

Über Bau und Farben der Flügelschuppen bei Tagfaltern.

Von

Dr. M. Baer

in Stuttgart.

(Aus dem zoologischen Institut zu Tübingen.)

Den Erörterungen über das Zustandekommen der verschiedenen Schmetterlingsfarben muss eine kurze Beschreibung des feineren Baues der Schmetterlingsschuppen vorausgeschickt werden, denn Färbung und Schuppenstruktur stehen zu einander vielfach in enger Beziehung; ja in vielen Fällen erklärt eben der histologische Bau die Farbenerscheinung der Schuppen.

Die Ergebnisse meiner histologischen Untersuchungen stimmen im Allgemeinen mit denjenigen früherer Untersucher, wie MAYER u. A. überein. Danach besteht die Schuppe in der Hauptsache aus zwei Schichten, einer oberen, im Vergleich zur folgenden dicken Chitinplatte mit den Schuppenkulpturen und einer unteren, dünnen, zarten, durchaus homogen erscheinenden Schicht, welche der Schuppenunterseite ein glattes oder höchstens leicht runzeliges Aussehen verleiht. MAYER nennt diese Schicht »Plasmahaut«. Ob beide Schichten ihrer stofflichen Zusammensetzung nach verschieden sind, d. h. Chitinbildung bloß an der Schuppenoberseite stattgefunden hat, während die Schuppenunterseite ihre protoplasmatische Natur beibehielt, erscheint mit Rücksicht auf die Entwicklung der Schuppe aus einer Ausstülpung der oberen Wand einer Epi-(Hypo-)dermiszelle immerhin fraglich, denn es leuchtet nicht ohne Weiteres ein, wesshalb nicht auch an der der Flügelhaut zugekehrten Seite dieses Zellfortsatzes, also der Schuppenunterseite, Chitinbildung stattfinden sollte. Ich werde deshalb in der Folge für diese Schicht statt »Plasmahaut« die Benennung »basale Lamelle« gebrauchen.

Sicher ist, dass diese Lamelle niemals pigmentirt, sondern stets glashell und homogen erscheint.

Die Skulpturformen sind außerordentlich mannigfaltig. Es soll darauf — so weit dies für unsere Zwecke nöthig erscheint — bei der Einzelbeschreibung der verschiedenen Schuppen eingegangen und hier nur einiges Allgemeine darüber angeführt werden: bekanntlich zeigen die meisten Schuppen von der Fläche gesehen Längsstreifung; nicht selten sind die Längsstreifen unter sich wieder durch Querstreifen verbunden, so dass die Schuppenoberfläche gefeldert aussieht. Das gestreifte Aussehen wird hervorgerufen durch mehr oder weniger hohe Chitinleisten oder Rollen, welche auf guten Querschnitten als zierliche, bald stumpf abgerundete, bald zugespitzte Zähne über die Chitinplatte hervorragen, ein Bild, das lebhaft an die Zähnelung eines Uhrädchens erinnert.

Mit sehr starken Vergrößerungen betrachtet, lösen sich die Leisten häufig in dichtgestellte, in regelmäßigen Reihen angeordnete Kügelchen, Knöpfchen, Zäpfchen, Kegelchen oder auch Birnchen auf. Zuweilen trifft man auch wirkliche Leisten, die auf ihrem Firste einen Besatz kleinster Knöpfchen tragen. In anderen Fällen erscheint die Schuppenoberfläche unregelmäßig zerklüftet, bezüglich mehr oder weniger grob gekörnt.

Es soll hier gleich darauf hingewiesen werden, dass in pigmentirten Schuppen in der Regel diese Skulpturen die Hauptträger der Pigmente sind. Die eigentliche Chitinplatte ist häufig pigmentfrei oder nur ganz matt getönt.

Endlich erkennt man auf Schuppenquerschnitten, dass die Chitinplatte der Länge nach von parallel verlaufenden Kanälchen durchzogen wird. Dieselben sind dreikantig, eine Kante der Schuppenoberfläche zugewendet, die Basis der Unterseite parallel.

Die Färbungen der Schmetterlinge müssen in drei Hauptgruppen unterschieden werden:

Unter die erste Gruppe fallen die echten Farben, d. h. solche, die ein wirkliches, meist in den Schuppen abgelagertes Pigment zur Grundlage haben¹.

Die zweite Gruppe umfasst die optischen Farben, die zunächst nicht durch Pigmente erzeugt werden, sondern auf Interferenzvorgängen

¹ Untersuchungen darüber, ob diese Farben reine oder Mischfarben sind, wurden nicht angestellt (vgl. A. G. MAYER, von dem überhaupt eingehende Untersuchungen über das Wesen der Schmetterlingsfarben gemacht worden sind, welche ich aber hier nicht näher berühren kann).

beruhen. Sie entstehen durch verschiedene Brechung des Lichtes, oder besser durch Verschiebung der im weißen Sonnenlicht enthaltenen farbigen Strahlen an einander und der daraus hervorgehenden farbigen Zerlegung derselben durch die Schuppen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, dass auch bei der Erzeugung dieser Farbenseheinungen — mit einziger Ausnahme des optischen Weiß (Weiß niederer Ordnung) — wirkliche Pigmente eine gewisse Rolle spielen. Allein die hier in Betracht kommenden Schuppen, bezüglich Schuppenpigmente, weisen für sich allein ganz andere Farbentöne auf als die mit ihrer Beihilfe erzeugten Interferenzfarben. Sie bilden wesentlich nur den zum Zustandekommen der Interferenzerscheinungen nöthigen reflektirenden Hintergrund (vgl. hierzu und zum Folgenden auch die WALTER'schen Ausführungen).

