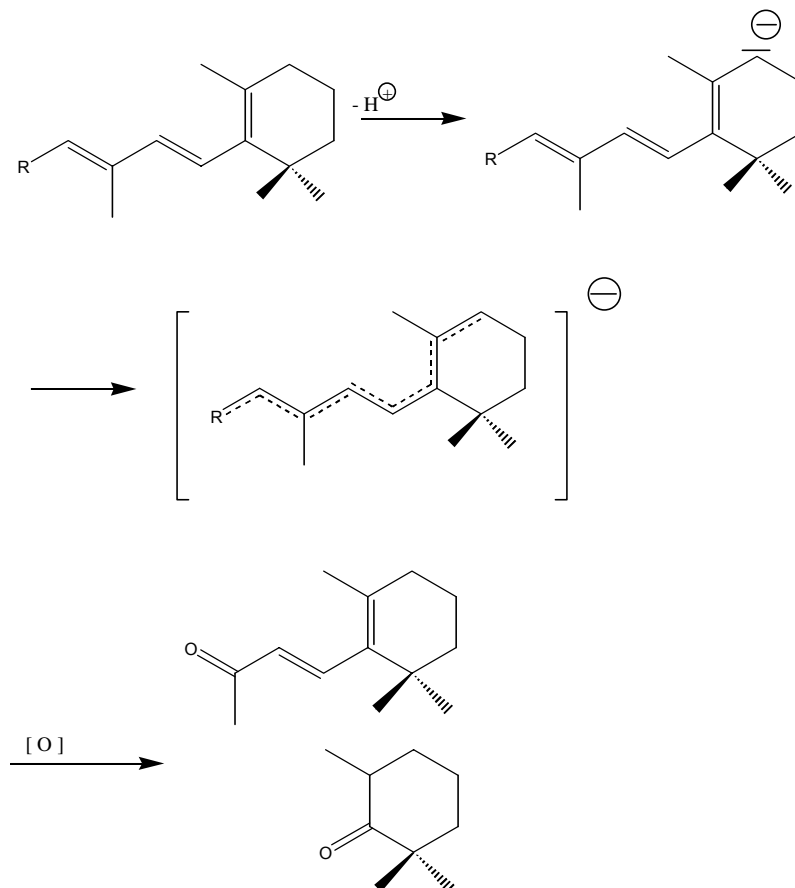
Im folgenden Versuch soll die Oxidation von Carotinoiden nachgestellt werden. Deshalb werden Carotinoiden mit Kaliumhydroxidlösung unter Zutritt von Luftsauerstoff behandelt.

Laborgeräte: Becherglas (250 ml)
Magnetrührer und Rührfisch

Chemikalien: Kaliumhydroxidlösung (1 mol/l)
Federextrakt (wie zuvor)

Man erwärmt leicht die Lösung aus Federextrakt und Kaliumhydroxidlösung unter ständigem Rühren. Nach einiger Zeit tritt eine Entfärbung der Lösung ein.

Reaktionsgleichung:



