



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„UV- und Polarisationssignale bei Tagfaltern“

Verfasserin

Sandra Schneider

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 439

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Zoologie (Stzw) UniStG

Betreuer:

O. Univ.- Prof. Dr. Hannes F. Paulus

Für Papa

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	5
Abstract	6
Einleitung	7
Material und Methode	14
Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop	14
Untersuchung des Schillereffekts aus versch. Betrachtungswinkeln	15
Untersuchung der Polarisationsmuster	17
Untersuchung der UV-Muster	21
Untersuchung zum Thema Wärmeschutz	21
Ergebnisse	23
Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop	23
Untersuchung des Schillereffekts aus versch. Betrachtungswinkeln	27
Untersuchungen der UV- und Polarisationsmuster	32
Allgemeine Ergebnisse	33
Variation	47
Individuelle Unterschiede	47
Weibchendimorphismus	47
Gynandromorphie (Scheinzwittertum)	50
Flügelunterseite	51
Vergleich nah verwandter Arten	54
Untersuchung zum Thema Wärmeschutz	58
Diskussion	59
Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop	59
Untersuchung des Schillereffekts aus versch. Betrachtungswinkeln	59
Untersuchungen der UV- und Polarisationsmuster	60
Allgemeine Ergebnisse	60
Kartierung	60
Funktionen.....	61

Variation	65
Individuelle Unterschiede	65
Weibchendimorphismus	65
Gynandromorphie (Scheinzwittertum)	66
Flügelunterseite	66
Vergleich nah verwandter Arten	66
Untersuchung zum Thema Wärmeschutz	67
Diskussion der wichtigsten Ergebnisse.....	68
Zusammenfassung.....	69
Summary	70
Literaturverzeichnis.....	71
Abbildungsverzeichnis.....	74
Anhang	75
Lebenslauf.....	129

Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei meinem Betreuer Herrn Univ.-Prof. Dr. Hannes Paulus (Department für Evolutionsbiologie, Universität Wien) bedanken, der es mir ermöglicht hat, dieses faszinierende Thema im Rahmen einer Diplomarbeit zu behandeln und der mich immer tatkräftig unterstützt hat.

Weiteren Mitarbeitern der Universität Wien sei an dieser Stelle ebenfalls gedankt, wie zum Beispiel den beiden Seelen des Departments für Evolutionsbiologie Iljia Bründl-Tschulenken und Sonja Matuš. Auch Mag. Martin Streinzer war mir zu Beginn meiner Arbeit eine große Hilfe, da er mich in die UV- und Polarisationsfotografie eingeführt hat. Dank Mag. Julia Bauder und den Mitarbeitern der Abteilung für Cell Imaging und Ultrastrukturforschung an der Universität Wien (CIUS), speziell Mag. Daniela Gruber, konnten Arbeiten mit den Flügelschuppen mittels Rasterelektronenmikroskop verwirklicht werden.

Ein großes Dankeschön gilt den Mitarbeitern des Naturhistorischen Museums Wien, insbesondere Hofrat Mag. Dr. Martin Lödl und Mag. Dr. Sabine Gaal-Haszler, die mir den Zutritt zu der atemberaubenden Lepidoptera-Sammlung gestattet haben und mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Zuletzt, aber keineswegs minder wichtig, soll die Unterstützung meiner Familie und meiner Freunde erwähnt werden. Ihr habt (musstet) mich in schlechten Zeiten ertragen und habt mich immer wieder aufgebaut!

Danke! Thank you! Merci! Grazie! Gracias! Tak! спасибо! ευχαριστώ! Benigne!

Abstract

Butterfly wings can appear in brilliant and stunning colours because of their scales and pigments. Mainly iridescent and metallically coloured species of different diurnal butterfly families have been chosen for this investigation.

First of all the scales and the iridescence of different butterfly species have been morphologically examined. The scales show the typical architecture, but differences between the iridescent scales of the various species were found.

Reflectance of ultraviolet light and polarization, which are invisible to humans' eyes, have been encountered on large parts of the wings of the investigated individuals by using photography with special optical filters.

The results show how often these optical phenomena can be found on both sides of butterfly wings. They also demonstrate the high variety within the different butterfly families up to interesting individual differences in polarization and UV-reflection.

Subsequently various theories about possible functions of these special wing patterns in the life of butterflies are discussed, e.g. crypsis, thermoregulation and intraspecific communication like cognition of conspecifics and mate choice.

Keywords: butterfly – iridescence – scales – UV-reflection – polarization – functions of wing patterns

Einleitung

Die Farben der Schmetterlingsflügel sind größtenteils auf die Färbung ihrer Schuppen zurück zu führen, die die Flügelmembran in zwei Schichten bedecken. Daher stellt das Farbmuster des Flügels, wie in Abbildung 1 zu sehen ist, eigentlich ein Mosaik dar, das sich aus einer Vielzahl einfarbiger, sich teilweise überlappender Schuppen zusammen setzt (Nijhout, 1991).

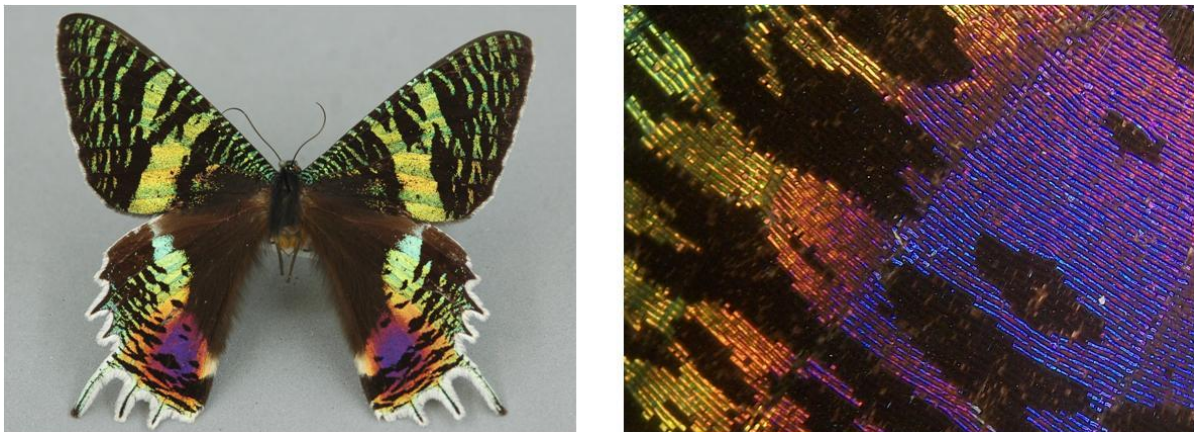


Abbildung 1: *Chrysiridia croesus*. Links: Gesamtansicht eines männlichen Individuums; rechts: Flügelfläche bei größerer Vergrößerung.

Die Farbe einer Schuppe kann im Prinzip auf zwei Arten entstehen.

Einerseits kann sie durch Pigmente (Pigmentgranuli oder Einlagerung von Pigmenten = Pigmentfarbe), andererseits durch die Interaktion des Lichtes mit den regelmäßig angeordneten Strukturen der Schuppe (= Strukturfarbe) entstehen (Nijhout, 1991; Vukusic & Sambles, 2000). Daneben gibt es auch eine Kombination der beiden Typen, auf ein- und derselben Schuppe (Scoble, 1992; Michielsen et Stavenga, 2008; Doucet et Meadows, 2009).

Pigmentfarben sind Farben im eigentlichen Sinn, denn es wird hier nur der als Farbe sichtbare Teil des Lichtspektrums reflektiert (Grüb, 1973; Fox, 1976; Prum et al., 2006; Wickham et al., 2006), d.h. ein Teil des einfallenden Lichtes wird absorbiert. Das reflektierte Licht bestimmt folglich die Farbe des Objektes (siehe Abb.2). Pigmentfarben haben den Vorteil, dass sie unabhängig vom Einfallswinkel des Lichtes, dem Betrachtungswinkel, dem Druck, der möglicherweise auf den Körper ausgeübt wird, und dem umgebenden Medium und dessen Brechungsindex sind (Grüb, 1973).

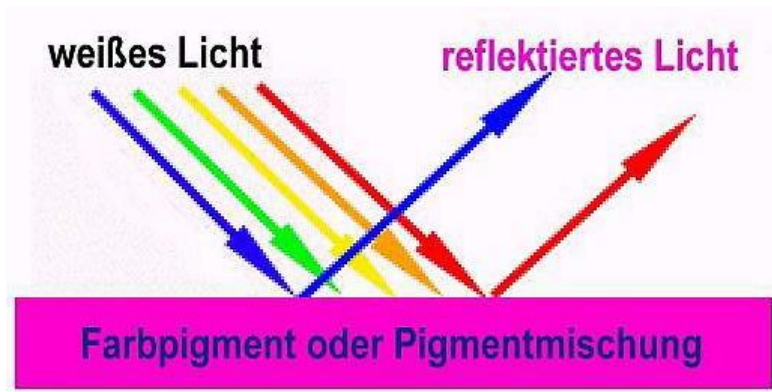


Abbildung 2: Schematische Darstellung zur Funktionsweise von Pigmentfarben (verändert nach <http://www.br-online.de/bildung/databrd/lic1.htm/lich1g09.jpg>).

Strukturfarben beruhen nicht auf eingelagerten Farbstoffen, sondern entstehen nur durch rein physikalische Vorgänge, wie zum Beispiel Brechung, Beugung, Streuung, Interferenz, totale Reflexion (weiß) oder totale Absorption (schwarz) (Grüb, 1973) des Lichts an den feinen regelmäßigen Strukturen der Flügelschuppen (Grüb, 1973; Ghiradella et Radigan, 1976; Ghiradella, 1989; Prum et al., 2006; Ingram et Parker, 2008; Ding et al., 2009; Doucet et Meadows, 2009).

Es werden bei den Flügelschuppen zwei verschiedene Schichten bzw. Schuppentypen unterschieden (Ghiradella, 1991; Vukusic et al., 1999; Gonzato et Pont, 2004; Ding et al., 2009). Direkt auf der Flügelmembran anliegend ist ein Set an Grundschuppen (Basalschuppenschicht) zu finden. Über diesen Grundschuppen befindet sich eine weitere Schicht (Deckschuppenschicht). Sie setzt sich aus den sogenannten Deckschuppen zusammen (Ghiradella, 1991; Ingram et Parker, 2008). Diese beiden Schichten von Schuppen überlappen einander dachziegelartig, dabei werden die Grundschuppen zum Teil, in der Regel jedoch zur Gänze von den Deckschuppen überdeckt (Ghiradella, 1991; Nijhout, 1991). Bei einigen Arten sind die Deckschuppen sogar transparent (Ghiradella, 1991) und werden Glasschuppen genannt (Gonzato et Pont, 2004; Yoshioka et Kinoshita, 2004).

Die Farberscheinungen der Strukturfarben sind nämlich stets eine Folge der Baueigenschaften der Deckschuppenschicht, die in der Regel nur im Zusammenhang mit der darunter liegenden Grundschicht sichtbar sind (Schmidt et Paulus, 1970; Ghiradella, 1991; Ingram et Parker, 2008). Lediglich bei Morphofaltern sind die Deckschuppen allein für die blaue Interferenzfärbung verantwortlich (Ghiradella, 1998; Vukusic et al., 1999; Yoshioka et Kinoshita, 2004).

Im Vergleich zu herkömmlichen Farben zeichnen sich Strukturfarben meist durch eine besondere Leuchtkraft und Farbsättigung aus (Süffert, 1924; Kollo, 2010).

Ein wichtiges Kennzeichen der Strukturfarben ist das mögliche Auftreten eines speziellen Farbeffektes, des sogenannten Schillereffektes. Dieser besteht darin, dass die Farbe veränderlich ist und zwar in der Weise, dass sich der Farbton mit dem Einfallswinkel des Lichtes und dem Blickwinkel des Betrachters verändert (Kennaugh, 1963; Gonzato et Pont, 2004; Doucet et Meadows, 2009; Vukusic et Stavenga, 2009). Diese Wandlungsfähigkeit steht im Gegensatz zur üblichen Stetigkeit des Farbtons einer Schuppenfarbe. Bei diesen Schillerfarben handelt es sich meistens um blaugrüne, blaue und violette Farbtöne. Ein klassisches Beispiel für den Schillereffekt bei Schmetterlingen, stellt bei uns der Große Schillerfalter (*Apatura iris*) dar. In diesem Falle kommt bei einem Kippen des Falters eine blauviolette Farbe auf den Flügeln zum Vorschein (Süffert, 1924). Auch bei den bekannten Morphofaltern gibt es einige Arten, deren strahlende Farbe stark vom Einfallswinkel des Lichtes abhängig ist (Vukusic et Stavenga, 2009).

All diese bisher erwähnten Phänomene entstehen durch geringe Unterschiede im Aufbau der Schuppen (Lippert et Gentil, 1951, 1959; Ghiradella et Radigan, 1976; Nijhout, 1991).

Trotz der hohen Vielfalt an verschiedensten Schuppentypen findet man bei allen Flügelschuppen dieselbe Grundarchitektur (Grundaufbau siehe Abb.3). Die Farbeffekte entstehen in den meisten Fällen durch geringfügige Modifikationen der Grundstrukturen (siehe Abb.4) (Ghiradella et Radigan, 1976; Scoble, 1992) oder durch einen Wechsel in den Abständen und Neigungswinkeln der Strukturen (Nijhout, 1991).

Ein Schmetterling schlüpft mit voll entwickelten Flügelschuppen, da diese schon im Puppenstadium gebildet werden (Larink, 1984). Eine Schuppe ist eine modifizierte Borste, die meist rechteckig abgeflacht ist (Larink, 1984; Nijhout, 1991) und über einen Stiel mit einem Sockel an der Flügelmembran befestigt ist (siehe Abb. 10) (Süffert, 1924; Ghiradella, 1989; Ghiradella, 1991; Scoble, 1992).

Jede einzelne Schuppe eines Schmetterlings mit all den feinen Strukturen geht aus einer einzigen epidermalen Zelle, der sogenannten Schuppenstammzelle, hervor (Larink, 1984; Nijhout, 1991).

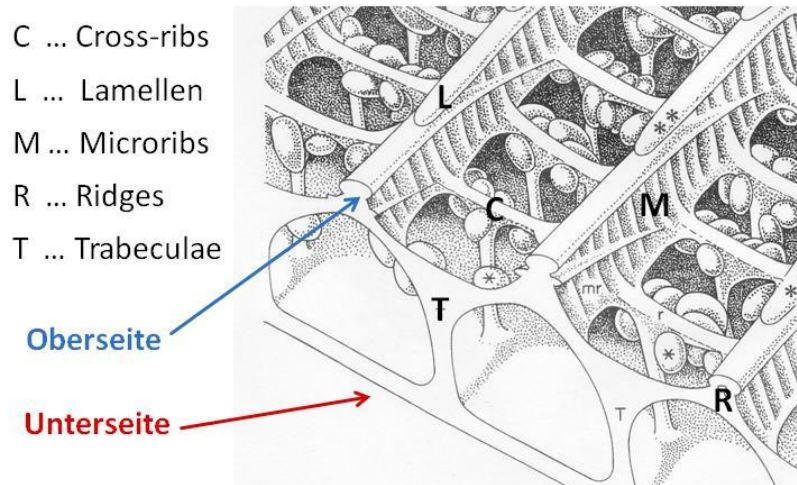


Abbildung 3: Schematischer Grundaufbau der Flügelschuppe eines Schmetterlings (verändert nach Ghiradella, 1991).

Die Architektur genauer betrachtend besteht eine Schuppe aus einer oberen und einer unteren Lamina, die über die Trabeculae miteinander in Verbindung stehen. Die Schuppenoberseite besteht aus längs verlaufenden Ridges, die über die (Cross-) Ribs mit einander in regelmäßigen Abständen verbunden sind. Dadurch weist die Oberseite eine gitterartige Struktur mit "Fenstern" auf. In den Hohlräumen zwischen der Ober- und Unterseite bzw. den Trabeculae können zudem Pigmentgranuli eingelagert sein (Ghiradella et Radigan, 1976; Ghiradella, 1991; Scoble, 1992; Prum et al., 2006). Diese Grundarchitektur einer Schuppe ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

Die Schuppenstrukturen, mit denen das Licht interagiert, können durchaus auch als Nanostrukturen bezeichnet werden, da sie im Größenbereich der Wellenlänge des Lichtes liegen (Kemp et al., 2006; Prum et al., 2006; Ingram et Parker, 2008; Doucet et Meadows, 2009; Sarfati, 2009; Vukusic et Stavenga, 2009). Bei Michielsen und Stavenga (2008) werden diese Strukturen auch "biological photonic crystal structures" genannt.

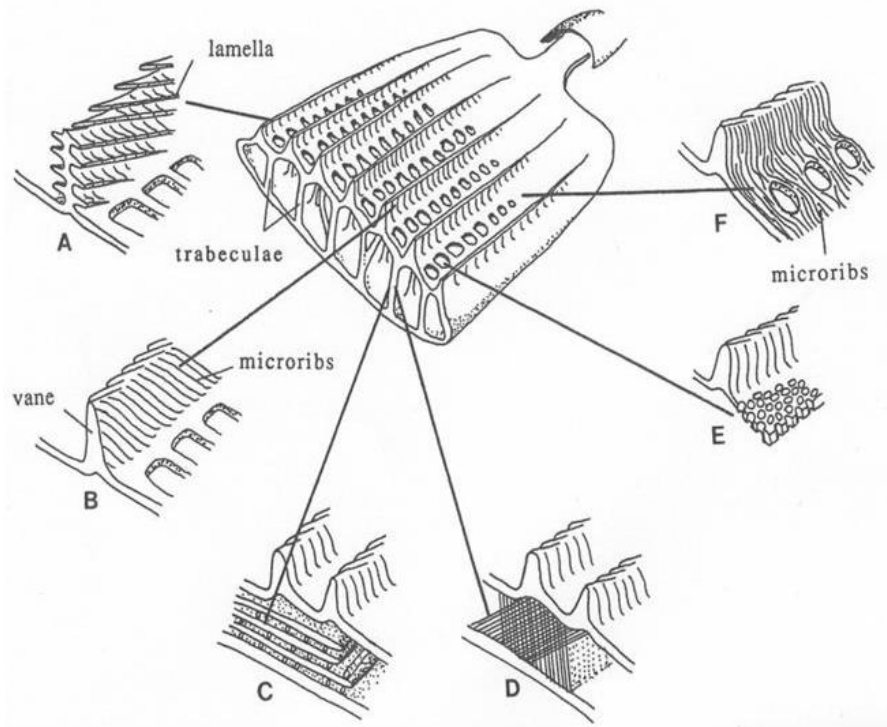


Abbildung 4: Der typische Schuppenbau (Mitte) und verschiedene abgewandelte Schuppentypen (Nijhout, 1991). In A ist der sogenannte Morpho-Typ mit erhöhten parallelen Leisten auf den Ridges (Lamellen) zu sehen. B zeigt erhöhte Microribs auf den Ridges als Abwandlung. Bei C handelt es sich um den sogenannten Urania-Typ. Dieser zeichnet sich durch Stapel dünner Laminae innerhalb des Schuppenkörpers aus. D stellt einen Schuppentyp, dessen Inneres mit einem regelmäßigen Gitter aufgefüllt ist, dar. Bei E ist ein Schuppentyp zu sehen, der bisher nur von *Papilio zalmoxis* bekannt ist. Hier brechen feine Röhren das einfallende Licht. F zeigt einen Schuppentyp bei dem die Microribs sehr eng beieinander liegen und sich über den Großteil der Schuppe ausdehnen.

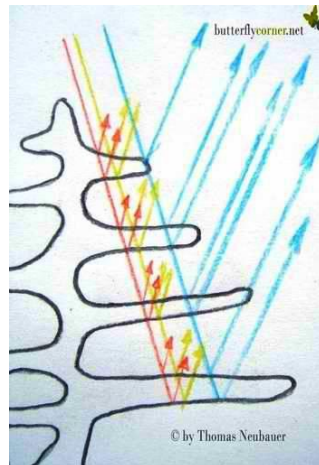


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Interaktion des Lichtes an Schuppenstrukturen, in diesem Falle bäumchenartiger Querschnitt (zum Bsp. bei Schillerfalter). Schuppe erscheint aus bestimmtem Winkel blau, da rot und gelb durch destruktive Interferenz ausgelöscht werden (<http://www.butterflycorner.net/Warum-sind-Schmetterlinge-bunt.297.0.html>).

Das einfallende weiße Licht, wird bei Auftreffen auf die Schuppenstrukturen reflektiert (siehe Abb. 5 und 6), gebrochen, gebeugt oder gestreut. Somit entsteht je nach Beschaffenheit der Strukturen ein entsprechender Farbeindruck. Sogenannte

Interferenzfarben sind bei Schmetterlingsflügeln vielfach anzutreffen, da die Abstände zwischen den regelmäßigen Strukturen und deren Dicke im Größenbereich der Wellenlänge des Lichtes liegen. Bei der Entstehung von Interferenzfarben wird das einfallende Licht in seine Wellenlängen aufgespalten. Konstruktiv reflektierte Wellen verstärken einander. Das Objekt erscheint in jener Farbe, die diesen Wellen entspricht (Scoble, 1992).

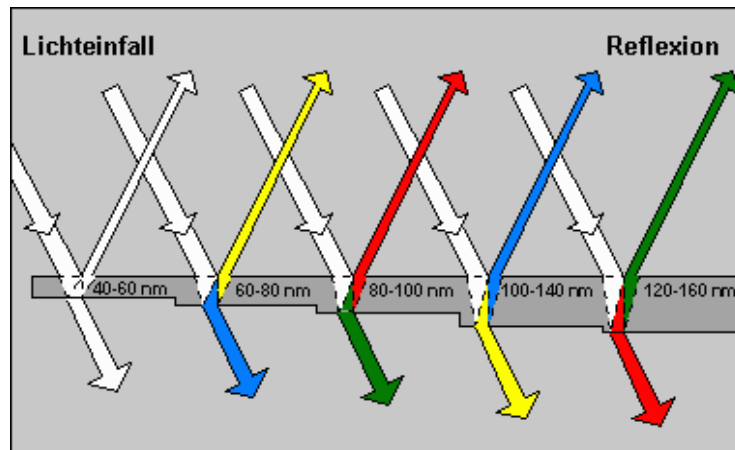


Abbildung 6: Schematische Darstellung von Reflexion weißen Lichtes an dünnen Schichten. Jeweilige Schichtdicke ist in nm angegeben (verändert nach <http://home.pages.at/grafikdesign/licht/licht/licht1-Dateien/Interf1.gif>).

Im ersten Teil der Untersuchung wird die Schuppenarchitektur am Rasterelektronenmikroskop genauer analysiert. Ziel ist es, die Unterschiede der Pigmentschuppen bzw. Schillerschuppen zwischen den untersuchten Arten (*Apatura iris*, *Apatura ilia*, *Apatura ilia f. clytie* und *Sasakia charonda*), den Geschlechtern innerhalb der Arten und an ein- und demselben Flügel zu beschreiben.

Aufgrund von Pigmenten und Schuppenstrukturen können Schmetterlingsflügel in jeglichen Farben des Lichtspektrums erscheinen, einschließlich weiß und schwarz (Grüb, 1973). Somit können die Flügel, genauer gesagt die Flügelschuppen, auch im für uns Menschen nicht sichtbaren UV-Bereich des Spektrums (300-500 nm) Licht reflektieren (Brunton et Majerus, 1995; Knüttel et Fiedler, 2001).

Aufgrund dessen wird im zweiten Teil dieser Arbeit mittels Fotografie mit UV-Filter untersucht, ob die Flügel der verschiedenen untersuchten Arten (siehe Tab.1) abgesehen von den für uns Menschen sichtbaren Flügelmustern auch UV-Muster besitzen. Erstes Ziel ist bei einer Reihe von Tagfalterarten eine Kartierung, ob UV-

Muster bei unterschiedlichsten Schmetterlingsarten der verschiedenen Schmetterlingsfamilien überhaupt auftreten. Ein weiteres Ziel sind die Überlegungen zu den möglichen Ursachen und Funktionen der Muster im ultravioletten Bereich des Lichtspektrums, basierend auf den bisherigen Ergebnissen (zum Beispiel beobachteter Sexualdimorphismus).

Die Sonne an sich produziert nicht polarisierendes Licht (Douglas, 2007), aber durch physikalische Vorgänge wie die Brechung des Lichts, trifft man in allen Lebensräumen auf polarisiertes Licht (Cronin, 2003). Verschiedenste Organismen oder Gegenstände, wie Blätter, aber auch Tiere selbst (zum Beispiel Insektenkutikula) können polarisiertes Licht reflektieren (Douglas, 2007). Ausschlaggebend für diese Studie ist, dass einige Tiere (darunter die Schmetterlinge) dieses auch wahrnehmen können. Das gibt Grund zu der Annahme, dass Polarisation (allein oder in Kombination mit einem anderen visuellen Signal) eine Signalfunktion einnehmen kann (Cronin, 2003).

Polarisation kann also bei Schmetterlingsflügeln auftreten, wie das zum Beispiel bei schillernden Mitgliedern der Gattung *Heliconius* oft der Fall ist. Die Funktionen dieser Polarisationsmuster sind jedoch größtenteils ungeklärt (Sweeney et al., 2003).

Ziel dieser Studie ist zu prüfen, wie Polarisationsreflexion auf den Flügeln vieler Schmetterlingsarten verbreitet ist ("butterfly colour reflectance database"). Dazu sollen eine Reihe solcher Kandidaten geprüft werden, die sogenannte "iridescent colours" haben, da polarisiertes Licht meist dann entsteht, wenn einfallendes Licht an glänzenden Flächen reflektiert wird. Dabei soll vor allem der Frage nachgegangen werden, ob solche Reflexionsmuster auch Signalcharakter haben. Daher wird vor allem nach solchen Polarisationsmustern gesucht, die sexual dimorph sind, da dann ein massiver Hinweis besteht, dass diese Muster im Paarungsverhalten der betreffenden Arten eine Rolle spielen.

Daher werden anschließend die verschiedenen Schmetterlingsarten (siehe Tab.1) ebenfalls mithilfe von Fotografie mit einem Polarisationsfilter auf die Anwesenheit dieser optischen Eigenschaft untersucht. Ziel ist es, abgesehen von einer Kartierung, auch hier aufgrund der Ergebnisse Überlegungen zu den möglichen Ursachen und Funktionen der Polarisationsmuster anzustellen.

