

Petra Hirscher

GESUND DURCH *Astaxanthin*

Wie Sie mit dem stärksten natürlichen
Antioxidans Hautalterung vorbeugen,
Entzündungen bekämpfen und
jung und fit bleiben

riva

© des Titels »Gesund durch Astaxanthin« (778-3-7423-0433-9)

2018 by riva Verlag, Münchner Verlagsgruppe GmbH, München

Nähere Informationen unter: <http://www.rivaverlag.de>

Vorwort

Flamingoküken sind nach dem Schlüpfen klein, flauschig – und grau. Es wird zwei bis drei Jahre dauern, bis ihr Gefieder beginnt, sich rosa oder rot zu färben. Die Ursache dafür findet sich in ihrem Stoffwechsel und ihrer Nahrung.

Auf dem Speiseplan wild lebender Flamingos stehen Algen und kleine Krebse, die Farbpigmente aus der Gruppe der Karotinoide enthalten. Die Vögel nehmen sie auf, wandeln sie um und lagern die Karotinoide als Farbstoff in Beinen, Schnäbeln und Federn ab. Dieses Depot müssen sie auch immer wieder ergänzen, da sonst ihr Federkleid unter der Sonne »bleichen« und seine leuchtende Farbe verlieren würde. Flamingos gehören zu den ersten Vogelarten, bei denen man diesen Mechanismus, das Färben mittels Karotinoiden, erforschte.¹

Verantwortlich für die intensive Rotfärbung ist vor allem das Karotinoid Astaxanthin – ein noch relativ unbekannter rötlicher Farbstoff.

Verschiedene Organismen, zu denen Algen, Bakterien und Pilze gehören und die am Beginn der Nahrungskette stehen, bilden diesen Farbstoff. Der Anteil an Astaxanthin konzentriert sich dann in den Lebewesen, die in der Nahrungskette

höher stehen und diese Primärerzeuger fressen: Fleisch und Haut von Lachs, Shrimp und Forelle verdanken ihm ein appetitliches Rot, aber auch die Schalen und Panzer von Krabben, Krebsen, Krillen oder Hummern. Und, wie gesagt, die Federn der Flamingos.

Karotinoide sind die in der Natur am meisten verbreiteten Pigmente und bekannt für ihre antioxidativen, das heißt zellschützenden Kräfte. Dies gilt auch für Astaxanthin, das zunehmend nicht nur wissenschaftliche Aufmerksamkeit erfährt. Selbst Sportler, die am Ironman-Triathlon teilnehmen, setzen verstärkt auf Astaxanthin: Es verlängert die Ausdauer und schützt auf natürliche Weise vor den gefährlichen UV-Strahlen der sengenden Sonne Hawaiis.

Wie groß ist das Gesundheitspotential von Astaxanthin für den Menschen? Die aktuelle Studienlage ist diesbezüglich ausgesprochen interessant: Es konnte gezeigt werden, dass es gegen kardiovaskuläre Risiken wirkt, das Gehirn schützt und das Immunsystem aktiviert. Und warum? Astaxanthin ist als chemischer Zellschutz das stärkste bekannte Antioxidans und schützt den Organismus vor der Wirkung freier Radikale, die Alterungsprozesse und degenerative Krankheiten begünstigen.

Entdecken Sie Astaxanthin und erfahren Sie, welchen Beitrag es für Ihre Gesundheit und Ihr Wohlbefinden leisten kann.

Der Blutregen und seine Alge

An den Herbst des Jahres 2014 werden sich die Bewohner der nordspanischen Provinz Zamora noch lange erinnern. Das Wetter war ungemütlich, es regnete stark und dann gab es da noch ein ungewöhnliches Phänomen: Das Wasser in Dorfbrunnen, Pools, Zisternen und Tümpeln, das zuvor klar gewesen war, färbte sich plötzlich blutrot. Hatte sich jemand einen schlechten Scherz erlaubt? Waren etwa Chemikalien ins Wasser geraten?

