

Der Purpur

Farben aus dem Meer

ROLAND R. MELZER | PETER BRANDHUBER | TIMO ZIMMERMANN | ULRICH SMOLA

Purpur war in der Antike aufgrund der aufwendigen Herstellung eine kostbare Substanz. Obwohl der Farbstoff heute leicht herzustellen ist, ist er durch die leuchtenden synthetischen Farben fast völlig in Vergessenheit geraten. In diesem Artikel wird über die Geschichte, Chemie und Synthese des Farbstoffs berichtet und gezeigt, wie man echten „antiken“ Purpur herstellen kann.

Purpur (6,6-Dibromindigo), der Farbstoff der Purpurschnecken (Muricidae), war für die Menschen der Antike eine kostbare, Göttern und Königen vorbehaltene Substanz. Seine kulturhistorische Bedeutung ist immens. Die Purpurherstellung war aufwendig und zeitraubend. Aber tausende von Schnecken wurden gesammelt und präpariert, der Farbstoff extrahiert und eingekocht, bis man endlich ein paar Gramm davon gewonnen hatte; entsprechend hoch war sein Marktwert. Heute ist Purpur eine leicht herstellbare Substanz. In der Welt der leuchtenden, synthetischen Farben ist er jedoch fast in Vergessenheit geraten. Nur der Name Purpur selbst hat noch einen Rest seiner früheren Bedeutung behalten.

Die Farbe der Hybris

Agamemnon, König der Argiver, kehrt nach Argos (Mycene) zurück. Der Krieg um Troja ist vorbei. Vor dem Palast empfängt man ihn so, wie man Könige üblicherweise empfängt: Das Volk versammelt sich und man rollt den „roten Teppich“ aus. Allerdings ist er in dem von Aischylos (458 v. Chr.) geschriebenen Stück nicht einfach rot, sondern purpurrot oder purpurn ($\rho\omicron\rho\pi\eta\psi\rho\omicron\sigma$), also mit echtem Purpur ($\rho\omicron\rho\pi\eta\psi\rho\alpha$) gefärbt. Es ist die höchste Ehrenbezeugung, auch ein Zeichen der Königswürde. Agamemnon jedoch zögert, als er den Teppich betreten soll: „So ehrt man Götter nur, wie könnt, ein Sterblicher, ich ohne Scham den Fuß auf diese Prachtgewebe setzen“. Kein Wunder! Er dürfte ein ziemlich schlechtes Gewissen haben. Von den

Männern, die mit ihm nach Troja ausgezogen waren, sind nicht viele zurückgekehrt. Außerdem hat er seine eigene Tochter Iphigenie als Menschenopfer dargebracht. Nun wird er wohl Rede und Antwort stehen müssen. Klytämnestra bringt ihn, der sich der Sache eigentlich bewusst ist, dennoch dazu, über den Teppich zu gehen. Sie hat ihm jedoch den Mord an ihrem Kind keineswegs verziehen. Kurz darauf tötet sie ihn im Bad.

Dies ist eine dramatische Geschichte, in der die Farbe Purpur (Abbildungen 1–3) eine große Rolle spielt. Sie schien für den antiken Autor äußerst kostbar zu sein und hatte zudem eine hohe metaphorische Aussagekraft. Wie kommt es, dass diese Farbe so eng mit den Herrschenden verknüpft ist? Wie kommt es, dass sie als geradezu göttliche Farbe so verehrt wird, dass Aischylos sie als Symbol der Hybris, des frevelhaften Übermuts verwenden kann – eines Übermuts, der bestraft gehört und auch bestraft wird? Dabei ist der Purpur eine eher unscheinbare und eine geradezu heimliche Farbe: Purpur ist aus heutiger Sicht eine Art blasses Lila, er kommt in der Natur ausschließlich in einigen Schneckenarten vor, und zwar nicht einmal als Purpur im eigentlichen Sinn, sondern als dessen farblose Vorstufe. Wir sind diesen Fragen nachgegangen und berichten hier über



ABB. 1 Kaiser Otto III. in seinem Purpurgewand, umgeben von Kriegern und Geistlichen. Hinter dem Thron sieht man der Antike nachempfundene Architekturelemente. (Aus dem Evangeliar Ottos III.; Reichenauer Schule, um 1000. Bayerische Staatsbibliothek, München, Cod. lat. 4453.)

die Geschichte, die Farbstoffchemie und über die Produzenten dieser wichtigsten Farbe aus dem Tierreich.

Entdeckung des Purpurs

Der uns bekannte Reichtum an Textilfarbstoffen mag zu der Annahme verleiten, dass auch das Altertum so farbenprächtigt war. Dies ist jedoch falsch. Man stelle sich vor, etwa 2000 Jahre v. Chr. möchte jemand Stoff färben. Welche Möglichkeiten gab es hierzu überhaupt? Farben oder Pigmente, das heißt Mineralfarben wie Ocker, Röteln, Holzkohle oder Gips, konnte man zwar zum Malen verwenden, aber nicht zum Färben, da sie Suspensionen bilden, aber keine echten Lösungen. Wasser würde sie sofort wieder aus dem Stoff herauswaschen. Zum Färben eigneten sich daher nur einige wenige Farbstoffe, und zwar lösliche, organische Verbindungen, wie sie in Pflanzensäften enthalten waren. Eini-

germaßen beständig waren hierunter der Krapp, den man aus der Färberröte (*Rubia tinctorum*) gewinnen konnte, und der Indigo aus der Indigopflanze (*Indigofera tinctoria*) beziehungsweise dem Färberwaid (*Isatis tinctoria*). Die Palette an Farbstoffen war also eher dürrig [11]. Hier aber kommt der Purpur ins Spiel, der dritte unter den klassischen Farbstoffen. Konstantin Palaeokappa hatte um 1453 ältere Quellen kompiliert und berichtete über seine Entdeckung folgendes: Zur Zeit des Königs Phoinix von Tyros (1500 v. Chr.) weidete eine Schäferherde an der Küste. Der Schäferhund spielte am Strand herum und zerbiss hierbei eine der großen, hartschaligen Schnecken, die bei Ebbe überall herumlagen. Als er zum Schäfer lief, erschrak dieser, da das Maul des Hundes blutrot gefärbt war. Ein Wolltuch, mit dem das vermeintliche Blut abgewischt wurde, färbte sich kurz darauf purpurn! Also hatte sich aus dem Saft der Schnecken eine Farbe gebildet. In der Literatur kursieren noch weitere Varianten der Entdeckung des Purpurs [10]. Nach dem antiken Roman „Onomastikon“ des Pollux soll Herakles das erste Purpurgewand als Liebesgabe an die Nymphe Tyros gefärbt haben. Wie man bald feststellte, war der Purpurfarbstoff für damalige Verhältnisse außerordentlich lichtecht und praktisch nicht herauswaschbar. Außerdem konnte man bei entsprechender Be-

handlung ganz verschiedene Farbtöne aus dem Farbstoff erzeugen (Abbildungen 2–4). Allerdings war seine Herstellung aufwendig und arbeitsintensiv. So wurde der Purpur sehr teuer und sehr begehrt. Kleidung wird ja nicht zuletzt durch ihre Farbigkeit zu einem Gegenstand der Ästhetik und trägt dazu bei, dem Charakter des Trägers Ausdruck zu verleihen. Purpur spielte hierbei eine wichtige Rolle.

