

Thema: Was Tiere bunt macht - Farbstoffe in der Nahrung

Ich war mit einer 10. Klasse eines Gymnasiums auf der Suche nach einem Projektthema. Seit einigen Jahren hatte ich im Chemieunterricht in verschiedenen Altersstufen gelegentlich Untersuchungen von Farbstoffen durchgeführt, und meistens wurde damit das Interesse der Schülerinnen geweckt. Unsere Umwelt ist bunt, Farben üben starke Reize auf uns aus. Außerdem verfügt die Schule über ein leistungsfähiges Photometer, mit dem Spektren im Wellenlängenbereich zwischen 325 und 900 nm gemessen werden können. Dadurch sind sehr attraktive Farbstoffuntersuchungen möglich.

Im einführenden Teil des Projektes wurden grundlegende Zusammenhänge im Hinblick auf die Farbentstehung (z.B. Absorptionsverhalten und Farbe) an leicht zu isolierenden Lebensmittelfarbstoffen erarbeitet. Dabei konnten auch analytische Verfahren (Extraktion, Photometrie, Dünnschichtchromatographie) eingeübt werden.

Danach hatten wir uns vorgenommen, neue Themenstellungen zu erforschen. Wir wollten die roten Farbstoffe in Lachsen und im Gefieder von Vögeln (Flamingos und roten Sichlern) untersuchen.



Abb. 1: Versuchsobjekte: Flamingo, Roter Sichler, Lachs

Teil 1: Die rote Farbe des Lachses:

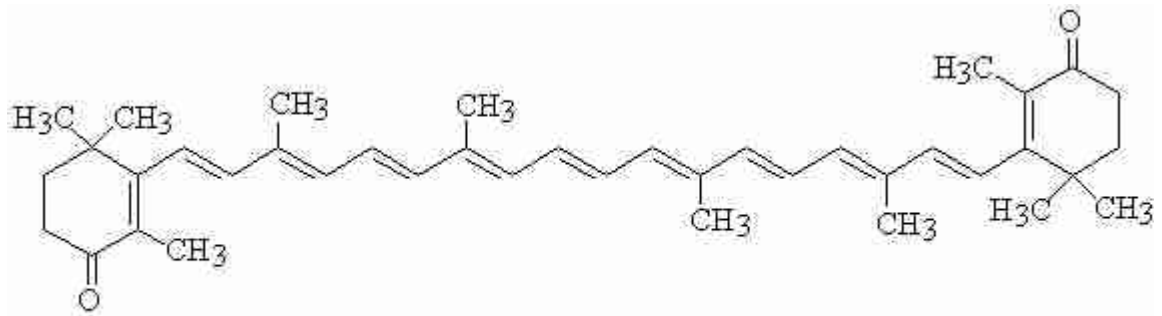
In den Auslagen der Fischgeschäfte fällt das appetitlich rosa gefärbte Lachsfleisch sofort ins Auge.



Abb. 2 Lachs in der Auslage eines Fischgeschäftes

Vor einigen Jahren noch teure Delikatesse, wird Lachs heute immer mehr zur Massenware. Lachse werden in großen Mengen in Meeresfarmen gezüchtet. Das Fleisch der Wildlachse ist rosa. Wildlachse ernähren sich u.a. von Krebstieren. Vor allem das in der Nahrung vorhandene Astaxanthin, ein Carotinfarbstoff (Abb. 3) wird in das Muskelfleisch der Wildlachse eingelagert und sorgt für die rosa Färbung. Soll auch bei Zuchtlachsen, die in Farmen aufwachsen, die vom Kunden gewünschte Färbung erreicht werden, müssen dem Futter dieser Tiere Farbstoffe zugesetzt werden, da das verwendete Futter keine Carotinoide in ausreichender Menge enthält. Uns interessierte zunächst, welche Farbstoffe verwendet werden und ob diese im Fleisch der Lachse nachweisbar sein würden.

Farbstoffe für die Pigmentierung des Lachses: Um Informationen über die Art der verwendeten Farbstoffe zu erhalten, wurde zunächst im Internet recherchiert. Dabei wurde uns bewusst, dass die Lachszucht zur Zeit wohl ein sehr profitabler und expandierender Wirtschaftszweig ist. Entsprechend groß ist der Farbstoffmarkt. Eine Vielzahl von Anbietern bietet entsprechende Produkte an³. Wir stießen auch auf eine ganze Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen, die sich mit der Wirksamkeit bestimmter Farbstoffzusammensetzungen, -konzentrationen, und -diäten im Hinblick auf die Pigmentierung des Lachsflisches beschäftigten. Als Futterzusatz hat neben Astaxanthin (aus natürlichen Quellen oder synthetisch hergestellt) v.a. Canthaxanthin eine große Bedeutung.