Dritte Gruppe: Farben, die durch das Zusammenwirken von Farbstoffen und optischen Farben zugleich entstehen, also eine Kombination, eine Mischung beider darstellen.

I. Pigmentfarben.

Diese Gruppe umfasst sämtliche Farbentöne mit Ausnahme von Blau und Violett, die in allen Fällen als optische Farbe auftreten, sowie des größten Theils der grünen und eben so eines Theils der weißen und schwarzen Farben. Die Pigmente sind entweder diffus oder körnig. Im ersten Falle ist das Chitin als solches gefärbt, im letzten Falle sind Pigmentkörner in dasselbe eingelagert. Im großen Ganzen kommen körnige Pigmente seltener zur Beobachtung. Es handelt sich dabei fast regelmäßig um satte Färbungen der Einzelschuppen, wie sie besonders bei den Pieriden vorkommen, bei denen die Beschuppung weit weniger dicht ist als bei anderen Familien, dem entsprechend die Einzelschuppen viel satter gefärbt sein müssen, wenn die Gesamtwirkung eine kräftige sein soll. Es fällt übrigens dem Untersucher häufig recht schwer, zu entscheiden, ob er wirklich körniges Pigment vor sich hat, oder die körnige Beschaffenheit nur durch sehr satte aber diffuse Färbung körniger Skulpturen vorgetäuscht wird.

IA. Diffuse Pigmente.

Die Einzelschuppen (mit Ausnahme wiederum der Pieriden) sind in der Regel nur sehr wenig gefärbt, häufig nur matt getönt. Die satten Färbungen, wie sie uns makroskopisch auf den Falterflügeln entgegentreten, kommen zu Stande durch außerordentlich dichte

Über- und Aneinanderlagerung der Schuppen (cf. Farbe des Blutes und der Blutzellen). Hierher gehören:

Lehmgelb (von *Junonia orithya*). Es sind in erster Linie die zu regelmäßigen dichten Längs- und Querstreifen angeordneten Kegeln der Schuppenoberfläche, die eine hellgelb — bräunliche Färbung aufweisen. Dieser Farbstoff ist als solcher ausziehbar. Auch bei *Catonephele numilia* liegt der diffuse matt strohgelbe Farbstoff hauptsächlich in den sehr zarten körnigen Skulpturen; die eigentliche Chitinplatte ist nur leicht mattgelb getönt.

Mattgelb von *Delias belisama*. Strohgelbes Pigment ausschließlich in den Skulpturen.

Graubraun von *Junonia laomedia*. Auch hier sind die Skulpturen, Längs- und Querstreifen, ausschließlich die Träger des Farbstoffes. Auffallend satt graubraun gefärbt ist der Schuppenstiel. Das über die Pigmentlagerung Gesagte gilt auch für die

Mattbraunen Schuppen von *Danais chrysippus*, die ockerbraunen Schuppen desselben Faltes und die

Rostbraunen Schuppen von *Vanessa urticae*. Bei all diesen Schuppen setzen sich — wie fast überall — die Querstreifen aus Knöpfchen zusammen. Bei *Vanessa urticae* sind diese Knöpfchen außerordentlich dicht gestellt, wodurch die Schuppen sehr satt gefärbt erscheinen. Das Schuppenpigment ist durch heißes Wasser leicht, durch Salzsäure als orangerother Farbstoff ausziehbar, eben so in Salpetersäure ohne Farbenveränderung, während Ammoniak rasch und vollständig scharlachrothes Pigment auszieht. Die

Glänzend rothbraunen Schuppen von *Catonephele numilia* zeigen sehr zierliche, dichte Längsstreifung und zarte Knöpfchenquerreihen. Der hellbraune Farbstoff liegt vorzugsweise aber nicht ausschließlich in den Skulpturen, die Schuppenplatte ist matt getönt und bei genauer Betrachtung sind feine Pigmentkörner von etwas dunklerer Färbung in derselben zu erkennen. Der Glanz wird zweifellos durch die feinen Skulpturen hervorgerufen. Auch die

Schwarzbraunen Farbentöne beruhen auf wirklichen Farbstoffen. Dies muss besonders hervorgehoben werden, da es recht schwierig ist, darüber klar zu werden, ob die Töne nicht wenigstens theilweise auf optischem Wege erzeugt werden. Für mich waren ausschlaggebend die häufig frei zwischen den Schuppen gefundenen schwarzbraunen Pigmentschollen. Es sind vor Allem die eigenthümlich geformten Skulpturen der hier in Betracht kommenden Schuppen, welche dem Untersucher Zweifel über die Natur der Farbe

hervorzurufen geeignet sind, wie aus folgenden Beispielen hervorgehen dürfte.