Material und Methode

1. Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop:

1. Teil:

Für die Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop (REM) wurde jeweils ein Exemplar folgender Arten und Geschlechter verwendet (Material bereitgestellt von O. Univ.- Prof. Dr. Hannes F. Paulus):

- ❖ *Apatura ilia* ♂
- ❖ *Apatura ilia f. clytie* ♂
- ❖ *Apatura iris* ♂ und ♀
- ❖ *Sasakia charonda* ♂ und ♀

Es wurden zwei Typen von Proben hergestellt. Einerseits wurden kleine Stücke aus den Flügeln der Tiere geschnitten (siehe Abb.7). Dabei wurde jeweils ein Stück aus dem Randbereich (bei ♂ auch jener Bereich, wo kein Schillern zu beobachten ist) und eines aus dem inneren Flügelbereich (bei ♂ jener Bereich, der schillert) entfernt. Andererseits wurden einzelne Schuppen verwendet. Diese wurden mittels doppelseitigen Klebebands von den Flügeln entfernt, wiederum vom Randbereich und vom Innenbereich. Ein Teil der auf dem Klebeband befindlichen Schuppen wurde auf einen zweiten Streifen übertragen, um sowohl Proben von der Unterseite als auch von der Oberseite der Flügelschuppen zu erhalten. Die Proben wurden dann auf die zuvor mit selbstklebenden Graphitfolien präparierten Stubs geklebt. Anschließend wurden die Stubs bzw. die Proben besputtert, also mit Gold bedampft. Abschließend wurden die Proben im Rasterelektronenmikroskop Philips XL 20 (CIUS, Universität Wien) analysiert und Fotos gemacht, die mithilfe von Scandium, einem Fotospeicherungsprogramm, gespeichert wurden.

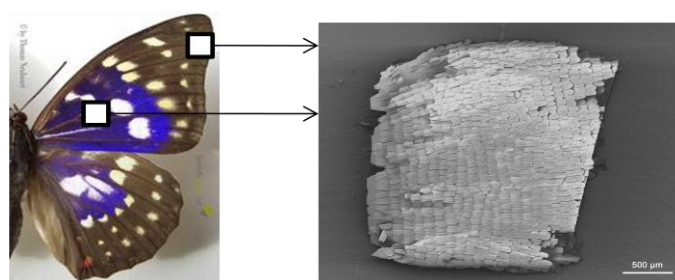


Abbildung 7: Links - Foto des rechten Flügels eines *Sasakia charonda* Männchens (Japan), Quadrate kennzeichnen Bereiche des Flügels, aus denen Stücke heraus geschnitten worden sind. Rechts - rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Stückes aus dem inneren Flügelbereich eines Männchens des Kleinen Schillerfalters (*Apatura ilia*).

2. Teil:

In einem zweiten Schritt wurden Flügelschuppen mit einem Pinsel von den Flügeln entnommen, mithilfe einer Präpariernadel zerbröseln und auf den Stubs verteilt. Die Stubs wurden wiederum mit Gold bedampft. Im REM wurde hiermit der Schuppenquerschnitt bei *Sasakia charonda* (♂) untersucht.

2. Untersuchung des Schillereffekts aus verschiedenen Betrachtungswinkeln:

1. Teil:

Die Schmetterlinge wurden auf einem kippbaren Tischchen befestigt (siehe Abb.8). Mithilfe eines auf dem Tisch angebrachten Zeigers und einer Skala wurde angezeigt, um wie viel Grad das Tier gekippt wurde. Die Kamera (Nikon D40 mit Makroobjektiv Tamron 90mm F2.8) wurde mithilfe eines Stativs so montiert, dass sie sich bei 90°-Stellung des Tischchens parallel zum Schmetterling befand. Die Kameraposition wurde während des Versuches nicht mehr geändert. Anschließend wurde das Tischchen in 5° Schritten von 30° bis 150° gekippt. Bei jedem Schritt wurde ein Foto von dem darauf angebrachten Tier gemacht. Diese Untersuchung wurde an einem Männchen des *Apatura iris* und an einem Männchen von *Sasakia charonda* durchgeführt, um den Schillereffekt dieser Arten zu vergleichen (Material bereitgestellt von O. Univ.- Prof. Dr. Hannes F. Paulus). Dabei wurden die Falter einerseits in der lateralen, andererseits in der anterior-posterior-Achse gekippt, um die Änderungen der Flügelfarben zu verfolgen.

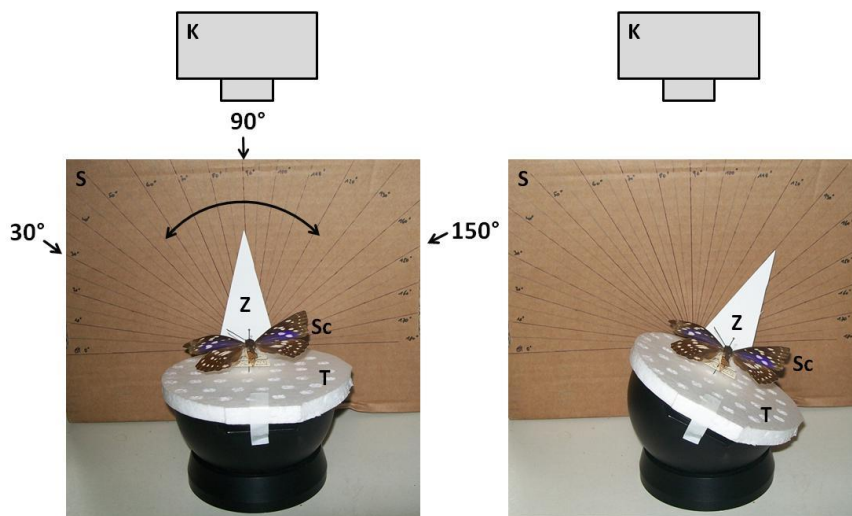


Abbildung 8: Versuchsaufbau für die Untersuchung des Schillereffekts. Vorgehensweise gezeigt an *Sasakia charonda* (♂) anhand der lateralen Achse. K...Kamera, S...Skala, Sc...*Sasakia charonda*, T...kippbare Tisch, Z...Zeiger.

Zur Auswertung der Fotos wurde ADOBE Photoshop 7.0 verwendet. Dieses Programm kann die Farben der Fotos in ihre Anteile zerlegen und die Werte für den Blau-, Rot- und Grünanteil (B, R, G) des Bildes angeben. Mit diesen Werten wird das sogenannte Chroma errechnet. Chroma ist die Helligkeit von einem Kanal durch die Gesamthelligkeit (= Summe der Helligkeiten aller drei Kanäle). Zur Berechnung wird der jeweilige Farbanteil bzw. Kanal (B, R oder G) durch die Summe der Kanäle dividiert.

2. Teil:

Im nächsten Schritt wurde die vorhergehende Technik verwendet, um die Veränderung der UV-Reflektion und Polarisation bei verschiedenen Winkeln zu untersuchen. Verwendet wurden dazu Arten, bei denen der Schillereffekt vorhanden ist. Folgende Arten und Geschlechter wurden unter allen Versuchstieren ausgewählt und aus verschiedenen Betrachtungswinkeln fotografiert:

- ❖ *Apatura ilia budensis* ♂ und ♀
- ❖ *Apatura ilia ilia* ♂ und ♀
- ❖ *Apatura ilia f. clytie* ♂ und ♀
- ❖ *Apatura iris iris* ♂ und ♀
- ❖ *Apatura iris ad f. jole* ♂ und ♀
- ❖ *Mimathyma ambica* ♂ und ♀
- ❖ *Sasakia charonda* ♂ und ♀
- ❖ *Doxocopa laure* ♂ und ♀

In beiden Fällen wurden die zu untersuchenden Exemplare auf eine Unterlage (Styropor mit aufgeklebtem grauem Moosgummi) gesteckt, die zuvor auf einem beweglichen Tischchen montiert worden ist. Anschließend wurden die Tiere in verschiedenen Winkeln sowohl in der lateralen, als auch in der anterior-posterioren-Achse standardisiert gekippt (mithilfe einer Skala) und fotografiert.

Methode und verwendetes Equipment im Rahmen der UV- und Polarisationsfotografie genau unter den Punkten 3 und 4 erörtert.

3. Untersuchung der Polarisationsmuster:

Für diese Untersuchung wurden die Fotos mit folgendem Equipment gemacht: Digitalkamera (Nikon D70s), Makroobjektiv (Nikon AF 2,8/105), Stativ (Manfrotto W/RC2), Fernbedienung, Unterlage (grauer Moosgummi auf Styroporplatte) und Polarisationsfilter (Hama Pol M52 linear 72152). Die Auswertung der Fotos erfolgte mit folgenden Programmen: Photoshop 7.0, DifferenceImage (benötigt Microsoft .net Framework 3.5) und ImageJ.

Zunächst wurde das Stativ aufgestellt und die Kamera darauf montiert. Anschließend wurde der Falter auf die Unterlage mit grauem Hintergrund gepinnt, wobei die Tiere immer in einem Winkel von 30° gekippt wurden, damit die Ergebnisse besser verglichen werden können.

Als Beleuchtung dienten das Sonnenlicht und zwei Tageslichtlampen (Arcadia Natural Sunlight Lamp UV-A und UV-B; FSU 18).

Dann wurden fünf Fotos von jedem Objekt gemacht. Zuerst wurde eines ohne Polarisationsfilter, anschließend wurden vier Fotos mit jeweils unterschiedlicher Polfiltereinstellung (0°, 45°, 90°, 135°) aufgenommen. Diese wurden anschließend mit der Software (ADOBE Photoshop 7.0) exakt übereinander gelegt, zugeschnitten und die Farbinformation verworfen. Aus den Bildern wurde mit der Software DifferenceImage ein Bild erstellt, das den Polgrad enthält.

$$\text{Polgrad} = (\text{max. Helligkeit} - \text{min. Helligkeit}) / (\text{max. Helligkeit} + \text{min. Helligkeit})$$

Dieses Bild wurde mit ImageJ in ein Graustufenbild umgewandelt und in Falschfarben codiert, um den Polgrad besser quantifizieren zu können.

Fotografiert wurden zahlreiche Arten aus verschiedensten Familien der Lepidopteren (siehe Tab.1; Material bereit gestellt vom Naturhistorischen Museum Wien). Wichtig ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass des Verständnisses wegen Aberrationen mit "f." angeführt werden. Es ist jedoch sehr wohl klar, dass diese Bezeichnung nicht von systematischer Bedeutung ist.

Tabelle 1: Auflistung aller im Rahmen dieser Untersuchung fotografierten Arten. Die Familien und Gattungen wurden systematisch (nach <http://tolweb.org/Lepidoptera/8231>) angeordnet, innerhalb der Gattung jedoch in alphabetischer Reihenfolge. Abgesehen vom Artnamen, sind hier auch der jeweilige Beschreiber und die entsprechende Jahreszahl angeführt (nach <http://www.nic.funet.fi/pub/sci/bio/life/insecta/lepidoptera/index.html>).

	Artname	Beschreiber + Jahreszahl
Papilionidae		
Papilioninae		
Troidini	Troides brookiana	Wallace, 1855
	Troides magellanus	C. & R. Felder, 1862
	Troides prattorum	Joicey & Talbot, 1922
	Troides priamus	Linnaeus, 1758
	Troides victoriae	Gray, 1856
Papilionini	Papilio arcturus	Westwood, 1842
	Papilio blumei fruhstorferi	Röber, 1897
	Papilio montrouzieri	Boisduval, 1859
	Papilio pericles	Wallace, 1865
	Papilio ulysses ambiguus	Rothschild, 1895
	Papilio ulysses joesa	Butler, 1869
	Papilio ulysses telegonus	C. & R. Felder, 1860
	Papilio ulysses ulysses	Linnaeus, 1758
Pieridae		
Dismorphiinae	Dismorphia teresa	Hewitson, 1869
Pierinae	Colotis antevippe	Boisduval, 1836
	Colotis danae annae	Wallengren, 1857
	Colotis ione	Godart, 1819
	Colotis ione f. jalone	
Nymphalidae		
Libytheinae	Libythea geoffroy alompra	Moore, 1901
	Libythea geoffroy antipoda	Boisduval, 1859
	Libythea geoffroy batchiana	Wallace, 1869
	Libythea geoffroy celebensis	Staudinger, 1859
	Libythea geoffroy eugenia	Fruhstorfer, 1909
	Libythea geoffroy philippina	Staudinger, 1859
Danainae		
Ithomiini	Greta andromica	Hewitson, 1854
Danaini	Euploea algea deione	Westwood, 1848
	Euploea configurata	C. & R. Felder, 1865
	Euploea doubledayi	C. & R. Felder, 1865
	Euploea gamelia	Hübner, 1825
	Euploea mulciber barsine	Fruhstorfer, 1904
	Euploea mulciber portia	Fruhstorfer, 1904
	Euploea radamanthus	Fabricius, 1793

Charaxinae		
Charaxini	Charaxes andranodorus	Mabille, 1884
	Charaxes eupale	Drury, 1782
Preponini	Prepona aertes octavia	Fruhstorfer, 1905
	Prepona deiphile	Godart, 1824
	Agrias claudina lugens	Staudinger, 1886
	Agrias claudina sardanapalus	Bates, 1860
Satyrinae		
Elymniini	Morphopsis albertisi	Oberthür, 1880
Amathusiini	Taenaris catops	Westwood, 1851
	Taenaris schönbergi	Fruhstorfer, 1893
	Thaumantis diores diores	Doubleday, 1845
Brassolini	Dasyophtalma rusina rusina	Godart, 1824
	Caligo martia	Godart, 1824
	Eryphanis automedon amphimedon	C. & R. Felder, 1867
Morphini	Morpho cypris cypris	Fruhstorfer, 1913
	Morpho cypris f. cyanites	
	Morpho didius	Hopfer, 1874
	Morpho helenor achillaena	Hübner, 1823
	Morpho helenor anakreon	Fruhstorfer, 1910
	Morpho helenor violaceus	Fruhstorfer, 1912
	Morpho lympharis	Butler, 1873
	Morpho menelaus godartii	Guérin-Ménéville, 1844
	Morpho menelaus terrestris	Butler, 1866
	Morpho rhetenor cacica	Staudinger, 1876
	Morpho rhetenor helena	Staudinger, 1890
Satyrini	Cepheptychia cephus	Fabricius, 1775
	Magneptychia tricolor	Hewitson, 1850
	Bicyclus hewitsonii	Doumet, 1861
	Bicyclus italus	Hewitson, 1865
	Lymanopoda samius	Westwood, 1851
	Cithaerias andromeda	Fabricius, 1775
Nymphalinae		
Junoniini	Junonia rhadama	Boisduval, 1833
	Salamis parhassus	Druce, 1782
Cyrestinae	Marpesia furcula	Fabricius, 1793
	Marpesia marcella	C. & R. Felder, 1861
Biblidinae		
Epicaliini	Myscelia orsis	Drury, 1782
	Eunica alpais	Godart, 1824
Epiphilini	Asterope sapphira	Hübner, 1816
	Epiphile oreia	Hübner, 1823
Eubagini	Dynamine gisella	Hewitson, 1857
	Dynamine vicaria	Bates, 1865
Callicorini	Perisama patara	Hewitson, 1855
	Mesotaenia vaninka	Hewitson, 1855

Apaturinae	Apatura ilia budensis	Denis & Schiffermüller, 1775
	Apatura ilia ilia	Denis & Schiffermüller, 1775
	Apatura ilia f. astasioides	
	Apatura ilia f. clytie	
	Apatura iris iris	Linnaeus, 1758
	Apatura iris ad f. jole	
	Apatura iris bieti	Oberthür, 1885
	Apatura metis	Freyer, 1829
	Mimathyma ambica	Kollar, 1844
	Sasakia charonda	Hewitson, 1863
	Doxocopa clothilda	C. & R. Felder, 1867
	Doxocopa laure	Drury, 1773
Heliconiinae	Cethosia cydippe chrysippe	Fabricius, 1775
	Cethosia myrina	C.&R. Felder, 1867
Heliconiini	Laparus doris	Linnaeus, 1771
	Dione glycera	C. & R. Felder, 1861
	Dione moneta butleri	Stichel, 1908
Vagrantini	Terinos clarissa	Boisduval, 1836
	Terinos terpander robertsia	Butler, 1867
Limnitiidinae		
Adoliadini	Bassarona durga	Moore, 1858
	Lexias cyanipardus	Butler, 1869
Limnitiidini	Limnitis reducta	Staudinger, 1901

Riodinidae	Ancycluris meliboeus	Fabricius, 1777
	Rhetus dysonii	Saunders, 1850

Lycaenidae	Evenus regalis	Cramer, 1775
	Chrysozephyrus brillantinus	Staudinger, 1887
	Heliophorus brahma	Moore, 1858
	Lycaena helle	Schiffermüller, 1775
	Lycaena virgaureae	Linnaeus, 1758
	Arhopala micale	Blanchard, 1853
	Favonius quercus	Linnaeus, 1758
	Panthiades bitias	Cramer, 1777
	Thecla betulae	Linnaeus, 1758
	Plebejus argus	Linnaeus, 1758
	Polyommatus admetus	Esper, 1783
	Polyommatus daphnis	Schiffermüller, 1775
	Polyommatus damon	Schiffermüller, 1775
	Polyommatus icarus	Rottemburg, 1775
	Danis danis	Cramer, 1775

Hesperiidae	Phocides belus	Godman & Salvin, 1893
-------------	----------------	-----------------------

Uraniidae	Urania leilus	Linnaeus, 1758
	Chrysiridia croesus	Drury, 1773
	Chrysiridia rhipheus	Drury, 1773

4. Untersuchung der UV-Muster:

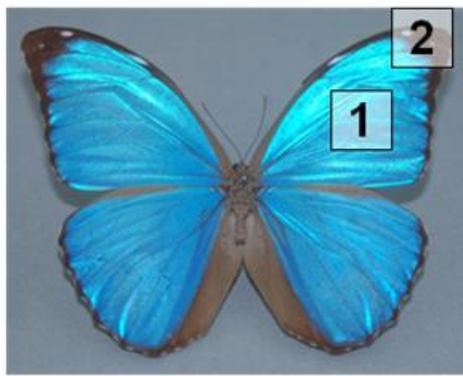
Bei dieser Untersuchung wurden pro Tier zwei Fotos gemacht, jeweils eines ohne Filter und eines mit Filter, wobei alle Fotos mit Blitz aufgenommen wurden. Um die Fotos machen zu können wurde folgendes Equipment verwendet: Digitalkamera (Nikon D70s), Makroobjektiv (UV Nikkor 4/105), Blitz (Nikon Speedlight SB-24), UV Filter (Hyperion 2“ Filter Holder SP54/M48 + Baader U-Filter 2“ [T= 300-390nm]), Stativ (Manfrotto W/RC2), Fernbedienung, Unterlage (grauer Moosgummi auf Styroporplatte) und Graustandard. Die UV-Fotos wurden zunächst mit Photoshop grau skaliert. Anschließend wurden alle Fotos mit ADOBE Photoshop 7.0 bearbeitet.

Fotografiert wurden zahlreiche Arten bzw. Unterarten aus verschiedensten Familien der Tagfalter (siehe Tab.1; Material bereit gestellt vom Naturhistorischen Museum Wien).

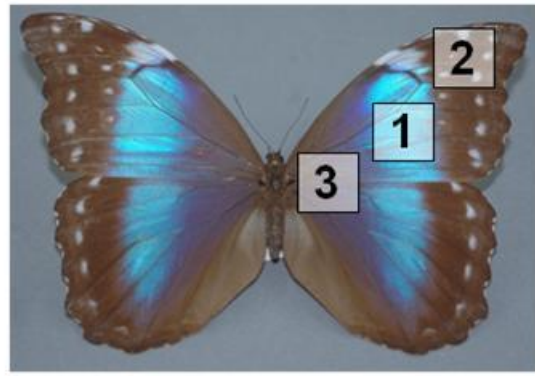
5. Untersuchung zum Thema Wärmeschutz:

Untersucht wurden hier ein Männchen und ein Weibchen der Unterart *Morpho menelaus terrestris*. Die Tiere wurden dazu auf die Unterlage (grauer Moosgummi auf Styroporplatte) gesteckt und mit zwei Tageslichtlampen (Arcadia Natural Sunlight Lamp UV-A und UV-B; FSU 18; Abstand der Lampe zur Unterlage: 16 cm) für eine Stunde bestrahlt. Mit einem Infrarot-Messgerät (Testo 845) wurden die Ausgangstemperatur und anschließend alle 15 Minuten die Temperatur gemessen. Die Temperatur wurde jeweils an zwei (♂) bzw. drei (♀) Stellen ermittelt (siehe Abb.9):

1. Stark polarisierende Fläche in der Flügelmitte (♂ und ♀)
2. Nicht polarisierende Fläche am oberen Flügelrand (♂ und ♀)
3. Leicht polarisierende Fläche nahe der Flügelbasis (♀)



♂



♀

Abbildung 9: Links ein Männchen, rechts ein Weibchen von *Morpho menelaus terrestris*. 1...stark polarisierende Fläche in der Flügelmitte, 2...nicht polarisierende Fläche am oberen Flügelrand, 3...leicht polarisierende Fläche nahe der Flügelbasis.

Ergebnisse

1. Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop:

1. Teil:

Die Schuppen sind dachziegelartig auf der Flügelmembran angeordnet (siehe Abb. 10, 11). Über den Schuppenstiel (= schmaler Fortsatz am schmalen, zur Flügelbasis zugekehrten Ende der Schuppe), der in einen Sockel auf der Flügelmembran passt, ist jede einzelne Schuppe am Flügel befestigt (siehe Abb.10).

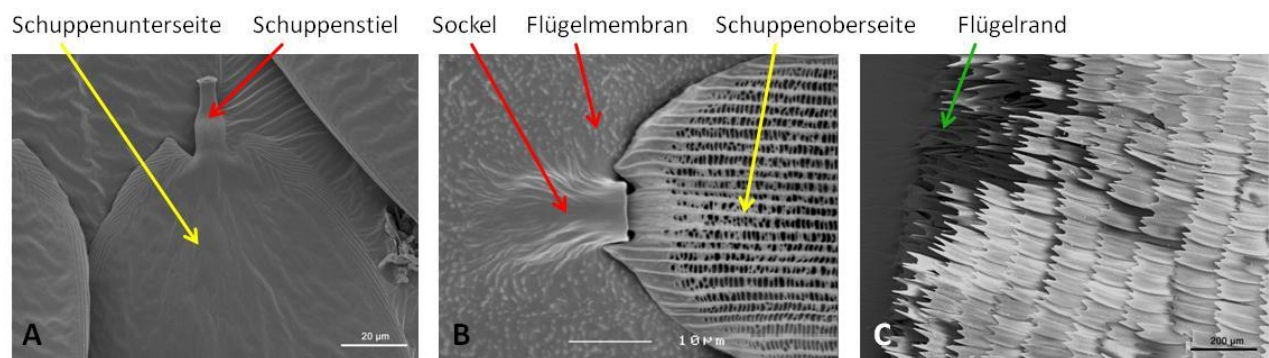


Abbildung 10: REM-Aufnahmen von A und C: *Sasakia charonda* ♀, B: *Apatura ilia* ♂.

Die Flügelschuppen der untersuchten Arten unterscheiden sich in ihrer Form (siehe Abb.11). Unterschiede zeigen sich aber auch zwischen Männchen und Weibchen und an den einzelnen Individuen, indem die Schuppen randwärts immer schmaler und länger werden (Beispiel siehe Abb.10C).

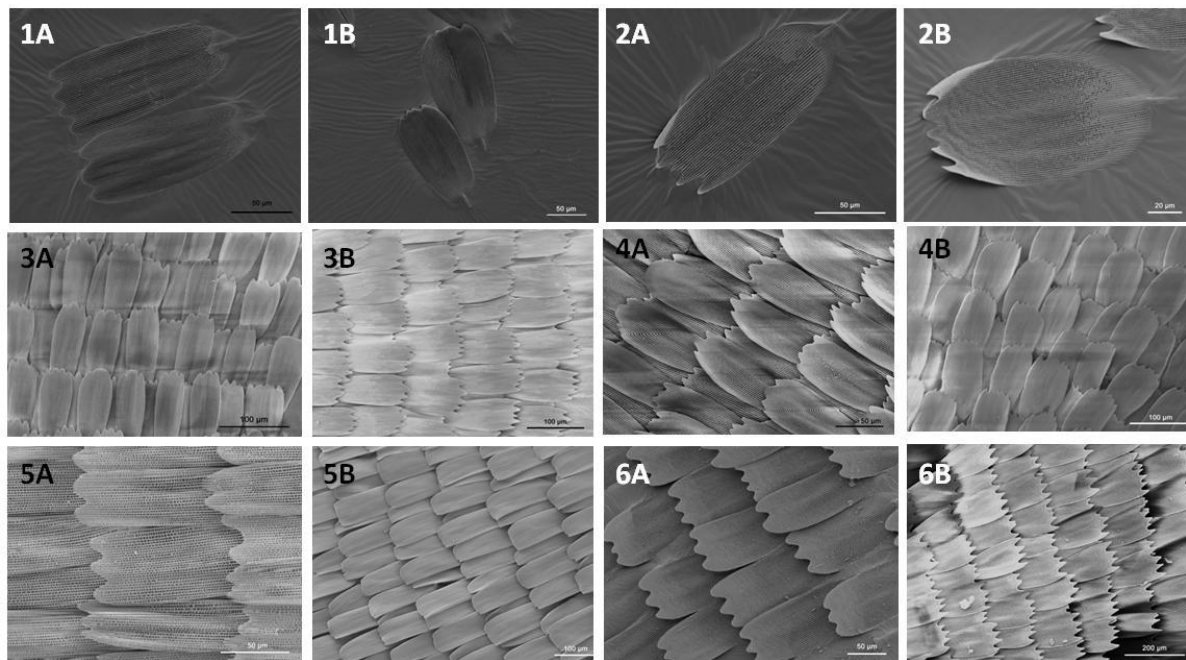


Abbildung 11: Rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen einzelner Schuppen und Ausschnitte von Flügelstücken, um die Schuppenformen vergleichen zu können. A: Schuppen aus dem äußeren Flügelbereich; B: Schuppen aus dem inneren Flügelbereich. 1: *Apatura iris* ♂, 2: *Apatura iris* ♀, 3: *Apatura ilia* ♂, 4: *Apatura ilia* f. *clytie* ♂, 5: *Sasakia charonda* ♂, 6: *Sasakia charonda* ♀.