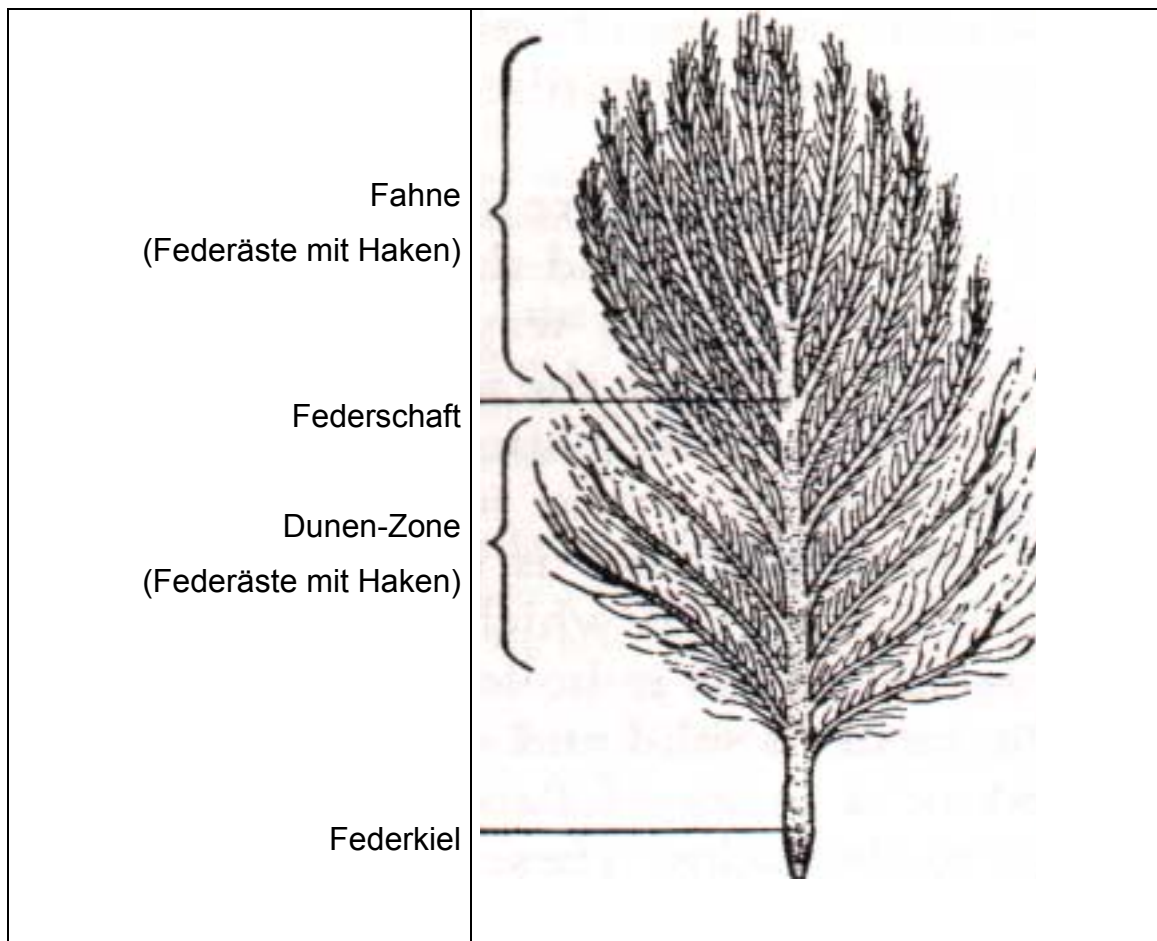
Strukturfarben

Bei den Strukturfarben handelt es sich um physikalische Phänomene.

1. Schillern:

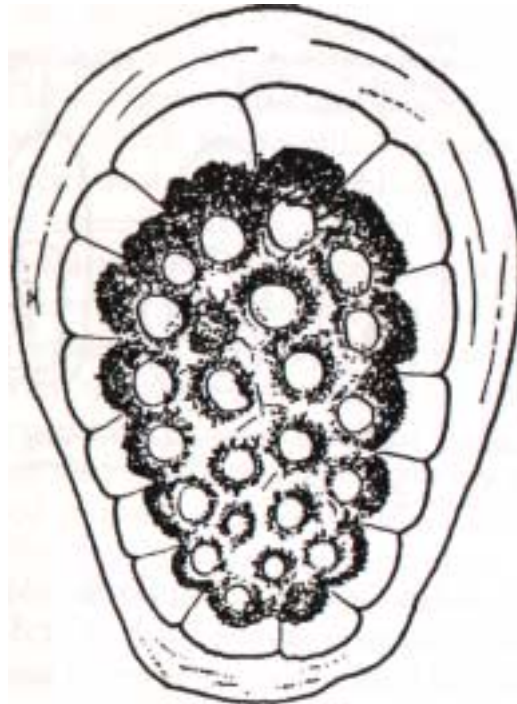
Es wird hier dem Prinzip der Lichtbrechung am Gitter gefolgt. Das Licht wird in seine Spektrallinien zerlegt, dabei kommt es zur Erscheinung von Spektren verschiedener Ordnung. Durch die Grundfarbe der Federn kann es hierbei nur um eine Farbverstärkung und einem Schillern im grün-blauen Bereich kommen. Hier bietet sich der Vergleich mit einem Blau- oder Grünfilter an, der in derselben Weise wirkt.