Canthaxanthin (E161g)

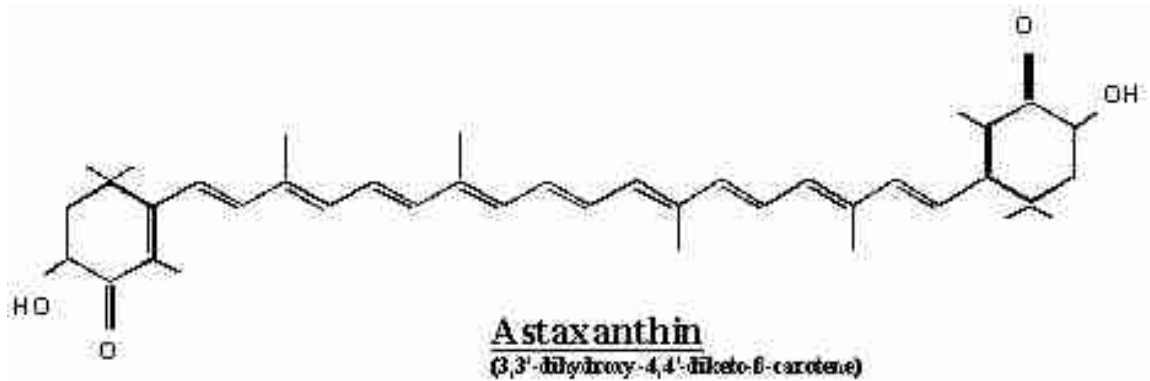


Abb. 3: Strukturformeln der Carotinoide Canthaxanthin und Astaxanthin

Isolierung und Untersuchung der Farbstoffe von Lachsen.

Probenauswahl: Für unsere Untersuchungen wählten wir drei Proben aus: Zuchtlachs der Sorte "La belle Rouge", geräucherten Zuchtlachs und Wildlachs.



Abb. 4: Wildlachs, Räucherlachs, Zuchtlachs

Versuchsdurchführung: Einige Gramm Lachsfleisch wurden mit etwas Seesand und einigen Millilitern Aceton in einem Mörser zu einem Brei verrieben.



Abb 5: "Lachsbrei" (v.l.n.r: Räucherlachs, Zuchtlachs, Wildlachs)

Anschließend wurde filtriert. Von den erhaltenen Filtraten wurden Absorptionsspektren angefertigt. Die Filtrate wurden dann mit etwas Hexan überschichtet. Einige Tropfen Wasser wurden zugesetzt. Anschließend wurden die Farbstoffe durch Schütteln in die Hexanphasen überführt.



Abb. 6: Filtrate des Lachsbreis (von links nach rechts: Räucherlachs, Zuchtlachs, Wildlachs)



Abb 7: Extraktion der Farbstoffe in die Hexanphase

Die Hexanphasen wurde abgetrennt. Auch von den Hexanphasen wurden Spektren aufgezeichnet. Die Hexanphasen wurden eingeeengt und die konzentrierten Farbstofflösungen für die chromatographische Trennung der Farbstoffe eingesetzt. Unterschiedliche Laufmittelgemische wurden erprobt. Die besten Ergebnisse wurden mit einem Gemisch aus 10 Teilen Petrolether (60/70) und einem Teil 2-Propanol erzielt. Für die chromatographische Trennung wurden Kieselgelfolien Polygram Sil G/UV₂₅₄ eingesetzt.

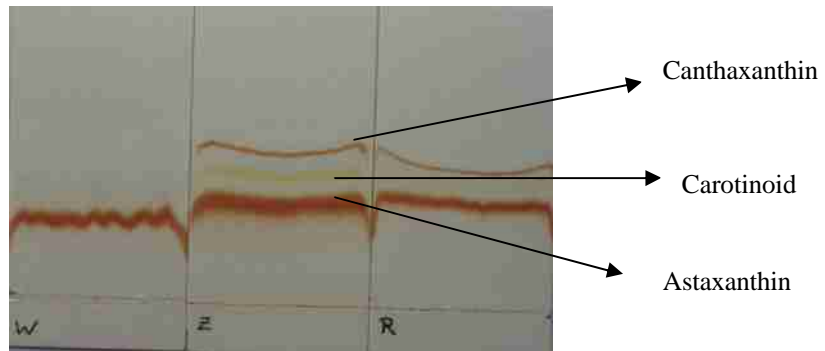


Abb. 8: Chromatogramme der Lachsfarbstoffe v.l.n.r. Wildlachs, Zuchtlachs, Räucherlachs

Nach chromatographischer Auftrennung der Farbstoffe wurden die Banden ausgeschnitten, die Streifen zerkleinert und in Reagenzgläser überführt. Die Farbstoffe konnten mit wenig Aceton erneut von dem Kieselgel gelöst werden. Die Acetonlösungen der gereinigten Farbstofffraktionen wurden filtriert und ebenfalls spektroskopisch untersucht.

