

Die
Schillerfarben bei Insekten und Vögeln.

Von

W. Biedermann

Mit 16 Figuren im Text.

I. Einleitung.

Jedem, der einmal Gelegenheit hatte, in einer größeren Sammlung die prachtvollen Schillerfarben gewisser Insekten oder Vögel zu bewundern, wird sich fast unwillkürlich die Frage aufdrängen, wie wohl diese leuchtenden Farbeneffekte zu stande kommen, hinter denen selbst die schönsten Erzeugnisse menschlicher Kunst oft weit zurückstehen. Diese Frage gewinnt aber für den Naturforscher noch erhöhte Bedeutung durch die Erwägung, daß alle diese Farbenwirkungen einen tiefen biologischen Sinn haben, sei es daß es sich um Schutz vor verfolgenden Feinden oder oft auch im Sinne von DARWIN um Produkte geschlechtlicher Zuchtwahl handelt.

Ich will gleich bemerken, daß ich es mir hier zur Aufgabe gemacht habe, bloß die besonders auffallenden und noch recht wenig untersuchten Schillerfarben, sowie den Metallglanz bei Insekten und Vögeln zu besprechen, ohne auf die durch Pigmente im engeren Sinne des Wortes bewirkten Farbenercheinungen näher einzugehen, über deren Wesen und Entstehung wir neuerdings Gräfin MARIA VON LINDEN so schöne Arbeiten verdanken.

In der Tat spielen jene rein optischen Farben bei dem Zustandekommen der wunderbaren Farbenpracht der Insekten und teilweise auch der Vögel eine viel wichtigere Rolle als die Pigmente. Gerade die brillantesten Tierfarben beruhen häufig nicht oder doch nicht allein auf der Gegenwart eigentümlicher farbiger Substanzen (Pigmente), sondern, wie ich zu zeigen hoffe, auf besonderen Strukturverhältnissen, weshalb sie auch durch rein mechanische Eingriffe (Quetschen, Hämmern etc.) verändert oder vernichtet werden, chemischen Agentien gegenüber, soweit die Struktur dadurch keine Aenderung erfährt, dagegen widerstehen. Nächst dem Gefieder der Vögel treten die Strukturfarben nirgends in der Tierreihe in einer solchen Mannigfaltigkeit und so überraschend in ihrem Effekt auf, wie an den Flügeln (Schuppen) der Schmetterlinge und gewisser Neuropteren, ferner an Käfern und Hymenopteren. Rivalisieren können damit nur manche Fische und Borstenwürmer.

Der erste, der gewisse besondere Farbeneffekte auf Schmetterlingsflügeln, die, wie wir heute mit aller Bestimmtheit annehmen müssen, als optische Farben zu deuten sind, auf Grund mikroskopischer Untersuchung der Schuppen zu erklären versuchte, war RÖSEL v. ROSENHOF. Er hat mit seinen stärksten Vergrößerungen die schillernden Schuppen unserer *Apatura*-Arten untersucht und ist zu der Ansicht gekommen, „daß der Grund der schillernden Farbe in jedem Stäublein oder Federlein selbst befindlich ist“. „Warum aber“, so fährt er fort, „auch dieses mit zweierley Farben spielte, hatte ich noch nicht entdeckt, außer daß ich bemerket, wie solches mit vielen kleinen Strichlein nach der Quer besetzt sey, die mir aber in dieser Vergrößerung nicht deutlich genug in die Augen fielen; um solche aber besser betrachten zu können, brachte ich, nach vieler Mühe, nur ein Spitzlein eines solchen Federleins

unter ein Vergrößerungsglas, welches die Objekte am größten darstellt und da entdeckte ich, daß die nur angezeigte Querstrichlein so viel dreyeckichte Prismata wären, deren jedes eine blaue und eine braune sichtbare Fläche hätte, so daß auf einer Seite lauter blaue, auf der andern aber lauter braune Flächen sich dem Auge darstellten, wie man sonst mit dergleichen dreyeckichten prismatischen Stäben, solche Gemähde zu machen pfleget, daß man auf jeder Seite ein anderes Bild zu sehen bekommt.“

Später hat ein Arbeitsgenosse RÖSELS, LEDERMÜLLER, behauptet, daß es beim Schillerfalter zweierlei Schuppen gebe, braune und blaue, „die, in eine prismatische Stellung gebracht, die Wirkung des Schillers tun“.

Auch in der Folgezeit hat man Betrachtungen über das Wesen der „Strukturfarben“ mit Vorliebe immer wieder an die Untersuchung farbig schillernder Schmetterlingsschuppen angeknüpft, und es hat sich so allmählich immer mehr die Ansicht befestigt, daß es in erster Linie die Skulpturen der Schuppenoberfläche sind, welche die Reflexe des farbigen Lichtes bedingen. Von der allbekannten Tatsache ausgehend, daß in der großen Mehrzahl der Fälle die Schuppen mit feinen parallelen Längsrippen oder Leisten versehen sind, deren Zahl nach Art und Breite der Schuppen sehr wechselt und deren rinnenförmige Zwischenräume namentlich bei kräftigen Fliegern (Tagfaltern) vielfach noch durch zarte, dicht stehende Querleistchen miteinander verbunden sind, bevorzugt man in den Kreisen der Zoologen seit jeher hauptsächlich die Auffassung, daß die Schillerfarben der Tiere und speziell der Insekten „Gitterfarben“ seien. „An den feinen Gittern“, so äußert sich PAGENSTECHE in seiner allgemeinen Zoologie, Bd. IV, 1881, S. 360, „welche die freie Fläche der bestausgebildeten Schuppen bedecken, und ebenso im Durchscheinen an denen der der Flughaut anliegenden Lamelle kommen durch Interferenz die ausgezeichneten Farbenspiele und der Glanz zu stande, welche einige Schmetterlinge im allgemeinen, andere an besonderen Stellen, Binden, Perlmutterflecken schmücken.“

So vertritt beispielsweise auch WALLACE (Färbung der Tiere und Pflanzen, Kosmos, Bd. IV) die Ansicht, daß „das glänzende Blau des Schillerfalters und anderer Schmetterlinge wahrscheinlich feinen Rißzeichnungen zu verdanken sei“. Nach KRUKENBERG (Vergl.-physiol. Vorträge, S. 116) werden Interferenzfarben bei Tieren hervorgebracht „durch eine äußerst feine Streifung oder auch durch schichtweises Abwechseln von dünneren und dickeren Gewebsslamellen, resp. von zarten Häuten und eingeschlossenen Lufträumen. Die metallisch glänzenden Farben der Schlangenschuppen, der Schmetterlingsflügel, der Schwingplättchen bei den Rippenquallen, der Calyptren einiger Käfer (Curculioniden, *Hoplia farinosa*) verdanken einer feinen Streifung ihre außergewöhnliche Farbenpracht.“ Demgegenüber hat namentlich BRÜCKE auf die große Bedeutung hingewiesen, welche den „Farben dünner Blättchen“ für das Zustandekommen des Schillers an Teilen des Integumentes vieler Tiere zukommt. Dieselben entstehen bekanntlich, wenn weißes Licht sowohl an der Vorder- wie an der Hinterseite einer sehr dünnen farblosen Schicht reflektiert wird. „Die beiden auf diese Weise zu gleicher Zeit und in gleicher Richtung ins Auge gelangenden, von derselben ursprünglichen Schwingung herrührenden Teilschwingungen müssen nämlich wegen des verschiedenen Weges, welchen sie zurückgelegt haben, einen bestimmten Phasenunterschied aufweisen, welcher im wesentlichen von dem Verhältnis der Lichtwellenlänge in der dünneren Schicht zu der Dicke der letzteren abhängt und daher für die verschiedenen Farben des Spektrums verschieden ausfällt. Ist die Dicke der Schicht gerade so groß, daß dabei nur eine Farbe des Spektrums einen Phasenunterschied von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge erhält und deshalb auch nur diese vollständig ausgelöscht wird, während ebenfalls nur bei einer zweiten der Phasenunterschied eine ganze Wellenlänge beträgt und also nur diese durch die Interferenz ihre maximale Intensität erlangt, während

die übrigen Farben die Zwischenstufen zwischen den beiden genannten bilden, so zeigt die daraus resultierende Gesamtfarbe des dünnen Blättchens den möglichst hohen Grad der Sättigung“ (B. WALTER). Als solche Farben dünner Blättchen deutete z. B. BRÜCKE das opalisierende Schillern der Haut gewisser Cephalopoden. „Es ist mir nicht zweifelhaft“, sagt BRÜCKE, „daß diese Farben Interferenzfarben dünner Blättchen sind; erstens spricht dafür der außerordentliche Glanz und die Lebhaftigkeit der Farben und zweitens der Umstand, daß alle Farben, welche hier vorkommen, einer bestimmten Abteilung der Farbenskala entnommen sind, es sind nämlich keine anderen als die des dritten NEWTONSchen Ringsystemes, welche vom Violett aufwärts bis zum Rot vollständig und in allen Abteilungen vertreten sind. Namentlich waren an meinem Exemplare häufig blaue, meergrüne, grasgrüne und gelbgrüne Flittern. Man muß sich daran erinnern, daß, wenn wir mit unseren zusammengesetzten Mikroskopen die Gegenstände bei durchfallendem Licht untersuchen, unsere Netzhaut kein Bild derselben im gewöhnlichen Sinne des Wortes empfängt, sondern der Schatten des Objektes auf sie geworfen wird. Wenn nun auch der Effekt der Beugung bei größeren Gegenständen so gering ist, daß er nicht wahrgenommen wird, so kann er doch bei so kleinen Objekten, wie das in Rede stehende, die optischen Eigenschaften desselben sehr wohl verdecken. Vielleicht mochte auch die Intensität der im durchfallenden Lichte interferierenden Wellenzüge so verschieden sein, daß die Farbe an sich nur sehr schwach ausfallen konnte. Deshalb sah man die Flittern, wenn sie von unten beleuchtet waren, nur als einzelne helle, matt gelbliche oder bräunliche Punkte, von einem dunkleren Rande umgeben“ (BRÜCKE). Auch die Schillerfarben weißer und grauer Vogelfedern (z. B. bei Tauben), welche sich beim Uebergang von der senkrechten zur streifenden Incidenz von Rot zu Grün ändern, hält BRÜCKE für Farben dünner Blättchen, desgleichen die Schillerfarben beim Chamäleon. „Bei diesen ist der Abstand der reflektierenden Flächen sehr ungleichmässig, so daß das Mikroskop an einer und derselben Zelle immer mehrere Farben gleichzeitig nachweist. An den Taubenhalsfedern ist dies in geringerem Grade der Fall, so daß eine Farbe stets die Hauptfarbe ist, neben der nur hier und da andere auftreten. Für die mikroskopische Untersuchung, bei der zunächst die Strahlen in Betracht kommen, die mit dem Einfallslot verhältnismäßig kleine Winkel machen, ist die Hauptfarbe des auffallenden Lichtes bei den meisten Zellen grün, die der durchfallenden rot.“ Diesen Anschauungen hat sich in Bezug auf die meisten schillernden Schmetterlingsschuppen neuerdings auch M. BAER angeschlossen. Er hält die Skulpturen für das Zustandekommen der optischen Farben im allgemeinen für unwesentlich und vertritt die Ansicht, daß es sich hier hauptsächlich um „Farben dünner Blättchen“, dann wohl auch um „Farben trüber Medien“ handelt, d. h. „es wären diese Farben nach dem gleichen Prinzip 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“ (M. BAER).

Auf das Prinzip der „Farben trüber Medien“ versuchten V. HÄCKER und G. MEYER ganz neuerdings auch die blaue Farbe der Vogelfedern zurückzuführen. Die Wände der die Farbenercheinung erzeugenden, an sich farblosen Zellen lassen sie von lufthaltigen Röhrchen (Porenkanälen) durchsetzt sein, „deren Durchmesser kleiner ist als die Wellenlänge des Lichtes, d. h. wir haben ein durchsichtiges Medium vor uns, in welches durchsichtige Körper eingebettet sind, deren Dimensionen klein sind gegen die Wellenlänge des Lichtes, und deren optische Dichtigkeit verschieden von der des Mediums ist“.

„Dringt in eine solche Kombination von zwei durchsichtigen Körpern verschiedener optischer Dichtigkeit weißes Licht ein, so findet nach Lord RAYLEIGH an den eingebetteten Körperchen eine diffuse Reflexion des Lichtes statt, und zwar wird das blaue Licht bei der Reflexion bevorzugt. Da nämlich die Intensität des reflektierten Lichtes von jeder Farbe umgekehrt proportional der 4. Potenz der zugehörigen Wellenlänge ist ($I = \frac{\text{Const}}{\lambda^4}$), so werden bei der Reflexion die kurzwelligen blauen Strahlen bevorzugt, während in dem durchgehenden Licht die gelben und roten Strahlen überwiegen.“

Einen prinzipiell verschiedenen Standpunkt nimmt der Frage nach dem Wesen der Schillerfarben gegenüber der Physiker B. WALTER ein (1895). In einer Abhandlung über „die Oberflächen- oder Schillerfarben“ hält er die letzteren, soweit sie an Schmetterlingsschuppen und Vogelfedern beobachtet werden, für identisch mit den Oberflächenfarben stark absorbierender Medien und nimmt daher an, daß in den betreffenden Teilen bestimmte chemische Substanzen (Schillerstoffe) als eigentliche Ursache der Färbung enthalten seien.

Seit langem weiß man, daß Farben auch durch bloße Reflexion des Lichtes ohne jede besondere Struktur der reflektierenden Fläche entstehen können und spricht in solchem Falle von „Oberflächenfarben“ der betreffenden Körper. Als sehr charakteristisch und in ihrem ganzen Charakter mit den hier zu besprechenden Schillerfarben in wesentlichen Punkten übereinstimmend, müssen zunächst die Farben der regulinischen Metalle (Gold, Kupfer) und gewisser Legierungen (Messing) genannt werden.

Eine auch Nichtphysikern verständliche Auseinandersetzung über diesen Gegenstand verdanken wir BRÜCKE. „Die Metalle haben in chromatischer Beziehung eine Eigenschaft, die ihnen allen gemeinsam ist, nämlich die, daß sie nicht wie Pigmente zweierlei Licht zurückwerfen, oberflächliches und tiefes, von dem uns das letztere die spezifische Farbe des Pigmentes erzeugt. Alles Licht, welches die Metalle zurückwerfen, ist, wenn auch nicht im allereigentlichsten Sinne, in welchem wir dieses Wort gewöhnlich gebrauchen, oberflächliches. Daher ist auch der Glanz der farbigen Metalle farbig“..... „Diesen farbigen Glanz haben die Metalle gemein mit den Körpern, welche Schillerfarben zeigen; aber bei diesen wechselt die Farbe je nach dem Winkel, unter dem das Licht einfällt, in auffälliger Weise, sie schillern. Wenn wir daher auch von den Farben des Taubenhalses sagen, daß sie etwas Metallisches haben, so kommen wir doch nicht leicht in Versuchung, sie mit den Farben der Metalle selbst zu verwechseln, welche sich zwar je nach dem Einfallswinkel der Strahlen in Rücksicht auf Helligkeit und Sättigung verändern, aber doch nicht aus Gelb in Grün, aus Grün in Blau, aus Blau in Rot u. s. w. übergehen. Diese Identität der Farbe des Glanzes mit der Farbe des Metalles ist es, welche nebst noch zwei anderen Eigenschaften das Spezifische des Metallglanzes bedingt. Diese beiden anderen Eigenschaften der Metalle sind die Undurchsichtigkeit und die starke Lichtreflexion. Es läßt sich nachweisen, daß wir jedem Körper, der diese drei Eigenschaften vereinigt, Metallglanz zuschreiben, selbst wenn wir sehr wohl wissen, daß an ihm nichts Metallisches ist.“ (BRÜCKE.)

Zu diesen Körpern mit starkem und farbigem Glanz gehören unter anderem auch gewisse stark absorbierende Farbstoffe und vor allem eine große Anzahl von Anilinfarben, wie z. B. das Fuchsin oder das Diamantgrün G, welches letztere in Bezug auf die Stärke der Oberflächenfärbung an der Spitze aller dieser Stoffe steht. Es zeigt aus seinen Lösungen nach Verdunstung des Lösungsmittels, auf irgend einem Gegenstand aufgetrocknet, eine prachtvoll kirschrote Oberflächenfarbe, während das von einer sehr dünnen Schicht desselben durchgelassene Licht eine grünblaue Färbung zeigt; gerade umgekehrt zeigt dagegen das Fuchsin unter gleichen Umständen eine glänzend goldgrüne

Oberflächenfarbe, während rotes Licht durchgeht. Man sieht, daß in beiden Fällen die reflektierte Farbe im allgemeinen der von dem betreffenden Körper am stärksten absorbierten entspricht, während die Farbe im durchfallenden Lichte (die „Körperfarbe“) gerade durch die nicht absorbierten Anteile des Spektrums bestimmt wird. Beide verhalten sich daher zueinander im allgemeinen wie Komplementärfarben. (HEIDINGERSCHES Gesetz 1852.) In aller Strenge gilt diese Regel für Schillerstoffe allerdings nicht.

STOKES machte schon geltend, daß die Körperfarbe ja auch wesentlich von der Dicke der durchstrahlten Schicht abhängt, während andererseits auch die Oberflächenfarbe bei einem und demselben Stoffe nichts Bestimmtes ist, sondern wesentlich von dem Einfallswinkel und von der optischen Beschaffenheit des angrenzenden Mediums abhängig ist. „So schillert z. B. das Fuchsin an der Luft schön gelbgrün, dagegen, auf Glas aufgetragen und von unten her senkrecht beleuchtet, blaugrün, ja am Diamanten unter denselben Umständen sogar rein blau, eine Farbe, die natürlich keineswegs mehr komplementär ist zu dem fast reinen Spektralrot des von einer etwas dickeren Fuchsinsschicht hindurchgelassenen Lichtes, sowie auch nicht zu dem Rosa, welches die Durchlaß- oder Körperfarbe einer ganz dünnen Schicht dieses Farbstoffes bildet“. (WALTER.)

Es wird also, wie man sieht, die Oberflächenfarbe eines Schillerstoffes auch ganz wesentlich mit vom Brechungsexponenten des angrenzenden Mediums mitbestimmt und ist es daher nicht gleichgültig, ob der stark absorbierende Farbstoff frei an der Luft liegt oder ob er in eine Flüssigkeit eingebettet oder endlich in einer Horn- oder Chitinhaut aufgelöst ist. Dies letztere würde nach WALTER mit den Schillerstoffen der Tiere der Fall sein. In Bezug auf den Einfallswinkel gilt die Regel, daß der Ton einer Oberflächenfarbe bei Vergrößerung des Einfallswinkels sich im spektralen Sinne vom Rot nach dem Violett hin verschiebt. Gerade diese Erscheinung war es, die, wie WALTER bemerkt, den Zoologen bei den Schillerfarben der Tiere stets am meisten aufgefallen ist, und deren Erklärung sie auf die verschiedenartigste Weise versucht haben.

Auf den ersten Blick hat die Annahme von B. WALTER, daß die Schillerfarben bei vielen Vögeln und Insekten auf der Anwesenheit besonderer stark absorbierender Pigmente (Schillerstoffe) beruhen, welche durch die Eigenschaft ausgezeichnet sind, nur einen Teil der Strahlen des auffallenden Lichtes sehr stark zu reflektieren, die übrigen Teile dagegen sehr schwach, etwas außerordentlich Bestechendes, und man wird in der Tat zu dem glänzenden Goldgrün einer *Cetonia aurata* kaum ein passenderes Analogon finden können als die Oberflächenfarbe einer dünnen Fuchsinsschicht. Ich gestehe offen, daß ich im Beginn dieser Untersuchung selbst sehr geneigt war, mich der WALTERSchen Auffassung durchaus anzuschließen, doch stieß ich bald auf unüberwindliche Schwierigkeiten und hege zur Zeit starke Bedenken, ob auch nur in einem einzigen Falle Schillerstoffe bei Tieren wirklich vorkommen.

Es handelt sich dabei hauptsächlich um die oft außerordentlich intensiven Schillerfarben fast oder ganz farbloser Schmetterlings- und Käferschuppen, wofür wir im folgenden Beispiele kennen lernen werden. Die Entstehung typischer Oberflächenfarben ist, wie WALTER wiederholt betont, an das Vorhandensein eines stark absorbierenden, d. h. auch im durchfallenden Licht intensiv gefärbten Pigmentes geknüpft. Dennoch gibt es eine Menge Beispiele, wo Chitingebilde, im durchfallenden Lichte untersucht, kaum eine Färbung erkennen lassen und dessenungeachtet auf dunklem Grunde im auffallenden Licht intensive Schillerfarben darbieten. In solchen Fällen wird man, wie ich glaube, die Annahme einer „Strukturfarbe“ kaum umgehen können. Nach den vor-

stehenden Auseinandersetzungen könnte es sich dann aber nur um drei verschiedene Möglichkeiten handeln: entweder sind es Farben trüber Medien oder Gitterfarben oder endlich Farben dünner Blättchen. Natürlich ist es nicht ausgeschlossen, daß sich diese physikalischen Ursachen untereinander, wie auch mit wirklichen Körperfarben (Pigmenten) kombinieren können.

WALTER hat in einem besonderen Abschnitt seines verdienstlichen Buches die Unterscheidungsmerkmale der „Oberflächenfarben“ von jenen „optischen“ erörtert, und mögen einige besonders wichtige Punkte schon hier hervorgehoben sein.

Was zunächst die Farben trüber Medien anlangt, so hat bereits SCHATZ die Ansicht geäußert, daß das prachtvolle Blau an der Oberseite der schokoladebraun gefärbten Schuppen verschiedener Morpho-Arten „wahrscheinlich weniger der Interferenz der Lichtstrahlen als einer über dem dunklen Grunde gelagerten trüben Schicht der Schuppen seine Entstehung verdankt“. Dem widerspricht jedoch vor allem schon der außerordentliche Glanz und die Leuchtkraft der Farbe, indem die Farben trüber Medien in Bezug auf Intensität selbst hinter Körperfarben in der Regel zurückstehen. Auch muß darauf hingewiesen werden, „daß die sie zeigenden Stoffe meist eine ziemlich große Dicke besitzen müssen und dann immer noch mit trüber, rötlicher Farbe durchsichtig oder durchscheinend sind, während die Stoffe mit Körperfarbe, wenn überhaupt, dann klar durchsichtig sind. Im zerstreuten Lichte ferner ist die Farbe trüber Medien stets blau, und nur wenn das die trübenden Teilchen enthaltende Medium selbst schwach gelb gefärbt oder ihm eine schwach gelb gefärbte Schicht vorgelagert ist, kann das Blau in ein dunkles Grün übergehen“ (WALTER). Auch erleiden diese Farben beim Wechsel des Einfallswinkels im auffallenden Lichte kaum merkliche Aenderungen. So wenig es zu bezweifeln ist, daß in manchen Fällen das Blau trüber Medien für die Entstehung gewisser Tierfarben eine große Bedeutung besitzt — es sei hier nur an das Grün des Chamäleons und vieler anderer Reptilien und Amphibien erinnert, das sich aus optischem Blau und Pigmentgelb zusammensetzt, ferner an das Blau der Iris, der durch die Haut schimmernden Venen, den blauen Schein frischer Hyalinknorpel, die Tätowierung mit chinesischer Tusche, die Schnauze des Mandril, sowie die Scrotalhaut anderer Affen und an das Blau der nackten Häse vieler Vögel — so erscheint es doch von vornherein ganz ausgeschlossen, die glänzenden Schillerfarben der Insekten und Vögel nur auf dieses Prinzip zurückzuführen. Freilich muß man zugeben, daß unter diesen, wie wir sehen werden, das Blau eine ganz besondere Rolle spielt und sozusagen die Grundlage aller anderen bildet; man muß sich erinnern, daß blaue und grüne Pigmente nur ganz ausnahmsweise vorkommen, ganz im Gegensatz zu Rot, Gelb, Braun und Schwarz, und daß speziell das auch als Schillerfarbe so weit verbreitete Grün in der Regel aus der Kombination von Pigmentgelb und optischem, durch eine besondere Struktur erzeugtem Blau resultiert. In der Tat ist es mir durch meine Untersuchungen sehr wahrscheinlich geworden, daß in einzelnen Fällen das Blau trüber Medien bei der Entstehung gewisser Schillerfarben mitbeteiligt ist, wenn es dieselben auch keineswegs allein verursacht.

Eine bei weitem wichtigere Rolle spielen die Beugungsfarben (Gitterfarben) und insbesondere die Farben dünner Blättchen. Daß die ersteren für den farbigen Schiller (das „Irisieren“) gewisser tierischer Teile fast allein verantwortlich zu machen sind, läßt sich entgegen der Meinung von WALTER gar nicht bezweifeln. Freilich gilt dies gerade am allerwenigsten für jene Fälle, die man seit jeher mit besonderer Vorliebe als Beweise für die Auffassung der Schillerfarben als Gitterfarben anzuführen pflegt, ich meine die parallel gestreiften Schmetterlingsschuppen. Abgesehen davon, daß in der großen Mehrzahl der Fälle die schillernden Körperteile bei Vögeln und Käfern kaum jemals eine derartige Streifung und oft überhaupt keine nachweisbare Reliefzeichnung (Skulptur) erkennen lassen, spricht

einfach schon der Umstand gegen jene Deutung, daß in zahlreichen Fällen Schmetterlingsschuppen ohne oder mit sehr spärlichen und ganz weit voneinander entfernten Streifen prachtvolle Schillerfarben zeigen, während andererseits äußerst regelmäßig und dicht gestreifte (gerippte) Schuppen keine Spur von Schiller erkennen lassen. Um zweifellose Beugungsfarben handelt es sich aber wohl bei dem zarten Farbenspiel, welches die Schwingplättchen der Ctenophoren bei günstiger Beleuchtung zeigen, sowie bei den prächtig schillernden Borsten gewisser Polychäten.

In beiden Fällen handelt es sich um Gebilde, welche aus einer außerordentlich großen Zahl feinsten Härchen oder Fäserchen zusammengesetzt sind, was sich unter dem Mikroskop durch eine äußerst dichte und feine Streifung verrät. Der mit wechselndem Lichteinfall fortwährend wechselnde Farbenschiller entsteht hier in ganz gleicher Weise, wie die allbekannten Gitterspektren quergestreifter Muskelfasern, wenn man die letzteren im durchfallenden Lichte beobachtet (RANVIER, ZOTH). Dieses letztere Beispiel von Beugungsfarben ist übrigens auch recht geeignet, den Einwand B. WALTERS zu widerlegen, daß „zur Erzeugung eines Gitterspektrums außer dem Gitter auch wieder eine vor demselben und in ziemlichem Abstände davon befindliche punkt- oder spaltförmige Lichtquelle gehört, die mit der Gitteröffnung zusammen ein bestimmt abgegrenztes Strahlenbündel schafft“ (l. c. S. 83). Am M. sartorius des Frosches sehe ich das Irisieren auch unmittelbar am Fenster oder im Freien; es genügen zu dessen Entstehung die fast überall vorhandenen Beleuchtungsverschiedenheiten (Lichtgrenzen) vollkommen. Ueberall, wo Schillerfarben bei größter Intensität auftreten, erscheint die schillernde, meist sehr dünne Schicht über einem völlig dunklen, ganz undurchsichtigen Grund ausgebreitet, es handelt sich also nicht oder doch nur ganz ausnahmsweise um durchgelassenes, sondern fast immer um reflektiertes Licht. Die etwa in Betracht kommenden Skulpturen der Oberfläche schillernder Teile würden daher mit jenen in Vergleich zu stellen sein, durch welche angeschliffene Perlmutter oder die bekannten irisierenden Metallknöpfe, sowie ROWLANDSche Reflexionsgitter charakterisiert sind. „Perlmutter“ besteht bekanntlich aus sehr vielen, sehr dünnen Schichten von organischer Materie und kohlen-saurem Kalk. Dieselben sind von ungleicher Härte, so daß, wenn man einen schrägen Schnitt führt und diesen poliert, derselbe keine ebene, sondern eine fein geriffte Oberfläche darbietet, welche ein System von Terrassen mit spiegelnden Stufen darstellt. Durch das Abprallen von diesen Stufen nun werden die Strahlen gegeneinander verschoben, so daß im reflektierten Lichte nicht mehr überall die Wellenberge mit den Wellenbergen und die Wellentäler mit den Wellentälern zusammenfallen“ (BRÜCKE, Physiologie der Farben, 1887, S. 92). Selbstverständlich entstehen daher im weißen Lichte Interferenzfarben, deren Ton je nach dem Einfallswinkel wechselt. Ich werde im folgenden zeigen, daß dementsprechende Strukturverhältnisse tatsächlich bei manchen Insekten (Käfern) mit Schillerfarben vorkommen.

Unter allen auf rein optischen Wirkungen beruhenden (Nicht-Pigment-)Farben zeigen nun aber die Farben dünner Blättchen die bei weitem größte Aehnlichkeit mit den Oberflächenfarben im Sinne von B. WALTER. „Tatsächlich sind nämlich beide ‚Reflexionsfarben‘ und es zeigen daher auch beide jenen eigentümlichen Glanz, wie er nur dem regelmäßig reflektierten Licht anhaftet auch ist die Schönheit der Farben dünner Blättchen unter geeigneten Umständen eine ähnliche wie die, welche wir bei den Schillerfarben gewöhnt sind, wenn freilich auch die bekannten Vorrichtungen, an welchen die ersteren auftreten, nämlich die Seifenblasen und das NEWTONSche Ringsystem, dieselben nicht gerade in ihrem vorteilhaftesten Lichte erscheinen lassen“ (B. WALTER).

Als Unterschiede zwischen den Farben dünner Blättchen und der Schillerfarben macht WALTER zunächst auf den Umstand aufmerksam, daß die ersteren mit der Polarisationsart des angewandten Lichtes nur ihre Stärke niemals aber ihren Farbenton ändern, während bei den letzteren stets beides

der Fall ist. Ferner müssen jene bei Anwendung von s. p. Licht bei einem bestimmten Einfallswinkel (dem Polarisationswinkel der Grenzschicht des dünnen Blättchens) vollständig verschwinden, um dann bei noch größeren Einfallswinkeln wieder sehr deutlich hervorzutreten, während die Oberflächenfarben für solches Licht meistens gerade in dem Gebiet der Polarisationswinkel die tiefste Sättigung ihres Farbtones aufweisen, um dann bei noch größeren Einfallswinkeln sehr schnell zu verblassen“. Es wurde schon früher erwähnt, daß der Ton einer Oberflächenfarbe sich auch mit der Beschaffenheit des angrenzenden Mediums ändert. Handelt es sich um einen frei an die Luft grenzenden Schillerstoff, so erstreckt sich bei Anwendung stärker brechender Flüssigkeiten, wie Aether ($1,36 = n$), Benzol ($1,51$) oder Schwefelkohlenstoff ($n = 1,64$), die Farbenverschiebung doch nur über einen oder höchstens zwei benachbarte Farbentöne des Spektrums, also z. B. vom Blau zu Grün und umgekehrt, während sich dagegen die Interferenzfarbe einer dünnen Luftschicht „schon beim Ersatz der Luft durch die am schwächsten brechende jener 3 Flüssigkeiten sprungweise ändert“ (z. B. von Blau zu Gelb oder sogar Rot). Auch die Veränderlichkeit der Farbe des reflektierten Lichtes mit dem Einfallswinkel bietet wertvolle Anhaltspunkte für die Unterscheidung zwischen Farben dünner Blättchen und Oberflächenfarben. In Bezug auf die ersteren muß man, wie WALTER betont, von vornherein 2 Fälle auseinanderhalten, nämlich einmal den, wo das dünne Blättchen aus einer zwischen zwei festen Stoffen befindlichen dünnen Luftschicht besteht (wie beispielsweise bei den NEWTONschen Ringen) und dann jenen, wo es sich um eine sehr dünne flüssige oder feste, stärker brechende Substanz handelt (Seifenblasen, Glimmerblättchen). Da im ersten Falle der Winkel, welchen ein Lichtstrahl innerhalb der eingeschlossenen Luftschicht mit der Normalen ihrer Begrenzungsflächen bildet, dem äußeren Einfallswinkel entspricht, während bei einem wirklichen dünnen Blättchen der innere Einfallswinkel in der Regel viel kleiner ist als der äußere, so ändert sich hier die Farbe der dünnen Schicht viel weniger mit dem Einfallswinkel als dort (vergl. WALTER, l. c. S. 88 f.). In beiden Fällen gilt die Gleichung $\delta = \frac{2 d \cos i}{\lambda}$, wo δ die Phasendifferenz der beiden interferierenden Strahlen, d die Dicke der Schicht, λ die Wellenlänge in ihr und i den Winkel bedeutet, welchen der sie durchsetzende Strahl mit der Normalen ihrer Grenzfläche bildet. Es ergibt sich daraus die Regel, „daß die Farbe einer dünnen Schicht, in welcher der innere Einfallswinkel zwischen 0 und 90° variieren kann (Luftschicht), dabei unter allen Umständen, d. h. welches auch die Dicke der Schicht und welches demnach auch ihre Anfangsfarbe (für $i = 0$) sein mag, stets sämtliche Farbentöne des NEWTONschen Ringsystemes von jener Anfangsfarbe an bis zum Schwarz der I. Ordnung (für $i = 90^\circ$) hin durchlaufen muß“ (B. WALTER). Im übrigen verläuft der Farbenwechsel immer in gleicher Richtung wie bei den Oberflächenfarben, also von Rot durch Gelb zu Grün, Blau und Violett. Gleichwohl erscheint eine Verwechslung beider Farbenarten dann, wenn es sich um eine dünne Luftschicht handelt, dadurch ausgeschlossen, daß sich in diesem Falle der Farbenton „ganz außerordentlich viel schneller mit dem Einfallswinkel ändert, als bei den Oberflächenfarben“ (WALTER).

Besteht dagegen die dünne Schicht aus einer stärker brechenden Substanz und hat demgemäß der innere Einfallswinkel einen wesentlich größeren Spielraum, so bleibt zwar der Sinn der Farbenverschiebung derselbe, die Größe derselben wird aber erheblich kleiner und kommt somit derjenigen bei den Oberflächenfarben näher. Doch würde eine Verwechslung auch dann nur bei sehr dünnen Blättchen möglich sein, während bei größerer Dicke eventuell schon 4 Farben durchlaufen werden, wenn der Einfallswinkel zwischen 0 und 90° wechselt, was bei Oberflächenfarben

niemals vorkommt. Hier erstrecken sich die Farbenverschiebungen (abgesehen von den selteneren und sehr charakteristischen Fällen, wo größere Teile des Spektrums zur Totalreflexion gelangen) immer nur über einen oder höchstens zwei benachbarte Farbentöne desselben“ (WALTER).

Ausgehend von Untersuchungen über die Farben, welche fein zerstäubte Metalle im auffallenden Lichte zeigen, hat ganz neuerdings (1903) I. KOSSOGONOFF¹⁾ eine Erklärung der Farben von Schmetterlingsschuppen gegeben, die ich freilich, wenigstens soweit es sich um Schillerfarben handelt, für gänzlich verfehlt halten muß, selbst wenn die physikalischen Voraussetzungen als über jeden Zweifel sicher gelten könnten. Er zerstäubte sehr verdünnte Lösungen von Metallsalzen (PtCl_4 , AuCl_3 , AgNO_3 , CuSO_4) oder kolloidale Metalllösungen gegen eine starke erhitzte Glasplatte und erhielt so feinste Körnchen von Salz resp. Metall (auch Kathodenzerstäubung lieferte gute Resultate), deren Durchmesser $0,2 \mu$ — $0,5 \mu$ betrug.

„Die Farbe der Schichten im reflektierten Lichte war verschieden je nach der Größe der Körnchen und ihrer gegenseitigen Verteilung“ und wechselte außerdem beim Anfeuchten mit Alkohol, Aether, flüssigem Paraffin oder Benzin in eine Farbe von größerer Wellenlänge (Blau in Grün, Grün in Gelb). Diese Farbenscheinungen hält nun KOSSOGONOFF für bedingt durch „selektive Reflexion“ von seiten jener Körnchen, deren Größe mit der der Lichtwellen von gleicher Ordnung ist, und nennt die Erscheinung „optische Resonanz“. Der Umstand, daß Schmetterlingsschuppen in der großen Mehrzahl der Fälle verschiedenfarbige runde Körnchen enthalten (Pigmente), hat KOSSOGONOFF veranlaßt, die Schuppenfärbung überhaupt durch optische Resonanz zu erklären. Er nimmt an, „daß die auf den Schuppen des Flügels übergelagerten Körnchen je nach ihrer Größe das Licht einer bestimmten Farbe reflektieren“, und führte dann zahlreiche mikrometrische Messungen solcher Körnchen aus. Es ergab sich, „daß die Größe der Körnchen je nach der Farbe der Schuppen verschieden ist und zugleich mit den Lichtwellenlängen der nämlichen Farbe übereinstimmt, die der untersuchten Flügelstelle eigentümlich war“.

KOSSOGONOFF macht dabei gar keinen Unterschied zwischen Pigment- und Schillerfarben. Er führt als Beispiel für Violett die Schuppen von *Lycaena Meleager* an und findet „Körnchen“ mit einem Durchmesser von $0,4095 \mu$. Die die blauviolette Färbung (den Schiller) verursachenden Schuppen sind aber bei den *Lycaeniden* tatsächlich körnchenfrei und nur die darunter liegenden dunkel pigmentierten Grundschuppen enthalten solche. Diese sind es offenbar auch, welche KOSSOGONOFF gemessen hat, obschon er weiter angibt, „daß die Körnchen von schwarzen Schuppen kleinere lineare Dimensionen haben, als die Wellenlängen des sichtbaren Teiles des Spektrums“. Außer diesem Beispiel einer Schillerfarbe hat KOSSOGONOFF fast ausschließlich nicht schillernde pigmentierte Schuppen untersucht (*Zygaena*, *Callimorpha*, *Catocala* u. a.). Gestützt auf seine Mißerfolge bei dem Versuch, Pigmente aus Schmetterlingsflügeln zu extrahieren (was bekanntlich in umfangreicher Weise geschehen ist), glaubt übrigens KOSSOGONOFF gar nicht an das wirkliche Vorhandensein von besonderen Pigmentkörpern, sondern hält jene Körnchen einfach für „Chitin (wie auch die Schuppen selbst)“.

Ich halte es nicht für nötig, näher auf diese allerneueste physikalische Theorie der Schmetterlingsfarben einzugehen, zumal sie für das Thema, welches uns hier speziell beschäftigt, gegenstandslos zu sein scheint.

1) I. KOSSOGONOFF, Ueber opt. Resonanz (Physikal. Zeitschr., IV. Jahrg., 1903, S. 208, 258, 518).

Bei solcher Sachlage schien es mir wünschenswert, womöglich durch eigene Anschauung zu einem Urteil über die wahre Natur der schillernden Tierfarben zu kommen und ich wählte, ich darf wohl sagen glücklicherweise, als Ausgangspunkt meiner Untersuchungen nicht die seit jeher bevorzugten Schmetterlinge und Vögel, sondern die Käfer, bei welchen die betreffenden Verhältnisse sich relativ einfacher und übersichtlicher gestalten. Für Ueberlassung von Material bin ich meinem verehrten Kollegen Geheimrat W. MÜLLER, sowie meinem lieben Freunde FÜRBRINHER in Heidelberg zu besonderem Danke verpflichtet.

II. Die Schillerfarben schuppenloser Käfer.

Von älteren Arbeiten in dieser Richtung ist wenig zu berichten. Die goldgrüne Farbe von *Carabus auratus* will KRUKENBERG auf „Interferenzerscheinungen“ beziehen, wie und wodurch solche aber hier zu stande kommen sollen, scheint er gar nicht näher untersucht zu haben. Er schließt es nur daraus, daß die Farbe des genannten Käfers nicht lichtempfindlich ist und daß es nicht gelingt, aus den Flügeldecken durch Aether, Benzol, Schwefelkohlenstoff, Chloroform oder Alkohol (auch nicht nach vorheriger Behandlung mit HCl und NH₃) einen grünen oder auch nur grünlichen Farbstoff zu extrahieren. Auch das schöne metallische Grün der Canthariden beruht nach KRUKENBERG nicht auf dem Vorhandensein eines entsprechenden Pigmentes, sondern es handelte sich um eine „Strukturfarbe“.

K. B. HOFMANN hatte seiner Zeit angegeben (Lehrbuch der Zoochemie, 1879, p. 368), daß in den Flügeldecken der Canthariden Chlorophyll enthalten sei oder wenigstens ein grüner Farbstoff, welcher sich jenem spektroskopisch gleich verhält, eine Angabe, die MAC-MUNN später bestätigte (1882/83). Dieser hält das Chlorophyll hier für das Produkt einer Synthese und vermutet, daß es die Schutzfarbe vermittele. Im Gegensatze zu diesen an sich höchst unwahrscheinlichen Angaben hatte bereits CHANTARD vergeblich versucht, aus den grünen Flügeldecken von Canthariden Chlorophyll durch Alkohol zu extrahieren. Er macht, wie später auch KRUKENBERG, mit Recht darauf aufmerksam, daß das Chlorophyll dem Verdauungsprozeß zum großen Teile widersteht und sich daher massenhaft im Darne (bezw. den Faeces) phytophager Käfer findet.

KRUKENBERG ließ mehrere Gramme von Canthariden-Flügeldecken ein halbes Jahr lang teils mit Aether, teils mit Alkohol oder Benzol in Berührung. „Die Flüssigkeiten erwiesen sich nach dieser Zeit aber noch ebenso klar und ohne jede Färbung, die auf einen Chlorophyllgehalt, wenn auch nur entfernt hindeuten könnte, als zuvor und ließen konzentriert im Spectrum kein Absorptionsband erkennen. Auch Säuren und Ammoniak veränderten die Farbe der Cantharidenflügel in der Kälte nicht. Alkoholische oder ätherische Auszüge, welche die Absorptionsbänder des Chlorophylls zeigen, erhält man aus den Canthariden nur dann, wenn man die gedrückten ganzen Tiere mit den Flüssigkeiten behandelt und nur auf derartigen Versuchen kann die erwähnte Angabe von HOFMANN (und MAC-MUNN) beruhen“ (KRUKENBERG).

POULTON zitiert eine Beobachtung von NICKERL, wonach in der Gefangenschaft überwinterte Exemplare von *Carabus auronitens* im Frühling ihres Goldglanzes verlustig waren, der erst wiederkehrte, nachdem die Tiere Wasser aufgenommen hatten. Dieselbe glänzend grüne Käferart kommt in höheren Gebirgen schwarz oder braun vor (Schweiz, Siebenbürgen, Auvergne). Ebenso ist der bronzefarbige *Carabus alpinus* zuweilen braun. Von dem in Siebenbürgen oft prächtig grünen *Carabus*

glacialis gibt es ebendort Individuen mit braunen Flügeldecken. Nach den Angaben von M. BERGÈ, dem wir die einzigen eingehenderen Untersuchungen über die Metallfarben der Käfer verdanken, scheint die Variabilität der Färbung gerade bei *C. auronitens* außerordentlich groß zu sein. Die Farbe der Flügeldecken kann zwischen Kupferrot, Grün, Blau und Violett bis zu mattem Braun und Schwarz wechseln; dabei kann das Halsschild entweder gleich oder verschieden gefärbt sein. KRUKENBERG ist der Meinung, daß derartige Verschiedenheiten wohl auf „Texturveränderungen an der Oberfläche der chitinosen Hülle beruhen, über welche histologische Untersuchungen wohl einen Aufschluß liefern könnten.“

BERGÈ hat zuerst darauf hingewiesen, daß es durch Behandlung metallisch glänzender schuppenloser Flügeldecken von Käfern mit kochender Salpetersäure verschiedener Konzentration gelingt, ein meist nur schwach bräunlich gefärbtes oberstes Chitinhäutchen zu isolieren, welches nun auf dunklem Grunde die ursprüngliche Metallfarbe zeigt. Er folgert daraus, daß derartige Schillerfarben nur durch Reflexion entstehen und daher wesentlich von der Beschaffenheit des Grundes abhängen. Ist dieser farblos oder nur wenig gefärbt, so treten an Stelle der Metallfarben „fluoreszierende“ Töne („des tons fluorescents“). So erscheint die durch Säurebehandlung isolierte Chitinhaut von *Anoplognathus analis* auf hellem Grunde „irisierend“, auf schwarzem dagegen schön metallisch grün und ähnlich verhält es sich auch bei *Mimela chinensis*. Die isolierte „Cuticula“ der Flügel scheint hier auf dunklem Grunde prachtvoll grün, während sie auf einer weißen Unterlage gelb aussieht.