Handel im Altertum

Heute ist bekannt, dass man im Mittelmeerraum schon wesentlich früher Purpur hergestellt hat. Schalen von Purpurschnecken wurden beispielsweise in den Überresten einer Färberei auf Ägina gefunden. Sie werden auf etwa 2300 v. Chr. datiert. Auf Tonscherben, ebenfalls aus der Bronzezeit, wurden sogar echte Purpurreste entdeckt. Einen nennenswerten und gewinnträchtigen Handel mit Purpur gab es offenbar aber erst in der Blüte-

zeit der phönizischen Handels- und Seemacht, ab etwa 1000 v. Chr. Wahrscheinlich war der Purpur sogar die entscheidende Einnahmequelle der Phönizier. Vor allem in Tyros (heute Sur) und Sidon (heute Saida), aber auch an vielen anderen Mittelmeerküsten wurden Betriebe zur Purpurherstellung eingerichtet. Der Farbstoff war einer der Verkaufsschlager der Antike und wurde in fast schon industriellem Maßstab produziert. Es ist daher kein Zufall, dass man heute an der Küste bei Saida über Hunderte von Metern riesige Ansammlungen von Purpurschneckengehäusen findet. Die Kunst der Purpurherstellung war bald um das ganze östliche Mittelmeer herum verbreitet und hinterließ ihre Spuren: Auch in Troja fand man große Ansammlungen von Schneckenschalen. Die Griechen unterhielten eine Produktionsstätte in der Argolis, nahe bei Mykene, der alten Hauptstadt Agamemnons. Als Alexander 331 v. Chr. die persische Stadt Susa einnahm, erbeutete er über 10.000 kg Purpurstoffe. Cleopatras Admiralsschiff führte purpurne Segel, byzantinische Fürstensöhne nannten sich *Porphyrogenetos*. Die Preise für den Purpur waren geradezu astronomisch. Während der Regierungszeit des Kaisers Aurelianus (270–275 n. Chr.) soll ein Kilo Purpurwolle nach heutigem Geldwert zwischen 6.000 und 7.000 DM gekostet haben.

„NOCH IST DAS WELTMEER.
WER ERSCHÖPFT ES JE?
ES NÄHRT NOCH VIELEN SAFT
DES PURPURS UNS,
STETS NEUEN, VIEL GEWANDE
DRIN ZU FÄRBN.“

(Aischylos; Agamemnon, fünfte Szene;
in der Übersetzung von Karl Gustav
Vollmoeller)

Ausführliche
Darstellungen zur
Geschichte der
Farbstoffchemie
finden sich unter
anderem in
[2,8,10,11].

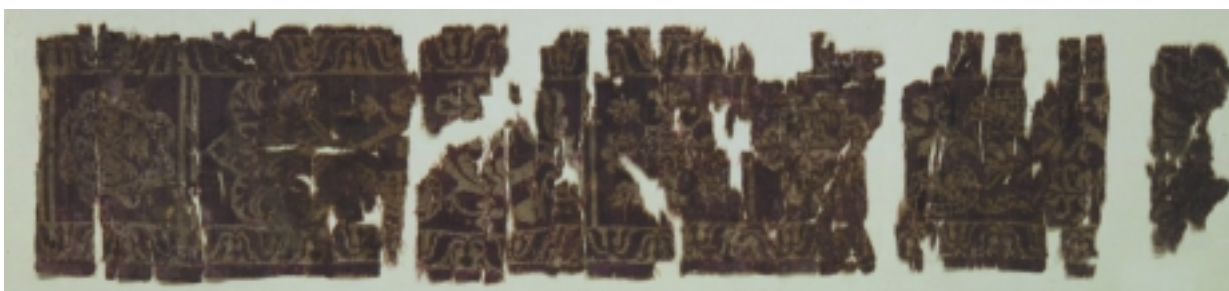


ABB. 2 Der Purpurstreifen einer koptischen Toga praetexta; Ägypten, 7. Jahrhundert. (Foto: Walter Haberland, Bayerisches Nationalmuseum.)

Von der Tunica bis zur Purpurtinte

Auch an den weiter westlich gelegenen Küsten begann man schon früh mit der Purpurgewinnung. Bereits bei den Etruskern trugen die Beamten mit einem Purpurstreifen versehene Gewänder. Diese Tradition wurde von den Römern fortgesetzt. Die *Vestae clavatae* galten als Insignien ihrer Wahlbeamten. Man machte daraus eine regelrechte Purpurhierarchie: Senatoren trugen eine Tunica mit Purpurstreifen, Prätores eine *Toga praetexta* (Abbildung 2) und Konsuln eine komplett purpurn gefärbte und mit Gold verzierte *Toga picta*; Triumphatoren, siegreiche Feldherren, kleideten sich für den Triumphzug ebenfalls in eine Purpurrobe. Das „*memento mori*“ („bedenke, dass du sterblich bist“), das man ihnen zuflüsterte, sollte sie der Hybris gemahnen. Julius Cäsar beschränkte

das Recht, Purpur zu tragen, zeitweilig auf sich selbst und die hohen Beamten. Sonst trugen auch die Kinder der Elite, Priester und Ritter einen Purpurstreifen. Die Römer gewannen den Farbstoff vor allem in Toulon und bei Tarento. Dort kann man noch heute den Monte Testaceo bestaunen, einen Berg aus Schnecken-
schalen. Im 3. Jahrhundert, unter der Herrschaft von Alexander Severus, wurde die Purpurherstellung unter staatliche Kontrolle gestellt. Der Gesetzeskodex von Theodo-

sius dem Großen (379–395 n. Chr.) spricht von der Purpurschnecke als *Murex sacer adorantus*. Purpur sei den Göttern und Königen vorbehalten, liest man dort, wie schon bei Aischylos. Den violetten Purpur bezeichnete man als *color principalis*, den hochroten als *blatta* oder *tyria* (nach der Stadt Tyros).

Während der Purpur bei den meisten Hochkulturen hauptsächlich Angelegenheit der Herrscher war, wurde er bei den Hebräern zunächst im religiösen Umfeld verwendet. Priester kleideten sich purpurn und in den Tempeln wurde die Farbe als Schmuck eingesetzt. Später wurde der Purpur dann auch bei den Juden zur Farbe des Königs. Im Buch Esther kann man nachlesen, dass die Verleihung des Purpurs der Übertragung der Macht gleichgesetzt wurde. Im Hebräischen lauteten die Namen der Farbtöne *tekeleth* für den violetten und *argamon* für den roten Purpur. Neuere Ausgrabungen in Tell Shiqmona belegen die Bedeutung des Purpurs im alten Israel. Hier liegt auch einer der letzten Orte auf der Welt, an dem heute echter Purpur hergestellt wird. In Eilat gibt es eine Färberei, in der Stoffe mit Purpur für die Gewänder der Oberrabbiner gefärbt werden.

Auch aus dem Mittelalter gibt es viele Belege für die Purpurverwendung. Hier nur ein paar Beispiele: Erlasse und Verträge wurden bevorzugt auf Pergament geschrieben, das mit Purpur gefärbt worden war, in der Buchmalerei verwendete man den Purpur und natürlich wurden die Krönungsmäntel der Stauferkaiser im 11. Jahrhundert mit Purpur gefärbt (Abbildungen 1 und 2). Hergestellt wurde der Purpurfarbstoff damals vor allem in Palermo. Mit dem Fall

von Byzanz im 15. Jahrhundert war Purpur dann im ganzen Mittelmeergebiet nicht mehr gefragt. Spätere Belege stammen aus England, der Bretagne und aus Norwegen. Außer in Europa kannte man auch in Südostasien, Japan und in Mittelamerika das Geheimnis der Purpurherstellung, und zwar schon vor dem Eintreffen europäischer Eroberer. Außer zum Färben von Stoffen und Pergament wurde der Purpur noch für viele andere Zwecke eingesetzt: Man färbte Elfenbein damit, mischte purpurne Schminke und vermengte den Purpur mit Kreide zum Malen. Außerdem stellte man rote Tinte daraus her, die dem Kaiser vorbehalten war. Es gab sogar grüne, aus noch nicht gereiftem Sekret hergestellte Purpurtinte; mit ihr unterzeichnete der Vormund für einen minderjährigen Kaiser.