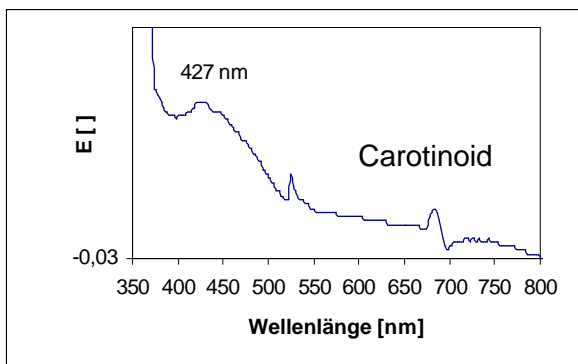
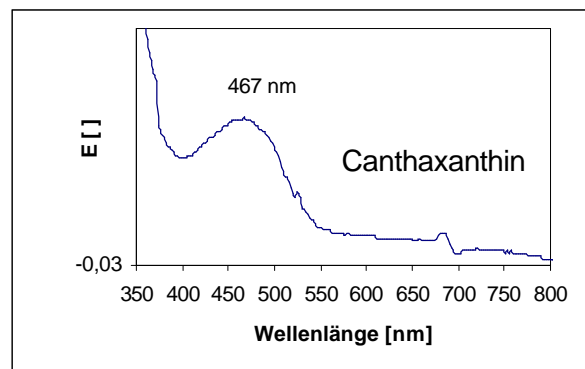
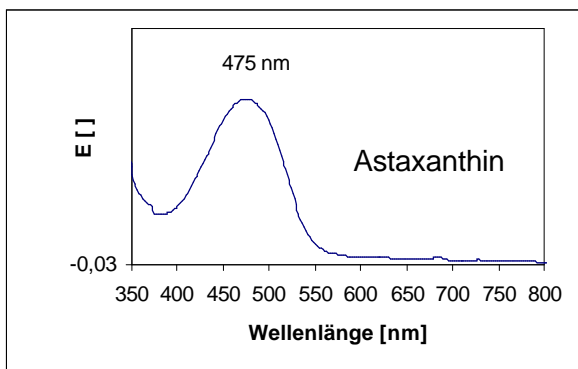


Abb. 9: Spektren der isolierten Farbstoffe von Lachsen in Aceton. Absorptionsmaxima sind jeweils angegeben.

Ergebnis: Der von uns untersuchte Zuchtlachs enthielt neben dem hauptsächlich vorhandenen Carotinoid Astaxanthin in deutlich nachweisbaren Mengen Canthaxanthin und einen weiteren gelben Farbstoff, vermutlich ein weiteres Carotinoid, das von uns aber nicht identifiziert werden konnte. Der von uns untersuchte Wildlachs enthielt in von uns nachweisbaren Mengen ausschließlich Astaxanthin.

Quantitative Aspekte: In unserem Projekt haben wir das Vorhandensein von Canthaxanthin neben Astaxanthin in Zuchtlachsen qualitativ nachgewiesen. Bei unseren Literaturrecherchen stießen wir auf eine aktuelle Untersuchung, in der Carotinoidkonzentrationen in Lachsproben quantitativ erfasst wurden [3]. Hier ergaben sich Werte zwischen 300 und 500 µg/100g für Astaxanthin und 0 - 170 µg/100 g für Canthaxanthin im Fleisch von Zuchtlachsen. Die Differenzen beruhen u.a. darauf, dass unterschiedliche Supplementierungen in der Mast verwendet werden. Die von uns untersuchten Proben der Zuchtlachse (Handelsname einer Sorte: "La belle Rouge") enthielten auf alle Fälle deutlich nachweisbare Canthaxanthinmengen.

Bewertung des Canthaxanthingehaltes: Mit welchem Zweck werden Farbstoffe für die Färbung von Lebensmitteln verwendet ? Die RICHTLINIE 94/36/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30.Juni 1994 führt dazu aus:

Farbstoffe werden verwendet, um das ursprüngliche Erscheinungsbild von Lebensmitteln wiederherzustellen, deren Farbe durch Verarbeitung, Lagerung, Verpackung und Vertrieb mit nachteiligen Folgen für die optische Akzeptanz beeinträchtigt worden ist.

Farbstoffe werden dazu verwendet, Lebensmittel optisch ansprechender zu machen, einen normalerweise mit einem bestimmten Lebensmittel verbundenen Geschmack leichter erkennbar zu machen und normalerweise farblose Lebensmittel zu färben.

Im Falle der Lachse dienen die Farbstoffe dazu, die Akzeptanz des Produktes beim Verbraucher zu erhöhen. Der Farbstoff Canthaxanthin darf als Lebensmittelfarbstoff nur sehr eingeschränkt verwendet werden, und zwar ausschließlich für "Saucisses de Strasbourg". Diese Einschränkung hat Gründe. Früher war Canthaxanthin in Selbstbräunungspillen enthalten. Nachdem festgestellt worden war, dass Canthaxanthin sich in der Retina des Auges ablagern konnte, wurde die Verwendung für Selbstbräunungspillen verboten und der Einsatz als Lebensmittelzusatzstoff stark eingeschränkt.