In Bezug auf die Frage, ob diese metallischen Farben durch eine besondere Struktur, etwa eine feine Streifung der Chitinhülle bedingt werden, gelangt BERGÈ zu dem Ergebnis, daß dies nicht der Fall ist. Es finden sich zwar auf der Oberfläche der untersuchten Chitinskelette Linien, dieselben liegen aber bei weitem nicht nahe genug beieinander, um Interferenzfarben zu erzeugen. Es gelang auch niemals durch Abdrücken metallglänzender, schillernder Käferflügel in eine weiche, dann erhärtende Masse (Paraffin, Siegellack) in ähnlicher Weise den farbigen Metallganz zu reproduzieren, wie es bekanntlich bei der Perlmutter der Fall ist (BREWSTER). Endlich weist BERGÈ noch auf die Tatsache hin, daß die durch HNO_3 isolierten Chitinhäutchen auf beiden Seiten dieselbe Metallfarbe zeigen. Aber auch auf die Farben dünner Blättchen lassen sich die Erscheinungen nach dem genannten Forscher nicht wohl zurückführen, indem die Farbe angeblich unabhängig ist von der Dicke der Schicht sowie vom Einfallswinkel des Lichtes. Es scheint nach den Untersuchungen BERGÈS überhaupt, daß der farbige Metallganz bei gewissen Käfern weder an eine besondere Struktur (Skulptur) der Oberfläche, noch auch an eine solche (etwa Schichtung) der ganzen Masse gebunden ist, indem sonst durch alle Mittel, welche geeignet sind, die Struktur des Chitinskelettes zu erhalten, Pigmente dagegen zu zerstören, auch der farbige Schiller erhalten bleiben müßte. Dies wäre nun aber nach BERGÈ gerade nicht der Fall und er stellt daher in seiner letzten Mitteilung über den Gegenstand ausdrücklich den Satz auf, daß „toute matière détruisant les pigments enlève à la cuticule le propriété d'émettre des tons métalliques par reflexion“. Von allen Bleichungsmitteln schien ihm hier allein das Ozon der Luft geeignet. Er brachte Käferflügel für 5 Monate an die Luft und setzte sie dem abwechselnden Einfluß von Sonne und Regen aus. Obschon die Entfärbung eine vollkommene war, soll sich die Struktur des Chitins doch absolut erhalten haben. Der farbige Metallganz aber war verschwunden. Hieraus schließt BERGÈ, daß es sich bei den Metallfarben der Käfer nicht um reine Strukturfarben handelt, sondern daß „une substance cuticulaire“ existiert „qui joue un grand rôle dans la formation des couleurs métalliques s'il n'est pas l'agent unique“. Er nähert sich durch diese Annahme, wie man sieht, sehr der Meinung WALTERS. Alle Bemühungen, nun diese fragliche „Substanz“ zu isolieren, blieben jedoch erfolglos. BERGÈ versuchte durch HNO_3

isolierte, schillernde Chitinhäutchen von Käfern mit verschiedenen chemischen Reagenzien zu extrahieren (Petroläther, Aether, Alkohol, Wasser, Kalilauge, HCl etc.) ohne jedes Resultat. Ebenso wenig gelang dies bei Anwendung von Schwefelkohlenstoff, Chloroform, Benzin, Anilin, Karbolsäure und Pepsinlösung. Es ergaben sich nur in einzelnen Fällen gewisse Aenderungen des Farbtones. Alkalien und Säuren verändern denselben im allgemeinen von Grün zu Braun, Gelb zu Rot. Durch Wärme wird Goldgelb in metallisches Grün oder Blau verwandelt, das durch Alkalien oder Säuren erzeugte Braun aber wieder in das ursprüngliche Grün oder Blau zurückverwandelt. Ebenso wirkt eine Lösung von CaCl_2 . Ungeachtet dieser Mißerfolge hält BERGÈ die Existenz eines die Metallfarben der Insekten verursachenden besonderen Farbstoffes („pigment métallique“) für erwiesen; er weist darauf hin, daß die durch HNO_3 isolierten Chitinhäutchen stets mehr oder weniger gefärbt erscheinen, und zwar um so deutlicher, je dunkler der ursprüngliche Metallglanz war; die Cuticula erscheint dann oft wie berußt („enfumée“). Daß mit dem Verschwinden dieser an sich schwachen Färbung auch der Metallglanz verschwindet, spricht nach BERGÈ sehr zu Gunsten der Annahme eines Kausalverhältnisses zwischen beiden.

Von der Regel, daß überall, wo wir Metallglanz bei Insekten begegnen, dies durch besondere Eigenschaften der Chitinsubstanz bedingt ist, würden nach VERHOEFF unter den Käfern nur die Cassida-Arten eine Ausnahme machen, indem hier der Metallglanz durch eine Flüssigkeit im Innern der Flügeldecken erzeugt werden soll. Darauf soll auch die bekannte Erscheinung beruhen, daß hier die Metallstreifen auf den Flügeldecken nach dem Tode an getrockneten Stücken sehr bald verlöschen. V. sah Flügeldecken von *Cassida vittata*, welche frisch in Glycerin gelegt worden waren, noch nach Monaten ebenso schön grün, metallglänzend, wie am lebenden Tier. Das Metallgrün im auffallenden Licht wird im durchfallenden zu einem blassen Rosa.

Unter dem Mikroskop sieht man durchaus keine scharfe Grenze des rosigen Feldes. In den Flügeldecken liegen nach V. zahlreiche Zellen verstreut (?? B.), welche oft große Zwischenräume frei lassen, in welchen sich Leibesflüssigkeit befindet. Von letzterer strahlt die rosige Farbe ebensowohl aus wie von den Zellen. Eine Erklärung des grünen Metallglanzes hat VERHOEFF gar nicht versucht. BERGÈ hält die metallischen Farben auch bei *Cassida* für Chitinfarben. Daß sie im Gegensatz zu anderen Käfern hier nach dem Tode bald verblassen, will er darauf beziehen, daß der für das gehörige Hervortreten der Reflexionsfarbe nötige dunkle Untergrund bei *Cassida* durch ein Pigment der Hypodermis erzeugt wird, welches nach dem Absterben wie alle Hypodermalfarben bald zerstört wird.

Meine eigenen Untersuchungen erstrecken sich allerdings nur auf eine kleine Zahl von Käferarten. Dennoch glaube ich, daß die Resultate, zu denen ich gelangte, nicht nur eine Verallgemeinerung innerhalb der Käferklasse selbst gestatten, sondern vor allem auch Licht werfen auf die Natur der Schillerfarben bei anderen Insekten, namentlich bei Schmetterlingen sowie auch bei Vögeln. Es sind die Käfer eben tatsächlich die geeignetsten Objekte, um über diejenigen Strukturverhältnisse der obersten Chitinschichten Aufschluß zu erhalten, durch welche nachweisbar der farbige Schiller erzeugt wird.

Ich will mit einem verhältnismäßig einfachen Fall beginnen, welcher der Untersuchung die geringsten Schwierigkeiten bietet. Es handelt sich dabei um das Chitinskelett und vor allem die Flügeldecken des prachtvoll smaragdgrünen

Smaragdisthes africana.

Betrachtet man eine Flügeldecke im auffallenden Lichte, indem man das Auge möglichst senkrecht zur Fläche orientiert, gerade von oben, so erscheint sie hell smaragdgrün mit schönem atlasartigen Glanz. Das sehr lebhaft freudige Grün hat dann einen unverkennbaren Stich ins Gelbliche und ist

über die ganze Oberfläche gleichmäßig verbreitet. Der Flügel sei dabei auf einem in der Nähe des Fensters befindlichen Tisch so orientiert, daß seine Längsachse in der Richtung des einfallenden Lichtes liegt. Blickt man nun von der Zimmerseite her schräg auf den Flügel, so erscheint das Grün um so bläulicher, je größer der Einfallswinkel des Lichtes wird, und kann selbst in reines Blau übergehen. Man kann sich davon am besten überzeugen, wenn man das gewölbte Brustschild in der Nähe des Fensters, quer zur Richtung des Lichteinfalles sitzend, bis etwa in die Höhe der Augen hebt. Immer jedoch wird unter diesen Verhältnissen die Beobachtung sehr bald gestört durch das Hervortreten farblosen Glanzes, in ähnlicher Weise, wie die Firnissschicht eines Oelgemäldes unter Umständen die Wahrnehmbarkeit der Farben beeinträchtigt. Viel schöner macht sich daher jene Farbenänderung bemerkbar, wenn man eine Flügeldecke oder den ganzen Käfer in ein Schälchen mit Alkohol versenkt und dasselbe dann, schräg darauf blickend, in der Höhe des Gesichtes hält. An Stelle des Grün (im geraden Aufblick) erscheint dann ein prachtvolles, sehr gesättigtes Violettblau. Ich möchte besonders betonen, daß für einen gegebenen Einfallswinkel die Schillerfarbe in diesem wie in der Mehrzahl der Fälle bei Käfern fast ganz unabhängig ist von der sonstigen Orientierung des Objektes.

Es liegt darin ein wesentlicher Unterschied gegenüber den Schillerfarben bei den meisten Schmetterlingen, für deren Hervortreten es keineswegs gleichgültig ist, ob beispielsweise die Flügelwurzel oder der freie Rand der Lichtquelle zugekehrt liegt.

Im grellen durchfallenden Lichte erscheint eine solche Flügeldecke intensiv gelbrot. Läßt man verdünnte Kalilauge während längerer Zeit einwirken, so tritt allmählich eine immer weiter gehende Entfärbung ein, indem ein gelbbrauner Farbstoff in Lösung geht. Schließlich wird der Flügel blaßgelblich und ganz durchsichtig, ohne daß jedoch der farbige Schiller verschwindet. Mit Leichtigkeit läßt sich dann eine sehr dünne, offenbar widerstandsfähigere (härtere) Chitinlamelle ablösen, die ich als „Emailschicht“ bezeichnen will und die ausschließlich und allein Sitz und Ursache der Färbung ist. Solche fast ganz durchsichtige Chitinplättchen erscheinen auf weißem Grunde im durchfallenden Licht meist noch schwach gelbbraunlich gefärbt. Auf dunklem Grunde schillern sie jedoch immer noch prachtvoll grün, wobei der Farbenton um so mehr ins Blaue spielt, je weniger im durchgehenden Lichte das Gelb hervortritt. Ganz deutlich zeigt sich schon bei Lupenvergrößerung im auffallenden Lichte, daß die am stärksten entfärbten Stellen des Emails himmelblau, die noch stärker gelb tingierten dagegen grün erscheinen, und dies wird noch deutlicher, wenn man mit einer stärkeren Vergrößerung (etwa Zeiß A) arbeitet. Die Fläche erscheint dann förmlich hellblau und grün marmoriert, und man erkennt im durchfallenden Lichte, daß alle stärker gelben Partien im reflektierten Lichte grün aussehen.

Durch wochenlanges Macerieren in verdünnter Kalilauge gelang es mir, absolut farblose Emailblättchen zu gewinnen, die nun auf dunklem Grunde rein himmelblau erscheinen; die Färbung tritt am schönsten unter Wasser hervor, ist aber auch noch nach dem Einlegen solcher Präparate in Glycerin sehr deutlich, und zwar in demselben Farbenton, zu sehen. Ich betone dies besonders, weil es sich mit sonst ganz ähnlichen Emailpräparaten, die man durch wochenlanges Macerieren in (etwa halb-) verdünnter Salpetersäure erhält, etwas anders verhält. Solche meist noch deutlich gelbliche Plättchen (die Farbe ist hier wohl hauptsächlich auf chemische Wirkung der Säure zurückzuführen) erscheinen auf dunklem Grunde ebenfalls prachtvoll hellblau, dort schlägt diese Farbe nach dem Einlegen in Glycerin in der Regel sehr bald in das ursprüngliche Smaragdgrün um, um erst nach dem Auswaschen mit Wasser wieder hervorzutreten. Im durchfallenden Lichte ist leicht zu erkennen, daß dies wesentlich

auf dem stärkeren Hervortreten des gelben Farbtones im Glycerin beruht. Warum dies geschieht, vermag ich freilich nicht zu sagen.

Ich möchte besonderen Nachdruck auf den Umstand legen, daß zwar das normale Smaragdgrün des Käfers eine „Schillerfarbe“ ist, nicht aber jenes Himmelblau, denn dieses ist so gut wie unabhängig vom Einfallswinkel des Lichtes. Es hat auch nicht den eigentümlichen Glanz der Normalfarbe und erscheint sozusagen matter, wiewohl keineswegs minder gesättigt. Erwähnt sei noch, daß die beschriebenen charakteristischen Farbenercheinungen an isolierten durchsichtigen Emailplättchen unabhängig davon sind, ob das Licht an der Außen- oder Innenfläche reflektiert wird. So dünne Plättchen kann man aber freilich nur durch anhaltendes Macerieren in Lauge oder Säure erhalten. Versucht man es dagegen, mit einem Rasiermesser möglichst dünne Splitter der Emailschiicht von der Oberfläche einer trockenen Flügeldecke abzuspalten (was der Härte und Glätte des Emails wegen nicht gelingt), so erhält man stets außen lebhaft grüne, innen aber tief schwarze Fragmente, ein Beweis, daß die glänzend grüne Färbung wirklich nur in den alleräußersten Schichten des Chitins entsteht.

Um nun über den feineren Bau (die „Struktur“) dieser letzteren Aufschluß zu erhalten, sieht man sich wieder gezwungen, zu einem schonenden Macerationsverfahren seine Zuflucht zu nehmen. Bei mikroskopischer Untersuchung des ganzen trockenen Flügels ist nicht eben viel über die in Betracht kommenden Strukturverhältnisse herauszubekommen. Im auffallenden Lichte mit einem schwachen System untersucht (Zeiß A), erscheint die Oberfläche gleichmäßig smaragdgrün, mit feinen schwarzen Pünktchen dicht übersät. Nur ganz undeutlich und schattenhaft macht, sich eine mosaikartige Zellenzeichnung bemerkbar.

Will man stärkere Vergrößerungen benutzen, so ist dies nur mit Hilfe des sogenannten „Vertikal-Illuminators“ der Firma ZEISS zu ermöglichen. Bei Anwendung eines Auerbrenners sieht man dann mit System D im wesentlichen dasselbe Bild, nur erscheinen natürlich die schwarzen Pünktchen deutlicher, und man erkennt, daß das grüne Licht von den schmalen Zwischenräumen derselben ausstrahlt.

Spaltet man mit dem Rasiermesser ein möglichst dünnes Stückchen der grünen Emailschiicht ab und untersucht unter Glycerin im durchfallenden Lichte, so tritt bei Einstellung auf die Oberfläche des gelbrötlichen Schnittes wiederum sehr deutlich eine feine Punktierung hervor, und man erkennt, daß die Zellenzeichnung tiefer liegt; um sie deutlich zu sehen, muß man den Tubus etwas senken. Vollen

Fig. 1.

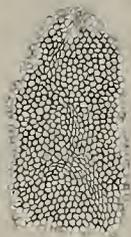


Fig. 2.



Fig. 1. Ein Bruchstück eines durch lange Maceration in verdünnter Kalilauge isolierten Emailplättchens von Smaragdisthes, von der Fläche gesehen (hohe Einstellung).

Fig. 2. Ein Emailplättchen im optischen Längsschnitt. Stäbchenstruktur der unter der dünnen Cuticula gelegenen 2. Lage.

Einblick in die Strukturverhältnisse erhält man aber erst dann, wenn man durch Maceration in Kalilauge oder Salpetersäure isolierte und teilweise oder ganz entfärbte Emailplättchen mit starken Systemen (Oelimmersion $\frac{1}{12}$ Apochrom. Zeiß) untersucht. Die Oberfläche eines solchen Präparates erscheint dann wie ein sehr feines Wabenwerk mit rundlichen Maschen (Fig. 1), während bei tieferer Einstellung die nun außerordentlich scharfe Zellenzeichnung hervortritt. Man muß den Tubus eine ganze Strecke weit

senken, ehe diese polygonale Mosaik deutlich sichtbar wird, was auf eine beträchtliche Decke jener Wabenschicht hindeutet. Gelbes Pigment liegt in Form feiner Körnchen in der tieferen „Zellenschicht“. Daß es sich hier wirklich um 2 verschiedene Chitinlagen handelt, geht ganz überzeugend daraus hervor, daß an den Rändern solcher Präparate vielfach die farblose Außenschicht streckenweise isoliert vorragt. Jeder Zweifel wird aber behoben, wenn man ein solches Emailstückchen umklappt und den Umschlagsrand, also den optischen Querschnitt betrachtet. Man erhält dann ein Bild, welches durchaus an den Kutikularsaum (Stäbchensaum) der Darmepithelien bei Wirbeltieren erinnert (Fig. 2). Ueber der gelben Innenschicht breitet sich nämlich ein ganz farbloser, ziemlich breiter Saum aus, der auf das zierlichste von vertikalen (senkrecht zur Flügelfläche gerichteten), dicht aneinander stehenden Linien durchzogen ist. Ich bemerke ausdrücklich, daß an Präparaten aus Salpetersäure auch dieser Stäbchensaum gelb gefärbt erscheint, doch handelt es sich hier offenbar um eine sekundäre Säurewirkung. Gleichwohl halte ich es aus verschiedenen Gründen für sehr wahrscheinlich, daß unter normalen Verhältnissen nicht nur die unter dem Stäbchensaum gelegenen Chitinschichten, sondern auch dieser selbst gefärbt ist, obschon er an Macerationspräparaten aus Kalilauge immer farblos erscheint. Leider habe ich kein Mittel gefunden, hinreichend dünne Querschnitte durch trockene Flügeldecken zu erhalten. Die äußerste Begrenzung zeigt an guten Präparaten stets einen doppelten Kontur, so daß es den Anschein gewinnt, als ob ein sehr dünnes, ganz homogenes Chitinhäutchen die eigentliche Grenzschicht nach außen bildete. Ist dem wirklich so — und in anderen Fällen läßt sich dies direkt erweisen — so würde die Emailschiicht, welche sich wie eine Rinde unter den erwähnten Umständen immer von selbst glatt von der übrigen Chitinmasse abhebt, tatsächlich aus drei verschiedenen Schichten aufbauen, der Pigmentschicht (mit Zellenzeichnung), der wahrscheinlich auch pigmentierten (gelben) Stäbchenschicht und schließlich der die äußerste Begrenzung bildenden dünnen Cuticula. Ehe wir auf die Beziehungen dieser Struktur zur Färbung des Käfers näher eingehen, dürfte es zweckmäßig sein, noch einige andere Beispiele näher kennen zu lernen.

In allen Punkten sehr ähnlich verhält sich ein unserem Goldkäfer (*Cetonia aurata*) nahestehender Käfer aus Japan (Ile Oshima):

Potosia Preyeri.

Gerade von oben gesehen, erscheinen die sehr stark metallglänzenden Flügeldecken sowie das Brustschild messingfarbig mit einem Stich ins Kupferrot. Blickt man dagegen von der Seite her schräg darauf, so geht die Farbe in ein schönes Spangrün (Blaugrün) über. Unter Alkohol sieht man je nach der Größe des Einfallwinkels die ganze Skala zwischen Kupferrot und Blau. Durch längeres Macerieren in Kalilauge läßt sich das Email wieder leicht in größeren Stücken ablösen. Dieselben sehen dann aus, als wären sie aus lauter kleinen, unregelmäßigen Stückchen dünnen Metallbleches zusammengesetzt, und erscheinen in geradem Aufblick (unter Alkohol oder Wasser) hell glänzend messinggelb, bei zunehmend schrägem Lichteinfall werden sie gelbgrün, grün, blaugrün und schließlich schön blau. Sie sind ziemlich durchscheinend und bieten, von der Hinterseite her gesehen, noch eine ausgezeichnete Metallfarbe dar. Diese Farbe, wie überhaupt die ganze Emailschiicht, welche wie ein zartes Goldplättchen dem Flügel aufliegt (man könnte geradezu sagen, die ziemlich dicke Chitinmasse der Flügeldecken sei „vergoldet“), erweist sich ganz außerordentlich widerstandsfähig. Beim Kochen mit Salpetersäure wird die Masse des Flügels schon nach kurzer Zeit ganz weich und brüchig, während der Email so gut wie unverändert bleibt und völlig isoliert sowohl von außen wie von innen prachtvollen

Metallglanz zeigt: ersterenfalls in gerader Aufsicht goldgelb, beim Neigen (unter Alkohol) in Grün umschlagend, letzterenfalls Kupferrot, beim Neigen glänzend smaragdgrün.

Im durchfallenden Lichte tritt in gelber Farbe die Mosaikfelderung der Zellabdrücke sehr deutlich hervor, und größere Gruppen derselben erscheinen durch hellgelbe, ziemlich breite Streifen abgeteilt. In starker Vergrößerung zeigt jedes Feldchen eine sehr feine und dichte Punktierung ganz ähnlich wie bei *Smaragdisthes*. Daß dieselbe auch hier als Ausdruck des optischen Querschnittes von stäbchenartigen Gebilden aufzufassen ist, welche eine gelb pigmentierte, ziemlich dicke Chitinschicht senkrecht durchsetzen bzw. sie bilden, ist am Umschlagsrande eines zusammengebogenen Stückes der isolierten Emailschiicht leicht zu erkennen.

Wie im vorigen Falle ist für den Farbenton der einen so ausgezeichneten Metallglanz darbietenden Oberfläche des Chitinskelettes auch hier vor allem die Menge noch vorhandenen dunkelgelben Pigmentes in der gestreiften „Stäbchenschicht“ und der darunter gelegenen gefelderten Chitinlage maßgebend. Es ergibt sich dies sowohl bei Untersuchung mit unbewaffnetem Auge, wie auch mit dem Mikroskop. Ersterenfalls sieht ein durch längere Maceration in Kalilauge abgelöstes Blättchen unter Alkohol bei ziemlich senkrechtem Lichteinfall glänzend kupferrot aus; kocht man aber die so isolierte Emailage mit verdünnter Salpetersäure und entzieht man ihr dadurch einen weiteren Teil des Pigmentes, so erscheint sie dann unter sonst gleichen Bedingungen hell messinggelb mit einem deutlichen Stich ins Grünliche. Untersucht man dieselben Präparate (in Glycerin liegend) im auffallenden Tageslicht mit Zeiß A, so leuchten die vom Lichte in günstiger Richtung getroffenen Mosaikfeldchen ersterenfalls intensiv gelb oder rotgelb auf, während sie anderenfalls prachtvoll grün bis blaugrün erscheinen. Es ist mir in diesem Falle nicht gelungen, durch noch so lange fortgesetzte Maceration in Lauge oder Säure wirklich farblose Emailplättchen zu erhalten, doch zweifle ich nicht, daß die Reflexionsfarbe auf dunklem Grunde auch hier blau gewesen sein würde.

Glücklicherweise bietet uns die Natur selbst gänzlich pigmentfreien Email in einem gewissen Entwicklungsstadium dar, und es liefert gerade die Untersuchung derartiger Präparate die wichtigsten Anhaltspunkte für die Beurteilung der Natur der Schillerfarben bei Käfern. Bekanntlich schlüpfen die meisten Käfer in einem Zustande aus der Puppe, in dem ihre Chitindecken noch weich und insofern nicht ausgefärbt sind, als sich die dunklen gelbbraunen oder schwarzen Pigmente in den obersten Schichten erst während des langsamen Erhärtens an der Luft bilden. Auch viele Schmetterlingspuppen sind unmittelbar nach dem Abstreifen der Raupenhaut hell gefärbt und dunkeln dann erst nach. Besonders gut läßt sich nach PETERSEN (Zur Frage der Chromophotographie der Schmetterlingspuppen; Sitz.-Ber. d. Dorpater Naturforsch.-Ges., Bd. IX, 1890) das Braunwerden der Cuticula an der Puppe von *Sphinx Ligustri* verfolgen. Nach dem Abstreifen der Raupenhaut ist die Puppe zuerst grün und nimmt allmählich die dunkelbraune Färbung an. PETERSEN untersuchte Kutikularstücke aus den verschiedenen Stadien der Umfärbung, und es zeigte sich ganz unverkennbar, daß die kleinen Härchen der Oberfläche gewissermaßen Zentren der Verfärbung bilden. Hier treten zuerst hellbraune Flecken auf, die sich rasch vergrößern und dunkler färben, bis sie sich schließlich berühren und nun die ganze Chitindecke dunkelbraun aussieht. Dieses Dunkelwerden schreitet mit der Erhärtung der Cuticularschichten fort und scheint von der Wasserabgabe in diesem ersten Stadium abhängig zu sein, denn die Puppe bleibt grün und weich, wenn sie in einem mit Wasserdampf gesättigten Raum oder in einer Flüssigkeit gehalten wird.

Durch das naturhistorische Institut „Linnaea“ in Berlin erhielt ich eine Anzahl Exemplare von *Cetonia aurata*, welche, eben der Puppe entschlüpft, noch nicht ihre definitive Härte und Farbe

erreicht hatten. Die Flügeldecken sind in diesem Stadium noch merklich kleiner als normal, gelblich-weiß gefärbt, weich, etwas gerunzelt und viel dicker als am völlig erhärteten, fertigen Käfer. Desgleichen sind die häutigen Hinterflügel noch dick und nur wenig durchscheinend (an Alkoholexemplaren). Die gleiche gelblich-weiße, blasse Farbe zeigen auch die Hinterleibsringe auf ihrer ventralen Seite. Aber sowohl die Oberfläche dieser, wie jene der Flügeldecken läßt schon dann einen schönen Farbenschiller erkennen, besonders wenn man unter Alkohol oder Wasser untersucht. Im geraden Aufblick erscheinen die genannten Teile metallisch glänzend gelbgrün, bei sehr schrägem Lichteinfall dagegen tritt ein schön veilchenblauer Oberflächenschimmer auf, während zwischendurch Grün und Hellblau erscheint.

Es gelingt in diesem Falle leicht, ohne vorausgehende eingreifende Maceration, den Email absolut für sich zu isolieren, indem man einfach mit einem Skalpell die noch ganz weichen unterliegenden Chitinschichten abschabt¹⁾. Man erhält auf diese Weise dünne, farblose und ganz durchsichtige Lamellen, welche nun, unter Wasser oder Alkohol untersucht, ein prachtvolles Farbenspiel zeigten, welches namentlich an den zarten Bauchschienen bei schrägem Lichteinfall auf das [glänzendste hervortritt und auf den ersten Blick an die schönen Interferenzfarben der Seifenblasen erinnert. Die Farbenfolge ist wieder dieselbe, wie in den schon geschilderten Fällen.

Im geraden Aufblick gelb oder gelbgrün glänzend, geht die Farbe beim Neigen des Objektes gegen die Lichtquelle allmählich durch Grün und Blau in ein schönes Violett über. Es wird in diesem Falle gewiß niemand zweifeln, daß es sich hier um Interferenzfarben nach dem Prinzip dünner Blättchen handelt. Der Glanz der Farben, ihre Sättigung und Intensität, sowie der gänzliche Mangel eines Pigmentes lassen darüber keinen Zweifel aufkommen. Das Ergebnis der genauen mikroskopischen Untersuchung bestätigte in ungeahnter Weise diese Vermutung und zeigte aufs neue, wie sehr es für die richtige Auffassung einer Erscheinung auf die richtige Wahl eines geeigneten Objektes ankommt, wo dann mit einem Male Verhältnisse klar werden, die in anderen Fällen nur sehr schwierig oder wohl auch gar nicht zu enträtseln sind.

Bringt man ein solches farbloses Emailplättchen einer jungen Flügeldecke von *Cetonia* in Wasser eingedeckt unter das Mikroskop und betrachtet es bei stärkerer Vergrößerung (etwa Zeiß D oder F), so lassen sich ganz deutlich 2 verschiedene, übereinander gelagerte Schichten erkennen. Bei hoher Einstellung zeigt sich ein Bild, welches auf den ersten Blick an die bekannte Struktur eines Perlmutterdünnschliffes erinnert. Wie Schuppen übereinander gelagert und sich teilweise deckend, an den freien Rändern in zierlichster Weise gezähnt (Fig. 3) liegen in parallelen Reihen äußerst dünne, glashelle und völlig strukturlose Chitinplättchen dachziegelartig

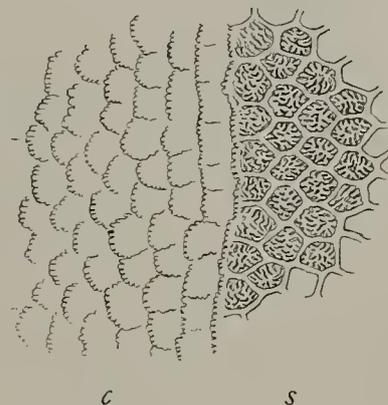


Fig. 3. Emailstückchen vom Flügel einer jungen *Cetonia*, von der Fläche gesehen. *c* obere Lage (Cuticula), *s* tiefere Lage (Stäbchenschicht).

1) Es sei bei dieser Gelegenheit bemerkt, daß diese inneren, die Hauptmasse des Flügels bildenden Chitinschichten an dünnen Flächenschnitten noch nichts von der so sehr charakteristischen Netzstruktur des völlig erhärteten Flügels erkennen lassen. An den mir zur Verfügung stehenden Spiritusexemplaren finde ich in einer feinkörnigen Grundsubstanz stärker lichtbrechende, länglich-runde, kernähnliche Gebilde eingelagert, deren Anordnung im allgemeinen der der späteren Lücken (Netzmaschen) entspricht (vergl. meine Arbeit „Ueber geformte Sekrete“ in VERWORN'S Zeitschr. f. allgemeine Physiologie, 1902). Dagegen vermochte ich noch keine Andeutung eines Richtungswechsels der Netzbalken in aufeinander folgenden Schichten zu erkennen. Es scheint also, daß sich selbst am schon ausgeschlüpften Käfer noch viel über die definitive Ausgestaltung des Chitinpanzers wird herausbekommen lassen, wenn man gute Konservierungsmethoden anwendet und Schritt für Schritt den Prozeß der „Erhärtung“ verfolgt.

geschichtet übereinander und bilden so eine ganz außerordentlich zarte Cuticula, welche in erster Linie für das Auftreten der Interferenzfarben verantwortlich zu machen ist.

Senkt man langsam den Tubus, so tritt die schon beschriebene, durch ihre Stäbchenstruktur (von der Fläche gesehen, durch Punktierung) gekennzeichnete Mosaikschicht auf das allerdeutlichste hervor. Doch erscheinen die einzelnen polygonalen Feldchen nicht wie beim völlig entwickelten (erhärteten) Käfer fein punktiert, sondern zeigen eine sehr zierliche Netzzeichnung (Fig. 3).

Hat man sich erst einmal durch Untersuchung noch unfertiger junger *Cetonien* von diesen Strukturverhältnissen überzeugt, so gelingt es nun unschwer, ihr Vorhandensein auch an völlig entwickelten und ausgefärbten Käfern verwandter Gattungen nachzuweisen. So habe ich bei *Potosia Preyeri* durch lange Maceration der schön metallglänzenden Bauchschienen und des Brustschildes in halbverdünnter Salpetersäure prächtige Emailpräparate erhalten, welche wieder zu oberst eine ganz zarte Cuticula mit typischer Perlmutterstruktur und darunter die polygonal gefelderte Stäbchenschicht erkennen ließen. Die letztere war an diesen sehr dünnen und steifen, wie aus feinstem Metallblech geformten, im übrigen aber ganz durchsichtigen Emailplättchen stark gelb gefärbt, wodurch das herrliche Farbenspiel (im geraden Aufblick unter Alkohol erschien ein gesättigtes Feuerrot, welches beim Neigen des Präparates durch Orange in Grün, Blau und schließlich Violett übergeht) fast noch schöner hervortrat als an den ganz farblosen Präparaten junger *Cetonien*. Auf alle Fälle aber erscheinen alle Farben gesättigter und vor allem feuriger (namentlich das Rot).

Welche Bedeutung das Zusammenwirken der durch die Cuticula (Perlmutterhäutchen) veranlaßten Interferenzfarben mit den in tieferen Chitinlagen lokalisierten gelben oder rötlichen Pigmenten besitzt, lehrt wieder recht eindringlich eine junge, eben ausgeschlüpfte *Cetonie*. Zu einer Zeit, wo die Flügeldecken und der Hinterleib (ventral) noch weich und gelblichweiß (abgesehen von dem farbigen Schiller) erscheinen, zeigen Kopf, Brustskelett und Beine bereits eine starke Pigmententwicklung und damit eine der normalen sich nähernde Oberflächenfärbung. Während die Rückenfläche des Brustschildes unter Alkohol im geraden Aufblick bereits schön goldgrün glänzt (noch etwas gelblicher als am fertig ausgefärbten Käfer), erscheinen die ventralen Partien, sowie die Beinschienen zur gleichen Zeit noch rotviolett gefärbt.

Bei manchen verwandten Käfern verharren, wenn man so sagen darf, die Flügeldecken in Bezug auf ihre Färbung in einem jugendlichen Stadium. So gleichen dieselben bei *Euphonia fulgida* den jungen, noch weichen Flügeln von *Cetonia aurata*. Sie sind wie diese durchscheinend und enthalten nur wenig Pigment.

Infolgedessen ist der Metallglanz dieses Käfers verhältnismäßig gering (im Vergleich zu *Potosia*). Im durchfallenden Lichte auf weißem Untergrunde erscheint die Farbe der Flügeldecken blaß lehmgelb. Erst unter Alkohol im auffallenden Lichte tritt der farbige Schiller deutlich hervor, und zwar im geraden Aufblick mit lebhaft grüngelber Farbe. Man kann sich in diesem Falle durch Unterschieben eines Stückchen schwarzen Papiers leicht davon überzeugen, wie sehr die Lebhaftigkeit des farbigen Glanzes dadurch gehoben wird. Durch Neigen des Flügels gegen das auffallende Licht geht der Farbenton wieder durch reines Grün in Blau und Blauviolett über.

Durch ein außerordentlich lebhaftes und weitgehendes Farbenspiel zeichnet sich

Popilia cupricollis (Padong)

aus. Das spiegelglatte, wie polierte Brustschild erscheint an der stark konvexen Oberfläche lebhaft kupferrot (unter Alkohol fast rubinrot), an den steilen Seitenflächen dagegen intensiv grün. Neigt man

dasselbe unter Alkohol etwas gegen das vom Fenster her einfallende Licht, so erscheinen bei gewisser Stellung fast alle Farben des Spektrums in regelmäßiger Aufeinanderfolge. Die am steilsten abfallende, gegen das Licht am stärksten geneigte Partie erscheint violett, und von da aus nach oben hin folgen Blau, Grün, Gelb bis zu einem prachtvollen feurigen Rubinrot. Dieselbe Farbenfolge tritt unter gleichen Bedingungen auch an den dicken, stark cylindrisch gekrümmten Schenkeln der Beine hervor. Die nur schwach gelbbraun pigmentierten, ganz durchscheinenden Flügeldecken zeigen auch ihrerseits ein nicht minder herrliches, mit dem Lichteinfall wechselndes Farbenspiel. Trocken erscheinen sie ziemlich mattbraun. Schiebt man aber unter eine in Alkohol liegende Flügeldecke ein Stückchen schwarzes Papier, so leuchtet dieselbe im geraden Aufblick lebhaft kupferrot. Die Farbe geht beim Neigen in ein glänzendes Smaragdgrün und schließlich in Violett über. Es bieten diese fast durchsichtigen Flügeldecken außerdem erwünschte Gelegenheit, sich davon zu überzeugen, daß der farbige Glanz, wenngleich etwas gedämpft und abgeschwächt, auch von der Innenseite her gesehen wird. Läßt man eine solche Flügeldecke längere Zeit in verdünnter Kalilauge macerieren, so läßt sich die dünne Emailschiicht als ein zartes, immer noch deutlich rot schillerndes Häutchen leicht ablösen. Unter dem Mikroskop erscheint sie von massenhaften feinen Runzeln und Falten durchzogen. Doch sind diese für den optischen Effekt sicher nicht verantwortlich zu machen. Denn normal liegt die Cuticula spiegelglatt gespannt dem Flügel auf. Daß auch in diesem Falle eine nur sehr viel zartere „Stäbchenschicht“ vorhanden ist, darauf weist die stellenweise trotz der Runzelung ganz deutliche sehr feine Punktierung isolierter Emailplättchen hin.

Aehnlich wie bei *Popilia* verhält sich auch das Integument von *Sagra purpurea* (Ostasien), einem Bockkäfer, sowie von *Lamprina Latreillei* (♀ Queensland).

Viel weniger lebhaft sind die Schillerfarben bei *Carabus Bonplandii* aus Amerika. Im trockenen Zustande erscheint die Oberfläche des Käfers rötlich-bronzefarbig mit wenig lebhaftem Glanz. Schon so bemerkt man aber, daß die steiler abfallenden Ränder der stark konvexen Flügeldecken mehr ins Grüne schillern. Untersucht man dagegen unter Alkohol, so werden die Farben viel lebhafter und prächtiger. Dann erscheint die konvexe Oberfläche, wenn man gerade darauf herunterblickt, glänzend kupferrot, die Seitenteile der Flügel aber grün resp. bläulich. Stellt man dann den Flügel schräg zum einfallenden Lichte, so geht das Grünblau in ein schönes gesättigtes Violett über. Durch längere Maceration in verdünnter Kalilauge löst sich von den Flügeldecken der größte Teil des tief dunklen Pigmentes, sie sehen dann hell bräunlichgelb und sehr durchscheinend aus, zeigen aber indes noch ganz deutlich, wiewohl unvergleichlich schwächer, einen metallischen Schimmer (grünlich bei senkrecht auffallendem Licht, blaßviolett bei schrägem Lichteinfall). Setzt man dann die Maceration immer noch weiter fort, so werden die Flügel so gut wie ganz entfärbt, und es läßt sich dann der noch immer ganz schwach schillernde Email leicht ablösen. Bei mikroskopischer Untersuchung zeigt er eine sehr deutliche Zellenzeichnung, und die Fläche jedes einzelnen Mosaikfeldchens erscheint wieder fein und dicht punktiert (Stäbchenstruktur).

Bekanntlich zeichnen sich die sogenannten Prachtkäfer (Buprestiden) durch einen besonders intensiven Metallglanz und Farbenschiiller aus. Ich hatte Gelegenheit, einige der schönsten Repräsentanten dieser Gruppe zu untersuchen, vor allem den großen, aus Ceylon stammenden

Sternocera sternicornis.

Dieser prächtige Käfer erscheint oben und unten gleichmäßig goldgrün mit so starkem Metallglanz, daß er wie aus Erz geformt aussieht. Die Emailschiicht der Flügeldecken, welche von je 4 Längs-

reihen matter, etwas vertiefter Flecken durchzogen werden, erhält durch dicht stehende kleine Grübchen ein eigentümlich rauhes (körnliches) Aussehen. In auffälligster Weise ändert sich schon bei Betrachtung eines trockenen Sammlungsexemplares der Farbenton des metallischen Schillers je nach dem Einfallswinkel des Lichtes. Wie in allen früheren Fällen erscheint das Grün um so gelblicher (und schließlich rotgelb), je mehr das Licht senkrecht auffällt. Je schräger man dagegen auf die Oberfläche blickt, desto blauer erscheint das Grün, um schließlich in Violett überzugehen. Viel prachtvoller, ja geradezu herrlich gestaltet sich dieses Farbenspiel, wenn man eine Flügeldecke unter Alkohol beobachtet. Blickt man gerade von oben herab auf einen am Boden eines weithalsigen Fläschchens unter Alkohol liegenden Flügel, so glänzt er prachtvoll rot wie poliertes Kupfer; durch Messinggelb, Grüngelb, Grün, Blaugrün, Blau bis zum Violett kann man dann je nach dem Lichteinfall alle nur denkbaren Uebergänge beobachten. Besonders glänzend gestaltet sich das Indigblau und Violett.

Obwohl die Flügeldecken eine beträchtliche Dicke besitzen, bildet das metallglänzende Email doch nur einen sehr dünnen Ueberzug, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man es versucht, mit einem Rasiermesser einen möglichst dünnen Oberflächenschnitt abzuspalten. Die unmittelbar darunter gelegenen Chitinschichten sind dunkel (fast schwarz) pigmentiert.

Untersucht man eine trockene Flügeldecke im auffallenden Lichte mit schwächeren Systemen (Zeiß A), so tritt, wenn man nicht auf die abschüssigen Seitenflächen, sondern auf die Mitte der konvex gekrümmten Oberfläche einstellt, an keiner Stelle Färbung hervor, als an den der Lichtquelle (dem Fenster) zugewendeten Flächen der zahlreichen kleinen Grübchen der Oberfläche. Man sieht daher lauter hell und zwar lebhaft grün aufleuchtende Segmente auf einem völlig dunklen Grunde. Nirgends erscheint Gelb. Ganz anders, wenn man mit dem Vertikal-Illuminator (System D) untersucht. Dann erscheinen gerade jene kleinen Grübchen tief dunkel, während die zwischenliegenden Flächen hellgelb oder rötlichgelb leuchten, durchzogen von hellgrünen Schlieren, die größere Felder als Grenzlinien umziehen. Dasselbe Bild, nur sozusagen im Kleinen, sieht man schon bei Lupenvergrößerung, wenn man den Flügel mit der langen Achse parallel dem Fenster orientiert. Es handelt sich dabei um Rillen (Furchen), welche flache ebene Feldchen eingrenzen und aus deren Tiefe infolge des schrägen Lichteinfalles auf die Wände der Furchen grünes Licht zurückstrahlt. Auch bei starker Vergrößerung sieht man keine Andeutung einer Zellenzeichnung, sondern es erscheinen die leuchtenden Flächen völlig homogen ohne jede Spur einer Reliefstruktur. Dasselbe konstatiert man auch an dünnen Splittern der Emailsicht im durchfallenden Lichte (in Glycerin). Der Farbenton erscheint dann gelbbraun, und es läßt sich auch hier nicht die geringste Andeutung einer Struktur (Punktierung, Streifung) erkennen. Läßt man dagegen die Flügeldecken in halbverdünnter Salpetersäure mehrere Tage macerieren, so werden sie fast entfärbt (lehmgelb), und das Email erscheint im auffallenden Lichte als himmelblau schillernder dünner Ueberzug. Im Gegensatze zu anderen Käfern hängt hier der Email mit den später abgelagerten Chitinschichten sehr innig zusammen und läßt sich daher erst nach eingreifendem Macerationsverfahren und auch dann nur in kleinen Fetzen isolieren. Von der Fläche gesehen, zeigen dieselben nun eine sehr deutliche polygonale Felderung (Zellenzeichnung), während alle einzelnen Feldchen zugleich eine dichte Punktierung erkennen lassen. Im Profil tritt wieder eine ganz analoge Stäbchenstruktur hervor wie in den früher erwähnten Fällen. Ja, man kann sagen, daß dieselbe hier sogar noch stärker entwickelt ist als dort. Es handelt sich offenbar um cilienartige Gebilde, die, wenn sie durch lange Maceration in HNO_3 erweicht sind, sich beim Bedecken mit dem Deckglas oft umlegen, so daß dann die Mosaikfeldchen ein zierlich gestreiftes bürstenförmiges Aussehen gewinnen.

Im wesentlichen dieselben Erscheinungen konstatiert man auch bei anderen Prachtkäfern, so z. B. bei *Chrysodema fucata* (Pullo-Tello), deren Flügeldecken infolge einer viel gröberen Skulptur (Rippen und dazwischen gelegene, von tiefen Runzeln durchzogene Flächen) den Einfluß derartiger Unregelmäßigkeiten der Oberfläche auf die Farbe des zurückgeworfenen Lichtes noch viel deutlicher erkennen lassen, als es bei *Sternocera* der Fall ist. Immer aber tritt die Tatsache in deutlichster Weise hervor, daß vom senkrechten Lichteinfall bis zu einem gewissen Neigungswinkel fast alle Farben des Spektrums durchlaufen werden (vom Kupferrot bis zum Violett). Zugleich lernt man aber an den Prachtkäfern auch noch die weitere wichtige Tatsache kennen, daß der Farbeindruck ganz wesentlich mit von der Orientierung der Flügeldecken in Bezug auf die Lichtquelle abhängt, ein Umstand, der namentlich für die Schillerfarben der Schmetterlinge höchst bedeutungsvoll ist.

Liegt eine Flügeldecke von *Chrysodema* unter Alkohol und steht die Längsachse senkrecht zum Fenster, so erscheinen im geraden Aufblick sowohl die Rippen wie auch die zwischenliegenden Flächen kupferrot (bronzefarbig). Richtet man aber den Flügel mit seiner Längsachse parallel dem Fenster, so erscheinen die dem Fenster zugewendeten Abhänge der erhabenen Rippen grün, blau oder violett, die Täler dazwischen jedoch kupferrot. Man sieht, daß die Ursache der Erscheinung wieder nur in der Verschiedenheit der Einfallswinkel des Lichtes zu suchen ist.