Um die Gittereigenschaft der Feder zu verdeutlichen sei hier ein schematischer Aufbau gegeben, in welchem man gut die gitterähnliche Anordnung erkennt.



Reflexionsfarben

Zur Erklärung der Reflexionsfarben sei zunächst der Querschnitt durch einen Federast gegeben:



Die äußere Zone beinhaltet die Carotinoide und carotinoidähnlichen Substanzen, in der oben dargestellten äußeren Hülle.

In der innere Zone befinden sich Melanine und Luftblasen, hier schwarz gezeichnet.

Das Prinzip hierbei ist der so genannte Tyndall-Effekt, um dies zu erklären sei hier der Vergleich mit einer „unechten“ Lösung gegeben. Es handelt sich dabei um eine Lichtbrechung an den für das Auge nicht sichtbaren Teilchen der Lösung, so daß der Lichtstrahl durch die Lösung wird sichtbar.

Ebenso wird in den Luftblasen der Feder das Licht gestreut im Sinne der Rayleigh-Streuung.

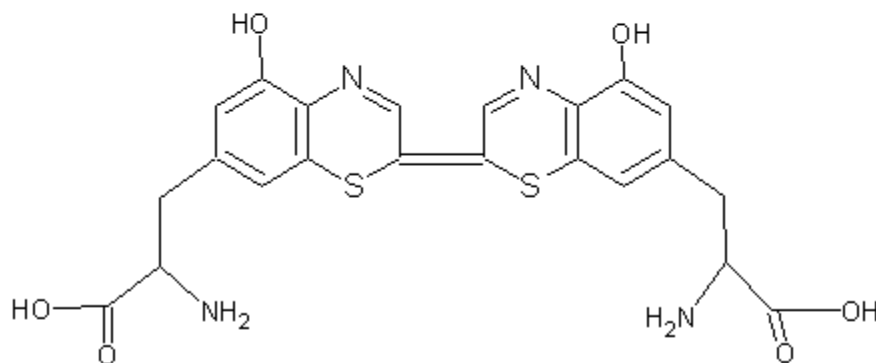
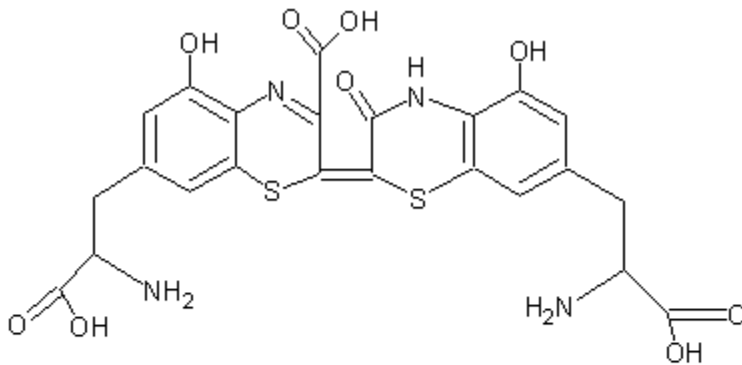
Endogene Pigmentierung

Bei der Gruppe der endogenen Pigmentierung handelt es sich grundsätzlich um Melanine.

Diese teilen sich in die Untergruppen:

- Eumelanin, welches eine schwarze Farbe besitzt
- Phaeomelanin, in variierender Konzentration rot bis rotbraun
- die Gruppe der Trichochrome