Fantastische Naturerscheinungen

Alchemisten glaubten einst, dass das Entstehen von roter Farbe ein lebendiger Prozess sei. Und im Grunde hatten Sie recht. Die Farbe Rot umfasst verschiedenste Tönungen: Das Karminrot der Koschenillelaus, das in Lippenstiften zu finden ist, das Rot der Bleimennige, mit dem die Römer Götterstatuen färbten, oder der Färberkrapp, mit dem man im Mittelalter Teppiche und Kleidung der einfachen Leute einfärbte, um nur einige Beispiele zu nennen.² Als Signalfarbe, Ausdruck von Liebe und Leidenschaft, Symbol für hohe Gerichtsbarkeit sowie Autorität und Würde erregt die Farbe Rot bis heute besondere Aufmerksamkeit und steht ebenso für Macht, Dominanz und auch Aggression.³

Schon in den Schriften der Antike, insbesondere der Bibel, und ebenso im Mittelalter schenkte man rot gefärbten Erscheinungen in der Natur große Beachtung. So wurde in der griechischen und römischen Antike bereits der sogenannte »Blutregen« beobachtet. Homers *Illias* (etwa 8./7. Jh. v. Chr.) beschreibt diese Himmelserscheinung und macht Göttervater Zeus dafür verantwortlich.⁴ Der Geschichtsschreiber Livius (59 v. Chr.–17 n. Chr.) bewertet es als ein Vorzeichen, was wiederum der Politiker und Philosoph Cicero (106–43 v. Chr.) bezweifelt und stattdessen eine naturwissenschaftliche Erklärung versucht: dass nämlich die Verbindung von Regen mit bestimmten Erden einen blutähnlichen Effekt ergeben könne.⁵ Im England des Mittelalters unterstreicht der angelsächsische Kleriker Geoffrey von Monmouth (1095–1155) die Bedeutung des Blutregens als Omen.

Seit dem 19. Jahrhundert nahm das akademische Interesse an roten Naturerscheinungen deutlich zu, und alles, was in der Naturwissenschaft Rang und Namen hatte, stellte entsprechende Untersuchungen an. Der Zoologe Christian Ehrenberg (1795–1876) war es, der 1847 als Erster in seiner Abhandlung »Passatstaub und Blutregen« die wissenschaftliche Seite des Phänomens beleuchtete. Etwa zur selben Zeit war der Naturforscher Charles Darwin (1809–1882) mit der kleinen Brigg HMS *Beagle* auf dem Atlantik unterwegs und recherchierte umfangreich zum Thema Blutregen.

Die rote Blüte der Schneeealge

Ein weiteres Phänomen, das Aufsehen erregte, war »Blutschnee«; und zu verdanken war dies unter anderem einer Zeichnung des schottischen Polarforschers John Ross (1777–1856). Er unternahm 1818 eine Arktis-Expedition zum Nordpol und erreichte am 17. August die grönländische Nordwestküste nahe Kap York. Dort waren die Klippen mit immensen Schneefeldern aus rotem Schnee überzogen. Dieser ungewöhnliche Anblick veranlasste Ross zu einer Notiz in seinem Expeditionstagebuch: »We now discovered that the snow, on the face of the cliffs, presented an appearance both novel and interesting, being apparently stained, or covered, by some substance, which gave it a deep crimson colour.«⁶ (»Jetzt überraschte uns der Schnee oben auf den Klippen mit einem eben so neuen als merkwürdigen Anblick. Er war mit einer Substanz vermischt oder bedeckt, die ihm eine dunkle Karmesinfarbe gab.«⁷) Er taufte die Klippen in der Baffin-Bucht *Crimson Cliffs* (englisch für: karmesinrote Klippen). Einige Proben des geschmolzenen Schnees und seiner Sedimente brachte Ross zurück nach Europa, wo Chemiker, Naturforscher und Astronomen darüber in Aufregung gerieten. Worum handelte es sich? Um organisches oder anorganisches Material? War es roter Staub, eine Alge oder ein Pilz? Woher kam es?

1824 bezeichnete der schwedische Botaniker Carl Adolph Agardh (1785–1859) die Organismen aus dem ewigen Schnee als *Protococcus nivalis* für Schneeealge.⁸ Zu seinem Namen war der Blutschnee also durch die Pigmentierung von Algen gekommen.

Die Schneevalge ist eine kälteangepasste Mikroalge, ein echter Überlebenskünstler in den extremen Umweltverhältnissen der ewigen Schnee- und Eisgebiete. Sie wächst in den obersten Zentimetern der Schneeschicht und ist hier nicht nur einem Unterangebot von Nährstoffen und extremen Temperaturen ausgesetzt, sondern auch starker UV-Strahlung. Um durch die hohe UV-Strahlung keinen Schaden zu nehmen, bildet sie zum Schutz Pigmente. Bei einem der Pigmente handelt es sich um das Ketocarotinoid Astaxanthin, dessen blutrote Farbe den Schneevalgenblüten die Bezeichnung »Roter Schnee« oder unter den frühen Seefahrern den Namen »Blutschnee« einbrachte.