Ist Canthaxanthin in Lachsfleisch bedenklich ? Diese Frage ist für uns schwer zu beantworten - schädliche Wirkungen sind auch immer eine Frage der Dosis. Immerhin gilt für "Saucisses de Strasbourg" ein Grenzwert von 15 mg/kg. Lachse enthalten wahrscheinlich nicht mehr Canthaxanthin als 2 mg / kg - werden aber vermutlich häufiger verzehrt. Dennoch ist die von uns vermutete Möglichkeit von Gesundheitsschädigungen durch Canthaxanthin in Lachsen offenbar nicht ganz abwegig, beschäftigt sich doch eine ganz aktuelle wissenschaftliche Studie mit der "Absorption und dem Transport von Astaxanthin und Canthaxanthin beim Menschen nach einer Lachsmahlzeit" [4]. Diese Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass im Gegensatz zu anderen Carotinoiden die Canthaxanthinkonzentration im Körper langfristig erhöht bleibt. Herr Prof. Kabuß meint zu diesem Problem, dass mögliche Gefährdungen durch Canthaxanthin weit übertrieben würden und an die übliche Panikmache grenzten. Die erwähnte Ablagerung in der Retina erfolgte bei Verwendung von Selbstbräunungspillen nur dann, wenn das Mehrfache der vorgeschriebenen Dosis langfristig angewendet wurde. Schätzungsweise betrug der Canthaxanthingehalt der

Selbstbräunungspillen zwischen 20 und 30 mg und damit etwa der vierfachen Menge des in einem Kilogramm Lachsfleisch maximal vorkommenden Canthaxanthingehaltes.

Fazit: Es reicht nicht aus, strenge Maßstäbe an die zur direkten Färbung von Lebensmitteln eingesetzten Farbstoffe anzulegen. Auch die Farbstoffe, die z.B. während der Mast von Tieren verfüttert werden und im Produkt enthalten sind, müssen kritisch bewertet werden. Diesen Farbstoffen ist der Verbraucher uninformatiert ausgeliefert, da sie nicht deklariert werden müssen. Möglich, dass wissenschaftliche Erkenntnisse in Zukunft einen Verzicht auf Farbstoffe wie Canthaxanthin erforderlich machen.

Die Richtlinie 94/36 EG des Europäischen Parlaments und des Rates über "Farbstoffe, die in Lebensmitteln verwendet werden dürfen" vom 30.06.1994 erlaubt das Carotin Lutein E 161, das natürlicherweise im Eidotter vorkommt, für Räucherfisch bis zu 100 mg/kg. Möglicherweise handelt es sich bei dem von uns noch nicht identifizierten Farbstoff um Lutein.

Teil 2: Die rote Farbe der Flamingos und der Roten Sichler

Nachdem wir uns erfolgreich mit den Farbstoffen in der Lachszucht beschäftigt hatten, erinnerten wir uns an Informationen, dass auch die rosa Färbung von Flamingos auf der Einlagerung von Carotinoiden in das Federkleid beruht, die ebenfalls mit der natürlichen Nahrung der Tiere aufgenommen werden. In Zoos gehaltenen Flamingos verlieren ihre Färbung, wenn ihrem Futter nicht zusätzlich Carotinoide beigemischt werden. Dabei ist es nicht nur der schöne Anblick des gefärbten Federkleides, der die Ergänzung des Futters notwendig macht. Bei der Paarung der Flamingos spielt die Färbung des Gefieders eine wichtige Rolle [5]. Wir hatten gelesen, dass als färbende Bestandteile Paprikaextrakt oder aber synthetisch hergestellte Carotinoide wie das uns mittlerweile bekannte Canthaxanthin verwendet werden.

Materialbeschaffung: Wir wendeten uns an Zoologische Gärten in unserer Umgebung, um an Flamingofedern und an Futterproben heranzukommen. Die Jahreszeit (Winter) war ungünstig, da keine Mauser anstand. Dennoch bekamen wir von den Zoos in Osnabrück und Hannover einige Federn von Flamingos, von Roten Sichlern, Futterproben und Literaturhinweise zugesandt.