Die Oberseite der Flügelschuppen unterscheidet sich in der Struktur stark von der Unterseite (siehe Abb.10). Die Schuppenunterseite ist glatt und weist keine besonderen Merkmale auf. Die Oberseite hingegen besitzt eine gitterartige Struktur, wobei leichte Unterschiede sowohl an ein- und demselben Flügel, zwischen Männchen und Weibchen und zwischen den verschiedenen untersuchten Arten zu sehen sind (siehe Abb.11, 12, 13). Die Weibchen besitzen sowohl im inneren als auch im äußeren Flügelbereich nur Pigmentschuppen, daher gibt es keine großen Unterschiede in der Struktur (siehe Abb.12). Auch bei den Deck- und Grundschnuppen handelt es sich um typische Pigmentschuppen. Der Schillereffekt tritt nur bei den Männchen auf, im inneren Bereich ihrer Flügel befinden sich Schillerschuppen, im äußeren Bereich Pigmentschuppen (siehe Abb.10, 11). Anzumerken ist, dass immer nur die Deckschuppen als Schillerschuppen ausgebildet sind, die Grundschnuppen sind in jedem Bereich des Flügels Pigmentschuppen.

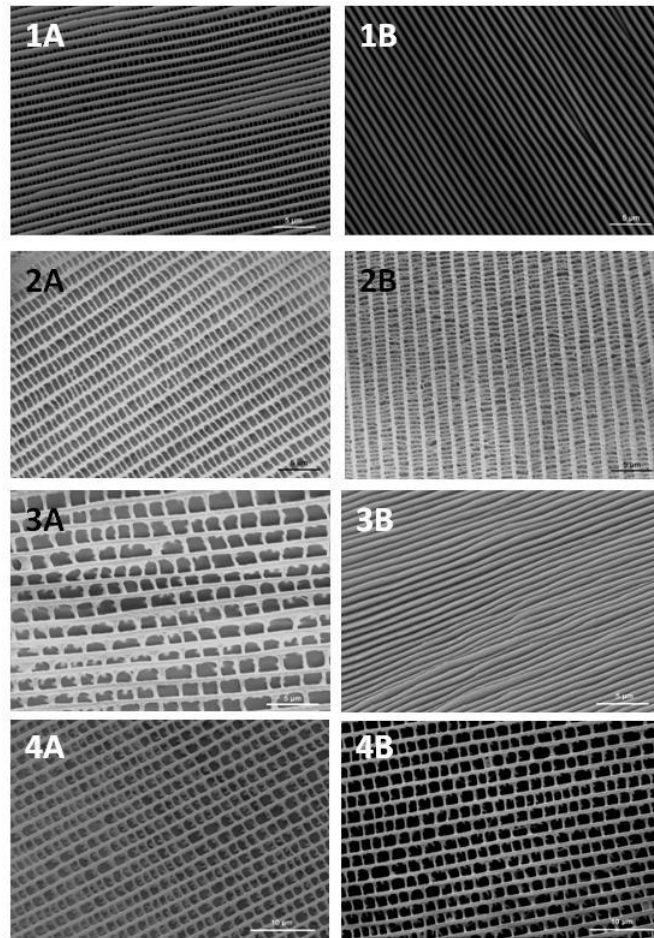


Abbildung 12: Vergleich des Schuppentyps (Pigment- bzw. Schillerschuppe) einerseits zwischen A: äußerem Flügelbereich und B: innerem Flügelbereich, andererseits zwischen Männchen und Weibchen bei *Apatura iris* (1 ... ♂, 2 ... ♀) und *Sasakia charonda* (3 ... ♂, 4 ... ♀).

Es lässt sich zwischen den verschiedenen untersuchten Arten eine Variation in der Struktur der Schillerschuppen beobachten (siehe Abb.13). Bei *Apatura ilia f. clytie* und *Sasakia charonda* scheinen die Lamellen viel breiter zu sein und die Ridges viel enger zu stehen als bei *Apatura iris* und *Apatura ilia*. Aufgrund dieser Variation stehen die Strukturen in unterschiedlichen Winkeln zueinander. Dies bewirkt wiederum einen Unterschied im Sichtbarkeitswinkel der blauen Strukturfarbe bei den einzelnen Arten (Anmerkung: Klärung durch Untersuchung Nr.2). Die Schillerschuppen aller vier Arten weisen erhöhte parallele Lamellen auf den Ridges auf, sodass sich ein bäumchenartiger Querschnitt ergibt.

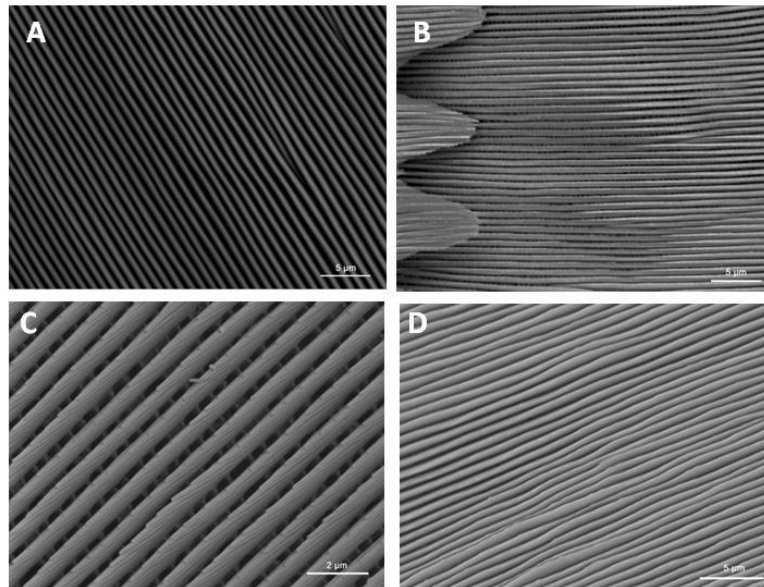


Abbildung 13: Vergleich der Schillerschuppen des inneren Flügelbereiches von männlichen Tieren, bei stärkerer Vergrößerung. A: *Apatura iris*, B: *Apatura ilia*, C: *Apatura ilia f. clytie*, D: *Sasakia charonda*.

2. Teil:

In Abb.14 sind die Trabeculae und Ridges von der Seite zu sehen. Anm.: Die Trabeculae sind kleine Säulen, die dazu dienen die Oberseite und die Unterseite der Schuppe zu verbinden, sie fungieren aber auch als Abstandhalter (Ghiradella, 1991).

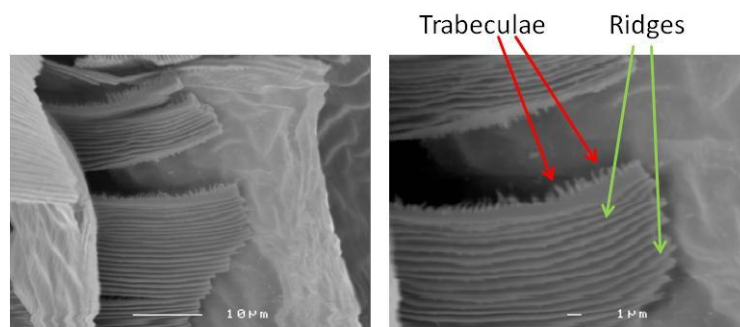


Abbildung 14: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen schräg liegender Teile zerbrochener Schuppen, links bei geringerer, rechts bei stärkerer Vergrößerung.

2. Untersuchung des Schillereffekts aus verschiedenen Betrachtungswinkeln:

1. Teil:

Der Schillereffekt und dessen Veränderung lassen sich anhand der Fotos aus unterschiedlichen Winkeln sehr gut verfolgen.

Grundsätzlich ist es so, dass das Blau des Schillereffekts nicht zu sehen ist, wenn der Schmetterling sehr stark gekippt ist. Wenn man ihn weiter kippt (Richtung 90°) nimmt der Schillereffekt bis zu einem Maximalwert zu. Dieser wird je nach untersuchter Art bei ungefähr 50-70° erreicht. Das Blau nimmt dann wieder ab, je näher man zu dem Punkt kommt, wo sich der Schmetterling parallel zur Kamera befindet. An diesem Punkt ist das Schillern nicht zu sehen. Kippt man nun weiter Richtung 150°, dann nimmt das Blau wieder bis zu einem Maximalwert zu. Dieser befindet sich ungefähr in einem Bereich von 110-130°. Ab dem Maximalwert nimmt es wieder ab.



Abbildung 15: Aufnahmen aus unterschiedlichen Neigungswinkeln zweier Männchen, oben: *Apatura iris*, unten: *Sasakia charonda*, beide lateral gekippt.

Man muss dabei jedoch beachten, dass das Schillern während des ganzen Vorganges einerseits vom linken auf den rechten Flügel (beim lateralen Kippen), andererseits von den Hinterflügeln auf die Vorderflügel (beim Kippen der anterioren-posterioren-Achse) wechselt (siehe Abb.15, 16).



Abbildung 16: Aufnahmen aus unterschiedlichen Neigungswinkeln zweier Männchen, oben: *Apatura iris*, unten: *Sasakia charonda* beide anterior-posterior gekippt.

Die oben erwähnten Veränderungen des Schillereffektes, die durch das Kippen des Schmetterlings auftreten, zeigen sich auch in den Abbildungen 17 und 18, wenn man jeweils die Chroma-Werte für den Blauanteil auf dem Flügel betrachtet. In allen vier Graphiken fällt auf, dass in den Bereichen des Schillereffektes der Blauanteil sehr hoch ist, die Rot- und Grünanteile jedoch relativ niedrig sind.

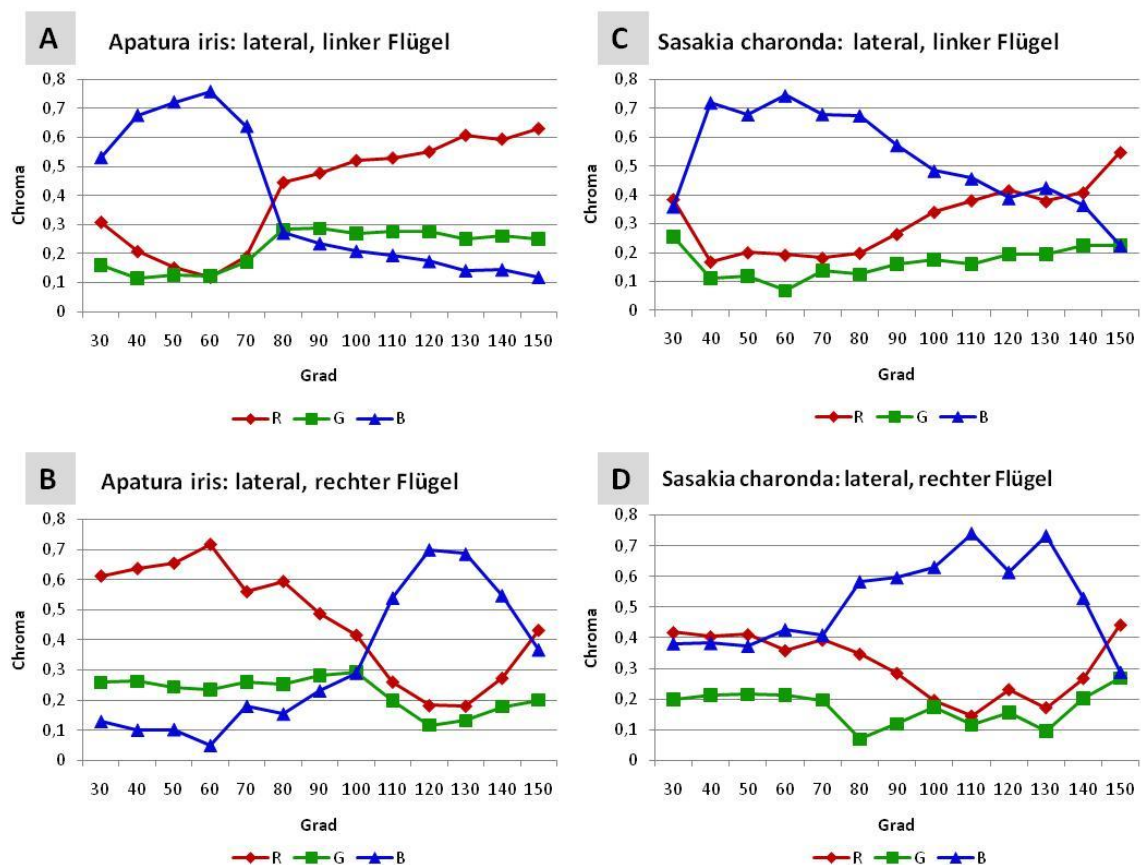


Abbildung 17: Chroma-Werte bei den verschiedenen Neigungswinkeln durch laterales Kippen bei *Apatura iris* und *Sasakia charonda* Männchen.

Abbildung 17 und 18 zeigen abgesehen von dem oben angesprochenen Wechsel des Schillereffektes zwischen den einzelnen Flügeln keine wesentlichen Unterschiede.

Der Rotanteil ist grundsätzlich höher als der Grünanteil mit Ausnahme von einem Messwert (siehe Abb.17 A 60°). Bei *Sasakia charonda* ist der Blauanteil bei 90° noch sehr hoch im Gegensatz zu *Apatura iris*, wo bei 90° alle Farbanteile fast gleich hoch sind. Das fällt auch bei den Fotos auf, da bei *Apatura iris* bei 90° das Schillern nicht zu sehen ist, aber bei *Sasakia charonda* bei 90° schon zu einem geringen Teil. Weiters geht bei *Apatura iris* der Wechsel vom Schillereffekt auf die normale Pigmentfärbung über einen geringeren Gradbereich als bei *Sasakia charonda*, d.h. der Sichtbarkeitswinkel ist bei *Apatura iris* geringer als bei *Sasakia charonda*, dadurch scheint das blauviolette Schillern bei *S. charonda* "permanenter" zu sein.

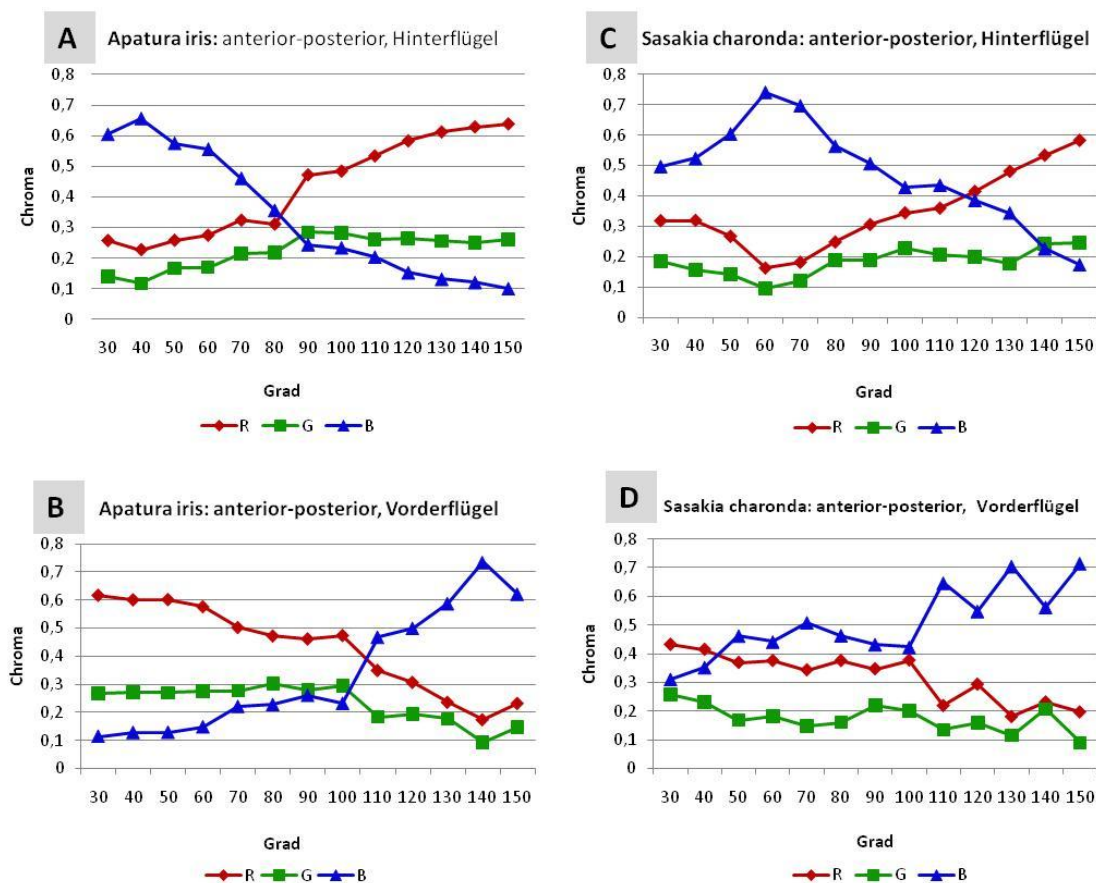


Abbildung 18: Chroma-Werte bei den verschiedenen Neigungswinkeln durch anterior-posteriore Kippen bei *Apatura iris* und *Sasakia charonda* Männchen.

2. Teil:

Bei allen im Laufe dieser Untersuchung fotografierten Arten (siehe Tab.2), handelt es sich um Mitglieder der Familie Nymphalidae.

Tabelle 2: Arten und Geschlechter der Individuen, die mittels UV- und Polarisationsfotos aus verschiedenen Ansichtswinkeln untersucht wurden. + Änderung des Winkels führt zu einer Änderung in der Stärke der Polarisation bzw. UV-Reflektion kommt, - keine erkennbaren Änderungen mit dem Winkel.

Artnamen	Geschlecht	Änderung Pol.	Änderung UV
<i>Apatura ilia budensis</i>	♂	+	+
	♀	-	-
<i>Apatura ilia ilia</i>	♂	+	+
	♀	-	-
<i>Apatura ilia f. clytie</i>	♂	+	+
	♀	-	-
<i>Apatura iris iris</i>	♂	+	+
	♀	-	-
<i>Apatura iris ad f. jole</i>	♂	-	+
	♀	-	-
<i>Mimathyma ambica</i>	♂	+	+
	♀	-	-
<i>Sasakia charonda</i>	♂	-	+
	♀	-	+
<i>Doxocopa laure</i>	♂	-	+
	♀	-	-

Den Männchen all dieser Arten ist der Besitz des Schillereffekts gemein. Die Weibchen zeigen keinen Schillereffekt mit Ausnahme von *Sasakia charonda*, allerdings ist der Effekt hier nicht so intensiv. Dies spiegelt sich auch als Ergebnis in Tabelle 2 wieder. Abgesehen von *Apatura iris ad f. jole* ♂, *Sasakia charonda* ♂ und *Doxocopa laure* ♂ zeigen alle Tiere, deren Flügelfarbe sich mit dem Ansichtswinkel verändert, damit wohl zusammenhängend auch eine Veränderung in der Polarisation und der UV-Reflektion (Beispiele siehe Abb.19,20).

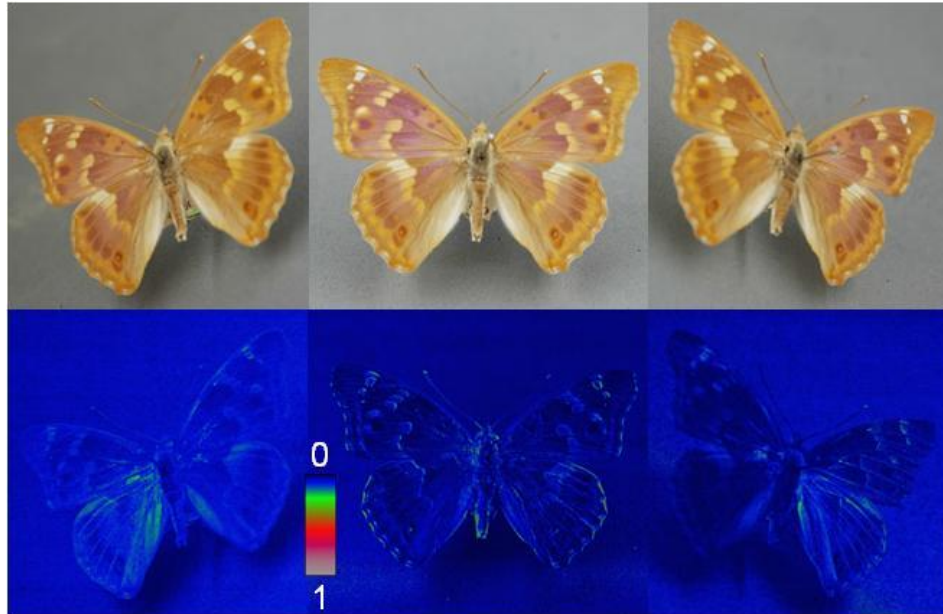


Abbildung 19: *Apatura ilia budensis* Männchen bei verschiedenen Ansichtswinkeln. Oben: Veränderung der Flügelfarbe mit dem Winkel, wie es für das menschliche Auge wahrnehmbar ist. Unten: Fotos mit Polarisationsfilter zeigen die Veränderung der Polarisation mit dem Winkel.

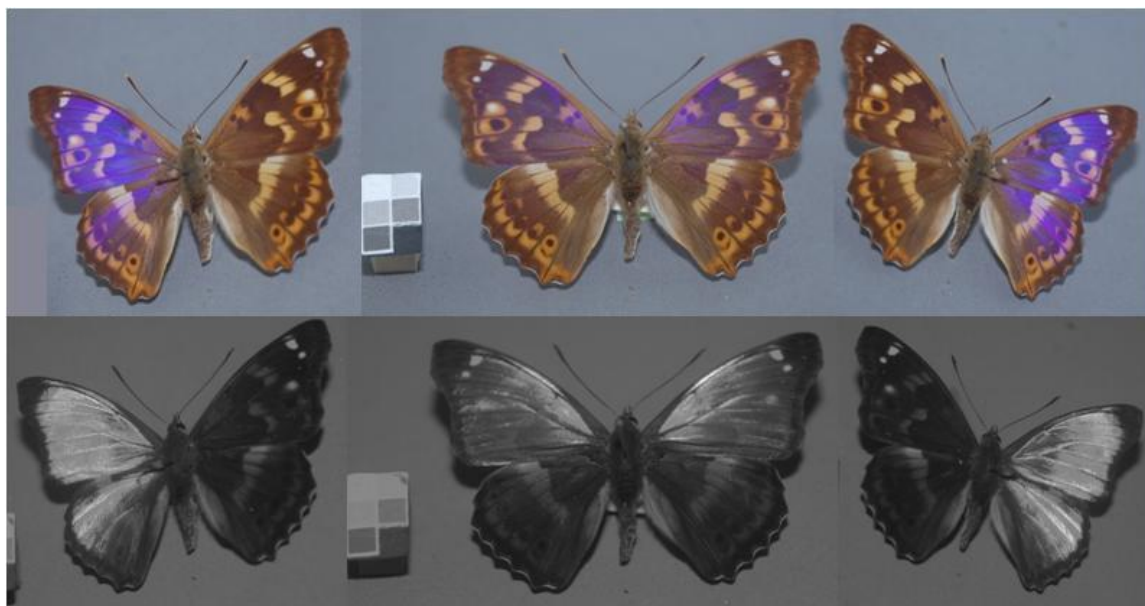


Abbildung 20: *Apatura ilia f. clytie* Männchen bei verschiedenen Ansichtswinkeln. Oben: Veränderung der Flügelfarbe mit dem Winkel, wie es für das menschliche Auge wahrnehmbar ist. Unten: Fotos mit UV-Filter zeigen die Veränderung der UV-Reflektion mit dem Winkel.

3. Untersuchungen der UV – und Polarisationsmuster:

Allgemeine Ergebnisse:

Um die Ergebnisse der Fotos anschaulicher zu machen, wurden diese quantifiziert und teils in Kategorien geteilt. Zum besseren Vergleich der Ergebnisse aller Arten wurden sie zudem in Tabelle 3 zusammengefasst.

Zunächst geht es in Tabelle 3 darum, ob ein Sexualdimorphismus bei der jeweiligen Art für das menschliche Auge sichtbar ist. In weiterer Folge geht es auch um den Sexualdimorphismus im Bezug auf die UV- Reflektion und Polarisation. Auch innerartliche Variationen zwischen den einzelnen Individuen eines Geschlechts wurden berücksichtigt.

Bei den Fotos müssen auch Artefakte beachtet werden, die beim Bearbeiten der Bilder entstehen können. Dies gilt für Flügeladern und Ränder von Flügelmustern, die laut Foto stark polarisieren. Das Quantifizieren der Fotoergebnisse und Erstellen einer Tabelle ermöglicht es, diese Artefakte auszuschließen und sich auf die eigentlichen Ergebnisse zu konzentrieren.

Tabelle 3: Ergebnisse aller UV- und Polarisationsfotos: Anteil der polarisierenden bzw. UV-reflektierenden Fläche: 1 ... weniger als die Hälfte der gesamten Flügelfläche; 2 ... mehr als die Hälfte der gesamten Flügelfläche; 1/2 ... fällt in beide Kategorien. Einordnung nach Polgrad: 1 bis zu einem Polgrad von 0,15 (ungefähr bis hellblau); 2 ab einem Polgrad von 0,15 (ab blaugrün). Erklärung verwendeter Symbole: + vorhanden; - nicht vorhanden; n.b. nicht bekannt.