Wie schon erwähnt, ist im trockenen Zustande an der Oberfläche der Flügeldecken weder Zellenzeichnung noch Punktierung zu erkennen. Beides ist dagegen in ausgezeichneter Weise an dem ebenfalls metallglänzenden Chitinpanzer der ventralen Seite sowie an den Beinschienen der Fall. Besonders deutlich, weil scharf umgrenzt, erscheint die Zellmosaik bei *Chrysodema*, während bei *Sternocera* die Grenzen der Feldchen minder scharf ausgeprägt sind. Es ist noch besonders hervorzuheben, daß bei Untersuchung mit dem Vertikal-Illuminator die einzelnen polygonalen Feldchen keineswegs alle gleich gefärbt erscheinen, sondern daß in demselben Gesichtsfeld gelbe, rötliche und grüne nebeneinander vorkommen können. Doch überwiegt bei *Sternocera* in der Regel die eine oder andere Farbe (meist Gelb), und es hängt das ohne Zweifel wieder von der Lage des Präparates zum einfallenden Lichte ab. Daher nimmt das Grün an den abhängigen Partien im allgemeinen an Ausdehnung und Intensität zu. Dies läßt sich noch deutlicher erkennen, wenn man mit schwachen Vergrößerungen (Zeiß A) im auffallenden Lichte untersucht. Diejenigen Partien des Präparates, die am steilsten abfallen, erscheinen dann oft lebhaft blau, daran schließt sich nach oben hin Grün, Grüngelb und schließlich an der konvexen Oberfläche Gelb oder Gelbrot.

Faßt man eine bestimmte Gruppe von Feldchen ins Auge und dreht den Objektisch, so kann es geschehen, daß dieselben ihre Farbe ganz deutlich ändern, also ganz unverkennbar unter dem Einfluß verschiedener Einfallswinkel der Lichtstrahlen. Von besonderem Interesse, namentlich mit Rücksicht auf gewisse farbig reflektierende Schuppen bei Käfern, ist der Umstand, daß bei Betrachtung mit dem Vertikal-Illuminator nicht nur verschiedene Mosaikfeldchen der Unterseite bei *Chrysodema* im ganzen verschieden gefärbt erscheinen, sondern daß auch ein und dasselbe Feldchen an verschiedenen Stellen seiner Fläche verschiedene Farben aufweisen kann. Es kommt Rot neben Grün von diesem scharf abgegrenzt vor, oder Gelb und Rot, Gelb und Grün u. s. w. Manchmal ist der Uebergang ganz unvermittelt, anderenfalls verwaschen.

Ich habe stellenweise Rot, Gelb, Grün und Blaugrün auf einem und demselben Feldchen vereint gefunden. Daß ein solches Verhalten nicht wohl auf eine verschiedene „Struktur“ (Skulptur), noch weniger aber auf Verschiedenheiten von „Schillerstoffen“ bezogen werden kann, liegt ziemlich auf der Hand. Man wird sich aber vielleicht der Tatsache erinnern, daß bei Seifenblasen gar nicht

selten verschiedenfarbige wie marmorierte Schlieren und Flecke vorkommen, die im großen ein ähnliches Bild darbieten wie es mikroskopisch an jenen Käfern hervortritt.

Es liegt nahe, beide Erscheinungen auf dieselbe Ursache, d. h. eine stellenweise verschiedene Dicke der dünnen durchsichtigen Schicht zu beziehen, welche Interferenzfarben erzeugt.

Den bisher angeführten Beispielen reiht sich auch das schön goldgrüne Exoskelett von

Lytta vesicatoria

an. Blickt man mit bloßem Auge oder bei Lupenvergrößerung gerade von oben auf die Flügeldecken des Käfers, so erscheint die Farbe der fein runzeligen Oberfläche mehr gelbgrün. Sieht man aber schräg auf die Fläche, so ändert sich der Farbenton und geht mehr und mehr ins Blaue über, um schließlich bei ganz schräger Reflexion violett zu werden. Besonders schön zeigt sich dieser Umschlag in Blauviolett, wenn man die Flügeldecke in ein Uhrsälchen mit Alkohol untertaucht (mit der grünen Seite nach oben) und dann seitlich darauf blickt: es entsteht so ein prachtvoll blaues Spiegelbild. Durch Kochen mit Wasser geht die Farbe mehr ins Gelbgrün über, ohne sich übrigens wesentlich zu ändern. Dagegen tritt eine bemerkenswerte Farbenänderung ein, wenn man eine trockene Flügeldecke längere Zeit in Alkohol aufbewahrt. Das Grün verwandelt sich dabei nach und nach in eine Goldbronzefarbe, die beim Trocknen wieder dem ursprünglichen lebhaften Grün weicht. Daraus geht hervor, daß es sich hier nicht um die Zerstörung oder Umwandlung eines Pigmentes handelt, auch nicht darum, daß durch die bloße Berührung mit Alkohol die optischen Verhältnisse sofort geändert werden, denn zunächst bleibt das metallische Grün erhalten, sondern es hängt der Farbenumschlag offenbar von der vollständigen Imbibition des Flügels mit Alkohol ab. Das Grün ist demnach sicher an gewisse besondere Strukturverhältnisse des Flügels gebunden, es ist eine typische Strukturfarbe.

Während ein trockener oder eben in Alkohol versenkter Flügel bei sehr schrägem Lichteinfall blauviolett erscheint, sieht ein mit Alkohol ganz durchtränkter bronzefarbiger unter gleichen Verhältnissen grün aus. Es geht ersterenfalls Gelbgrün in Blaugrün, Blau und Violett über, letzterenfalls Braungelb in Gelbgrün und Grün oder höchstens Grünblau. Kocht man eine Flügeldecke mit Salzsäure, so wird sie rasch bronzefarbig. Nach Auswaschen mit Wasser und Alkohol getrocknet, erscheint sie nunmehr auch bei Betrachtung gerade von oben schön violettblau. Durch Befeuchten mit Alkohol kann man aber jederzeit das Grün wieder hervorrufen. Mit verdünnter Salpetersäure gekocht, werden die Flügel zum Teil entfärbt und erscheinen dann in geeignetem Stadium gelblich mit schön hellblauem Oberflächenschiller. Grün ist nur dann zu sehen, wenn die Entfärbung nicht zu weit gegangen ist und der Flügel noch dunkler gelb erscheint. Bei der verhältnismäßig beträchtlichen Durchsichtigkeit so behandelte Flügeldecken ist es am besten, dieselben in ein Schälchen mit Alkohol zu bringen und auf einem Stückchen ebenfalls eingetauchten schwarzen Papiers die Farbe zu prüfen. Man sieht dann je nach dem Grade der Entfernung des gelben Pigmentes ein intensives Violett oder Hell-(Himmel-)Blau und zwar bei fast ganz geradem Aufblick.

Betrachtet man ein Stückchen Flügeldecke in auffallendem Lichte bei schwächerer Vergrößerung (Zeiß A), so sieht man bei geeigneter Lage des Präparates gruppenweise, durch tiefdunkle Zwischenräume getrennt, hellgrün schimmernde Flecke, Striche oder Feldchen. Dreht man dann den Objektisch, so tauchen aus dem Dunkel andere leuchtende Stellen auf, während die vorher sichtbaren sich verdunkeln. Es sieht aus, als wäre die Flügeloberfläche mit Schüppchen überzogen, die nur bei einer gewissen Richtung der einfallenden Lichtstrahlen aufleuchten. Untersucht man mit dem Vertikal-Illuminator (Zeiß D),

so sieht man eine prachtvoll grüne Mosaik von Feldchen, die offenbar einer Zellenzeichnung entspricht. Die einzelnen gleichmäßig gelbgrünen Feldchen sind durch tiefschwarze Grenzlinien getrennt und lassen deutlich erkennen, daß ihre Oberfläche konvex gewölbt ist. Die Mitte der beleuchteten Felder erglänzt gelbgrün, die Ränder mehr blaugrün, was offenbar wieder von dem verschiedenen Winkel abhängt, unter welchem das Licht auf die Kuppe und die mehr oder weniger steil abfallenden Randflächen auffällt. Noch schöner, weil regelmäßiger, erscheint unter sonst gleichen Verhältnissen die Oberfläche der Beinschienen. Hier grenzen die einzelnen polygonalen, ziemlich ebenen Felder scharf aneinander und erscheinen gleichmäßig gelbgrün gefärbt. Nur hier und da zeigen einzelne Feldchen oder Gruppen von solchen einen mehr blaugrünen Farbenton.

Läßt man getrocknete Flügeldecken 1—2 Tage in starker Kalilauge macerieren, so kann man leicht die Emailschiicht abheben und sieht dann im durchfallenden Lichte eine bräunlichgelbe Zellmosaik, deren einzelne Feldchen durch helle Zwischenlinien getrennt erscheinen. Bei starker Vergrößerung sieht man wieder deutlich eine Punktierung der einzelnen Flächen. Daß jedes Feldchen uhrglasartig, konvex nach außen vorspringt, läßt sich sehr deutlich am Umschlagsrand eines in verdünnter Salpetersäure gekochten und dann zusammengeklappten Flügels erkennen.

Durch Zufall kam ich in den Besitz eines in vieler Hinsicht sehr interessanten metallglänzenden Käfers, der wie aus poliertem Messing geformt erscheint. Es handelt sich um den aus N.-Queensland stammenden

Anoplognathus aureus.

Betrachtet man den Käfer unter Alkohol im geraden Aufblick, so erscheint er in toto prachtvoll metallglänzend, und zwar in hell messinggelber Farbe. Blickt man schräg darauf, so tritt farbloser Glanz ein. Bei noch schrägerem Lichteinfall bemerkt man dann ein blasses Himmelblau, doch ist dieser Farbenwechsel hier sehr viel weniger ausgesprochen, als in allen früher besprochenen Fällen. Die Flügeldecken sind ziemlich dünn und durchscheinend. In verdünnter Kalilauge verschwindet die prächtige Metallfarbe schon nach kurzer Zeit unter Braunfärbung. Sie kehrt auch nach dem Auswaschen und Trocknen nicht wieder, und beruht daher das Schwinden des Glanzes sicher auf einer tiefer greifenden Strukturänderung. Schon nach eintägigem Macerieren löst sich das farbige Email als ein gelbbraunes dünnes Häutchen ab, welches nachweisbar aus 2 Schichten besteht. Eine sehr dünne, durchsichtige und gänzlich farblose äußere Lamelle, die sich bei dem erwähnten Macerationsverfahren ähnlich wie bei *Popilia cupricollis* sehr bald runzelt und erweicht, läßt bei starker Vergrößerung einen ganz ähnlichen Bau erkennen, wie die Cuticula von *Cetonia* und *Potosia*, nur sehr viel zarter und daher schwerer zu erkennen. Man bemerkt zwischen den groben Falten eine überaus feine Parallelstreifung als Ausdruck einer schuppenartigen Uebereinanderlagerung äußerst dünner Chitinlamellen. Normal liegt dieses Oberflächenhäutchen offenbar ganz glatt auf, denn der ganze Käfer spiegelt wie poliertes Metall. Unter dieser äußersten farblosen Schicht liegt eine ebenfalls sehr dünne, aber intensiv gelbe Chitinlage mit deutlicher schöner Zellenzeichnung in Form sechseckiger Feldchen, deren Flächen wiederum eine sehr feine Punktierung zeigen. Zwischen diesen beiden Chitinlagen befindet sich nun eine in diesem Falle leicht nachweisbare Luftschicht. Ich glaube nicht fehlzugehen, wenn ich diesem Umstande in erster Linie den ungewöhnlich starken Glanz des Käfers zuschreibe, und zwar nach demselben Prinzip, nach dem gewisse Wasserinsekten durch einen dünnen Luftüberzug silberglänzend erscheinen (totale Reflexion).

Bringt man einen Skeletteil dieses Käfers in halbverdünnte Salpetersäure, so zeigt sich schon nach wenigen Stunden die Wirkung in einem zunächst nur teilweisen Verschwinden des Metall-

glanzes. Während einzelne Teile der Oberfläche noch deutlich messinggelb erglänzen, erscheint der größte Teil derselben bei geradem Aufblick matt braun. Neigt man jedoch (unter Alkohol) das Präparat gegen das einfallende Licht, so erkennt man noch hier und da messinggelb glänzende kleine Flecken und Punkte, und zwar sind das immer Stellen, wo bei stärkerer Vergrößerung unter dem Oberflächenhäutchen ein Luftbläschen liegt. Läßt man ein solches Skelettstück nach gehörigem Auswaschen gut trocknen, so zeigt es auch an den braunen Teilen, besonders bei schrägem Lichteinfall, einen deutlich gelben Metallglanz, aber freilich nicht annähernd so stark, wie an noch normal lufthaltigen Stellen.

Im durchfallenden Lichte untersucht, erscheint ein solcher Flügel immer hell schwefelgelb. Bei starker Neigung gegen das Licht (unter Alkohol) tritt ein schön blaugrüner Metallschimmer hervor. Glückt es, mit einem scharfen Rasiermesser ein Splitterchen der sehr harten messinggelben Emailschiicht von einer trockenen Flügeldecke abzuspalten, so überzeugt man sich leicht, daß die oberste dünne Schicht (Cuticula) im durchfallenden Lichte matt blaugrau aussieht. Ueber die Beschaffenheit der tieferen Chitinlagen geben am besten die an sich dünnen, fast nur als Email aufzufassenden messingglänzenden Bauchschienen (Ventralseite) Aufschluß. Ohne weitere Präparation erkennt man bei Untersuchung in Glycerin, daß die ganze Chitinmasse aus mehreren deutlich voneinander gesonderten Schichten besteht. Unmittelbar unter der Cuticula folgt eine durch deutliche Zellenzeichnung ausgezeichnete Lamelle, deren Maschen heller, deren Balkenwerk dagegen rostgelb gefärbt erscheint. Hieran schließen sich nach unten noch 2—3 dünne Chitinschichten, welche bereits die von mir seiner Zeit beschriebene, für die Lamellicornier so charakteristische Netz- oder Geflechtsstruktur zeigen. Die Netzbälkchen sind hier aber auch noch diffus gelb gefärbt, und zwar die oberen dunkler, die tieferen heller. Darunter folgen dann endlich weitere Chitinlagen, welche zwar gleichen histologischen Bau, aber keine Färbung zeigen. Nach Maceration in verdünnter Kalilauge erscheinen die Flächen der einzelnen Mosaikfeldchen in der Stäbchenschicht wieder fein punktiert.

III. Zusammenfassung.

Wie aus dem Vorstehenden hinreichend ersichtlich wird, zeichnen sich die Erscheinungen des Metallglanzes und farbigen Schillers bei Käfern im ganzen und großen durch eine gewisse, ich möchte fast sagen, schematische Einförmigkeit aus. In der großen Mehrzahl der Fälle findet man bei senkrechtem Aufblick die farbig reflektierenden Flächen kupferrot, bronzefarbig oder in verschiedenen Nuancen gelbgrün (goldgrün) glänzend. Viel seltener erscheint Blau oder Violett. Mit wachsendem Einfallswinkel des Lichtes macht sich dann immer ein Farbenwechsel bemerkbar, und zwar im Sinne der Aufeinanderfolge der Spektralfarben nach ihrer zunehmenden Brechbarkeit. Bildet Rot den Ausgangspunkt, so werden in der Regel alle Farbenstufen bis zum Violett durchlaufen, und zwar entsprechend den ersten Ordnungen der NEWTONSchen Farben dünner Blättchen. Daß diese bei der Entstehung der metallischen Käferfarben in der Tat die wesentlichste Rolle spielen, geht, wie ich glaube, ganz unzweideutig aus den mitgeteilten Erfahrungen hervor und ist insbesondere das Verhalten des Emails bei jungen, eben ausgeschlüpften Cetonien höchst charakteristisch. Niemand, der auch nur einmal die prachtvollen Reflexionsfarben einer solchen zarten, ganz durchsichtigen Chitinlamelle gesehen hat, wird über die physikalische Ursache der Erscheinung weiter im Zweifel sein. Fraglich bleibt nur inwieweit die wenigstens bei den Cetonien so schön entwickelte Perlmutterstruktur (schüppchenartig sich deckende dünnste Schichten) der Cuticula für das Irisieren verantwortlich zu machen ist, ob es sich

also lediglich um Interferenz von Strahlen handelt, welche an der vorderen und hinteren Begrenzungsfläche eines dünnen, durchsichtigen Blättchens reflektiert werden, oder ob, wie bei der Perlmutter, auch die stufenartige Skulptur der äußeren Grenzfläche von Bedeutung ist. Ich habe es versucht, den bekannten BREWSTERSCHEN Versuch (Abdrücken in schwarzem Lack) auch mit den Flügeldecken von Cetonien anzustellen, aber gänzlich ohne Erfolg.

Gleichwohl kann ich die so auffallende Skulptur der Cuticula hier nicht für bedeutungslos halten, und müssen weitere Untersuchungen über die Entwicklung schillernder Käferskelette zunächst die Verbreitung derartiger Strukturen klarstellen. Ich selbst habe sie außer bei *Cetonia* nur noch bei der verwandten *Potosia* sowie bei *Anoplognathus* mit Sicherheit nachweisen können. Wie dem aber auch sei, daß es sich bei den schillernden metallischen Farben der schuppenlosen Käfer in erster Linie um Interferenzerscheinungen nach dem Prinzip dünner Blättchen handelt, darüber kann meines Erachtens auch nicht der geringste Zweifel bestehen. Am eindeutigsten sind indes solche Fälle, wo sich entweder, wie bei jungen Cetonien, das schillernde, noch farblose Oberflächenhäutchen ohne Mühe isolieren läßt, oder wo auch beim entwickelten Insekt überhaupt nur die metallisch schillernde Schicht vorhanden ist, wie beispielsweise an den zarten, durchsichtigen Flügeln mancher Neuropteren (*Chrysopa*, die meisten Libellen). In solchen Fällen kann man mit absoluter Bestimmtheit behaupten, daß die oft den schönsten Käferfarben an Glanz und Sättigung kaum nachstehenden Schillerfarben ausschließlich als Farben dünner (Chitin-)Blättchen aufzufassen sind. Ich füge als Beispiel die Beschreibung der Flügelfarben bei einer durch FRUHSTORFER in Berlin bezogenen prächtig metallglänzenden *Vestalis*-Art (spec.?) aus Tonkin bei. Die Vorderflügel zeigen, wie bei vielen verwandten Libellen-Arten, in der Mitte ein breites bräunliches Querband, während die Wurzel und Spitze der Flügel nur kaum merklich gelblich erscheinen. Die Hinterflügel sind dagegen in ihrer ganzen Ausdehnung mit Ausnahme der äußersten Spitze braun, aber durchsichtig wie angerauchtes Glas. Die dünnen Chitinhäutchen nun, welche die fast rechteckigen Gittermaschen der Flügel ausfüllen, zeigen ganz unabhängig vom Vorhandensein oder Fehlen des braunen diffusen Pigmentes bei richtigem Lichteinfall lebhaft und glänzende Farben, und zwar sowohl im trockenen Zustande wie unter Alkohol. Man wird unmittelbar an dünne Flüssigkeitshäutchen oder Glas- (resp. Glimmer-)Blättchen erinnert. Mit den ersteren stimmen sie auch insofern überein, als die Farben oft wolkig (in Schlieren) verteilt sind. Hier wie dort gilt die Regel, daß der Effekt ganz wesentlich vom Untergrunde abhängt und nur dann in voller Schönheit hervortritt, wenn dieser dunkel ist. Ebenso wesentlich ist der Einfallswinkel des Lichtes. An den Libellenflügeln springen die Längsrippen in der Regel vor, so daß die an sie beiderseits angrenzenden Netzmaschen wie von einem First schräg abfallen. Daher kommt es, daß je nach dem Lichteinfall nur die einen oder anderen farbig aufleuchten. Betrachtet man mit der Lupe die fast farblose Spitze eines Oberflügels auf dunklem Grunde, indem man den Flügel mit seiner Längsachse parallel dem Fenster hält, so erscheinen die dem Vorderrande zunächst liegenden, nach der Lichtquelle hin dachförmig abfallenden Gittermaschen rötlichgelb, die folgenden grün und blau. Unter dem Mikroskop erscheinen im durchfallenden Lichte die betreffenden Häutchen völlig strukturlos, glasartig durchsichtig. Unter gleichen Umständen sehen die Feldchen der braunen Hinterflügel wolkig ockergelb aus. Im auffallenden Lichte erkennt man bei nicht zu starker Vergrößerung (Zeiß A), daß die zarten Chitinhäutchen, welche die Gittermaschen ausfüllen, nicht ganz eben sind, sondern vielfach gefaltet, wie zerknittert aussehen. Dementsprechend sind die Interferenzfarben der der Lichtquelle zugewendeten Feldchen recht wechselnd, indem die Faltenrücken und die Faltentäler in verschiedenen Farben leuchten. Außerdem machen sich aber, wie schon bemerkt, auch verschiedenfarbige (gelb, grün, rot und blau) Schlieren geltend, die

offenbar auf der stellenweise verschiedenen Dicke der Lamellen beruhen. Taucht man einen Hinterflügel, der, trocken mit bloßem Auge betrachtet, auf beiden Seiten grünlich bronzefarbig schillert, in Alkohol, so erscheinen an der gänzlich eingetauchten Unterseite die dem Lichte zugewendeten Netzmaschen dunkel bronzerot; neigt man aber den Flügel stärker gegen das Licht, so geht die Farbe durch Grün in Blau über, genau wie bei den meisten schillernden Käfern. Auch die Oberseite zeigt unter gleichen Umständen einen etwas dunkleren rötlichen Bronzeglanz, der nur in der Mitte durch eine prachtvoll violett gefärbte breite Querbinde ersetzt wird. Dieses Violett tritt am trockenen Flügel viel weniger deutlich hervor und macht sich hier nur als violetter Schimmer bemerkbar.

Die Schillerfarben der Libellenflügel zeigen so recht deutlich, daß das diffuse gelbe bis braune Pigment für das Zustandekommen der Farbenerscheinungen an sich ganz bedeutungslos ist, daß es aber wohl das Sichtbarwerden derselben ganz wesentlich begünstigt, indem es als dunkler Grund fungiert, zum Teil wohl auch den Farbenton modifiziert.

Noch viel schöner und instruktiver gestalten sich derartige Farbenerscheinungen an den überaus zarten Flügeln unserer fast überall verbreiteten grünen Florfliege (*Hemerobidea Perla*). Sie liefern dasjenige Objekt, welches vielleicht wie kein anderes geeignet erscheint, die Frage nach der physikalischen Natur der metallischen Oberflächenfarben bei Insekten zu lösen. Im durchfallenden Lichte gegen einen weißen Hintergrund gesehen, erscheinen die gegitterten trockenen Flügel völlig farblos und durchsichtig. Betrachtet man sie jedoch bei gewisser Neigung gegen das einfallende Licht auf einem möglichst dunklen Grunde, so erglänzen sie in den lebhaftesten Farben, unter denen Rot, Grün und Violett vorzugsweise vertreten sind. Bei Lupenvergrößerung überzeugt man sich, daß bestimmte Gitterfelder, wenn sie unter den erwähnten Umständen farbig aufleuchten, auch immer in derselben Farbe erscheinen, die in diesem Falle mit wechselndem Einfallswinkel sich nur wenig ändert. Immer aber erfolgt, wenn überhaupt eine Aenderung eintritt, dieselbe im gleichen Sinne, wie in allen früher beschriebenen Fällen. So sah ich beispielsweise gelbgrün leuchtende Netzmaschen bei zunehmender Neigung der Flügelebene grün, blaugrün und schließlich blau werden. Es kommt vor, daß auf einem und demselben Feldchen 2 verschiedene Farben vertreten sind, beispielsweise kann ein zentraler Bezirk grün, der Rand dagegen, ohne scharf abzusetzen, blau erscheinen. Immer aber sind die Farben außerordentlich gesättigt und glänzend. Wie bei den Libellen springen die Längsrippen etwas vor, so daß die beiderseitigen Netzmaschen nach entgegengesetzten Seiten dachartig abfallen. Daher kommt es, daß ihre Farben bei ganz verschiedenen Neigungswinkeln hervortreten. Die Feldchen einer bestimmten Längsreihe sind fast immer gleich gefärbt, doch kommen von dieser Regel bisweilen bemerkenswerte und zugleich sehr instruktive Ausnahmen vor. So fand ich einmal in einer Reihe goldgrün glänzender Netzmaschen eine, welche etwas über die Hälfte lebhaft gelbrot erschien. Zugleich war die betreffende Stelle wesentlich stärker glänzend. Beide Farben waren scharf voneinander abgesetzt. Brachte ich den Flügel in eine solche Lage, daß die Farben gänzlich verschwanden, so blieb auf dem dunklen Grunde auch jetzt noch der rote Bezirk als weißlich gefärbter Fleck sichtbar. Später habe ich Aehnliches auch noch in anderen Fällen an getrockneten Flügeln von *Chrysopa* beobachtet. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß es sich hier um nichts anderes handelt als um ein partielles Eindringen von Luft zwischen die beiden äußerst zarten Chitinlamellen, aus welchen jeder Flügel besteht. Eine solche Luftschicht erzeugt einerseits durch totale Reflexion den stärkeren Glanz und bewirkt andererseits auch eine Aenderung des Farbentones im Sinne einer Verdünnung des Plättchens.

Betrachtet man eine im auffallenden Lichte farbig schillernde Netzmasche bei starker Vergrößerung im durchfallenden Lichte, so erkennt man leicht eine Art feinsten Punktierung; daß dieselbe jedoch mit der Entstehung jener Farben gar nichts zu tun hat, bedarf wohl kaum der Erwähnung. Genau dieselbe Struktur zeigen auch andere durchsichtige, aber dickere Chitinlamellen, bei welchen keine Spur von Färbung zu bemerken ist.

Es war bisher nur von dem alleräußersten, sehr dünnen, durchsichtigen und farblosen Oberflächenhäutchen (der Cuticula) die Rede, welches, optisch als „dünnnes Blättchen“ bzw. als ein System solcher wirkend, die wesentlichste Ursache der glänzenden Interferenzfarben bei Käfern und anderen schuppenlosen Insekten darstellt. Tatsächlich liegen aber die Dinge nicht so einfach, und ist die Struktur des „Emails“, d. h. der Gesamtheit der zur Färbung beitragenden äußeren Chitinschichten bei den meisten Käfern eine recht komplizierte. Vor allem würde es sich darum handeln, die Bedeutung der sogenannten „Stäbchenschicht“ festzustellen, deren Vorhandensein, wiewohl in gradweise sehr verschiedener Entwicklung, bei schillernden Käfern allgemein verbreitet zu sein scheint. Für eine richtige Deutung dürfte das Verhalten von *Smaragdithes* die meiste Beachtung verdienen.

Obwohl sich auch in diesem Falle eine Cuticula als äußerste Schicht findet, so muß ich es doch für fraglich halten, inwieweit sie optisch wirkt. Dagegen ist die „Stäbchenschicht“ sehr stark entwickelt und, wie ich glaube, für die Farbe des ganzen Exoskelettes von größter Bedeutung. Ein sehr einfacher Versuch zeigt, von wie verschiedener Bedeutung die oberste Chitinschicht für die Färbung eines schillernden Käfers sein kann. Versucht man, mit einem scharfen Skalpell am Brustschild von *Smaragdithes* die grüne schillernde Oberflächenschicht durch Schaben zu entfernen, so kann man verhältnismäßig sehr tief eindringen, ehe das atlasartig glänzende Grün verschwindet, jedenfalls viel tiefer, als sich mit der Annahme vertragen würde, daß die Färbung nur allein an einen ganz dünnen Ueberzug gebunden ist, der optisch als „dünnnes Blättchen“ wirken könnte. Dagegen kann man bei *Sternocera* oder bei metallisch glänzenden Carabiden mit einem Skalpellzuge jede Spur des farbigen Glanzes vernichten. Es kommt dann einfach der matte schwarze Untergrund zum Vorschein. Ich folgere daraus, daß in jenem Falle besonders die „Stäbchenschicht“, hier aber vor allem die „Cuticula“ für die Färbung verantwortlich zu machen ist. Dies geht auch schon daraus hervor, daß das Schillern bei *Smaragdithes* viel weniger ausgeprägt ist.

Auf Grund der oben angeführten Versuche an *Smaragdithes* glaube ich behaupten zu dürfen, daß die möglichst vom optischen Einfluß des gelben Pigmentes befreite Stäbchenschicht (nebst Cuticula) auf dunklem Grunde himmelblau erscheint (im durchfallenden Licht schwach gelblich). Das normale Grün resultiert nur aus der Ueberlagerung dieses optischen Blau über Pigmentgelb, welches teils in der Stäbchenschicht selbst, teils in tieferen Schichten gelegen ist. Es verhält sich also ganz ähnlich wie mit dem Grün des Laubfrosches und vieler Reptilien.

Berücksichtigt man die Struktur der Stäbchenschicht, so drängt sich sofort die Vermutung auf, daß ihr Blau als „Farbe trüber Medien“ aufzufassen ist, und es gewinnt dieselbe noch an Wahrscheinlichkeit, wenn man die große Bedeutung erwägt, welche diesem physikalischen Prinzip für die Entstehung von „Blau“ bei Organismen überhaupt zukommt. So haben, wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, neuerlich V. HÄCKER und G. MEYER auch die blaue Farbe der Vogelfedern als „Farbe trüber Medien“ gedeutet und eine Struktur beschrieben, welche direkt an unsere „Stäbchenschicht“ erinnert. V. FATIO hatte bereits an nicht metallisch glänzenden blauen und grünen Federn, die er „plumes emailées“ im Gegensatz zu den metallischen „plumes optiques“ nannte, eine Lage großer

polygonaler Zellen gefunden, welche an den Fiedern 1. Ordnung unter der farblosen Rindenschicht („Epidermis“ FATIO) liegen und die er mit einem „Email“ vergleicht. Im durchfallenden Licht erscheinen dieselben gelblich (bei grünen Federn leicht rötlich); im auffallenden blau resp. grün. Immer liegen sie ausgebreitet über einem dunkelbraun oder schwarz pigmentierten Grunde. Wie FATIO weiterhin nachwies, verlieren die Federäste die blaue oder grüne Färbung und erscheinen braun oder schwarz, sobald man die Emailschiicht wegkratzt. Später zeigte auch GADOW, daß, wenn man die blauen Federn eines Aras oder einer Artamia zwischen 2 Platten preßt, so daß die Emailzellen zerquetscht werden, oder wenn man dieselben durch Hämmern zertrümmert, das Blau verschwindet. Man kann also, wie GADOW sagt, die Struktur- oder optische Farbe aus der Feder heraus klopfen. Daß weder die Rindenschicht (Epidermis) noch erst recht die Emailschiicht als dünne Blättchen wirken können, ergibt sich aus GADOWS Messungen ohne weiteres. Die Dicke der ersteren findet er zu 1,4 bis 4,3 μ , die der letzteren zu 3—11 μ . Er nahm daher in Anlehnung an die weitverbreitete Meinung, daß „optische Farben“ in der Mehrzahl der Fälle „Gitterfarben“ seien, an, daß gewisse sehr feine Linien oder Rippen (ridges), welche er an der Oberfläche der Emailzellen („prismatic cones“) in einzelnen Fällen beobachtete, die blaue Farbe bedingten. „GADOW hält es allerdings für zweifelhaft, ob dieses Liniensystem die einzige Ursache der blauen Färbung sei. Wahrscheinlich beeinflussen nach ihm auch die Rindenschicht und die prismatischen Zellen selber das durchgehende Licht, die erstere, indem sie das Licht reflektiere ähnlich wie ein poliertes oder gefirnißtes Stück Holz seine Farbe besser als ein unbearbeitetes hervortreten lasse, die letztere, indem ihre Wandung wenigstens dann, wenn sie eine sehr geringe Dicke aufweist, nach Art eines dünnen Plättchens wirke. Auf alle Fälle sei die Entstehung der Blaufärbung das Ergebnis eines sehr komplizierten Vorganges.“

In neuerer Zeit gelangte nun HÄCKER zu der zweifellos richtigen Anschauung, daß der Luftgehalt der Emailzellen („Schirmzellen“ HÄCKERS) und die in vielen Fällen festgestellte Porosität ihrer relativ dicken Wandungen für die Erzielung des Farbeffektes ausschlaggebend sind. „Bei Querschnitten zeigen nämlich nur diejenigen Zellen noch in ausgeprägter Weise die typische Färbung (Blau im auffallenden, Gelb im durchgehenden Licht), welche noch Luft enthalten. Sehr schön tritt dies namentlich bei Querschnitten durch die Federn von Cotinga hervor; überall, wo die Luft nicht durch das Einschließungsmittel verdrängt worden ist, d. h. wo sie den ganzen Zellraum und namentlich die zahlreichen Poren durchdringt, tritt die Färbung hervor. Ist dagegen das Einschließungsmittel (Kanadabalsam, Glycerin) eingedrungen, so verschwindet die Färbung“ (HÄCKER). Durch Versuche mit verschiedenen imbibierenden Flüssigkeiten konnte H. zeigen, „daß die Farbenerscheinung verschwindet, wenn die Kästchen (Zellen) bzw. ihre Poren mit einer Substanz imbibiert sind, deren Brechungskoeffizient demjenigen der Wandsubstanz gleichkommt, daß jedoch die Farbe hervortritt, sobald der Brechungskoeffizient der imbibierenden Substanz merklich verschieden, und zwar entweder kleiner (Alkohol, Wasser) oder größer (Schwefelkohlenstoff) ist.“ Es ergab sich, daß die Federn farblos erschienen, wenn die Porenkanälchen der Zellwände mit einer Flüssigkeit erfüllt waren, deren Brechungsexponent für Na-Licht etwa 1,52 beträgt, daß dagegen die Farbenerscheinungen immer hervortraten, wenn die aufgesaugte Flüssigkeit einen Brechungsexponenten besitzt, der merklich größer oder kleiner war als 1,52. Es geht daraus hervor, daß der Brechungsexponent der Kästchensubstanz 1,52 für Na-Licht beträgt.

Die Uebereinstimmung im Bau der Wände bei den „Emailzellen“ blauer Federn und der im auffallenden Lichte ebenfalls blau erscheinenden Stäbchenschicht bei gewissen Käfern ist nun in der Tat so groß, daß man sie kaum für eine zufällige wird halten können. Freilich habe ich mich von einem Luftgehalt etwaiger Porenkanälchen (?) letzterenfalls nicht überzeugen können, indessen sind die Schwierig-

keiten der Untersuchung im trockenen Zustande so groß, daß ich darauf kaum besonderes Gewicht legen möchte; auch würde, wie man leicht sieht, das Fehlen der Luft keineswegs als ein prinzipieller Einwand gegen unsere Auffassung gelten können, da ja derselbe Effekt auch dann erzielt würde, wenn es sich, wie man wohl sicher annehmen muß, bei jenen Käfern um Chitinstäbchen handelte, die in einer schwächer brechenden Grundsubstanz eingebettet liegen. Man könnte aber vielleicht zu Gunsten einer Luftfüllung wirklicher Hohlräume (Porenkanälchen) an das so auffallende Schwinden des Grün bei *Lytta vesicatoria* infolge längerer Behandlung mit Alkohol erinnern, sowie an dessen Wiederhervortreten beim Trocknen. Läßt man ein durch langdauernde Maceration in Kalilauge isoliertes, im durchfallenden Licht fast ganz farbloses, im auffallenden schön himmelblaues Emailplättchen nach gehöriger Entwässerung in Alkohol auf einer Glasplatte aufdrehen, so zeigt sich nicht, wie ich erwartet hatte, das Blau auf dunklem Grunde am schönsten, es fehlt im Gegenteil fast ganz, und nur ein leichter bläulicher Schimmer liegt über dem trockenen farblosen Häutchen. Daß auch bei nachträglichem Befeuchten das Blau nicht wieder in der ursprünglichen Schönheit hervortritt, scheint darauf hinzudeuten, daß irreparable Strukturänderungen (Schrumpfungen) durch das Trocknen herbeigeführt wurden. Am schönsten und intensivsten erscheint das Blau an im Wasser aufbewahrten Emailplättchen, verblaßt aber um so mehr, mit je stärker lichtbrechenden Flüssigkeiten man die Präparate imbibiert. In Nelkenöl oder Kanadalbalsam sieht man fast keine Spur mehr von Farbe.

Daß übrigens schon geringe Differenzen des Brechungsexponenten sehr kleiner durchsichtiger Körperchen in einem durchsichtigen Medium genügen, um optisches Blau im reflektierten Lichte zu erzeugen, ergibt sich aus der Theorie. Denn nach Lord RAYLEIGH ist die Intensität des reflektierten Lichtes abhängig von dem Quadrat der Differenz des Brechungsexponenten des eingelagerten Körpers und des Mediums, also unabhängig von dem Vorzeichen und demnach unabhängig davon, ob (beispielsweise bei blauen Vogelfedern) die Kanälchen mit Schwefelkohlenstoff oder mit Wasser gefüllt sind.

Bekanntlich zeichnen sich unter den Crustaceen die Sapphirinen durch prachtvollen Metallglanz und leuchtende Schillerfarben aus. Wie bei Käfern ändern sich dieselben mit dem Einfallswinkel von lebhaftem Blau durch Indigo, Violett, Rot, Orange in Gelb. Schon ältere Autoren (CLAUS, HAECKEL) sprechen von einer direkt unter der Chitinhülle liegenden, in polygonale Felder geteilten Schicht, der sie eine „feinkörnige“ Struktur zuschreiben, die „vollständig derjenigen der Kieselschale von *Pleurosigma angulatum*, *P. hippocampus* und anderen als Probeobjekten bekannten Diatomeen entspricht“ (E. HAECKEL). HAECKEL glaubte, daß diese Struktur von sich kreuzenden Liniensystemen herrühre und daß auch jene Farben als „Interferenzerscheinungen“ durch diese Leistensysteme hervorgebracht werden. Neuerdings hat H. AMBRONN wieder den Glanz der Sapphirinen untersucht und gezeigt, daß jene „feinkörnige“ Struktur „von dicht aneinander liegenden prismatischen Stäbchen herrührt und nicht von Leisten“ „Besonders deutlich wird dies an Stellen, an denen durch gelinden Druck die einzelnen Prismen sich gegenseitig verschoben haben; oft hängen ganze Reihe derselben noch zusammen, oft auch liegen einzelne regellos zerstreut umher“ (AMBRONN). Ich habe ganz ähnliche Bilder bei *Sternocera* nach Maceration in HNO_3 erhalten. Auch das Verhalten der „Stäbchen“ im polarisierten Licht stimmt bei den Sapphirinen und bei Käfern überein. Es leuchten nach AMBRONN ersterenfalls alle jene Stäbchen oder Stäbchenreihen auf, „welche in ihrer Richtung gegen die Oberfläche verschoben worden sind. Es verhalten sich also die einzelnen Stäbchen wie optisch einachsige negative Kristalle und ihrer Gestalt nach wie hexagonale Prismen.“

Betrachtet man zwischen gekreuzten Nicols den Umschlagsrand eines durch Kalibehandlung isolierten Emailplättchens von *Smaragdisthes*, so erscheint der zierlich gestreifte

„Stäbchensaum“ immer dann dunkel, wenn die Längsachse der Stäbchen mit der Richtung der einen oder anderen Polarisationssebene zusammenfällt, leuchtet dagegen in maximaler Helligkeit, wenn die Stäbchenachse die Polarisationsebenen der beiden Nicols unter einem Winkel von 45° schneidet. Man erkennt dann außerdem, daß die äußerste Begrenzung eines solchen optischen Querschnittes von einer ebenfalls stark leuchtenden Linie (Cuticula) gebildet wird, welche von dem oberen Ende der hellen Stäbchen durch einen schmalen tiefdunklen Zwischenraum getrennt erscheint.

Es handelt sich demnach in der fraglichen Schicht sowohl bei Sapphirinen wie bei Käfern um pallisadenartig dicht aneinander gerückte, optisch einachsige anisotrope Gebilde, die letzterenfalls ohne allen Zweifel aus Chitin bestehen. AMBRONN hält es für möglich, daß sie bei den Sapphirinen „vielleicht als echte Kristalle anzusprechen sind“, und betrachtet die Prismenschicht jedenfalls als von der „Chitinhülle“ verschieden (? B.). Zwischen beiden nimmt er „eine morphologisch nicht näher zu charakterisierende Schicht von schwacher Lichtbrechung“ (offenbar unserer dunklen Zwischenzone entsprechend) an, „welche als wirksames dünnes Blättchen anzusehen wäre“. Die Dimensionen der Prismenschicht („bei *S. fulgens* beträgt der Querdurchmesser der Prismen gegen $0,8-1 \mu$, der Längsdurchmesser parallel der optischen Achse gegen $1,3 \mu$; bei einer mit *S. pachygaster* verwandten Art war der Querdurchmesser der einzelnen Prismen etwas über 1μ , der Längsdurchmesser gegen $1,5-2 \mu$ “) lassen es von vornherein ausgeschlossen erscheinen, daß das leuchtende Farbenspiel der Sapphirinen von dieser Schicht selbst hervorgerufen wird. „Da die auftretenden Farben jedenfalls in die ersten Ordnungen der NEWTONSchen Skala gehören, so müßte die hervorrufende Schicht viel dünner sein.“ AMBRONN konnte außerdem zeigen, daß man die Prismenschicht „nebst allen Details der Streifung erhalten und doch die Farben zum Verschwinden bringen kann“, wie dies ja auch bei Käfern möglich erscheint. Er neigt sich daher der Meinung zu, daß jene Schicht „wohl als eine stark reflektierende mittelbar die Intensität der Farben erhöht“.

In der Tat bleibt in diesem Falle, soweit ich sehe, eine andere Deutung kaum möglich, da es sich um völlig durchsichtige, von dunklem Pigment gänzlich freie Organismen handelt, bei welchen daher auch die Prismen- und Stäbchenschicht in keiner Weise für die Entstehung optischen Blauen als Farbe trüber Medien verantwortlich gemacht werden kann. Ob dies aber nicht bei den fast immer mit einem tiefdunklen Untergrund der Emailsicht versehenen Käfern der Fall ist, erscheint mir auf Grund meiner Erfahrungen namentlich an *Smaragdisthes* doch fraglich. Ich gebe natürlich die Möglichkeit durchaus zu, und halte es auch für wahrscheinlich, daß auch hier die „Stäbchen“ zugleich als Reflexionsapparate fungieren. Daß ihre Bedeutung in diesem Sinne sogar eine sehr große ist, das läßt sich speziell an dem genannten Käfer leicht und mit Sicherheit nachweisen. Betrachtet man das mit Alkohol benetzte Brustschild bei ziemlich senkrechtem Einfall der Strahlen im direkten Sonnenlichte, so beobachtet man ein Phänomen, welches ganz dem entspricht, was SIGMUND EXNER seinerzeit als sogenannte „Pseudopupillen“ an vielen facettierten Augen von Insekten und Crustaceen beschrieben und theoretisch gedeutet hat. Man bemerkt nämlich einen rundlichen tiefschwarzen Fleck, in dessen Zentrum ein kleines Sonnenbild leuchtet, während ringsherum das normale lebhaftes Grün erscheint. Ein ganz ähnliches Bild erhält man auch, wenn man mittels des Vertikal-Illuminators ohne Linsensystem, d. h. mittels eines total reflektierenden Prismas das Licht eines Auerbrenners senkrecht auf die Oberfläche des unter Alkohol befindlichen Brustschildes von *Smaragdisthes* fallen läßt. Das Schälchen mit dem Präparat wird auf dem Objektisch eines Mikroskopstativs ohne Okular und Objektiv in ge-

eigneter Weise orientiert, und man blickt von oben her darauf unter Anwendung eines schwach vergrößernden Glases. Auch dann sieht man sehr schön eine „Pseudopupille“, nämlich inmitten eines runden schwarzen Fleckes das leuchtende Flammenbildchen, das Ganze umgeben von einem breiten grünen Ring, der zu äußerst wieder von einem schwarzen Saum, den abschüssigsten Partien des Thorax, begrenzt erscheint. Nimmt man einen ganzen Käfer, benetzt ihn mit Alkohol und betrachtet ihn nun bei direkt auffallendem Sonnenlicht, so erscheint das Phänomen der Pseudopupille als breites dunkelschwarzes Band, welches von den grün schillernden Rändern der Flügeldecken und des Brustschildes begrenzt wird.

EXNER hat bekanntlich die entsprechenden Erscheinungen an Insektenaugen einerseits auf die von der Form und Lage der Facettenglieder (Kristallkegel) abhängigen katoptrischen Wirkungen derselben, andererseits aber auf ihr Verhältnis zu dem sie umgebenden schwarzen Pigment sowie gewissen farblosen (weißen) oder farbigen Substanzen bezogen. Schon vor langen Jahren hat BRÜCKE auf die besonderen katoptrischen Wirkungen der cylindrischen Stäbchenaußenglieder in der Retina der Wirbeltiere hingewiesen. Licht, welches in eines der durchsichtigen und stark lichtbrechenden Stäbchenaußenglieder hineinfällt, trifft die Wände desselben nur unter großen Einfallswinkeln und geht deshalb nicht in die benachbarten gleichartigen Elemente über, sondern gelangt durch totale Reflexion zu dem von der Choroidea gebildeten, in der Regel pigmentierten und daher wenigstens teilweise absorbierenden Schirm, welcher dahinter ausgebreitet liegt. Ist aber stellenweise diese Schicht selbst geeignet Licht zurückzuwerfen, wie bei den mit einem sogenannten „Tapetum“ versehenen Tieren, so wird fast alles in ein Stäbchen eintretende Licht in demselben Elemente und auf gleiche Weise wie beim Eindringen zurückreflektiert und zwar mit der Farbe, welche ihm von der betreffenden Tapetumstelle erteilt wird. (Leuchten der Raubtieraugen.) Aehnlich dürfte es sich auch in unserem Falle bei *Smaragdisthes* verhalten, während bei den Insektenaugen mit Pseudopupille infolge der meist vorhandenen Pigmentscheiden jedes Kristallkegels die Verhältnisse etwas anders liegen (vergl. EXNER, l. c., p. 169f.). Hier erscheint in der Regel das Centrum der Hauptpupille leuchtend, umgeben von einem breiten schwarzen Ring.