Heutige Nutzung

Im Vergleich zu früheren Zeiten gibt es gegenwärtig nur noch Relikte der Purpurnutzung. So erinnern die roten Streifen an den Kragenspiegeln von Staboffizieren der Bundeswehr an die Purpurstreifen der römischen Führungsschicht. Außerdem ist Purpur die Farbe der Kardinal: Der Kardinalsmantel heißt italienisch *porpora*, der Kardinal selbst *porporato*. Hier verbirgt sich jedoch eine Art Fälschung: Schon die ersten Kardinalsmäntel waren in Wirklichkeit nicht mit Purpur, sondern mit Scharlach, dem Farbstoff der Cochenille- und Kermesschildläuse gefärbt. Es sei auch an Agamemnon's roten Teppich erinnert, den man noch heute bei Ehrenempfängen benutzt, und an die bereits genannten Oberrabbiner, für deren Purpurkleidung sogar echter „antiker“ Purpur verwendet wird. Auch heute noch kann man die Schneckenfarbe kaufen. Gelegentlich wird sie nämlich bei Restaurierungsarbeiten an altem Purpur eingesetzt. Der Restaurateur bezahlt für ein Gramm echten Purpur derzeit den stolzen Preis von 4.000 DM. Purpur ist damit wohl immer noch der teuerste Farbstoff (siehe Kasten auf Seite 33). Bevor wir uns mit der Herstellung des Purpurs beschäftigen, betrachten wir zunächst die eigenartigen Nutztiere, aus denen er gewonnen wurde: die Purpurschnecken.

Purpurschnecken – die Farbstoffquelle

Die in allen Weltmeeren verbreiteten Purpurschnecken gehören zur Familie der Leisten- oder Stachelschnecken (Muricidae). Unter den Schnecken (Gastropoda) zählt man sie zur Ordnung der Monotocardia und hier zu den Neogastropoda oder Stenoglossa (Schmalzüngler). Aus dem Mittelmeer sind 13 Gattungen mit 25 Arten bekannt. Alle Vertreter sind Aassfresser oder Räuber, die im Flachwasserbereich nahe der Küsten nicht selten sind. Sie zeichnen sich durch ihre dicken, mit Höckern oder Spitzen (Varizen) versehenen Schalen aus und besitzen, wie für ihre Unterordnung typisch ist, einen Schalensiphon. Dies ist ein Gehäusefortsatz, der den Siphon schützt. Nahrung nehmen sie mit ihrem kräftigen Rüssel auf (siehe Kasten auf Seite 35).

Als Purpurquelle dienen hauptsächlich die zwei häufigsten Mittelmeerarten, *Murex brandaris* (Herkuleskeule,

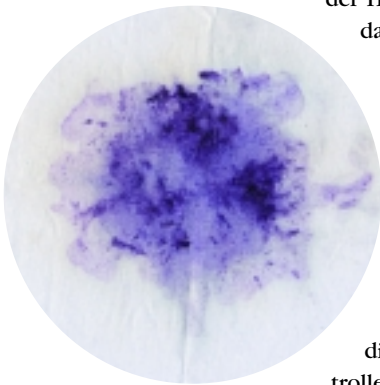


ABB. 3 Ein Stück purpurnes Leinengewebe, das im Meeresbiologie-Praktikum gefärbt wurde. Der Stoff wurde mit einem in Salzlösung hergestellten Schneckenextrakt durchtränkt und im Sonnenlicht getrocknet.

Stachelschnecke, Brandhorn) und *Trunculariopsis trunculus* (Purpurschnecke) (Abbildung 5). Außerdem verwendete man *Ceratostoma erinaceum*, die Gerippte Purpurschnecke, und *Thais baemastoma*, die Rotmund-Leistenschnecke. In England und Norwegen wurde hauptsächlich *Thais lapillus*, die Nordische Purpurschnecke gesammelt. *Murex* und *Thais* liefern den violetten Purpur, während sich aus *Trunculariopsis* eher der rote Purpur herstellen lässt [5].

Der Purpur wird in der Hypobranchialdrüse synthetisiert, die in der Kiemenhöhlenwand gelegen ist, genauer in ihrem hinteren Bereich, der zwischen After und Kieme liegt. Diesen Abschnitt bezeichnet man auch als adrectale Drüse [4]. Bei der Präparation lässt er sich als blassgelber Gewebestreifen identifizieren. Erstaunlicherweise hat man bis heute noch keine eindeutige Vorstellung von der biologischen Funktion des Purpurs. Er ist nur einer von vielen Bestandteilen des Sekrets der Hypobranchialdrüse. Dieses dient bei Schnecken allgemein der Reinigung der Mantelhöhle und der Exkretion. Außerdem ist eine Schutzfunktion nachgewiesen. Dubois fand im *Murex*-Schleim eine giftige Komponente, die ihre Wirkung vor allem bei wechselwarmen Wirbeltieren entfaltet, nicht aber bei Säugetieren [5]. Die Schnecken setzen den Schleim vor allem dann frei,

wenn sie irritiert oder stimuliert werden. Neben der Farbstoff- und der Giftkomponente enthält der Schleim einen wohlriechenden Bestandteil, bei dem es sich um ein Pheromon handeln könnte, das der innerartigen Kommunikation dient. Man vermutet daher auch eine Rolle im Fortpflanzungsgeschehen.

In der Hypobranchialdrüse kommt fast kein Purpur vor, sondern nur die farblose Komponente als „Chromogen“. Der vom Menschen geschätzte Farbstoff, der eigentliche „Chromophor“, ist für die Purpurschnecken nur eine Art Nebenprodukt ohne biologische Bedeutung [2]. Andererseits stoßen einige Opisthobranchier aus der Gruppe der Anaspidea (wie Seehasen der Gattung *Aphysia*) bei Gefahr Purpurwolken aus – ähnlich wie Tintenfische.

FÄLSCHUNG DES PURPURS

In Anbetracht der Kostbarkeit des Purpurs ist es nicht verwunderlich, dass man ihn vielfach gefälscht und nachgeahmt hat. Der „Leidener“ und der „Stockholmer“ Papyrus, Färbepapiri aus dem dritten Jahrhundert, erwähnen 70 Rezepte zur Herstellung purpurner Farbe, beispielsweise Vitriol mit Gallapfelsud oder Eisenhammerschlag mit Apfelsäure (Malat) aus unreifen Granatäpfeln [10]. Die wichtigste „Fälschung“ des antiken oder tyrischen Purpurs ist wohl der französische Purpur, Orseille oder Orchilla. Ab etwa dem 13. Jahrhundert gewann man ihn – ähnlich wie Lackmus – aus Flechten der Gattungen *Rocella* oder *Ochrolechia*. Vielfach hat man den echten Purpur auch gestreckt oder einen mit anderen Rottönen vorbehandelten Stoff purpurn nachgefärbt, das heißt, man gab ihm ein „Purpurfinish“.