Dunkelschwarzbraun von *Hebomoia glaucippe*. Die Einzelschuppe erscheint bei schwacher Vergrößerung dunkelgrau mit einem Stich ins Braune; das basale Sechstel ist farblos, der Stiel bräunlich aschgrau. Der Farbstoff ist zweifellos ausschließlich in den Skulpturen abgelagert. Diese stellen dar: Hohe dachartig zugespitzte Längsstreifen und niedrige konvergierende Querstreifen. Beide tragen auf ihrem Firste regelmäßige Reihen schwarzbrauner Birnchen, und zwar sind — wie an Querschnitten ersichtlich — diejenigen der Querleisten etwas größer als die der Längsleisten. Man erhält nun den Eindruck, dass gerade diese Birnchen die Schuppen als Ganzes in ausgesprochener Weise verdunkeln, gleichsam beschatten; sie bilden gleichsam eine dünne Schicht schwarzen Staubes über der Schuppenoberfläche.

Schwarzbraun von *Delias belisama*. Die Skulpturen der rauchbraun gefärbten Schuppen stimmen wesentlich mit denjenigen von *Hebomoia glaucippe* überein, bloß sind die Querstreifen mit ihren Birnchen viel dichter gestellt.

Ganz die gleichen Einrichtungen liegen auch dem

Grau von *Delias belisama* und *D. egialea* zu Grunde. Selbstverständlich stehen hier die Streifen und insbesondere die Birnchen weit weniger dicht. Der Schuppenstiel ist mattgrau gefärbt.

Orange (Afterfleck von *Pap. machaon*). Man nimmt zwischen den Schuppen häufig orangerothe Farbstoffschollen wahr. Die Chitinplatte ist mattgelb, die ziemlich hohen Längsleisten und breiten gegitterten Zwischenfelder sind gelbbraun gefärbt. Salpetersäure zieht einen gelben Farbstoff aus, der sich bei Ammoniakzusatz unverändert erhält (URECH).

Orangeroth von *Rhodocera rhamni* (Flecken der Vorderflügeloberseite). Die Chitinplatte ist mattgelb. Die grobkörnigen zu Längsstreifen dicht zusammengelagerten Skulpturen sind gelb gefärbt. Dieser Farbstoff lässt sich mit Salzsäure leicht ausziehen und stellt Harnsäure oder ein Derivat derselben dar (URECH). In dickeren Lagen ist er orangeroth.

Karminroth (Prachtbinde von *Papilio antheus*). Die Einzelschuppen sind ziemlich satt gefärbt. Der Farbstoff, ein wirkliches Karminroth, ist durch Ammoniak leicht ausziehbar. In Salzsäure wird er gelb, geht aber bei Ammoniakzusatz wieder in Roth über.

Es sind die Chitinplatte nur matt, die Skulpturen hingegen, breite Längsreihen kugeligler Körnchen, sehr satt gefärbt.

Leuchtend roth von *Catagramma pitheas*. Die schuhlöffelartig der Länge und Quere nach umgebogenen, zart längs- und quergestreiften Schuppen sind diffus fleischroth gefärbt. Die Farbe tritt besonders lebhaft hervor, wo zwei oder mehr Schuppen über einander liegen. Ausgezogen erscheint der Farbstoff in dickeren Lagen dunkelorange.

Glänzendroth von *Callicore marchalii*. Rosenrothe längs-gestreifte Schuppen. Die Längsstreifen sind aus quergestellten Erhabenheiten zusammengesetzt. Skulpturen und Platte sind pigmentirt.

Rothgold glänzend von *Polyommatus virgaureae*. Wie allen anderen glänzenden oder leuchtenden Färbungen, so liegen auch dieser zart längs- und quergestreifte Schuppen zu Grunde. Ihre Farbe ist gelbbraun oder ockerbraun. Sie ist durch heißes Wasser, leichter durch Salzsäure ausziehbar, eben so durch Ammoniak. Durch Zusatz von concentrirter Schwefelsäure wird die ammoniakalische Lösung zuerst rosenroth und dann farblos.

Braunroth von *Junonia orithya*. Braunrothes, ausziehbares Pigment in den ziemlich weitgestellten Längsleisten der Schuppenoberfläche.

Endlich gehört hierher das

Weiß höherer Stufe der Pieriden, während die meisten übrigen weißen Farben als optische angesehen werden müssen. Aber auch in den weißen Schuppen der Pieriden ist nicht ausschließlich weißes Pigment vorhanden, sondern es handelt sich dabei stets um eine Mischung von weiß und gelb. Im auffallenden Lichte erscheinen die Schuppen milch- oder schneeweiß, im durchfallenden Lichte und eben so in Kanadabalsam eingebettet, mattschwefelgelb. Indessen gelingt es bei den meisten Arten durch heißes Wasser, leichter durch Salzsäure, ein weißes krümeliges Pigment, zuweilen für sich allein, häufiger zusammen mit einem gelben Farbstoff zu gewinnen (URECH). Alle diese Farbstoffe sind — wie URECH nachweist — Harnsäure oder Derivate derselben. Das Pigment hat wiederum hauptsächlich in den Skulpturen seinen Sitz.