An der Oberfläche des Thorax und der Flügeldecken von *Smaragdisthes* aber ist gerade umgekehrt ein zentraler dunkler Fleck von einem farbigen hellen Ring umgeben. Offenbar werden die nahe der Achse des Phänomens einfallenden Strahlen am stärksten von dem dunklen Hintergrund absorbiert, während mehr schräg einfallendes Licht stark reflektiert wird.

Man sieht leicht, daß, auch wenn man der „Stäbchenschicht“ in dem angedeuteten Sinne eine besondere katoptrische Bedeutung zuschreibt, dadurch im gegebenen Falle keineswegs die Möglichkeit ausgeschlossen erscheint, daß dieselbe Schicht des farbengebenden Emails zugleich auch als „trübes Medium“ fungiert und daher gegen den dunklen Grund optisches Blau erzeugt. Bei den Sapphirinen würde dann nur die erstere Wirkung übrig bleiben. Wie dem aber auch sein mag, unter allen Umständen sind die Schillerfarben der Sapphirinen und jene der schuppenlosen Käfer im allgemeinen auf die gleichen physikalischen Ursachen zurückzuführen, nämlich in erster Linie die Farben dünner Blättchen (Cuticula), wozu bei den Käfern noch eventuell das Blau trübes Medien (Stäbchenschicht), sowie gelbe und rötliche Pigmente der tieferen Chitinschichten hinzukommen. Ob dünne Luftschichten und dadurch bewirkte Totalreflexion, wie z. B. bei *Anoplognathus* leicht nachweisbar ist, häufiger vorkommen, vermag ich zunächst nicht mit voller Sicherheit zu konstatieren. Dagegen spielen sie, wie wir sehen werden, eine um so größere Rolle bei den Schuppen der Käfer und Schmetterlinge.

Ungeachtet der großen Uebereinstimmung, welche die metallischen Schillerfarben der schuppenlosen Käfer zeigen, bestehen doch Unterschiede hinsichtlich der Natur des reflektierten Lichtes in den einzelnen Fällen. Die nächstliegende Frage ist offenbar die, ob und in welchem Sinne das von den farbig glänzenden Flächen zurückgeworfene Licht polarisiert ist. Betrachtet man ein Deckgläschen auf dunklem Untergrunde (oder eine polierte Tischplatte) bei schrägem Lichteinfall durch ein NICOLSches Prisma, so bemerkt man leicht, daß bei einer gewissen Lage des Hauptschnittes der Glanz (das reflektierte Licht) ausgelöscht wird, daß also mit anderen Worten das zurückgeworfene Licht, mit dem Analyser untersucht, ein Intensitätsmaximum und bei einer gewissen Stellung desselben die Intensität = 0 zeigt. Es handelt sich demgemäß um linear polarisiertes Licht. Untersucht man in gleicher Weise verschiedene metallisch glänzende Käfer, so läßt sich zwar auch hier in der Regel ein Intensitätsmaximum erkennen, allein bei keiner Stellung des Analysers wird die Intensität gleich Null, ja es sind die Schwankungen der Lichtstärke im allgemeinen sehr geringfügig. Auf alle Fälle wirkt also eine derartige reflektierende Oberfläche nicht wie ein gewöhnlicher Spiegel aus Glas oder Firnis. Eine Ausnahme bildet nur Licht, welches unter einem sehr schrägen Einfallswinkel reflektiert wird und dann den farblosen Glanz der Oberfläche bedingt. Hält man beispielsweise die Flügeldecke einer *Sternocera* etwa in Augenhöhe gegen das Fenster und blickt durch einen Nicol auf die glänzend grüne Fläche, so verschwindet bei einer gewissen Stellung des Prismas der Glanz, während das Grün nur um so deutlicher jedoch matt hervortritt. Aber auch die Farbe läßt sich durch Drehung des Analysers vollkommen auslöschen, wenn man die steil abfallenden Seitenflächen des Brustschildes oder der Flügeldecke desselben Käfers betrachtet. Taucht man eine Flügeldecke ganz unter Alkohol und betrachtet sie etwas schräg von oben durch eine Lupe, so erscheinen, wie früher beschrieben wurde, die abschüssigen Ränder prachtvoll violett, woran sich nach oben hin Blau, Grün, Gelb und Rot anschließen. Durch ein NICOLSches Prisma gesehen, verschwindet nun bei einer gewissen Lage des Hauptschnittes immer nur das dem schrägsten Lichteinfall entsprechende Violett und Blau, während die anderen Farben nur eine geringfügige Aenderung ihrer Intensität erkennen lassen. Ganz ähnliche Erscheinungen lassen sich nun auch an vielen anderen Käfern mit ausgesprochenen Metallfarben beobachten, wie z. B. bei *Lytta*, *Smaragdisthes* oder irgend einem metallisch glänzenden Carabiden.

Eine sehr bemerkenswerte Ausnahme von dieser Regel bilden nun aber gewisse andere ebenfalls durch prächtigen Metallglanz ausgezeichnete, sonst aber weder durch den histologischen Bau der Emailsicht noch durch die Farben selbst besonders charakterisierte Käfer, vor allem die metallfarbigen *Cetonia*-Arten, sowie die ihnen nächst verwandte *Potosia Preyeri*, ferner *Popilia cupricollis* und verschiedene *Anoplognathus*-Arten. Es dürfte kaum zu bezweifeln sein, daß außer den eben genannten auch noch andere Käfer das gleiche Verhalten darbieten. Die Durchmusterung einer größeren Sammlung wird hierüber sehr schnell Aufschluß geben.

Betrachtet man eine Flügeldecke von *Potosia Preyeri* durch ein NICOLSches Prisma, so läßt sich sehr deutlich erkennen, daß bei gewisser Stellung des Analysators das glänzende Messinggelb ein Intensitätsmaximum zeigt, während bei Drehung des Prismas um 90° ein Minimum der Helligkeit sich bemerkbar macht. Bei keiner Lage aber wird die Intensität des reflektierten Lichtes gleich Null. Schaltet man nun zwischen Objekt und Analyser ein $\frac{\lambda}{4}$ Glimmerblättchen mit einer Hauptschwingungsrichtung parallel der Maximumstellung des Analyser-

Hauptschnittes ein, so gibt es eine Analyseurstellung, bei welcher das reflektierte farbige Licht vollkommen erlischt und die Flügeldecke einfach glänzend schwarz erscheint, wie aus schwarzem Lack gebildet. Bekanntlich liefert ein solches Glimmerblättchen zirkular polarisiertes Licht und kann verwendet werden, um vollkommen oder teilweise elliptisch polarisiertes Licht zu erkennen (vergl. MÜLLER-POUILLETS Lehrb. der Physik, 8. Aufl., bearb. von PFAUNDLER, 1878, S. 616 und 621).

Es würde hiernach zu folgern sein, daß das farbige von der Oberfläche von *Potosia* reflektierte Licht elliptisch polarisiert ist.

Es wurde oben erwähnt, daß es durch anhaltende Maceration in HNO_3 gelingt, die Emailschiicht von *Potosia* in Form ganz dünner, durchsichtiger, aber in den lebhaftesten Metallfarben schillernder Häutchen zu gewinnen, die außerdem noch eine bräunlichgelbe Eigenfarbe (Pigment) besitzen. Solche Emailblättchen eignen sich infolge ihres überaus lebhaften Farbenspieles ganz besonders gut zu den in Rede stehenden Versuchen. Nicht minder gilt dies von jenen zarten, an sich fast pigment- und daher farblosen Emailpräparaten, welche man von jungen, eben ausgeschlüpften *Cetonien*, so bequem erhält.

In beiden Fällen erlischt der Farbenglanz vollkommen, wenn man ein $\frac{\lambda}{4}$ Glimmerplättchen mit einem NICOLSchen Prisma kombiniert und in der angegebenen Weise beobachtet.

Das geschilderte Verhalten ist nun keineswegs eine allgemeine, allen metallisch glänzenden, schillernden Käfern zukommende Eigenschaft der reflektierten Strahlen, vielmehr erweisen sich selbst dort, wo die denkbar größte Uebereinstimmung in Farbe, Glanz und Oberflächenbeschaffenheit des Chitinskelettes besteht, die optischen Eigenschaften des reflektierten Lichtes als gänzlich verschieden. Als besonders interessantes Beispiel führe ich *Popilia cupricollis* einerseits und *Lamprina Latreillei* andererseits an.

Legt man beide Käfer nebeneinander in ein Schälchen mit Alkohol, so erscheint der prachtvolle metallische Schiller wenigstens am Brustschild in beiden Fällen fast völlig gleich und doch wird er nur bei *Popilia*, nicht aber bei *Lamprina* ausgelöscht, wenn man in der angegebenen Weise untersucht. Von allen, in der vorliegenden Abhandlung besprochenen Käfern habe ich außer bei den schon genannten nur noch bei *Anoplognathus aureus* einen gleichen Polarisationszustand des reflektierten Lichtes gefunden und daher Verlöschen des farbigen Glanzes bei Einschaltung eines Nicol und eines $\frac{\lambda}{4}$ Glimmerblättchens. Die hell-messinggelb glänzenden Flügeldecken gewinnen dann auf schwarzem Grunde ein graubraunes Aussehen. Schaltet man an Stelle des Glimmerblättchens ein Gipsblättchen Rot 1. Ordnung ein, so verschwindet die Farbe natürlich bei keiner Stellung des Analyseurs, wohl aber ändert sich ihr Ton einmal mehr ins Rote, anderenfalls in Blaugrün. Dies gilt von allen jenen Käfern, bei welchen durch Einschaltung eines $\frac{\lambda}{4}$ Glimmerblättchens eine völlige Auslöschung der Farbe bewirkt werden kann, nicht aber von anderen ebenso gefärbten und schillernden Arten.

Es kann nach alledem kein Zweifel darüber bestehen, daß bezüglich der physikalischen Natur des an der Oberfläche des Chitinpanzers metallisch schillernder Käfer reflektierten Lichtes ganz auffällige Unterschiede bestehen, indem es sich in

einigen Fällen anscheinend um eine fast vollkommene elliptische Polarisation handelt, während in der Regel das zurückgeworfene farbige Licht so gut wie gar nicht polarisiert ist und nur sehr schräg auffallende Strahlen, welche hauptsächlich den farblosen Glanz bedingen, bei Untersuchung mit einem Analyseur sich als polarisiert im gewöhnlichen Sinne erweisen.

IV. Käfer- und Schmetterlingsschuppen.

A. Spezielles.

Eine ganz ähnliche Rolle wie bei *Anoplognathus* d. h. als total reflektierende Schicht scheint zwischen durchsichtigen pigmentierten oder nicht pigmentierten Chitinlamellen eingeschlossene Luft unter anderem auch bei gewissen Schmetterlingspuppen zu spielen. Manche derselben zeigen bekanntlich in ausgezeichneter Weise Gold- und Silberglanz. Schon LANDOIS (Beobachtungen über das Blut der Insekten, Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. XIV, 1864) führte den Goldglanz der *Vanessa urticae*-Puppen darauf zurück, daß nach dem Trocknen der äußeren Haut zwischen ihr und der Epidermis des in der Puppe ruhenden Falters (? B.) sich Luft befindet, welche durch die gelbe Haut hindurchschimmert. Eine ähnliche Erscheinung des Silberglanzes findet sich bei der Raupe von *Saturnia Yamamai*, wo die feinen, einzelstehenden Silberpünktchen nach LEYDIG durch mit Luft gefüllte Zellen (? B.) hervorgebracht werden sollen, welche durch die glashelle Oberhaut dieser Raupe hindurchschimmern. Es drängt sich in solchen Fällen mehr als bei den geschlechtsreifen Insekten die Frage auf nach der etwaigen biologischen Bedeutung solcher glänzender Stellen.

POULTON hat darauf hingewiesen, daß der Gold- und Silberglanz in auffallender Weise an den Glanz des Glimmers erinnert und vermutet, daß es sich um eine Schutzfärbung handelt, welche die an glimmerhaltigem Gestein befestigten Puppen schwer erkennbar macht und in der Tat wird man eine gewisse Aehnlichkeit der eckigen und höckerigen graubraunen Puppen mit einem Stückchen glimmerigen Gesteines kaum leugnen können. Dazu kommt noch, daß nach POULTON der Gold- resp. Silberglanz durch Licht, welches die Raupen kurz vor der Verpuppung bestrahlt und von gold- oder silberglänzenden Flächen reflektiert wird, in auffallender Weise begünstigt werden soll. Demungeachtet wird man aber die Auffassung POULTONS kaum zutreffend finden können, wenn man, wie auch WALLACE hervorhebt, speziell bei *Vanessa urticae* die weite Verbreitung der Art und die verhältnismäßig geringe Verbreitung glimmerhaltiger Gesteine ins Auge faßt. Schon T. W. WOOD hat darauf hingewiesen, daß die besonders stark goldglänzenden Puppen in der Regel von Parasiten (*Ichneumoniden*) bewohnt sind und POULTON konnte dies nur bestätigen. Man könnte daher auf den Gedanken kommen, daß der Metallglanz durch einen gewissen krankhaften Zustand der Puppen bedingt werde. Eine außerordentliche Zunahme in Bezug auf räumliche Ausbreitung des Goldglanzes beobachtete VENUS an Puppen von *Vanessa urticae*, welche sich aus Raupen gebildet hatten, die in einem verglasten Holzkasten längere Zeit täglich der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt worden waren. Die wenigen Raupen, welche überlebten, lieferten statt der gewöhnlichen braungrauen, mit einigen Goldpunkten besetzten *Urticae*-Puppen, solche von lichtgelblicher Farbe am ganzen Körper mit dem schönsten Goldglanz überzogen. Eine solche Form bildet auch POULTON ab.

Dieser Forscher erörtert dann auch noch die Frage, ob es sich etwa um ein Warnungszeichen (Trutzfarbe) handelt, durch welches Ungenießbarkeit der betreffenden Puppen angezeigt wird. Der außerordentliche Goldglanz mancher exotischer Schmetterlingspuppen möchte vielleicht so zu deuten sein.

Hierher gehört beispielsweise die Puppe von *Danaïs chrysippus*. BOISDUVAL (Faune Entom. de Madag. etc., p. 36) sagt von der Puppe der *Euplaea Gondotii*: „La chrysalide ressemble a une bulle d'or extremement brillante“ und von *Danaïs phaedone*: „La chrysalide est d'un vert doré brillant.“ Auch FRITZ MÜLLER hält den Goldschimmer der Puppen von *Mechanitis lysimnia* und von *Danaïs erippus* für ein Warnungszeichen: „Beide gehören zu der ungenießbaren Gruppe der Danaïnen. Die Raupe von *M. lysimnia* lebt an mehreren stacheligen *Solanum*-Arten in kleinen Gesellschaften und an der Unterseite der Blätter der Futterpflanze hängen sich die Puppen auf; es gibt nichts prächtigeres als diese ganz und gar im schönsten Metallglanz strahlenden, nicht selten zu 10, 12 oder mehr beisammenhängenden Puppen“ (FRITZ MÜLLER). Die Puppe von *Danaïs erippus* ist grün und nur mit einigen goldenen Punkten geziert, von denen eine quere Reihe kleiner lebhaft glänzender Wärzchen am meisten in die Augen fällt.

Andere Puppen mit Metallschimmer, der aber nie zu so hellem Goldglanz wird, wie bei *Mechanitis* sah FRITZ MÜLLER nur in Gefangenschaft (z. B. verschiedene *Adelpha*-Arten). Er glaubt, „daß hier der Metallglanz nicht als Warnung vor Ungenießbarkeit, sondern als Schutz dient, weiß aber nicht in welcher Weise“. „Da, so fährt F. MÜLLER in einem Briefe an POULTON fort, in unserem Urwalde Gestein nirgends zu Tage tritt, ist bei diesen größtenteils an Urwaldsäumen lebenden Arten wohl kaum an Aehnlichkeit mit mineralischen Substanzen zu denken. Alle Puppen, die ich im Freien an Pflanzen zwischen Laub gefunden habe (z. B. *Morpho*, *Caligo*, *Prepona*, *Siderone*, *Catanephele*) sind grün mit Ausnahme von *Acraea* (ungenießbar), deren Puppen weiß sind mit schwarzen Dornen.“ Ein ähnlicher Fall wie bei *Mechanitis* scheint bei der Puppe der indischen *Euplaea core* vorzuliegen, die leicht sichtbar an der Futterpflanze der Raupe befestigt ist und durch ihren lebhaften Silberglanz sofort auffällt.

Es gibt Käfer (namentlich unter den Rüsselkäfern), bei welchen metallische Schillerfarben ähnlich wie bei Schmetterlingen dadurch erzeugt werden, daß auf der Oberfläche der an sich schwarzen oder dunkelbraunen Flügeldecken dünne durchsichtige Schüppchen in sehr verschiedener Anordnung ausgebreitet sind, welche bei günstigem Lichteinfall prächtige Interferenzfarben erzeugen. Da bei den Coleopteren die Hinterflügel und ebenso die Unterseite der Flügeldecken immer schuppenlos sind, so dürfte, wie URECH mit Recht bemerkt, dies „etwa so gedeutet werden, daß die Schuppen nur den Zweck des Schmuckes haben; der größere Mangel an Schuppen bei Coleopteren, als wie bei Lepidopteren, wird bei ersteren durch Pigment und Interferenzfarben an den Flügeldecken und am Leibe ersetzt“. Verhältnismäßig selten sind hier pigmentführende Schuppen (wie z. B. bei manchen *Saperda*-Arten). Bei weitem herrschen Interferenzfarben vor, die an Glanz und Schönheit durchaus mit jenen wetteifern, welche man bei schuppenlosen Käfern findet.

Bei uns kommt auf Gras und Gebüsch im Juni und Juli ein kleiner hellgrüner Rüsselkäfer häufig vor (*Phyllobius* spec.), der sich zur ersten Untersuchung vortrefflich eignet. Betrachtet man eine trockene Flügeldecke des Käferchens bei Lupenvergrößerung, so erscheint die ganze Oberfläche wie besät mit lauter kleinen, goldgrün glänzenden Pünktchen, während nach Benetzung mit Alkohol keine Spur von Farbe zu erkennen ist und das ganze Objekt undurchsichtig schwarzbraun aussieht. Wendet man eine stärkere Vergrößerung an (etwa Zeiß A oder B), so bietet sich bei geeigneter Orientierung des trockenen Flügels ein außerordentlich zierliches Bild dar. Man sieht lauter

kurze, annähernd senkrecht zur Längsachse des Flügels verlaufende, gelb, grün oder blaugrün glänzende Querbinden, welche, wenn das Objekt mit der Längsachse in der Richtung des einfallenden Lichtes orientiert ist, an der konvexen Oberfläche, nach Drehung um 90° dagegen nur an der der Lichtquelle zugewendeten Fläche hervortreten, an der anderen Seite aber ganz fehlen. Bei einiger Aufmerksamkeit erkennt man auch schon leicht, daß jede der strahlenden Querbinden über die Mitte eines konvex gekrümmten (muschelförmigen) Schüppchens läuft, die Lage derselben so deutlich markierend. Auch läßt sich schon bemerken, daß jedes Querband durch dunkle Linien (Rippen) in eine Folge leuchtender Striche aufgelöst wird, die parallel der Schuppenachse nebeneinander liegen. Hinsichtlich der Farbe ist zu bemerken, daß an der konvexen Oberfläche der Flügeldecke Gelbgrün vorherrscht (stellenweise auch reines Gelb erscheint), während an den steil abfallenden Seitenflächen Grün, Blaugrün und Blau vorwalten. Ändert man die Richtung des Flügels (resp. der Schüppchen) zum einfallenden Lichte dadurch, daß man den Objektträger mehr und mehr hebt, so daß seine Fläche mit der des Objektisches einen immer zunehmenden Winkel bildet, so läßt sich ohne Schwierigkeit konstatieren, daß der Farbenton der schillernden Querbinden lediglich von der Richtung (dem Neigungswinkel) der einfallenden Lichtstrahlen abhängt und um so mehr dem Blau sich nähert, je schräger das Licht auffällt, also ganz dasselbe Phänomen, wie wir es schon bei den schuppenlosen metallglänzenden Käfern kennen lernten.

Ungleich prächtiger gestaltet sich der Anblick noch bei Benützung des Vertikal-Illuminators mit stärkerer Vergrößerung (Zeiß D). Man sieht dann überaus deutlich, daß nur der konvexeste Teil der muschelförmig gekrümmten Schüppchen gelbgrünes Licht reflektiert. Daß aber andererseits auch die Basis oder Spitze in gleicher Farbe strahlen kann, zeigt sich an manchen Stellen, wo die Schuppen infolge mechanischer Insulte etwas aus der Lage gebracht wurden. Daß die ganze Erscheinung der leuchtenden Querbänder lediglich von dem Winkel abhängt, unter welchem das Licht einfällt, geht schließlich überzeugend aus dem Umstande hervor, daß in dem Falle, wenn man den Flügel mit der langen Achse parallel zum einfallenden Lichte (d. h. senkrecht zum Fenster) einstellt, entweder nur der basale Abschnitt oder die Spitze in gleicher Farbe (Gelbgrün) aufleuchtet, wenn man den Objektträger, auf welchem die Flügeldecke entweder mit der Spitze oder mit der Basis dem Beschauer zugewendet liegt, von der Lichtquelle her emporhebt. Man bedient sich hierbei am besten des schwachen Systemes A von Zeiß.

Die Schüppchen erscheinen nun isoliert, auch im durchfallenden Lichte intensiv gefärbt und zwar im allgemeinen komplementär zu der Farbe im reflektierten Lichte.

Schließt man die von einer trockenen Flügeldecke abgeschabten Schüppchen ohne weiteres in Glycerin oder Wasser ein, so erscheint die Mehrzahl derselben an der Basis und Spitze rot, während die stark konvexe Mitte von einem breiten blaugrünen Querband durchzogen wird. Drehen des Objektisches ändert nichts an dieser Farbenfolge, dagegen wohl Neigen des Präparates gegen das vom Spiegel her einfallende Licht. Dabei können vorher blaue Stellen intensiv rot werden und umgekehrt. Trotz der großen Intensität der Farben im durchgelassenen Lichte erscheinen sie doch vergleichsweise matt gegen die strahlende Helligkeit namentlich des gelbgrünen mittleren Querbandes im auffallenden Lichte. Trocken ohne Zusatzflüssigkeit untersucht, erscheint die Mehrzahl der Schüppchen ziemlich gleichmäßig rotgelb gefärbt oder unregelmäßig blau und gelbrot marmoriert und gefleckt. Häufig sieht man Stellen, welche auch im durchfallenden Lichte hellgelb glänzend hervortreten. Die gleichen Partien erscheinen im auffallenden Lichte strahlend grüngelb.

Ausnahmslos werden Schuppen nach völliger Imbibition mit irgend einer Flüssigkeit (Alkohol, Wasser, Glycerin, Oel) farblos bzw. blaßgelblich. Man kann oft ganz deutlich verfolgen, wie die Verdrängung der Luft zwischen den zwei Lamellen eines solchen Schüppchens zugleich auch die Farbe im durchfallenden sowohl wie im auffallenden Lichte verschwinden macht.

Es kann daher keinem Zweifel unterworfen sein, daß man es hier mit einer Strukturfarbe und zwar nach dem Prinzip dünner Blättchen zu tun hat. Während es sich aber bei den schuppenlosen Käfern in der Regel um ein dünnes zu oberst gelegenes Chitinplättchen handelt, ist es in diesem Falle eine dünne zwischen zwei Chitinlamellen eingeschlossene Luftschicht, welche nach Art des NEWTONSchen Farbenglases wirkt. Daher kommt es auch, daß solche Käfer in Alkohol aufbewahrt eine unscheinbare braunschwarze Farbe annehmen, um das lebhaftes Grün erst dann wieder zu gewinnen, wenn sich die Schüppchen beim Trocknen wieder mit Luft gefüllt haben. Daß die verhältnismäßig groben Längsrippen mit der Entstehung der Färbung der Schüppchen nichts zu tun haben, bedarf kaum der Erwähnung.

Unter den Käfern, deren Farbe durch Schüppchen verursacht wird, nimmt seit jeher der brasilianische

Entimus imperialis

eine besondere Stellung ein. G. DIMMOCK hat in seiner Arbeit über die Käferschuppen gerade diesem Falle eine besonders eingehende Besprechung gewidmet und wenn ich ihm auch nicht in allen Punkten beistimmen kann, so muß doch hervorgehoben werden, daß es sich hier um eine gründlichere Untersuchung handelt, als sie sich sonst auf diesem noch so wenig durchforschten Gebiete finden.

Die außerordentlich stark konvexen Flügeldecken des Käfers zeigen in regelmäßigen parallelen Längsreihen angeordnete flache Grübchen, deren jedes mit einer großen Zahl kleiner, in den lebhaftesten Farben glänzender Schüppchen ausgekleidet ist. Bei Lupenvergrößerung erkennt man hier, vom dunkel-schwarzen Grunde sich scharf abhebend, blaue, grüne und gelbe Pünktchen, die sich bei stärkerer Vergrößerung (Zeiß A) als Schüppchen erweisen, die bei einer gegebenen Einfallsrichtung des Lichtes teils ganz farblos erscheinen, zum Teil aber in den lebhaftesten Farben strahlen. Die Form derselben ist länglich oval, nach außen hin schwach konvex gekrümmt. Bei Drehung des Objektisches sieht man immer neue Schüppchen aufleuchten, während andere vorher farbige nun dunkel werden. Zugleich macht sich eine Erscheinung in auffälligster Weise bemerkbar, die auch DIMMOCK hervorhebt, nämlich die Tatsache, daß nur ausnahmsweise die ganze Fläche eines Schüppchens die gleiche Farbe reflektiert, sondern daß die Farben in äußerst wechselnder Verteilung erscheinen. „The scales have the appearance of being filled with pigments, separate colors usually in distinct compartments allotted to them“ (DIMMOCK). Die Grenzlinien verschiedener oft gerade komplementärer Farbenbezirke verlaufen entweder ganz gerade oder auch ganz unregelmäßig gezackt, wie ausgenagt. Ich lege auf den letzteren Umstand Gewicht, weil er an sich gegen die von DIMMOCK vertretene Meinung spricht, daß es sich um anatomisch präformierte zarte Scheidewände handelt, durch welche der Raum zwischen den beiden Lamellen eines solchen Schüppchens in völlig getrennte Abteilungen zerlegt wird. Dagegen spricht ja auch schon, daß die Richtung dieser Grenzlinien so außerordentlich wechselnd ist. Während im einem Falle die Schuppe in eine vordere und hintere Hälfte geteilt wird, verläuft die Trennungslinie anderenfalls gerade in der Mittellinie von vorne nach hinten oder schräg unter den verschiedensten Winkeln. Es kann ferner irgendwo ein geradlinig oder

unregelmäßig begrenzter, kleinerer oder größerer Bezirk der Schuppenfläche in einer anderen Farbe ausgespart sein u. s. w. Auch findet man sehr oft Fälle, wo zwar auch verschiedene Farben an der Oberfläche eines und desselben Schüppchens vertreten sind, aber nicht scharf voneinander gesondert, sondern in ganz allmählichen Uebergängen. Die im reflektierten Lichte am meisten vertretenen Farben sind immer Gelb, Gelbgrün, Grün, Blaugrün und Blau. Das Auftauchen und Wiederverschwinden der Farben bei verschiedenen Schüppchen, sowie der so auffallende Wechsel an einem und demselben Individuum beim Drehen des Objektisches beweist ohne weiteres, daß das Hervortreten einer bestimmten Reflexionsfarbe wieder vor allem vom Einfallswinkel des Lichtes abhängt. So sieht man beispielsweise bei einer bestimmten Orientierung des Objektes zum einfallenden Lichte die vorderen $\frac{2}{3}$ eines Schüppchens intensiv blau leuchten, während der Rest dunkel erscheint; dreht man dann nur wenig den Objektisch, so leuchtet nun gerade der vorher dunkle Rest gelb auf, während das Blau verschwindet u. s. w. Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen ist hier eine um so größere, als die Lage der einzelnen Schüppchen, die je ein Grübchen der Oberfläche auskleiden, eine sehr unregelmäßige ist.

Wie sich beim Drehen des Objektisches die Farben eines in der Ebene desselben befindlichen Schüppchens im auffallenden Lichte ändern, so ist dies und zwar aus gleichen Gründen der Fall, wenn man den Einfallswinkel des Lichtes dadurch ändert, daß man das Objekt samt dem Objektträger allmählich immer mehr gegen die Ebene des Objektisches neigt. (Man beobachtet mit Zeiß A, dessen Fokalabstand eine genügende Freiheit der Bewegung gestattet.)

Wie bei *Phyllobius* zeigen sich auch die Schuppen von *Entimus* im durchgehenden Lichte ebenfalls intensiv gefärbt und zwar im allgemeinen komplementär zu den Farben im auffallenden Lichte, desgleichen vernichtet auch hier Imbibition mit irgend einer Flüssigkeit jede Spur von Färbung. Ich halte es für zweifellos, daß es sich dabei um nichts anderes handelt, als um Verdrängung von Luft aus einem inneren Hohlraum der Schuppe und kann DIMMOCK in keiner Weise beistimmen, wenn er das Innere jedes Schüppchens von einer „Marksubstanz“ erfüllt sein läßt, in welcher sich die angewendeten Flüssigkeiten leicht imbibieren („The interior of the scale is evidently filled with a pith-like substance into which liquids enter with equal readiness in all directions; this pith-like portion apparently has some direct influence upon the production of the coloration, for wherever it injured or has shrunk away from the basal end of a scale there is no longer coloration in that place“). Außer der „Marksubstanz“ soll nach DIMMOCK ein System feinsten Streifen (Falten) an der Innenfläche des Schuppenhohlraumes für die Färbung verantwortlich zu machen sein. Er unterscheidet eine äußere gröbere Längsstreifung („coarser-striation“) die namentlich an den gestreckteren Formen der Schuppen sowie an den Härchen deutlich hervortritt und eine zweite viel feinere Streifung („finer striation“) an der Innenfläche der Schuppenmembran, deren Richtung in den einzelnen verschieden gefärbten Abteilungen je eines Schüppchens wechseln soll. („The finer striation is further unlike the coarser striation in following no definite direction on the scale, sometimes being in one direction in one portion of a scale and in another direction in another part of the same scale. In any single compartment of a scale the direction of the finer striation is approximately the same times a little curved the finer striation is most evident in blue or purplish parts of scales, altho it exists in other parts . . . it is invisible on scales treated with liquid reagents to remove the air.“)

Diese letzteren feinsten Streifen (Falten) sollen nun im Verein mit der ihre Zwischenräume ausfüllenden Marksubstanz die Farbenercheinungen bedingen.

Ich habe die „feinere Streifung“ schon mit Zeiß D oder F in vielen Fällen ganz deutlich gesehen. Sie tritt infolge des Luftgehaltes der Schuppen immer wenig scharf hervor, so daß man stärkere Vergrößerungen gar nicht anwenden kann. Diesem Umstande schreibe ich es auch zu, daß ich in der Mehrzahl der Fälle nicht im stande war mich von dem Vorhandensein jener feinen Linien mit Sicherheit zu überzeugen. Am besten sah ich sie an ganz unverletzten und infolgedessen ihre Farbe (resp. den Luftgehalt) im durchfallenden Lichte bewahrenden Schüppchen unter Glycerin. Ohne leugnen zu wollen, daß die feinen Streifensysteme an der Innenwand der Schuppenkammer zur Entstehung von Beugungsfarben Anlaß geben könnten, muß ich auf Grund der Tatsache, daß verletzte Schuppen ausnahmslos bei Füllung mit irgendeiner Flüssigkeit farblos werden oder höchstens Spuren von Färbung bewahren, daran festhalten, daß das wesentliche Moment für die Entstehung der im auffallenden und durchgelassenen Lichte komplementären Farbenerscheinungen das Vorhandensein einer sehr dünnen Luftschicht zwischen der oberen und unteren Schuppenlamelle ist, deren Dicke offenbar in den verschieden gefärbten Abteilungen eines und desselben Schüppchens entsprechende Unterschiede aufweist.

Daß nun aber in der Tat auch luftfreie Schuppen, wiewohl ungleich schwächer, noch farbigen Schiller zeigen können, läßt sich auf Grund der folgenden, von mir erst später bemerkten Tatsachen gar nicht von der Hand weisen. Behandelt man eine größere Anzahl trocken abgeschabter Schüppchen zunächst mit Alkohol und setzt dann erst Glycerin zu, so findet man alle ganz unverletzten Schuppen völlig wie normal gefärbt, während die angebrochenen (meist bricht das Stielende ab) farblos oder blaß gelblich erscheinen. Verdunkelt man nun das Gesichtsfeld, so erscheint bei geeigneter Orientierung, die man durch Drehen des Objektisches leicht findet, die Mehrzahl der im durchgehenden Lichte farblosen Schüppchen mehr oder minder intensiv gefärbt und zwar leuchten, wie auch sonst, die einzelnen Abteilungen in verschiedenen Farben oder es bleiben einzelne Bezirke dunkel.

Noch schöner treten dieselben Farben in gleicher Verteilung hervor, wenn das Gesichtsfeld eines Polarisationsmikroskopes durch Kreuzung der beiden Nicols verdunkelt, aber auch dann steht die Intensität und vor allem der Glanz der Farben weit hinter dem zurück, was man sonst unter gleichen Umständen an unversehrten, normal lufthaltigen Schuppen beobachtet.

Zwei oder mehrfarbige Schuppen kommen außer bei *Entimus* auch noch bei andern Käfern vor, so z. B. nach URECH bei *Eustalis*-Arten. Die eine Hälfte der Schuppenfläche kann cyanblau die andere orange erscheinen; „betrachtet man dann die gleiche Schuppe im reflektierten Lichte, so erscheinen die Farben vertauscht, der im durchfallenden Lichte orangene Platz ist jetzt blau und der im reflektierten Lichte jetzt orange, war im durchfallenden blau“. URECH spricht hier irrtümlicherweise von Dichroismus oder Pleochroismus und erhofft von einer „gründlichen physikalischen Untersuchung dieser dichroitischen (pleochroitischen) Erscheinungen mittels des Mikrospektralspolarisators in Verbindung mit mathematischer Behandlung“ eine weitere Förderung der strukturellen Erkenntnis der Schuppegebilde.

Da die Erscheinung des Dichroismus auf gewisse durchsichtige Körper mit einer natürlichen oder künstlichen Eigenfarbe beschränkt ist, den Käferschuppen aber eine solche nicht zukommt, so kann hier füglich auch von Dichroismus nicht gesprochen werden. Zudem habe ich niemals auch nur die geringste Veränderung der Farben im durchfallenden Lichte gesehen, wenn der unter dem Objekt befindliche Polarisator gedreht wurde, bekanntlich das einfachste Mittel, um Pleochroismus an mikroskopischen Objekten festzustellen.

Auch bei *Hoplia coerulea* soll nach DIMMOCK das schön metallische Blau, welches kleine rundliche Schüppchen erzeugen, die als Ueberzug die an sich einfach braunen Flügeldecken bekleiden, einer besonderen Struktur der ersteren zuzuschreiben sein. Trocken untersucht, erscheinen sie im durchfallenden Lichte hell kanariengelb, in einzelnen Fällen teilweise rot, im auffallenden Lichte dagegen sehen die gelben Schuppen unter günstigem Einfallswinkel des Lichtes glänzend blau aus, während die rötlichen Partien grünliche Reflexe geben. Im Inneren der hohlen Schüppchen läßt sich bei starker Vergrößerung eine Art feinsten „Struktur“ erkennen, wobei die Bälkchen rötlich, die Netzmaschen gelb erscheinen. DIMMOCK hält die Netzbälkchen für Verdickungen der Chitinmembran der Schüppchen. Dringt Wasser ins Innere derselben ein, wie es an zufällig zerbrochenen Schuppen immer bei Befeuchtung geschieht, so wird die Luft daraus verdrängt und zugleich schlägt die im durchfallenden Lichte gelbe Farbe in himmelblau um, während die Schuppen im reflektierten Lichte nun dunkelgrün („dark greenish“) erscheinen. In Glycerin werden die Schuppen so stark aufgehellert, daß sie sowohl im durchfallenden wie im auffallenden Lichte farblos erscheinen. In Alkohol zeigen sie im durchgehenden Licht einen rötlichen Ton, ebenso in Chloroform. In Terpentin oder Nelkenöl verschwindet im durchfallenden Licht jede Färbung, während auf dunklem Grunde ein schwacher metallisch grüner Schiller hervortritt. Da nach dem Trocknen der mit Wasser, Alkohol oder Chloroform benetzten Schuppen die ursprüngliche Farbe immer wiederkehrt, so bezieht DIMMOCK alle beobachteten Farbenercheinungen nicht auf ein Pigment, sondern auf die besondere Struktur der Schuppen und führt als weitere Stütze dieser Ansicht noch an, daß in trockenem Chlorgas die Färbung erhalten bleibt, während Schuppenpigmente sonst ausnahmslos zerstört werden. Das Besondere der Struktur liegt, wie ich glaube, auch hier in dem Vorhandensein einer dünnen Luftschicht zwischen den beiden Schuppenlamellen, die ihrerseits als „dünnes Plättchen“ zur Erzeugung von Interferenzfarben Anlaß gibt und nach Imbibition mit Flüssigkeiten durch diese ersetzt wird.

An die lufthaltigen Käferschuppen reihen sich naturgemäß die luftführenden Schmetterlingsschuppen an. Schon LEYDIG hat darauf hingewiesen, daß die Schuppen mancher Schmetterlinge eine Luftschicht enthalten, wodurch dieselben entweder weiß oder silberglänzend erscheinen. Die Silberflecken der Perlmutterfalter (*Argynnis*) entstehen ihm zufolge „durch Interferenz des Lichtes und Pneumatizität der Schüppchen. Letztere bei starker Vergrößerung betrachtet, lassen feine Löchelchen erkennen, je zu beiden Seiten reihenweise nach der Länge eines scheinbaren hellen Wulstes angeordnet. Die Löchelchen erstrecken sich auch über den Längswulst hinüber und bedingen die Querstrichelung der Schuppe. Diese Löchelchen oder Kanälchen sind lufthaltig. Wird die Schuppe mit Wasser befeuchtet, so wird die Luft herausgetrieben und sammelt sich zu Säulen oder in flächiger Ausbreitung auf den Schuppen. Ist daher in der Schuppe wirkliches Pigment, ein körniges braunes oder schwarzes ausgeschlossen, so ruft die Luft in den Kanälen oder Poren den Silber- oder Perlmutterglanz in gleicher Weise hervor, wie der Luftgehalt in den Tracheen bekanntlich den Silberglanz bedingt“ (LEYDIG).

Ich kann LEYDIGS Schilderung der feineren Struktur der luftführenden weißen perlmutterglänzenden Schuppen nicht ganz beistimmen, wenigstens nicht für *Argynnis Lathonia*, die ich genauer zu untersuchen Gelegenheit hatte. Betrachtet man derartige Schuppen im trockenen Zustande bei durchfallendem Lichte, so erscheinen sie sehr schwach gelblich und wenig durchsichtig. Hier und da findet man einzelne Schuppen, die nur teilweise noch von Luft erfüllt sind, dann erscheinen die luftfreien Teile farblos, glasartig durchsichtig. Bei einer gewissen Einstellung sieht man zwischen den dunkelglänzenden, stark lichtbrechenden parallelen Längsrippen reihenweise geordnet kleine fast schwarze Pünktchen, welche

glänzend hell werden, wenn man den Tubus etwas senkt und dann in der Tat täuschend den Eindruck hervorbringen, als handle es sich um kleine Löcher in der Schuppenmembran. Ich habe mich sicher überzeugt, daß die Luft einerseits in den hohle Röhren oder Kanäle darstellenden Rippen der oberen (äußeren) Schuppenlamelle, andererseits aber in dem dünnen flachen Hohlraum zwischen beiden Lamellen enthalten ist. Ersterenfalls handelt es sich daher um feine parallel nebeneinander liegende Luftcylinder, anderenfalls um eine dünne kontinuierliche Luftlamelle. Gewisse Bilder bei partieller Verdrängung der Luft glaube ich kaum anders deuten zu können. Läßt man nun zu einem solchen Präparat Alkohol zufließen (— man muß in solchen Fällen stets Alkohol und nicht Wasser verwenden, weil dieses die Chitingebilde schlecht benetzt und nicht rasch eindringt —) so werden die Perlmutter-schuppen momentan absolut farblos und durchsichtig wie Glas. Jene dunklen Pünktchen treten dafür aber nur um so deutlicher hervor und ver-raten untrüglich ihre Natur als Pigmentkörnchen. Nahe der Schuppenwurzel sind sie merklich größer und etwas dichter gedrängt als auf der Fläche der Schuppchen. Bei tiefer Einstellung schwarz-braun, werden sie bei Heben des Tubus hellglänzend. Körnchen von genau derselben Beschaffenheit, nur sehr viel zahlreicher, finden sich auch in den unter gleichen Umständen ziemlich intensiv gelb gefärbten Pigmentschuppen, welche zwischen den Perlmutterflecken liegen. Oeffnet man die Iris-Blende über dem ABBESchen Condensor immer mehr, so bleiben (an so aufgehellten Perlmutter-schuppen) wie bei einem gut gefärbten Bakterien-Präparat schließlich nur die Pigmentkörnchen als dunkle Pünktchen sichtbar.

Es kann daher gar nicht die Rede davon sein, daß es sich wie LEYDIG meinte, um „Löchelchen“ und lufthaltige Porenkanälchen handelt. Letztere sind allerdings vorhanden, aber in ganz anderer An-ordnung als parallel verlaufende hohle, an der Oberfläche der Schuppe vorspringende Röhren (Längs-rippen).

Was nun das Aussehen dieser Schuppen im auffallenden Lichte anlangt, so erscheinen sie bei gewöhnlichem Tageslicht mit Zeiß A oder B untersucht im trockenen Zustand weißlich, an manchen Stellen oft von hellerglänzenden breiten Streifen wie von Schlieren durchzogen, die dann auch unter dem Mikroskop bisweilen Perlmutter-schiller zeigen. Wie bei fast allen schillernden Schmetterlings-schuppen, so ist auch hier für starke Lichtreflexion die Orientierung der Schuppe in Bezug auf die Einfallsrichtung des Lichtes von wesentlicher Bedeutung. Sowohl bei Beobachtung mit bloßem Auge wie unter dem Mikroskop ist der Silberglanz am stärksten, wenn die Schuppenachse dem Fenster parallel verläuft, dagegen verschwindet er fast gänzlich, wenn man das Präparat in der Ebene des Objekt-tisches um 90° dreht. Eine sehr bedeutende Steigerung der Intensität des Phänomens erzielt man dadurch, daß man den Objektträger samt dem darauf liegenden Flügelstück von der Seite des Beschauers her gegen das Fenster hebt. Farbiger Perlmutterglanz tritt dann an fast allen Schuppen auf, welche zugleich hell silberfarbig aufleuchten.

Ganz außerordentlich viel lebhafter ist noch der Silberglanz der die Unterseite namentlich der Hinterflügel zierenden Flecken bei *Dione Moneta* aus Columbien. Isoliert erscheinen die länglichen dicht gerippten Schuppen trocken im auffallenden Licht mit Zeiß A untersucht hell weiß mit prachtvолlem farbigen Perlmutterglanz. Bei einer und derselben Lage (— Schuppenachse parallel dem Fenster —) sind fast alle Farben vom Rot bis Blau in zartester Verteilung auf der Schuppenfläche vertreten. Dreht man den Objekt-tisch um 90° , so verdunkelt sich alles vollkommen. Im durchgehenden Lichte zeigen die Schuppen einen gelblichen Farbenton, werden aber auf Zusatz von Alkohol vollkommen farblos und glashell. Von Pigmentkörnchen ist in diesem Falle nichts zu bemerken, doch zeigen auch die

imbibierten Schuppen bei geeigneter Orientierung zur Lichtquelle noch einen deutlichen bläulichweißen Schimmer.