PAPILIONIDAE								
Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Troides brookiana	+	+			+		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	1		1/2		
Troides magellanus	n.b.	n.b.			n.b.		n.b.	n.b.
♂			1	1		1		
Troides prattorum	n.b.	n.b.			n.b.		n.b.	n.b.
♂			1	1		1		
Troides priamus	+	+			+		-	-
♂			2	2		1		
♀			1	2		1		
Troides victoriae	+	+			+		n.b.	n.b.
♂			2	2		1		
♀			1	2		1		
Papilio arcturus	-	-			-		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	1		1		
Papilio blumei fruhstorferi	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			2	1		1		
Papilio montrouzieri	+	+			+		+	+
♂			2	2		2		
♀			1/2	1/2		1/2		
Papilio pericles	n.b.	n.b.			n.b.		+	+
♂			1	2		2		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Papilio ulysses ambiguus	+	+			+		+	+
♂			1	2		1		
♀			1	1		1		
Papilio ulysses joesa	n.b.	n.b.			n.b.		+	+
♂			1	2		1/2		
Papilio ulysses telegonus	+	+			+		+	+
♂			1	1		2		
♀			1	1		1		
Papilio ulysses ulysses	+	+			+		+	+
♂			1	1		2		
♀			1	1		1		

PIERIDAE								
Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Dismorphia teresa	+	+			+		n.b.	n.b.
♂			1	1/2		2		
♀			1	1/2		1		
Colotis antevippe	+	+			+		+	+
♂			2	1		1		
♀			2	1		2		
Colotis danae annae	+	+			+		+	+
♂			2	1		1		
♀			2	1/2		2		
Colotis ione	+	+			+		+	+
♂			2	1/2		1/2		
♀			2	1/2		2		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Colotis ione f. jalone	+	+			+		+	+
♂			2	1/2		1/2		
♀			2	1		1/2		

NYMPHALIDAE								
Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Libythea geoffroy alompra	n.b.	n.b.			n.b.		n.b.	n.b.
♂			2	1		1		
Libythea geoffroy antipoda	+	+			+		-	-
♂			2	1		1		
♀			1	1		1		
Libythea geoffroy batchiana	n.b.	n.b.			n.b.		n.b.	n.b.
♂			2	1		2		
Libythea geoffroy celebensis	+	+			+		n.b.	n.b.
♂			2	1		2		
♀			1	1		1		
Libythea geoffroy eugenia	n.b.	n.b.			n.b.		n.b.	n.b.
♂			1	1		2		
Libythea geoffroy philippina	n.b.	n.b.			n.b.		n.b.	n.b.
♂			2	2		2		
Greta andromica	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	1		1		
Euploea algea deione	+	+			+		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	1		1		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Euploea configurata	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			2	2		2		
Euploea doubledayi	+	+			+		-	-
♂			2	2		1		
♀			1	1		1		
Euploea gamelia	+	+			+		-	-
♂			2	2		1		
♀			1	1		1		
Euploea multiciber barsine	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Euploea multiciber portia	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Euploea radamanthus	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		2		
Charaxes andranodorus	+	+			+		n.b.	n.b.
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Charaxes eupale	+	+			+		-	-
♂			2	2		1		
♀			2	2		2		
Prepona aertes octavia	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	2		1		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Prepona deiphile	+	+			+		-	-
♂			1	1		1/2		
♀			1	1		1		
Agrias claudina lugens	+	+			+		-	-
♂			1	2		1/2		
♀			1	2		1		
Agrias claudina sardanapalus	n.b.	n.b.			n.b.		-	+
♂			1	2		2		
Morphopsis albertisi	n.b.	n.b.			n.b.		+	-
♂			2	2		1		
Taenaris catops	+	+			+		+	+
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Taenaris schönbergi	+	+			+		+	-
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Thaumantis diores diores	+	+			+		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	2		1		
Dasyophtalma rusina rusina	+	+			+		-	+
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Caligo martia	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	2		1		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Eryphanis automedon amphimedon	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	1		1		
Morpho cypris cypris	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			2	2		1/2		
Morpho cypris f. cyanites								
♀			2	2		2		
Morpho didius	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Morpho helenor achillaena	+	+			+		n.b.	n.b.
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Morpho helenor anakreon	+	+			+		n.b.	n.b.
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Morpho helenor violaceus	+	+			+		n.b.	n.b.
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Morpho lympharis	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Morpho menelaus godartii	+	+			+		+	+
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Morpho menelaus terrestris	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			1	2		2		
Morpho rhetenor cacica	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			2	2		2		
Morpho rhetenor helena	+	+			+		+	+
♂			2	2		2		
♀			2	1		1		
Cepheptychia cephus	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			1	1		1		
Magneptychia tricolor	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	1		1		
Bicyclus hewitsonii	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Bicyclus italus	+	+			+		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	1		1		
Lymanopoda samius	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			2	2		2		
Cithaerias andromeda	+	-			+		-	-
♂			1	2		1/2		
♀			1	2		1		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Junonia rhadama	+	+			+		+	-
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Salamis parhassus	n.b.	n.b.			n.b.		+	+
♂			2	2		2		
Marpesia furcula	+	+			+		-	+
♂			1	1		1		
♀			2	2		1		
Marpesia marcella	+	+			+		-	-
♂			1	1		2		
♀			1	2		2		
Myscelia orsis	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	2		1		
Eunica alpais	+	+			+		-	-
♂			1	1/2		2		
♀			1	2		1		
Asterope sapphira	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	2		2		
Epiphile oreia	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			2	2		1		
Dynamine gisella	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			2	1		2		
Dynamine vicaria	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			2	2		2		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Perisama patara	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	2		1		
Mesotaenia vaninka	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	2		1		
Apatura ilia budensis	+	+			+		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	1		1		
Apatura ilia ilia	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Apatura ilia f. astasioides	n.b.	n.b.			n.b.		-	+
♂			1	1		1		
Apatura ilia f. clytie	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Apatura iris iris	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Apatura iris ad f. jole	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Apatura iris bieti	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	1		1		
Apatura metis	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	2		1		
Mimathyma ambica	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	1		1		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Sasakia charonda	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	2		2		
Doxocopa clothilda	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	2		1		
Doxocopa laure	+	-			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	1		1		
Cethosia cydippe chrysippe	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	2		1		
Cethosia myrina	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	2		1		
Laparus doris	+	+			+		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		
Dione glycera	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	2		1		
Dione moneta butleri	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	1		1		
Terinos clarissa	+	+			+		-	-
♂			1	1		2		
♀			1	1		1		
Terinos terpander robertsia	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	1		2		
Bassarona durga	n.b.	n.b.			n.b.		-	-
♂			1	2		2		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Lexias cyanipardus	+	+			+		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	2		1		
Limenitis reducta	-	-			-		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	2		2		

RIODINIDAE								
Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Ancycluris meliboeus	+	+			+		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	1		1		
Rhetus dysonii	+	+			+		-	-
♂			1/2	1/2		2		
♀			1/2	1/2		2		

LYCAENIDAE								
Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Evenus regalis	+	+			+		-	n.b.
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Heliophorus brahma	+	+			+		-	-
♂			2	2		1		
♀			1	1		1		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Chrysozephyrus brilliantinus	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			1	1		1		
Lycaena helle	+	+			+		-	-
♂			1	2		2		
♀			1	1/2		1		
Lycaena virgaureae	+	+			+		+	+
♂			1/2	1/2		1/2		
♀			1	1		1		
Arhopala micale	+	+			+		-	n.b.
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Favonius quercus	+	+			+		-	-
♂			2	1/2		2		
♀			1	2		1		
Panthiades bitias	+	+			+		-	-
♂			1/2	1		2		
♀			1	1		2		
Thecla betulae	+	+			+		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	1/2		1		
Plebejus argus	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			1	1		1		
Polyommatus admetus	+	-			-		-	-
♂			1	1		1		
♀			1	1		1		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Polyommatus daphnis	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			2	2		2		
Polyommatus damon	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			1	1		1		
Polyommatus icarus	+	+			+		+	+
♂			2	2		2		
♀			1/2	1		1/2		
Danis danis	+	+			+		-	-
♂			2	2		2		
♀			1	1		1		

HESPERIIDAE								
Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Phocides belus	-	n.b.	1/2	1/2	n.b.	2	-	-

URANIIDAE								
Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Urania leilus	+	-			-		-	-
♂			1	2		1		
♀			1	2		1		

Artname	sichtbarer Sexualdim.	Sexualdim. Pol	Anteil pol. Fläche	Einordnung nach Polgrad	Sexualdim. UV	Anteil UV refl. Fläche	Variation Pol	Variation UV
Chrysiridia croesus	-	-			-		-	-
♂			1/2	2		1/2		
♀			1/2	2		1/2		
Chrysiridia rhipheus	-	-			-		-	-
♂			1/2	2		1/2		
♀			1/2	2		1/2		

Variation:

1. Individuelle Unterschiede:

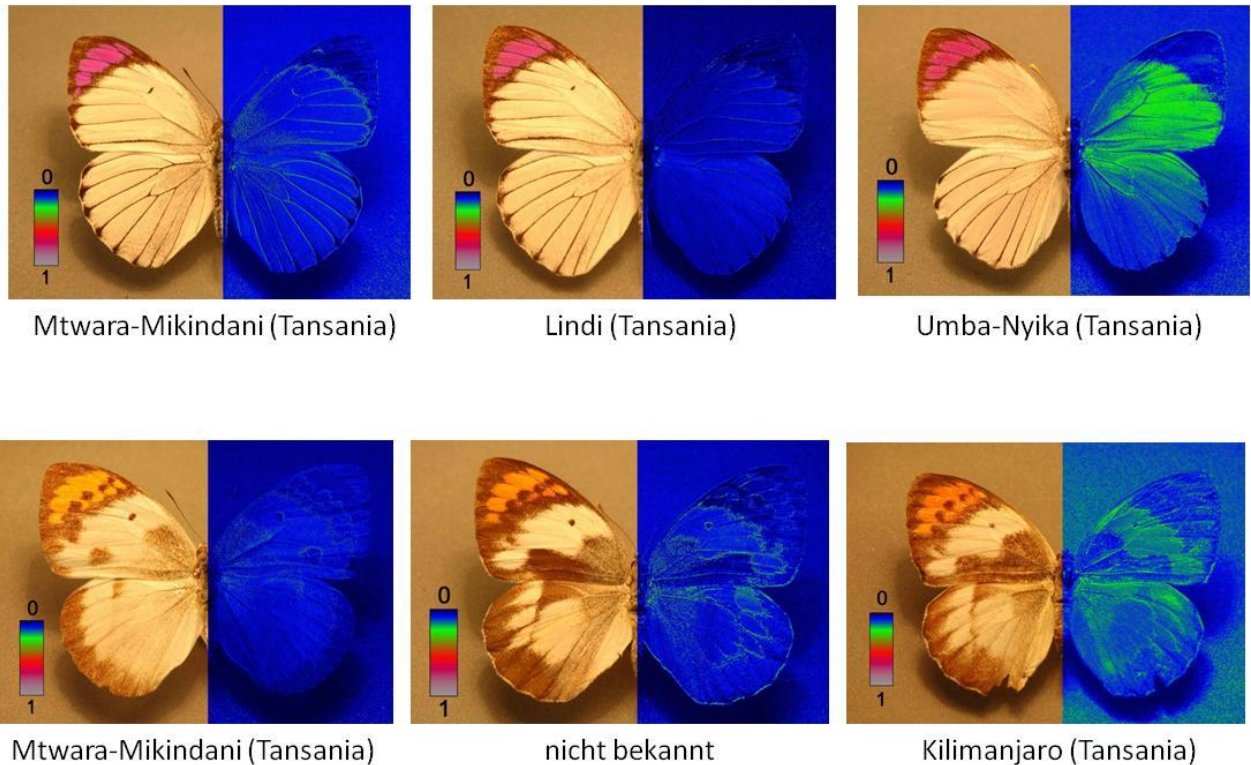


Abbildung 21: Polarisationsfotos mehrerer Individuen von *Colotis ione*. Obere Reihe: Männchen, untere Reihe: Weibchen. Fundort ist angegeben, sofern bekannt.

Üblicherweise ist eine geringe Variation zwischen den einzelnen Individuen zu finden. Aber auf den UV- bzw. Polarisationsfotos sind teilweise erstaunlich große Variationen in den Mustern zwischen den einzelnen Individuen einer Art und desselben Geschlechts zu sehen (siehe zum Beispiel in Abbildung 21).

2. Weibchendimorphismus:

Bei einigen Tagfalterarten zeigt sich nicht nur ein Sexualdimorphismus (Tabelle 3), sondern auch ein Weibchendimorphismus. Dieser ist einerseits mit unseren Augen, aber auch im Bezug auf die UV-Reflektion und Polarisation zu erkennen. Als Beispiele dienen zwei fotografierte Arten, die in Abbildung 22 und 23 zu sehen sind.

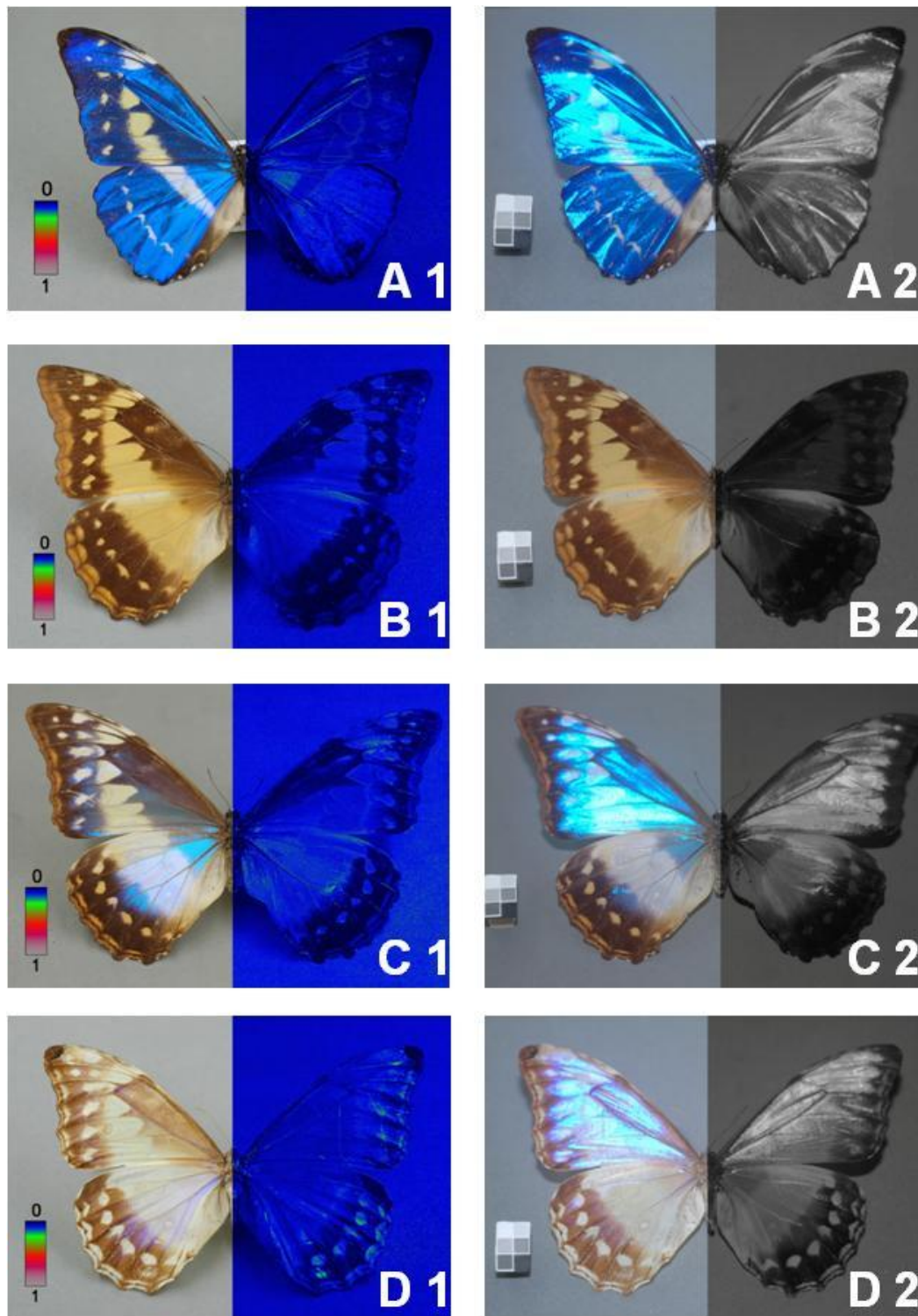


Abbildung 22: UV- und Polarisationsfotos von *Morpho cypris*. A Männchen, B normalgefärbtes Weibchen, C Blauschillerweibchen (oft auch als *Morpho cypris* f. *cyanites* angeführt), D Blauschillerweibchen, das als Teil einer Ausstellung im Laufe der Jahre ausgebleicht ist.

Bei beiden Arten zeigen die männlichen Individuen eine blaue, metallisch glänzende Farbe. Im Gegensatz dazu findet man bei den Weibchen normalerweise verschiedenste Brauntöne, ein Schillern oder ein metallischer Glanz sind nicht vorhanden. Es treten aber auch Weibchen auf, die den Männchen sehr stark ähneln,

da sie ebenfalls blau gefärbt sind (*Morpho cypris*, *Polyommatus icarus*; Abb. 22 und 23) bzw. schillern oder glänzen metallisch (*Morpho cypris*, Abb.18). In Abbildung 22 D2 dient ein ausgebleichtes Blauschillerweibchen dazu zu zeigen, wie sich auch die Strukturfarben im Laufe der Zeit verändern können.

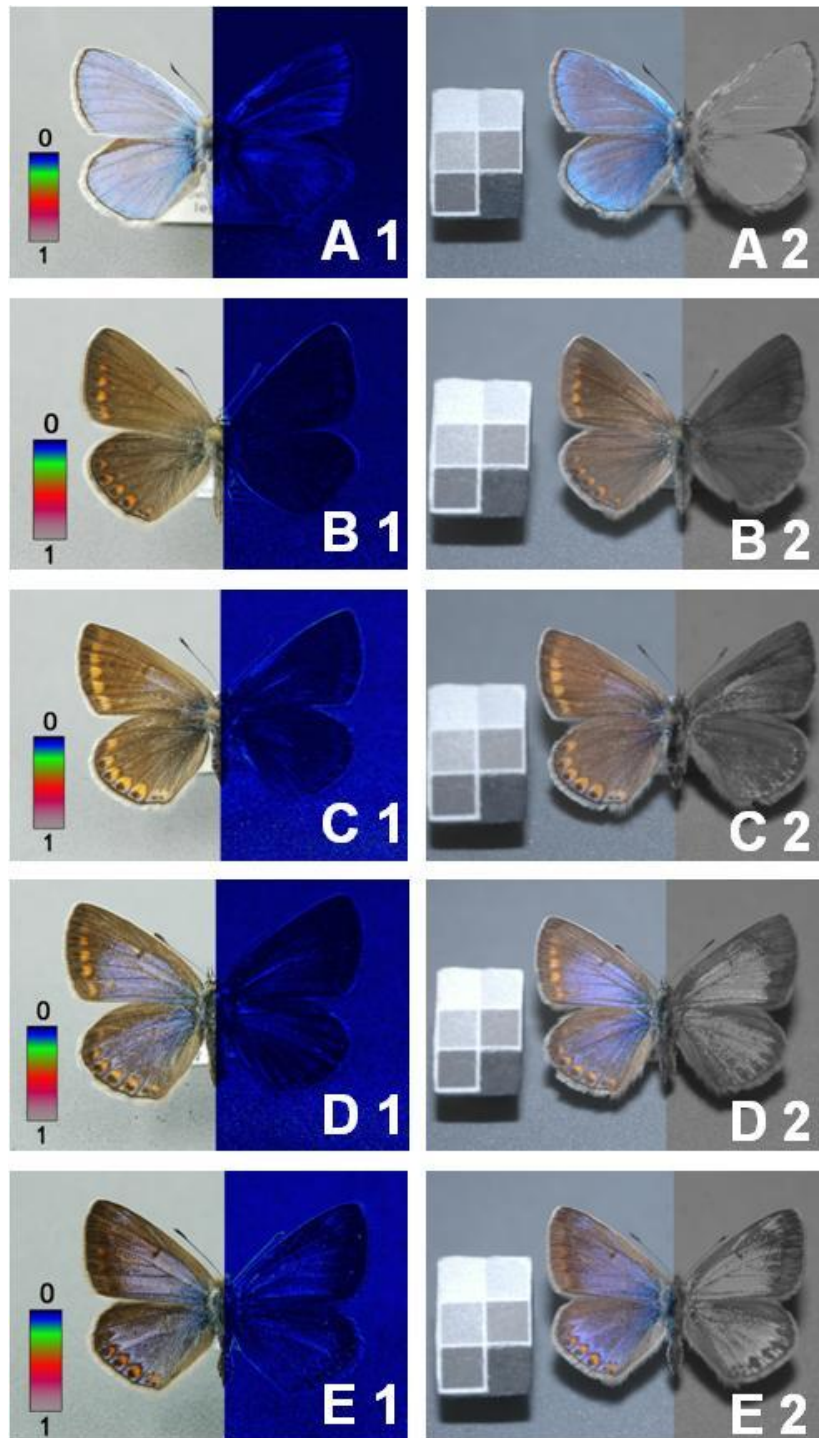


Abbildung 23: UV- und Polarisationsfotos von *Polyommatus icarus*. A Männchen, B normal gefärbtes Weibchen, C Weibchen mit geringem Blauanteil, D+ E Weibchen mit hohem Blauanteil.

3. Gynandromorphie (Scheinzwittertum):

Als Beispiele für Gynandromorphismus dienen die Fotos in Abbildung 24 und 25. Es handelt sich um sogenannte Gynander von *Apatura ilia f. clytie*.

„Gynandromorphe Tagfalter zeigen die äußeren Merkmale von Männchen und Weibchen im gleichen Individuum.“ (Smart, 1995)

Bei der Rotschillerform vom Kleinen Schillerfalter (*Apatura ilia f. clytie*) ist generell ein Sexualdimorphismus zu finden. Die Männchen zeichnen sich durch einen blauvioletten Schiller aus, der bei den Weibchen nicht vorhanden ist. Durch solchen Sexualdimorphismus sind gynandromorphe Individuen (siehe Abb. 24, 25) leicht zu erkennen (Smart, 1995).



Abbildung 24: Gynander der Aberration *Apatura ilia f. clytie*. Linkes Bild: blauvioletter Schiller fleckenweise zu erkennen, rechtes Bild: starke Reflektion im UV-Bereich, wie bei Männchen üblich.

In selteneren Fällen gibt es auch sogenannte Halbseitengynander (siehe Abb. 25), bei denen die Flügel einer Körperseite männliche und die Flügel der anderen Körperseite weibliche Merkmale aufweisen (Smart, 1995).



Abbildung 25: Halbseitengynander der Aberration *Apatura ilia f. clytie*. Linkes Bild: normale Aufnahme, rechtes Bild: Aufnahme mit UV-Filter. Der linke Flügel dieses Individuums zeigt weibliche, der Rechte männliche sekundäre Geschlechtsmerkmale.

Flügelunterseite:

Im Großteil der Fälle wurden die Flügeloberseiten fotografiert und auf UV- und Polarisationsmuster untersucht. Es gibt jedoch einige interessante Fälle, bei denen die Flügelunterseite auch metallisch glänzende Muster aufweist. Daher wurden auch die Unterseiten mit UV- und Polarisationsfilter fotografiert.

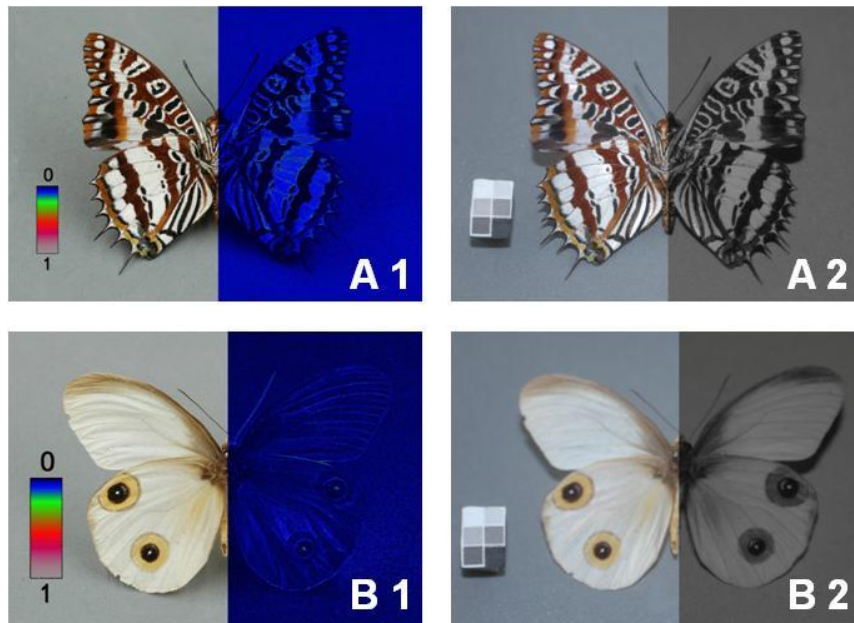


Abbildung 26: Flügelunterseiten mit UV- und Polarisationsfilter fotografiert. 1: Polarisationsmuster, 2: UV-Muster von *Charaxes andranodorus* (A) und *Taenaris catops* (B). Es handelt sich in beiden Fällen um männliche Individuen.

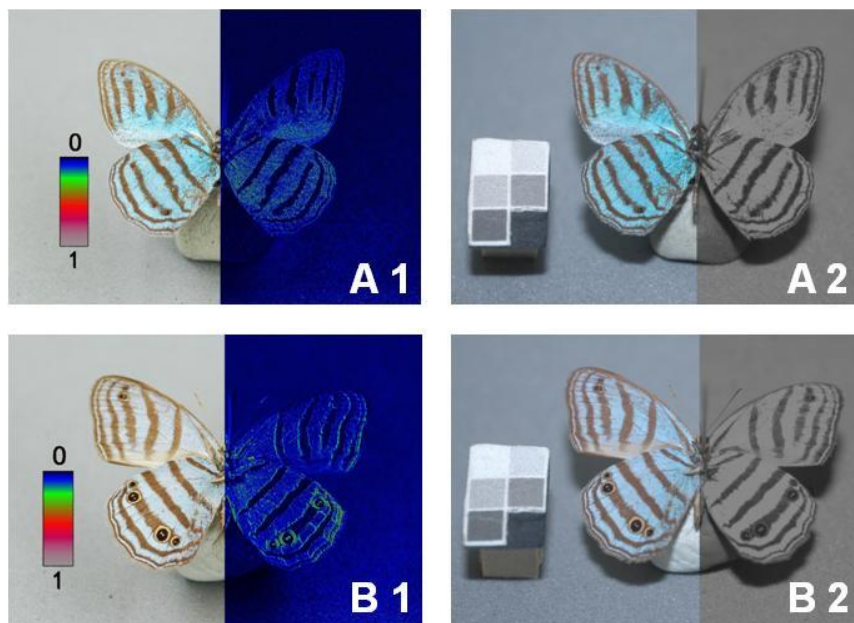


Abbildung 27: Flügelunterseiten mit UV- und Polarisationsfilter fotografiert. 1: Polarisationsmuster, 2: UV-Muster von *Cepheptychia cephus*. A: Männchen, B: Weibchen.

In den Abbildungen 26-29 sind die Flügelunterseiten verschiedener Arten der Nymphalidae zu sehen. In allen Fällen lassen sich sowohl UV- als auch Polarisationsmuster erkennen.

Nicht nur Männchen zeigen diese Muster an den Flügelunterseiten, sondern auch Weibchen, wie man es am Beispiel von *Cepheptychia cephus* (Abb. 27) und *Danis danis* (Abb.30) sehen kann. Interessanterweise besitzen die weiblichen Individuen von *Cepheptychia cephus* auf der Flügeloberseite weder UV- noch Polarisationsmuster (siehe S. 98 Bildtafel Nymphalidae 17 C,D).