IB. Körnige Pigmente

fand ich ausschließlich bei Pieriden. Die Pigmentkörner liegen — worauf schon hingewiesen wurde — meist dicht gedrängt in der ganzen Chitinplatte, daher die satte Färbung der Einzelschuppen.

Die Skulpturen treten hier häufig zurück oder scheinen vollkommen zu fehlen. Es gehören hierher:

Citronengelb von *Rhodocera rhamni*. Der Farbstoff ist in Wasser löslich und giebt die Murexidprobe (URECH).

Schwefelgelb von *Delias egialea*.

Chromgelb von *Delias belisama*. Erzeugt durch reichliches strohgelbes Pigment.

Rothgelb von *Anthocharis cardamines*. Pigment löslich in heißem Wasser, Salzsäure und Ammoniak (URECH) und

Gelbroth von *Callosone achine*.

Wie Querschnitte deutlich zeigen, ist bei diesem Falter die stark hervortretende Längsstreifung der Schuppen auf eine enge Fältelung der ganzen Schuppenplatte zurückzuführen.

Anhangsweise müssen hier einige grüne Färbungen besprochen werden. Es sind dies ein echtes grünes Pigment und das Grün von *Anthocharis cardamines*.

SPULER behauptet, dass Grün nicht auf Pigmentirung beruhe, sondern stets optische Farbe sei. Dies ist nicht richtig. Man findet nämlich bei Tagfaltern gar nicht selten Grünfärbungen, denen ein grüner Farbstoff zu Grunde liegt. Allein dieser Farbstoff ist niemals in Schuppen abgelagert, sondern es ist stets die Flügelmembran allein grün gefärbt. Schuppen fehlen an solchen Stellen, oder sie sind farblos und durchsichtig. Fehlen die Schuppen, so findet man statt ihrer eine regelmäßige dichte Behaarung vor. Grün gefärbte Schuppen fand auch ich niemals. Eine Grünfärbung der Flügelmembran wurde gefunden bei *Papilio antheus*, *P. phorcas*, *P. agamemnon*, *Colaenis dido* und *Danais cleona*.

Dabei handelt es sich stets um ein helles Grasgrün bis Gelbgrün, das rasch abblasst und in frischem Zustande sich leicht ausziehen lässt. Nach SPULER's Angaben hat GRIFFITHS einen in säuerlichen Lösungen grünen Farbstoff in den Schuppen grüner Falter nachgewiesen und als ein Derivat der Harnsäure von der Formel $C_{11}H_{12}N_5O_{10}$ analysirt. Ich habe die Schuppen mehrerer dieser Arten untersucht und dabei stets gefunden, dass das Grün eine optische Farbe ist. Dieser Befund veranlasste mich, die Angaben von GRIFFITHS selbst nachzulesen, wobei ich fand, dass derselbe nicht die Schuppen für sich allein untersuchte, sondern fraglichen Farbstoff durch Auskochen des ganzen Flügels in kochendem Wasser gewann. Es sind nun zwei Möglichkeiten gegeben: Entweder ist auch hier ein grünes Pigment in der Flügelmembran vorhanden, oder aber das in den

grünen Schuppen vorhandene Pigment — meist ein Gelb oder Braun, das bei der Erzeugung des optischen Grün mitbetheiligt ist — geht bei der Behandlung mit Säure in ein wirkliches Grün über. Zum Anstellen von eigenen Versuchen fehlten mir die nöthigen Mengen Materials.

Die gelbgrüne Färbung auf der Hinterflügelunterseite von *Anthocharis cardamines* wurde fälschlich auf echtes grünes Pigment zurückgeführt. Dies ist eben so verfehlt, als wenn man sie auf optischem Wege entstanden auffassen wollte. Dieses Grün ist eine reine Mischfarbe, erzeugt durch gleichmäßige Vermischung (Nebeneinanderlagerung) satt kanariengelber Schuppen mit schwarzen oder richtiger graubraunen Schuppen.

II. Gruppe. Optische Farben.

Es dürfte besonders dem Nichtphysiker recht schwer fallen, zu entscheiden, auf welchen physikalischen Grundlagen die optischen Farben der Schmetterlingsschuppen beruhen. Das Nächstliegende wäre ja anzunehmen, dass in erster Linie die Skulpturen der Schuppen der farbigen Reflexion des weißen Lichtes dienen, dass also die gleichen Verhältnisse gegeben seien, wie sie den Farbenercheinungen schief geschnittener und fein polirter Perlmutterplättchen oder dem Irisiren von Knöpfen etc. zu Grunde liegen¹. Auf diese Weise ließe sich vielleicht die Schillerfarbe einer *Apatura* u. a. erklären, Farben, die sich mit der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen ändern, ja ganz verschwinden, bezüglich einer andern — Pigmentfarbe — Platz machen, — für das Blau zahlreicher *Lycænen*, *Morphiden*, *Papilioniden*, *Ornithopteren* und anderer, eben so für das Violett, Grün und andere optische Farben dieser Falter sind die Skulpturen sicherlich nicht von Bedeutung; denn 1) findet bei diesen Farben ein eigentlicher Farbenwechsel bei Veränderung der Einfallrichtung des Lichtes gar nicht statt, oder wo er stattfindet, erklärt er sich auf ganz andere Weise, und 2) — und darauf hat schon SCHATZ aufmerksam gemacht — fehlen die Skulpturen oder sind nur sehr undeutlich vorhanden bei den prächtigsten optischen Farben, während andererseits bei Schuppen mit den ausgesprochensten und wunderbarsten Skulpturen von Interferenzerscheinungen keine Rede sein kann. Nach