Die besondere Kraft, die in diesem natürlichen Farbstoff liegt, werden Sie im Folgenden detailliert entdecken.

Der spanische Blutregen

Heute weiß man, dass »Blutregen« ein seltenes, aber ungefährliches Wetterphänomen ist, an dem zumeist Staub aus der Sahara beteiligt ist. Dieser Saharastaub unternimmt weite Reisen durch die Atmosphäre. Wird er dann schließlich von Regentropfen zum Erdboden zurücktransportiert, kann er den Niederschlag leicht bräunlich oder rötlich färben, und man spricht von Blutregen. Es ist nicht ungewöhnlich, dass der Saharastaub bis nach Mitteleuropa vordringt: Durchschnittlich etwa fünf bis 15 Mal im Jahr zieht Wüstenstaub aus der Sahara über Marokko und Frankreich zum Beispiel nach Deutschland. Doch im Herbst 2014 hatte der Saharastaub mit dem Blutregen auf der Iberischen Halbinsel nichts zu tun.

In den Dörfern Zamoras, der wild-ursprünglichen Region im Nordwesten von Kastilien-León, hatte so manch einer gleich eine theologische Vermutung. War das blutfarbene Wasser ein düsteres Vorzeichen? Sollte man sich an die Zehn Plagen der Bibel erinnern? Vor allem an die erste, die im zweiten Buch Mose beschrieben wird: »Mose und Aaron taten, wie ihnen der HERR geboten hatte. Da hob er den Stab und schlug ins Wasser, das im Nil war, vor dem Pharao und seinen Großen. Und alles Wasser im Strom wurde in Blut verwandelt.«

Jetzt traten Forscher der Universität Salamanca auf den Plan. Nach intensiver Suche fand sich ein plausibler Hintergrund und damit eine naturwissenschaftliche Erklärung für das Phänomen. Der Regen, der in einigen Ortschaften der Region niedergegangen war, hatte einen seltsamen Reisenden mitgebracht: Eine grüne Mikroalge, die sich rötlich verfärbt, sobald sich ihre Lebensbedingungen verschlechtern.

Von Makro- und Mikroalgen

Algen leben nahezu überall: in Ozeanen, im Süßwasser und auf feuchten Oberflächen und Böden, selbst in extremen Klimazonen finden sich Spezialisten. Die Geschichte der Algen beginnt vor etwa drei Milliarden Jahren, als sich die ersten Cyanobakterien, auch Blaualgen genannt, entwickelten, und infolge die Erdatmosphäre mit Sauerstoff anreicherten. Durch Endocytobiose, bei der Einzeller als Wirt wesentlich kleinere Zellen als Untermieter aufnehmen, entwickelten sich 1,5 Milliarden Jahre später die ersten Grünalgen.⁹

Auf der Erde existiert mit weit über Hunderttausend Algenarten eine riesige Artenvielfalt. Algen können frei schwimmend oder festsitzend vorkommen. Als Überlebenskünstler passen sie sich hervorragend an die sie umgebenden Umweltverhältnisse an und so findet man sie sowohl in permanent oder nur zeitweise feuchten Standorten, in Trockengebieten, in heißen Quellen und sogar in Eis und Schnee.

Morphologisch kann man grob zwischen Mikro- und Makroalgen unterscheiden, denn ihr Formenreichtum reicht vom einen Mikrometer großen Einzeller bis hin zum meterlangen Großtang. Die Großalgen sind die Makroalgen. Sie erinnern in ihrer Struktur an Blätter, Stängel und Wurzeln und können bis zu 50 Meter lange Tange und ganze Unterwasserwälder bilden. Die Winzlinge unter den Algen sind die mikroskopisch kleinen Mikroalgen. Mikroalgen kommen in allen aquatischen Ökosystemen der Erde vor. Sie stellen eine große Gruppe Fotosynthese betreibender, einzelliger Kleinstorganismen dar und erscheinen entweder als komplexere Eukaryoten mit einem echten Zellkern oder als sehr einfache Prokaryoten ohne Zellkern. Ihre Artenfülle ist weit größer als die der höher entwickelten Pflanzen: Obwohl man davon ausgeht, dass mehr als 350 000 Arten existieren, wurden bis heute nur etwa 30 000 erforscht und analysiert.¹⁰