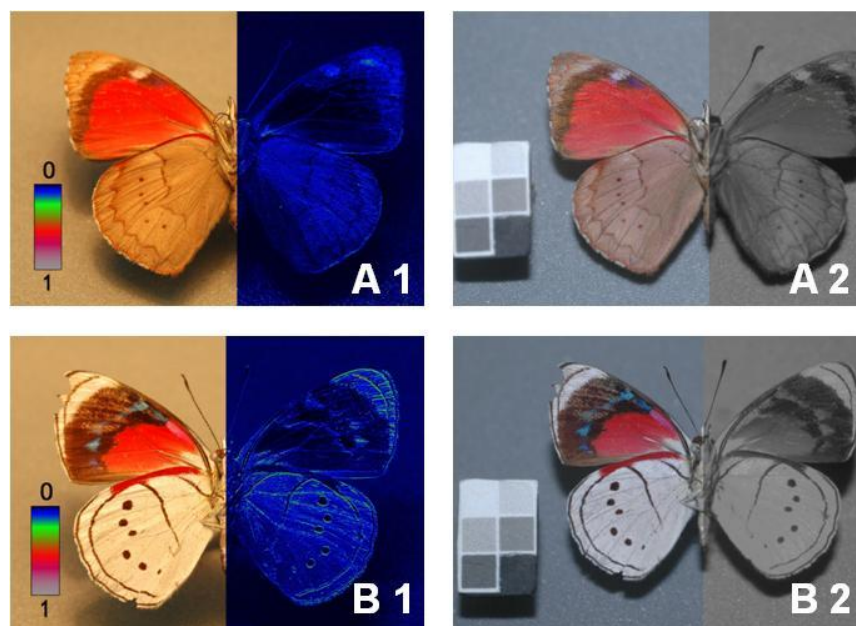


Abbildung 28: Flügelunterseiten mit UV- und Polarisationsfilter fotografiert. 1: Polarisationsmuster, 2: UV-Muster von *Perisama patara* (A) und *Mesotaenia vaninka* (B). Es handelt sich in beiden Fällen um männliche Individuen.

Dione moneta butleri und *Dione glycera* besitzen ein beeindruckendes metallisch glänzendes Muster auf der Flügelunterseite. Die zahlreichen glänzenden Flecken wirken wie Spiegelflächen, die noch dazu in hohem Maße polarisieren und ultraviolette Licht reflektieren (siehe Abb. 29). Die Flügeloberseite beider Schmetterlinge besitzt keinerlei spiegelartiger Flächen.

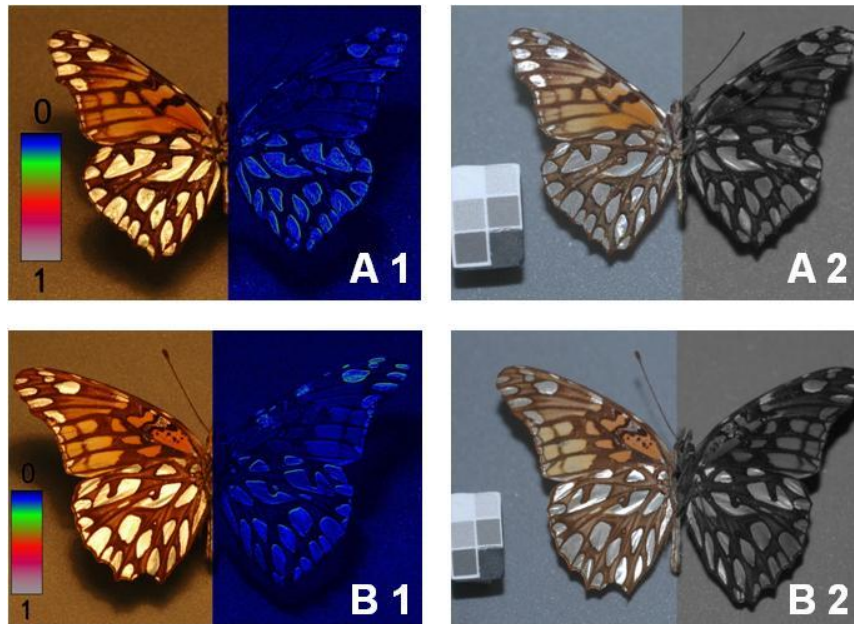


Abbildung 29: Flügelunterseiten mit UV- und Polarisationsfilter fotografiert. 1: Polarisationsmuster, 2: UV-Muster von *Dione moneta butleri* (A) und *Dione glycera* (B). Es handelt sich in beiden Fällen um männliche Individuen.

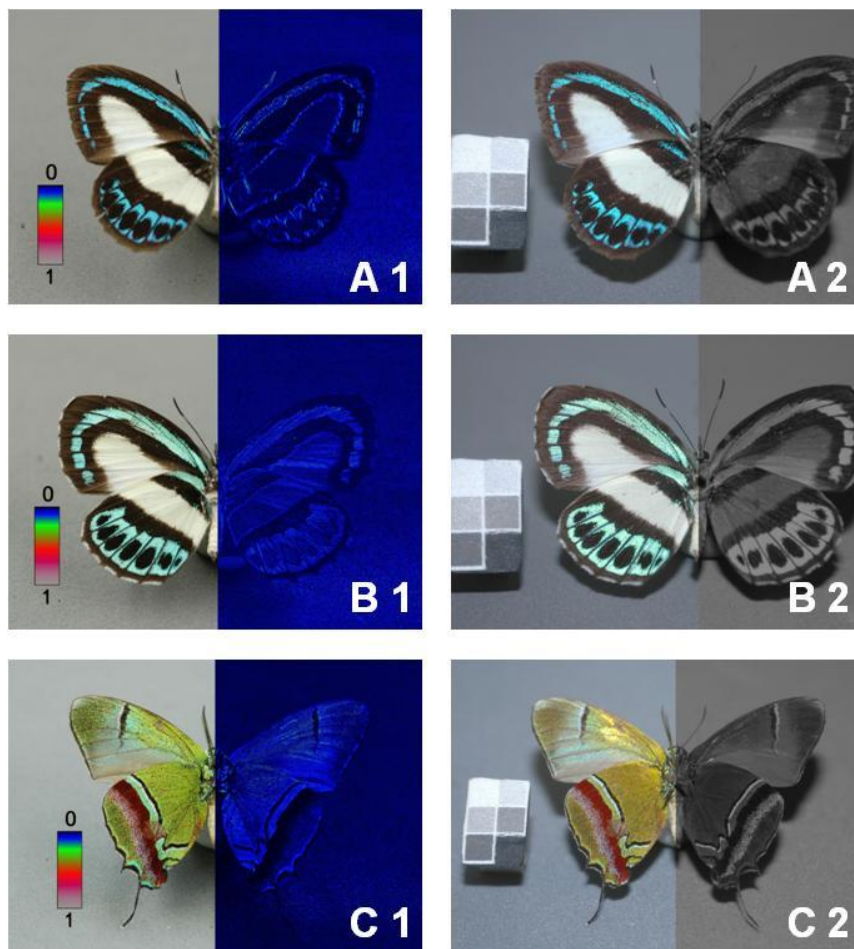


Abbildung 30: Flügelunterseiten mit UV- und Polarisationsfilter fotografiert. 1: Polarisationsmuster, 2: UV-Muster. A: Männchen, B: Weibchen von *Danis danis*. C: Männchen von *Evenus regalis*.

Als Vertreter der Riodinidae wurde *Ancycluris meliboeus* untersucht (siehe Abb. 31). Diese Art zeigt ebenfalls UV- und Polarisationsmuster auf der Flügelunterseite. Abgesehen von Tagfaltern wurde noch eine tagaktive Nachtfalterart fotografiert. Die Flügelunterseite von *Chrysiridia rhipheus* besitzt ebenfalls polarisierende und UV reflektierende Muster.

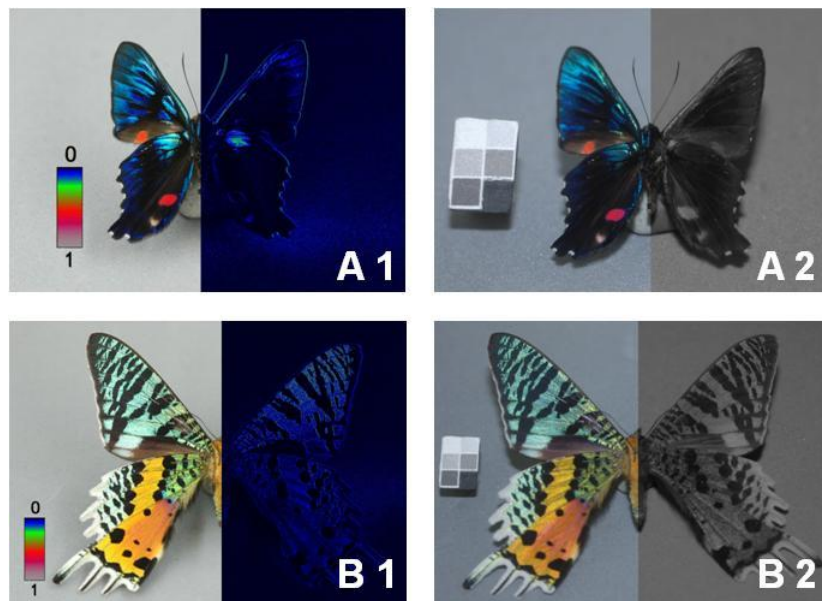


Abbildung 31: Flügelunterseiten mit UV- und Polarisationsfilter fotografiert. 1: Polarisationsmuster, 2: UV-Muster. A: Männchen von *Ancycluris meliboeus*, B: Männchen von *Chrysiridia rhipheus*.

Vergleich nah verwandter Arten:

Dieses Kapitel widmet sich dem darstellenden Vergleich von polarisierenden bzw. UV-reflektierenden Arten mit nah verwandten Arten, die diese Komponenten nicht aufweisen. Zu diesem Zweck wurden Artengruppen aus verschiedenen Tagfalterfamilien ausgewählt und fotografiert. Dabei handelt es sich um Vertreter folgender Familien: Pieridae, Nymphalidae und Lycaenidae (siehe Abb. 32-34).

Bei genauerer Betrachtung der untersuchten Arten der Pieridae (Abb. 32) sieht man, dass sich die Männchen dieser drei Arten in punkto UV- und Polarisationsmuster nur geringfügig voneinander unterscheiden. Bei den Weibchen werden die Unterschiede schon deutlicher, wobei auch Unterschiede zwischen den Weibchen einer Art auftreten.

Pieridae:

Colotis ione – *Colotis antevippe* – *Colotis danae annae*

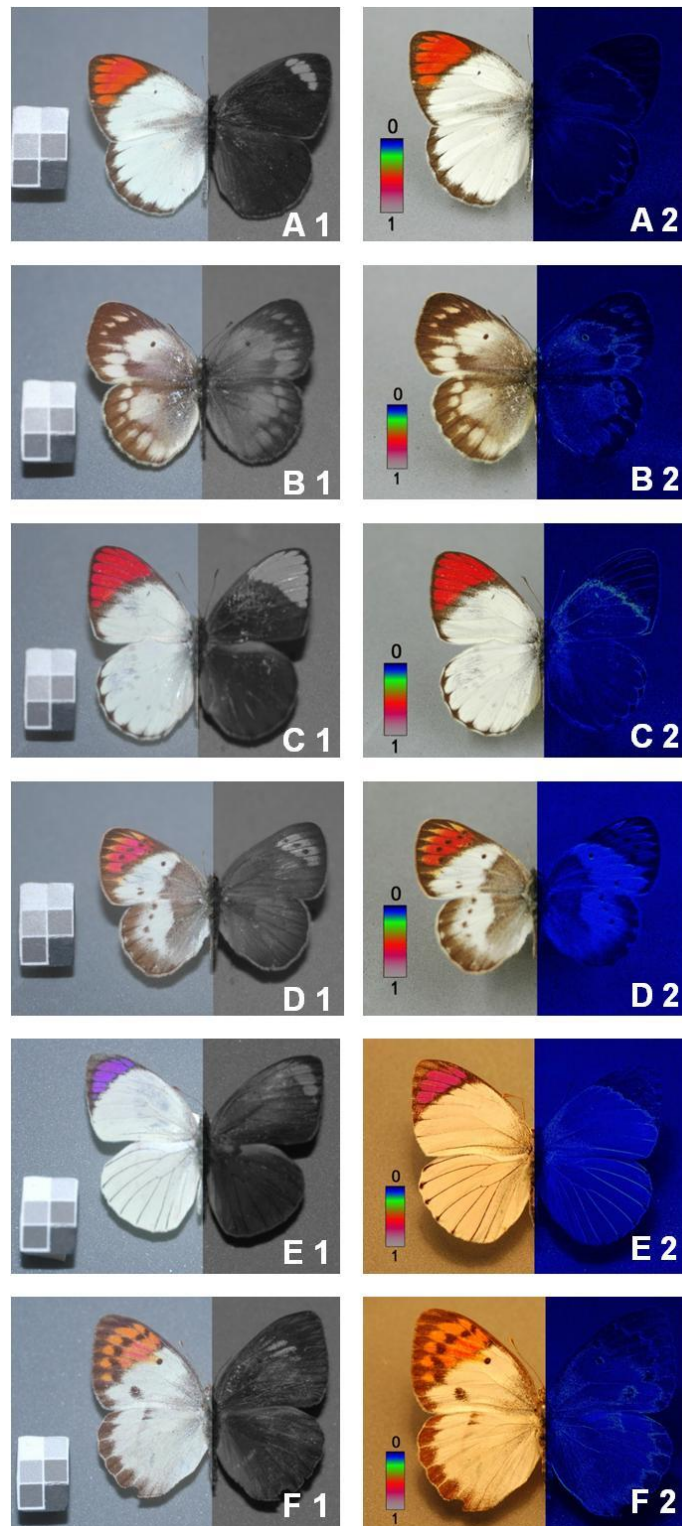


Abbildung 32: 1: UV- und 2: Polarisationsfotos von Männchen und Weibchen dreier verschiedener, aber nah verwandter Arten aus der Familie der Pieridae (Weißlinge). A Männchen, B Weibchen der Art *Colotis antevippe*, C Männchen, D Weibchen der Unterart *Colotis danae annae*, E Männchen, F Weibchen der Art *Colotis ione*.

Nymphalidae:

Euploea deione – *Euploea doubledayi* – *Euploea gamelia*

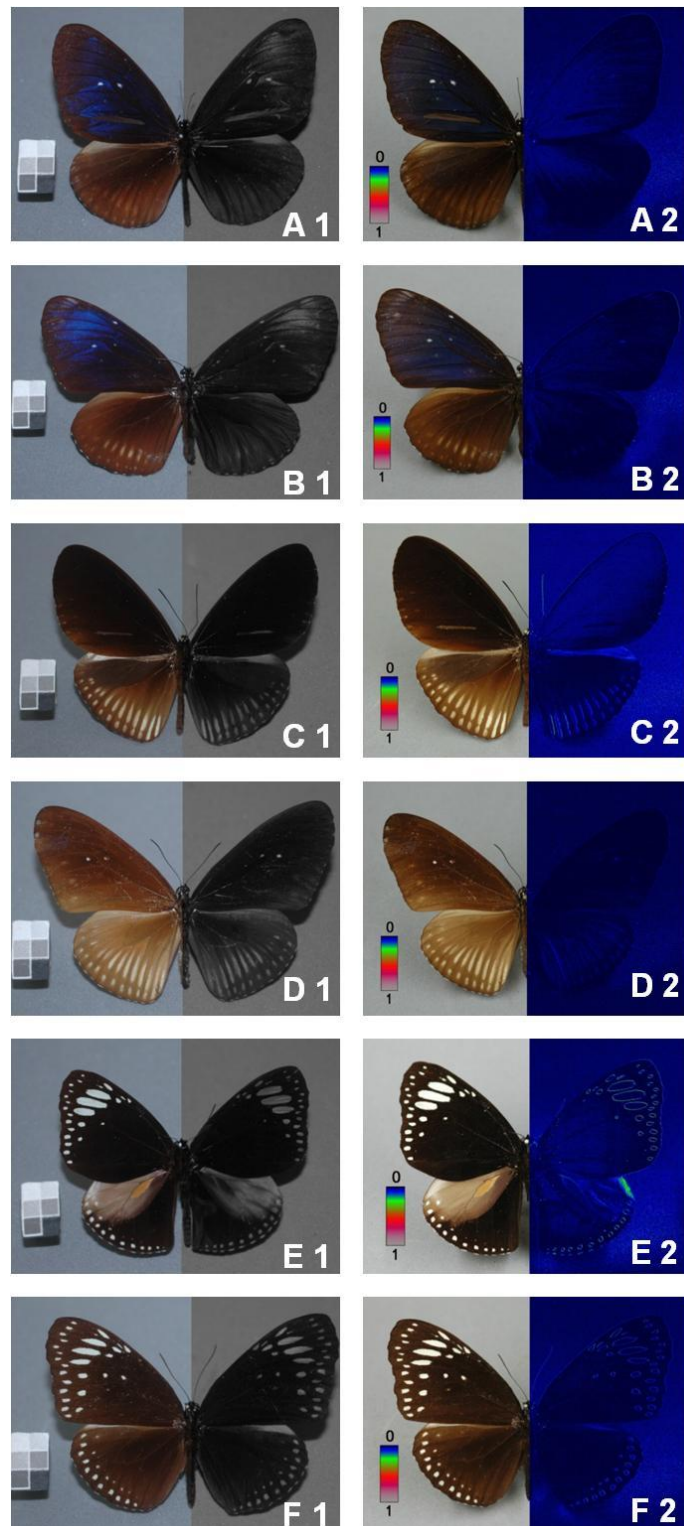


Abbildung 33: 1: UV- und 2: Polarisationsfotos von Männchen und Weibchen dreier verschiedener, aber nah verwandter Arten der Familie der Nymphalidae (Edelfalter). A Männchen, B Weibchen der Art *Euploea deione*, C Männchen, D Weibchen der Art *Euploea doubledayi*, E zeigt Männchen, F Weibchen der Art *Euploea gamelia*.

Abbildung 33 zeigt, dass bei den dargestellten Arten abgesehen von den metallisch violetten Flügelbereichen auch die samtartigen schwarzen Stellen polarisieren. Daher unterscheiden sich *Euploea deione* und *Euploea doubledayi* auf den Polarisationsfotos kaum, bei den UV-Fotos jedoch deutlich. Bei *Euploea gamelia* kommt mit beiden Filtern die große Menge an weißen Flecken zur Geltung. Diese Flecken findet man bei den anderen beiden Arten nur in geringer Zahl.

In Abbildung 34 ist zu erkennen, dass das metallisch blaue Männchen von *Agrodiaetus damon damon* deutlich gegenüber den anderen braun gefärbten Individuen heraus sticht und das sowohl im Bezug auf Polarisation als auch UV-Reflexion.

Lycaenidae:

Agrodiaetus admetus – *Agrodiaetus damon damon*

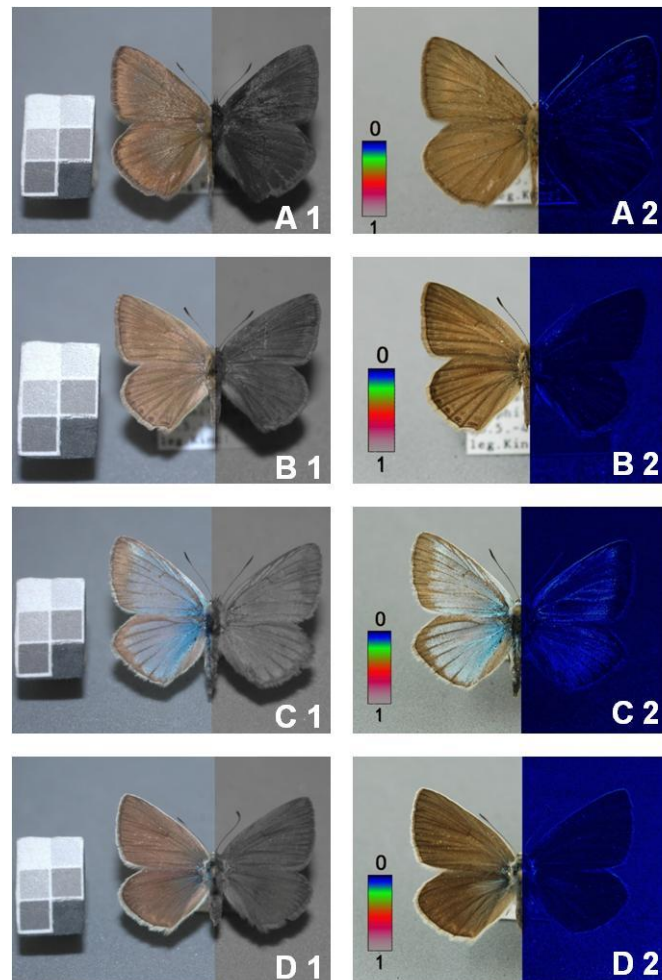


Abbildung 34: 1: UV- und 2: Polarisationsfotos von Männchen und Weibchen dreier verschiedener, aber nah verwandter Arten der Familie der Lycaenidae (Bläulinge). A Männchen, B Weibchen der Art *Agrodiaetus admetus*, C Männchen, D Weibchen der Unterart *Agrodiaetus damon damon*.

4. Untersuchung zum Thema Wärmeschutz:

Grundsätzlich zeigt sich bei den Messergebnissen (siehe Tab.4) eine Erhöhung der Temperatur mit Zunahme der Bestrahlungsdauer. Es sind jedoch keine markanten Unterschiede in der Erwärmung der Flügelstellen mit unterschiedlichen Polarisationsstärken bei gleicher Stärke und Dauer der Bestrahlung mit den Tageslichtlampen zu erkennen.

Tabelle 4: Temperaturveränderung an den getesteten Flügelstellen der beiden untersuchten Exemplare (♂ und ♀) der Art *Morpho menelaus terrestris* mit zunehmender Bestrahlungsdauer. 1 stark polarisierende Fläche in der Flügelmitte, 2 nicht polarisierende Fläche am oberen Flügelrand, 3 leicht polarisierende Fläche nahe der Flügelbasis des Weibchens.

Zeit nach Beginn des Versuches	Geschlecht	getestete Stelle	Temperatur [°C]
00:00	♂	1	26,5
		2	26,6
	♀	1	26,1
		2	26,3
		3	26,2
00:15	♂	1	27,6
		2	27,9
	♀	1	28,5
		2	28,7
		3	28,7
00:30	♂	1	28,0
		2	28,5
	♀	1	28,9
		2	28,9
		3	28,9
00:45	♂	1	27,8
		2	28,3
	♀	1	28,3
		2	28,9
		3	28,3
01:00	♂	1	27,6
		2	28,3
	♀	1	28,5
		2	28,7
		3	28,7

1. Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop:

Die Schuppen sind wie erwartet dachziegelartig an der Flügelmembran angeordnet. Man findet auch hier wie bei anderen Schmetterlingsarten Deck- und Grundschruppen (Ingram et Parker, 2008; Pantelić et al., 2011). Es waren hier alle typischen Schuppentypen (Pigmentschruppen, Schillerschruppen) und Schuppengrundstrukturen (Ridges, Cross-ribs, Trabeculae, etc.) und deren Modifikationen zu finden, wie sie schon in zahlreichen anderen Untersuchungen beobachtet worden sind (Süffert, 1924; Ghiradella, 1991; Nijhout, 1991; Scoble, 1992; Pantelić, 2011). Wie bereits im Ergebnisteil erwähnt, sind die Schuppengrundstrukturen aller untersuchten Schillerschruppen so modifiziert, dass sich ein bäumchenartiger Querschnitt ergibt. Dieses Ergebnis lässt diese Schillerschruppen somit dem sog. Morpho-Typ zuordnen. Dies deckt sich im Bezug auf die Vertreter der Apaturinae auch mit anderen bereits durchgeführten Untersuchungen, wie zum Beispiel bereits Süffert (1924) oder später Pantelić et al. (2011).

Interessant wäre es hierbei, die Schuppen noch einmal bei viel stärkerer Vergrößerung zu untersuchen, um die Strukturen genauer analysieren zu können.

An dieser Stelle ist noch ein Problem zu erwähnen, das während dieser Untersuchungen aufgetreten ist. Sogenannte Aufladungseffekte haben dazu geführt, dass die Bilder zum Teil verzerrt sind. Diese traten bei den Flügelstücken auf, da hier die Schuppen nur normal an der Flügelmembran und nicht fest auf den Stubs befestigt waren.

2. Untersuchungen des Schillereffekts bei verschiedenen Winkeln:

1. Teil:

Diese Untersuchung zeigt, was auch mit freiem Auge sofort erkennbar ist, wenn man Exemplare der beiden Arten in Händen hält und bei verschiedenen Winkeln betrachtet, nämlich dass das blauviolette Schillern bei *Sasakia charonda*

“permanent“ zu sein scheint als bei *Apatura iris*. Dies ist vermutlich auf die bereits im Rasterelektronenmikroskop beobachteten geringen Unterschiede im Bau der Schillerschuppen zurückzuführen. Bei *Apatura iris* ist das blauviolette Schillern also auf einen geringeren Winkelbereich beschränkt, als bei *Sasakia charonda*.

2. Teil:

Bei der Untersuchung wurden schillernde Schmetterlingsarten auf UV-Reflektion und Polarisation untersucht. Die Ergebnisfotos zeigen eine Änderung beider Phänomene mit dem Betrachtungswinkel. Da das im gleichen Winkelbereich des blauvioletten Schillerns passiert, lässt dies die Vermutung zu, dass die gleichen Schuppen, also die sog. Schillerschuppen, in diesen Fällen auch für die Reflektion von ultravioletttem Licht und Polarisation verantwortlich sind.

3. Untersuchungen der UV- und Polarisationsmuster:

Allgemeine Ergebnisse:

Kartierung:

Das Ziel in verschiedenen Tagfalterfamilien UV- und Polarisationsmuster mithilfe von Fotografie aufzuzeigen, wurde eindeutig erreicht. In allen untersuchten Familien wurden diese Phänomene gefunden. Dies zeigt, dass das Merkmal “polarisierende Schmetterlingsflügel“ nicht nur auf eine Familie der Tagfalter beschränkt ist, sondern dass es sich um ein nicht so seltenes Merkmal handelt.

Wirft man einen Blick auf Tabelle 3 und die Bildtafeln im Anhang, wird man feststellen, dass alle verschiedenen Fälle anzutreffen sind. Es gibt Arten, die weder UV- noch Polarisationsmuster besitzen, manche weisen eine der beiden Möglichkeiten auf und mehrere Arten sogar beide. Ein Sexualdimorphismus ist im Bezug auf diese Phänomene häufig anzutreffen. Zum Großteil stimmen die UV- bzw. Polarisationsmuster auch mit dem für uns sichtbaren Flügelmuster überein.