¹ Die Ansicht WALTER's, dass es sich in allen diesen Fällen bei den Schmetterlingsfarben um Oberflächenfarben handle, dürfte doch wohl etwas zu weit gehen; er selbst giebt ja auch zu, dass seiner Auffassung das Verschwinden der Schillerfarben in Benzol und Schwefelkohlenstoff entgegensteht.

meiner Ansicht sind es hauptsächlich »Farben dünner Plättchen«, dann wohl auch »Farben trüber Medien«, mit denen man hier zu rechnen hat; d. h. es wären diese Farben nach dem gleichen Princip zu erklären, wie die Farbenercheinungen der Seifenblasen oder die optischen Farben der Vogelfedern, das Blau, mit dem sich blanker Stahl in der Hitze überzieht, die Farben verwitterter Gläser etc. Die verschiedenen Farben sind dabei einfach abhängig von der Dicke der durchsichtigen Schicht. Bei gewissen (weißen und silberfarbenen) Schuppen kommen auch Luftschichten in Betracht. Durch trübe durchscheinende Medien vor einem dunklen Hintergrunde entstehen — um auch für »Farben trüber Medien« einige Beispiele anzuführen — die Farbe blauer Augen, das Blau der Hautvenen u. A.

SPULER unterscheidet zweierlei Arten von optischen Farben: solche, die durch die besonderen Verhältnisse einer Schuppe entstehen, und solche, zu deren Hervorbringung zwei Schuppen nöthig sind. Ich erkläre mich mit dieser Eintheilung vollkommen einverstanden, zumal ich mich, noch bevor ich SPULER'S Arbeit gelesen hatte, zur Aufstellung derselben entschlossen hatte. So sind z. B. die Bedingungen für Blaufärbung eine dünne durchsichtige Schicht über einer dunkeln Farbstoffunterlage. Beide Schichten können nun in einer Schuppe vorhanden sein oder aber es entspricht jeder Schicht eine besondere Schuppe.

Die verschiedenen optischen Farben sollen wiederum an Beispielen des Näheren erörtert werden.

IIA. Optische Farben durch eine Schuppe erzeugt.

Glänzend blau der Lycäniden (Bithys sichaeus). Man findet hier längsgestreifte Schuppen dachziegelartig über einander gelagert. Ihre Färbung ist auf ein körniges, in der Chitinplatte gelegenes Pigment zurückzuführen; sie ist am sattesten an der Schuppenspitze, um nach der Schuppenbasis hin allmählich in ein mattes Grau überzugehen. Die oberste Chitinschicht ist durchsichtig und farblos. Eine zweite der Flügelhaut aufliegende dunkle Schuppenlage kommt für die Erzeugung des Blau kaum in Betracht. Wird nun das untersuchte Flügelstück auf dem Objektisch so gelagert, dass das Licht vom Vorderrande der Schuppe, also vom Seitenrande des Flügels her einfällt, so zeigt bloß das vordere Achtel bis Siebentel der Einzel-schuppe den hellblauen Glanz des Falters, der Rest der Schuppe ist glanzlos dunkeloliv-schwarz. Fällt hingegen das Licht von der Stiel-seite der Schuppe, also in umgekehrter Richtung ein, so erscheint

deren vordere Partie dunkel, die gestielte Basis in hellblauem Glanze. Fällt endlich das Licht vom Seitenrande der Schuppe her auf diese ein, so erscheinen Schuppen Spitze und Basis verdunkelt, und bloß die mittlere Schuppenpartie zeigt glänzendes Blau. Diese Erscheinung erklärt sich einfach daraus, dass die Schuppe in ihrer Längs- und Querrichtung nach unten umgebogen ist, und zwar am ausgesprochensten in ihrer vorderen Hälfte, so dass ein medianer Längsschnitt einer Schuppe etwa die Form einer Schusterahle aufweisen würde (—). Hieraus erklären sich auch leicht die verschiedenen Farbentöne, welche der Falter bei Betrachtung unter verschiedenem Winkel darbietet. Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei dem Schiller-Azurblau von *Apatura (iris)*¹.

Die trockenen Schuppen erstrahlen bei schwacher Vergrößerung in einem prachtvoll glänzenden Veilchenblau, vorausgesetzt, dass das Objekt so gelagert ist, dass das Licht so ziemlich von der Stielseite der Schuppe her einfällt, unter einem Winkel von mindestens 45°. Bei veränderter Einfallsrichtung der Lichtstrahlen, sodann — wie alle Interferenzfarben — in Kanadabalsam und im durchfallenden Lichte, verschwindet das Blau und macht der wirklichen Farbe der Schuppe, matt chokoladebraun, Platz. Die Schuppen tragen auf ihrer Oberfläche dicht gestellte Längsreihen zarter kegelförmiger Chitinhöckerchen, in denen ausschließlich das diffuse Pigment vorhanden ist. Die untere Schicht der Schuppe ist vollkommen farblos und durchsichtig. Es liegt also hier die dunkle Pigmentschicht über der durchsichtigen, und deshalb nehme ich, in Übereinstimmung mit SPULER, an, dass die farbige Zerlegung des Lichtes (Schillern) an den Skulpturen erfolgt.