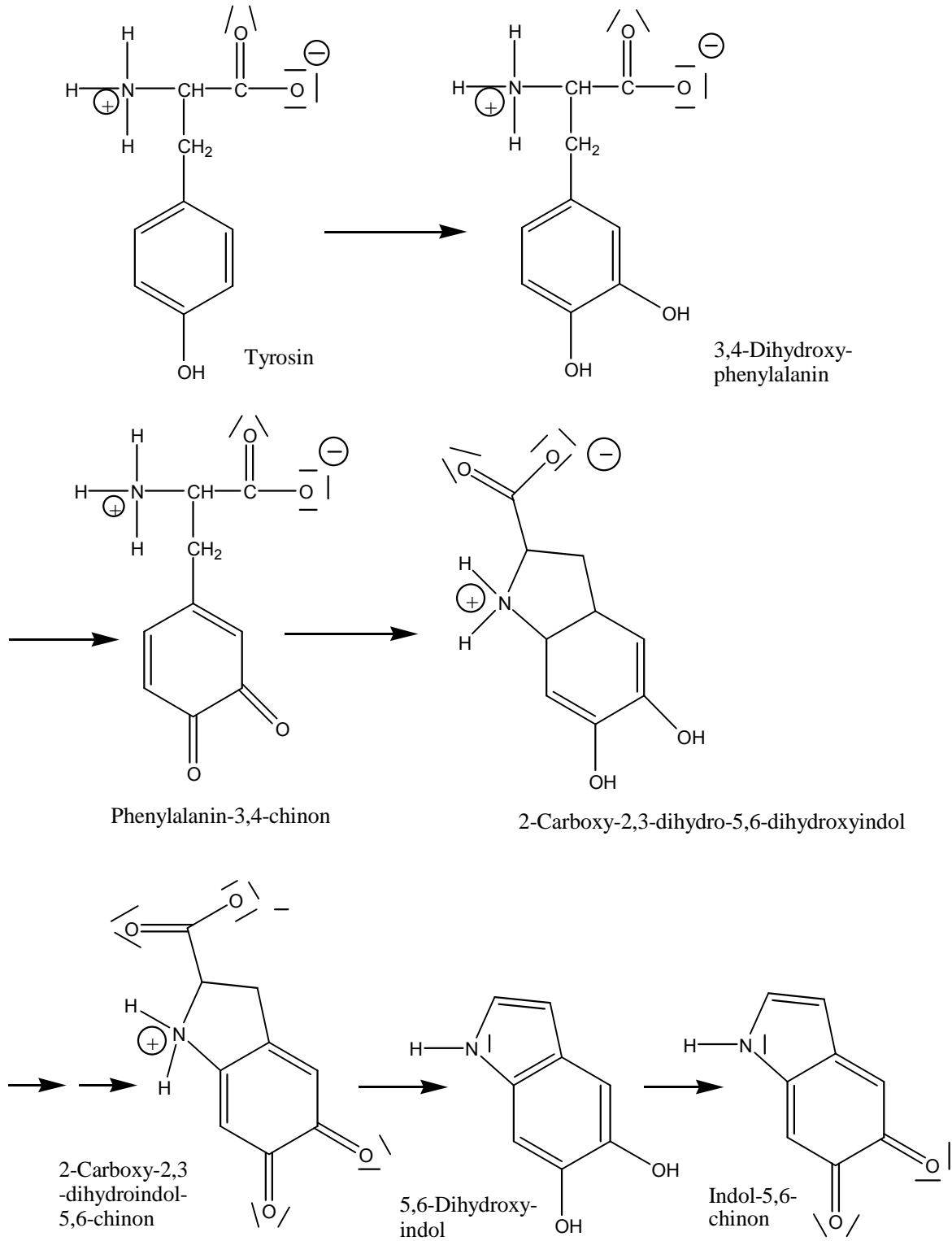
Ein Beispiel für die Gruppe der Trichochrome ist das Trichochrom C, welches gelb erscheint:



und das Trichochrom F, mit einer violetten Farberscheinung.

Bildung von Eumelanin

In der folgenden Reaktionsgleichung ist die Bildung des Eumelanins aus der Aminosäure Tyrosin dargestellt.



Versuch 5

Extraktion von Melaninen

Ebenso wie das gelbe Pigment aus den Federn herausgelöst wurde, soll nun das enthaltene Melanin aus den Federn eines Wellensittichs extrahiert werden. Dabei kommt es zur Zerstörung der Keratinstruktur und zur Lösung des Melanins wie bereits schon erläutert worden ist.