Algen sind Lebewesen mit ganz erstaunlichen Fähigkeiten: Sie sind einfach strukturiert, äußerst genügsam, wachsen schnell und können außerdem auch eine ganze Reihe wertvoller Substanzen auf ganz natürlichem Weg herstellen. Dazu

gehören beispielsweise: Mehrfachzucker (Polysaccharide), Lipide, Proteine, Karotinoide, Pigmente, Vitamine, Sterine, Enzyme, Antibiotika, pharmazeutisch wirksame Stoffe, Feinchemikalien oder auch Biokraftstoffe. Das macht sie zu interessanten Rohstoffen für die Nahrungsmittelindustrie, für Kosmetik, Pharmazie, Chemie und die Bioenergiebranche. Heute sind Mikroalgen die Hoffnungsträger unter den nachwachsenden Rohstoffen. In ihnen sieht man eine der meistversprechenden biotechnologischen Ressourcen für die Isolierung neuer Produkte, aber auch für die Entwicklung neuer Produktionsverfahren.¹¹ Zurzeit werden fünf Algenstämme kommerziell genutzt: die zwei Cyanobakterienarten *Arthrospira* (Spirulina) und *Aphanizomenon flos-aquae* (Grüne Spanalge) und die drei Grünalgen *Chlorella*, *Dunaliella*, und *Haematococcus*. Und so wird auch aus der grünen Mikroalge im Blutregen von Zamora ein äußerst potenter Produzent für die biotechnologische und kommerzielle Nutzung.

***Haematococcus pluvialis* – die Blutregenalge**

Die grüne Mikroalge, die sich rötlich verfärbt, sobald sich ihre Lebensbedingungen verschlechtern, ist der *Haematococcus pluvialis*, die Blutregenalge. Die Wissenschaftler der Universität Salamanca vermuteten, dass starke Westwinde getrocknete Algensporen nach Spanien getragen hatten.¹² Nachdem nun die Alge in Wasser gelangt war, dauerte es nicht lange, und es färbte sich blutrot – wie in den Pools und Brunnen der zamoranischen Dörfer.

Was weiß man über den *Haematococcus pluvialis*? Der Taxonomie nach gehört er zur Klasse der *Chlorophyceae*, der Ordnung *Volvocales* und zur Familie *Haematococcaceae* mit mehr als 7 000 Spezies. Er ist einzellig, weltweit verbreitet, lebt in Süßwasser und ist auch unter den älteren Namen *Haematococcus lacustris* und *Sphaerella lacustris* bekannt. Dieser Winzling unter den Algen ist knapp 0,1 Millimeter groß und gilt daher als Mikroalge.

Die Blutregenalge kommt auf der ganzen Welt vor, bevorzugt in Gebieten mit gemäßigttem Klima. Sie kann in einer Vielzahl von Habitaten wachsen und lebt häufig in temporären Süßgewässern wie Teichen, kleinen Wasserlöchern, Pfützen, Vogeltränken oder gar in Weihwasserbecken, zum Beispiel im Wiener Stephansdom¹³.

Überlebensstrategie von Grün nach Rot

Als Grünalge ist die Blutregenalge ein sehr lichtsensibler Organismus. Sie hat in ihrer Entwicklungsgeschichte eine ganz besondere Strategie zur Stressbewältigung entwickelt. Diese Strategie ist für Lebensräume wie schnell austrocknende Gewässer, Pfützen oder Becken schlichtweg überlebenswichtig.

Es lassen sich vier Lebensphasen der Blutregenalge unterscheiden: eine grüne aktive Phase, die rote aktive Umfärbephase, massive Rotfärbung und als Ruhephase das Dauerstadium.