Viel seltener als Silberglanz findet sich bei Schmetterlingsschuppen wirklicher Goldglanz vertreten. Abgesehen von einigen Motten ist die Erscheinung am schönsten zu beobachten bei *Plusia chrysitis*, einer Noctuide aus *Anasia*. Hier erscheint eine breite Binde am Außenrande der Vorderflügel in typischer Goldfarbe und mit dem entsprechenden Glanze. Nur wenn man gerade senkrecht von oben darauf blickt verschwindet der Glanz, um bei schrägem Lichteinfall in jeder Lage des Flügels hervorzutreten. Die betreffenden Schuppen trocken untersucht zeigen im durchfallenden Lichte keine irgend ausgeprägte Farbe. Ich möchte sie am ehesten als bläulichgrau bezeichnen. Im auffallenden Lichte (Zeiß A) dagegen treten bei richtiger Orientierung (Schuppenachse parallel dem Fenster) hellgelbe Längsstreifen und Bänder an allen den Stellen einer Schuppe hervor, welche für die Totalreflexion von Seiten der eingeschlossenen Luft unter günstigem Winkel liegen. Beim Drehen des Objektisches um 90° verschwinden in der Regel alle Reflexe, um bei abermaliger gleichgroßer Drehung in derselben Richtung an der anderen Schuppenhälfte oder an anderen Schuppenstellen wieder aufzutauchen. Die Ursache für dieses Verhalten liegt offenbar in der besonderen Form der Schuppen. Zunächst ist jede Schuppe im Ganzen stark hohlziegelartig um ihre Längsachse gekrümmt und außerdem nach Art von Wellblech gefaltet.

Außerdem ist jede Schuppe von parallelen Rippen durchzogen, welche nun bei Betrachtung von oben her bei einer gewissen Einstellung nicht alle gleich deutlich gesehen werden können, da sie eben gruppenweise in verschiedenen Ebenen liegen (Fig. 4).

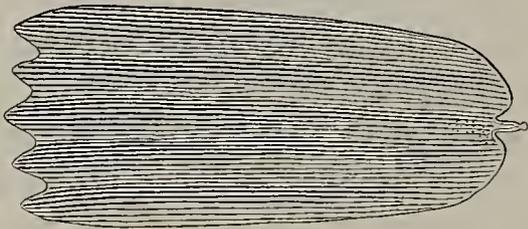


Fig. 4. Eine Schuppe von *Plusia chrysitis*.

Nach Zusatz von Alkohol erscheinen die Schuppen viel durchsichtiger und diffus blaßgelb gefärbt. Dieser Farbenton rührt nicht her von irgendwelchem körnigem Pigment, sondern kommt der Schuppensubstanz selbst zu und bewirkt im Verein mit der eingeschlossenen, das Licht unter günstigen Umständen total reflektierenden Luftschicht, den schönen Goldglanz.

Bei einer unserem Dukatenfalter nächstverwandten Art aus *Anasia Polyommatus Ochimus*, dessen Flügel das gleiche schöne Goldrot darbieten, sind die Schuppen ganz ähnlich gebaut und liegt der wesentlichste Unterschied nur in dem gesättigteren gelben Farbenton (canariengelb), welcher namentlich nach dem Benetzen mit Alkohol sehr schön hervortritt und ebenfalls einer diffusen Färbung (Pigmentierung) der Chitinlamellen zuzuschreiben ist. Im trockenen Zustande erscheinen die Schuppen dunkler gelb (mehr ockerfarbig) als nach Benetzung.

Eine sehr wesentliche Rolle spielt der Luftgehalt der Schuppen auch bei den blauen *Lycaeniden* (Bläulingen).

Lycaena Bellargus.

Orientiert man einen Flügel dieses hübschen einheimischen Bläulings auf einer dunklen Unterlage in der Nähe eines Fensters so, daß die Flügelwurzel nach dem letzteren hin gewendet liegt, so erscheint beim Aufblick gerade von oben her die Farbe schön himmelblau. Blickt man dagegen von der Zimmerseite her schräg auf die Fläche des Objektes, so nimmt das helle reine Blau mehr und mehr einen Stich ins Rötliche an und geht schließlich in Violett über. Umgekehrt ändert der Farbenton des Blau ins Grünliche, wenn man den Kopf aus der senkrechten Lage über dem Objekt nach der Lichtquelle

(dem Fenster zu) bewegt. Die Farbe schwindet bei schrägem Aufblick von der Flügelspitze her fast völlig und macht einem schmutzigen Grau Platz. Wird der Flügel so orientiert, daß seine Längsachse (Verbindungsline zwischen Wurzel und Mitte des Außenrandes) parallel zum Fenster verläuft, so sind die Farbenerscheinungen ähnlich wie im ersterwähnten Falle, nur ist die blaue Farbe nicht so strahlend hell. Die farbegebenden Schuppen liegen, wie auch die oben besprochenen Perlmutter-schuppen, über einem tief dunklen Grunde, welcher durch stark braun (schwarz) pigmentierte Schuppen erzeugt wird. Sowohl die „Farbensuppen“ wie die „Grundsuppen“ sind in regelmäßigen Parallelreihen geordnet und zwar so, daß die Wurzel der Schuppchen der Flügelwurzel zugewendet ist. Bei Anwendung einer stärkeren Vergrößerung (Zeiß D) kann man im durchfallenden Lichte leicht feststellen, daß sowohl die dunkelbraunen Grundsuppen wie auch die dann hellgelb erscheinenden Farbensuppen nicht horizontal flach aufliegen, sondern mit der Flügelsebene einen beträchtlichen Winkel bilden und zwar derart, daß die Schuppenwurzeln tiefer, die freien Ränder aber höher liegen. Infolgedessen fällt die Schuppenebene, wenn die Flügelwurzel vom Beobachter abgekehrt ist, schräg dachförmig nach dem Fenster zu ab. Die Farbenerscheinungen sind darnach leicht begreiflich. Die Schuppen leuchten nämlich unter diesen Umständen bei Anschluß allen durchfallenden Lichtes prachtvoll himmelblau, erscheinen dagegen fast farblos (blaugrau), wenn die Flügelwurzel dem Beschauer zugewendet liegt und die Schuppenebenen daher nach dieser Seite hin abfallen. In allen Zwischenlagen schimmern die Schuppchen mehr oder weniger blau.

Man erkennt schon bei schwacher Vergrößerung, daß das Blau nicht gleichmäßig über die Fläche der Schuppen verbreitet ist, sondern es gewähren dieselben ein Aussehen als wären sie mit einem lebhaft blau glänzenden Staub bedeckt. Zahllose dicht gelagerte Pünktchen oder Streifchen überdecken die Fläche jeder Schuppe. Wir werden später die Erklärung dieses Phänomens kennen lernen. Eine gewisse Enttäuschung bietet die Untersuchung mit dem Vertikal-Illuminator (Zeiß D). Die Schuppchen erscheinen dann wie übersät mit blaugrün glänzenden Flitterchen, die zwischen den parallelen Rippen in regelmäßigen Reihen geordnet sind. Doch ist die ganze Erscheinung nicht annähernd so farbenprächtig, wie bei schwacher Vergrößerung und Beleuchtung mit schräg auffallendem, vom Fenster kommenden Licht. Isolierte Schuppen erscheinen im durchfallenden Lichte gelbbraunlich, im auffallenden (Zeiß A) zeigen sie einen prachtvoll blauen Schiller und zwar in ganz ähnlicher breitstreifiger Verteilung, wie jene silber- und goldglänzenden Schuppen. Ist ihre Längsachse parallel zum Fenster gerichtet (also senkrecht zur Richtung der einfallenden Strahlen), so bemerkt man den blauen Schiller im Mikroskopbilde, hauptsächlich an der dem Beobachter zugekehrten Schuppenhälfte, d. h. also in Wirklichkeit an der dem Fenster zugewendeten Seite. Niemals erscheint unter diesen Umständen die ganze Schuppenfläche blauglänzend, wie es bei gewisser Lage des Flügels an den in situ befindlichen Schuppen immer der Fall ist. Dreht man aus der erwähnten günstigsten Lage den Objektisch um 90° so bleiben die Schuppen, auch wenn ihre Wurzel dem Fenster zugewendet ist, ganz dunkel. Der Umstand, daß der farbige Schiller der isolierten Schuppen immer vorwiegend auf der der Lichtquelle zugekehrten Hälfte bemerkbar wird, weist schon darauf hin, daß die Schuppen nach Art gekrümmter Dachziegel (Hohlziegel) um die lange Achse gebogen sind, wie es tatsächlich der Fall ist. Die Erscheinung erklärt sich daher in ganz gleicher Weise wie das helle Aufleuchten der in situ befindlichen Schuppen bei einer bestimmten Orientierung, aus dem schrägen Lichteinfalle.

Läßt man vom Rande des Deckglases her Alkohol zufließen, so ändert sich der Farbenton des Schillers sofort in Grün und auch im durchfallenden Lichte zeigen die

nun außerordentlich durchsichtigen, fast farblosen Schuppen einen unverkennbaren blaß rosensfarbigen Ton.

Mit dem Verhalten der isolierten Schuppen unter Alkohol steht es in Uebereinstimmung, daß auch ein ganzer Flügel in Alkohol unter denselben Bedingungen, wo er vorher (trocken) blau schillerte, nun grün erglänzt, wiewohl nicht annähernd so lebhaft. Ersetzt man später den Alkohol durch Wasser oder Glycerin, so ändert sich nichts an der Erscheinung. Immer kann man sich leicht davon überzeugen, daß der Farbenton des Schillers an einem ganz imbibierten und daher luftfreien Flügel, wie bei Käfern, mit dem Neigungswinkel der einfallenden Strahlen sich ändert und zwar in ganz demselben Sinne von Grün durch Blau zu Violett. Man braucht zu dem Behufe den stets untergetauchten Flügel nur mehr oder weniger gegen das vom Fenster her einfallende Licht zu heben, dann geht das Grün in ein prachtvolles Violett über.

Wie fast alle Schmetterlingsschuppen sind auch diese sehr deutlich und verhältnismäßig grob der Länge nach gerippt. Die dunkel pigmentierten Grundschuppen zeigen außerdem eine schon bei schwächerer Vergrößerung sehr scharf hervortretende Querstreifung der Zwischenrippenräume. Sehr schwer wahrnehmbar (nur mit starken Tauchlinsen bei guter Beleuchtung) ist diese Querstrichelung an den eigentlichen pigmentfreien Schillerschuppen. Die Unterschiede im Lichtbrechungsvermögen sind wenigstens an den in Flüssigkeit untersuchten Schuppen nur sehr gering und da auch alles Pigment fehlt, so ist die Struktur schwer zu erkennen.

Viel geeigneter fand ich *Lycaena Danis*, deren mehr längliche Schillerschuppen trocken untersucht hellgelb erscheinen. In dem Momente, wo man Alkohol zufließen läßt, werden die Schuppen im durchfallenden Lichte fast vollkommen farblos und lassen nun die Querstreifen zwischen den Rippen sehr schön erkennen.

Sehr interessant sind die Schillerschuppen einer *Lycaenide* aus Neu Guinea

Amblypodia Tamiris.

Der Schmetterling erscheint an der ganzen Oberseite glänzend blau; die Vorderflügel im geraden Aufblick mehr violett, die Hinterflügel, sowie der Hinterrand der Vorderflügel hell himmelblau. Blickt man schräg auf die Ebene der Flügel, so ändert sich der blauviolette Farbenton in ein gesättigtes Rotviolett, das Hellblau schlägt ebenfalls in Violett um, nur erscheint dieses entsprechend heller. Wie bei *Lycaena* sind die Farben am schönsten, wenn man den Flügel so orientiert, daß seine Wurzel dem Fenster zugekehrt ist. Die einzelnen Schuppen erscheinen trocken im durchfallenden Lichte orangerot, im auffallenden Lichte fehlt der blaue Schiller vollkommen und zwar bei jeder Lage der Schuppen, wenn dieselben in der Ebene des Objektisches liegen, höchstens Spuren von Blau treten hier und da hervor. Hebt man nun aber den Objektträger, so daß die Ebene der Schuppen nach dem Fenster zugeneigt liegt, so tritt sofort prachtvoller blauer Schiller auf, namentlich wenn die Schuppenachse von rechts nach links verläuft. Es sieht aus, als wären auf der an sich dunklen Oberfläche der Schuppen lauter kleine intensiv blau leuchtende Querstrichelchen parallel untereinander und senkrecht zur Schuppenachse gezogen. Infolge der viel gesättigteren und leuchtenderen Farbe gestaltet sich auch der merkwürdige Umschlag in Grün beim Benetzen mit Alkohol im vorliegenden Falle sehr viel auffälliger als bei den früher genannten *Lycaeniden*.

Bringt man einen Tropfen Alkohol auf einen der Flügel, so nimmt der benetzte Bezirk sofort eine schön goldgrün glänzende Färbung an und man erkennt mit der Lupe, daß jedes einzelne der vorher blauen Schüppchen nun glänzend gelbgrün erscheint. Im durchfallenden Lichte sehen solche

benetzte Schuppen immer mehr oder weniger stark rosenrot aus und sind zugleich sehr durchsichtig geworden. Pigment ist keines vorhanden. Man erkennt nun auch besser die eigentümliche Skulptur der Oberfläche, welche hier wie in den früheren Fällen als die Ursache der eigenartigen Verbreitung des Blau (resp. Grün) an den Schuppen bei günstigem Lichteinfall anzusehen ist.

Auch bei *Amblypodia* sind je zwei der an der Oberfläche vorspringenden Längsrippen durch Querbrücken verbunden, allein das Bild derselben ist wesentlich verschieden von dem bei den vorher besprochenen *Lycaeniden*. Nicht um schmale Querlinien oder Leisten wie dort handelt es sich, sondern vielmehr um breite, offenbar etwas erhabene Querbrücken, die aber sehr blaß erscheinen und durch dunklere etwas schmalere Querfurchen voneinander getrennt sind. Die ganze Skulptur tritt unter den gegebenen Verhältnissen nur sehr schattenhaft hervor und man muß genau zusehen, um sie überhaupt zu bemerken. Viel deutlicher ist alles im auffallenden Lichte, da hier die Reliefverhältnisse durch das strahlende Blau gewisser Partien und das tiefe Dunkel der Zwischenräume auf das schärfste markiert sind.

Den leuchtenden blauen Querlinien entsprechen offenbar hellere Querbrücken, welche meist über mehrere Zwischenrippenräume hin in einer Flucht verlaufen, so daß im durchfallenden Lichte die Schuppenoberfläche ein eigentümlich quer gebändertes Aussehen gewinnt. Noch deutlicher wird dies, wenn man homogene Immersionen anwendet; die Oberfläche jeder solchen Schuppe sieht dann im durchfallenden Lichte so aus, als wäre sie der Quere nach in lauter Fältchen gelegt, die vielfach nicht ganz gerade, sondern wellig gebogen verlaufen und außerdem durch die parallelen Längsrippen zwischen denen sich die obere Schuppenlamelle etwas vorbauscht, gewissermaßen unterbrochen werden (Fig. 5).



Fig. 5. Stückchen der Schuppenfläche von *Amblypodia Tamiris* bei starker Vergrößerung unter Wasser gesehen.

Richtet man sein Augenmerk mehr auf die dunkleren Partien der Schuppenoberfläche, so könnte man auch sagen, dieselbe erscheine mit in Längs- bzw. Querreihen geordneten graulichen Flecken auf hellem Grunde gezeichnet. Daß es sich nun wirklich um so komplizierte Niveaudifferenzen handelt geht auch daraus hervor, daß alle die Partien, die bei einer gewissen Einstellung dunkler erscheinen hell werden, wenn man den Tubus etwas hebt und umgekehrt. Am klarsten treten alle die geschilderten Strukturverhältnisse an solchen mit Wasser imbibierten Schuppen hervor, welche zufällig innerhalb des Bereiches einer Luftblase liegen, während an ganz frei schwimmenden Schuppen alles außerordentlich blaß, nur wie angedeutet erscheint.

Mit dieser verwickelten feineren Reliefzeichnung kombinieren sich nun noch gröbere Formverhältnisse, sowie eine besondere Anordnung der Schuppen in Bezug auf die Flügelebene. Man erhält darüber am besten Aufschluß, wenn man die Schuppen in situ, d. h. ein Flügelstück im auffallenden Lichte bei schwacher Vergrößerung (Zeiß A) betrachtet. Orientiert man einen Flügel zunächst so, daß seine Wurzel dem Fenster zugekehrt liegt (Lage I), so sind, wie mehrfach erwähnt, auch alle Schuppen in gleicher Weise gelagert. Ueberall erscheinen dann die Schuppen, wenn die Projektion ihrer Achse auf die Flügelfläche senkrecht zur Ebene des Fensters steht, helleuchtend, mit Ausnahme des vorderen Drittels, welches tief dunkel bleibt (Fig. 6). Die Farbe ist an den mit freiem Auge hellblauen Partien der Flügel eine schön silberblaue, an den violetten dagegen ein prachtvolles reines gesättigtes Blau. Es bleibe nicht unerwähnt, daß namentlich im Bereiche des violetten Teiles der Vorderflügel längs der Rippen

vereinzelt grün schillernde Schuppen vorkommen, deren Bau sich sonst nicht wesentlich von den blauen unterscheidet, doch sind sie merklich schmaler und länger. Wie sehr nicht nur die Reflexion an sich, sondern auch die Farbe des zurückgestrahlten Lichtes vom Einfallswinkel abhängt, zeigt sich unter anderem auch darin, daß an größeren Falten, welche die Flügelgrundmembran hier und da bildet, an Stelle



Fig. 6. Flügelstückchen von *Amblypodia* im auffallenden Licht; alle hellen Partien glänzend blau.

des reinen tiefen Blau der Schuppen auch bei mikroskopischer Beobachtung ein schönes gesättigtes Violett auftritt. Auf das allerdeutlichste überzeugt man sich, daß der farbige Schimmer von kleinen den Längsrippen entsprechend in Reihen geordneten Feldchen ausgeht, die durch ganz dunkle kurze Querlinien voneinander getrennt sind, kurz es ist genau dasselbe Bild (nur in entsprechend geringerer Vergrößerung) wie es oben von den imbibierten, fast farblosen Schuppen geschildert wurde. Besonders schön gestaltet sich die ganze Erscheinung an den dunkelblauen Schuppen der Vorderflügel. Bringt man nun den Flügel in eine gegen das Fenster geneigte Lage, so daß der dem Beschauer zugekehrte freie Außenwand gehoben wird, während die Flügelwurzel in der Ebene des Objektisches verbleibt, so ändert sich, wenn der Neigungswinkel etwa $50-45^{\circ}$ beträgt, das vorige Bild so zu sagen in sein Gegenteil, indem jetzt die Schuppenspitzen blau aufleuchten, die vorher hellen Partien aber verdunkelt erscheinen.

Dreht man, während sich der Flügel wieder wie anfangs in der Ebene des Objektisches befindet, diesen letzteren langsam in der Richtung der Uhrzeiger, so sieht man das Blau sich rasch mehr und mehr verdunkeln, aber nicht ganz gleichmäßig über die ganze Schuppenoberfläche, sondern es treten parallel der Schuppenachse abwechselnd dunkle und noch hell leuchtende, ziemlich breite Streifen auf, wie man es ähnlich auch an den goldglänzenden Schuppen von *Plusia Chrysis* sieht, wo wir die Erscheinung als den optischen Ausdruck einer welligen Längsfaltung kennen lernten. In der Tat handelt es sich auch im vorliegenden Falle um eine solche, die an den meisten Schuppen in großer Regelmäßigkeit auftritt und infolge der verschiedenen Reflexion an den Wellenrücken und in den Wellentälern unter den gegebenen Verhältnissen so scharf hervortritt. Ganz besonders deutlich ist die Erscheinung an den hellblauen Schuppen der Hinterflügel, wo man die abwechselnd dunkle und helle Streifung sogar schon vielfach in der ersten Schuppenlage (Achse senkrecht zum Fenster) erkennt (Fig. 6). Am auffallendsten macht sie sich aber immer dann bemerkbar, wenn die Schuppen aus ihrer ursprünglichen Lage nach rechts oder nach links um etwa 45° herausgedreht wurden. Dreht man noch weiter, so erlischt bei 90° , wo die Schuppenachse demnach parallel dem Fenster verläuft, an den meisten Schuppen die farbige Reflexion vollkommen, sie sehen schwarzbraun aus und an der Oberfläche macht sich höchstens ein leichter bläulicher Hauch bemerkbar. Während aber noch bei einer Winkellage von 45° das vordere Drittel der Schuppen ganz dunkel erschien, hat es sich nun aufgehellt und erscheint bereits merklich bläulich. Intensive blaue Reflexlichter treten hier aber erst dann auf, wenn bei weiterer Drehung des Tisches die Schuppen in eine der ersten gerade entgegengesetzte Lage gekommen sind, wenn nämlich die Schuppenwurzel dem Beschauer, der freie Rand dem Fenster zugewendet ist. Innerhalb des ganzen Bereiches der vorher dunklen Partie glitzern nun blasse Pünktchen auf, bis das Maximum der Reflexion bei weiterer Drehung um 45° (im Sinne des Uhrzeigers) erreicht ist. Dann leuchtet

das vordere Drittel der Schuppen intensiv blau, während der ganze Rest dunkel erscheint. Von da ab beginnt bei fortgesetzter Drehung auch wieder die Färbung des letzteren, während die des Vorderendes mehr und mehr abnimmt, bis schließlich dann, wenn die Schuppenachse wieder parallel dem Fenster läuft, das vordere Drittel bereits ganz dunkel geworden ist.

Wie bei den früher besprochenen *Lycaeniden* liegen auch hier die Schuppen nicht in der Ebene der Flügelmembran, sondern ihre freien Ränder stehen wesentlich höher als die Wurzeln, so daß die Schuppenebene schräg nach der Flügel-(resp. Schuppen-)Wurzel hin abfällt. Wäre diese Ebene völlig plan, so wäre nicht einzusehen, warum sie nicht in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmäßig blaues Licht reflektieren sollte, wenn sie gerade dem Fenster zugewendet ist. Da nun in diesem Falle das vordere Drittel, wie wir gesehen haben, dunkel bleibt, während es umgekehrt bei einer Drehung um 180° aufleuchtet und der Rest sich verdunkelt, so bleibt nur die eine Möglichkeit, daß die Schuppe im Bereich des vorderen Drittels nach hinten und unten umgebogen ist (Fig. 7). Es erklärt sich nun auch in einfachster Weise, warum beim Heben des Flügels um etwa 45° die Verteilung der Helligkeit nun gerade in ihr Gegenteil verkehrt wird, warum die Längsfalten der Schuppen am deutlichsten sichtbar sind, wenn die Schuppenachse mit der Symmetrieebene des Mikroskopes einen Winkel von 45° bildet u. s. w. Man kann sich dies alles sehr einfach veranschaulichen, wenn man ein nach Art eines Wellbleches gefaltetes rechteckiges Stück Papier im vorderen Drittel nach hinten unter einem nicht allzu stumpfen Knickungswinkel umbiegt und es nun in der beschriebenen wechselnden Weise wie eine in situ befindliche Schuppe gegen ein Fenster orientiert.

Wie die Reflexion farbigen Lichtes in augenfälligster Weise durch Lage und Form der Schuppen im ganzen beeinflusst wird, so ist andererseits auch die Verteilung von Licht und Dunkel innerhalb eines bei einer gegebenen Lage leuchtenden Bezirkes durch jene feinere Skulptur resp. die dadurch erzeugten Niveaudifferenzen der Schuppenoberfläche bedingt, welche im Vorhergehenden beschrieben wurden. Ein ganz ähnliches Verhalten zeigen auch die Schillerschuppen von *Myscelis Orsis*, einer Nymphalide aus Brasilien.

Könnte diese Deutung noch irgend zweifelhaft sein, so würde als zwingendster Beweis ihrer Richtigkeit das Verhalten der Schillerschuppen einer kolumbischen *Lemoniide*:

Diorhina Perianda

gelten müssen.

Der Schmetterling gleicht in seiner Form im kleinen etwa unserem Schwalbenschwanz. Die Vorderflügel erscheinen dunkelblau bis auf den schwarzen Außenrand, die Hinterflügel sind ebenso gefärbt, nur tragen sie am Innenrande noch 2 zinnoberrote Flecken. Blickt man, mit dem Rücken nach dem Fenster stehend, schräg auf die Vorderflügel hin, während der Leib (die Längsachse) des Tieres parallel zum Fenster gerichtet ist, so erscheint das Blau auf beiden Flügeln aber sehr viel lebhafter und glänzender an dem, der vom Beschauer abgewendet ist. Dreht man sich nun um, so daß man nach dem Fenster hinblickt, so ist der blaue Schiller so gut wie ganz verschwunden und fehlt wirklich vollkommen, wenn man sehr schräg auf die Flügelfläche hinsieht. Ganz genau dieselben Erscheinungen wiederholen sich, wenn man den Versuch wiederholt, während der Leib des Schmetterlings senkrecht zur Ebene des Fensters steht. Stellt man sich nicht gerade vor- oder rückwärts, sondern seitlich zum

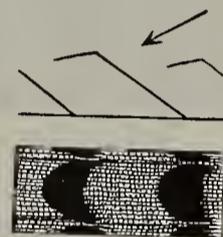


Fig. 7. Schematische Darstellung der Schuppenform und Lage auf der Flügelebene. (Einfallrichtung des Lichtes durch den Pfeil markiert).

Fenster und hält den Schmetterling wieder gerade vor sich in Kopfhöhe, so gewinnt das Blau einen sehr deutlichen Stich ins Violette.

Orientiert man nun einen Flügel auf dem Objektisch eines Mikroskopes so, daß er wieder wie im vorigen Falle die Lage I einnimmt, d. h. die Wurzel dem Fenster, der freie Rand dem Beschauer zugewendet liegt, so bietet sich bei schwacher Vergrößerung im auffallenden Lichte ein auf den ersten Blick sehr überraschendes, zierliches Bild dar (Fig. 8). Man sieht nämlich jeder einzelnen Schuppe entsprechend ein schmales, intensiv blau leuchtendes Querband und da die Schuppen in regelmäßigen Querreihen geordnet sind, so erscheinen auch die blauen Binden in gleicher

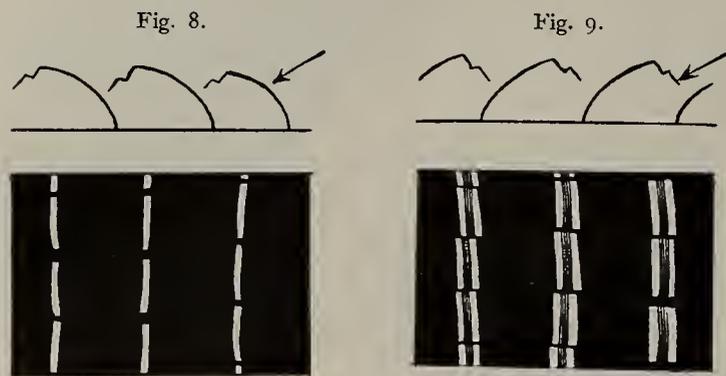


Fig. 8. *Diorhina Perianda*. Flügelstückchen im auffallenden Licht gesehen (Lage I). Die weißen Linien leuchtend blau. Darüber Schema der Schuppenlage und Form. Lage der Schuppen wie in Fig. 7.

Fig. 9. *Diorhina Perianda*. Dasselbe Präparat nach Drehung um 180° .

Anordnung, eine an die andere sich anschließend. Alles andere ist vollkommen dunkel. In der Regel verlaufen diese Querbinden nicht genau in der Richtung von rechts nach links, sondern erscheinen etwas schräg geneigt. Beginnt man dann den Objektisch in der Richtung des Uhrzeigers zu drehen, so ändert sich zunächst nichts an der Erscheinung und nur eine unwesentliche Verdunkelung des Blau macht sich bemerkbar, wenn die Drehung 90° erreicht hat und die Querbinden daher nahe parallel der Symmetrieebene des Mikroskopes verlaufen. Bei weiterer Drehung tritt dann aber sehr bald vor jeder blauen Binde eine zweite, genau parallel, sonst aber von gleicher Beschaffenheit aus dem Dunkel auf, wodurch die Zierlichkeit des so auffallenden mikroskopischen Bildes noch wesentlich gesteigert wird. Die Helligkeit beider durch einen ziemlich breiten tief dunklen Zwischenraum getrennten Querbinden erreicht ihr Maximum, wenn die Drehung 180° erreicht hat, d. h. wenn die Schuppenwurzeln dem Beobachter, die freien Ränder der Lichtquelle zugewendet sind. Hat die Drehung endlich 270° erreicht, so erscheint das zweite Querband schon wieder merklich verblaßt und schließlich von dem ersten immer weiter nach der Schuppenspitze hin abrückend bei etwa 315° nur noch blaß angedeutet, um endlich gänzlich zu erlöschen. Bei keiner Lage der Schuppen erscheint eine größere Fläche derselben unter den angegebenen Bedingungen leuchtend. Auch selbst dann nicht, wenn man ein Flügelstückchen aus beliebiger Stellung durch Heben des Objektträgers in eine gegen das Fenster hin mehr oder weniger steil abfallende Lage bringt. Immer sieht man entweder eine oder 2 blaue Querbinden, die, aber immer nur teilweise, verschmelzen, also eine Art von breitem Ring bilden, wenn man einen Flügel, der ursprünglich horizontal in der Lage I sich befand, durch Heben des freien Randes in eine sehr stark geneigte Stellung bringt. Die anfangs einfache Querbinde verdoppelt sich bald und schließlich entsteht eine blaue Fläche mit einem dunklen Zentrum.

Um zu einer Erklärung dieser so auffallenden Reflexionsphänome zu gelangen, erscheint es vor allem notwendig, die Formverhältnisse der Schuppen genau festzustellen, sowie ihre Lage gegen die Flügelebene zu bestimmen. Untersucht man ein Flügelstückchen im durchfallenden Lichte, so erkennt man zunächst, daß die ganze Schuppenbekleidung der Flügel wieder wie in allen früheren Fällen aus 2 Lagen besteht: Grundschuppen und Deckschuppen, welche letztere allein den farbigen Schiller erzeugen.

Die ersteren sind, wie man an allen Stellen sieht, wo die Deckschuppen fehlen, viel weniger dunkel pigmentiert als diese, welche tief schwarz erscheinen, und wir begegnen daher hier zum erstenmal einem Fall, wo die Schillerschuppen selbst pigmentiert sind. Es ist klar, daß dadurch das für den vollen optischen Effekt so notwendige tiefe Schwarz als Hintergrund der schillernden Interferenzfarben in größter Vollendung geschaffen wird. Ueberall nun, wo Deckschuppen (Schillerschuppen) mehr vereinzelt angetroffen werden, erkennt man auf dem hinreichend durchscheinenden Grunde ganz deutlich, daß jede einzelne derartige spatelförmige Schuppe bogenförmig gekrümmt ist und daß speziell das vordere Drittel mit einem plötzlichen Knick nach hinten und unten umbiegt. Das erste blaue Querband, welches infolge der äußerst starken Pigmentierung der Schuppen auch bei durchfallendem Lichte immer zu sehen ist, entspricht jener Partie der konvex gekrümmten Schuppenoberfläche, welche unmittelbar vor der Knickungsstelle (von der Schuppenwurzel aus gerechnet) gelegen ist. Wiewohl mit Ausnahme des blauen Querbandes die ganze Schuppe in I. Lage (Wurzel nach dem Fenster hin gerichtet) tief dunkel erscheint, so zeichnet sich doch das abgelenkte Vorderende durch ein besonderes tiefes Schwarz aus. Die Formverhältnisse dieses Schuppenabschnittes lassen sich daher unter diesen Umständen auch gar nicht erkennen.

Es ist zu diesem Zweck erforderlich, völlig isolierte Deckschuppen in durchfallendem Lichte zu untersuchen oder noch besser Längsschnitte anzufertigen, was nach entsprechender Einbettung ganz gut gelingt. Man überzeugt sich dann, daß auch das hakenförmig umgebogene vordere Drittel der im ganzen stark konvex nach oben (resp. nach der Flügelwurzel hin) gekrümmten Schillerschuppen noch zweimal der Quere nach geknickt ist, so wie es etwa die Fig. 8 u. 9 darstellten, worin die horizontale, verbindende Linie der Flügelmembran entspricht. Eine Schuppe von *Amblypodia* würde dagegen unter gleichen Verhältnissen im Längsschnitt ein Bild geben wie Fig. 7.

Macht man sich aus einem Blatt Briefpapier ein entsprechendes Modell zurecht, so ist es leicht alle im Vorstehenden geschilderten Erscheinungen sich sozusagen im Groben vor Augen zu führen, indem man die Verteilung von Licht und Schatten studiert, während man das Modell in verschiedener Weise zum Fenster orientiert, gerade wie es oben in Bezug auf die Schuppen selbst beschrieben wurde. Man erkennt so auch leicht, wann und warum in gewissen Lagen zwei Querländer, in anderen nur eines auftritt, und warum bei keiner Lage größere Flächen aufleuchten. Nur unter gewissen besonderen Beleuchtungsbedingungen kann es geschehen, daß auch der nicht abgelenkte Schuppenteil blaues Licht reflektiert und zwar fast in seiner ganzen Ausdehnung. Es ist dies dann der Fall, wenn auf einen Flügel in Lage I direktes Sonnenlicht auffällt, welches durch einen mit Seidenpapier überspannten Holzrahmen gemildert wird.

Aus Allem aber ergibt sich, daß nicht nur für die Farbe, sondern auch für die Intensität des reflektierten Lichtes der Winkel, unter welchem die Strahlen die Schuppenoberfläche treffen, von der allergrößten Bedeutung ist und daß schon sehr geringe Niveau-Differenzen der Schuppenfläche genügen, um die Reflexionserscheinungen wesentlich zu schwächen oder zu verstärken.

Unter den mir zur Verfügung stehenden Schmetterlingen fand ich nur noch zwei, bei welchen ähnliche Form- und Lageverhältnisse der Schuppen vorlagen wie bei *Diorhina*. Es war das ebenfalls eine *Lemoniide*, *Lyropteryx lyra* aus St. Catharina (Brasilien) und eine *Lycanide* aus Amboina *Hypochrysops Anacletus*.

Der Bau und das optische Verhalten der grünblau schillernden Deckschuppen des erstgenannten Falters hält sozusagen die Mitte zwischen *Amblypodia* und *Diorhina*. Sie sind an den sonst gleichmäßig blauschwarzen Flügeln in Form schmaler, dem Verlauf der Rippen folgender Streifen längs des Außenrandes angeordnet und erscheinen wieder am lebhaftesten schillernd, wenn man schräg auf die Flügelebene herabblickt, indem man mit dem Rücken dem Fenster zugekehrt den Schmetterling so hält, daß die Längsachse des Körpers parallel zum Fenster verläuft. Auch hier ist der Schiller viel lebhafter an dem vom Beschauer abgewendeten als an dem zugewendeten Flügel. Hält man einen Flügel vor dem Fenster sitzend in Lage I mit dem freien dem Beschauer zugekehrten Außenrande etwas nach abwärts geneigt, so ist der Schiller ebenfalls sehr lebhaft und zeigt eine gelbgrüne Farbe. Nähert man dann den Flügel allmählich der Horizontallage, so ändert sich die Farbe durch Grün, Blau bis zu Violett, wobei der Glanz mehr und mehr abnimmt.

Untersucht man nun im durchfallenden Lichte (Zeiß A), so tritt, da die Deckschuppen über einer verhältnismäßig schwach pigmentierten und daher recht durchscheinenden Lage von Grundschuppen ziemlich vereinzelt stehen, ihre Form und Lage auf den ersten Blick überaus klar hervor. Man erkennt, daß es sich wieder um schmale langgestreckte Gebilde von der Form eines Spatels handelt, deren vorderer Abschnitt scharf nach hinten und unten umgebogen ist. Derselbe erscheint daher, da er vom Lichte abgewendet ist, in der ersten Schuppenlage tief dunkel. Die Grenze der Knickung ist durch ein gelbgrün schillerndes Querband markiert, welches infolge der ziemlich starken Pigmentierung der Schuppen auch im durchfallenden Lichte schon sichtbar wird (Fig. 10 u. 11).

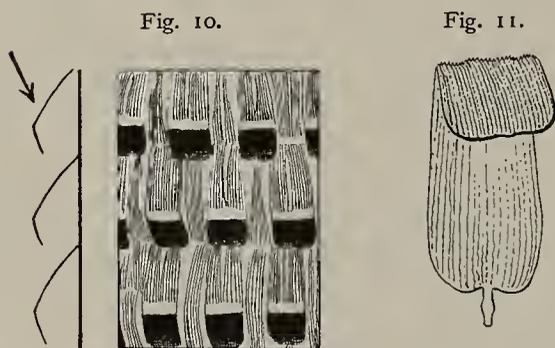


Fig. 10. *Lyropteryx lyra*. Flügelstückchen im durchfallenden Licht. Das helle Querband gelbgrün, der schraffierte Basalteil blau, die umgebogenen Vorderenden dunkel. Daneben Schema der Schuppenlage und Form.

Fig. 11. *Lyropteryx lyra*. Eine einzelne Schuppe.

Der Rest der Schuppenoberfläche schillert namentlich nach der Wurzel hin grünblau bis blau. Hier und da finden sich auch Schuppen, deren Lage es bedingt, daß die ganze dem Lichte zugewendete schräg abfallende Schuppenfläche tiefblau leuchtet. Immer ist die Reflexion an der Grenze der Umknickungsstelle am stärksten, sonst aber verhältnismäßig schwach. Man kann sie außerordentlich verstärken, wenn man den Objektträger, auf welchem sich der Flügel in Lage I befindet, so hebt, daß die Flügelwurzel höher zu liegen kommt und daher das Licht die unteren Partien der Schuppenfläche schräger trifft.

Dreht man den Objektisch um 180° , so rückt das grün glänzende Querband scheinbar immer weiter nach vorn und schließlich begrenzt es hier die Schuppe, d. h. es leuchtet nur noch ein dem oberen Rande des umgeknickten etwas konvex gekrümmten Schuppenanteils entsprechender Streifen. Alles übrige erscheint vollkommen verdunkelt. Ich glaube nicht, daß es nötig ist, eine genauere Erklärung aller dieser Erscheinungen zu geben, denn sie folgt unmittelbar aus den geschilderten Form und Lageverhältnissen.

Am meisten verwickelt gestalten sich die Reflexionsphänomene bei

Hypochrysops Anacletus (Amboina).

Der Falter erscheint mit Ausnahme der Spitzen der Vorderfläche prachtvoll violett, wenn man von oben auf ihn heruntersieht, oder wenn man mit dem Rücken dem Fenster zugekehrt schräg auf die Ebene der Flügel blickt; indem man die Längsachse des Körpers parallel zum Fenster orientiert.

Dreht man sich dann mit dem Gesicht nach dem Fenster hin, so verschwindet der farbige Schiller vollkommen und macht einem schmutzigen Graubraun Platz. Im auffallenden Lichte mit Zeiß A untersucht, erscheinen die Deckschuppen in Lage I (Flügelwurzel nach der Lichtquelle gerichtet) an den Hinterflügeln genau wie bei *Diorhina* durch ein schmales glänzend violettes Querband markiert, welches bei Drehung etwa um 90° in 2 schräg gestellte, etwas bogig gekrümmte längliche Flecken auseinanderweicht, so daß der dunkle sie trennende Zwischenraum wie eine spaltförmige Pupille aussieht. Etwas anders gestaltet sich die Erscheinung an den Vorderflügeln. Hier erkennt man an geeigneten Stellen ganz deutlich, daß die betreffenden Schuppen, welche wie bei *Diorhina* gekrümmt und geknickt sind, außerdem noch eine ganz besondere Lage in Bezug auf die Flügelebene besitzen. Ihre Querachse verläuft nämlich nicht wie in jenem Falle parallel zur Ebene der Flügelmembran, sondern ist gegen dieselbe beträchtlich geneigt und zwar kopfwärts in der Richtung von hinten nach vorn, so daß in der Lage I nur ein seitlicher etwa dreieckiger Bezirk der Schuppenfläche vom Lichte unter günstigem Einfallswinkel getroffen wird. Dreht man den Objektisch um 180° in der Richtung des Uhrzeigers, so treten jetzt, wie bei *Diorhina* unter gleichen Umständen je 2 blaue Querbinden in der Nähe des Vorderendes auf, um bei weiterer Drehung um 90° wieder völlig zu erlöschen. Die Schuppen sehen dann ganz dunkel aus.

Da es sich um ein ohnedies etwas beschädigtes Exemplar handelte, welches ich schonen mußte so war ich nicht in der Lage, isolierte Schuppen zu untersuchen, glaube aber, daß man schon aus dem Verhalten, der in situ befindlichen Schuppen im auffallenden Lichte mit genügender Sicherheit auf ähnliche Formverhältnisse wie bei *Diorhina* schließen darf. Der Unterschied beruht im wesentlichen auf der auch so schon leicht zu konstatierenden seitlichen Schrägstellung der Schuppen.

Erwähnt sei nur noch, daß zu diesen an sich schon so komplizierten Form- und Lageverhältnissen der reflektierenden Schuppenfläche als weiteres nicht unwesentliches Moment auch noch eine wellblechartige Faltung parallel der Längsachse hinzukommt, wie mit Sicherheit aus den abwechselnd dunklen und hellen Längsstreifen hervorgeht, welche innerhalb der leuchtenden Partien bei gewissen Schuppenlagen immer sehr deutlich hervortreten.

Den äußersten Grad des Glanzes und der Sättigung erreichen die Schillerfarben ohne allen Zweifel bei gewissen tropischen Papilioniden und namentlich bei den Morphiden. Ich habe denselben daher auch besondere Aufmerksamkeit zugewendet, muß aber bekennen, daß ich die vorher besprochenen Fälle in vieler Beziehung lehrreicher und interessanter gefunden habe. Ich will gleich mit einem der prächtigsten schillernden Schmetterlinge beginnen, mit dem brasilianischen

Morpho Cypris.

Orientiert man den in wundervollem Atlasblau strahlenden Schmetterling so in der Nähe eines Fensters, daß das linke Flügelpaar genau in einer Horizontalebene liegt und mit dem freien Außenrande vom Fenster abgewendet ist, der Leib des regelrecht gespannten Falters aber der Ebene des Fensters parallel verläuft, so erscheint die Oberfläche der betreffenden Flügel völlig glanzlos bräunlich. Die Flügelachsen (ich verstehe darunter Linien, welche man sich von der Flügelwurzel je nach der Mitte des Außenrandes gezogen denkt) bilden dann mit der Körperachse etwa einen Winkel von 45° . Dreht man nun den Schmetterling um 90° in der Richtung des Uhrzeigers, während man immer auf den Kopf der Nadel, an der er gespießt ist, gerade herunter blickt, so erscheint über der ganzen Fläche gleichmäßig ver-

breitet ein strahlendes Blau, während die 2 weißen Fleckenbinden auf den Flügeln sich mit einem rosenroten Hauch überziehen. Nach Drehung um 180° ist der farbige Glanz wieder völlig verschwunden, um bei 270° neuerdings aufzutauchen. Ich will zur besseren Verständigung diese 4 Lagen des Schmetterlings, in welchen er zweimal hell und zweimal dunkel erscheint, als Lage I, II, III und IV bezeichnen. Dreht man bei Lage I den Falter um die Längsachse seines Körpers derart, daß der Außenrand der dem Beschauer zugewendeten Flügel sich hebt, die Flügelflächen also nach dem Fenster hin schräg abfallen, so tritt sehr bald das gleiche Atlasblau hervor, wie bei Drehung in der Horizontalebene um die Nadel als Achse. Wenn die Flügelebenen mit der Horizontalebene einen Winkel von etwa 45° bildet, erlischt das helle glänzende Blau und an seine Stelle tritt dann ein dunkles gesättigtes aber mattes Violett, während sich die weißen Querbinden blaßgelb färben. Dabei ist immer vorausgesetzt, daß der Kopf des Beobachters in gleicher Lage, d. h. senkrecht über dem Leib des Schmetterlings bleibt. Bei sehr schräger Neigung des betreffenden Flügelpaares erlischt auch das Violett und es tritt wieder jenes matte Braunschwarz an seine Stelle. Das rechte Flügelpaar, welches also in Lage I die Außenränder dem Fenster zuwendet, zeigt bei allen den geschilderten Lageveränderungen immer gleichzeitig genau dieselben Farbenerscheinungen wie das linke.

Daraus ergibt sich unmittelbar, daß Lage I und III in jeder Hinsicht als identisch gelten können. Dasselbe gilt andererseits auch von Lage II und IV. Wird in diesem letzteren Falle der Schmetterling um die Querachse seines Körpers gedreht, so daß einmal der Kopf, das andere Mal der Hinterleib nach dem Fenster hin gehoben wird, so gewinnt das Blau einen mit zunehmender Neigung der Flügelebenen zunächst immer deutlicher hervortretenden Stich ins Grünliche, der erst bei sehr starker Schrägstellung wieder ins Violett umschlägt.

Ganz ähnlich wie im geraden Aufblick unter den vorher angegebenen Bedingungen verhält sich der Schmetterling in den genannten 4 Lagen auch dann, wenn man ihn, mit dem Rücken dem Fenster zugekehrt, in Kopfhöhe vor sich hält und schräg darauf blickt. Dreht man sich dann mit dem Gesicht nach dem Fenster hin, so erscheinen die Flügel bei gleichem schrägen Aufblick in allen 4 Lagen violett, besonders intensiv aber und sogar mit einigem Glanz in Lage I und III. Hält man in einer dieser beiden Lagen den Schmetterling immer tiefer, so geht das Violett allmählich in glänzendes Blau und schließlich Grünlichblau über.