Schneckenfang in der Antike

Angaben zu Purpurschnecken und zur Purpurherstellung finden sich bei Aristoteles und bei Plinius, den beiden großen Naturhistorikern der Antike. In seiner Tierkunde beschreibt Aristoteles [1], wie die Purpurschnecken mit ihrem Rüssel „Vielfüßler“ (also Krebse) und Muscheln durchbohren. Außerdem ist ihm bekannt, dass Purpurschnecken sich an Aas sammeln, was er als Beleg für das Vorhandensein von Geruchs- und Geschmackssinn nimmt. Aus diesen Kenntnissen erklären sich auch die Fangmethoden, die damals verwendet wurden. Aristoteles berichtet, dass man Fangkörbe oder Reusen auf den Meeresgrund herabließ. Geködert wurde entweder mit Aas oder mit Muscheln, der potenziellen Beute. Diese Technik ist noch heute gebräuchlich, jedoch kaum, um Purpur zu gewinnen. An vielen Küsten des Mittelmeers gelten die Purpurschnecken nämlich als Delikatesse. Über Struktur und Lage der Purpurdrüse weiß Aristoteles ebenfalls sehr genau Bescheid: „Den Farbglanz haben sie zwischen Leber und Hals. Mit diesen ist die Drüse dicht verwachsen, in der Farbe anzusehen wie ein helles Häutchen. Diese reißt man ab.“ Die gemeinschaftliche Eiablage interpretiert er allerdings auf geradezu groteske Weise falsch. Die „Wabenbildung“ hält er für einen Prozess der Reinigung. Bei Jungschnecken, die er in der Umgebung der Gelege durchaus beobachtet hat, vermutet er, dass sie durch Urzeugung aus dem Sediment entstanden sind.

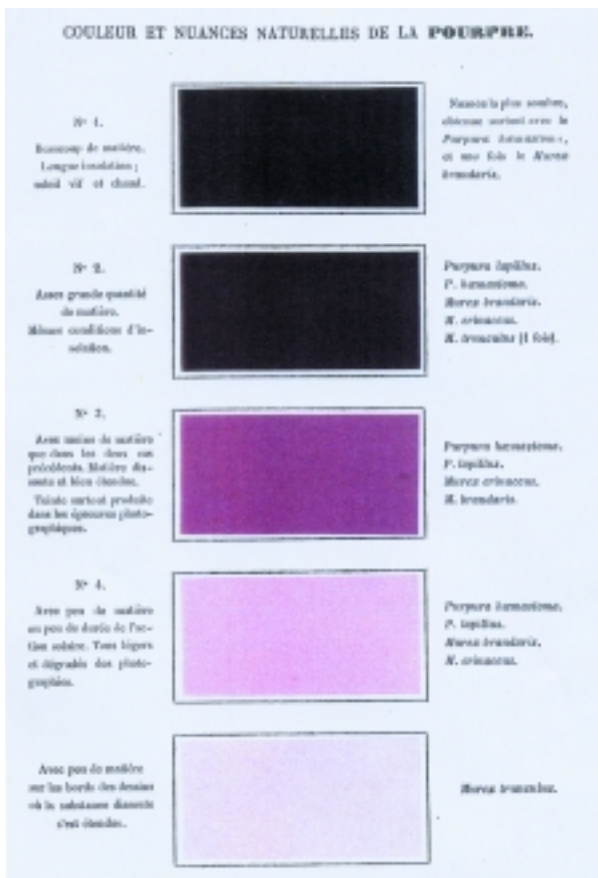


ABB. 4 Verschiedene Nuancen des Purpurs, die sich in Abhängigkeit von der Farbstoffmenge, den Lichtverhältnissen und den verwendeten Schneckenarten erzeugen lassen (aus [4]).

Plinius gibt in seiner Naturkunde [9] einen genauen Überblick des Schneckenfangs, der Purpurgewinnung und der Färbeprozedur. Auch bei ihm kann man ein recht amüsanteres Missverständnis nachlesen. Plinius glaubte nämlich, dass die Ködermuscheln die Purpurschnecken fangen und nicht umgekehrt. Dies erklärt sich dadurch, dass er in den Reusen eine große Zahl von Purpurschnecken fand, die mit ihren Stacheln zwischen den Muscheln steckten. Also mussten die Muscheln die Schnecken gefangen haben. In Wirklichkeit ist es gerade umgekehrt. Wie weiter oben beschrieben, hebeln die Brandhörner ihre Beute unter Einsatz des Stachels auf. Dieses Missverständnis hielt sich offenbar sehr hartnäckig. P. Heyden schrieb 1571 in Anlehnung an Plinius: „...die purpurschnecken fahet man mit fischreusen, darinn kleine schnecklin angebunden sind, welchen die purpur, so bald denn die schnecken den stich fühlen, verklemmen sie den purpuren die zunge mit der zusammenpressung ihrer schalen, und werden also beide ... zu lande gezogen...“

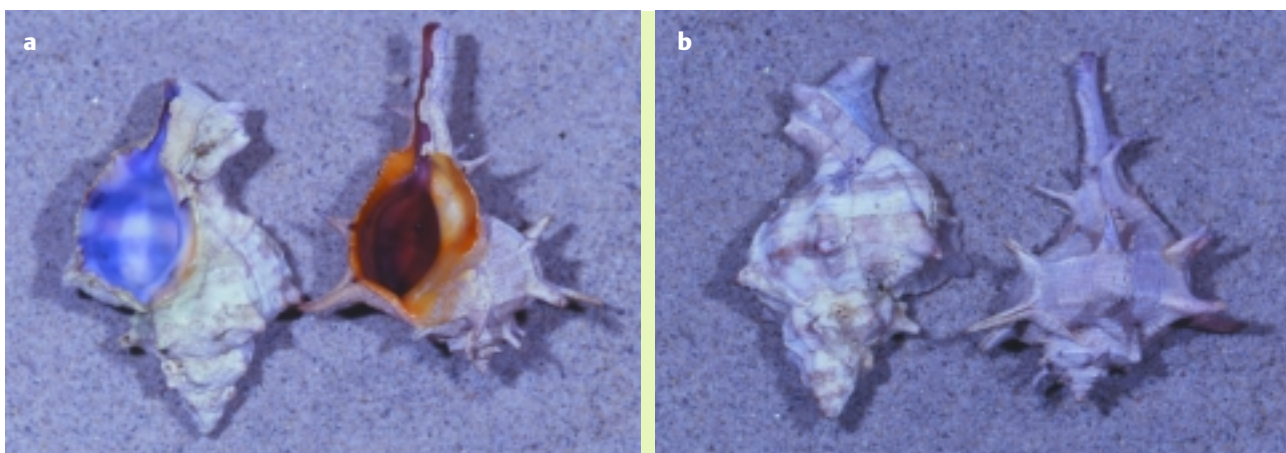
Die Farbstoffextraktion war mühsam

Zur Herstellung eines einzigen Gramms Purpur benötigte man 10.000 bis 12.000 Schnecken, wie zu Beginn des 20. Jahrhunderts durchgeführte Experimente belegt haben [7]. Von *Thais lapillus*, der kleinen Nordischen Purpurschnecke, mussten hierfür sogar 40.000 Stück gesammelt werden. Aber nicht nur das Sammeln der Tiere, auch die Extraktion des Farbstoffs war mühsam und zeitaufwendig. Außerdem hat man nie mit reinem Purpur gefärbt, da die Möglichkeit fehlte, ihn ohne Beimengungen zu isolieren. Statt dessen verwendete man zerquetschte Tiere oder grob herauspräparierte Hypobranchialdrüsen. Zum Entfernen der kompletten Drüsen aus großen Tieren hat man besondere Instrumente eingesetzt. Die Drüsen wurden hiernach ein paar Tage mit Salz mazeriert und schließlich in einem Kessel bis zu zehn Tage über Dampf am Köcheln gehalten. Hierbei wurde der Sud auf ein Zehntel bis Zwanzigstel des Anfangsvolumens oder sogar weniger eingekocht. Von 100 Litern Ausgangsvolumen blieben daher kaum fünf Liter Extrakt zum Färben übrig [2,10].