Die untersuchten Arten kommen auf den verschiedensten Teilen der Erde und somit in sehr unterschiedlichen Lebensräumen vor.

Alleine diese Tatsachen führen uns die unglaubliche Vielfalt der Lepidoptera einmal mehr vor Augen.

Funktionen:

Um für das Leben notwendige Ressourcen bzw. Artgenossen und somit auch mögliche Paarungspartner finden zu können, muss ein Individuum als Empfänger Signale aus der Umwelt, auch von anderen Lebewesen, empfangen und verarbeiten können. Um Signale auszusenden müssen diese erzeugt und übertragen werden (Douglas et al., 2007).

Aus diesem Grund muss hier kurz auf die Fähigkeiten im Bereich des visuellen Systems der Lepidoptera eingegangen werden.

Der Mensch neigt dazu alles aus seiner Sicht zu bewerten, aber davon ist hier abzuraten. Man kann von dem menschlichen visuellen System nicht auf das der Schmetterlinge und dann auf entsprechendes Verhalten schließen.

Unseren Augen bleiben Phänomene wie UV-Reflektion und Polarisation verborgen und diese wurden deswegen in früheren Untersuchungen und Überlegungen nicht mit einbezogen (Silberglied et Taylor, 1978; Briscoe & Chittka 2001).

Aufgrund der heutigen technischen Möglichkeiten können für uns Menschen nicht sichtbare Phänomene, dennoch sichtbar gemacht werden. UV-Reflektion und Polarisation bleiben uns deshalb nicht länger verborgen.³

Schmetterlinge können mit ihren Augen Licht mit einer Wellenlänge von 300 – 700 nm wahrnehmen, also auch ultraviolettes Licht (Silberglied et Taylor, 1978). Noch dazu können sie im Gegensatz zu vielen anderen Insekten Polarisation wahrnehmen, da jedes Ommatidium im Insektenauge sensibel auf polarisierendes Licht reagiert (Sweeney, 2003). Generell ist das visuelle System einzelner Arten kaum untersucht. Man vermutet, dass bei der Verarbeitung von Polarisation ein Bild (ähnlich wie beim Farbsehen) durch den Vergleich der Polarisation des Objektes mit der der Umwelt entsteht (Douglas et al., 2007).

Man muss bei dieser Gelegenheit betonen, dass es sich bei UV um nichts anderes als eine weitere Farbe des Lichtspektrums handelt (Lyytinen, 2004). Dadurch unterscheidet sich dieses Phänomen stark von dem der Polarisation.

Um fundierte Überlegungen über mögliche Funktionen anstellen zu können, sollten auch die visuellen Fähigkeiten der Prädatoren und die herrschenden Verhältnisse im jeweiligen Lebensraum berücksichtigt werden (Lyytinen, 2004).

Die generelle Schwierigkeit besteht darin so an seinen Lebensraum angepasst zu sein, dass man im Bezug auf Feinde kaum zu erkennen, also getarnt ist. Aber auch um mit den Artgenossen kommunizieren und interagieren zu können, sollte man für diese auffällig, also einfach zu erkennen sein.

UV und Polarisation könnten eine Möglichkeit sein beiden Ansprüchen gerecht zu werden. Können die beiden Phänomene von den Wirbeltier-Fressfeinden nicht wahrgenommen werden, kann ein Schmetterling im Bezug auf diese Prädatoren getarnt, aber für seine Artgenossen dennoch auffällig sein. Bei Vögeln trifft das nicht zu, da diese UV wahrnehmen können. UV bzw. Polarisation könnten somit die Funktion eines privaten Kanals zur innerartlichen Kommunikation einnehmen (Douglas et al., 2007; Doucet et Meadows, 2009). Dies dürfte auch bei Individuen der Art *Heliconius cydno*, die Polarisationsmuster auf den Flügeln aufweist, der Fall sein (Douglas et al., 2007).

Pantelić et al. (2011) haben die beiden Arten *Apatura iris* und *Apatura ilia* näher untersucht und herausgefunden, dass die UV-Muster der Männchen sehr auffällig für Artgenossen, aber für potentielle Fressfeinde nicht sichtbar sind. Für Prädatoren erscheinen Individuen dieser *Apatura*-Arten aus fast allen Richtungen in einem dumpfen braun, sind daher vor diesen in ihrem Habitat (Wald) gut getarnt (Pantelić et al., 2011).

Wie bereits erwähnt, ist es notwendig auch die herrschenden Umweltbedingungen bzw. die Grundverhältnisse des jeweiligen Lebensraums in den Überlegungen mit einzubeziehen.

Der Biotop Wald, der Lebensraum zahlreicher Schmetterlinge (auch hier untersuchter Arten), erweist sich als besonders interessant. Dichter Wald ist geometrisch recht komplex und folglich was das Visuelle betrifft auch hoch kompliziert, da die Lichtverhältnisse stark im Bezug auf die Wellenlänge und der Intensität des Lichts variieren (Sweeney, 2003; Douglas et al., 2007). Um in solch einem Lebensraum dennoch für Artgenossen sichtbar sein zu können, muss man den Kontrast zur Umgebung erhöhen. Es bedarf deshalb auffälliger Muster, die durch leuchtend schillernde Farben, UV-Reflektion und/oder Polarisation erzeugt werden können (Douglas et al., 2007; Pantelić et al., 2011).

Dazu gibt es auch schon Ergebnisse von anderen Untersuchungen. Sweeney (2003) beispielsweise ist zu dem Schluss gekommen, dass die Polarisationsmuster auf den

Flügeln von *Heliconius cydno* wichtig für das Erkennen von Artgenossen und möglichen Paarungspartnern und als solche erkannt zu werden sind.

Schmetterlinge sind keineswegs regungslose Geschöpfe, der Flug der Tiere und die Signalwirkung der Flügelmuster in Bewegung waren ebenfalls bereits von Interesse für die Wissenschaft. Laut Pantelić et al. (2011) stellen die schillernden Flügel der Männchen von *Apatura iris* und *A. ilia* auch im Flug einen sichtbaren Kontrast zum Baumkronendach ihres Lebensraums dar.

Bei den von Douglas et al. (2007) untersuchten Arten zeigt sich, dass Arten mit Polarisationsmuster auf den Flügeln signifikant wahrscheinlicher in einem dichten Habitat (Wald) als in einem offenen Habitat leben. Noch dazu scheinen die polarisierenden Flügelflächen im Flug immer wieder "aufzublitzen" und einen Kontrast zum Hintergrund zu bilden.

Bei sexualdimorphen Schmetterlingsarten liegt die Überlegung nahe, dass die Flügelmuster nicht nur dazu dienen, dass sie Artgenossen als solche identifizieren, sondern auch ihre Artgenossen einem Geschlecht zuordnen können (Doucet et Meadows, 2009). Die Nutzung von Polarisation zum Erkennen von möglichen Paarungspartnern und als solcher erkannt zu werden, ist bereits bekannt (Sweeney, 2003; Douglas et al., 2007; Green et al. 2010). Der Vorteil besteht darin, dass man schon aus der Entfernung erkennen kann, ob es sich um ein Individuum des anderen Geschlechts handelt und man sich diesem annähern soll oder nicht. Dies führt zu einer Zeit- und Energieersparnis bei der Paarungssuche (Douglas et al., 2007).

In vielen Fällen verhält es sich so, dass das Männchen in entsprechenden Arealen herumfliegt und nach Weibchen Ausschau hält. Wurde dieses entdeckt, nähern sie sich an. In dieser Anfangsphase des Paarungsverhaltens spielen visuelle Signale eine essentielle Rolle (Obara et Majerus, 2000). Obara und Majerus (2010) sind zu dem Schluss gekommen, dass Männchen von *Pieris rapae rapae* durch das Muster auf den Flügeln der Weibchen angelockt werden.

Geht man bei diesen Überlegungen noch einen Schritt weiter, dann könnte man den Flügelmustern auch eine wichtige Rolle bei der Partnerwahl zuschreiben. Es ist durchaus möglich, dass Weibchen beispielsweise an Polarisationsmustern auf den männlichen Flügeln die genetische Qualität des Männchens "ablesen" können

(Kemp, 2007). Das Flügelmuster stellt also eine ehrliche Information dar, die auch mit Kosten verbunden ist wie zum Beispiel eine erhöhte Auffälligkeit gegenüber Fressfeinden (Doucet et Meadows, 2009). Die Rolle von Flügelmustern in der Partnerwahl wurde schon an zahlreichen Arten untersucht. Kemp (2007) beispielsweise hat herausgefunden, dass Weibchen von *Hypolimnas bolina* Männchen mit einem strahlend blauschillernden Muster als Paarungspartner bevorzugen.

Männliche Individuen der Art *Colias eurytheme* besitzen im Gegensatz zu den weiblichen Artgenossen ein UV-Muster auf den Flügeln. Diese Muster wirken auf andere Männchen abstoßend, während Weibchen Männchen mit intensivem UV-Muster vorziehen (Rutowski et al., 2006).

Partnerwahlexperimente mit *Heliconius cydno* durchgeführt von Sweeney (2003) zeigten, dass Polarisationsmuster bei der Partnerwahl eine entscheidende Rolle spielen.

Auch bei UV-Mustern ist dies der Fall, wie Knüttel und Fiedler (2001) entdeckt haben. Ob es sich um ein genetisch gutes Männchen handelt, wird anhand des UV-Musters signalisiert. Die Ausprägung von UV reflektierenden Flächen auf den Flügeln ist ein Ergebnis der Qualität, der im Larvenstadium aufgenommenen Nahrung.

Die Intensität der Strukturfarben (auch UV) auf den Flügeln nimmt mit zunehmendem Alter des Schmetterlings ab (Kemp, 2006; Doucet et Meadows, 2009). Diese Abnahme läuft bei Pigmentfarben nicht so deutlich bzw. so schnell ab. Der Grund dafür ist, dass im Laufe der Zeit deutlich mehr Deckschuppen (hauptverantwortlich für Strukturfarben) verloren gehen, als die darunter liegenden Grundschruppen (meist reine Pigmentschuppen) (Kemp, 2006).

Das ist insofern von Bedeutung, da sich Weibchen offenbar bevorzugt mit jungen Männchen paaren dürften, da deren Ejakulat von höherer Qualität zu sein scheint (Kemp, 2006; Kemp, 2007).

Somit könnte diese Gegebenheit als verschlüsselte Information über das Alter und folglich die Qualität des Senders (Männchen) dienen (Doucet et Meadows, 2009).

Aufgrund der Ergebnisse der Fotografie mit optischen Filtern ist das Auftreten all dieser besprochenen Funktionen möglich.

Polarisation bzw. das Polarisationssehen können offenbar auch Funktionen erfüllen, wie man sie schon lange bei Farben bzw. beim Farbsehen antrifft (Cronin, 2003).

Variation:

1. Individuelle Unterschiede:

Eine Erklärung für diese unterschiedlich starke Reflexion der weißen Flügelflächen, ist - möglicherweise - im Feinbau der Flügelschuppen zu finden. Stavenga et al. (2004) haben sich die Schuppen, die die weiße Fläche erzeugen, bei *Pieris rapae* näher angesehen. Besitzen die Schuppen eine große Menge an eingelagerten Kügelchen, ist auch die Reflexion deutlich höher, als bei Schuppen mit einer geringeren Anzahl oder einem Fehlen der Kügelchen.

Nun warum gibt es hier beträchtliche Unterschiede? Welche Funktion(en) könnte(n) dahinter stecken?

Abgesehen vom üblich vorhandenen Polymorphismus, könnte es sich um eine geographische Variation handeln. D.h., es ist möglich, dass sich die Individuen im Rahmen der Polarisation von Population zu Population (also in unterschiedlichen Gebieten) in einem gewissen Maß unterscheiden. Diese Hypothese wäre durchaus denkbar, denn die betreffenden Exemplare stammen von unterschiedlichen Fundorten, also Populationen.

Weitere Erklärungsmöglichkeiten stellen jahreszeitliche Schwankungen (=Saisonpolyphänismus), umweltbedingte Variabilität, aber auch eine Funktion im Rahmen der Partnerwahl dar (Sbordoni et Forestiero, 1985).

2. Weibchendimorphismus:

Mithilfe der UV- und Polarisationsfotografie wird einmal mehr die Variabilität innerhalb der Weibchen ein- und derselben Art gezeigt. Bei *Polyommatus icarus* beispielsweise gibt es normal gefärbte Weibchen, deren Flügel fast komplett braun gefärbt sind, bis hin zu solchen, die in der Blaufärbung (Vane-Wright, 2003), aber auch der UV-Reflektion den Männchen um nichts nachstehen. Also auch hier steht wie bei den Untersuchungen des Schillereffektes die blaue Strukturfarbe mit der UV-Reflektion und Polarisation in Verbindung.

3. Gynandromorphie (Scheinzwittertum):

Die Ergebnisse dieser fotografierten Exemplare lassen darauf schließen, dass sowohl die UV-Reflektion (wie schon erwähnt, für Schmetterlinge nichts anderes als eine Farbe!), als auch die Polarisierung in diesen Fällen geschlechtsspezifische Merkmale sind.

Flügelunterseite:

Dass man auf der Flügelunterseite verschiedenster Schmetterlingsarten auch UV – und Polarisationsmuster findet, ist nicht verwunderlich. Hierzu muss man sich die natürliche Flügelhaltung eines lebenden Tagfalters ansehen. Ein Tagfalter ist meist mit geschlossenen Flügeln anzutreffen. Wenn man davon ausgeht, dass das Polarisieren der Flügel eine (Signal-) Funktion hat, dann macht es durchaus Sinn, dass man Polarisation auch auf den Flügelunterseiten finden kann.

Abgesehen davon, könnte dies auch eine Rolle bei der Regelung der Körpertemperatur oder der Tarnung spielen.

Vergleich nah verwandter Arten:

Es liesse sich vermuten, dass sich nah verwandte Arten im Bezug auf UV-Reflexion und vor allem Polarisation relativ ähnlich sind, aber die Ergebnisse belehren uns eines besseren. Die Vielfalt der Flügelmuster ist auch innerhalb ein- und derselben Gattung beachtlich. Deswegen könnte es durchaus in die Irre führen, sich auf diese Merkmale bei systematischen Überlegungen zu verlassen. Es ist also eher davon abzuraten die Ergebnisse für systematische Zwecke zu verwenden.

4. Untersuchung zum Thema Wärmeschutz:

Zu Anfang müssen einige Grundlagen zur Regulation der Körpertemperatur bei Schmetterlingen erwähnt werden. Schmetterlinge zählen zu den Kaltblütern, als solche hängt die Körpertemperatur der Schmetterlinge von der Außentemperatur und deren Schwankungen, aber auch von der Luftfeuchtigkeit ab (Smart, 1995).

In freier Wildbahn trifft man Tagfalter des Öfteren mit ausgebreiteten Flügeln in der Sonne sitzend an. Dieses Sonnenbaden dient dazu sich aufzuwärmen, genauer gesagt die Muskulatur, um in weiterer Folge fliegen zu können. Aber welcher Zusammenhang besteht in diesem Falle zwischen den Flügeln und der Flugmuskulatur? Ganz einfach erklärt werden beim Sonnenbaden nicht nur die Flügeloberfläche und deren Adern, sondern auch die Hämolymphe in den Flügeladern erwärmt, die die Wärme zum Gewebe transportieren (Sbordoni et Forestiero, 1985). Um das Ganze auch effizient zu betreiben, gibt es ein paar "Tricks": Der Schmetterling breitet dazu die Flügel aus, um die von der Sonne angestrahlte Fläche zu erhöhen. Auch Flügelmuster, wie zum Beispiel schwarze Flecken, können die Wärmeaufnahme erhöhen (Smart, 1995).

Will der Schmetterling nun das Gegenteil erreichen, sich also nicht erwärmen, sondern abkühlen, muss er sich dementsprechend anders verhalten. Kühle, schattige Stellen aufsuchen, wäre ein erster Schritt. Auch ist es von Vorteil die Flügel zusammen zu klappen, um die von der Sonne angestrahlte Fläche möglichst gering zu halten (Smart, 1995).

Bei diesem Experiment geht es genau um dieses Abkühlen. Am Beginn dieses Versuches stand also die Idee, dass sich polarisierende Flächen nicht so stark bzw. schnell erwärmen wie nicht polarisierende und somit dem Wärmeschutz dienen können. Diese Annahme hat sich bei der untersuchten Morpho-Art (*Morpho menelaus terrestris*), deren Flügelflächen bei beiden Geschlechtern stark polarisieren, nicht bestätigt. Was natürlich nicht ausschließt, dass es irgendeine Art der Lepidopteren gibt, deren Polarisation auch eine Funktion als Wärmeschutz einnimmt, bzw. sich die Sache in freier Wildbahn anders verhält, da wahrscheinlich auch noch andere Komponenten, vor allem ökologische, dabei eine Rolle spielen.

5. Diskussion der wichtigsten Ergebnisse:

Zusammenfassend betrachtet kann man aus den Ergebnissen schließen, dass es sich bei Polarisierung und UV-Reflektion auf Schmetterlingsflügeln keineswegs um seltene Phänomene handelt. Denn diese sind in allen Tagfalterfamilien und sogar bei tagaktiven Nachfaltern (zum Beispiel *Chrysiridia rhipheus*) anzutreffen und das nicht nur auf den Flügeloberseiten, sondern zum Teil auch auf den Flügelunterseiten (zum Beispiel *Dione glycera*).

Diese beiden optischen Effekte sind definitiv nicht auf ein einzelnes Geschlecht beschränkt. Nicht nur Männchen, sondern auch Weibchen weisen durchaus UV- und Polarisationsmuster auf den Flügeln auf. Jedoch ist ein Sexualdimorphismus häufig unter den untersuchten Arten zu finden.

Die einzelnen Individuen innerhalb eines Geschlechts einer Art gleichen einander keinesfalls wie ein Ei dem anderen. Es sind immer geringe individuelle Unterschiede vorhanden. Aber wie bei *Colotis ione* deutlich zu sehen ist, sind durchaus auch größere Unterschiede zwischen den einzelnen Exemplaren möglich, auch die UV- und Polarisationsmuster betreffend.

Bereits erwähnte Möglichkeiten für Funktionen sind durchaus in Betracht zu ziehen. Es scheint sich bei den Polarisationsmustern jedoch nicht um einen Wärmeschutz, zumindest bei *Morpho menelaus terrestris*, zu handeln.

Da sich die UV- und Polarisationsmuster auf den Flügeln der Schmetterlinge mit dem Betrachtungs- bzw. Lichteinfallswinkel ändern können (zum Beispiel *Apatura ilia*), ist anzunehmen, dass für die Erzeugung derer die feinen Schuppenstrukturen verantwortlich sind.

Die Polarisationsmuster treten häufig gemeinsam mit den UV-Mustern an ein und derselben Flügelstelle auf (zum Beispiel *Cepheptychia cephus*). Es liegt deswegen die Idee nahe, dass die polarisierenden Muster ursprünglich eine Begleiterscheinung zu den UV reflektierenden Mustern darstellten. Dies ist jedoch nur eine Überlegung und kann mit den Ergebnissen dieser Arbeit weder bestätigt noch widerlegt werden. Es ist jedoch anzumerken, dass diese beiden optischen Effekte keineswegs immer deckungsgleich sind (zum Beispiel *Colotis danae annae*).

Zusammenfassung

Schmetterlinge sind für die außergewöhnliche Farbenpracht und Musterung ihrer Flügel bekannt. Das Erstaunliche ist, dass diese ein Ergebnis unzähliger dachziegelartig auf der Flügelmembran angeordneter Schuppen sind. Die Vielfalt ist bemerkenswert. Durch in den Schuppen eingelagerte Pigmente und/oder der Schuppenstruktur können die Flügel in allen Farben des Lichtspektrums erstrahlen. Die Farben einiger Schmetterlinge können sich sogar mit dem Winkel verändern, ihre Flügel dementsprechend schillern. Mithilfe von UV- und Polarisationsfiltern betrachtet, zeigen sich auch UV-Reflektion und Polarisation auf den Flügeln. Genau um diese beiden für das menschliche Auge nicht sichtbaren optischen Phänomene geht es in dieser Arbeit.

Zunächst wurde mittels Rasterelektronenmikroskop ein Blick auf die Schuppenstruktur schillernder Schmetterlinge geworfen. Anschließend wurden zahlreiche Schmetterlingsarten mit UV- und Polarisationsfilter fotografiert, die Fotos analysiert und die Ergebnisse interpretiert. Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedenste mögliche Funktionen der Flügelmuster im Besonderen der Polarisationsmuster diskutiert. Diese reichen von physischen Funktionen bei der Thermoregulation, Tarnung, Arterkennung bis hin zu intraspezifischer Kommunikation.

Bei dieser Fülle an Ergebnissen werden die Häufigkeit und die Vielfalt der UV- und Polarisationsmuster auf den Schmetterlingsflügeln aufgezeigt, Vielfalt im Sinne von Sexualdimorphismus, individuellen Unterschieden, etc.

Summary

Butterflies are known for the stunning colours and patterns of their wings which are the result of a high number of scales arranged like roof tiles on the wing membrane. Their variety is amazing. Pigments stored in the scales and/or the structure of the scales are the reason why butterfly wings can appear in all colours of the light spectrum. It is also possible that the wings are iridescent. That means that the colour changes with the angle of incidence of light or the viewing angle. Using optical filters and photography, ultraviolet reflection and polarization have been detected on the butterfly wings. These phenomena are the topic of this study.

In the beginning scales of some iridescent butterfly wings have been examined by using a scanning electron microscope (SEM).

Subsequently a considerable number of butterfly species are photographed with the aid of optical filters. The photos are analysed and the results interpreted. Afterwards various theories about possible functions of these special wing patterns in the life butterflies are discussed, e.g. thermoregulation, crypsis and intraspecific communication like cognition of conspecifics and mate choice.

All the results of this investigation demonstrate the abundance and high variety of ultraviolet reflection and polarization on butterfly wings, variety in the sense of sexual dimorphism, individual differences and many more.

Literaturverzeichnis

Briscoe, A. et Chittka, L. (2001) The evolution of colour vision in insects. *Ann. Rev. Entomology* 46: 471-510.

Brunton, C. et Majerus, M. (1995) Ultraviolet colours in butterflies: intra- or inter-specific communication? *Proc. R. Soc. Lond. B* 260: 199-204.

Cronin, T.W. et al. (2003) Polarization vision and its role in biological signalling. *Integr. Comp. Biol.* 43: 549-558.

Ding, Y. et al. (2009) Structural colours from *Morpho peleides* butterfly wing scales. *Journal of Applied Physics* 106: 074702.

Doucet, S.M. et Meadows, M.G. (2009) Iridescence: a functional perspective. *Journal of the Royal Society Interface* 6: 115-132.

Douglas, J. et al. (2007) Light habitats and the role of polarized iridescence in the sensory ecology of neotropical nymphalid butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae). *The Journal of Experimental Biology* 210: 788-799.

Fox, D.L. (1976) Animal biochromes and structural colours – Physical, chemical, distributional physiological features of coloured bodies in the animal world. University of California Press: Berkeley, Los Angeles, California.

Ghiradella, H. et Radigan, W. (1976) Development of butterfly scales II: Struts, lattices and surface tension. *Journal of Morphology* 150: 279–298.

Ghiradella, H. (1989) Structure and development of iridescent butterfly scales: Lattices and laminae. *Journal of Morphology* 202: 69-88.

Ghiradella, H. (1991) Light and color on the wing: Structural colors in butterflies and moths. *Applied Optics* 30: 3492-3500.

Ghiradella, H. (1998) Hairs, bristles and scales. *Microscopic anatomy of invertebrates*: 257–287.

Gonzato, J.-C. et Pont, B (2004) A phenomenological representation of iridescent colors in butterfly wings. *WSCG SHORT Communication papers proceedings 2004*.

Green, A.S. et al. (2010) Polarization imaging and insect vision. *The Physics Teacher* 48: 17-20.

Grüb, H. (1973) Farbequellen der Natur. *Bild der Wissenschaft* 6: 665-671.

Ingram, A.L. et Parker, A.R. (2008) A review of the diversity and evolution of photonic structures in butterflies, incorporating the work of John Huxley (The Natural History Museum,

London from 1961 to 1990). Philosophical Transactions of the Royal Society B 363: 2465-2480.

Kemp, D. J. et al. (2006) Stress-mediated covariance between nano-structural architecture and ultraviolet butterfly coloration. Functional Ecology 20: 282-289.

Kemp, D.J. (2006) Heightened phenotypic variation and age-based fading of ultraviolet butterfly wing coloration. Evolutionary Ecology Research 8: 515-527.

Kemp, D.J. (2007) Female butterflies prefer males bearing bright iridescent ornamentation. Proceedings of the Royal Society B 274: 1043-1047.

Kennaugh, J.H. (1963) Structural colours in insects. The Entomologist Dec.1963: 284-291.

Knüttel, H. et Fiedler, K. (2001) Host-plant-derived variation in ultraviolet wing patterns influences mate selection by male butterflies. The Journal of Experimental Biology 204: 2447-2459.

Kolle, M. et al. (2010) Mimicking the colourful wing scale structure of the *Papilio blumei* butterfly. Nature Nanotechnology 5: 511-515.

Larink, O. (1984) Schuppen – nicht nur bei Schmetterlingen. 4. Die Bildung von Schuppen. Mikrokosmos 73/7: 205-208).

Lippert, W. et Gentil, K. (1951) Elektronenmikroskopische Studien über mizellare Strukturen bei Schmetterlingsschuppen vom Morpho-typ. Z. wiss. Mikr. 61: 95–100.

Lippert, W. et Gentil, K. (1959) Über lamellare Feinstrukturen bei den Schillerschuppen der Schmetterlinge vom Urania und Morpho-typ. Z. Morphol. Okol. Tiere 48: 115–122.

Lyytinen, A. et al. (2004) Ultraviolet reflection and predation risk in diurnal and nocturnal Lepidoptera. Behavioral Ecology Vol. 15 No. 6: 982-987.

Michielsen, K. et Stavenga, D. G. (2008) Gyroid cuticular structures in butterfly wing scales: biological photonic crystals. J. R. Soc. Interface 5: 85-94.

Nijhout, F. (1991) The development and evolution of butterfly wing patterns. Smithsonian Institution Press: Washington, London.

Obara, Y. et Majerus, M.E.N. (2000) Initial mate recognition in the British Cabbage Butterfly, *Pieris rapae rapae*. Zoological Science 17: 725-730.