Isolierung der Farbstoffe: Während die Farbstoffe aus Lachsfleisch sehr einfach zu extrahieren waren, erwarteten wir für die Vogelfedern Schwierigkeiten, da die Farbstoffe relativ fest an Keratin gebunden sind. In der Literatur wurde von diesen Schwierigkeiten berichtet [6]. Wir versuchten das dort empfohlenen Verfahren. Die Federn wurden zerkleinert und einige Stunden in frisch destilliertem Pyridin unter Rückfluss gekocht. Dabei entfärbten sich die Federn vollständig und wir erhielten nach Filtration eine intensiv orange gefärbte Pyridinlösung, die photometrisch untersucht werden konnte. Diese Lösung wurde mit Hexan überschichtet. Durch Schütteln sollten die Farbstoffe in die Hexanphase überführt werden. Dies gelang erst nach Zugabe von einigen Millilitern Wasser, dann aber nahezu vollständig. Die Hexanphase wurde abgetrennt, filtriert, photometrisch untersucht und für die chromatographische Untersuchung eingengt.

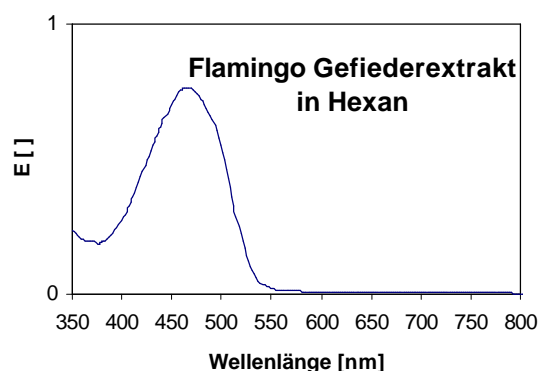
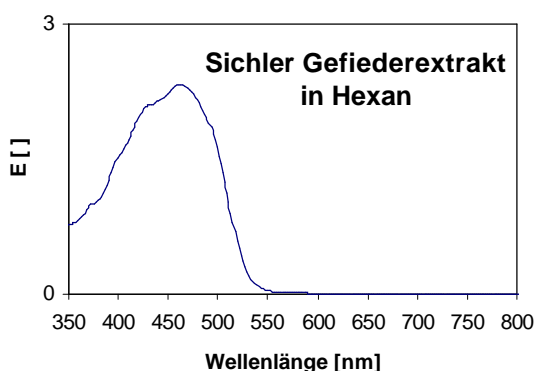


Abb. 10: Spektren der Gefiederextrakte nach Extraktion mit Hexan

Chromatographische Trennung der Farbstoffe: Die Farbstoffe wurden chromatographisch getrennt. Dabei wurden die gleichen Bedingungen gewählt wie bei der Trennung der Lachsfarbstoffe. Beim Sichler und beim Flamingo wurden je drei Banden erhalten: beim Roten Sichler eine obere gelb gefärbte Bande, eine kräftige mittlere orange gefärbte Bande und eine untere ebenfalls orange gefärbte untere Bande. Besonders aus den intensiver gefärbten Banden des Extraktes des Roten Sichlers ließen sich leicht in der üblichen Weise die Farbstoffe mit Aceton extrahieren und weiter untersuchen. Die Untersuchung der Flamingofarbstoffe ergab ebenfalls drei Banden, von denen zwei weiter untersucht werden konnten. Die intensive obere Bande des Flamingo-Chromatogramms entsprach in Bezug auf den Rf-Wert und die Farbe der mittleren Bande des Sichler-Chromatogramms. Die anderen Banden dieses Chromatogramms waren (wegen der geringen Probenmenge) nur schwach ausgeprägt.

Photometrische Untersuchung der Farbstoffe: Von allen erhaltenen Farbstofflösungen in Aceton wurden Spektren angefertigt. Wir gehen davon aus, dass es sich bei dem Farbstoff mit dem Absorptionsmaximum bei 463 nm um Canthaxanthin handelt. Die Absorption entspricht etwa der, die bereits beim Lachs-Canthaxanthin gefunden worden war. Dieser Farbstoff verursachte jeweils die intensivste Bande. In der Literatur sind Untersuchungen veröffentlicht, die ebenfalls Canthaxanthin als dominierendes Pigment im Gefieder von Flamingos nachweisen⁹. Die anderen Pigmente konnten von uns noch nicht identifiziert werden. Um Astaxanthin handelt es sich dabei aber offenbar nicht.