Laborgeräte:

Becherglas
Magnetrührer und Rührfisch

Chemikalien:

Kaliumhydroxidlösung (1 mol/l)

Ebenso wie in Versuch 4 werden die Federn in der Kaliumhydroxidlösung erwärmt, wobei es zu einer Zerstörung der Keratinstruktur und der anwesenden Carotine kommt.

Versuch 6

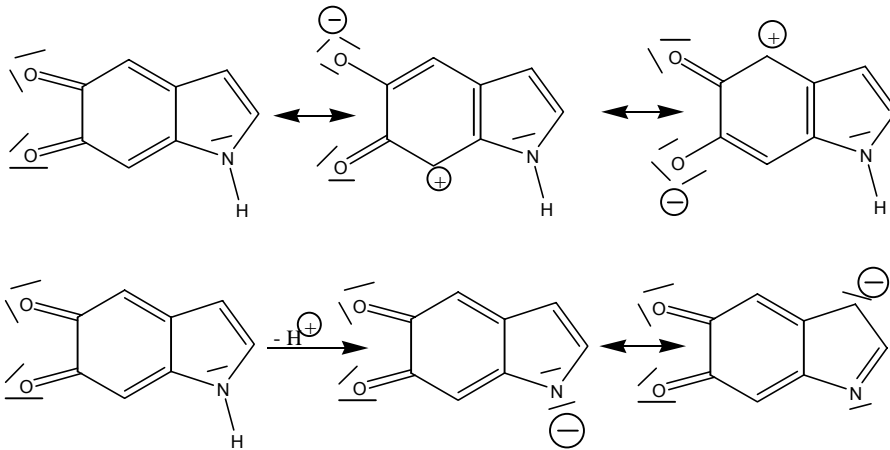
Kristallisation von Eumelanin

In Fortsetzung an Versuch 5 soll nun das in der Lösung befindliche Melanin auskristallisiert werden.

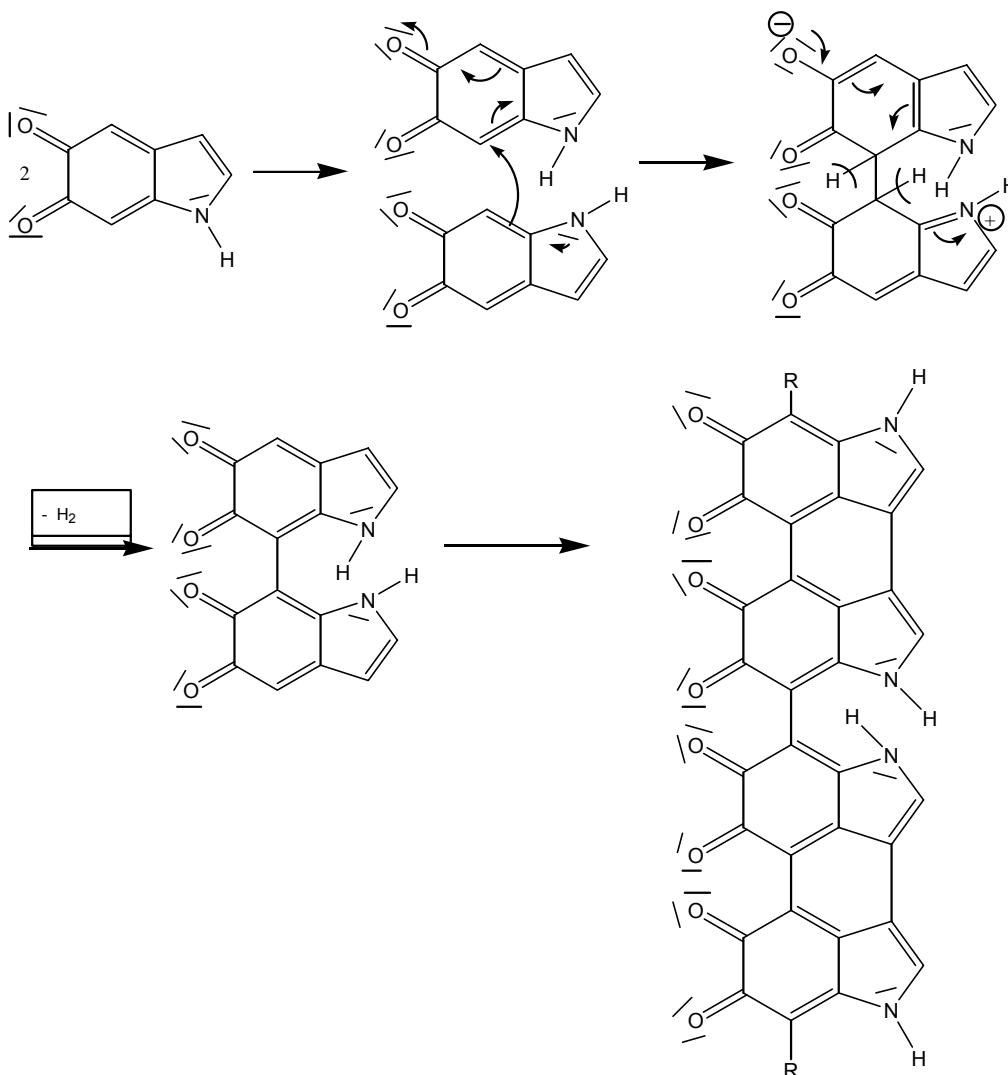
Dazu wird die Lösung vorsichtig neutralisiert (vorzugsweise mit Salzsäure der Konzentration 1 mol/l) und man läßt sie abkühlen. Einige Tropfen dieser Lösung werden auf einen Objektträger gebracht und unter dem Mikroskop betrachtet. Es kommt dabei zur Polymerisierung der einzelnen Melanin-Moleküle, die nachstehend beschrieben ist.