Den einfachen optischen Farben muss auch

Weiß niederer Stufe zugezählt werden. Untersucht wurde das Weiß von *Limenitis sibylla* und anderer Falter. Die Schuppen weißer Flügelstellen sind längsgestreift. Sie zeigen im auffallenden Lichte milchweißen bis mattgelben Glanz, stellenweise auch Perlmutterfarben, können aber in Kanadabalsam eingebettet nicht mehr aufgefunden werden, der sicherste Beweis dafür, dass sie keinen Farbstoff enthalten². Dieses Weiß ist also rein optische Farbe. In

¹ Ich habe die Schuppen dieses Falters lange und sorgfältig untersucht, ohne dass es mir gelungen wäre, etwas Neues herauszufinden; und doch vermute ich, dass sich zuletzt das Verhalten bei verschiedener Einfallsrichtung der Lichtstrahlen auf ganz einfache Einrichtungen zurückführen lässt.

² URECH konnte einen weißlichen Stoff ausziehen, der aber ohne Zweifel der Flügelhaut entstammt.

vielen Fällen wird — wie LEYDIG nachgewiesen hat — das Weiß und besonders auch das Silberweiß durch eine Luftschicht innerhalb der Schuppen erzeugt, in anderen Fällen sind es besondere Schichtungsverhältnisse des Schuppenchitins, welche die Interferenzerscheinung hervorrufen.

Schwarz. Ich konnte lange nicht schlüssig darüber werden, zu welchen Farben das Schwarz zu rechnen sei, denn wenn auch in allen schwarz erscheinenden Schuppen ein ausziehbares, meist umberbraunes, zuweilen auch olivenfarbenedes oder rauchbraunes Pigment nachgewiesen werden kann, so kommen andererseits an den meisten dieser Schuppen gleichzeitig Interferenzerscheinungen zur Beobachtung. Dieser Umstand veranlasst mich, das Schwarz hier zu besprechen¹.

Alle von mir untersuchten schwarzen Schuppen sind stark skulptirt, dicht längsgestreift, oder die Längsstreifen stehen weniger dicht, und dazwischen sind Querreihen kleinster Kügelchen gelegen. Stets sind die Skulpturen am sattesten (dunkel, selbst schwarz) gefärbt. Die Färbung der eigentlichen Chitinplatte ist eine viel mattere honiggelb bis rauchbraun. Dazu kommen bei manchen Faltern, so z. B. bei priamus, dunkle Pigmentkörner. Die Interferenzerscheinungen dürften richtig auf trübe Medien zurückzuführen sein.

II B. Optische Farben durch zwei verschiedene Schuppen hervorgebracht.

Das Silberblau von *Papilio asterias* (Hinterflügeloberseite) wird durch zwei über einander gelagerte Schuppenarten erzeugt. Die Schuppen der oberen Lage sind längsgestreift und vollkommen durchsichtig, nur am Stiele mit perlmutterartigem Schimmer; wird nun aber die Unterlage verdunkelt, z. B. durch Beruhen der Objektträgerunterseite, oder einfacher durch Abhalten des durchfallenden Lichtes, so erscheinen sie schön blau. Diese dunkle Unterlage wird auf dem Falterflügel durch eine Lage dunkelbrauner Schuppen gebildet (zweite Lage).

Violett von *Kallima rumia*. Dieses Violett geht unter sehr spitzem Winkel betrachtet in Hellgrau über. An dem Zustandekommen dieser Farbenerscheinung sind wieder zweierlei Schuppen beteiligt. Eine untere Lage diffus rauchbraun gefärbter Schuppen

¹ SCHATZ, URECH u. A. führen das Schwarz ausschließlich auf Pigmentierung des Schuppenchitins zurück.

sehr dicht zusammengedrängt und mit ihren Seitenrändern sich vielfach überragend, und über derselben in vielfach unterbrochenen Reihen große farblose durchsichtige oder doch stark durchscheinende Schuppen. Diese letzteren sind für die Erzeugung des Violett jedenfalls ausschlaggebend, wengleich die pigmentirten Schuppen der unteren Lage auch für sich allein an ihrer Oberseite blauvioletten Glanz zeigen. Ein sehr auffälliges Bild bietet die Skulptur beider Schuppenarten: Regelmäßig vierseitige Pyramiden sind, Ecke an Ecke, die Spitze nach oben, zu Längsreihen an einander gereiht, die beiden freien Ecken mit denjenigen der Nachbarreihen durch zarte Querstreifen verbunden. Zu entscheiden, ob nicht auch hier die Skulpturen bei der Erzeugung der Interferenzerscheinungen thätig sind, dürfte sehr schwer sein; diese Annahme darf aber insbesondere für die untere Schuppenlage nicht von vorn herein verneint werden.