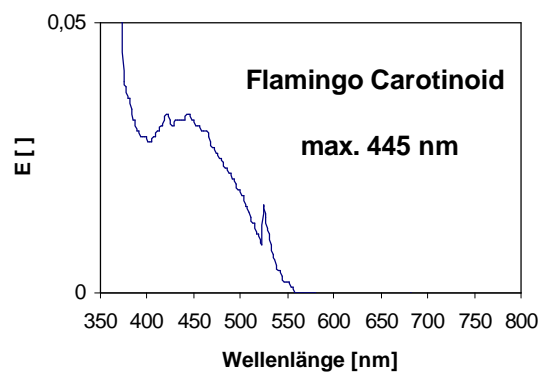
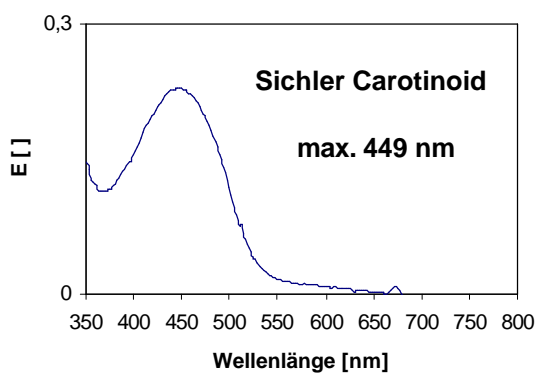
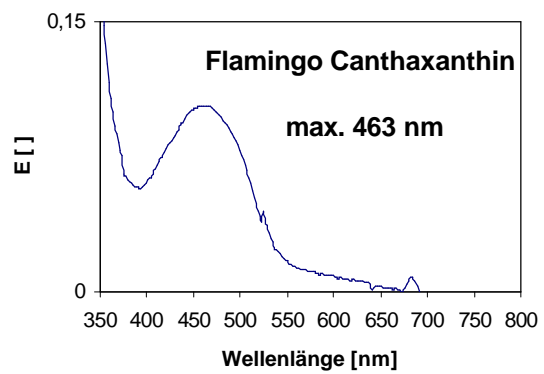
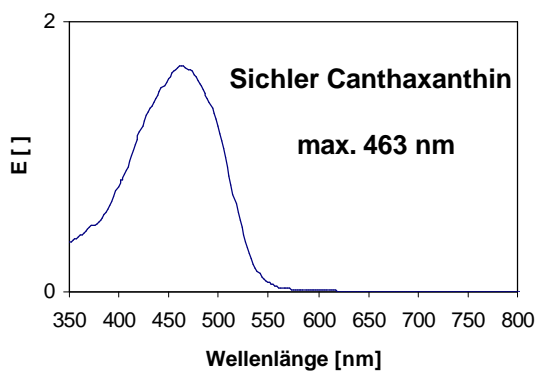
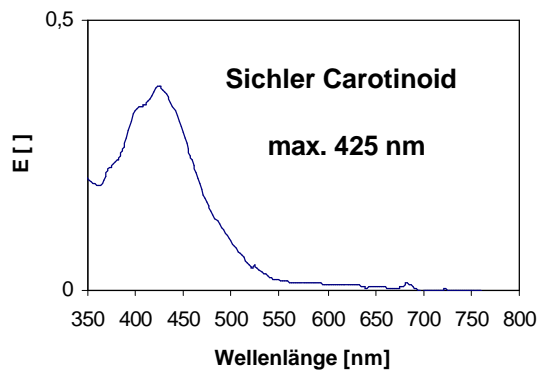


Abb. 11: Spektren der Isolierten Farbstoffe des Roten Sichlers und Flamingos in Aceton angegeben sind jeweils die Absorptionsmaxima

Farbstoffe im Futter: Die aus Hannover und Osnabrück erhaltenen Futterproben wurden ebenfalls untersucht. Für das Flamingofutter (für die Flamingozucht) lag eine Information bei, aus der hervorging, dass darin 16 ppm Canthaxanthin enthalten sind. Auch die Vormischung für den Roten Sichler enthält laut Beschreibung Canthaxanthin. Beide Futterproben wurden mit etwas Hexan geschüttelt. Nach einiger Zeit erhielten wir leicht rötlich-gelbe Lösungen, die nach Filtration photometrisch untersucht werden konnten.