Sehen wir nun zu, wie sich die schillernden Deckschuppen in situ bei mikroskopischer Beobachtung im auffallenden Lichte verhalten. Ganz in Uebereinstimmung mit dem Aussehen des Schmetterlings bei Betrachtung mit bloßem Auge erscheinen die verhältnismäßig großen schaufelförmigen Deckschuppen, welche, wie bei *Amblypodia*, an sich dunkel pigmentiert sind und außerdem noch über den gleichfalls dunklen Grundschuppen ausgebreitet liegen, völlig glanzlos und dunkel, wenn man bei möglichst genauer Horizontallage des Flügels, der sich auf dem Objektisch in I. Lage befindet, mit schwächeren Vergrößerungen (Zeiß A) untersucht. Die Schuppen befinden sich dann ebenfalls in I. Lage, d. h. ihre Längsachse steht zur Ebene des Fensters senkrecht und ihre Wurzeln sind diesem zugewendet. Dreht man nun um etwa 45° in der Richtung des Uhrzeigers, so leuchten die Schuppen auf, und zwar strahlt die in Wirklichkeit dem Fenster zugewendete Hälfte (im mikroskopischen Bilde natürlich umgekehrt) grünliches, die andere blaues Licht aus. Das Maximum der Helligkeit des dann einfarbig blauen Reflexlichtes tritt ein, wenn der Flügel in die II. Lage gekommen ist und die Schuppenachse daher parallel dem Fenster verläuft. Wieder fällt wie in früheren Fällen auf, daß das Blau nicht gleichmäßig über die Fläche einer Schuppe verteilt ist, sondern in Form von überaus

deutlichen, der Schuppenachse parallelen Stricheln und Streifchen auftritt, welche durch tiefdunkle Zwischenräume voneinander getrennt sind. Man wird also auch hier wieder ein besonderes Relief der Schuppenoberfläche annehmen müssen, durch welches Niveauunterschiede bedingt werden, die ihrerseits wieder den Einfallswinkel des Lichtes beeinflussen.

Da ein trockener Flügel häufig nicht ganz eben ist, sondern leichte Faltenbildungen an dieser oder jener Stelle auftreten, und da andererseits der Farbenton des reflektierten Lichtes wesentlich von der Größe des Einfallswinkels abhängt, so wird es erklärlich, daß bei Durchmusterung einer größeren Fläche immer Stellen gefunden werden, wo die Schuppen entweder ganz oder wenigstens teilweise und dann immer in der vom Fenster abgewendeten Hälfte einer konvexen Falte violett gefärbt erscheinen, wenn der Flügel sich in II. oder IV. Lage befindet. Namentlich schön habe ich diese Erscheinung bei dem sich im übrigen in allen Punkten ganz gleich verhaltenden *Morpho Rhetenor* (Brasilien) gefunden. In Bezug auf die Lage der Schuppen zur Flügelebene ist vor allem hervorzuheben, daß sie gegen dieselbe nicht wie in allen früheren Beispielen geneigt sind, sondern horizontal (wiewohl nicht flach) aufliegen. Dies geht schon daraus hervor, daß man bei einer und derselben Einstellung die Details auf der ganzen Oberfläche gleich deutlich erkennt, während man dort den Tubus merklich und oft beträchtlich heben mußte, um die Spitze bezw. die dieser zunächst gelegenen Bezirke scharf zu sehen.

Ueber die Form der einzelnen Schuppe erhält man den besten Aufschluß, wenn man mittels einer Konvexlinse das Licht eines Auerbrenners von der Seite her auf einen in I. Lage befindlichen Flügel fallen läßt und mit Zeiß C beobachtet. Die Schuppen zeigen dann mit Ausnahme des äußersten, von der Flamme abgewendeten Randes grünlichen Schiller und heben sich sehr plastisch vom Grunde ab. Man erkennt mit größter Deutlichkeit, daß jede einzelne Deckschuppe etwa wie ein Hohlziegel geformt, d. h. um ihre Längsachse flach gebogen ist.

Die Form ihres Querschnittes würde demgemäß etwa so aussehen: .

Da es nun, wie aus allen vorhergehenden Beispielen ersichtlich wird, für das Auftreten von Schiller bei geradem Aufblick erforderlich ist, daß die reflektierende Fläche gegen das einfallende Licht geneigt liegt, gerade wie eine Glasplatte kein Licht ins Auge spiegelt, wenn sie in der Nähe des Fensters auf dem Tische liegt und man gerade von oben darauf herunter sieht, so wird sofort klar, warum im vorliegenden Falle die Schuppen ganz dunkel bleiben, wenn sich der Flügel in Lage I oder III befindet, dagegen in maximaler Helligkeit leuchten, wenn Lage II oder IV gegeben ist. Es wird verständlich, warum in diesem letzteren Falle fast die ganze Schuppenfläche leuchtet mit Ausnahme eines Randbezirkes der vom Lichte abgewendet ist, denn infolge der relativ flachen Wölbung wird jede Schuppe fast in ihrer ganzen Ausdehnung von wirksamen Strahlen getroffen, deren Einfallswinkel um so größer wird, je weiter der betreffende Punkt vom Fenster abliegt.

Desgleichen lassen sich alle Aenderungen im Farbenton des reflektierten Lichtes leicht verstehen, vor allem die Beimischung von Grün, wenn man die Flügelebene in Lage II oder IV aus der Horizontallage nach dem Fenster zu neigt, denn hierbei werden die Einfallswinkel verkleinert. Im umgekehrten Falle entsteht Violett, welches den höchsten Grad der Intensität erreicht, wenn man bei Lage I oder III sehr schräg auf die Flügelebene blickt, so daß nur Strahlen ins Auge gelangen, welche unter sehr großen Einfallswinkeln gespiegelt werden.

Von Interesse sind auch die Erscheinungen, wie sie sich mit dem Vertikal-Illuminator bei Anwendung stärkerer Vergrößerungen (Zeiß D) darbieten. Auch hier machen sich je nach der

Lage der Schuppen in der Ebene des Objektisches, sowohl bezüglich der Intensität wie hinsichtlich der Farbe des reflektierten Lichtes ganz auffallende Unterschiede bemerkbar.

Befindet sich das Flügelstückchen mit seiner natürlichen Beschuppung unter dem Mikroskope in Lage I oder III, steht demnach die Schuppenlängsachse senkrecht zur Ebene des Fensters, so ist die Intensität des reflektierten Lichtes am geringsten, seine Farbe gelbgrün mit wenig zwischenliegendem Blau. Die streifige Anordnung der Farben ist außerordentlich deutlich; stellenweise leuchten kleine Streifen in hellgelbgrüner Farbe auf. Bringt man dagegen die Schuppen in Lage II oder IV, wobei ihre Längsachse dem Fenster parallel verläuft, so erscheinen sie sehr hell und leuchten in schön himmelblauer Farbe. Die durch nach oben vorspringende Rippen erzeugte Kanellierung der Schuppenoberfläche tritt dann überaus deutlich hervor. Obschon fast die ganze Fläche gleichmäßig blau erscheint, bemerkt man doch immer noch hier und da vereinzelt hell gelbgrüne Strichelchen. Ich kann nicht zweifeln, daß diese Verschiedenheiten in Helligkeit und Farbe hier zum Teil mit auf jene Niveaudifferenzen zurückzuführen sind, welche durch die feinere Skulptur der Schuppenoberfläche bedingt werden.

Benetzt man ein Flügelstückchen von *Morpho* mit Alkohol, so ändert sich, wie es auch schon früher bei anderen blau schillernden Schmetterlingen beschrieben wurde, momentan die Schillerfarbe und es tritt ein prachtvolles Goldgrün hervor von ganz ähnlichem Farbenton und Glanz wie an den Flügeldecken so vieler Käfer. Durch einfaches Trocknen läßt sich jederzeit das ursprüngliche Blau wieder herstellen. Sehr prächtig gestaltet sich der Anblick eines solchen Alkoholpräparates bei schwacher Vergrößerung (Zeiß A) im auffallenden Lichte. An Stelle des glänzenden Blau tritt nun bei Lage II und IV der Schuppen ein intensives Grün, welches auch dann bestehen bleibt, wenn man den Alkohol durch Wasser oder Glycerin ersetzt. Im durchfallenden Lichte sehen dann die Deckschuppen, welche an vielen Stellen ganz allein vorhanden sind, hell ockergelb aus. Die Grundsuppen sind bei *M. Cypris* schmal und gestreckt und verlaufen schräg zu den Deckschuppen. Wählt man zur Benetzung stärker lichtbrechende Flüssigkeiten, so wird die Reflexion grünen Lichtes in den geeigneten Lagen immer schwächer und schwächer. So ist der grüne Schiller schon bei Anwendung von Chloroform viel weniger lebhaft und erscheint in Benzol fast, unter Schwefelkohlenstoff völlig erloschen.

Weitere wertvolle Aufschlüsse lieferte die Untersuchung des aus Columbien stammenden wundervollen

Morpho Sulkowskyi.

In Bezug auf die Bedingungen des Hervortretens resp. Schwindens der blauen Schillerfarbe besteht völlige Uebereinstimmung mit den beiden eben besprochenen Arten. In I. und III. Lage erscheinen die Flügel unter gleichen Bedingungen wie früher ganz blaß ockergelb, sie sind aber so durchsichtig, daß im geraden Aufblick die dunkleren Augen und Bindenzeichnungen der Unterseite durchschimmern und in allen Einzelheiten wie durch einen zarten gelben Schleier sichtbar sind. In Lage II und IV erglänzt dagegen die ganze Oberfläche aller 4 Flügel in hellem Himmelblau, so daß von der Unterseite nichts mehr zu sehen ist. Unter denselben Bedingungen, wo bei *M. Cypris* und *M. Rhetenor* dunkelviolet hervortritt, zeigt sich im vorliegenden Falle ein zartes aber sehr glänzendes und gesättigtes Hellviolett (Lila).

Untersucht man einen Flügel im auffallenden Tageslicht mit Zeiß A, so erscheinen in Lage I und III die Deckschuppen völlig glanzlos; man erkennt durch sie hindurch die wieder schräg gekreuzt verlaufenden schmalen dunkleren Grundschruppen. In Lage II und IV leuchten die ersteren auf, aber weder die Intensität noch die Farbe des reflektierten Lichtes ist über die ganze Schuppenfläche gleichmäßig verteilt. Vielmehr erkennt man, daß diese in zierlichster Weise mit violetten und grünblauen Strichelchen übersät ist, die sämtlich parallel der Längsachse verlaufend offenbar den Rippen und deren Zwischenräumen folgen. Das Violett gewinnt die Vorherrschaft an dem vom Fenster abgewendeten Schuppenrande, hier und da erscheint dieser Teil der Schuppen ganz einfarbig violett.

Warum erscheinen nun bei *M. Cypris*, die gewissermaßen den Grund bildenden Strichelchen ganz dunkel schwarz, hier aber violett?

Eine Antwort auf diese Frage kann wieder nur eine vergleichende Untersuchung der Form und vor allem der Lage der Deckschuppen zur Flügelebene geben. Schon bei Betrachtung mit bloßem Auge kann man sehen, daß in Lage II und IV von zufälligen konvexen Falten der Flügel violettes Licht ausstrahlt und zwar auf der Zimmerseite, was leicht begreiflich wird, wenn man berücksichtigt, daß alle Strahlen, welche die vom Fenster abliegende Faltenwand, deren Ebene also nach der Zimmerseite hin schräg abfällt, noch treffen, einen größeren Einfallswinkel besitzen als die übrigen und daher die dort befindlichen Schillerschruppen gewissermaßen streifend beleuchten. Was nun vom ganzen Flügel gilt, das gilt offenbar auch für jede einzelne Schuppe, wenn dieselbe, wie es wirklich der Fall ist, konvex um ihre Längsachse gekrümmt und außerdem an der Oberfläche von erhabenen Rippen durchzogen ist, zwischen welchen mehr oder weniger tiefe Furchen liegen.

Fältelt man ein rechteckiges Blatt Briefpapier nach Art eines Fächers, aber so daß alle einzelnen möglichst zahlreichen und schmalen Falten untereinander und den langen Seiten des Rechteckes parallel verlaufen, so hat man gewissermaßen ein rohes Schuppenmodell vor sich. Gibt man nun demselben noch eine entsprechende konvexe Krümmung um eine Längsachse, so daß es die Form eines Hohlziegels gewinnt, so kann man sich bei geeigneter Beleuchtung und richtiger Orientierung des Modells ein ganz gutes Bild von den Reflexionsverhältnissen an den ja auch außerordentlich fein der Länge nach gefältelten oder kanellierten Schuppen machen. Hält man das Modell so in der Nähe einer Lampe, daß seine beiden Achsen horizontal liegen, die Längsachse aber außerdem von rechts nach links verläuft, so daß das Licht von der dem Beschauer abgewendeten langen Seite her schräg von oben einfällt, dann sieht man sofort, daß bei geradem Aufblick im allgemeinen nur diejenigen Faltenflächen für die Reflexion in Betracht kommen, welche nach der Lichtquelle hin schräg geneigt und daher vom Beobachter abgekehrt sind; da nun ihre Neigung zum einfallenden Licht in derselben Richtung stetig abnimmt, indem sich die spiegelnden Ebenen mehr und mehr der Horizontalen nähern, so wird es leicht verständlich, warum die Farbe des reflektierten Lichtes in beiden Schuppenhälften verschieden ist. Denn da die Einfallswinkel um so größer werden, je weiter die spiegelnden Schuppenbezirke von der Lichtquelle abliegen, so muß, wie es bei *Morpho Sulkowskyi* und ebenso auch bei *M. Rhetenor* der Fall ist, in II. und IV. Lage von der vom Lichte abgewendeten abschüssigen Schuppenhälfte violettes, von der anderen dagegen blaugrünes Licht reflektiert werden. Es läßt sich nun am Modell auch sofort erkennen, daß diese Erscheinung etwas anders sich gestalten wird, je nachdem beide Schuppenachsen annähernd horizontal liegen, oder aber, wenn die Querachse, wie es bei *M. Sulkowskyi* der Fall ist, merklich und zwar nach dem Kopfende des Tieres hin schräg geneigt, die ganze Schuppe also gewissermaßen etwas um

ihre Längsachse gedreht ist. (In viel geringerem Grade ist dies auch schon bei *M. Cypris* der Fall.) Dann werfen nämlich innerhalb der dem Fenster zugewendeten Schuppenhälfte nur diejenigen Faltenflächen Licht ins Auge, welche dem Beobachter zugekehrt sind, also vom Fenster her nach der Zimmerseite zu schräg abfallen. Sie werden natürlich vom Lichte unter großem Einfallswinkel getroffen; aber auch die anders verlaufenden spiegelnden Flächen der diesseitigen Schuppenhälfte, die vom Beschauer abgekehrt liegen, werden noch verhältnismäßig schräg vom Lichte getroffen und reflektieren daher wie jene vorzugsweise violettes Licht.

Die vielfachen Unterbrechungen der leuchtenden Längsstreifen, die sich immer bemerkbar machen, finden ihre Erklärung leicht in kleinen Unregelmäßigkeiten in Verlauf und Lage der spiegelnden Flächen, wodurch die Schuppenoberfläche nicht sowohl farbig gestreift als vielmehr gestrichelt erscheint.

Sollte überhaupt noch ein Zweifel aufkommen können, bezüglich der Frage, ob nicht etwa doch bei den beiden vorgenannten *Morpho*-Arten, das nicht nur in den Grundschuppen, sondern auch in den eigentlichen Schillerschuppen reichlich enthaltene dunkle Pigment etwas mit der Entstehung des glänzenden Blau zu tun hat, so würde *M. Sulkowskyi* den entscheidenden Beweis dagegen liefern. Untersucht man hier ganz isolierte Deckschuppen trocken, so erscheinen sie rötlichgelb gefärbt, werden aber nach Verdrängung der Luft durch Alkohol wie jene der meisten *Lycaeniden* fast ganz farblos. Im auffallenden Lichte zeigen sie dann denselben schönen goldgrünen Glanz nur gelblicher wie die beiden anderen *Morpho*-Arten. Sie enthalten keine Spur körnigen Pigmentes.

Wie überaus verwickelt mitunter die optischen Schillereffekte zu stande kommen, lehrt der Befund bei dem südamerikanischen

Morpho Peleides,

der, so zu sagen, eine Vereinigung alles dessen bietet, was wir bisher kennen gelernt haben. Hier finden wir nicht weniger als zwei Lagen in verschiedenen Farben schillernder Schuppen übereinander, unter welchen sich noch eine 3. Lage dunkel pigmentierter Grundschuppen befindet. Dementsprechend ist auch der Schiller sehr wechselnd unter verschiedenen Bedingungen, wiewohl lange nicht so prächtig und gesättigt in der Farbe wie bei anderen *Morphiden*. In Lage I erscheinen in der Nähe eines Fensters bei ganz geradem Aufblick die dem Beschauer zugekehrten (linken) Flügel blaß grünlichgelb mit schönem atlasartigen Glanze, während das andere (rechte) Flügelpaar dunkel, fast glanzlos und nur nach dem Fenster hin mit einem leichten schillernden Hauch überzogen erscheint. Aehnlich, nur etwas weniger grün (mehr blau) sehen alle 4 Flügel aus wenn man den Schmetterling um die Nadel als Achse von 90° Grad dreht (Lage II). Lage III bietet wieder genau dasselbe Bild wie Lage I, während Lage IV mit Lage II korrespondiert.

Wendet man dem Fenster den Rücken zu und hält man dann den Schmetterling gerade vor sich, so daß die Längsachse seines Körpers parallel zum Fenster verläuft, so erscheinen die Flügel matt glanzlos und wie mit weißbläulichen Reif überzogen. Dreht man das Tier jetzt um 90° (um die Nadel als Achse) so taucht wieder der grünliche Schiller auf und nur die Umgebung der Flügelwurzeln sieht ziemlich blau aus. Wendet man sich nun wieder dem Fenster zu und blickt etwas schräg auf die Flügelflächen hin, so tritt das Blau sehr stark hervor und nur ein leichter Hauch von grünlichem Schiller liegt sozusagen darüber ausgebreitet und dämpft den Glanz der Farbe. Auch bei schrägstem Aufblick läßt sich das Blau, welches, wie auch der Schmetterling in der Horizontalebene gelagert sein mag, immer hervortritt, nicht in Violett überführen.

Die Erklärung aller dieser Erscheinungen liefert sofort die mikroskopische Untersuchung. Mit Zeiß A erkennt man im auffallenden Lichte an oberflächlich lädierten Stellen sofort die beiden verschiedenen Lagen von Schillerschuppen, am deutlichsten in I. Lage des Flügels, wobei die Längsachsen der Schuppen senkrecht zur Ebene des Fensters stehen und die Schuppenwurzeln nach diesem hin gerichtet sind. Das Bild, welches man dann erblickt, ist ein sehr eigentümliches. Zu oberst sieht man in regelmäßigen Querreihen geordnet sehr breite, wie Glas durchsichtige Schuppen liegen, die sich in der Richtung der Längsachse teilweise überdecken. Jede weiter hinten gelegene Schuppe greift mit ihrem Vorderende etwa über ein Drittel der nächsten Vorderreihe hinüber. Auch seitlich sieht man diese Schuppen sich vielfach teilweise überdecken. Sowohl in Bezug auf Form wie Lage erinnern sie auf den ersten Blick an jene von *Amblypodia Tamiris*. Hier wie dort erscheint in der angegebenen Lage das vordere Drittel der Schuppenfläche verdunkelt, während der Rest farbiges und zwar im gegebenen Falle blaßgrünliches Licht reflektiert. Unter diesen, wie schon erwähnt, ganz durchsichtigen Schuppen, treten nun an Stellen, wo dieselben zufällig entfernt wurden, andere hervor, die in Bezug auf Form und Verhalten im wesentlichen den blauen Schillerschuppen der anderen *Morpho*-Arten entsprechen. Sie reflektieren in der angegebenen Lage grünliches Licht. Die streifige Verteilung der Farben ist dieselbe wie bei anderen *Morphiden*. Bringt man nun durch Drehen des Objektisches den Flügel in Lage II, wobei die Schuppenachsen dem Fenster parallel verlaufen, so leuchten die Oberschuppen in ihrer ganzen Ausdehnung in einem blaßblaugrünlichen Licht, durch welches man die jetzt fast dunklen nur hier und da etwas blau gefärbten Elemente der 2. Schuppenlage durchschimmern sieht. Bei weiterem Drehen im Sinne des Uhrzeigers verdunkeln sich beide Schuppenlagen, aber nur die Elemente der tieferen Schichten werden bis auf den vordersten Rand ganz dunkel, an den Oberschuppen bleibt dagegen das ganze vordere Drittel mattleuchtend, wenn der Flügel in Lage III gekommen ist. In Lage IV endlich ist das Bild genau das Gegenstück von Lage I, soweit es sich um die Oberschuppen handelt. Die vorderen Drittel derselben leuchten sehr hell auf in grünlichweißem Lichte. Die tiefere Schuppenlage erscheint aber noch dunkel¹, und hellt sich erst auf, wenn man noch weiter gegen die I. Lage hin um etwa 45° dreht. Dann ist das Blau dieser Schuppen intensiv und am reinsten. Kurz vorher erscheinen die Oberschuppen in ihrer ganzen Ausdehnung grünlich leuchtend.

Um über Form und Lageverhältnisse der Schuppen noch besseren Aufschluß zu erhalten, wenden wir uns zur Untersuchung isolierter trockener Schuppen. Man erkennt dann, daß die Oberschuppen durchsichtige stark gewölbte Elemente darstellen, die etwa die Form einer halben Wallnußschale besitzen und an der Oberfläche stark vorspringende, hohle lufthaltige Rippen tragen, die sich leicht stellenweise ablösen. Im vorderen Drittel sind diese Schuppen besonders stark nach unten abgebogen. Bei schwacher Vergrößerung erscheinen die lufthaltigen Rippen im durchfallenden Licht blau, wo sie fehlen oder nicht lufthaltig sind, tritt dagegen ein gelblicher Farbenton hervor. Nach Zusatz von Alkohol werden diese Schuppen sofort absolut farblos. Die Elemente der tieferen Schuppenlage unterscheiden sich hinsichtlich ihres Baues nicht wesentlich von den blauschillernden Schuppen anderer *Morphiden*, es sei denn, daß man eine nicht unbeträchtliche Abknickung des vorderen Randbezirkes, die aber auch schon bei *M. Rhetenor* angedeutet ist, als Unterschied gelten lassen will.

Bei dem letzterwähnten Schmetterling äußert sich dies unter anderem dadurch, daß die Schuppen im auffallenden Lichte in situ untersucht, in Lage IV, wobei die Wurzeln dem

Beobachter zugekehrt sind und die Längsachse senkrecht zum Fenster steht, an ihren freien Vorderrändern in zierlichster Weise leuchtend blau gesäumt erscheinen, sonst aber ganz verdunkelt bleiben. Umgekehrt zeigen sie in Lage I einen tief-schwarzen Vorderrand.

Sehen wir nun zu, wie sich die beobachteten Reflexionserscheinungen wohl erklären lassen. Als Hauptunterschied zwischen *M. Peleides* und den anderen genannten *Morpho*-Arten ergibt sich vor allem der Umstand, daß dort das Maximum der Intensität des gespiegelten Lichtes in Lage II und III eintritt, während bei *M. Peleides* die den Schiller-schuppen entsprechenden Elemente der 2. Schuppenlage in den Hauptlagen II, III und IV dunkel erscheinen und zwar in den beiden letzteren vollkommen, in II aber mit einem noch deutlichen Schimmer. Denken wir uns eine Schuppe von *M. Cypris* oder *Rhetenor* nicht nach Art eines Hohlziegels gewölbt, sondern ganz flach und der Schuppenebene dicht angeschmiegt, so würde offenbar bei schrägem Lichteinfall und geradem Aufblick in keiner der 4 Hauptlagen ein farbiger Reflex bemerkbar werden, denn daß unter großem Einfallswinkel gespiegelte Licht gelangt nicht ins Auge des Beobachters. Annähernd ist dies tatsächlich bei *M. Peleides* der Fall. Die relativ schwache Reflexion grünen Lichtes in Lage I erklärt sich durch eine geringe Neigung der Schuppenebene gegen die Ebene der Flügelmembran und zwar in der Richtung nach der Flügelwurzel hin. Daß aber das reflektierte Licht grün und nicht blau erscheint beruht offenbar darauf, daß nur solche Strahlen ins Auge des Beobachters gelangen können, die unter sehr kleinem Einfallswinkel die spiegelnden Flächen treffen. Diese geringe Neigung der Schuppenebene in der angedeuteten Richtung läßt sich nun in der Tat sehr leicht feststellen, wenn man ein Flügelstückchen mit Alkohol imbibierte, wodurch die Oberschuppen infolge ihrer absoluten Durchsichtigkeit und Farblosigkeit völlig unsichtbar werden. Die darunter gelegenen stark pigmentierten „*Morpho*-Schuppen“ aber werden hinreichend aufgehellt, um alle Details ihres Baues erkennen zu können. Man sieht sehr deutlich die parallelen Längsrippen sowie anscheinend eine feine verbindende Querrippung. Stellt man nun auf die Schuppenspitzen scharf ein, so muß man den Tubus beträchtlich senken um die Gegend der Schuppenwurzel deutlich zu sehen. Auch läßt sich ohne weiteres erkennen, daß die Schuppen so gut wie gar nicht um die lange Achse gekrümmt sind, also fast ebene Plättchen darstellen. Es kommt aber noch ein Anderes hinzu. Man findet regelmäßig, daß auch die beiden Längsseiten einer Schuppe nicht bei derselben Einstellung deutlich gesehen werden können, indem die eine merklich höher liegt als die andere, d. h. also jede Schuppe ist in der Richtung ihrer Querachse nicht unbeträchtlich und zwar kopfwärts geneigt, wie wir es auch schon bei *M. Sulkowskyi* gesehen haben. Dadurch kommt es, daß die in Rede stehenden Schuppen in Lage II nicht völlig dunkel erscheinen, sondern mehr weniger blaues Licht reflektieren. Denn in diesem Falle ist die Schuppenebene nach dem Fenster hin geneigt und zwar merklich stärker als in Lage I. Daß die Schuppen in Lage III und IV völlig (bis auf den Vorderrand) verdunkelt bleiben, versteht sich nach dem Gesagten von selbst.

Das abweichende Verhalten der durchsichtigen pigmentlosen Oberschuppen erklärt sich zur Genüge aus ihrer gewölbten Form, sowie durch die schwache Abknickung des vorderen Drittels. Da sie im übrigen bezüglich ihrer Lage zur Flügelebene durchaus mit den Unterschuppen übereinstimmen, so ergibt sich ihr optisches Verhalten unter den gegebenen Bedingungen ganz von selbst und ich habe wohl kaum nötig, noch näher darauf einzugehen. Erwähnen will ich nur, daß, ganz in Uebereinstimmung mit der eben gegebenen Erklärung der Reflexionsphänomene in den 4 Hauptlagen, die

Intensität des von beiden Schuppenlagen zurückgeworfenen Lichtes sehr rasch und unter gleichzeitiger Aenderung des Farbtones in Blau bei den tieferen Schuppen zunimmt, wenn man ein Flügelstückchen aus einer der 4 Hauptlagen gegen die Lichtquelle hin (das Fenster) durch entsprechendes Heben des Objektträgers in eine mehr und mehr geneigte Lage bringt, so daß nun auch solche Strahlen ins Auge gelangen können, welche die reflektierenden Flächen unter größerem Einfallswinkel treffen.

Man sieht, daß infolge der besonderen Form und Lage der Schillerschuppen bei *M. Peleides* das für die Morphiden sonst so charakteristische strahlende Blau mehr in den Hintergrund tritt und nur unter besonderen Bedingungen der Beleuchtung und Lage des Schmetterlings über den grünlichen Oberflächenschiller den Sieg davon trägt.

Aehnliche Verhältnisse wie bei der oberen Schuppenlage von *M. Peleides* scheinen nach den Angaben von M. BAER auch bei *Papilio asterias* (Oberseite der Hinterflügel) vorzukommen. Das Silberblau wird hier durch zwei übereinander gelagerte Schuppenarten erzeugt. „Die Schuppen der oberen Lage sind längsgestreift und vollkommen durchsichtig, nur am Stiele mit perlmuttartigem Schimmer. Wird nun aber die Unterlage verdunkelt, z. B. durch Berußen der Objektträgerunterseite oder einfacher durch Abhalten des durchfallenden Lichtes, so erscheinen sie schön blau. Diese dunkle Unterlage wird auf dem Falterflügel (wie fast in allen Fällen bei schillernden Schmetterlingen. B.) durch eine Lage dunkelbrauner Schuppen gebildet“ (M. BAER).

Bei *Morpho anaxibia* liegen nach M. BAER dem glänzenden Blau, wie bei *M. Peleides* dem Grünblau, zweierlei Schuppen zu Grunde: „Stark durchscheinende, blaßrötliche, aber in Kanada-balsam vollkommen unsichtbare Schuppen, welche die grübste Längsstreifung aufweisen, die überhaupt beobachtet wurde, und unter diesen schokoladebraune, fein längs- und quergestreifte Schuppen, deren Querstreifen wiederum aus kleinen Längsleistchen sich zusammensetzen.“ Die letzteren (Pigmentschuppen) erzeugen mit ihrer Oberseite ein prachtvolles optisches Blau. Aber auch die Schuppen der oberen Lage erzeugen auf dunklem Grunde für sich allein Farbenscheinungen, „allein diese Farben sind bei weitem nicht so lebhaft als die Interferenzfarben der unteren Schuppenlage“. BAER vermutet daher, „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.“

Es wurde schon oben erwähnt, daß ein *Lycaeniden*-Flügel (z. B. *Lycaena Bellargus*) unter Alkohol ebenfalls schillert, und zwar von Grün durch Blau zu Violett, wenn Licht unter immer größeren Einfallswinkeln reflektiert wird. Ungleich farbenprächtiger gestaltet sich, wie zu erwarten war, diese Erscheinung an *Morpho*-Arten. Bringt man beispielsweise ein Flügelstück von *M. Rhetenor* in ein Schälchen mit Alkohol und betrachtet dasselbe am Fenster am besten mit der Lupe gerade von oben, so erscheint es in geeigneter Lage prachtvoll goldgrün glänzend. Hebt man es nun von der Zimmerseite her immer unter Alkohol gegen die Lichtquelle, so daß seine Ebene gegen diese hin mehr und mehr geneigt wird, so beobachtet man (am besten bei Lage I oder III der Schuppen) einen ganz ähnlichen Farbenwechsel wie bei den am schönsten schillernden Käfern (z. B. *Sternocera*), vom Grün durch alle Nuancen des Blaugrün zum Blau bis zu einem prächtigen gesättigten Violett. In nichts unterscheiden sich diese Erscheinungen von dem Farbenschiller der Käfer. Bei *Morpho Peleides* geht unter gleichen Bedingungen der Farbenschiller noch viel weiter, indem sich offenbar beide Schuppenlagen daran beteiligen. Hier

treten dann auch rotviolette (purpurne) Farbentöne, ja selbst reines Rot und Gelb als Schillerfarben auf.

In manchem Sinne als gerades Gegenstück zu den tieferen Schuppen von *Morpho Peleides* können jene von

Papilio Ulysses aus Amboina

gelten. Im geraden Aufblick erscheint das Blau auf den Flügeln des prachtvoll gezeichneten Falters in allen 4 Hauptlagen nahezu gleich hell, verändert sich aber in Violett, wenn man, nach dem Fenster hingewendet, in irgend einer Richtung schräg auf die Flügelebenen blickt. Dreht man dem Fenster dagegen den Rücken, so ändert sich unter sonst gleichen Bedingungen die Farbe in Grünblau.

Betrachtet man einen Flügel unter dem Mikroskop in auffallendem Lichte bei schwacher Vergrößerung, so bieten die im allgemeinen wie bei *Morphiden* geformten Schillerschuppen ein äußerst zierliches Bild. Schon mit Zeiß A erscheint in Lage I die ganze Schuppenfläche mit Ausnahme des Vorderrandes, der wieder eine Strecke weit nach hinten übergebogen ist, gegittert, indem sich kräftige Längsrippen mit ebenfalls ziemlich dicken und weit voneinander abstehenden Querrippen kreuzen, so daß, wie sich bei stärkerer Vergrößerung zeigt, annähernd rechteckige Feldchen (Maschenräume) entstehen, die nun ein lebhaftes blaues Licht ausstrahlen, wie schon SPULER ganz richtig beschrieben hat. Die Schuppenfläche gewinnt dadurch, nur sozusagen vergrößert, ein ähnliches Aussehen, wie wir es schon bei *Amblypodia Tamiris* kennen gelernt haben. Dreht man den Flügel dann in der Richtung des Uhrzeigers um 90° ,

so tritt eine nicht unerhebliche Verdunkelung ein und es bleiben eigentlich nur Längsreihen glänzend blauer Pünktchen sichtbar, die offenbar jenen Gittermaschen entsprechen. In Lage III leuchtet namentlich das Vorderende der Schuppen sehr intensiv, während Lage IV wieder fast ganz dem Bilde bei Lage II entspricht, nur ist die Intensität des reflektierten Lichtes beträchtlich größer.

Alles dies erklärt sich ganz einfach aus Form und Lage der Schuppen. Untersucht man ein mit Alkohol imbibiertes Flügelstückchen bei stärkerer Vergrößerung (Zeiß D), so läßt sich sofort folgendes feststellen: Jede Schillerschuppe ist zunächst nicht unbeträchtlich in der Richtung der langen Achse gebogen, sie erscheint ferner gegen den freien Außenrand des Flügels etwas aufgerichtet, so daß sie nach der Flügelwurzel zu geneigt ist. Endlich ist sie auch etwas um die Längsachse gekrümmt und in der Richtung der Querachse nach dem Körperende des Tieres hin geneigt. Im ganzen

und großen haben wir es also hier mit einer Schuppenform zu tun, welche am meisten der der „Oberschuppen“ bei *Morpho Peleides* entspricht und wie diese in allen Lagen, wenn auch in wechselnder Stärke, leuchtend erscheinen, so ist es auch hier der Fall.

Die äußerst zierliche Skulptur der *Ulysses*-Schuppen tritt namentlich bei Beobachtung isolierter Elemente mit stärkeren Vergrößerungen hervor (Fig. 12). Trocken untersucht erscheinen sie ziemlich

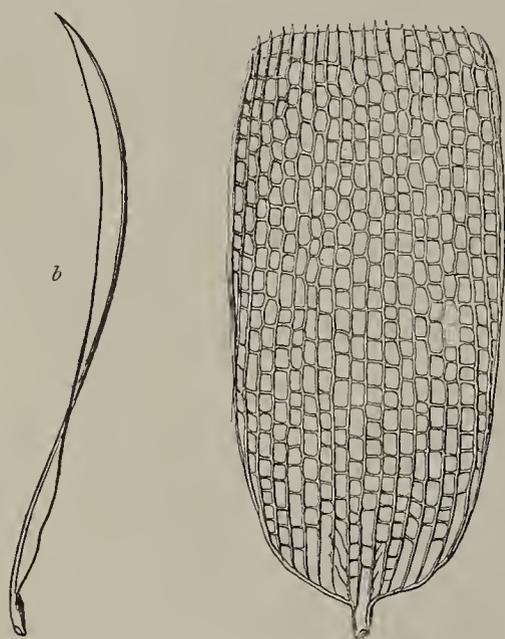


Fig. 12. a) Schillerschuppe von *Papilio Ulysses*.
b) Dieselbe von der Seite gesehen, um die Form der Krümmung ihrer Fläche zu zeigen.

gesättigt dunkelgelb gefärbt, bei Benetzung mit Alkohol schlägt das Gelb sofort um in ein ganz unverkennbares, aber etwas trübes Rosenrot. Man sieht auf das allerdeutlichste die eigentümliche durch die sich kreuzenden Längs- und Querrippen bedingte Netz- oder Gitterstruktur, wobei man den Eindruck erhält, als ob die obere Flügelmembran sich über jeder Gittermasche nach oben vorwölbe. Es würde dadurch der optische Effekt natürlich ganz wesentlich gesteigert. Wir werden später bei einer anderen schillernden Papilio-Art eine ganz analoge, nur noch ausgeprägtere Reliefbildung an der Schuppenoberseite kennen lernen.

Daß das vordere Schuppenende nach hinten und unten, d. h. nach dem Außenrande des Flügels zu mehr oder weniger umgebogen ist, kommt, wie die vorhergehenden Beispiele zeigen, ziemlich häufig vor, sehr viel seltener scheint das Umgekehrte der Fall zu sein. Ich habe bei einer Danaide aus Sikkim

Euploea Deione

ein Beispiel dafür kennen gelernt. Hier schillern nur allein die Vorderflügel und zwar in dunkelblauer Farbe. Bei geradem Aufblick von oben her ist aber die Erscheinung ausschließlich an die erste Hauptlage des betreffenden Flügels geknüpft. In keiner anderen Stellung ist, wenn die Flügelebene wirklich genau horizontal liegt, auch nur die geringste Spur von Schiller zu bemerken. Der Schmetterling sieht dann matt dunkelbraun aus. Blickt man in der Nähe des Fensters, mit dem Gesichte diesem zugewendet, schräg auf die Flügel hin, so tritt in gar keiner Lage farbiger Schiller auf. Dreht man aber dem Fenster den Rücken zu, so erscheint, wenn der Körper des Falter der Ebene des Fensters parallel verläuft, immer nur der Vorderflügel schillernd, dessen Außenrand vom Lichte abgekehrt ist.

Betrachtet man nun ein Stückchen der sonst sehr undurchsichtigen Flügel nach Zusatz von Chloroform, so läßt sich durch Heben und Senken des Tubus leicht feststellen, daß die breiten, schaufelförmigen Schillerschuppen nach vorn, d. h. nach der Flügelwurzel hin umgebogen sind und zwar besonders stark am freien Vorderrande. Außerdem ist jede dieser Schuppen wieder von der Flügelebene schräg aufgerichtet, derart, daß die Schuppenfläche nach der Schuppenwurzel hin geneigt verläuft.

Es ist nun klar und läßt sich mittels eines entsprechend gebogenen Papiermodells leicht anschaulich machen, daß, da die Schuppen außerdem eben, d. h. nicht um ihre Längsachse gebogen sind und da auch die Querachse der Flügelebene parallel verläuft, reflektiertes Licht nur dann ins Auge des gerade von oben auf sie blickenden Beobachters gelangen kann, wenn sie sich in Lage I befinden, d. h. wenn die Schuppenwurzel dem Fenster, der Vorderrand aber dem Beschauer zugekehrt ist.

Ganz ähnlich verhält es sich auch bei der zu den Nymphaliden gehörigen

Hypolymnas Bolina aus Amboina.

Hier trägt das Männchen auf jedem der 4 ganz dunkelbraunen Flügel in der Mitte einen weißen, von einem mattblau schillernden Hof umgebenen Fleck. Der Hof erscheint wieder nur in I. und andeutungsweise in II. Lage, in III. und IV. Lage fehlt jede Spur von Schiller. Unter dem Mikroskop (Zeiß A) sieht man im auffallenden Licht in Lage I nur einen mittleren Schuppenbezirk in Form eines ziemlich breiten Querbandes matt dunkelblau schimmern, während das vordere Drittel sowie die Basis dunkel bleiben. In jeder anderen Lage fehlt der an sich schwache blaue Schiller gänzlich. In Lage II und IV erscheinen die Schuppenspitzen dunkel, der Rest schimmert in ganz schwach bläulichgrauem

Licht. Zwischen Lage I und IV gibt es eine Stellung (bei etwa 45° Neigung), wo mit Ausnahme des vorderen Drittels die ganze Schuppenfläche mattblau erscheint.

Die beiden zuletzt besprochenen Fälle sind aus dem Grunde von besonderem Interesse, weil sie direkt zum Verständnis des Schillerphänomens bei unserem einheimischen „Schillerfalter“ (*Apatura Iris*) hinführen, wo diese so auffallende optische Erscheinung schon mehrfach Gegenstand optischer Erörterungen gewesen ist.

Schon in der Einleitung wurde erwähnt, daß bereits RÖSEL mit seinen stärksten Vergrößerungen die schillernden Schuppen unserer *Apatura*-Arten untersucht hat und dabei zu der sonderbaren Ansicht kam, daß quer über die Schuppen ungefähr dreiseitigen Prismen ähnliche Gebilde zögen; von den beiden oberflächlichen Seiten dieser Leisten seien die einen braun die andern blau. Je nach der Stellung des Beschauers sehe dieser das eine Mal überwiegend die blauen, das andere Mal die braunen Flächen und daher komme eben das Schillern. Wenn auch natürlich diese Auffassung sich sehr bald als unhaltbar erwies, so hat man doch auch in der Folge der Skulptur der Schuppenoberfläche die wesentlichste Bedeutung für das Zustandekommen der Schillerfarbe zugeschrieben. So vertritt ARNOLD SPULER die Meinung, daß speziell mit Rücksicht auf die *Apaturiden* die Erscheinung der farbigen Reflexion durch „kleine kegelförmige Zäpfchen“ bedingt werde, welche auf der Schuppenoberfläche in Längsreihen angeordnet sind (Rippen). Diese „Höckerleistchen“ sollen bei schillernden Schuppen „enger aneinander stehen, als bei den andern, bei der tropischen *Apatura seraphina* mit ihrem viel intensiveren Farbenspiel, viel dichter als bei den matteren einheimischen Arten“. „Fällt das Licht von der Wurzel ein, so erscheinen die in Betracht kommenden Schuppen blau, sonst rot bis schwarzbraun, wie schon RÖSEL richtig beobachtet hatte; bei *A. seraphina* im ersteren Falle blau, sonst teils schwarzbraun, teils an dem Ende, nach der Lichtrichtung verschieden weit, strahlend grün“. Leider war mir die erste Arbeit von SPULER in der Stettiner Entomologischen Zeitung vom Jahre 1890 nicht zugänglich und ich kenne daher auch die Gründe nicht, die ihn, wie er in seiner 2. Abhandlung in den Zoolog. Jahrb. von SPENGLER, Bd. VIII, 1895 mitteilt, bestimmten, anzunehmen, „daß an den Kegelleistchen das Phänomen stattfinden muß“. Auch ist mir nicht klar geworden, wie SPULER diesen Satz mit Bestimmtheit aufstellt und kurz vorher (p. 525) ausdrücklich hervorhebt, „daß bei den irisierenden und metallglänzenden Schuppen die Leistchen auf der Vorderplatte nicht in Höckerchen gegliedert sind.“ Zwischen Irisieren und Schillern besteht aber kein prinzipieller Unterschied und außerdem konnte ich mich von dem Vorhandensein solcher „Höckerleistchen“, wie sie SPULER beschreibt, bei der großen Mehrzahl schillernder Schuppen nicht überzeugen.

Später hat sich dann noch M. BAER über den blauen Schiller von *Apatura (iris)* geäußert (1899) und gelangte zu gleicher Ansicht über den Bau der Schuppen und das Zustandekommen des Schillers wie SPULER. „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 Einfallrichtung der Lichtstrahlen, sodann — wie alle Interferenzfarben — in Kanadabalsam und im durchfallenden Licht verschwindet das Blau und macht der wirklichen Farbe der Schuppe, matt chokoladenbraun, 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 (BAER), in Uebereinstimmung

mit SPULER an, daß die farbige Zerlegung des Lichtes (Schillern) an den Skulpturen erfolgt.“

Worauf aber das Verhalten bei verschiedener Einfallrichtung der Lichtstrahlen beruht, gelang weder SPULER noch M. BAER herauszufinden. Der letztere äußert sich hierüber wie folgt: „Ich habe die Schuppen dieses Falters (*A. iris*) lange und sorgfältig untersucht, ohne daß es mir gelungen wäre, etwas Neues herauszufinden; und doch vermute ich, daß sich zuletzt das Verhalten bei verschiedener Einfallrichtung der Lichtstrahlen auf ganz einfache Einrichtungen zurückführen läßt.“

Die in der Tat ganz einfache Lösung des Problemes hat bereits B. WALTER gefunden. Er weist darauf hin, „daß die das farbige Licht reflektierende Oberfläche der Schuppen mit der Fläche des Flügels oft einen ziemlich großen Winkel bildet. In solchen Fällen sind dann das Auftreten und die Veränderungen des Farbenschillers mit dem Einfallswinkel natürlich nicht symmetrisch zur Flügelfläche.“ Die im Vorstehenden mitgeteilten Tatsachen liefern eine Fülle von Belegen für die Richtigkeit dieser Deutung. B. WALTER hat nun auch schon speziell darauf hingewiesen, daß „bei unserem einheimischen Schillervalter (*Apatura iris*), sowie auch bei mehreren *Hypolimnas*-Arten die schillernden Schuppen an ihren freien Enden nach oben hin umgebogen sind, so daß deswegen der Glanz nur dann entstehen und beobachtet werden kann, wenn sowohl die Lichtquelle wie auch das beobachtende Auge sich auf der Seite der Stiele der Schuppen befinden.“ (B. WALTER).