Das vom Violett der Kallima Gesagte hat im Allgemeinen auch für das Blauviolett einer anderen Nymphalide, *Hypolimnas salmactis* Geltung: Große glasige farblose Schuppen in dichter Aneinanderlagerung über braunen Pigmentschuppen, letztere stellenweise mit perlmutterblau glänzender Oberseite. Die Skulpturen der farblosen Schuppen sind hier von denjenigen der Pigmentschuppen verschieden. Bei den ersteren findet man Würfelchen so zusammengelagert, dass je acht zusammen ein Rechteck bilden, bei letzteren Längs- und Querreihen aus Birnchen zusammengereiht. Auch dem

Glänzenden Blau der Morphiden (*Morpho anaxibia*) liegen zweierlei Schuppen zu Grunde: Stark durchscheinende blassröthliche, aber in Kanadabalsam vollkommen unsichtbare Schuppen, welche die größte Längsstreifung aufweisen, die überhaupt beobachtet wurde, und unter diesen chokoladebraune fein längs- und quergestreifte Schuppen, deren Querstreifen wiederum aus kleinen Längsleistchen sich zusammensetzen. Aber auch hier tritt uns wieder der Umstand entgegen, dass die Pigmentschuppen mit ihrer Oberseite ein prachtvolles optisches Blau erzeugen. Ob es sich dabei, wie SCHATZ vermuthet, um Interferenz trüber Medien handelt, oder ob diese Schuppen über dem Pigment mit einer dünnen durchsichtigen Schicht ausgestattet sind, konnte ich nicht entscheiden, doch scheint mir Letzteres wahrscheinlicher. Nun erzeugen ja die Schuppen der oberen Lage auf dunklem Hintergrunde auch für sich allein Farbenercheinungen, allein diese Farben sind bei Weitem nicht so lebhaft als die Interferenzfarben der unteren Schuppenlage. Dieser Umstand lässt mich vermuthen, dass die ersteren bloß dazu dienen, die von den

unteren Schuppen ausgehenden Farben zu verstärken, oder ihnen einen bestimmten Farbenton beizumischen, oder dass sie den außerordentlich lebhaften Glanz des Falters zu erhöhen bestimmt sind.

III. Gruppe. Farbenerscheinungen, entstanden durch Kombination von Pigment und optischen Farben.

Seidenblau von *Papilio ulysses*. Über einer dichten Lage längsgestreifter durch Einlagerung rauchfarbiger Pigmentkörner dunkelbraun gefärbter Schuppen liegen in häufig lückenhaften Reihen rothgelb bis ziegelroth gefärbte Schuppen, die schon bei fünfzigfacher Vergrößerung grobe gitterförmige Skulpturen erkennen lassen. Das rothe Pigment hat in der Chitinplatte seinen Sitz und verleiht dem Blau dieses Falters den Schimmer ins Grüne.

Röthlich-Violett (*Callosune jalone*). Auf dunkelgrauem Untergrunde (Schuppen) finden sich zweierlei Schuppen neben einander: die einen — und diese sind in großer Überzahl vorhanden — zeigen so ziemlich das Rothviolett der Flügelspitze und zwischen diese eingestreut solche, die ein prachtvolles tiefes Azurblau darbieten. Untersucht man zunächst die rothvioletten Schuppen, so überzeugt man sich leicht von dem Vorhandensein unregelmäßig geformter, dicht gelagerter Körner von karmin- bis tief rosenrother Farbe; das Violett oder besser das Blau dieser Schuppen ist Interferenzerscheinung. Die azurblau erscheinenden Schuppen sind in ihren tieferen Chitinschichten vollgepfropft mit groben dunkelgrauen Pigmentkörnern, ihre Oberschicht ist pigmentfrei und glasig.

Man hat somit hier eine Farbe, entstanden zunächst durch Mischung rothvioletter und blauer Schuppen. Das Rothviolett stellt eine Kombination von Farbstoff (Roth) mit optischer Farbe (Blau) dar. Das Azurblau kommt in der bekannten Weise, dunkler Untergrund und darüber eine dünne durchsichtige Schicht, zu Stande.

Smaragdgrün von *priamus*. Über der schwarzen Beschuppung, wie sie auf dem ganzen Vorderflügel dieses Falters ausgebreitet sich vorfindet, liegt im Bereiche der grünen Prachtstreifen eine Schicht hochroth orangefarbener, mit sehr zarten aber dicht gestellten Längsstreifen versehener Schuppen. Wie eingebettete Schuppen erkennen lassen, beruht die Rothfärbung auf einem diffusen in dünnen Schichten citronengelben Farbstoff, welcher in allen Chitinschichten der Schuppe sehr gleichmäßig vertheilt ist und nur in der basalen Lamelle zu fehlen scheint. Man hat also hier wie beim Violett der *Callosune* ein Zusammenwirken von Farbstoff — Gelb und Interferenzfarbe Blau —

vor sich. Die Ausscheidung der blauen Strahlen aus dem weißen Lichte erfolgt in der gelben Schuppe selbst und zwar muss die Schuppe als Ganzes, nicht bloß eine bestimmte Schicht derselben, hierbei wirksam sein, denn auf dunklem Grunde zeigt sowohl die Ober- als auch die Unterseite dieser Schuppen das Grün des Falters.