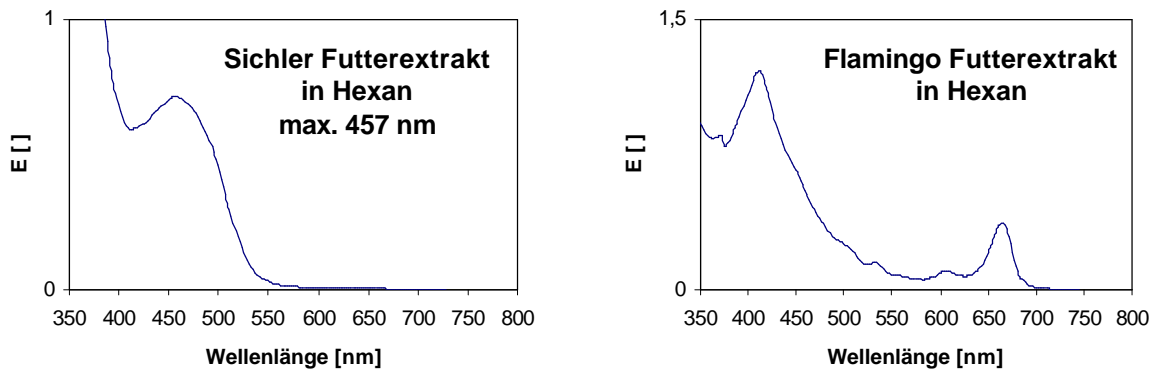


Abb. 12: Extrakte des Futters in Hexan

Im Flamingofutter ist Canthaxanthin laut Beipackzettel vorhanden, photometrisch so einfach allerdings nicht nachzuweisen. Offenbar wird dieses Futter auf pflanzlicher Basis hergestellt. Die gefundene Absorption deutet darauf hin, dass dieser Farbstoff durch die in größerer Menge vorhandenen Chlorophylle (Absorptionsmaxima bei 411 und 663 nm) überdeckt wird. In der Futterbeimischung für den Roten Sichler ist Canthaxanthin jedoch recht eindeutig zu identifizieren. Die Absorption in Hexan ist im Vergleich zum Aceton geringfügig zu kleineren Wellenlängen hin verschoben.

Literaturvergleich: Vor allem eine der uns zugänglichen Literaturstellen beschäftigt sich ausführlich mit der Frage der Gefiederpigmente von Flamingos¹⁰. Bei der Untersuchung von 6 Flamingoarten wurde jeweils Canthaxanthin als dominierendes Gefiederpigment neben Astaxanthin und wenigen anderen Carotinoiden gefunden. Insofern ist unsere Vermutung, dass die ausgeprägteste Bande bei den Chromatogrammen der Gefiederpigmente durch Canthaxanthin verursacht wird, durchaus plausibel.

Bewertung: Eine Bewertung der Carotinoidzusätze im Futter der Vögel muss selbstverständlich unter völlig anderen Gesichtspunkten erfolgen als im Falle der Lachse. Canthaxanthin kommt natürlicherweise im Gefieder von Flamingos und Roten Sichlern in höheren Konzentrationen vor und ist insofern sicher völlig unbedenklich. Die dadurch verursachte rote Färbung des Gefieders ermöglicht erst die Zucht. Beimischungen von Carotinoiden wie Canthaxanthin im Futter dienen in diesen Fällen somit der artgerechten Haltung der Tiere.

Bewertung des Projektes:

Das hier durchgeführte Projekt hat sich m.E. bewährt. Die Thematik hat bei einigen Schülerinnen dazu geführt, Interesse an alltagsrelevanten Fragestellungen wie der der Nahrungsqualität (hier v.a. Farbstoffe in der Nahrung) zu wecken. Aktuelle Veröffentlichungen zeigen, dass wir auf ein z.Zt. nicht unbedeutendes Thema gestoßen sind. Darüberhinaus gibt es sehr viele Anknüpfungspunkte im Sinne einer fächerübergreifenden Ausweitung des Themas: Massentierhaltung in der Lachszucht und Umweltbelastung, Lebensmittelqualität und Farbe, Verbraucherverhalten, Synthese und Verfügbarkeit von Farbstoffen, Wirtschaftlichkeit moderner Produktionsmethoden in der Fischzucht, Geschichte der Lebensmittelfarbstoffe, Stoffwechsel der Carotinoide, Zulassung von Lebensmittelfarbstoffen und europäisches Recht, analytische Methoden u.s.w. Für die Schulchemie im engeren Sinne von besonderem Interesse ist die mit den Untersuchungen verbundene Analytik. Für nachfolgend geplante Untersuchungen sind detailliertere chromatographische Analysen - besonders im Hinblick auf mögliche Vergleiche der bei den Vögeln und den Lachsen erhaltenen Chromatogramme - geplant.

Recherchen im Internet ergeben sehr schnell sehr viele Fundstellen auf den Seiten wissenschaftlicher Institute, von Herstellerfirmen, von Lebensmittelverbänden und von Umweltgruppen. Wir haben dabei nach Suchbegriffen wie Astaxanthin, Canthaxanthin, Carotinoide, Lachszucht u.ä. gesucht. Das Auffinden von Literatur in Bibliotheken ist zu dieser Thematik ungleich schwieriger. Insofern wird die Bedeutung des Internets als **eine** wichtige Informationsquelle deutlich.

Die nur auf den ersten Blick für eine 10. Klasse aufwendige Analytik wird von den Schülerinnen schnell beherrscht und verstanden. Es ist vielfach motivierend, sich an neuartigen Fragestellungen zu versuchen, auch wenn Fehlschläge einkalkuliert werden müssen und einige Untersuchungen durchaus langwierig sind. Nach Beendigung des Projektes wären dafür aber selbständige Untersuchungen (Blütenfarbstoffe, Farbstoffe in Lebensmitteln, Farbstoffe in Filzstiften u.s.w.) möglich.