Anhand der Form läßt sich Eumelanin (Stäbchenform) vom Phaeomelanin (Kugelform) unterscheiden.

Mesomerie-Betrachtung:



Polymerisierung:



Bedeutung der Melanine

Die Bedeutung der Gruppe der Melanine ist stark davon abhängig, welche Funktion sie in dem Gefieder ausüben. So kann man in verschiedene Erscheinungsformen differenzieren:

1. als Zeichnungspigment:

Die Verteilung Melanine erfolgt nur regional, so daß man von einer Zeichnung oder einem Muster sprechen kann, das sich über bestimmte Körperrpartien erstreckt.

Als Beispiel sei hier die gewellte Gefiederzeichnung des Wellensittichs genannt.

2. als Dunkelfaktor:

Das Melanin ist hier gleichmäßig „dünn“ über den gesamten Körper verteilt, so daß es zu einem Verdunkeln von bestimmten Stellen oder auch des gesamten Gefieders kommen kann.

Als Beispiel nenne ich hier die einheimische Vogelwelt, die sich durch ihre gedeckten Farben auszeichnet.

3. als Grundfarbe:

Falls keine Carotinoiden anwesend sind oder diese durch die Anwesenheit von einer so großen Menge an Melaninen verdeckt werden, daß der Vogel eine rotbraune, graue und/oder schwarze Gefiederfarbe zeigt, kann man von einer Grundfarbe sprechen.

Exemplarisch seien hier Tauben, Hühner und Rabenvögel genannt.