Da ich bezüglich *Apatura* die Angaben der vorgenannten Autoren in allen wesentlichen Punkten nur bestätigen kann, so darf ich mich bei Beschreibung meiner eigenen Befunde sehr kurz fassen. Es stand mir *Apatura Ilia* var. *Clystie* (Deutschland) und *Apatura cherubina* aus Südamerika zur Verfügung.

Bei der ersteren tritt der veilchenfarbige Schiller bei geradem Aufblick nur in Lage I hervor, fehlt aber in den 3 anderen Hauptlagen vollkommen. In schrägem Aufblick ist von Schillern überhaupt nichts zu bemerken. Auch bei mikroskopischer Untersuchung erscheinen natürlich die Schuppen nur in Lage I violett leuchtend, sonst aber dunkel. Wird ein Flügelmstückchen mit Chloroform aufgehellt und im durchfallenden Lichte bei starker Vergrößerung untersucht, so läßt sich durch wechselnde Einstellung sehr leicht die nach vorn und oben gerichtete Umbiegung der Schuppenenden, sowie auch die Aufrichtung und Schrägstellung der ganzen Schuppe erkennen. Die Querachsen erscheinen kopfwärts geneigt. Auf den feineren Bau der Schuppen komme ich später noch zurück, hier sei nur erwähnt, daß bei genügend starker Vergrößerung (Zeiß homogene Immersion $\frac{1}{12}$ Achrom. Okul.) die Oberfläche durch dicht gestellte Längsreihen kleiner, stark lichtbrechender Zäpfchen ausgezeichnet erscheint, welche hier offenbar den glatten Längsrippen in vielen anderen Fällen entsprechen und daß ferner im Schuppenhohlraum runde dunkelbraune Pigmentkügelchen in großer Zahl liegen.

Mit die schönsten, aber auch raffiniertesten und in ihren Einzelheiten nicht leicht aufzuklärenden Schillereffekte bietet die südamerikanische

Apatura cherubina.

Betrachtet man den Schmetterling bei Horizontallage aller 4 Flügel in der Nähe eines Fensters gerade von oben herab, während er sich in Lage I befindet, so erscheint auf jedem Flügel gerade in der Mitte je ein breiter, von vorn nach hinten gerichteter bandförmiger Fleck oder Streif.

Die Farbe ist auf den dem Beobachter zugewendeten (linken) Flügeln ein leuchtendes Goldgrün, rechts dagegen ein ganz mattes Gelbgrün. Bringt man nun den Falter durch Drehung um die Nadel

im Sinne des Uhrzeigers in Lage II, so erscheinen alle 4 Binden ziemlich matt gelbgrün. Lage III entspricht durchaus Lage I, desgleichen korrespondieren Lage II und IV. Blickt man von der Zimmerseite her schräg auf die horizontalen Flügelflächen, so geht in jeder der 4 Hauptlagen das Gelbgrün im geraden Aufblick zunächst in ein mattes Blau und schließlich in Violett über. Nur in dem Falle, wenn man bei Lage I oder III des Falters in der Richtung einer Linie, die etwa die Spitze eines Hinterflügels mit der Spitze des gekreuzten Vorderflügels verbindet und daher einen Winkel von etwa 45° mit der Längsachse des Körpers bildet (am gespannten Falter) schräg hinblickt und zwar von vorn nach hinten, dann erscheinen die Binden auf den vom Beschauer abgewendeten Flügeln glänzend himmelblau und zwar um so intensiver, je schräger man hinblickt.

Von dem Glanz aber, welchen Schillerfarben unter günstigen Bedingungen überhaupt zeigen können und von der Farbenpracht, welche dann hervorgerufen wird, erhält man erst einen richtigen Begriff, wenn man ein Exemplar des in Rede stehenden Schmetterlings in den 4 Hauptlagen (bei horizontal liegenden Flügelebenen) gerade vor sich hält, während man am Fenster stehend diesem den Rücken zukehrt. In Lage I erscheinen dann die Farbenbinden auf den abgewendeten Flügeln bei nicht allzu schrägem Aufblick strahlend goldgrün, umgeben von einem leuchtenden blauen Hof. Blickt man sehr schräg auf die Flächen hin, so bemerkt man fast nur noch diesen Hof, während die goldgrünen Bänder sich größtenteils verdunkeln. Dieselben Erscheinungen treten in gleicher Pracht an allen 4 Flügeln gleichzeitig auf, wenn man den Falter unter sonst gleichen Bedingungen in Lage II bringt. Lage III entspricht natürlich vollkommen Lage I. In Lage IV dagegen sind alle Schillerphänomene fast völlig verschwunden.

Genau dieselben Erscheinungen kann man sich auch dann zur Anschauung bringen, wenn man vor einem Fenstertische sitzend den dem Lichte zugewendeten Schmetterling aus Lage I, III oder IV stark gegen sich neigt, so daß die Flügelflächen nun wieder von sehr schräg einfallendem Lichte getroffen werden.

Bei mikroskopischer Untersuchung (Zeiß A) sieht man bei Einstellung auf das grüne Farbenband des linken Hinterflügels eines in I. Lage befindlichen Falters ein ähnliches Bild wie bei *Amblypodia Tomiris*, d. h. jede einzelne Schuppe ist durch ein lebhaft goldgrün glänzendes, vorn scharf begrenztes, nach hinten verwaschenes Querband geziert. Die sehr schiefe Lage dieser Querbänder (ihre Richtung schneidet die Körperachse etwa unter einem Winkel von 45°) zeigt aber auch sofort, daß die Längsachsen der Schuppen nicht parallel der Symmetrieebene des Mikroskopes verlaufen, sondern diese ebenfalls unter einem Winkel von etwa 45° schneiden, da ja die Farbenbänder die Schuppenachsen rechtwinklig überkreuzen. Diese letzteren verlaufen also in Wirklichkeit in der angegebenen Flügellage annähernd parallel der Flügelachse (Linie von der Flügelwurzel nach der Mitte des Außenrandes). Dies ist, wenn auch nicht immer genau, auch bei anderen schillernden Schmetterlingen der Fall, so daß man also eigentlich zwischen Lage I des ganzen Schmetterlings und des einzelnen Flügels bzw. der einzelnen Schuppe unterscheiden muß. Die Flügelachsen sind eben beim gespannten Falter etwa um 45° gegen die Körperachse geneigt, werden aber bei I. Lage des einzelnen Flügels als in der Symmetrieebene des Mikroskopes (bzw. ihr parallel) liegend vorausgesetzt. Es ist daher zweifellos das Vorderende dieser Schuppen wie bei *Amblypodia* und anderen schillernden Faltern nach hinten und unten abgebogen. Dreht man nun den Objektisch in der Richtung des Uhrzeigers, so tritt, wenn die Schuppen selbst in Lage I gekommen sind, d. h. wenn ihre Längsachse senkrecht zur Ebene des Fensters steht und parallel zur Symmetrieebene des Mikroskopes verläuft, unterhalb des grünen Querbandes blauer Schiller auf.

Dies bleibt auch noch so in Lage II des ganzen Schmetterlings. Hat dieser aber Lage III erreicht, so sind die grünen Querbinden sehr verschmälert, dagegen schimmern die umgebogenen Vorderenden der Schuppen in einem matten Violett, welches wieder fast gänzlich erlischt, wenn die Schuppen in Lage III gekommen sind. In Lage IV des Falters sind die grünen Querbänder sehr weit nach vorn gerückt und liegen nun im Bereich des abgebogenen Teiles, der endlich blau aufleuchtet (noch hier und da untermischt mit Goldgrün), sobald die Schuppen selbst sich in Lage IV befinden. Im Bezirk des oben erwähnten Hofes bleibt aber unter den gegebenen Umständen bei Horizontallage der Flügel alles dunkel. Hebt man aber den in I. Lage auf dem Objektisch befindlichen Schmetterling vom Fenster her gegen den Beobachter, so daß die Ebenen der diesem zugewandten Flügel zimmerwärts stark geneigt liegen und stellt jetzt auf den Hofbezirk ein, so sieht man hier allenthalben tiefblaue Schuppen aufleuchten.

Man wird nach allem früher Gesagten nicht zweifeln können, daß alle diese Erscheinungen im wesentlichen nur durch Form und Lage der betreffenden Schuppen bewirkt werden, und obschon ich das mir zur Verfügung gestellte Exemplar des prächtigen Schmetterlings nicht beschädigen wollte, so möchte ich mich doch wenigstens vermutungsweise über die wahrscheinliche Lage der Schuppen zur Flügelebene äußern. Die nach hinten abgebogenen Schuppen mit den im geraden Aufblick in günstiger Lage (I oder II) hell goldgrün schillernden mittleren Farbenbinden müssen sehr steil aufgerichtet stehen, denn nur so ist es erklärlich, warum der Schiller an Glanz und Sättigung der Farbe so sehr zunimmt, wenn man die Flügel in Lage I gegen den Beschauer zu vom Lichte weg neigt oder, mit dem Rücken dem Fenster zugewandt, schräg auf die dem Zimmer zugekehrten Flügel blickt. Noch wesentlich stärker (nahe senkrecht) aufgerichtet müssen aber wohl die im geraden Aufblick völlig dunklen, blau schillernden Schuppen des „Hofes“ sein, deren Form, soweit ich sehen konnte, muschelförmig ist mit nach vorn übergebogenen (der Flügelwurzel zugekehrten) Vorderenden. Denn nur unter dieser Voraussetzung wird es erklärlich, daß der Schiller immer erst hervortritt, wenn die Längsachse dieser Schuppen (in Lage I) mit ihrem Vorderende vom Lichte weggeneigt wird, je mehr desto besser. Da sie aber auch dann blaues Licht ausstrahlen, wenn man, mit dem Gesicht dem Zimmer zugewendet, schräg auf die horizontalen Flügelebenen blickt während die Körperachse des Tieres senkrecht zur Ebene des Fensters steht und der Kopf diesem zugekehrt ist, so müssen die Schuppen zugleich auch schräg gestellt sein, indem ihre Querachse nach hinten geneigt liegen. Auf Einzelheiten, namentlich mit Rücksicht auf den vielfachen Wechsel des Farbentons in verschiedenen Lagen, möchte ich nicht näher eingehen, ehe nicht eine genauere Untersuchung der Form- und Lageverhältnisse dieser Schuppen vorliegt.

Es war bisher fast nur von blauem oder violetter Schiller die Rede und in der Tat sind dies die am weitesten verbreiteten Schillerfarben. Sehr viel seltener kommt Grün wenigstens in reineren Tönen vor. Aber auch in solchen Fällen handelt es sich oft, wie die genauere Untersuchung zeigt, nicht sowohl um wirklich grünen Schiller, sondern ist es nur optisches Blau, dessen Wirkung sich mit gelben oder gelbrötlichen Pigmenten kombiniert und so erst den Eindruck des Grün hervorbringt. Es sind namentlich verschiedene *Papilio*-Arten, welche hier eine große Mannigfaltigkeit der Verhältnisse darbieten.

Papilio Arjuna var. *Gandavensis* (Java)

zeigt auf den Hinterflügeln je einen gelbgrün matt schillernden Fleck, von der Form eines sphärischen Dreieckes. Dieser Fleck erscheint an den horizontalliegenden Flügeln bei geradem Aufblick in

allen Lagen gleich hell und gleich gefärbt (gelbgrün). Blickt man nun auf die Ebene eines in Lage I befindlichen Flügels mehr und mehr schräg hin, so geht das Gelbgrün zunächst in reines Grün, dieses dann in Blaugrün, Blau und endlich in ein schönes gesättigtes Violett über, welches letztere auch bei fast horizontaler Blickrichtung noch bestehen bleibt. Wir begegnen also hier wieder derselben Farbenfolge des Schillers bei zunehmend schrägem Lichteinfall, wie in allen früheren Fällen sowohl bei Käfern wie Schmetterlingen (*Morpho*- und *Lycaena*-Arten unter Alkohol). Untersucht man die Schuppen *in situ* mit dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung (Zeiß A) oder mit D und dem Vertikal-Illuminator, so bieten sie ein ganz ähnliches Bild in Grün wie *P. Ulysses* in Blau. Jede der nach der freien Oberfläche zu teils konvexen, teils konvex gewölbten Schuppen (Fig. 13), zeigt 6 lebhaft grün glänzende leuchtende Längslinien, die in verhältnismäßig großen Abständen parallel nebeneinander verlaufend nicht kontinuierlich, sondern vielfach der Quere nach unterbrochen sind, so daß sie das Aussehen zarter grün leuchtender Perlenschnüre darbieten. Bei genauerem

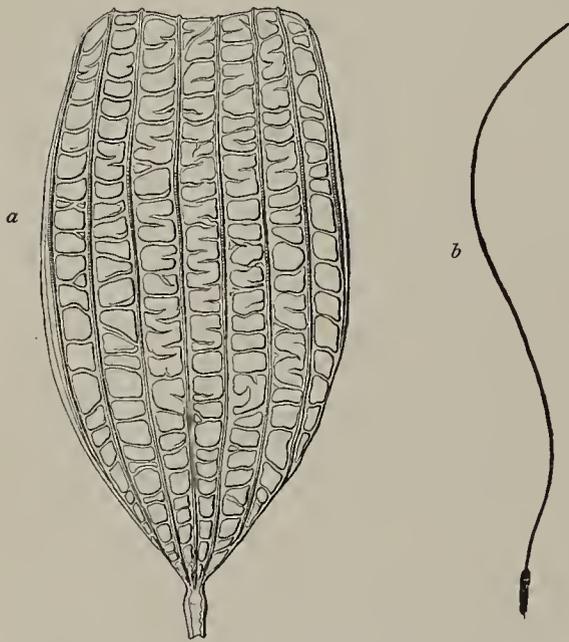


Fig. 13. a Schillerschuppe von *Papilio Arjuna*,
b Längsschnitt einer solchen.

Zusehen erkennt man, daß es sich um dicke dunkle Längsrippen handelt, welche durch ebensolche Querrippen miteinander verbunden sind (Fig. 13. a). Die zwischen den letzteren frei bleibenden kleinen Flächen leuchten nun in der angegebenen Weise grün. Auch hier tritt keine erhebliche Aenderung der Farbe und Helligkeit ein, wenn man den Objektisch dreht. Die Erklärung dieses Verhaltens ergibt sich wieder aus der Form der Schuppen sehr einfach.

Für die durch die beigegebene Abbildung (Fig. 13. b) erläuterte Form der Schuppen ist namentlich auch die Verteilung des grünen Schillers auf der Oberfläche in verschiedenen Lagen der ganz isolierten auf dem Objektträger liegenden trockenen Elemente charakteristisch. So erscheint in Lage I der ganze mittlere Schuppenteil schillernd mit Ausnahme des Vorderendes und der Basis, während in Lage III gerade das Umgekehrte der Fall ist, so daß in der Mitte der Schuppe ein breites dunkles Querband auftritt.

Isoliert und im durchfallenden Licht bei stärkerer Vergrößerung (Zeiß D genügt), erscheint jede einzelne Schillerschuppe rötlichgelb gefärbt. Ihre stark gewölbte Oberfläche ist von 6—8 dunklen Längsrippen durchzogen, welche in weiten Abständen Querästchen abgeben, die sich aber an den meisten Stellen nicht zu ganzen Quersprossen verbinden, sondern wechselständig etwa nur bis zur Hälfte der Rippenzwischenräume vorragen. Die in diesem groben Gitterwerk ausgespannte Schuppenmembran ist nun in den Gittermaschen etwas stärker hervorgewölbt, so daß ein Relief entsteht, vergleichbar den Windungen und Furchen der Großhirnoberfläche (Fig. 13). Die Wechselständigkeit der Rippenseitensprossen bedingt es, daß häufig zwischen je zwei Längsrippen stellenweise die Membran der Schuppen in Form eines wellenartig geschlängelten Wulstes verläuft. So kommt es, daß im ganzen genommen die Oberfläche einer solchen Schuppe ein faltiges, wie zerknittertes Aussehen darbietet, was natürlich auf den Farbenton des reflektierten Lichtes in einer gegebenen Lage der Schuppenfläche nicht ohne Einfluß bleiben kann. In der Tat erkennt man auch im durchfallenden Lichte, daß die Faltenrücken nicht die gleiche Farbe zeigen, wie die Faltentäler und die abfallenden Seitenflächen. In der Regel erscheinen die ersteren, d. h. das Zentrum jedes gefärbten Feldchens blaß blau, daran schließt sich nach außen

eine rötliche Ringzone, die wieder gelb umsäumt erscheint. Läßt man Alkohol zufließen, so ändert die Gesamtfärbung mehr nach dem Gelb hin.

Einem ganz gleichartigen Verhalten der Deckschuppen begegnen wir auch noch an dem grünen schillernden Außenfleck der Hinterflügel von *Papilio Ganera* aus dem Himalaya, desgleichen bei *P. Buddha* aus Malacca, bei welchem genau derselbe Schiller aus Gelbgrün über Grün und Blau nach Violett nur noch viel farbenprächtiger zu beobachten ist, wie bei *P. Arjuna*. Wesentlich anders verhalten sich die ebenfalls grünen Schuppen von

Ornithoptera *Pegasus* (Neu-Guinea).

Betrachtet man einen der auf der Ober- und Unterseite fast gleichmäßig mattgrün erscheinenden Hinterflügel bei horizontaler Lage gerade von oben, so erscheint er, wie man ihn auch in der Horizontal-ebene drehen mag, immer gleich. Blickt man aber etwas schräg auf die Fläche, so mischt sich dem Grün immer mehr Blau bei, doch kommt es nicht, wie in den vorerwähnten Fällen zu einem völligen Umschlag, sondern der Flügel wird erst glanzlos braungrau und schließlich bei sehr schrägem Aufblick, namentlich in der Richtung der Achse rotbraun seidenartig glänzend. Mit Zeiß A im auffallenden Lichte untersucht erscheinen die Schuppen in der I. Hauptlage (Schuppenwurzel dem Fenster zugekehrt, die Längsachse senkrecht zur Ebene des Fensters) bis auf die Spitzen schön hellgrün. Hat man um 180° gedreht, so kehrt sich auch die Lichtverteilung gerade um, indem nun (Lage III) die Spitzen grün leuchten, der Rest der Schuppen aber verdunkelt ist. In Lage II und IV leuchtet die ganze überhaupt sichtbare Schuppenfläche. Schon hieraus geht hervor und es lehrt es unmittelbar der Anblick, daß die spangenförmigen Schuppen in der Richtung ihrer Längsachse stark zusammengebogen sind. Noch viel deutlicher tritt dies bei Beobachtung mit dem Vertikal-Illuminator (Zeiß D) hervor, wo diese Schuppen einen überaus prächtigen Anblick gewähren. Ueberall sieht man zwischen sehr dicht gestellten dunklen Längslinien das hellgelbgrüne Licht hervorleuchten, am intensivsten an dem direkt bestrahlten konvex nach oben gekrümmten Schuppenrücken, am schwächsten an Spitze und Basis.

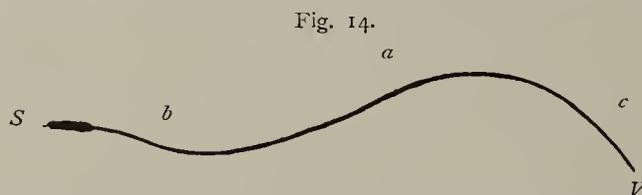
Isoliert untersucht erscheinen die schwarzen, undurchsichtigen Grundschuppen als fast quadratische am freien Rande gezackte Blättchen, während die im auffallenden Lichte grasgrünen Deckschuppen im durchfallenden Licht blutroth gefärbt erscheinen. Bei Anwendung stärkerer Vergrößerungen erhält man den Eindruck, als ob diese Färbung von körnigen Einlagerungen herrührte, während die Grundsubstanz der Schuppenmembran dazwischen homogen gelb gefärbt erscheint, wie sich besonders nach Zusatz von Alkohol zeigt, wo die roten Fleckchen nur in einzelnen Schuppen erhalten bleiben, dann aber nur um so deutlicher hervortreten, während die große Mehrzahl der Deckschuppen homogen gelblich erscheint. Auch in Glycerin zeigen sich dieselben diffus hellgelb gefärbt. Daß die roten anscheinenden Körnchen nicht etwa gelöst werden, ergibt sich daraus, daß sie beim Trocknen wieder erscheinen.

Betrachtet man eine einzelne mit Alkohol imbibierte Schuppe im auffallenden Lichte in Lage II oder IV (Längsachse parallel dem Fenster) so erscheint die dem Lichte zugewendete Hälfte wie körnig gelb, die andere aber homogen bläulich. Auch in Chloroform sind die Deckschuppen homogen gelb ohne Spur von Rot (canariengelb), der gelbe (resp. blaue) Schiller ist wesentlich schwächer als unter Alkohol und fehlt unter Chloroform vollkommen; im durchfallenden Lichte erscheinen die Schuppen auch in diesem Fall schön hellgelb.

Das geschilderte Verhalten dieser Schuppen spricht offenbar nicht dafür, daß, wie es auf den ersten Blick scheinen könnte, rotes Pigment darin enthalten ist, sondern ich muß nach aller Analogie vielmehr schließen, daß jene ohnedies sehr wenig scharf begrenzten und durch die dichte Längsrippung noch unklarer gemachten roten Fleckchen nichts anderes sind, als kleine Bezirke der oberen Schuppenmembran, welche im auffallenden Lichte grün schillern und daher im durchgehenden komplementär rot erscheinen. Man erinnere sich nur der viel durchsichtigeren Fälle, wo, wie beispielsweise bei *Amblypodia* oder *Papilio Ulysses* scharf umgrenzte Flächenbezirke blau schillern, desgleichen der schon sehr schwer erkennbaren, sicherlich aber im wesentlichen gleichen Oberflächen-Skulptur der Schuppen verschiedener *Lycaena*-Arten, die im auffallenden Lichte auch wie mit glitzernden Körnchen bedeckt erscheinen.

Während hinsichtlich der Form und des feineren Baues der Schillerschuppen bei den Arten der Gattungen *Morpho* und *Papilio* eine sehr weitgehende Uebereinstimmung besteht, scheint dies für *Ornithoptera* nicht zu gelten.

Wenigstens fand ich die grün schillernden Schuppen bei *O. Brookeana* aus Borneo ganz verschieden geformt. Der mittlere Längsschnitt einer solchen Schuppe gleicht etwa der beistehenden Figur:



worin *S* der Stielseite, *V* dem Vorderrande entspricht. Man kann demnach von einer wellenförmigen Krümmung der Fläche sprechen. Die Schuppen sind ganz undurchsichtig schwarz pigmentiert. Infolgedessen zeigt sich in Lage I ein glänzend grünes zackiges Querband, welches etwa der Stelle (*a*) entspricht, während nach Drehung um 180° (Lage III) Basis und Spitze aufleuchten (*b* u. *c*). Dies gilt von isolierten Schuppen. In situ gestalten sich die Reflexionsverhältnisse viel komplizierter, infolge der schräg aufgerichteten Stellung, welche die Schuppen zur Flügelebene einnehmen. Von gelbem Pigment ist hier nichts zu bemerken. Durch Benetzen mit Alkohol ändert sich der Schiller in Bronze gelb.

Den merkwürdigsten Effekt einer Kombination von Pigment- und Schillerfarbe habe ich unter den mir zur Verfügung stehenden Schmetterlingen bei

Papilio Pyrocles (Columbien)

beobachtet. Der gleichmäßig mattschwarze Falter trägt auf den Hinterflügeln je 3 blutrote Flecken. Man würde denselben durchaus nicht ansehen, daß sie unter gewissen Bedingungen zu schillern vermögen, denn sie sind zwar sehr intensiv und lebhaft gefärbt, zeigen aber nicht die Spur von Glanz, wenn man in beliebiger Lage gerade von oben darauf blickt. Neigt man aber einen in Lage I befindlichen Hinterflügel vom Fenster her gegen sich zu, so daß die Flügelebene zimmerwärts schräg abfällt, oder blickt man bei Horizontallage des Flügels in der Richtung seiner Achse schräg auf die Fläche desselben und zwar von der Wurzel nach der Mitte des Außenrandes hin, während man den Rücken dem Fenster zukehrt, so erscheinen die vorher roten Flecken strahlend hell und zwar in einer gewissen Lage fast rein weiß; es mischt sich dann bei kleinen Verschiebungen entweder mehr gelb (gelbrötlich) oder grün (blaugrün) dem Weiß bei: untersucht man mit Zeiß A im auffallenden Licht, so leuchten die in Horizontallage matt rot erscheinenden zungenförmigen Schuppen bei entsprechender Neigung des Flügels lebhaft auf und zwar in blaugrüner, stellenweise mehr violetter Farbe. Man kann unter diesen Umständen

das Objekt nicht in diejenige Lage bringen, wo die Schuppen weiß erscheinen. Ich bin nun geneigt die Erscheinung so zu deuten, daß die bei günstiger Einfallrichtung des Lichtes auftretende (blaugrüne) Schillerfarbe dem in den Schuppen enthaltenen (roten) Pigment komplementär ist, so daß sich aus dem Zusammenwirken beider jenes glänzende bald mehr ins Gelbe bald mehr ins Blaue spielende Weiß ergibt. Dagegen verdanken die herrlichen und zugleich überaus mannigfaltigen Schillerfarben, mit welchen sowohl die Ober- wie auch die Unterseite der Hinterflügel von

Urania Croesus (Ostafrika)

geschmückt sind, ihre Entstehung sicher nur zum allergeringsten Teil dem Zusammenwirken von optischen und Pigmentfarben. In Bezug auf Mannigfaltigkeit der Farben, welche hier auf verhältnismäßig kleinen Räume zusammengedrängt sind, dürfte es kaum ein zweites schöneres Beispiel geben.

Die Vorderflügel sind oben und unten schwarz und grün gebändert. Das Grün geht bei geradem Aufblick über in rötlichgelb (Orange) bei schräger Betrachtung in Blaugrün und Blau. Auf den Hinterflügeln sind außer diesen Farben noch ein bei Schmetterlingen sonst sehr seltenes glänzendes Gelbrot¹⁾, sowie Hellgelb und Violett vertreten. Immer konstatiert man wieder die durchgehende Regel, daß mit zunehmendem Einfallswinkel des Lichtes die Farben sich in der Richtung vom weniger brechbaren (roten) Ende des Spektrums nach dem Violett hin verschieben. Wie bei vielen Käfern durchlaufen hier einzelne Stellen unter den erwähnten Umständen fast die ganze Reihe der Spektralfarben.

Keine Beschreibung würde vermögen die leuchtenden Farben zu schildern, welche derartige Schuppen im auffallenden Licht unter dem Mikroskop darbieten, sowie die Mannigfaltigkeit ihrer Veränderungen, wenn sich beim Drehen des Objektisches die Schuppen in immer wechselnder Lage dem Lichte darbieten. Stellt man in I. Schuppenlage auf eine goldrote Partie ein, so erscheinen die, wie man sofort sieht, namentlich am Vorderende, stark in der Richtung der Längsachse konvex gebogenen spangenförmigen Schuppen größtenteils glänzend kupferrot mit Ausnahme des vorderen widerhakenförmig nach vorn und unten umgebogenen Endes. Das Rot, welches kurz vor der Stelle der stärksten Knickung in Form eines breiten Querbandes auftritt, geht nach der Schuppenwurzel hin durch Gelb und Grün in Blau- (resp. Blaugrün) über. In Lage II sieht man bloß ein einfaches kupferrotes Querband, welches etwa über die Mitte der Schuppe hinzieht. Bei weiterem Drehen in der Richtung des Uhrzeigers leuchten dann die dunklen Vorderenden grün und stellenweise blau auf, um dann in Lage III kupferrot zu werden, während der Rest der Schuppen sich ganz verdunkelt. Endlich wird in Lage IV die äußerste Schuppenspitze wieder grün, woran sich ein feuerrotes Querband anschließt.

Auf die Erklärung dieses Farbenwechsels, die sich wieder ganz einfach aus Form und Lage der Schuppen zur Flügelebene ergibt, brauche ich nach allem früher gesagten wohl kaum näher einzugehen. Bringt man einen Tropfen Alkohol auf eine solche schillernde Fläche, so erlischt momentan aller Farbenglanz vollkommen, um erst nach dem Trocknen wiederzukehren. Isoliert erscheinen diese Schillerschuppen, im auffallenden Lichte trocken untersucht, glänzend kupferrot und die Verteilung der Farbe in ihrer Abhängigkeit von Form und Lage der Schuppe ist wieder sehr deutlich zu erkennen, indem in Lage III (Schuppenwurzel vom Lichte abgewendet)

¹⁾ Man darf hier nicht an das Gelbrot unseres Dukatenfalters und seiner nächsten Verwandten denken. Denn dieses ist keine eigentliche Schillerfarbe, sondern entsteht, wie gezeigt wurde, durch Totalreflexion an der im Hohlraum der diffus gelb pigmentierten Schuppen enthaltenen Luft.

nur der vorderste Abschnitt goldrot leuchtet. Daß in diesem Falle in Lage I die ganze Schuppenfläche verdunkelt bleibt und in Lage II und IV nur schwacher roter Schiller auftritt, erklärt sich leicht aus der annähernd horizontalen Lage der Schuppen auf dem Objektträger, während sie in situ, wie in fast allen vorhergehenden Fällen schräg aufgerichtet stehen, so daß ihre Flächen mit Ausnahme des abgelenkten Vorderendes nach der Flügelwurzel hin geneigt verlaufen. Von der Richtigkeit dieser Deutung überzeugt man sich leicht, wenn man die stark gekrümmten trockenen Schuppen nicht mit einem Deckglas belastet, wodurch sie natürlich mehr platt gedrückt werden, sondern freiliegend untersucht. Dann zeigt sich sofort auch in Lage I und zwar mit Ausnahme des Vorderendes schöner goldroter Schiller.

Im durchfallenden Lichte erscheinen diese Schuppen schön grün. Sie tragen an ihrer Oberfläche zahlreiche sehr scharf ausgeprägte, aber ziemlich weit voneinander abstehende Längsrippen, welche, schon mit Zeiß D erkennbar, eine Art von „Catenuierung“ zeigen, d. h. wie aus lauter kleinen, aber untereinander zusammenhängenden Stückchen zu bestehen scheinen, ein Verhalten, welches sich bei Schmetterlingsschuppen überaus häufig findet (so z. B. auch bei *Lycaena*-Arten). Querrippen fehlen und sind nur hier und da angedeutet durch ganz zarte vereinzelte Querästchen. Die Zwischenrippenräume erscheinen völlig homogen, durchsichtig und man überzeugt sich auf das allerdeutlichste, daß sie es sind, von denen im durchgehenden (und daher auch im auffallenden) Lichte die Farbe ausgeht. Nach Zusatz von Alkohol werden die Schuppen noch durchsichtiger, als sie vorher schon waren, das Grün verschwindet fast ganz und die Schuppe erscheint nun hell grünlichgelb gefärbt. Im auffallenden Lichte ist, wiewohl sehr abgeschwächt, noch in gewissen Lagen roter Schiller bemerkbar, auch selbst dann noch, wenn Glycerin zugesetzt wurde, nur ist die Farbe in diesem Falle violett. Namentlich in Schuppenlage I und III tritt dies sehr deutlich hervor.

Zwischen goldrot (kupferrot) und goldgrün glänzenden Schuppen finden sich namentlich an der Oberseite der Hinterflügel alle möglichen Uebergänge. Je nachdem im auffallenden Lichte mehr das Rot oder das Gelb vorwaltet (Messinggelb), ändert sich die Farbe im durchfallenden Lichte mehr in Grün resp. Blau, und was hier von den Elementen verschiedener Schuppenbezirke gesagt wurde, das gilt in gleichem Maße auch von ein und derselben Schuppe, wenn ihre Schillerfarbe sich örtlich infolge wechselnder Einfallsrichtung des Lichtes ändert. Der Schiller ist hier ähnlich wie bei *Papilio Arjuna*, sowie bei gewissen Käferschuppen im auffallenden Lichte so außerordentlich intensiv, daß er selbst im durchfallenden Lichte am entsprechenden Orte hervortritt. Es gewährt einen eigenartigen Anblick, wenn ein und dieselbe Schuppe etwa in der vorderen Hälfte lebhaft messinggelbes Licht ausstrahlt, während der Rest grün (blaugrün) erscheint oder umgekehrt. Setzt man dann Alkohol zu, so ist es, wenn man direkt beobachtet, geradezu überraschend, wie fast in demselben Augenblicke, wo eine solche Schuppe benetzt wird, das ziemlich satte Grün sowie der gelbrote Schiller erlöschen und einem blassen Grünlichgelb Platz machen, welches nur stellenweise noch etwas mehr ins Grüne sticht, wie hauptsächlich am Vorderende der Schuppen. Dementsprechend zeigt dies auch noch ziemlich kräftigen roten Schiller im auffallenden Lichte. In Glycerin werden die Schuppen rein gelb.

Während den besprochenen Schuppen dunkles Pigment gänzlich fehlt und sie daher zur vollen Entfaltung ihres optischen Effektes auf dunkle Grundschuppen angewiesen sind, so finden sich violett schillernde Schuppen desselben Schmetterlings, welche sich durch fast schwarze Pigmentierung der Längs- und Querrippen auszeichnen, sowie durch tiefe wellblechartige Faltung. Sie erinnern daher in Bezug auf ihre Form ganz an jene von *Plusia chrysitis*. Diese Falter schillern bei günstigem Lichteinfall

schön violett (II. und III. Lage). Der intensiv violette Fleck auf der Oberseite der Hinterflügel zeigt dagegen Schuppen von gleicher Form und gleichem Bau wie die kupferroten und messinggelben Schuppen der Umgebung. Es sind stark gekrümmte, vorn nach hinten und unten abgebogene Spangen ohne jede Spur von dunklem Pigment. Im durchfallenden Lichte erscheinen sie diffus gelb mit einem leisen Anflug von Grün, im auffallenden prachtvoll violett.

Aus allen den zahlreichen im Vorstehenden mitgeteilten Einzeltatsachen geht in überzeugender Weise hervor, daß nicht nur für die Intensität, sondern gerade auch für den Farbenton des Schillers die Lage der schillernden Flächen zum einfallenden Lichte entscheidende Bedeutung besitzt. Es ist nicht ohne Interesse, in dieser Beziehung auch einen Blick auf die Schillerfarben gewisser Vogelfedern zu werfen. Den höchsten Grad der Schönheit und des Glanzes erreichen diese wohl zweifellos bei den hierin mit den farbenprächtigsten Insekten wetteifernden Kolibris. Ich habe einige wenige Fälle etwas näher untersucht und stieß dabei sofort wieder auf die Bedeutung der Lage der schillernden Flächen. Bei einer leider nicht näher bestimmten Art zeigen die Kehlfedern einen prachtvollen metallischen Glanz, dessen Farbe zwischen Purpurrot und Goldgrün, je nach dem Lichteinfall, wechselt. Betrachtet man ein isoliertes Federchen, dessen Vorderende, wie ja bekannt, allein schillert, so erscheint es in horizontaler Lage im geraden Aufblick in jeder Lage glanzlos dunkel oder es treten höchstens Spuren von farbigem Schiller hervor. Blickt man aber nur etwas schräg auf die Fläche, so leuchtet, wenn ich die 4 Hauptlagen wieder ganz wie bei den Schmetterlingsschuppen bezeichne, in Lage I (Federwurzel nach dem Fenster hin gerichtet) der überhaupt schillernde Teil der Feder in glänzendem Purpurrot auf. In Lage II (Federwurzel rechts) ist der Schiller sehr abgeschwächt, in Lage III gänzlich verschwunden, um schließlich in Lage IV wieder fast ebenso lebhaft zu erscheinen wie in Lage I. Neigt man die Fläche der Feder etwas nach dem Fenster zu, so tritt der rote Schiller in gleicher Lebhaftigkeit bei jeder Lage hervor, um ebenso in jeder Lage auszubleiben, wenn die Ebene der Feder im entgegengesetzten Sinne, d. h. zimmerwärts geneigt wird. Bei sehr schrägem Aufblick geht das Rot durch Gelb in Grün über, welches dann am glänzendsten in Lage I und IV hervortritt.

Nach dem Gesagten kann es nicht überraschen, daß bei Untersuchung mit dem Mikroskop (Zeiß A), also im graden Aufblick farbiger Schiller fast

ganz fehlt. Dagegen ist dieser überaus lebhaft, wenn man den Objektträger vom Beschauer her gegen das Fenster hebt. Im durchfallenden Lichte erkennt man, daß im Gebiete des schillernden Abschnittes jeder Federstrahl I. Ordnung zwei Zeilen von Fiederchen II. Ordnung trägt, die beiderseits wie von einem First schräg nach vorn und abwärts sich erstrecken. Dabei stehen die Fiederchen linkerseits etwas höher als rechts, indem die Federstrahlen I. Ordnung gewissermaßen etwas um ihre Längsachse gedreht sind (Fig. 15). Jedes Fiederchen zeigt nun eine sehr komplizierte Form, die man sich am besten als eine nach vorne spitz zulaufende Hohlrinne vorstellen kann, welche nun wieder so um ihre Längsachse gedreht ist, daß ihre Höhlung nach vorn, ihr konvexer Rücken aber nach hinten (d. h. nach der Federwurzel zu) gewendet liegt. Längs der Mitte des Rückens verläuft ein etwas zugespitzter Kiel, von dem nach beiden Seiten die dünnen membranösen Wände der Hohlrinne aufsteigen (Fig. 16). Dieselben sind durch schief verlaufende

Fig. 16.

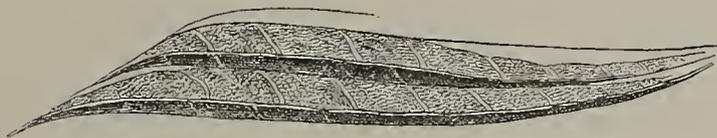
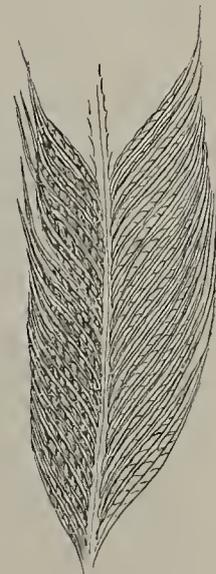


Fig. 15.



helle Grenzlinien in einzelne rhombische Felder geteilt, welche den Eindruck platter Zellen machen und im durchfallenden Licht Einlagerungen von körnigem, bräunlich gelbem Pigment erkennen lassen.

Da nun ausschließlich die konvexe äußere Fläche der Rinnenwände schillert, so wird es leicht verständlich, warum nur in gewissen Lagen der Feder farbiger Schiller bemerkbar wird. Es verhält sich eben alles genau wie bei den Schmetterlingsschuppen, und zwar liegen die Verhältnisse sehr ähnlich, wie bei den blau schillernden Hohlschuppen des „Hofes“ an den Flügeln von *Apatura Cherubina*, wenn man sich vorstellt, daß nicht, wie es in Wirklichkeit der Fall ist, die innere, sondern die konvexe Außenseite der Schuppen schillerte. So kommt es, daß bei geradem Aufblick jene Federn in keiner Lage schillern, daß der Schiller bei schrägem Hinsehen in Lage I immer am lebhaftesten, in Lage III aber in manchen Fällen ganz fehlt, wenn die Feder horizontal liegt. Bei genauer Berücksichtigung der Lage und Form der Fiederchen gelingt es unschwer, sich von allen Einzelheiten des Schillerphänomens Rechenschaft zu geben, wiewohl nicht zu leugnen ist, daß die Lageverhältnisse der schillernden Flächen hier noch viel verwickelter sind, als bei den Schmetterlingsschuppen.

Bei der Untersuchung trockener Federn im durchfallenden Licht erkennt man in ganz unzweideutiger Weise trotz des reichlich vorhandenen dunklen Pigmentes, daß je nach der Farbe des Schillers im auffallenden Licht, im durchgelassenen die entsprechende Komplementärfarbe vorherrscht, also rot bei grünem Schiller, gelb bei blauem und grün bei rotem. Beim Benetzen mit Alkohol ändert sich zunächst die Schillerfarbe gar nicht, bleiben aber die Federn längere Zeit (1—2 Tage) in Glycerin liegen, so tritt an Stelle metallisch grünen Schillers solcher von tief roter Farbe, während sich Rot in Blau, Blau in Grün verwandelt.

B. Folgerungen bezüglich der physikalischen Natur der Schuppenfarben.

Ueberblicken wir die Gesamtheit der mitgeteilten Tatsachen, so ergibt sich als auffallendster und zugleich wesentlichster Unterschied zwischen den Schillerfarben von Schuppen (Käfer wie Schmetterlinge) und jenen schuppenloser Insekten (besonders Käfer), daß die letzteren durch Benetzung mit einer nicht chemisch oder mechanisch (durch Quellung) einwirkenden Flüssigkeit im allgemeinen ganz unverändert bleiben, auch wenn die Einwirkung noch so lange dauert, während der farbige Schiller von Schuppengebilden dann entweder gänzlich schwindet oder wenigstens seine Intensität und meist auch den Farbenton ändert. Sozusagen eine Mittelstellung nehmen manche schillernden Vogelfedern ein, indem sie zwar bei Benetzung mit Alkohol, Wasser oder Glycerin den Schiller zunächst ganz unverändert zeigen, aber bei längerer Dauer der Einwirkung doch einen Farbenschlag erkennen lassen. Als ein Analogon zu diesem Verhalten darf wohl auch der Umstand gelten, daß das metallische Grün der Flügeldecken von *Lytta vesicatoria* bei längerer Einwirkung von Alkohol in Bronze gelb übergeht, was, wie ich glaube, mit der dünnhäutigen Beschaffenheit dieser Chitingebilde zusammenhängt. Die unabweisliche Folgerung, welche man aus diesen Erfahrungen ziehen müssen, ist die, daß der Luftgehalt der Schuppen in direkter Beziehung steht zur Intensität und Farbe des Schillers, indem durch Verdrängung der Luft resp. völlige Imbibition derartiger schillernder Gebilde beide Eigenschaften wesentliche Aenderungen erleiden resp. ganz verschwinden.

Es ist hierauf aus dem Grunde besonderes Gewicht zu legen, weil dieses Verhalten meiner Meinung nach am besten geeignet ist, die schon in der Einleitung erörterte Auffassung B. WALTERS von der Natur der Schillerfarben bei Insekten und Vögeln zu widerlegen.