Es lag sehr nahe, mit dem Grün des priamus die Prachtfarben seiner beiden Abarten, das glänzende Goldgelb des croesus und das Graublau der urvilliana zu vergleichen. Dabei stellte sich heraus, das in den hier in Frage kommenden Schuppen beider Abarten als Grundfarbe ganz das gleiche Pigment enthalten ist, wie in denjenigen des priamus.

Die Schuppen des croesus erscheinen im durchfallenden Lichte grün, zuweilen mit orangefarbenen Rändern, auf dunkler Unterlage glänzend bronzefarbig; in Kanadabalsam zeigen sie ganz dieselbe Grundfarbe, Citronen-orangegelb, wie die grünen Schuppen des Priamus. Die Schuppen der urvilliana sind im durchfallenden Lichte goldgelb, auf dunklem Untergrunde, also im auffallenden Lichte glänzend graublau, in Balsam eingebettet wiederum gelb wie die der beiden anderen Falter, nur ist die Farbe nicht so satt wie bei jenen. Frägt man sich nun, worauf die Verschiedenheit dieser Farbenercheinungen zurückzuführen sei, so muss es zunächst die verschiedene Dicke der Schuppen sein, welche sie bedingt, bei croesus und urvilliana kommt hierzu aber noch etwas Anderes (cf. unten). Die geringste Schuppendicke kommt dem Gelb des croesus zu, hierauf folgt das Grün des priamus, dem sich dann das Blau der urvilliana anschließt.

Unter spitzem Winkel betrachtet, geht das Grün des priamus und das Blau der urvilliana in die Grundfarbe bezüglich in Kupferfarbe über. Das Goldgelb auf den Vorderflügeln des croesus in ein grünliches Grau. Diese Erscheinung beruht wiederum auf einer vorhandenen Umbiegung der Schuppen in ihrer Längs- und Querrichtung nach unten. Dieselbe ist bei priamus nur gering, stärker ausgesprochen bei urvilliana, am stärksten bei croesus, hier so stark, dass beim Auflegen eines Deckglases alle Schuppen zerbrechen. Dieser Verkrümmung darf man es — abgesehen von den Dickenunterschieden der Schuppen — wohl mit zuschreiben, dass, trotzdem im Bereiche der goldglänzenden Stellen bei croesus bezüglich der blauen Felder bei urvilliana die bekannten gelben Schuppen über eine dunkle Schuppenlage zu liegen kommen, es nicht zur Erzeugung von Grün kommt.

Diese Befunde geben die Veranlassung, die Verhältnisse zwischen Gelb und Grün näher zu prüfen. Die U-Flecke und gelben Randflecke auf dem Hinterflügel des priamus bieten hierzu die schönste Gelegenheit, indem hier reines Gelb und Grün unmittelbar an einander grenzen: das Gelb ist reine Pigmentfarbe. Auf dunklem Hintergrunde erzeugen die gelben Schuppen genannter Stellen an sich nicht Grün, wohl aber wenn dieselben Eigenschaften (vielleicht Trübung durch Luft) annehmen, welche Interferenzwirkung hervorzurufen im Stande sind.

Stuttgart, im Oktober 1898.

Benutzte Litteratur.

1. BRÜCKE, Physiologie der Farben. Leipzig 1887.
 2. A. B. GRIFFITHS, Recherches sur les couleurs de quelques insectes. (Compt. Rendus Acad. Paris. Vol. CXV. 1892. p. 958.)
 3. H. HEMMERLING, Über die Hautfarben der Insekten. Bonn 1878.
 4. H. J. KOLBE, Färbung der Insekten. (Einführung in die Kenntnis der Insekten. Berlin 1893. p. 47.)
 5. F. LEYDIG, Bemerkungen über Farben der Hautdecke etc. bei Insekten. (Archiv f. mikr. Anat. Bd. XII. 1876. p. 536.)
 6. Derselbe, Über den feineren Bau der Arthropoden. (Archiv für Anat. und Physiologie. 1856.)
 7. Derselbe, Zur Anatomie der Insekten. (Ebenda. 1859.)
 8. A. G. MAYER, On the color and color-patterns of moths and butterflies. (Cambridge Mass. U. S. A. February 1897. Biologisches Centralblatt. XVIII. Nr. 6. 15. März 1898.)
 9. E. SCHATZ, Familien und Gattungen der Tagfalter. II. Theil. 1885. p. 29.
 10. C. SEMPER, Beobachtungen über die Bildung der Flügel, Schuppen u. Haare bei Lepidopteren. (Diese Zeitschr. 1857. Bd. VIII. p. 326.)
 11. A. SPULER, Zur Phylogenie der einheimischen Apatura-Arten. (Stettiner entomol. Zeitung. 1890. p. 267.)
 12. F. URECH, Beiträge zur Kenntnis der Farbe von Insektenschuppen. (Diese Zeitschr. Bd. LVII. p. 305.)
 13. B. WALTER, Die Oberflächen- oder Schillerfarben. Braunschweig 1895.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie](#)

Jahr/Year: 1898-1899

Band/Volume: [65](#)

Autor(en)/Author(s): Baer Max

Artikel/Article: [Über Bau und Farben der Flügelschuppen bei Tagfaltern. 50-64](#)