Liste der verwendeten Literatur:

- 1) Achion, J.: Maintenance of the Chilean Flamingo at Rheine Zoo, ZN Vol 45/7 No. 288
- 2) DFG: Farbstoffe für Lebensmittel; VCH Verlagsgesellschaft mbH; 1988
- 3) Elmadfa, I.; Majchrzak : Absorption und dem Transport von Astaxanthin und Canthaxanthin beim Menschen nach einer Lachsmahlzeit; in: Ernährungs-Umschau 46, 1999, S. 173 f.
- 4) Elmadfa, I.; Majchrzak : Carotinoide und Vitamin A in Fischproben; in: Zeitschrift für Ernährungswissenschaft, Band 37, Heft 2, 1998
- 5) Fox, D.L.: Caotinoide in Pigmentation; in: Flamingos ISBN 0856610070
- 6) John, S.: Farben in der Natur - Farben aus der Natur; in: Unterricht Biologie 235/98 S.4 f.
- 7) Kabuß, S.: Unterlagen zum Lehrerfortbildungskurs "Farbstoffe" in1 Freiburg, 1998
- 8) Mühlmann, U.: Kosmetik fürs Essen - Farbstoffe in Lebensmitteln; in: Unterricht Biologie 235/1998 S.18f.
- 9) Schwedt, : Farbstoffen analytisch auf der Spur; Aulis-Verlag, Köln 1996
- 10) Stradi, R., Hudon, J, Celentano, G., Pini, E.: Carotenoids in bird plumage: the complement of yellow and red pigments in true woodpeckers; in: Comparative Biochemistry and Physiology part B: 120 (1998) 223-230
- 11) Verbraucher-Zentrale Hamburg e.V.: Was bedeuten die E-Nummern? Lebensmittelzusatzstoffliste, 1977
- 12) Wittke, G.; Farbstoffchemie; Verlag Moritz Diesterweg, Prankfurt M., 1992
- 13) Internetseite der Deutschen Gesellschaft für Ernährung: Blub, A.: Bioverfügbarkeit von Carotinoiden; <http://www.dge.de/abt7.htm>
- 14) Internetseite der Fa. Aquasearch Inc.: The astaxanthin animal feed market: <http://www.aqse.com/business.htm>
- 15) Internetseite der Fa. Cyanotech Corporation: Aquaculture Products: http://www.cyanotech.com/aquaculture_astaxanthin.html
- 16) Internetseite der Fa. Dupla: Das Dupla Futtersystem: <http://www.dupla.com/d011.htm>
- 17) Internetseite der Fa. Hofmann LaRoche: <http://www.roche.com/roche/newes/mrel97/d971014a.htm>
- 18) Internetseite der Fa. Nekton: http://www.nekton.de/html/body_r-g.b-g-b.htm
- 19) Internetseite: The carotenoids page: <http://dcb-carot.unibe.ch/nomen.htm>

[1] S. Kabuß, Unterlagen zum GdCh-Lehrerfortbildungskurs "Farbstoffe", Freiburg 1998

[2] Göbel, Staatsexamensarbeit 1996, Universität Freiburg

[3] I. Elmadfa; Majchrzak, Carotinoide und Vitamin A in Fischproben; in: Zeitschrift für Ernährungswissenschaft, Band 37, Heft 2, 1998

[4] I. Elmadfa; Majchrzak, Absorption und dem Transport von Astaxanthin und Canthaxanthin beim Menschen nach einer Lachsmahlzeit; in: Ernährungs-Umschau 46, 1999, S. 173 f.

[5] J. Achion, Maintenance of the Chilean Flamingo at Rheine Zoo, ZN Vol 45/7 No. 288

[6]

DFG: Farbstoffe für Lebensmittel; VCH Verlagsgesellschaft mbH; 1988

Achion, J.: Maintenance of the Chilean Flamingo at Rheine Zoo, ZN Vol 45/7 No. 288

John, S.: Farben in der Natur - Farben aus der Natur; in: Unterricht Biologie 235/98 S.4 f.

Mühlmann, U.: Kosmetik fürs Essen - Farbstoffe in Lebensmitteln; in: Unterricht Biologie 235/1998 S.18f.

Stradi, R., Hudon, J, Celentano, G., Pini, E.: Carotenoids in bird plumage: the complement of yellow and red pigments in true woodpeckers; in: Comparative Biochemistry and Physiology part B: 120 (1998) 223-230

Schwedt, : Farbstoffen analytisch auf der Spur; Aulis-Verlag, Köln 1996
Wittke, G.; Farbstoffchemie; Verlag Moritz Diesterweg, Prankfurt M., 1992

Anmerkungsverzeichnis

- 2 s. Literaturstelle 14 und 17
- 3 s. Literaturstelle 14, 15, 17
- 4 s. Literaturstelle 15
- 5 s. Literaturstelle 4
- 6 s. Literaturstelle 3
- 7 s. Literaturstelle 1
- 8 s. Literaturstelle 5
- 9 s. Literaturstelle 5
- 10 s. Literaturstelle 5