B. WALTER stellt an der Spitze seiner speziellen Erörterungen über das Vorkommen von Oberflächenfarben im Tierreich den Satz, „daß eine schillernde Schmetterlingsschuppe auch im durchgelassenen Lichte stets mehr oder weniger gefärbt ist und zwar immer annähert komplementär zu der Farbe des Schillers selbst, womit also die Grundbedingung für die Entstehung einer Oberflächenfarbe sowie auch ihre auffallendste Eigentümlichkeit, das HÄNDIGERSCHE Gesetz, befriedigt ist.“ Die Beispiele, die WALTER als Belege hierfür anführt, sind zum Teil nicht gerade glücklich gewählt, indem sie sofort den Mangel einer scharfen Trennung zwischen einer Pigmentfarbe (Körperfarbe) und der zur Farbe des reflektierten Schillers wirklich komplementären (optischen) Durchlaßfarbe erkennen lassen. Wenn WALTER beispielsweise erwähnt, daß „die Schuppen der im reflektierten Lichte so prachtvoll blau glänzenden *Morpho*-Arten im durchgelassenen Lichte stets gelb oder gelbbraun aussehen“, während den grünblau schillernden Schuppen von *Apatura Laurentia* eine dunkelrotbraune Durchlaßfarbe entspricht, die rein grün schillernden Schuppen von *Papilio Buddha* und *P. Polycctor* aber eine blutrote „Körperfarbe“ besitzen, so muß man berücksichtigen, daß gerade die typischen blauglänzenden *Morpho*-Schuppen in der Regel so dunkel pigmentiert sind, also so viel „Körperfarbe“ besitzen, daß das, worauf es eigentlich ankommt, nämlich das komplementäre Gelb kaum bemerkbar wird. Für den von braunschwarzem Pigment aber ganz freien *Morpho Sulkowskyi* stimmt es in der Tat, daß die trockenen Schuppen im durchgehenden Licht rötlich-gelb erscheinen. Auch die Schillerschuppen von *Apatura*-Arten enthalten, wie wir gesehen haben, so viel braunschwarzes Pigment, daß dadurch wieder die Farbe im durchgehenden Lichte fast ganz verdeckt wird. WALTER führt dann noch *Urania Ripheus* an, bei welchem die gelbgrün glänzenden Schuppen der Vorderflügel im durchgelassenen Lichte je nach der Dicke der absorbierenden Schicht rot oder bläulichrot aussehen, „während die rot schillernden Schuppen der Hinterflügel eine rein grüne Körperfarbe zeigen.“ „Die Natur erzeugt mithin, so fährt WALTER fort, schon in diesem einen Tiere ein ebensolches ausgezeichnetes Paar von Schillerstoffen, wie wir es in dem Fuchsin und dem Diamantgrün als Leitstern unserer Darlegungen über die Oberflächenfarben benutzt haben, da bei diesem Paar ja auch die Körper- und die Schillerfarbe sozusagen miteinander vertauscht waren.“

So wenig es nun zweifelhaft sein kann, daß die dunkel schwarzbraune Färbung bei *Morpho*- und *Apatura*-Arten, sowie bei Schillerschuppen vieler anderer Schmetterlinge durch ein Pigment verursacht wird und demnach als „Körperfarbe“ aufzufassen ist, so sicher scheint mir auf der anderen Seite auch zu stehen, daß das Rot resp. Grün, welches die grün- resp. rotschillernden Schuppen von *Papilio Buddha* und von *Urania Ripheus* im durchgehenden Lichte zeigen, im wesentlichen nichts mit einer Körperfarbe zu tun hat, daß es sich also nicht um besondere „Schillerstoffe“ handelt, sondern um ein rein optisches durch Interferenz bedingtes Phänomen. Der ganz einfache Beweis dafür liegt meines Erachtens eben darin, daß die zuletzt erwähnten Durchlaßfarben nur an den trockenen lufthaltigen Schuppen hervortreten, nach Imbibition mit Flüssigkeiten aber fehlen und zwar in um so vollkommenerem Grade je stärker das Lichtbrechungsvermögen der benützten Flüssigkeiten ist. Pigmentfarben werden unter diesen Umständen nur um so deutlicher und WALTER ist sicher im Unrecht, wenn er behauptet, daß in gewissen Flüssigkeiten (Benzol, Schwefelkohlenstoff) „auch die Körperfarben der Schuppen

zu verschwinden scheinen“. Dies könnte (bei längerer Einwirkung) nur dann geschehen, wenn die betreffenden Pigmente in den angewandten Flüssigkeiten löslich wären oder wenn diese chemisch darauf einwirkten. Behandelt man Schuppen von *Morpho Cypris* oder *Rhetenor*, welche trocken ganz undurchsichtig und fast gleichmäßig schwarz erscheinen, mit Schwefelkohlenstoff, so werden sie aus gleichem Grunde wie etwa ein lufthaltiges pigmentiertes Haar- oder lufthaltiges Pflanzenparenchym stark aufgehellt und man erkennt ihre Pigmentierung nur um so deutlicher. Die ganze Fläche erscheint wie besät mit kleinen braunschwarzen Pünktchen auf diffus gelbbraunlichem Grunde. In dem Momente, wo nach Verdunstung der Zusatzflüssigkeit wieder Luft eindringt, wird sie auch wieder undurchsichtig schwarz. Sowohl die schwarzen Pünktchen, wie die diffuse gelbbraunliche Färbung sind nun sicher auf „Pigment“ zurückzuführen, daß sie aber beide mit dem blauen Schiller der Oberfläche nichts zu tun haben und nur den dunklen Grund für diesen herstellen helfen, werde ich noch später zeigen. Macht man den gleichen Versuch mit den Schillerschuppen von *Papilio Arjuna* var. *Gandavensis* oder von *Papilio Buddha*, so nehmen dieselben, die trocken rotgelb erscheinen, sofort eine ganz hell lehmgelbe Färbung an, die sicher als Körperfarbe zu deuten ist, während das vorher beigemischte Rot, wie der grüne Schiller im auffallenden Licht eine Interferenerscheinung darstellt.

Ganz ähnlich verhält es sich mit dem Grün und Rot der Schuppen von *Urania Croesus*. Pigmente finden bei Schmetterlingsschuppen gerade wie auch bei schillernden Käfern in doppelter Weise Verwendung, einmal zur Herstellung eines möglichst dunklen Untergrundes, von dem sich die Schillerfarbe kräftig abhebt und dann, wiewohl seltener, dazu, um durch Kombination der Pigmentfarbe mit dem Oberflächenschiller den Farbenton des letzteren zu verändern. Das erstere wird in sehr vielen Fällen einfach dadurch erreicht, daß an sich ganz oder fast ganz farblose (d. h. pigmentfreie) Schillerschuppen sich über einer einfachen oder doppelten Lage sehr dunkel pigmentierter Grundsuppen ausbreiten, anderenfalls kann aber außerdem, wie wir oben gesehen haben, dunkles Pigment auch in den schillernden Decksuppen selbst mehr oder weniger reichlich eingelagert sein.

Zur Charakteristik einer „Oberflächenfarbe“ gehört, wie WALTER mehrfach und ausdrücklich betont, in erster Linie „die Anwesenheit eines stark absorbierenden Farbstoffes, dessen Körperfarbe annähernd komplementär zu einer Schillerfarbe sein muß“. Wenn dieses Kriterium nun schon in den von WALTER selbst angeführten Beispielen nicht zutrifft, so fügen sich erst recht nicht die zahlreichen Fälle, wo gänzlich farblose, d. h. pigmentfreie Schuppen die lebhaftesten Schillerfarben darbieten.

Es darf hier erinnert werden an die meisten Käfersuppen und unter den Schmetterlingen an jene vieler *Lycaeniden*, ferner die Schuppen der obersten Lage von *Morpho Peleides* und annähernd auch die kupferroten, messingfarbigen und violetten Schuppen von *Urania Croesus* und *Morpho Sulkowskyi*. Wenn bei *Lycaeniden* die blauen Schillersuppen im trockenen Zustande gelb, die roten von *Urania* grün, die violetten gelbgrün erscheinen, so handelt es sich hier, wie gesagt, nicht um Körperfarben, sondern um die gleichen Erscheinungen, welche die Farben dünner Blättchen im reflektierten und durchgehenden Lichte darbieten. Dies zeigt sich auch schon darin, daß im letzteren Falle die Farben immer sehr viel blasser und oft nur wie angedeutet erscheinen, vor allem aber nach der Imbibition mit Flüssigkeiten. Daß dann die angebliche Körperfarbe, namentlich bei Anwendung stärker brechender Flüssigkeiten, gänzlich schwindet und damit auch der Oberflächenschiller, hat WALTER schon als eine Schwierigkeit bezeichnet, welche gegen die von ihm vertretene Auffassung geltend gemacht werden kann; er hofft jedoch, daß spätere Untersuchungen genauere Aufklärung dieses

Verhaltens bringen werden und neigt sich der Ansicht zu, „daß wir es hier wahrscheinlich mit einer eigenartigen Wirkung der feinen Struktur dieser Organe (der Schuppen) zu tun haben“.

In der Tat wird man sich fragen müssen, warum die Schillerfarben der schuppenlosen Käfer bei noch so langer Einwirkung von Alkohol, Wasser, Glycerin, Chloroform, Benzol, Schwefelkohlenstoff etc. in der Regel gar nicht beeinflußt werden, jene der Schuppen aber so außerordentlich rasch und leicht. Die Antwort fällt ganz im Sinne von WALTER aus. Es handelt sich wirklich im letzteren Falle um „eine eigenartige Wirkung der feinen Struktur“ der Schuppen, nämlich darum, daß sich zwischen oberer und unterer Schuppenlamelle oder innerhalb der letzteren ein lufthaltiger Hohlraum befindet, der nach außen mündet und seinerseits als „dünnes Blättchen“ wirkt.

Ich möchte mir nicht versagen, hier auch noch eine Beobachtung anzuführen, deren Kenntnis ich einer freundlichen brieflichen Mitteilung von Gräfin MARIA v. LINDEN verdanke. Bei *Thecla quercus* ist auf den Flügeln ein blauer Schiller nachweisbar, noch ehe die Schuppen ihre definitive Färbung erlangt haben (also ganz wie bei den schuppenlosen *Cetonien*-Flügeldecken). Man sieht sogar, daß die hellen Stellen, z. B. die ganz farblosen Schuppen, auf den Adern und in deren nächster Umgebung den Schiller am deutlichsten zeigen. Gräfin LINDEN schließt hieraus, „daß die chemische Konstitution des in den Schuppen später enthaltenen Pigmentes mit dem Schillern der Flügel nichts zu tun hat, daß dieses vielmehr eine Erscheinung ist, welche entweder von der Struktur der Schuppenfläche selbst abhängt oder im Sinne der Farben dünner Blättchen zu erklären wäre“. Der Schiller ist am intensivsten, wenn der Flügel unter dem Mikroskop so gelagert wird, daß das Licht in der Richtung von der Flügelwurzel zur Flügelspitze bzw. zum Seitenrande einfällt. Vollkommen verschwunden ist der Schiller, sobald das Präparat so gedreht wird, daß die Flügelspitze der Lichtquelle zugekehrt ist, was Gräfin LINDEN ganz richtig auf bestimmte Krümmungen der Schuppenoberfläche zurückführt. In den beiden Zwischenlagen schillern nur einzelne Teile der Oberfläche.

Als einen zweiten Beweis für die Identität der Schillerfarben der Schmetterlinge mit den Oberflächenfarben stark absorbierender Medien führt WALTER das Verhalten der ersteren im polarisierten Lichte an, „indem nämlich bei schrägem Auffall desselben sich nicht bloß die Stärke, sondern auch der Farbenton des Schillers oft wesentlich ändert, wenn man von p. p.- zu s. p.-Licht übergeht“. In allen Fällen lasse sich mit Sicherheit feststellen, „daß die Färbung des reflektierten s. p.-Lichtes nicht, wie dies bei den Interferenzfarben dünner Blättchen der Fall ist, für sehr große Einfallswinkel stärker ist als für mittlere, sondern daß stets das Umgekehrte stattfindet“. Ich habe mich von einem solchen Verhalten in keinem Falle überzeugen können und habe niemals auch nur die geringste Änderung des Farbentones beobachtet, wenn ich durch ein NICOLSches Prisma unter den verschiedensten Winkeln nach der Fläche eines schillernden Schmetterlingsflügels hinblickte.

Ein weiterer Beweis für die Gleichwertigkeit der Schillerfarben der Schmetterlingsschuppen mit den Oberflächenfarben würde nach WALTER schließlich noch aus denjenigen Veränderungen sich ergeben, welche die Schuppen zeigen, wenn man sie in Flüssigkeiten von verschiedener Brechbarkeit taucht. Er findet, „daß die Farbe des Schillers, ausgenommen wenn sie tiefblau oder violett ist, mit der Zunahme des Brechungsexponenten des umgebenden Mediums sich um einen oder zwei Farbtöne in der Richtung vom blauen zum roten Ende des Spektrums hin verschiebt, zugleich aber dabei immer schwächer wird“. „So werden z. B. die an der Luft grünblau glänzenden Schuppen von *Morpho Menelaus* in Aether ($n = 1,36$) rein grün und schillern im zweiten Falle auch etwas schwächer als im ersten, in Chloroform ($n = 1,45$) ferner gelblichgrün.

und jetzt schon ganz erheblich schwächer als in Aether. In Benzol ($n = 1,52$) oder Schwefelkohlenstoff ($n = 1,64$) endlich ist der Schiller nur noch bei Beleuchtung mit direkten Sonnenstrahlen im Dunkelmzimmer als ein schwaches Gelbgrün festzustellen.“

Ganz ähnlich wie die verschiedenen blauglänzenden *Morpho*-Arten verhalten sich, wie früher gezeigt wurde, auch die blauen *Lycaeniden*, sowie z. B. auch *Papilio Ulysses*. Bei *Amblypodia Tamiris* werden aber auch die violetten Schuppen der Vorderflügel bei Benetzung mit Alkohol bläulichgrün, während die rein blauen der Hinterflügel sich gelb verfärben. Auch die tief violetten Schuppen der Oberseite von *Hypochrysops Anacletus* nehmen befeuchtet einen blaugrünen Farbenton an, desgleichen werden die tief blauen Schuppen von *Diorhina Perianda* rein grün, während die silberblauen Flügel von *Morpho Peleides* beim Benetzen mit Alkohol sich gelbrot färben, die von *M. Sulkowskyi* kanariengelb. Sehr beträchtliche Farbenverschiebungen habe ich auch bei den Schuppen von *Entimus imperialis* unter gleichen Umständen beobachtet. Zunächst sei nochmals daran erinnert, daß hier der Schiller immer nur in jenen Schuppen schwindet bzw. seine Farbe ändert, in deren Inneres die Zusatzflüssigkeit auch wirklich eindringt und dabei die Luft verdrängt. Es kann bei Anwendung von Alkohol der Sprung der Schillerfarbe von Blau zu Gelb und selbst zu Rot gehen. Auch die goldgrünen Schillerschuppen der Oberseite von *Urania Croesus* verfärben sich bei Benetzung mit Alkohol kupferrot, die violetten der Hinterflügel aber grün. Ganz analoge Farbensprünge beobachtet man auch bei schillernden Kolibrifedern nach längerer Einwirkung von Alkohol oder Glycerin. Es wurde schon erwähnt, daß dabei Purpurrot in Blau, Blau in Grün und Grün in Rot übergeht.

Daß nun überhaupt Änderungen im Farben des Schillers bei Benetzung mit Flüssigkeiten von nicht zu großem Brechungsindex eintreten, und daß sie in vielen Fällen sprungweise, d. h. in großen Intervallen der spektralen Farbenreihe erfolgen, läßt, so viel ich sehe, gar keine andere Deutung zu, als daß bei Schuppengebilden und metallisch glänzenden Federn der Schiller als ein Interferenzphänomen aufzufassen ist, bedingt durch dünne Luftschichten und nicht wie bei den schuppenlosen Käfern durch dünne Chitinlamellen. „Ein dünnes Blatt aus einer festen Substanz nämlich ändert selbstverständlich nur die Stärke, nicht aber den Ton seiner Interferenzfarbe, wenn es in Flüssigkeiten von verschiedenem Brechungsindex gebracht wird.“

Wenn WALTER gegen eine solche Auffassung, die ich mit Rücksicht auf den bekannten Bau der Schuppen als eine überaus naheliegende bezeichnen muß, einwendet, daß dann die Schillerfarben bei Ersatz der Luft durch Flüssigkeiten sich im allgemeinen viel stärker in der Richtung vom Blau zum Rot ändern müßten, als es in Wirklichkeit der Fall sei, so kann ich in Hinblick auf die mitgeteilten Erfahrungen diesem theoretischen Einwande keine erhebliche Bedeutung beimessen. Denn größere Intervalle der Farbe vor und nach der Imbibition, als man tatsächlich beobachtet, sind nicht wohl denkbar, während die Farbenverschiebung, welche man bei Anwendung von Flüssigkeiten verschiedenen Brechungsvermögens auf frei an der Luft liegende Schillerstoffe beobachtet, sich nach den Untersuchungen WALTERS, „wenn sie auch im allgemeinen recht deutlich hervortritt, doch im Ganzen nur über einen oder höchstens zwei benachbarte Farbentöne des Spektrums erstreckt.“ Außerdem erfolgt sie in diesem Falle bei Zunahme des Brechungsexponenten der benützten Flüssigkeit stets in der Richtung vom Rot zum Blau und nicht wie bei den Schuppen und Federn in umgekehrter Richtung. WALTER nimmt daher an, daß die von ihm vorausgesetzten Schillerstoffe als feste Lösungen in Chitin bzw. Hornsubstanz

gegeben seien, Lösungen, deren Brechungsexponenten für die meisten Farben des Spektrums denjenigen des Benzols und des Schwefelkohlenstoffes, in welchen der farbige Schiller völlig erlischt, gleich sind, so daß dann die betreffenden Farben beim Auffall des Lichtes aus einer der genannten beiden farblosen Flüssigkeiten gar nicht reflektiert werden. Nimmt man solche feste Lösungen an, so würde dann auch die Farbe des Schillers in spektraler Richtung sich vom Blau zum Rot hin verschieben, wenn die Brechkraft des umgebenden Mediums nicht allzu groß ist.

Da bei Käfer- und Schmetterlingsschuppen der Farbumschlag resp. das gänzliche Verschwinden des Schillers nach Zusatz einer geeigneten Flüssigkeit anscheinend momentan erfolgt, so nimmt WALTER an, daß die mit dem Schillerstoffe gewissermaßen imprägnierte Chitinschicht „unmittelbar an der Luft“ frei liegt. Dann wäre es aber doch wunderbar, daß, wie man es bei *Entimus imperialis* so schön sieht und wie schon DIMMOCK beschrieben hat, nur verletzte Schuppen ihren Schiller einbüßen resp. ändern, indem die Flüssigkeit in das Innere derselben eindringt und die hier befindliche Luft verdrängt, sonst aber ganz unverändert bleiben. Hier müßte also der angebliche Schillerstoff im Innern der Schuppen und zwar frei gelegen sein. Man kann aber ganz leicht zeigen, daß es sich bei allen schillernden Schmetterlingsschuppen genau ebenso verhält, wenn man nur statt leicht eindringender flüchtiger Flüssigkeiten solche zum Versuche wählt, welche infolge ihrer Zähigkeit gar nicht oder nur sehr langsam eindringen. Das Verhalten der Schuppen solchen gegenüber ist für die Frage nach der physikalischen Natur der Schillerfarben so bedeutungsvoll, daß ich etwas näher auf die betreffenden Erscheinungen eingehen muß. Ich verwendete hauptsächlich ganz eingedicktes Cedernöl, welches kaum noch floß, sowie gallertige Gelatine. Am besten geeignet fand ich schillernde Schuppen von *Papilio*-Arten (*P. Ulysses*, *P. Arjuna*, *P. Buddha*). Läßt man zu einem Präparate solcher isolierter Schillerschuppen vom Rande des Deckglases her einen Tropfen möglichst dickflüssigen Cedernöls zutreten, so bleibt zunächst sowohl die Farbe im durchgehenden Lichte wie auch das reflektierte glänzende Blau resp. Grün ganz unverändert, auch wenn die betreffenden Schuppe schon völlig vom Oele umflossen sind. Erst ganz allmählich beginnt von dieser oder jener Seite her die zähe Flüssigkeit ins Innere der Schuppe einzudringen, so daß man Schritt für Schritt diesen Vorgang sowie seine Folgewirkungen mit Bezug auf den Schiller beobachten kann. So entsteht bei *P. Arjuna* meist in der Mitte der Schuppe zuerst ein kleiner Bezirk von hell lehmgelber Farbe, während alles übrige noch schön rotgelb erscheint (im durchfallenden Lichte). Langsam vergrößert sich dann das durch Verdrängung der Luft entfärbte Gebiet bis schließlich die ganze Schuppe aufgehellte ist und damit die Fähigkeit zu schillern fast völlig eingebüßt hat (der schwache Schiller, der noch übrig bleibt, zeigt gelbrötliche Farbe). Die meisten der stark gekrümmten *Papilio*-Schuppen erleiden beim Auflegen des Deckglases gerade an den Stellen stärkster Krümmung kleine Verletzungen am Rande (Risse, Sprünge), wodurch natürlich das Eindringen der Zusatzflüssigkeit sehr wesentlich erleichtert wird. Möglichst unversehrte Schuppen, die freilich nur sehr vereinzelt vorzukommen scheinen, sah ich ihre normalen Durchlaßfarben und damit natürlich auch den Schiller im auffallenden Lichte stundenlang bewahren, auch wenn sie vollkommen im Oele eingebettet lagen.

Viel weniger günstig liegen die Verhältnisse bei *Morpho*-Arten, sowie bei *Lycaeniden*. Selbst das zähflüssigste Oel dringt hier auffallend schnell ins Innere der Schuppen und man gewinnt nur eben Zeit, den Vorgang der Luftverdrängung etwas genauer zu verfolgen. Man erkennt dann an den dunkel pigmentierten blauglänzenden *Morpho*-Schuppen ganz deutlich und unzweideutig, daß hier Luft in zwei

übereinanderliegenden Schichten vorkommt. Die eine tiefere offenbar dem Raum zwischen unterer und oberer Schuppenlamelle entsprechend, die andere ganz oberflächlich in der letzteren selbst enthalten. Man sieht nämlich im durchfallenden Lichte, wie beim Vordringen des Oeles zwei verschieden dunkle Luftschichten mit oft sehr verschiedener Geschwindigkeit verzehrt werden. Indem ich diesen letzteren Ausdruck gebrauche, möchte ich damit zugleich andeuten, daß man das Austreten der Luft aus der Schuppe unter den angegebenen Versuchsbedingungen in der Regel nicht sieht, indem sie vom Oele offenbar absorbiert wird. Man kann dies bei *Lycaena*-Schuppen (L. Denis) direkt beobachten. Dieselben imbibieren sich ebenfalls außerordentlich leicht und rasch selbst mit sehr dickem Oele. Die in ihnen enthaltene Luft wird dann oft zu einem Bläschen zusammengedrängt, welches entweder nach außen tritt oder im Schuppenhohlraume verbleibt. Im einen wie im anderen Falle sieht man dasselbe aber rasch sich verkleinern und endlich verschwinden, indem es vom Oele aufgenommen wird. Die (gar nicht pigmentierten) *Lycaena*-Schillerschuppen werden nach völliger Imbibition so vollkommen durchsichtig und farblos, daß man sie überhaupt im Oele nicht mehr zu erkennen vermag. Hätten sie eine Körperfarbe, so wäre dies aber, wie die vorigen Fälle zeigen, ganz wohl noch möglich.

Ich bin nicht ganz sicher, ob das so rasche Eindringen selbst sehr zäher Flüssigkeiten immer nur auf kleinen zufälligen Verletzungen der Schuppen beruht und möchte eher glauben, daß die Luft Räume derselben auch an den Rändern und nicht nur am Stielchen nach außen münden. Wie dem aber auch sein mag, auf alle Fälle beweist das geschilderte Verhalten, daß sowohl bei Käfer wie bei Schmetterlingsschuppen die bloße Berührung mit einer selbst sehr stark lichtbrechenden Flüssigkeit das Schillern niemals zu beseitigen oder auch nur den Farbenton zu verändern vermag, sondern daß dazu unbedingt das Eindringen der Flüssigkeit ins Innere der Schuppe und die damit verknüpfte Luftverdrängung erforderlich erscheint. Es mag hier auch noch eine weitere Beobachtung von Gräfin LINDEN angeführt werden. Es betrifft den schon früher erwähnten blauen Schiller, welchen die Flügel von *Thecla quercus* in einem gewissen Entwicklungsstadium vorübergehend darbieten. Derselbe ist nämlich nicht nur an dem frisch aus der Puppenhülle entnommenen Flügel zu bemerken, sondern er tritt auch ganz ebenso an in Kanadabalsam eingelegten Präparaten hervor.

Man wird gewiß nicht annehmen wollen, daß die in allen Punkten so ähnlichen Schillerphänomene bei schuppenlosen Käfern in prinzipiell anderer Weise entstehen, als jene der Schuppegebilde und Federn. Da nun dort, wie wir gesehen haben, die äußerste dünne Chitinschicht den Schiller im wesentlichen vermittelt, so müßte, wenn WALTERS Ansicht richtig wäre, auch ein schillernder Käfer beim Eintauchen in eine geeignete Flüssigkeit entweder völlig glanzlos erscheinen oder doch wenigstens eine Aenderung des Farbentones erkennen lassen. Dies ist aber tatsächlich nicht der Fall und nur *Lytta* und *Anoplognathus* bilden eine Ausnahme, indem bei letzterem nach Verdrängung der unter der Cuticula befindlichen Luftschicht aller Metallglanz erlischt, während die Flügeldecken des erstgenannten Käfers nach längerem Liegen in Alkohol bronzefarbig werden. Ich zweifle nicht, daß es sich auch hier um Verdrängung von Luft handelt, die bei der Dünne und Weichheit der Flügeldecken hier leichter möglich sein wird, als bei hartschaligeren Käfern, wenn bei diesen überhaupt derartige dünne Luftschichten allgemeiner vorkommen. Daß sie hier sicher nicht als „dünne Blättchen“ wirken, ergibt sich aus den überaus lebhaften Schillerfarben durch Maceration isolierter Lamellen der „Emailschicht“ (Cetonien).

Das ganz entsprechende Verhalten schillernder Vogelfedern, deren Farbenton sich ebenfalls erst nach sehr langer Dauer der Einwirkung von Flüssigkeiten ändert, veranlaßte denn auch WALTER zu der sicherlich unzutreffenden Hypothese, „daß die den Schiller erzeugende Farbstoffoberfläche nicht wie bei den Schmetterlingen unmittelbar an der Luft liegt, sondern von ihr durch eine sie futteralartig umgebende Hülle von Hornhaut allseitig abgeschlossen ist“, durch welche das Hinzutreten der Flüssigkeiten zu der eigentlichen schillernden Schicht verhütet wird. Sie müßte außerdem im Inneren der Fieder frei liegen und also nicht mit der angenommenen äußeren farblosen Hülle in Berührung stehen, da ja sonst der Schiller offenbar ebenso gut vernichtet werden müßte, wie durch Berührung mit Benzol oder Schwefelkohlenstoff. „Bringt man jedoch einer solchen farblosen Deckschicht eine Verletzung bei, indem man z. B. von den blau schillernden Fiedern erster Ordnung einer *Musophagiden* Feder die Enden abschneidet, so saugt sich das Innere derselben in jenen Flüssigkeiten nach einiger Zeit voll, und man beobachtet dann wieder ganz ähnliche Veränderungen des Tones ihrer Schillerfarbe, wie sie bei den Schmetterlingsschuppen schon sogleich nach dem Eintauchen derselben wahrzunehmen sind“ (WALTER). Wenn WALTER nun hieraus folgert, daß „es demnach bei den Vögeln wieder sehr konzentrierte Lösungen von Farbstoffen — und zwar hier natürlich in Hornhaut — sind, an deren Oberfläche das Licht mit farbigem Glanze reflektiert wird“, so kann nach dem Mitgeteilten diese Annahme keineswegs als begründet gelten und ich glaube, daß es sich auch hier wieder nur um dünne Luftschichten handelt. Er erscheint nach allem Vorgebrachten kaum noch nötig, auf den letzten Einwand von WALTER gegen die Deutung der Schillerfarben als Farben dünner Blättchen näher einzugehen, der sich auf die Veränderungen derselben mit zunehmendem Einfallswinkel des Lichtes bezieht.

„Die Interferenzfarbe einer dünnen Luftschicht ändert sich um so schneller mit dem Einfallswinkel, je höher hinauf ihre Farbe in dem NEWTONSchen Ringsysteme liegt, d. h. je dicker die sie erzeugende Schicht ist. Der Farbenwechsel selbst verläuft dabei allerdings in demselben Sinne, wie bei den Oberflächenfarben, nämlich im Spektrum vom Rot durch Gelb und Grün zum Blau hin, indessen ist hier nach WALTER eine Verwechslung beider Farbenarten vollständig ausgeschlossen, da eben bei der dünnen Luftschicht der Farbenton sich ganz außerordentlich viel schneller mit dem Einfallswinkel ändert, als bei den Oberflächenfarben“ (WALTER). Hiergegen ist zu bemerken, daß erstlich die Schillerfarben im allgemeinen den ersten Ordnungen der NEWTONSchen Reihe angehören und daß weiterhin der Wechsel derselben mit zunehmendem Einfallswinkel in der Tat sehr rasch erfolgt, wie namentlich die Schillersuppen von *Urania Croesus*, sowie jene von *Papilio Buddha* zeigen.

Ich halte somit die Annahme für hinlänglich begründet, daß sowohl bei schuppenlosen Insekten wie auch bei allen schillernden Schuppen und Federn die betreffenden Farben als „Farben dünner Blättchen“ zu deuten sind, daß aber bei jenen feste Chitinlamellen als wesentlich farbengebend gelten müssen, während es sich bei Schuppengebilden und Federn um dünne Luftschichten handelt. In manchen Fällen (Silber- und Goldglanz, Messingfarbe von *Anoplognathus aureus*) wirken Luftschichten hauptsächlich durch totale Reflexion in Verbindung mit (gelb) pigmentierten Chitinschichten.

Ich gebe gerne zu, daß noch manche Punkte der Aufklärung bedürftig sind und rechne dazu vor allem den Einfluß, welchen wenigstens in einzelnen Fällen die besondere Oberflächenskulptur von Schuppen, wenn auch vielleicht nicht auf den Ton der Schillerfarben, so doch auf ihren ganzen Charakter ausübt. Sicher ist, daß die Skulpturen an sich nicht farbenerzeugend wirken. Es gilt

dies ebensowohl von den Längs- und Querleistchen (Rippen) wie von den häufig vorhandenen Höckerchen. Als Beweis braucht nur auf die Schillerschuppen von *Papilio Buddha* oder *Papilio Arjuna* und *Papilio Ulysses* hingewiesen zu werden, wo man sofort sieht, daß die Farbe von den zwischen den hier nur spärlich vorhandenen Rippen gelegenen Flächen ausstrahlt. Es finden sich übrigens förmliche Entwicklungsreihen bestimmter Skulpturverhältnisse. Eine solche Reihe bilden z. B. die *Lycaeniden*-Schuppen, jene von *Amblypodia Tamiris*, *Papilio Ulysses* und schließlich *Papilio Buddha*, desgleichen bieten die blauglänzenden stark pigmentierten *Morpho*-Schuppen und jene von *Apatura*- und *Hypolimnas*-Arten manche Uebereinstimmung der feineren Struktur dar. Bei *Morpho Sulkowskyi*, dessen Schuppen sich wegen ihrer Pigmentlosigkeit am besten zur Untersuchung eignen, sehe ich nach Imbibition mit Glycerin sehr dicht gestellte Längsrippen, welche sich bei genauer Einstellung auflösen in Reihen glänzender Punkte (Höcker?), wie dies ähnlich auch bei *Lycaena Danis* beobachtet wird. Dieselben sind bei anderen *Morpho*-Arten (*M. Cypris*, *Rhetenor*) anscheinend dunkel schwarzbraun pigmentiert, außerdem findet sich dunkles Pigment auch noch in Form zahlreicher Körnchen in der oberen Schuppenmembran abgelagert, aber nur in deren tieferen Schichten. Oberflächlich ist jede solche Schuppe von einer glashellen zweischichtigen Chitinhaut überzogen, die man sehr deutlich an jedem optischen Längsschnitt sehen kann. Man legt zu dem Zweck ein Stückchen des Flügels für etwa 24 Stunden in verdünnte Kalilauge. Die Schuppen werden darin unter gänzlichem Verlust des Schillers sehr durchsichtig und erscheinen stark um die Längsachse gerollt, so daß man an vielen Stellen gute Profilbilder gewinnt, welche die farblose Deckschicht, die durch eine in der Mitte verlaufende dunkle Linie ihre Zusammensetzung aus 2 Lagen erkennen läßt, sehr deutlich zeigen. Schon M. BAER hat es wahrscheinlich bezeichnet, daß die pigmentierten *Morpho*-Schuppen „über dem Pigment mit einer dünnen durchsichtigen Schicht ausgestattet sind“, doch war es ihm nicht gelungen, dieselben zu sehen. Ich bin der Ansicht, daß zwischen den beiden Blättern dieser farblosen Außenschicht normalerweise Luft enthalten ist, welche nun als dünne Schicht wirkt.

Ganz ähnlich finde ich auch die Schillerschuppen von *Apatura Iris* gebaut. Nach kurzer (24 Stunden) Behandlung mit Kalilauge sehe ich dicht gestellte Längsrippen, die sich wieder in Längsreihen glänzender farbloser Knötchen auflösen lassen. Stellt man etwas tiefer ein, so treten braunschwarze Pigmentkörnchen hervor. Von der Anwesenheit einer ganz farblosen Außenschicht glaube ich mich auch hier überzeugt zu haben. Die Vermutung von SPULER, dass solche „Kegelleistchen“ den Glanz und die Leuchtkraft der Schillerfarben erhöhen, kann ich nicht für zutreffend halten, denn bei unserem Schillervalter (*Apatura Iris*) ist das Blau verhältnismäßig matt, wenigstens im Vergleich mit *Morphiden* und doch sind die Höckerchen dort viel dichter gestellt wie hier.

Anhang.

Die Reflexionsfarben des geschmolzenen Cholesterylpropionats.

Vor Jahren schon wurde im hiesigen physiologischen chemischen Laboratorium eine Probe der oben genannten Verbindung dargestellt und dabei gelegentlich die prachtvollen Schillerfarben beobachtet, welche dieselbe im geschmolzenen Zustande beim Erstarren darbietet. Die Schönheit, der Glanz und die Sättigung dieser Farben sowie ihre Veränderlichkeit mit dem Wechsel der Einfallrichtung des

Lichtes erinnern so sehr an die Schillerfarben der Insekten und namentlich gewisser Käfer, daß ich es nicht unterlassen möchte die Aufmerksamkeit darauf zu lenken, obschon ich bis jetzt nicht Zeit gefunden habe, die betreffenden Erscheinungen genauer zu studieren. Uebrigens sind dieselben den Chemikern bereits bekannt und gelten für die Verbindung als charakteristisch. In BEILSTEINS Handbuch der organischen Chemie III. Aufl., Bd. II, 1896, p. 1073 wird die Eigenschaft, beim Erstarren glänzende Farben zu erzeugen, sowohl vom Cholesterylacetat wie vom Cholesterylpropionat erwähnt. Das erstere färbt sich auf einem Objektträger geschmolzen und mit einem Deckgläschen bedeckt beim Erkalten erst smaragdgrün, dann blau und schließlich rot, das Propionat dagegen zuerst violett, dann blau, grün und endlich rot.

Das Cholesterylpropionat ($C_{30}H_{50}O_2 = C_3H_5O_2 \cdot C_{26}H_{43}$) bildet weisse cholesterinartige Blättchen mit einem Schmelzpunkt von 98° , ist leicht löslich in Aether, Schwefelkohlenstoff und Benzol. Beim Verdunsten solcher Lösungen tritt keine Spur jener Farbenphänomene hervor. Bringt man dagegen eine kleine Menge der Substanz auf einen Objektträger und läßt dieselbe über einer kleinen Flamme schmelzen, so färbt sich, wie erwähnt, die geschmolzene Masse beim langsamen Abkühlen zunächst schön violettblau, dann grün, glänzend gelbgrün (goldgrün) und schließlich wenigstens stellenweise rot. Untersucht man das völlig erstarrte, farblos gewordene Präparat mit dem Polarisationsmikroskop, so zeigt sich an denjenigen Stellen, wo die Substanz in dünnster Schicht ausgebreitet liegt, zwischen gekreuzten Nikols eine Mosaik prachtvoll entwickelter Sphäriten, die gegeneinander polygonal abgeplattet sind und teils farblos teils farbig erscheinen, jeder einzelne durchzogen von dem charakteristischen schwarzen Kreuz. Es dürfte wenige Substanzen geben, in welchen sich so leicht und bequem die Entstehungsweise und der Bau von Sphärokrystallen studieren läßt, wie die in Rede stehende Verbindung. Ganz besonders farbenprächtig gestaltet sich natürlich das Bild nach Einschaltung eines Gipsplättchens. Rot I. Ordnung.

Das Hauptinteresse lag nun für mich in der Untersuchung derjenigen Stadien der Erstarrung, in welchen die Substanz jene glänzenden Farbenphänomene darbietet. Es sei gleich erwähnt, daß dieselben nicht nur bei dem Uebergang aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand, sondern auch umgekehrt beim Schmelzen der erstarrten festen Masse in gleicher Weise auftreten. Sobald die Temperatur über 70° C gestiegen ist, beginnt die sich verflüssigende noch trübe Substanz blaues Licht auszustrahlen. Beobachtet man bei umgedrehtem Spiegel mit Zeiß A im auffallenden Lichte, so sieht man in dem Momente, wo bei der Erstarrung die Blaufärbung eintritt, wie sich das ganze Gesichtsfeld rasch mit einem blauen Schleier überzieht, indem zahllose blauschimmernde Partikel (Blättchen?) aus dem Dunkel auftauchen, welche wenig später unter Grünfärbung noch viel deutlicher, weil heller glänzend, hervortreten. Die ganze Masse gerät dann in strömende Bewegung, wobei die grünen Flitter anscheinend in einem flüssigen Medium schwimmen. In dem blauen Stadium herrscht dagegen noch völlige Ruhe, so daß man zu der Meinung kommen könnte, die ganze Masse sei bereits fest geworden. Während des lebhaften Strömens tauchen dann in dem grün oder schon gelb glitzernden Brei zuerst an einzelnen, dann an vielen Stellen dunkle kreisförmige Scheiben auf, die sich rasch vergrößern und unter gegenseitiger Abplattung ein Mosaikfeld bilden, das sich nun nicht weiter verändert. Auch bei Anwendung stärkerer Vergrößerungen (Zeiß D) bin ich über die eigentliche Konstitution der wie Syrup zähflüssigen Masse nicht ins klare gekommen. Zwischen gekreuzten Nikols sieht man im Momente der Blaufärbung das vorher dunkle Gesichtsfeld sich rasch erhellen, indem zahllose weiße Flitter von nicht näher bestimmbarer Form auftauchen, die nun eine Zeit lang völlig ruhig liegen bleiben. Ich glaube mit Bestimmtheit sagen zu können, daß zu

dieser Zeit nicht die ganze Masse gleichmäßig doppelbrechend ist, sondern daß es sich um eine Differenzierung solcher Partien handelt, die in einer isotropen flüssigen Grundsubstanz liegen. Ob jene nun auch flüssig (flüssige Kristalle?) oder fest sind, wage ich zunächst nicht zu entscheiden. Jedenfalls ist sicher, daß sie später bei der Bildung der zweifellos festen Sphärokristalle völlig aufgezehrt werden, also wohl wieder vorher in Lösung gehen, bzw. eine molekulare Umlagerung erleiden müssen. Es gewährt ein überaus reizvolles Bild, die Entstehung der Sphäriten und ihr allmähliches Wachsen mit dem Polarisationsmikroskop zu verfolgen. Ich erhielt wiederholt den Eindruck, daß in der Phase des Strömens, kurz vor dem Anschließen der Sphäriten wenigstens stellenweise auch ganz homogene doppelbrechende Ströme entstehen können.

Was nun die Farben selbst betrifft, deren Erscheinen, wie schon erwähnt, immer in die Stadien vor der Sphäritenbildung fällt, so verhalten sie sich in allen Punkten wie die Farben dünner Blättchen, so insbesondere auch darin, daß jeweils die Farbe im durchgehenden Lichte komplementär, aber blasser als die Reflexionsfarbe ist. Weiter zeigen sie auch dieselben Veränderungen (Schillern) mit dem Wechsel des Einfallswinkels. Gleichwohl möchte ich mich mit Rücksicht auf die noch zweifelhafte Konstitution der Substanz in den farbigen Stadien hinsichtlich der physikalischen Natur dieser Farben vorläufig nicht bestimmter äußern.

Literaturverzeichnis.

- AMBRONN, H., Ueber den Glanz der Sapphirinen. *Mittel. d. zool. Station Neapel*, Bd. IX, 1889—91.
- BAER, M., Ueber Bau und Farben der Flügelschuppen bei Tagfaltern. *Zeitschr. f. wiss. Zool.*, Bd. LXV, 1899.
- BERGÉ, M., Ueber die Metallfarben bei den Insekten. *Annales de la Société entomologique de Belgique*, T. XXXI, 1887.
- Note sur la coloration des teguments chez les insectes et spécialement chez les Coleoptères. *Bulletin de la Soc. Entom. de Belgique*, 1885.
- Des variétés du *Carabus auronitens* au point de vue de la coloration. *Bull. de la Soc. Entom. de Belgique*, 1885.
- BRÜCKE, E., *Physiologie der Farben*, 2. Aufl., 1887.
- Ueber den Metallglanz. *Wiener Akad. Sitzungsber.*, Bd. LIII, 2. Abt.
- Ueber die physiologische Bedeutung der stabförmigen Körper in den Augen der Wirbeltiere. *MÜLLERS Arch.*, 1844, p. 444.
- Ueber Federfarben. *Wiener Akad. Sitzungsber.*, Bd. XLIII, 1861, 2. Abt.
- CAMERON, P., Coloration and development of Insects. *Transact. Ent. Soc. London*, 1880.
- CHANTARD, *Ann. Chim. Phys.*, (5) T. CXI und *Compt. rend.*, 1873, 13 janvier.
- DIMMOCK, G., The scales of Coleoptera. „*Psyche*“, a Journal of Entomology, publ. by the Cambridge entomological Club, Cambridge, Mass. U. S. A., Vol. IV, No. 105—112.
- EXNER, S., Die Physiologie der facettierten Augen von Krebsen und Insekten, 1891.
- GADOW, H., On the colour of feathers as affected by their structure. *Proceed. Zool. Soc. of London*, 1882, p. 409.
- GOUREAU, *Memoire sur l'irisation des ailes des insectes*. *Ann. de la Soc. Entom. France*, Sér. 2, T. I, 1843, p. 201.
- GRIFFITHS, A. B., *Recherches sur les couleurs de quelques insectes*. *Compt. rend. Acad. Paris*, T. CXV, 1892.
- HÄCKER, V., und MEYER, G., Die blaue Farbe der Vogelfedern. *Zool. Jahrb., SPENGLER*, Bd. XV, 1901.
- HAGEN, H. A., On the color and the pattern of insects. *Proceed. of the American Academy*, 1882.
- HAGEN und MÜLLER, FRITZ, *Kosmos*, Bd. XIII, 1883.
- HEER, O., Einfluß des Alpenklimas auf die Farbe der Insekten. *FROEBEL u. HEER, Mitt. a. d. Gebiete d. theoret. Erdkunde*, Bd. I, 1836, S. 161.
- HEMMERLING, H., Ueber die Hautfarbe der Insekten. *Inaug.-Dissert. Bonn*, 1878.
- HOFMANN, K. B., *Lehrbuch der Zoochemie*, 1879.
- JEFFRIES, J. AMORY, The Colors of feathers. *Bulletin of the Nuttall Ornithological Club*, Vol. VII, 1882.
- INTIRE, MC., Minute structure of the scales of Insects. *Monthl. Microscop. Journ.*, Vol. V.
- KOLBE, H. J., Einführung in die Kenntnis der Insekten, Berlin 1893.
- KOSSOGONOFF, J., Ueber optische Resonanz. *Physikal. Zeitschr.*, 4. Jahrg., 1903, S. 208, 258 u. 518.
- KRUKENBERG, *Vergleichend-physiologische Studien*, Bd. I, 3, 1884, S. 63.
- LANDOIS, Beobachtungen über das Blut der Insekten. *Zeitschr. f. wiss. Zool.*, Bd. XIV, 1864.
- LEYDIG, F., Bemerkungen über die Farbe der Hautdecken der Insekten. *Arch. f. mikr. Anat.*, Bd. XII, 1876.
- LUTHAM, A. G., The causes of the metallic lustre of the scales on the wings of certain moths. *Proceed. Lit. and Philosoph. Soc. Manchester*, Vol. III, 1864, und *Quart. Journ. micr. sc., N. Ser.*, Vol. IV, 1864, p. 48.
- MUNN, MAC, *Proceed. of the Birmingham Philosoph. Soc.*, Vol. III, 1882/83, p. 351.
- NEWBIGIN, Miß MARION J., Observations on the metallic colours of the Trochilidae and the Nectariniidae. *Proceed. Zool. Soc.*, 1896, No. XIX.
- POULTON, E. B., *The colours of the animals*, London 1890.
- RANVIER, *Traité technique d'Histologie*.
- ROSENHOF, RÖSEL v., Die monatl. herausgegeb. Insektenbelustigungen, 3. Teil, 1755, S. 254, Taf. LIV.
- SCHATZ, E., *Familien und Gattungen der Tagfalter*, II. Teil, 1885, S. 29.

- SPULER, A., Zur Kenntnis der Schmetterlingsschuppen. Sitzungsber. d. physik.-med. Soc. Erlangen, 26. Heft, 1895.
— Beitrag zur Kenntnis des feineren Baues und der Phylogenie der Flügelbedeckung der Schmetterlinge. Zool. Jahrb., SPENGLER, Bd. VIII.
— Zur Phylogenie der einheimischen Apatura-Arten. Stettiner entomol. Zeitung, 1890.
TETENS, H., Mikroskopische Unterschiede der Flügelschuppen in Korrelation mit Farbendifferenzen. Berliner entomol. Zeitung, Bd. XXXIX, S. 161.
URECH, F., Beitrag zur Kenntnis der Farbe der Insektenschuppen. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. LVII, 1894.
VENUS, C. ED., Ueber Varietätenzucht. Corresp.-Blatt d. entomolog. Vereins Iris in Dresden, Bd. I, 1888, S. 209.
VERHOEFF, C., Ueber die Flügeldecken von Cassida. Verhandl. d. k. k. zool. botan. Ges. in Wien, Bd. XLVII, 1897, S. 410.
WALLACE, Darwinismus.
— Färbung der Tiere und Pflanzen. Kosmos, Bd. IV.
WALTER, B., Die Oberflächen- oder Schillerfarben, Braunschweig 1895, Vieweg.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Denkschriften der medicinisch-naturwissenschaftlichen Gesellschaft zu Jena](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [11](#)

Autor(en)/Author(s): Biedermann Wilhelm

Artikel/Article: [Die Schillerfarben bei Insekten und Vögeln. 215-300](#)