„...wenn man die ader von inen bringet, darinn der purpursaft ist, beitz mans mit salt ein, seudt sie folgend und ferbet also damit“, beschreibt P. Heyden das Färben. Die Zugabe von Salz war rein empirisch; als Faustregel empfiehlt Plinius einen „Sextarius“ (entspricht 0,53 Liter) Salz auf 500 Pfund. Heute sind wir über die chemischen Hintergründe dieser Prozedur recht gut unterrichtet (Abbildung 8): Es gibt den Farbstoff in zwei Formen, als Purpur i. e. S., den Chromophor, und als farblose Leukobase, das Chromogen. Der Purpur ist die oxidierte, wasserunlösliche Form, die Leukobase ist reduziert und wasserlöslich [2,11]. Sie allein ist im Sekret der Purpurschnecken enthalten. Beim Extrahieren mit Salz und beim Eindampfen stellte man sicher, dass der Farbstoff in gelöster Form erhalten blieb und damit färbefähig war. Außerdem zog das Salz außer Wasser auch den Farbstoff aus den zermörserten Schnecken.

Färben von Stoffen – der große Moment

Zum Färben tauchte man Wolle oder Leinen in die Purpurbrühe ein, bis sie sich vollgesogen hatten. Obwohl die Leukoverbindung eine gute Affinität zum Gewebe besitzt, sah das Ergebnis zunächst eher enttäuschend aus: Allenfalls ein undefinierbares, schmutziges Gelb war zu erkennen. Nun aber kam der große Moment. Während man die bisherigen Arbeitsschritte bei so wenig Licht wie möglich, zumindest im Schatten durchgeführt hatte, hängte man die durchtränkten Gewebe nun in die pralle Sonne und plötzlich zeigte sich ein interessantes Farbenspiel. Schon nach kurzer Zeit entstanden gelbe und grüne Farbtöne, dann blaue und dunkelrote und ganz zuletzt die gewünschte purpurrote oder purpurviolette Farbe (Abbildung 3, Kasten auf Seite 38). Nach Plinius wurde ein Purpur, der die Farbe des geronnenen Bluts hatte, am meisten geschätzt. Heute wissen wir, dass unter dem Einfluss des Sonnenlichts und durch „Verhängen an der Luft“ die Oxidation einsetzt und der Farbstoff farbig und wasserunlöslich wird. Das Chromogen wird zum Chromophor, zum Purpur. Er überzieht die Fasern gewissermaßen als Lack, der sich durch eine erstaunlich hohe Wasch- und Lichtechtheit auszeichnet. Belichtung stabilisiert den Purpur geradezu. Nur an exponier-



ten Stellen der Kleidung wird die Farbe relativ leicht abgerieben. Dies ist der gleiche Effekt, wie man ihn am „Alterslook“ von Jeans schätzt.

Diese in den antiken und mittelalterlichen Purpurfärbereien verwendete Färbemethode ist eine Variante der Kupenfarberei (vom „Farbkubel“) (Abbildung 8). Verwendet man nämlich anstelle der direkt aus den Schnecken gewonnenen Leukobase den oxidierten Farbstoff, dann muss man ihn zunächst durch alkalische Behandlung mit einem Reduktionsmittel „verkupen“, also in die Leukobase überführen. Hierfür setzt man Hydrogensulfit (Hydrosulfitkupe) oder Natriumdithionit ein. Bei der Reduktion des Purpurs lagern sich Wasserstoffatome an die doppelt gebundenen Sauerstoffatome und bilden Hydroxygruppen. In der früher ebenfalls verwendeten „Garkupe“ brachten Bakterien den Reduktionsprozess in Gang. Bis in die späte Antike waren eine Vielzahl von Varianten der Purpurfarberei bekannt. Ein großer Teil der Rezepte ist allerdings in Vergessenheit geraten.

Chemie des Farbstoffs

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts begann die Farbindustrie, eine Vielzahl von Farbstoffen grostechnisch zu synthetisieren. Sie verdrängten die Naturprodukte binnen weniger Jahre fast ganz vom Markt. Es ist daher kein Wunder, dass man sich zu dieser Zeit an den Purpur erinnerte und seine Struktur zu entschlüsseln versuchte. P. Friedländer, ein Darmstädter Professor, nahm sich der alten Rezepte an und extrahierte selbst echten Schneckenfarbstoff: 12.000 Purpurschnecken lieferten genau 1,4 Gramm Purpur. Die weitere Analyse erbrachte ein überraschendes Resultat: Friedländer identifizierte den Purpur als 6-6'-Dibromindigo ($C_{16}H_3Br_2N_2O_2$, Abbildung 8), also als Derivat des Indigoblaus [7]. Somit unterscheidet sich der Purpur nur durch zwei Bromatome vom Indigo. Kein Wunder also, dass das Färben in beiden Fällen nach dem Grundprinzip der Kupenfarberei durchzuführen war und das Verhalten der Farbstoffe große Übereinstimmungen aufwies. Die Leukobase von Indigo wird in der Färberei als Indigowe bezeichnet.

ERNÄHRUNG UND FORTPFLANZUNGSVERHALTEN

Die Purpurschnecke

Trunculariopsis trunculus bevorzugt Aas. Manchmal kann man die Tiere daher im Meer gemeinschaftlich an einem Fischkadaver fressen sehen. Im Aquarium lassen sie sich relativ leicht halten, wenn man ihnen gelegentlich Fleischstückchen anbietet. *Trunculariopsis* kann außerdem Muscheln öffnen und fressen. Hierauf hat sich auch *Murex brandaris*, die Herkuleskeule, spezialisiert. Zum öffnen von Muscheln verwendet sie einen speziellen Zahn als „Buchsenoffner“. Zunächst saugt sie sich mit dem Fuß an einer Schalenklappe ihres Opfers fest. Dann zwangt die Schnecke einen der Zähne ihres Gehauserandes zwischen die Muschelschalen und hebt sie wie mit einem Brecheisen auf. Sie benutzt also ihre stachelige Schale als Werkzeug und nicht nur, wie die meisten anderen Arten, um sich vor Rubern zu schützen. Schließlich steckt das Brandhorn seinen kräftigen Rüssel in die Muschel und schlurft sie leer.

Einige Arten wie *Thais* und *Nucella* bohren ihre Beute, in der Regel Muscheln, mit der *Radula* an und fressen sie durch das Bohrloch leer. Der Speichel von Purpurschnecken enthält neben Säuren auch Gift, das zum überwältigen der Beute dient.

Purpurschnecken zeigen ein ungewöhnliches Fortpflanzungsverhalten (Abbildung 6). Im Frühsommer trifft sich eine große Anzahl von Tieren zur Eiablage. Hierbei produzieren sie Gemeinschaftsgelege, die teilweise fußball-

große erreichen. Ab und zu findet man Mischgelege von *Murex* und *Trunculariopsis*. Die spindelförmigen Eier liegen in einer gelblichen Proteinmatrix, die an einen sehr groben Schwamm erinnert. In den Gelegen wird ein beträchtlicher Teil der Eier zu Nahreiern. Sie werden von den heranwachsenden Schnecken gefressen. Schon während, vor allem aber nach dem Schlüpfen der Jungschnecken, ist das Hohlraumssystem der Gelege ein interessantes Kleinhabitat für andere Meeresbewohner. Von der Brut verlassene, zerfallende Gelege lassen sich bis tief in den Herbst beobachten.