Das grüne Stadium zeugt von lebhafter Aktivität, möglich ist das der Blutregenalge mithilfe zweier körperlanger Geißeln. Durch diese ist sie mobil und kann frei im Wasser schwimmen. Bei starkem Stress durch Wasser- oder Nahrungsmangel (Phosphor und Stickstoff), Hitze oder Kälte bildet sie eine Dauerform. Die Alge stellt jetzt alle anderen wichtigen Stoffwechselfvorgänge (an denen das grüne Chlorophyll beteiligt ist) ein und kümmert sich nur noch um die Bildung des rettenden, roten Astaxanthins. Sie produziert dickere Zellwände als eine Art biologischen Schutzschild, in den sie sich einkapseln kann.¹⁴ Die gebildete Kapsel beziehungsweise Zyste (Haematocyste) ist blutrot pigmentiert, weil dort das Karotinoid Astaxanthin angereichert wird, das die Zellen der Alge vor Belastungen schützt. Als leuchtend roter Kreis sieht die Alge zwar prachtvoll aus, doch eigentlich geht es ihr schlecht. Schließlich ist die Astaxanthin-Anreicherung für die Alge eine Möglichkeit, Energie und Kohlenstoff zu speichern, um diese dann später, unter besseren Bedingungen für die weitere Synthese zu verwenden.

Und so überlebt die Alge sehr gut in rasch wechselnden, prekären Licht-, Temperatur- und Salzkonzentrationsverhältnissen, die für andere Mikroalgen schädlich wären. Im roten Stadium kann der Haematococcus Trockenzeiten, sengende Hitze oder eisige Kälte vier Jahrzehnte ohne Nahrung und ohne Wasser überdauern. Am Boden des ausgetrockneten Wassergefäßes verbleibt lediglich eine dunkelrote Kruste, die wie geronnenes Blut aussieht.

Die roten, kugeligen Dauerzellen werden leicht durch die Luft verbreitet. Gelangen sie in Kleinstgewässer, die aus der Umgebung Nährstoffe erhalten haben, vermehren sie sich rasch. Aus den kugeligen Haematocysten treten bis zu 16 bewegliche grüne Zellen aus, die rasch ihre Geißel verlieren und sich dann bei Nährstoffmangel oder beim Eintrocknen wieder zu dickwandigen rot gefärbten Zellen wandeln. Der Kreislauf beginnt von neuem.

Die Zusammensetzung der Blutregenalge

Die Wandlung der grünen, beweglichen Zellen mit zwei Geißeln zu sesshaften, großen roten Zysten bedeutet für die Alge nicht nur eine Änderung von Form und Gestalt, sondern auch ihrer biochemischen Zusammensetzung.

Je nachdem, ob sich die Alge in ihrer grünen oder roten Phase befindet, weist sie beispielsweise unterschiedliche Gewichtsanteile¹⁵ von Proteinen, Lipiden, Kohlenhydraten und Karotinoiden in Prozentanteilen bezogen auf die Trockenmasse auf – ein Aspekt, der bei der erfolgreichen Kultivierung (siehe Seite 68) besonders berücksichtigt werden muss.

- ▶ **Proteine:** Im grünen Stadium bei günstigen Wachstumsbedingungen enthält Haematococcus viel Protein, rund 29 bis 45 Prozent, im roten Stadium dagegen nur noch 17 bis 25 Prozent.

- ▶ Lipide: Im grünen Stadium schwankt der Lipid-Anteil (das ist die Gesamtheit der Fette und fettähnlichen Substanzen) zwischen 20 und 35 Prozent, im roten Stadium zwischen 32 bis 37 Prozent.
- ▶ Kohlenhydrate: Mit etwa 15 bis 17 Prozent im grünen Stadium sind dies nur etwa halb so viele Kohlenhydrate wie im roten unter Stressbedingungen mit 36 bis 40 Prozent.
- ▶ Karotinoide schlagen im grünen Stadium mit nur 0,5 Prozent zu Buche. Hierbei dominiert der Anteil des primären, sprich normalerweise vorhandenen Karotinoids Lutein (das ist ein gelber Farbstoff) mit knapp 57 Prozent. Im roten Stadium steigt der Karotinoid-Anteil deutlich an, auf 2 bis 5 Prozent. Das Hauptgewicht verlagert sich jetzt auf Astaxanthin mit einem Anteil von über 81 Prozent und erklärt die sichtbare Rotfärbung.

Beim Spazierengehen zufällig entdeckt

Haematococcus ist seit vielen Jahren Gegenstand der Forschung. Die Untersuchungen zu Haematococcus als Astaxanthin-Produzent nimmt gegenwärtig immer mehr Fahrt auf, doch wie waren die Anfänge?