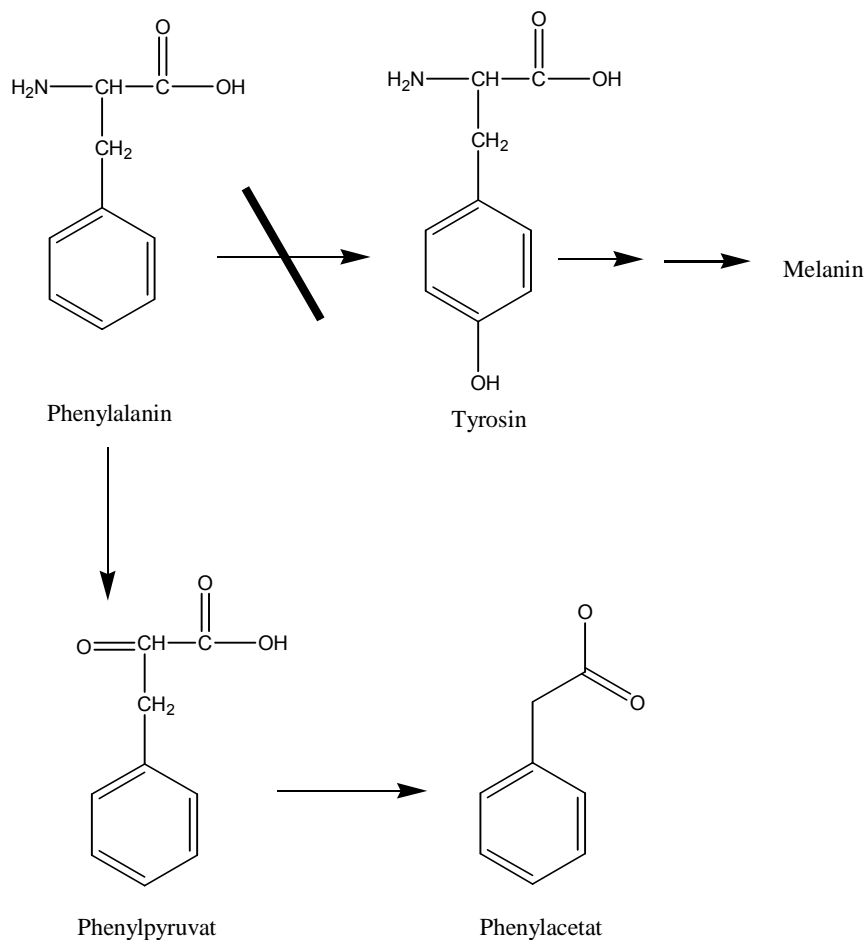
Defekte der endogenen Pigmente

Da auch im Tierreich nicht immer alles ideal abläuft, kann es natürlich auch zu Defekten in der Ausbildung der Gefiederfäbe kommen.

Man unterscheidet hier verschiedene Varianten:

1. Ist keine ausreichende Tyrosinproduktion gewährleistet, so kann das Melanin nicht im gesamten Körper verteilt und es kommt zu weißen Stellen.
2. Kommt es jedoch zu einer kompletten Hemmung der Umwandlung von Phenylalanin zu Tyrosin, so tritt ein totaler Ausfall der Melaninpigmentierung ein, was als Albinismus bekannt ist und unter dem Stichwort Phenylketonurie bekannt ist.

Phenylketonurie



Schlußbetrachtung

Aus den einzelnen Betrachtungen läßt sich nun folgendes Schema entwickeln.

Federpigmente		Farberscheinung
Pigmentgruppen	Pigment („einzeln“)	
Carotinoide	Carotine Xanthophylle	Gelb Orange Rot
Strukturfarben	Reflexion Schillern	Blau Blau Grün Violett
Melanine	Eumelanin Phaeomelanin Trichochrome	Schwarztöne Brauntöne Violett Gelb

Hieraus läßt sich nun anhand der betrachteten Farbskala eine nahezu genau Bestimmung treffen, welches Pigment oder -gruppe dafür verantwortlich ist.

Literaturverzeichnis

Becker, Heinz: Organikum, 20. bearb und erw. Aufl., Weinheim 1999.

Beilstein-Handbuch der organischen Chemie, hrsg. von Beilstein-Institut,
Frankfurt a.M. 1938, Band 30 Abt. 4 Naturstoffe.

Beiträge zur Gefiederkunde und Morphologie der Vögel, hrsg. von Naumann-
Museum, Köthen 1993.

Belitz, H.D. und Grosch, W.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 40 überarb.
Aufl., Berlin u.a. 1992.

Biological Chemistry, hrsg. von Henry Mahler und Eugene Cordes, New York
u.a. 1971.

Prota, G. und Thomson, R.: Melanin-Pigmentierung in Säugetieren, In:
Endeavour Band 35 (1978).

Römpp-Lexikon Chemie, 10. Auflage, Stuttgart 1999, Band 1 ff.

Taylor, T. G. und Warner, Cyril: Genetics for Budgerigar Breeders, Northampton
1986.