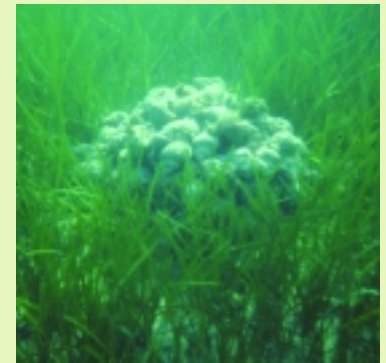


ABB. 6 Purpurschnecken (*Trunculariopsis trunculus*) bei der Eiablage in einer Seegraswiese (*Zostera marina*) am Grund einer flachen Sandbucht. Die Tiere sind aus der Umgebung herbeigekrochen und schicken sich an, ein großes Gemeinschaftsgelege zu bauen.

◀ **ABB. 5** *Trunculariopsis trunculus* (jeweils links) und *Murex brandaris* (jeweils rechts), die zwei häufigsten Purpurschnecken des Mittelmeers, (a) von ventral beziehungsweise (b) dorsal gesehen. *M. brandaris*, das Brandhorn, benutzt den hier nach links weisenden, besonders kräftigen Stachel zum öffnen von Muscheln. Der vordere, röhrenförmige Teil des Gehäuses nimmt den Siphon auf. Sehr schön zu sehen ist die artspezifische Färbung der Perlmuttertschicht; bei *Trunculariopsis* erinnert sie ein wenig an den Purpurfarbstoff.

◀ **ABB. 7** Ein fast fertig gestelltes Gelege von *Murex brandaris*, ebenfalls in einer Seegraswiese. Bis auf drei Tiere haben sich die „Herkuleskeulen“ bereits wieder entfernt.

Zwei der drei klassischen Stofffarben sind also chemisch eng miteinander verwandt, obwohl ihre Herkunft nicht unterschiedlicher sein könnte: hier die Schnecke, da die Pflanze. Sowohl chemisch als auch färbetechnisch ist Indigo, die gegenwärtig – vor allem zum Färben von Jeans – meistverwandte Kleiderfarbe, mit der antiken „Königsfarbe“ Purpur eng verknüpft. (Wir werden noch sehen, dass Purpurschnecken außer Dibromindigo auch Indigo synthetisieren können.) Nach Friedländers Studien wäre der Purpur einer industriellen Herstellung zugänglich gewesen, aber er wurde von anderen, leuchtenderen Farben verdrängt. Andere halogenierte Indigoverbindungen sind jedoch durchaus in Gebrauch, darunter verschiedene Formen von Dichlor-Dibrom- und Tetrachlor-Indigo.

Reine Purpurkristalle lassen sich durch Behandlung von Hypobranchialdrüsen-Extrakt mit Schwefelsäure, Wasser und Ethanol herstellen. In Tetrachlorethan oder Etylbenzolat bilden sich kupferfarbene Mikrokristalle, die sich in Nitrobenzol oder Quinolin umkristallisieren lassen. So entstehen rosettenförmige Kristalle mit einem Durchmesser von 6, 8 oder 12 Millimetern. Bei hohen Temperaturen formen sich schließlich indigoblaue, metallisch glänzende Kristalle. In warmem Tetrachlorethan hat Dibromindigo sein Absorptionsmaximum im orangen Bereich bei 596 Nanometern. Bei größerer Verdünnung erscheint die Bande im gelborangen Bereich bei 585 Nanometern [6].

Purpursynthese in der Schnecke

Frühe Versuche zur Biochemie des Purpurs wurden von Dubois [5] durchgeführt. Er entdeckte ein Enzym, von ihm als Purpurase bezeichnet, das für die Bildung des Purpurs notwendig ist. Außerdem führte er Experimente zur Artspezifität des Enzyms durch, indem er Purpurase von *Murex* auf *Trunculariopsis* übertrug und umgekehrt. Weiterhin studierte er die Wellenlängenabhängigkeit der Farbreaktion. Hierzu bestrahlte er Chromatogen-Purpurase-Gemische mit Licht verschiedener Wellenlängen und erhielt so beispielsweise bei längerwelligem, roten Licht johannisbeerrote Gemische und bei kürzerwelligem, blauen oder grünen Licht bläuliche Farben. Dubois zeigte auch, dass Purpur in Ethanol löslich ist. Die komplette Liste der organischen Lösungsmittel für Purpur umfasst neben Ethanol zum Beispiel Chloroform, Eisessig, Phenol und Anilin.

Ein Teil des Stoffwechselwegs, bei dem Purpur entsteht, wurde unter anderem von Bouchilloux & Roche [3] anhand von Hypobranchialdrüsen-Extrakten untersucht. Sie zeigten, dass unter Purpurase-Aktivität SO_4^{2-} -Ionen freigesetzt werden; das Enzym war damit als Sulfatase identifiziert. Außerdem ließen sich kombinierte Bromverbindungen nachweisen; belichtete man sie, entstanden Mercaptan-Radikale – ein Hinweis darauf, dass es sich beim Purpur oder seinen Vorstufen um bromierte Verbindungen handelt.

Bei *Trunculariopsis* fanden sich mindestens zwei Chromogen-Vorstufen, bei *Murex* hingegen nur eine, was die un-

terschiedlichen Farbabstufungen erklärt, die man aus den beiden Arten von Purpurschnecken erhält. Bei einer der Vorstufen handelt es sich um Indoxyl, da es sich mit Sauerstoff in sein blaues Dimer Indigo überführen lässt. Auch Purpurschnecken können also diesen Farbstoff herstellen. Die zweite Vorstufe war die bromierte Version des Indoxyls, 6-Bromindoxyl, und damit die direkte Ausgangssubstanz des Purpurs: Zwei dieser Moleküle ergeben entsprechend 6,6'-Dibromindigo, den purpurfarbenen Chromophor (Abbildung 8). Damit war nachgewiesen, dass die unterschiedlichen Farben der Purpurschnecken durch artspezifische, unterschiedliche Mengenverhältnisse von 6-Bromindigo, 6-Bromindoxyl, Indoxyl und Indigo entstehen. Eine ausführliche Darstellung der Purpursynthese findet sich in [2].

Pflanzen bilden Indigo auf fast identische Weise. Bei ihnen wird das 3-Hydroxyindol-Glucosid Indican durch saure Acetal-Hydrolyse in Indoxyl umgewandelt. Zwei dieser Moleküle werden dann nach Oxidation zum Indigo verknüpft. Wie aber gelangen die Ausgangssubstanzen des Purpurfarbstoffs in die Schnecke? Beim Abbau von Tryptophan durch Darmbakterien entsteht bei vielen Tieren das leicht giftige Indol. Durch Oxidation bilden sich Indoxyl und Indican (Abbildung 8), die exkretiert werden müssen. Im Urin vieler Pflanzenfresser sind diese Substanzen leicht nachweisbar. Beim Menschen ist ein erhöhter Gehalt im Urin pathogen; er kann beispielsweise durch einen Blaseninfekt entstehen, aber auch durch ein Leberkarzinom. Daher sind in der Medizin verschiedene Nachweismethoden in Gebrauch, die wiederum auf Oxidation des Indoxyls zu blauem Indigo beruhen [3]. Man kann folgern, dass auch bei den Schnecken die Purpurvorstufen primär im Kontext der Exkretion, genauer gesagt, des Tryptophanabbaus, entstehen. Die Speicherung des Purpurs in seiner Leukoform zeigt jedoch, dass diese Tiere ihn in einen neuen oder erweiterten Funktionszusammenhang gebracht haben.