Als Erster beschrieb sie der preußische Botaniker Julius von Flotow (1788–1856) im Jahr 1842, der die Blutregenalge bei einem Spaziergang als rote Materie in stehendem Regenwasser entdeckte. Nachdem er sie genauer untersucht hatte, ergab sich folgendes Bild: »Unter dem Mikroskop zeigte sich jene an das Gefäß angetrocknete rothe Masse als unveränderte Haematococcus-Kügelchen des Haematococcus pluvialis, die rothgrüne und grüne bestand aus Myriaden

derselben Wesen, die aber mit infusorieller Bewegung begabt, äußerst lebhaft durcheinander wimmelten.¹⁶ [...] Bei Vielen war der Farbenwechsel bis nahe an die Mitte vorgedrungen, wo aber immer ein karminrother Kern sichtbar blieb, – bei Andern blieb der grüne Saum auf die der Peripherie zunächst gelegenen Theile beschränkt.«¹⁷

Die komplette »Lebensgeschichte« der Grünalgen-Gattung *Haematococcus pluvialis* stellte zum ersten Mal 1899 der Biologe Dr. Tracy E. Hazen (1874–1943), Extraordinarius am Barnard College der Columbia University, New York, in einem umfangreichen Aufsatz vor.¹⁸

Astaxanthin – der wertvolle Naturfarbstoff

Astaxanthin wurde erstmals 1938 von Nils Andreas Sørensen (1909–1987) und dem späteren Nobelpreisträger für Chemie, Richard Kuhn (1900–1967), beschrieben – und zwar als ein Farbstoff, der in Hummereiern enthalten ist.¹⁹ Heute weiß man, dass dieses mit Sauerstoff angereicherte, fettlösliche Pigment aus der Gruppe der Karotinoide über ein breites Anwendungsspektrum verfügt. Durch seine einzigartige Konfiguration kann es eine ganz besondere biologische Aktivität entfalten. Es kommt natürlich vor, wird in Bioreaktoren gezüchtet oder synthetisch hergestellt.

Die Karotinoide

Die schönsten Rottöne, von strahlendgelben über orangefarbene bis hin zu den tiefroten Farben: Viele unserer Nahrungsmittel, Pflanzen und Tiere schulden ihre Farbenpracht den Karotinoiden. Die rote Tomate verdankt ihre Farbe dem Lycopin. Der Maiskolben ist gelb dank Zeaxanthin und die Karotte orange durch Beta-Karotin.

Karotinoide sind natürlich vorkommende, fettlösliche (lipophile) Pigmente, die von Pflanzen, Algen, Bakterien, Pilzen und Hefen produziert werden – rund 100 Millionen Ton-

nen jährlich. Im Pflanzenreich spielen die Karotinoide eine wichtige Rolle in der Fotosynthese, sie agieren als lichtumwandelnde Pigmente und als Lichtschutzmechanismen. Über 750 verschiedene Karotinoide konnten bislang isoliert werden und ein Ende neuer Entdeckungen scheint nicht in Sicht zu sein.²⁰

Sowohl Menschen als auch Tiere können Karotinoide nicht selbst bilden und müssen sie mit der Nahrung aufnehmen. Viele Forschungsergebnisse zeigen, dass eine an Karotinoiden reiche Ernährung das Risiko für bestimmte Erkrankungen des Menschen reduziert. Da sie als Antioxidantien fungieren, können sie die Zellen, Gewebe und Organe im Kampf gegen die schädigende Wirkung freier Radikale unterstützen und somit gegen Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, zu hohen Cholesterinspiegel und Augenleiden wie Linsentrübung oder Makuladegeneration wirken.²¹

Chemisch werden die Karotinoide in zwei Hauptgruppen eingeteilt, die sich durch den Aufbau ihrer Moleküle unterscheiden. Die erste Gruppe sind die Karotine, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind. Hierzu gehören Beta-Karotin, Lycopin und Alpha-Karotin. Die zweite Gruppe sind die Xanthophylle, die sauerstoffhaltigen Abkömmlinge der Karotine. Zu ihnen zählen Lutein und Zeaxanthin.

Die Sonderstellung von Astaxanthin

Astaxanthin nimmt in der Gruppe der Xanthophylle aufgrund seiner Molekularstruktur eine Sonderstellung ein: Die Hy-