Pantelić, D. et al. (2011) High angular and spectral selectivity of purple emperor (Lepidoptera: *Apatura iris* and *A. Ilia*) butterfly wings. Optics Express Vol. 19 No. 7: 5817-5826.

Prum, R. O. et al. (2006) Anatomically diverse butterfly scales all produce structural colours by coherent scattering. The Journal of Experimental Biology 209: 748-765.

Rutowski, R.L. et al. (2006) Iridescent ultraviolet signal in the orange sulphur butterfly (*Colias eurytheme*): spatial, temporal and spectral properties. *Biological Journal of the Linnean Society* 90: 349-364.

Sarfati, J. (2009) Butterfly brilliance. *Journal of Creation* 23 (1): 15-16.

Sbordoni, V. et Forestiero, S. (1985) *Weltenzyklopädie der Schmetterlinge – Arten, Verhalten, Lebensräume*. Südwest Verlag GmbH & Co. KG: München.

Schmidt, K. et Paulus, H.F. (1970) Die Feinstruktur der Flügelschuppen einiger *Lycaenidae* (Lep.). *Z. Morph. Tiere* 66: 224-241.

Scoble, M. (1992) *The Lepidoptera: Form, function and diversity*. Oxford University Press: Oxford, New York, Toronto.

Silberglied, R.E. et Taylor, O.R., Jr. (1978) Ultraviolet reflection and its behavioral role in the courtship of the Sulfur butterflies *Colias eurytheme* and *C. philodice* (Lepidoptera: Pieridae). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 3: 203-243.

Smart, P. (1995) Sonderausgabe: *Enzyklopädie der Schmetterlinge*. Gondrom Verlag GmbH & Co. KG: Bindlach.

Stavenga, D.G. et al. (2004) Butterfly wing colours: scale beads make white pierid wings brighter. *Proceedings of the Royal Society London B* 271: 1577-1584.

Sweeney, A. et al. (2003) Polarized light as a butterfly mating signal. *Nature* 423: 31.

Süffert, F. (1924) Morphologie und Optik der Schmetterlingsschuppen, insbesondere die Schillerschuppen der Schmetterlinge. *Z. f. Morphol. u. Ökol. d. Tiere Bd. 1*: 171-308.

Vane-Wright, D. (2003) *Butterflies*. The Natural History Museum: London.

Vukusic, P. et al. (1999) Quantified interference and diffraction in single *Morpho* butterfly scales. *Proc. R. Soc. B* 266: 1403–1411.

Vukusic P. et Sambles J.R. (2000) Colour Effects in Bright Butterflies. *J. Soc. Dyers Colourist* 9: 252-258.

Vukusic, P. et Stavenga, D. G. (2009) Physical methods for investigating structural colours in biological systems. *J. R. Soc. Interface* 6: 133-148.

Wickham, S. et al. (2006) Exaggeration and suppression of iridescence: the evolution of two-dimensional butterfly structural colours. *J. R. Soc. Interface* 3: 99-109.

Yoshioka, S. et Kinoshita, S. (2004) Wavelength-selective and anisotropic light-diffusing scale on the wing of the *Morpho* butterfly. *Proc. R. Soc. B* 271: 581–587.

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: im Rahmen der Untersuchung von mir (Sandra Schneider) aufgenommene und mit Software veränderte Fotos.

Abb.2: verändert nach <http://www.br-online.de/bildung/databrd/lic1.htm/lich1g09.jpg> (06.07.12)

Abb.3: verändert nach Ghiradella, H. (1991) Light and color on the wing: Structural colors in butterflies and moths. Applied Optics 30: 3492-3500.

Abb.4: Nijhout, F. (1991) The development and evolution of butterfly wing patterns. Smithsonian Institution Press: Washington, London.

Abb.5: <http://www.butterflycorner.net/Warum-sind-Schmetterlinge-bunt.297.0.html> (27.07.12)

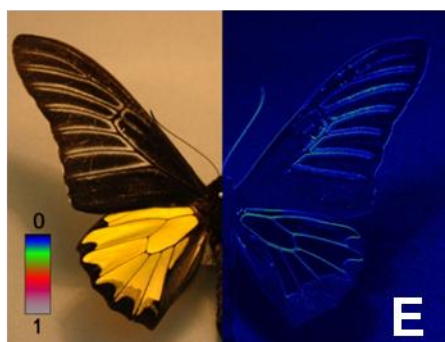
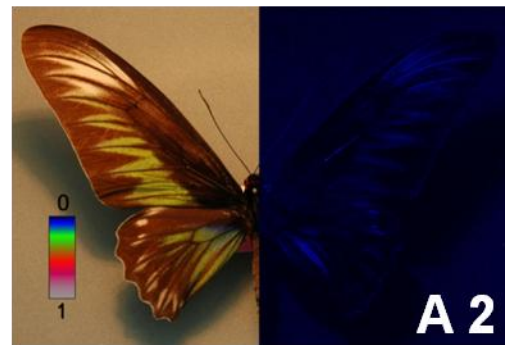
Abb.6: verändert nach <http://home.pages.at/grafikdesign/licht/licht/licht1-Dateien/Interf1.gif> (27.07.12)

Abb.7 (links): verändert nach <http://www.butterflycorner.net/index.php?id=254> (08.02.10)

Abb.8 (rechts) bis Abb.34: im Rahmen der Untersuchung von mir (Sandra Schneider) aufgenommene und mit Software veränderte Fotos.

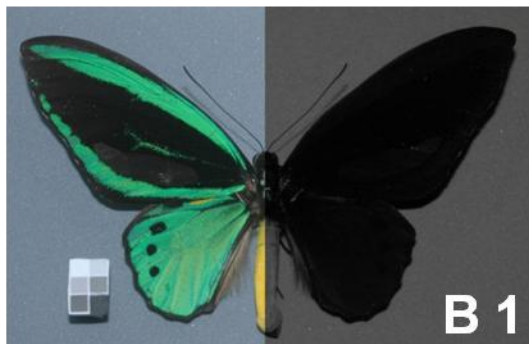
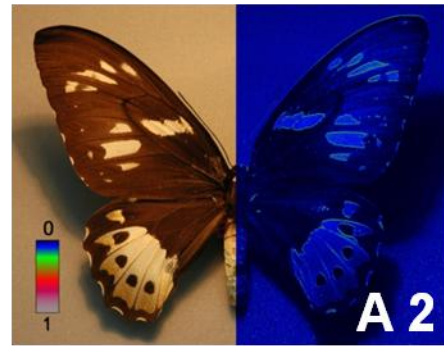
Bildtafeln im Anhang: im Rahmen der Untersuchung von mir (Sandra Schneider) aufgenommene und mit Software veränderte Fotos.

PAPILIONIDAE 1



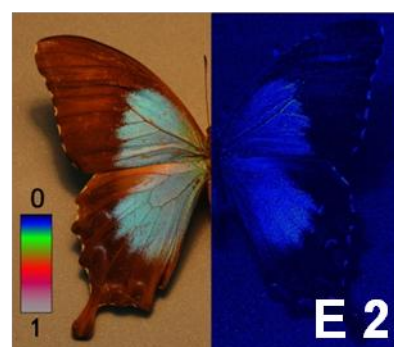
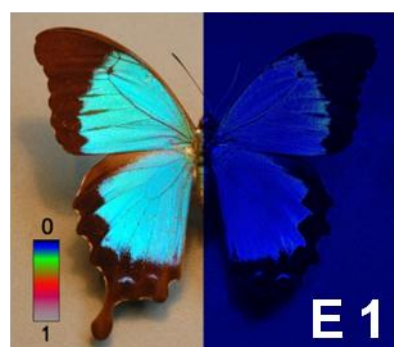
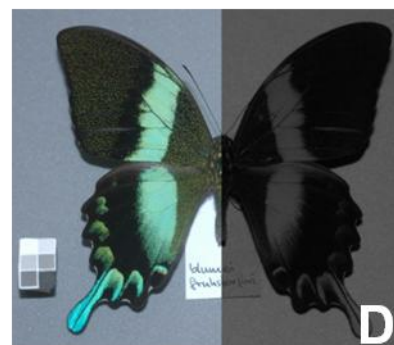
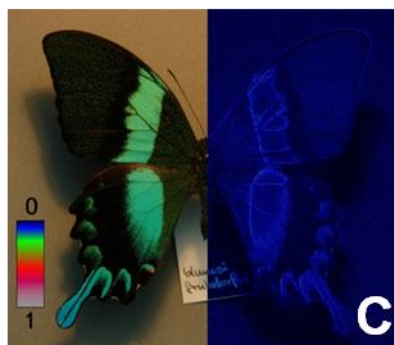
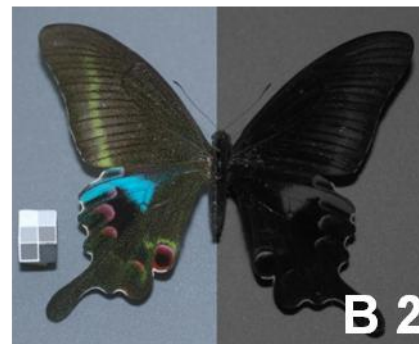
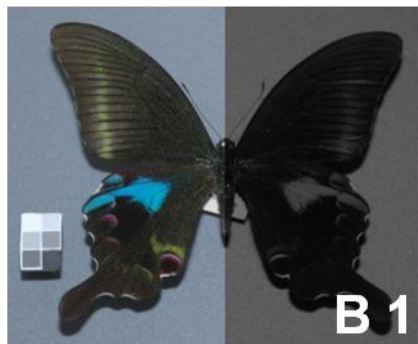
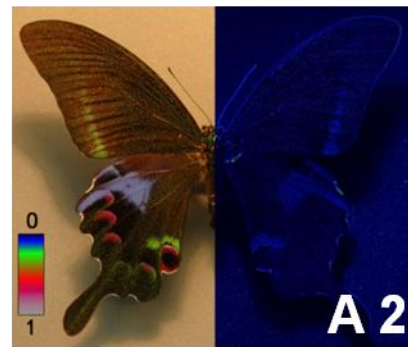
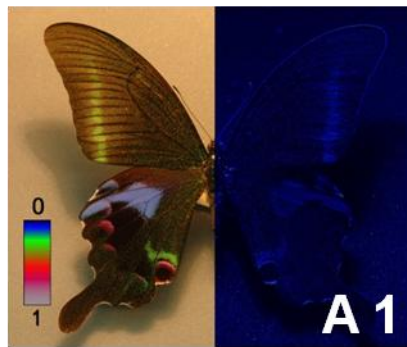
- A** Polarisationsansicht der Art *Troides brookiana*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Troides brookiana*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Troides magellanus*.
D UV-Ansicht eines Männchens der Art *Troides magellanus*.
E Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Troides prattorum*.
F UV-Ansicht eines Männchens der Art *Troides prattorum*.

PAPILIONIDAE 2



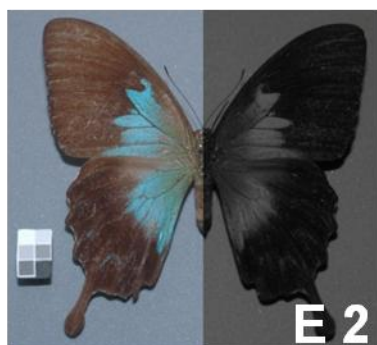
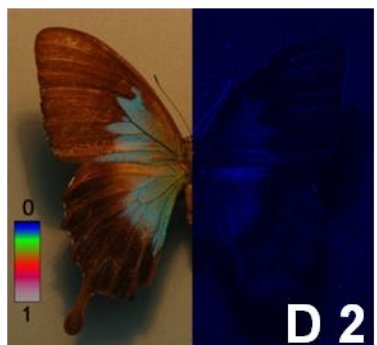
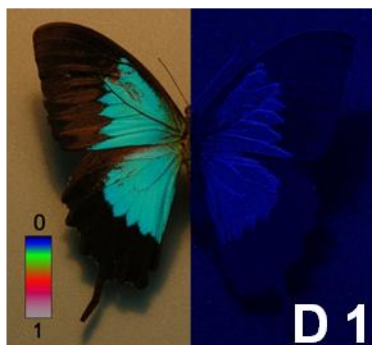
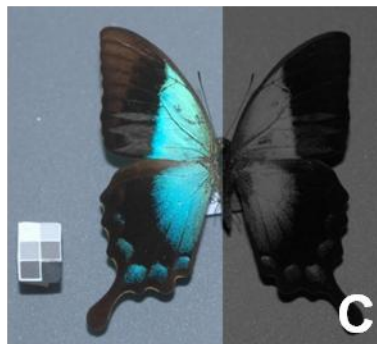
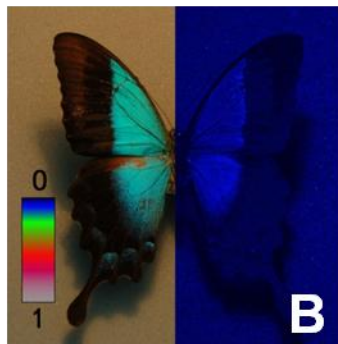
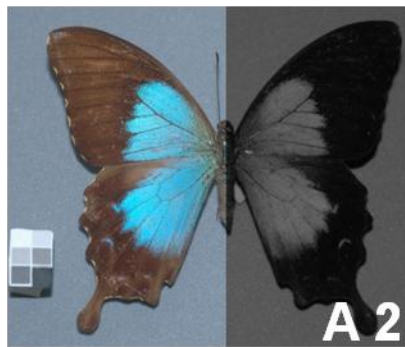
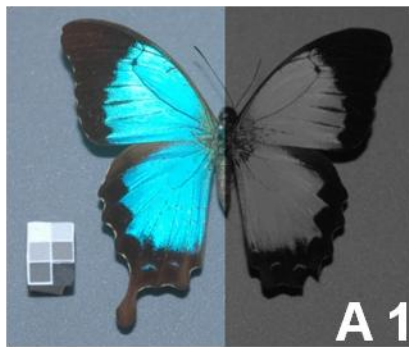
A Polarisationsansicht der Art *Troides priamus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Troides priamus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Troides victoriae*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Troides victoriae*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

PAPILIONIDAE 3



- A** Polarisationsansicht der Art *Papilio arcturus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Papilio arcturus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Papilio blumei fruhstorferi*.
D UV-Ansicht eines Männchens der Art *Papilio blumei fruhstorferi*.
E Polarisationsansicht der Art *Papilio montrozieri*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

PAPILIONIDAE 4



A UV-Ansicht der Art *Papilio montrozieri*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

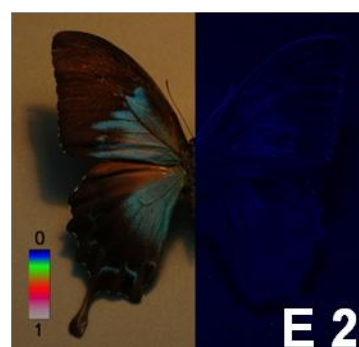
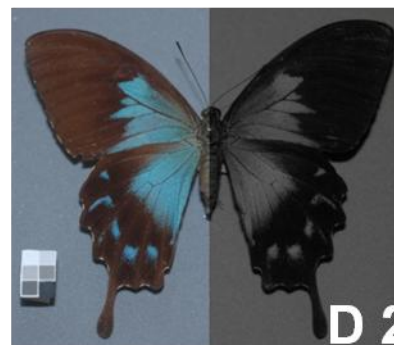
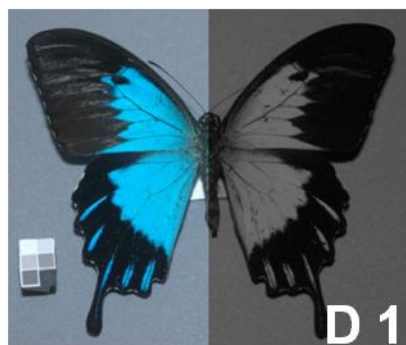
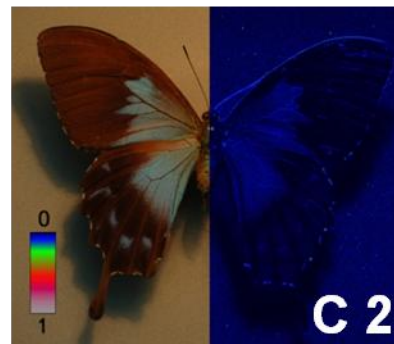
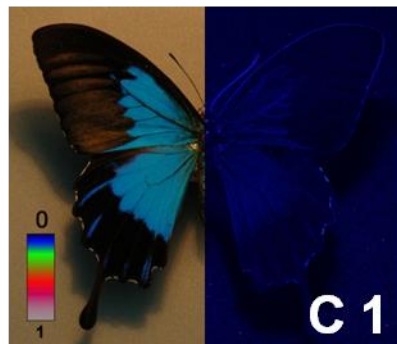
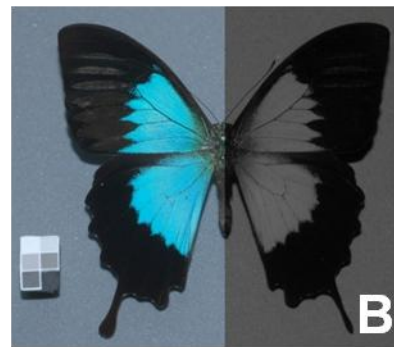
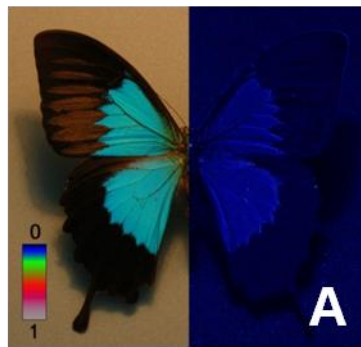
B Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Papilio pericles*.

C UV-Ansicht eines Männchens der Art *Papilio pericles*.

D Polarisationsansicht der Art *Papilio ulysses ambiguus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

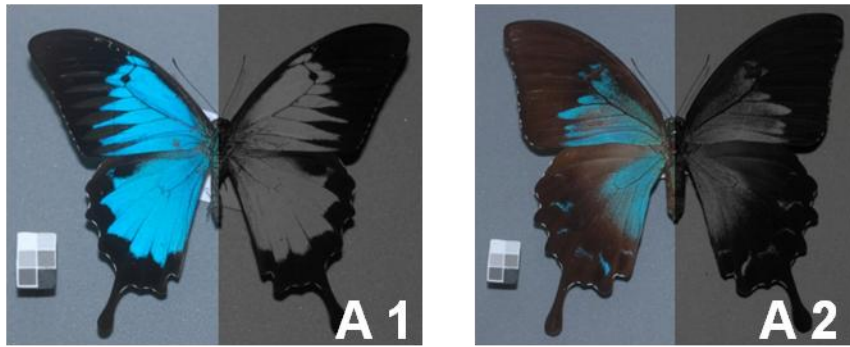
E UV-Ansicht der Art *Papilio ulysses ambiguus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

PAPILIONIDAE 5



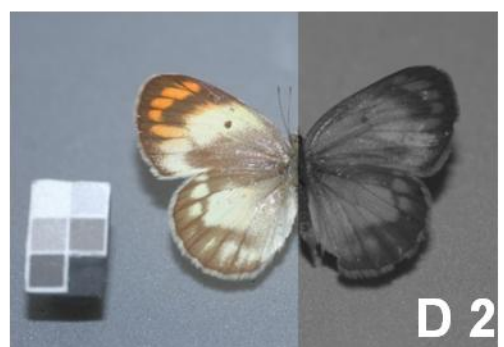
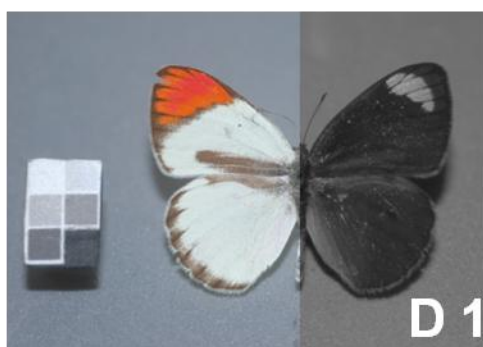
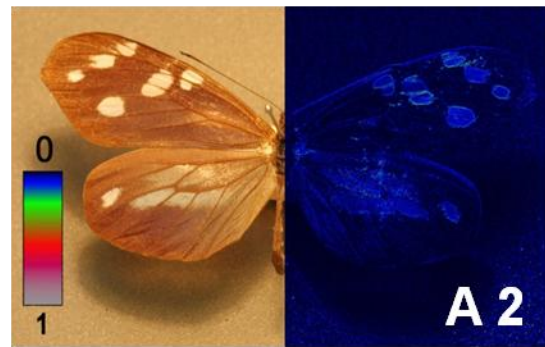
- A** Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Papilio ulysses joesa*.
B UV-Ansicht eines Männchens der Art *Papilio ulysses joesa*.
C Polarisationsansicht der Art *Papilio ulysses telegonus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Papilio ulysses telegonus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
E Polarisationsansicht der Art *Papilio ulysses ulysses*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

PAPILIONIDAE 6



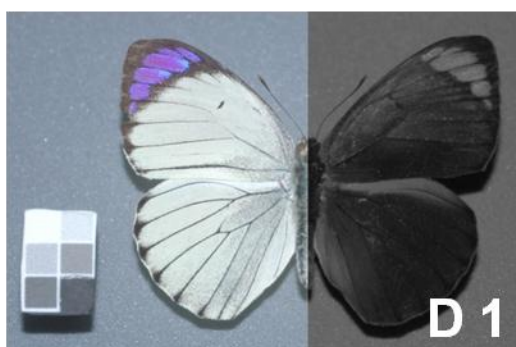
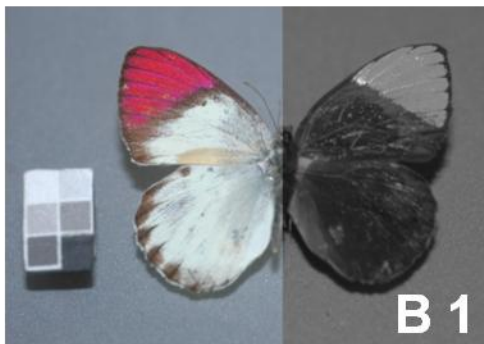
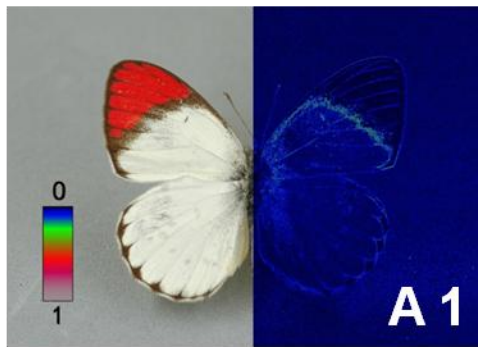
A UV-Ansicht der Art *Papilio ulysses ulysses*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

PIERIDAE 1



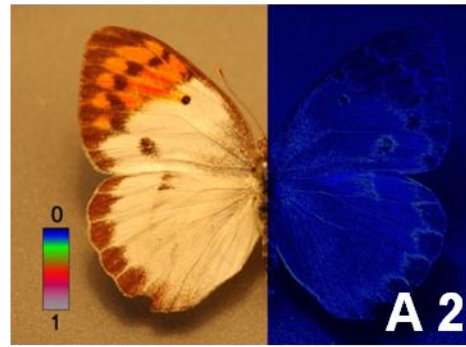
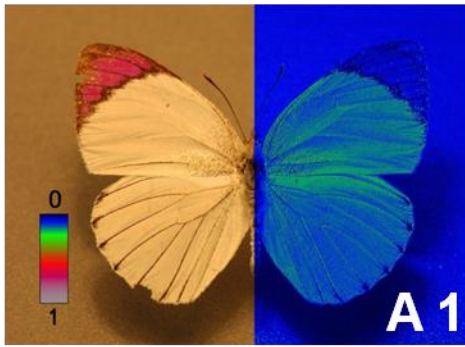
A Polarisationsansicht der Art *Dismorphia teresa*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Dismorphia teresa*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Colotis antevippe*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Colotis antevippe*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

PIERIDAE 2



A Polarisationsansicht der Art *Colotis danae annae*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Colotis danae annae*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Colotis ione*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Colotis ione*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

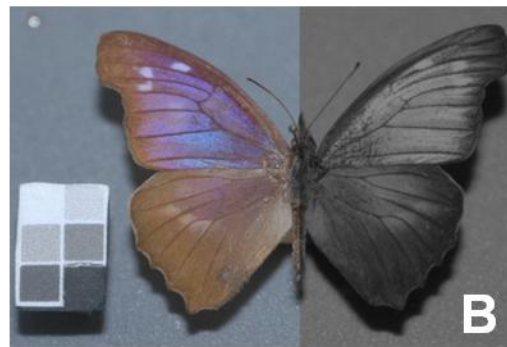
PIERIDAE 3



A Polarisationsansicht der Art *Colotis ione f. jalone*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

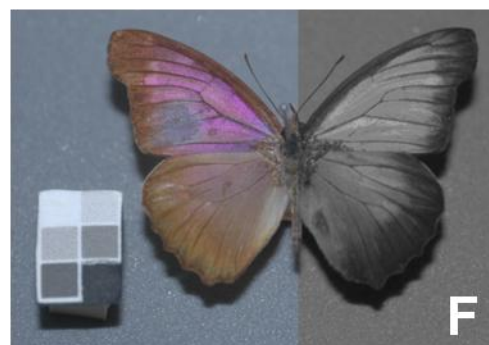
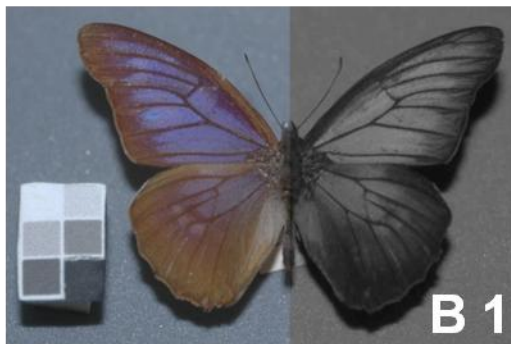
B UV-Ansicht der Art *Colotis ione f. jalone*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 1



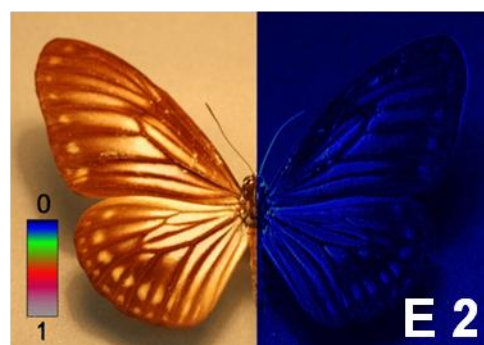
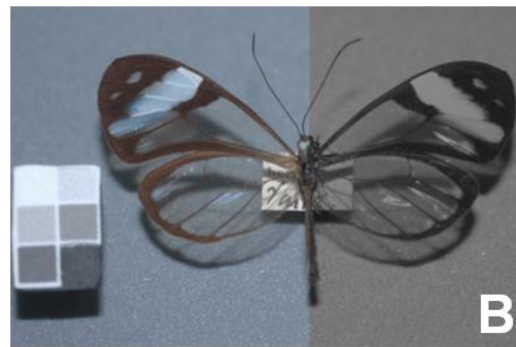
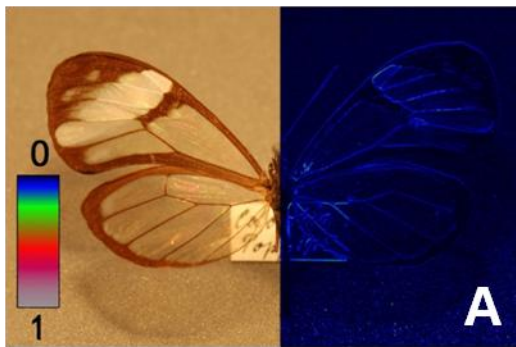
- A** Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Libythea geoffroy alompra*.
B UV-Ansicht eines Männchens der Art *Libythea geoffroy alompra*.
C Polarisationsansicht der Art *Libythea geoffroy antipoda*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Libythea geoffroy antipoda*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
E Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Libythea geoffroy batchiana*.
F UV-Ansicht eines Männchens der Art *Libythea geoffroy batchiana*.