Photochemisches

Interessant ist auch die Photochemie des Purpurs. Sowohl die Leukobase als auch der Purpur besitzen je zwei aromatische Ringe, einen pro Monomer (Abbildung 8). Letztere sind über eine Doppelbindung miteinander verknüpft. Durch Oxidierung der Leukobase entsteht pro Einheit eine Carboxylgruppe, die durch ein ebenfalls doppelt gebundenes Sauerstoffatom gekennzeichnet ist. Damit besitzt der Purpur im Unterschied zur Leukobase ein längeres System konjugierter Doppelbindungen. Wegen der Orientierung der Carboxylgruppen wird es als gekreuzt konjugiertes System bezeichnet, wie es übrigens auch im Alizarin, dem Farbstoff aus der Krapp-Wurzel, vorkommt. Die Absorptionseigenschaften einer solchen Verbindung werden entscheidend durch die Dimensionen der π -Elektronenwolke bestimmt. Je länger die Kette der Doppelbindungen ist, desto langwelliger wird das Absorptionsmaximum und desto höher wird der kurzwellige Anteil der Farbe. Für einfache Kohlenwasserstoffe mit konjugierten Doppelbin-

dungssystemen gilt die Faustregel, dass die Absorptionswellenlänge pro Doppelbindung um etwa 40 Nanometer steigt. Beim Übergang von der Leukobase zum Purpur ändert sich somit das Absorptionsverhalten drastisch und der Farbeindruck verändert sich: Der Purpur wird purpurn. Auch Brom beeinflusst die Absorption und verschiebt das Absorptionsmaximum in den kürzerwelligen Bereich. Bei Bromierung von Indigo wechselt deshalb der Farbeindruck von blau nach rotviolett. Auf diese Weise wird aus dem blauen Indigo der Purpur.

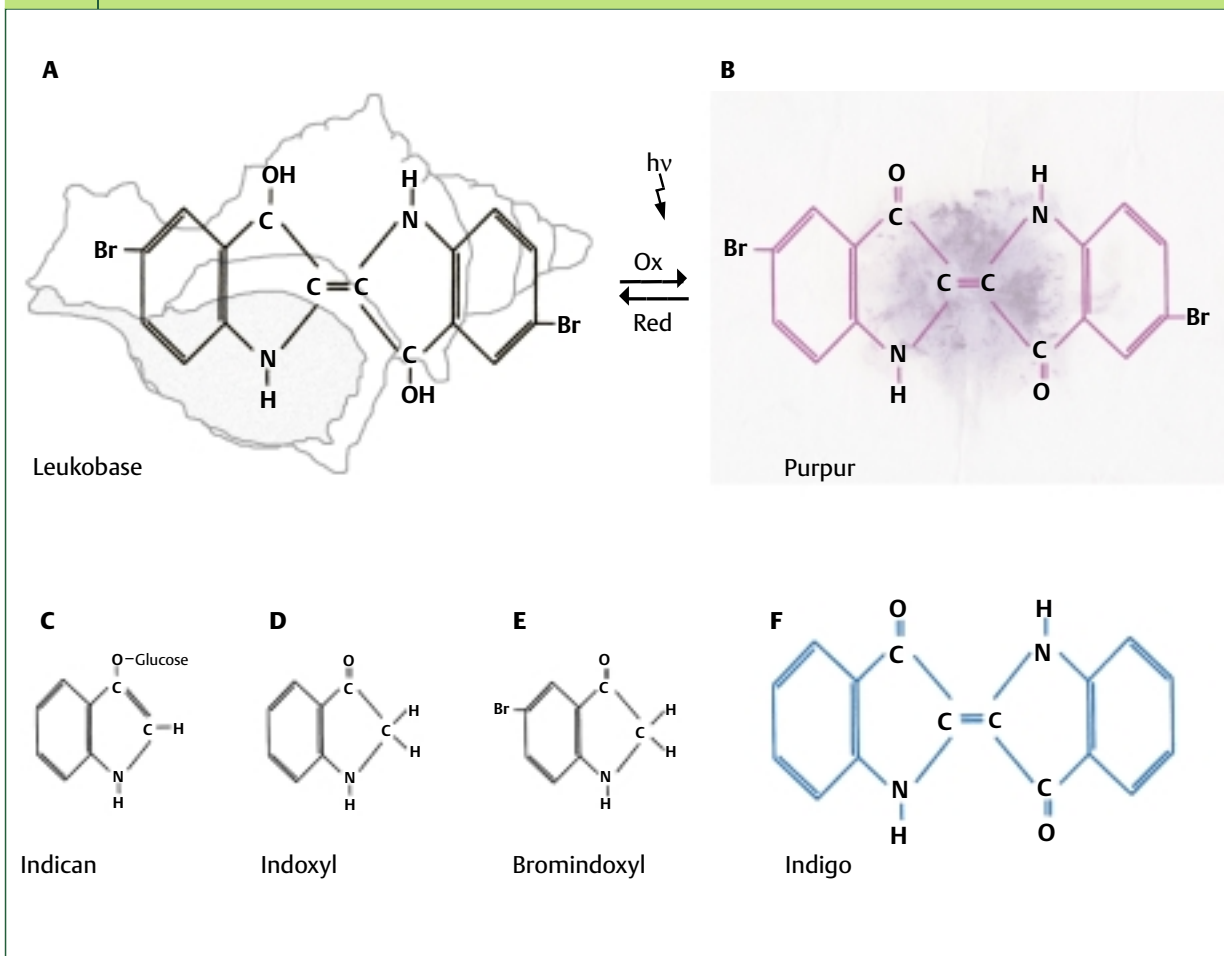
Farben des Meeres

In einer Zeit, die im Vergleich zu unserer arm an Farben war, verwendete man verständlicherweise jede nur erdenkliche Farbstoffquelle und kam so auf die Purpurschnecken als sehr ungewöhnliche Nutztiere. Die Exklusivität des Farbstoffs ergab sich zunächst aus der mühevollen Herstellung und der Qualität der Färbung. Man nutzte den

Purpur, um sich abzuheben. Purpurstoff wurde zum Statussymbol. Daher liest sich die Geschichte des Purpurs wie ein „who-is-who“ der Antike. Aber natürlich gefiel die Farbe auch. In Anbetracht seiner wundersamen Herkunft empfand man den Purpur gewiss als Gottesgabe. Aus diesen Elementen entwickelte sich der Mythos Purpur und man nahm ihn auch als Anlass zur Reflexion.

So ist auch der eingangs erwähnte Satz verständlich, den Aischylos Klytämnestra sagen lässt: „Noch ist das Weltmeer. Wer erschöpft es je?“. Heute sorgen wir uns ernstlich um die Zukunft des Weltmeers und wir haben Anlass dazu: Gibt es das Meer „noch“, „immer noch“ oder „gerade noch“? Wenigstens eine Gewissheit haben wir: Man kann es erschöpfen. In manchen Lexika wird behauptet, die Purpurschnecken seien fast ausgestorben. Dies ist sicher falsch. Sie sind auch heute keineswegs selten. Bislang ist nur die Farbe, die sich aus ihnen gewinnen lässt, außer Gebrauch gekommen. Vielleicht ist sie, die ehemals glanz-

ABB. 8 | GRUNDPRINZIP DES FÄRBENS



Aus der Hypobranchialdrüse der Purpurschnecken wird die farblose Version des Farbstoffs, die Leukobase (A) gewonnen. Aus Purpur entsteht sie durch Reduktion. Im Sonnenlicht setzt die Oxidation ein: Es bildet sich der Chromophor, also Purpur (6-6'-Dibromindigo, B). Ausgangssubstanzen für die Purpursynthese in der Schnecke sind Indican (C), Indoxyl (D) und Bromindoxyl, das Monomer des Purpurs (E). Fast identisch verfährt man beim Färben von Jeans mit Indigo (F). In der Indigopflanze entsteht er aus Indoxyl.

PURPUR IM PRAKTIKUM

„Warum nicht einmal mit Studenten zusammen selbst Purpur machen?“, fragten wir uns vor einigen Jahren während des meeresbiologischen Praktikums, nachdem wir uns ein wenig mit den alten Rezepten beschäftigt hatten – aber wenn, dann auf antike Weise. Also sammelten wir einige Purpurschnecken, kauften ein Pfund Meersalz und färbten – es war ein beeindruckendes Erlebnis.

Hier ein einfaches Rezept: Zunächst werden die Schnecken an einem schattigen Ort mit dem Hammer aufgeklöpft, das Gewebe um die Mantelhöhle entnommen und in einer Schüssel gesammelt. Dann gibt man je nach Menge ein paar Esslöffel Kochsalz und etwas Meerwasser hinzu und zermörsert das Gewebe, bis man eine relativ homogene Masse erhält. Nach einer Weile drückt man sie durch ein Sieb oder einen feinen Käscher und fängt die ablaufende Flüssigkeit auf. Jetzt kann man nach Belieben T-Shirts,



ABB. 9 Hier wird mit Schneckenextrakt eine Purpurschnecke (*Trunculariopsis trunculus*) auf ein T-Shirt gemalt. Um eine stabile Färbung zu erhalten, ist es wichtig, dass mit unbelichtetem Extrakt gearbeitet wird. (Zeichnung: M. Unsöld.)

Papier und anderes mit der Flüssigkeit tränken oder bemalen. Erst danach dürfen die Produkte an die Sonne. Binnen weniger Minuten wird sich die Purpurfarbe entwickeln (Abbildung 3).

vollste aller Farben, aus heutiger Sicht tatsächlich zu blass und zu langweilig. Bei Homer dagegen ist nicht nur das Blut purpurn, sondern gelegentlich auch das Meer selbst. Es gab eine graublau, dunkle Variante des Purpurs, die sehr gut die stürmische See beschrieb. Purpur ist also eine Farbe voller Bedeutungen. Plinius findet außerdem eine bemerkenswerte Interpretation des Purpurs als Luxusgut: „Welche Beziehung besteht zwischen dem Meer und den Kleidern, zwischen den Wellen und Fluten und der Wolle? Ist es nicht richtig, dass uns dieses Element nur nackt empfängt?“ Eigenartig, wie hier die Frage nach dem richtigen Umgang mit dem Meer aufscheint. Für uns ist heute das Blau die wichtigste Farbe des Meeres. Ob sich das Meeresblau erschöpfen lässt, ist fraglich. Wenn wir mit diesem Blau umgehen, suchen wir eine bestimmte Erlebniswelt, vermutlich ganz im Sinne der antiken Autoren. Am Beispiel des Purpurs dachten jene schon früh auf differenzierte Weise darüber nach, dass das, was ist, nicht notwendigerweise so bleiben muss. Ob auch wir uns der Vergänglichkeit der Dinge bewusst sind, ist nach wie vor uns überlassen. Fast ist es ein bisschen schade um den Purpur.

Zusammenfassung

Purpur (6,6-Dibromindigo), in der Antike die Farbe der Götter und Könige, wurde durch Extraktion der Leukobase aus Tausenden von Purpurschnecken (*Muricidae*) und anschließende Photooxidation gewonnen. Die Autoren geben eine Übersicht der Geschichte und kulturellen Bedeutung dieser Farbe aus dem Meer, seiner Herstellung, der angewandten Färbetechnik

und der Chemie des Purpurs. Außerdem berichten sie aus moderner und antiker Sicht über die Biologie der Purpurschnecken, die sicher zu den eigenartigsten Nutztieren des Menschen zählen, und zeigen, wie man im meeresbiologischen Praktikum echten Purpur herstellen kann. Der Purpur war eine äußerst kostbare Substanz – und ein Mythos, als dessen Hauptmotiv man die Beziehung des Menschen zum Meer sah.

Summary

In ancient times the colour of gods and kings, tyrian purple (6,6-dibromindigo), was made by extracting the leucobase from myriads of purple snails (*Muricidae*) and light-induced oxidation. A survey of its history, production and cultural and social relevance is given. The biology of purple snails is described in the light of old as well as of modern sources. In addition, studies on the purple stain's chemistry as well as biochemistry are reviewed, and a procedure for the making of purple is presented to be used in marine biology courses. Tyrian purple was a treasured substance, and a myth. The colour and its uncommon producers stand for the way in which humans look at the sea – and how this view changes.

Literatur

- [1] Aristoteles: Tierkunde; herausgegeben und übertragen von P. Gohlke. Ferdinand Schöningh, Paderborn, 1957, 544.
- [2] J.T. Baker, Tyrischer Purpur: ein antiker Farbstoff, ein modernes Problem. *Endeavour* 1974, 33, 11–17.
- [3] S. Bouchilloux, J. Roche, Contribution à l'étude biochimique de la pourpre de *Murex*. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco* 1955, 52, 341–357.
- [4] H. De Lacaze-Duthiers, Anatomie de la glande à pourpre du *Purpura lapillus*. *Ann. Soc. Nat. Zool.* 1859, 12, 5–84.
- [5] R. Dubois, Recherche sur la pourpre et quelques autres pigments animaux. *Arch. Zool. Exp. Gén.* 1909, 2, 471–590.
- [6] D.L. Fox, Animal bichromes and structural colours. Cambridge University Press, Cambridge, 1953.
- [7] P. Friedländer, Ueber antiken Purpur. *Z. angew. Chem.* 1909, 48, 2321–2324.
- [8] F.P. Möhres, Purpur. *Die BASF* 1962, 12, 163–167.
- [9] C.S. Plinius, Naturkunde lat.-dt., Buch IX, Zoologie: Wassertiere. Heimeran Verlag, München, 1979, 256.
- [10] E. Ploss, Purpurfärbungen in der Antike. *Die BASF* 1962, 12, 168–171.
- [11] H.-H. Vogt, Farben und ihre Geschichte – Von der Höhlenmalerei zur Farbchemie. Kosmos Bibliothek 280. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1973.

(eine komplette Bibliographie ist bei den Autoren erhältlich)

Autoren



Roland R. Melzer, geb. 1960. Biologiestudium in Freiburg bis zur Promotion (1991), wechselte dann über Wien (1992) nach München; Habilitation für das Fach Zoologie 1999. Forschungsgebiete: Sinnesorgane und sensorische Zentren von Arthropoden, Morphologie der Fischretina, Meeresbiologie, Biologie der Arthropoden.



Peter Brandhuber, geb. 1970. Biologiestudium in München, Zulassungsarbeit über die Biologie von Mittelmeertieren in der Arbeitsgruppe von Prof. Smola; Spezialgebiet: Meeresbiologie; arbeitet als Lehrer in München.



*Timo Zimmermann, geb. 1968. Biologiestudium in München bis zur Promotion (2000), wechselte dann an das EMBL in Heidelberg. Forschungsgebiete: Sinnesorgane und sensorische Zentren von Arthropoden, molekulare Zellbiologie (*Dictyostelium*, *Caenorhabditis*), Meeresbiologie.*



Ulrich Smola, geb. 1937. 1960 bis 1965 Studium der Elektrotechnik/Nachrichtentechnik (TH Aachen und München, Dipl. Ing.), Studium der Biologie an der Univ. München, Promotion 1970, Habilitation 1972, Professor für Zoologie 1978. Seit 1981 Geschäftsführender Vorstand des Zoologischen Instituts an der Universität München. Forschungsgebiete: Sinnesphysiologie u. Funktionsmorphologie des visuellen Systems von Insekten; Meeresbiologie

Anschriften: Roland R. Melzer, Peter Brandhuber, Timo Zimmermann, Ulrich Smola
Zoologisches Institut der Universität,
Luisenstr. 14, D-80333 München,
E-mail: melzer@zi.biologie.uni-muenchen.de