NYMPHALIDAE 2



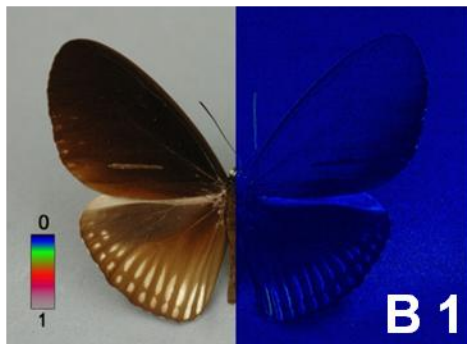
- A** Polarisationsansicht der Art *Libythea geoffroy celebensis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Libythea geoffroy celebensis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Libythea geoffroy eugenia*.
D UV-Ansicht eines Männchens der Art *Libythea geoffroy eugenia*.
E Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Libythea geoffroy philippina*.
F UV-Ansicht eines Männchens der Art *Libythea geoffroy philippina*.

NYMPHALIDAE 3



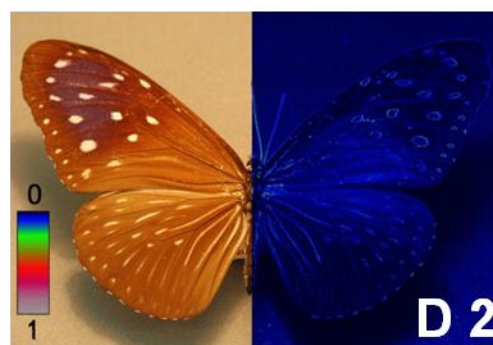
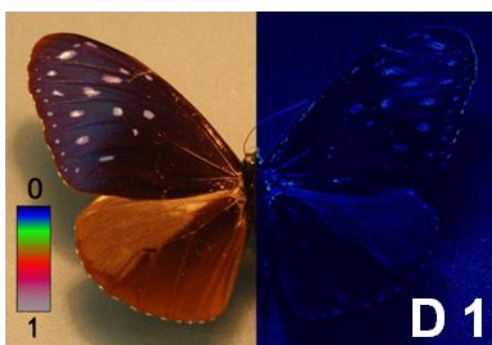
- A** Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Greta andromica*.
B UV-Ansicht eines Männchens der Art *Greta andromica*.
C Polarisationsansicht der Art *Euploea algea deione*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Euploea algea deione*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
E Polarisationsansicht der Art *Euploea configurata*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 4



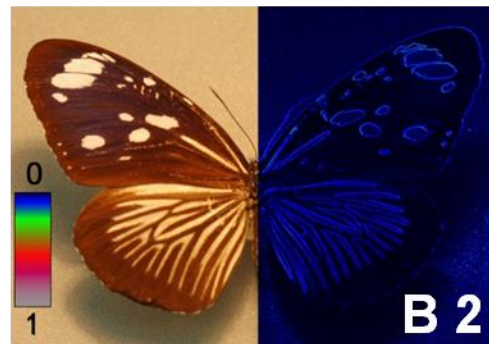
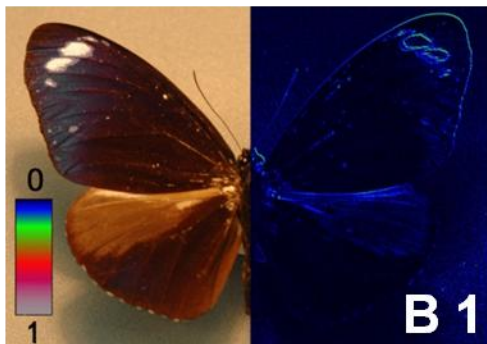
A UV-Ansicht der Art *Euploea configurata*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Euploea doubledayi*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Euploea doubledayi*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht der Art *Euploea gamelia*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 5



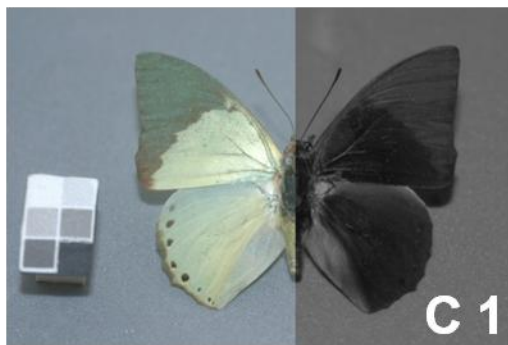
A UV-Ansicht der Art *Euploea gamelia*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Euploea mulciber barsine*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Euploea mulciber barsine*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht der Art *Euploea mulciber portia*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 6



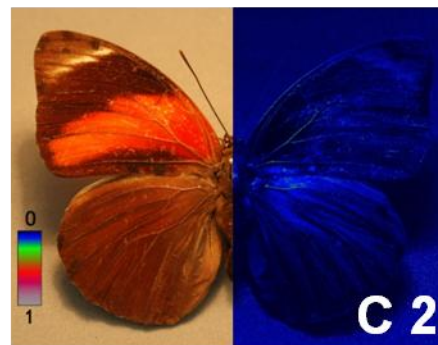
A UV-Ansicht der Art *Euploea mulciber portia*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Euploea radamanthus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Euploea radamanthus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht der Art *Charaxes andranodorus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 7



- A** UV-Ansicht der Art *Charaxes andranodorus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Charaxes eupale*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Charaxes eupale*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Prepona aertes octavia*.
E UV-Ansicht eines Männchens der Art *Prepona aertes octavia*.

NYMPHALIDAE 8



A Polarisationsansicht der Art *Prepona deiphile*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B UV-Ansicht der Art *Prepona deiphile*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

C Polarisationsansicht der Art *Agrias claudina lugens*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

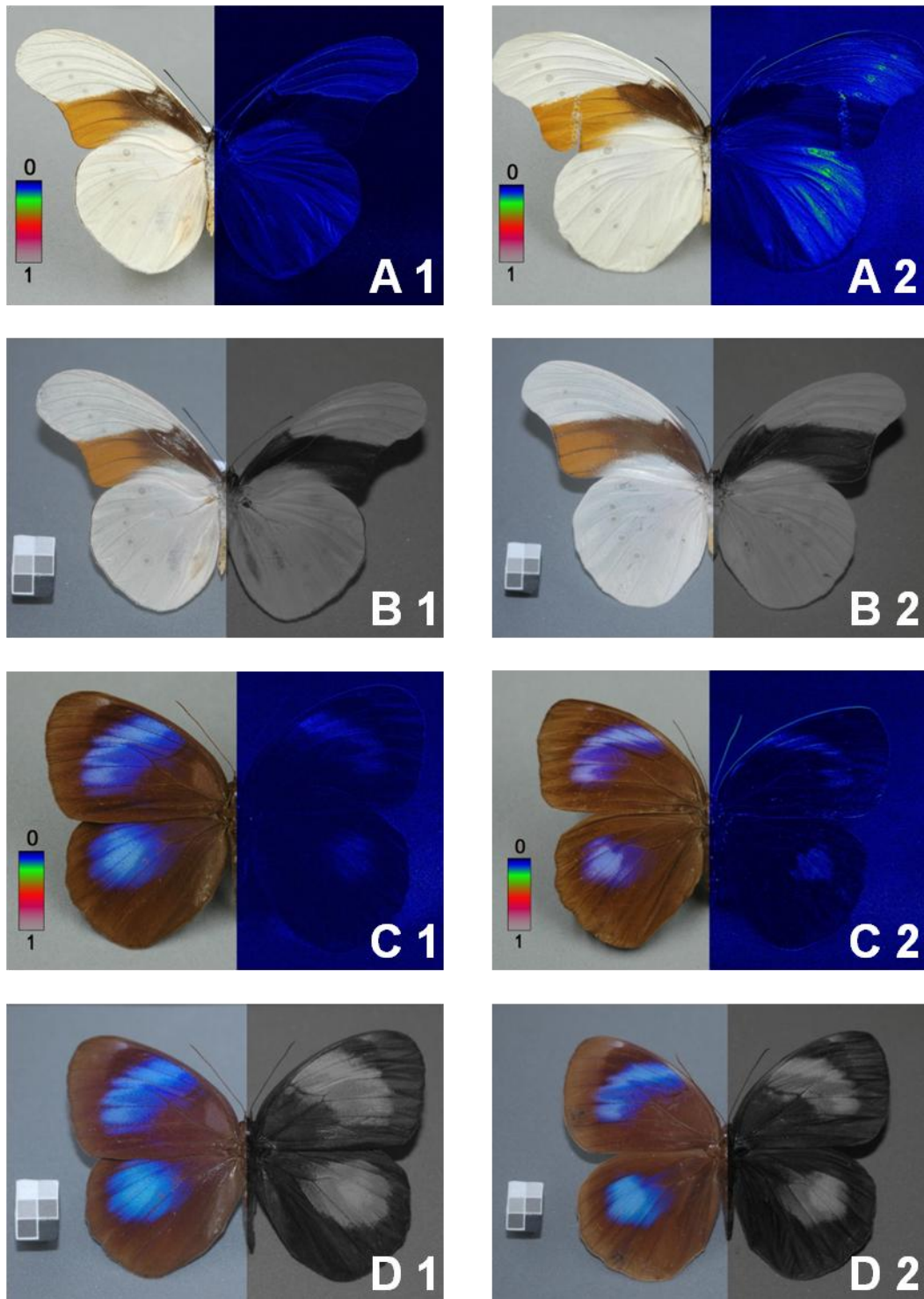
D UV-Ansicht der Art *Agrias claudina lugens*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 9



- A** Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Agrias claudina sardanapalus*.
B UV-Ansicht eines Männchens der Art *Agrias claudina sardanapalus*.
C Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Morphopsis albertisi*.
D UV-Ansicht eines Männchens der Art *Morphopsis albertisi*.
E Polarisationsansicht der Art *Taenaris catops*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
F UV-Ansicht der Art *Taenaris catops*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 10



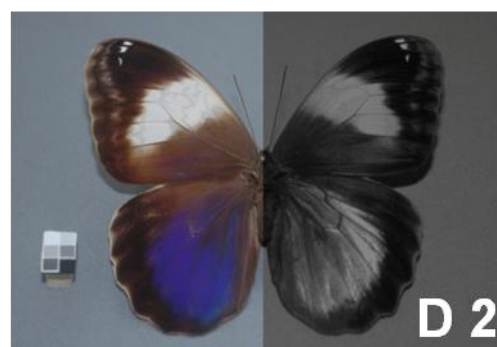
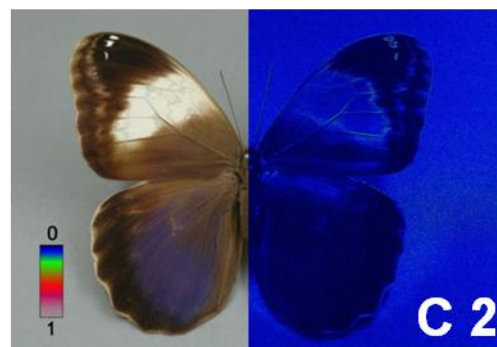
A Polarisationsansicht der Art *Taenaris schönbergi*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B UV-Ansicht der Art *Taenaris schönbergi*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

C Polarisationsansicht der Art *Thaumantis diores diores*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

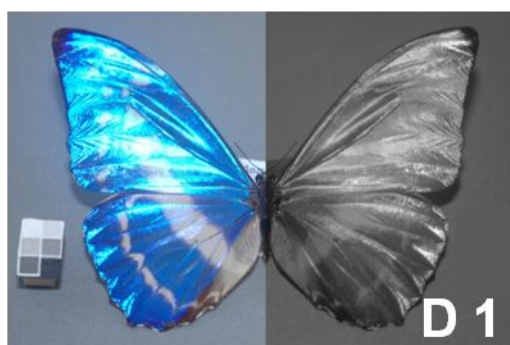
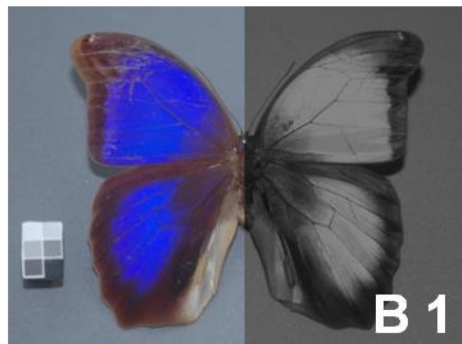
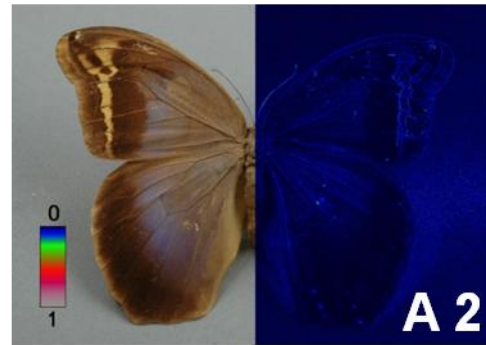
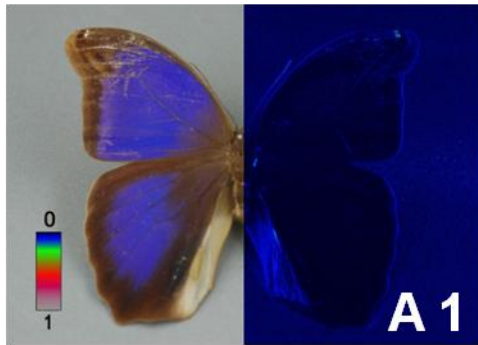
D UV-Ansicht der Art *Thaumantis diores diores*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 11



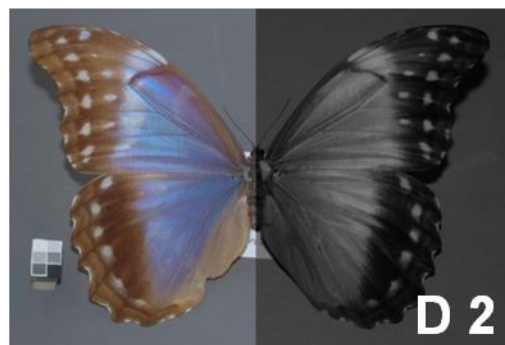
A Polarisationsansicht der Art *Dasyophtalma rusina rusina*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Dasyophtalma rusina rusina*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Caligo martia*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Caligo martia*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 12



A Polarisationsansicht der Art *Eryphanis automedon amphimedon*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Eryphanis automedon amphimedon*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Morpho cypris cypris*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Morpho cypris cypris*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 13



- A** Polarisationsansicht eines Weibchens der Art *Morpho cypris f. cyanites*.
B UV-Ansicht eines Weibchens der Art *Morpho cypris f. cyanites*.
C Polarisationsansicht der Art *Morpho didius*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Morpho didius*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
E Polarisationsansicht der Art *Morpho helenor achillaena*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 14



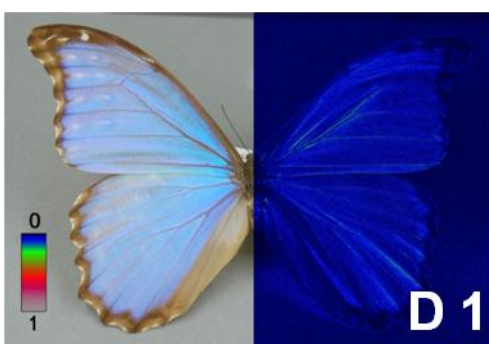
A UV-Ansicht der Art *Morpho helenor achillaena*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B Polarisationsansicht der Art *Morpho helenor anakreon*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

C UV-Ansicht der Art *Morpho helenor anakreon*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

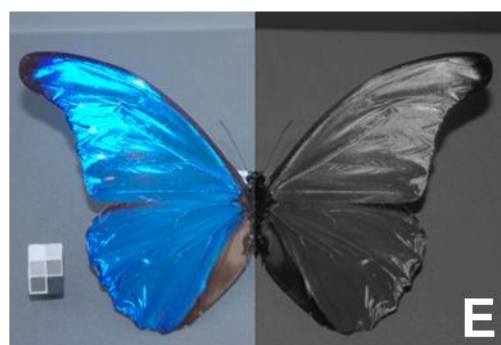
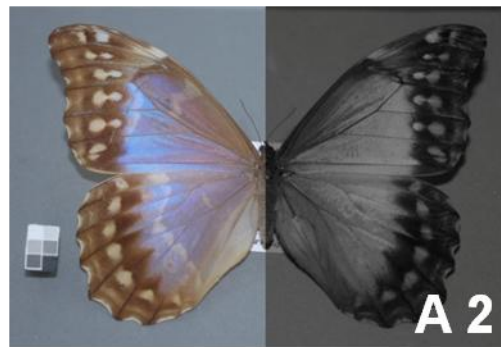
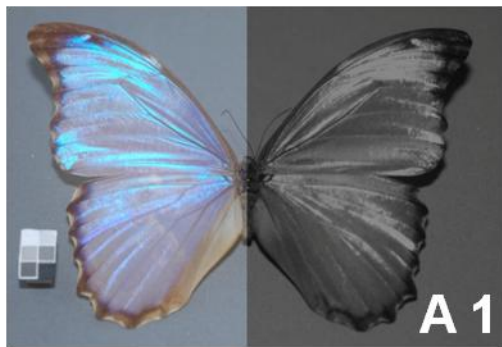
D Polarisationsansicht der Art *Morpho helenor violaceus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 15



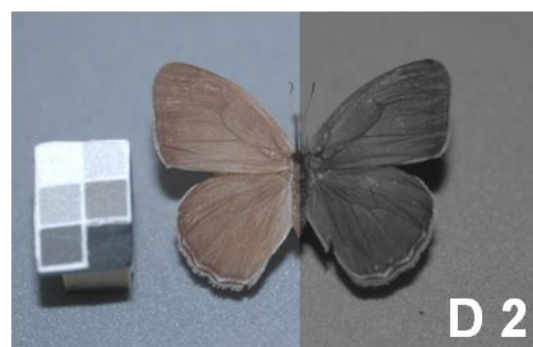
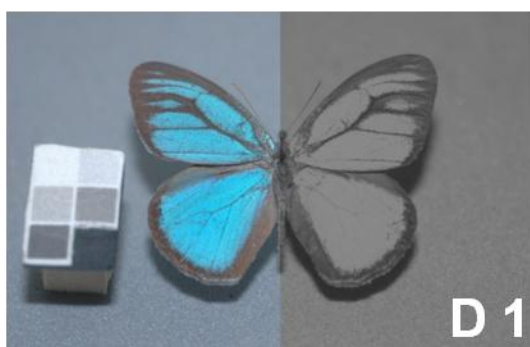
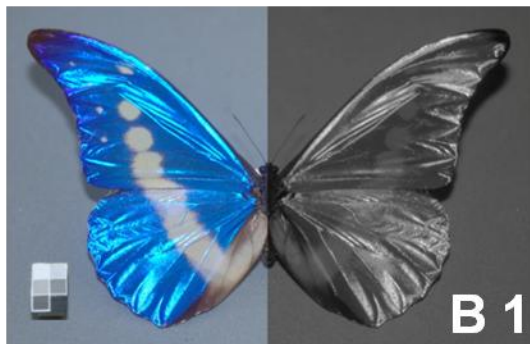
A UV-Ansicht der Art *Morpho helenor violaceus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Morpho lympharis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Morpho lympharis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht der Art *Morpho menelaus godartii*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 16



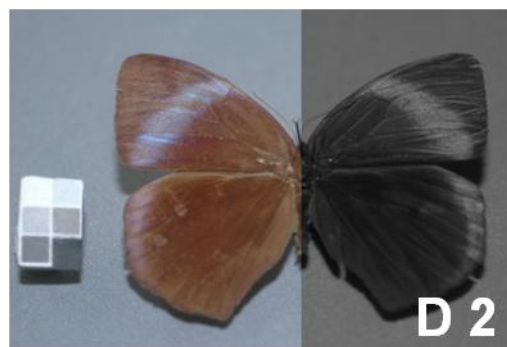
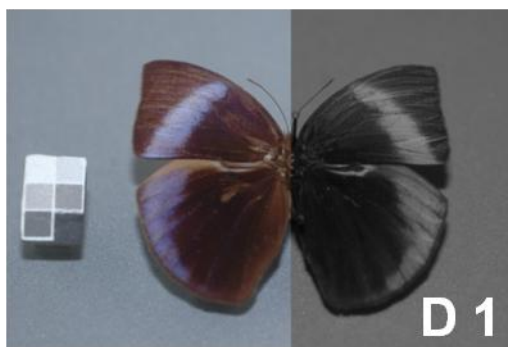
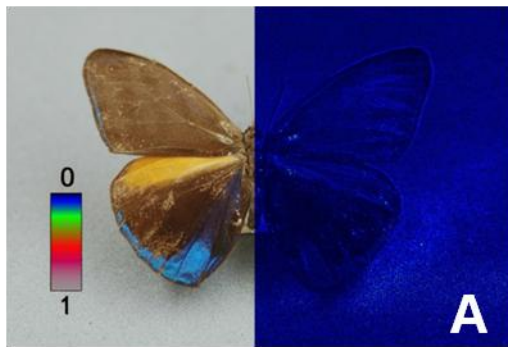
- A** UV-Ansicht der Art *Morpho menelaus godartii*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Morpho menelaus terrestris*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Morpho menelaus terrestris*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Morpho rhetenor cacica*.
E UV-Ansicht eines Männchens der Art *Morpho rhetenor cacica*.

NYMPHALIDAE 17



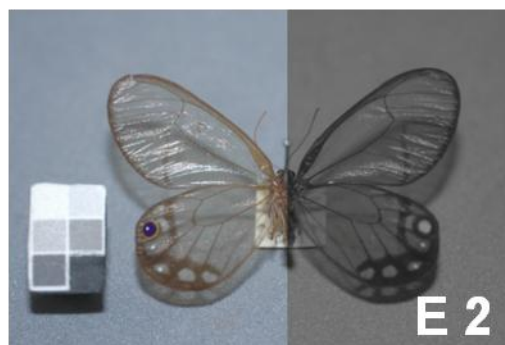
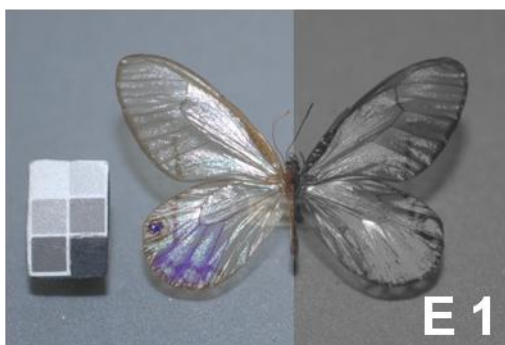
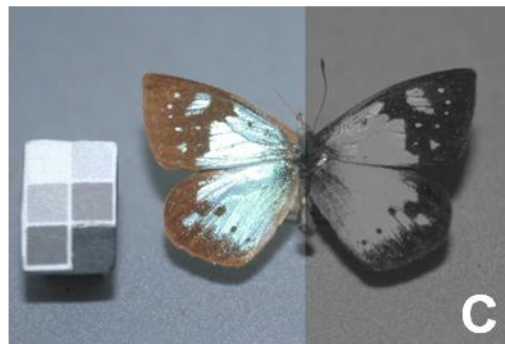
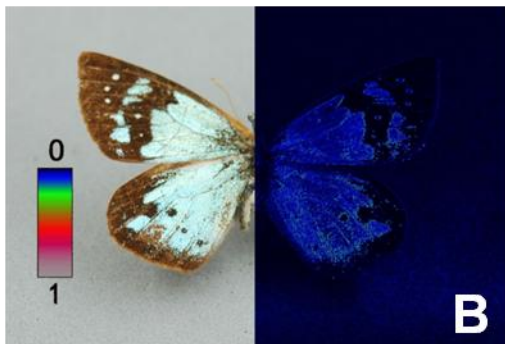
A Polarisationsansicht der Art *Morpho rhetenor helena*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Morpho rhetenor helena*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Cepheptychia cephus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Cepheptychia cephus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 18



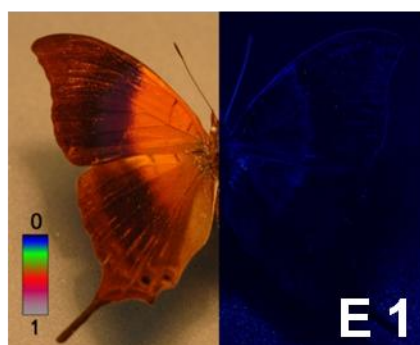
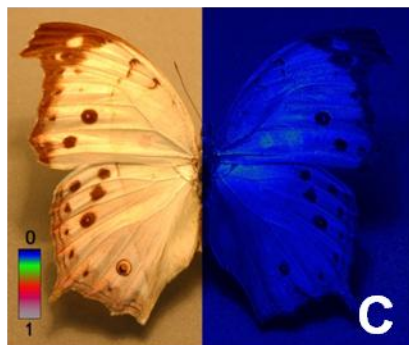
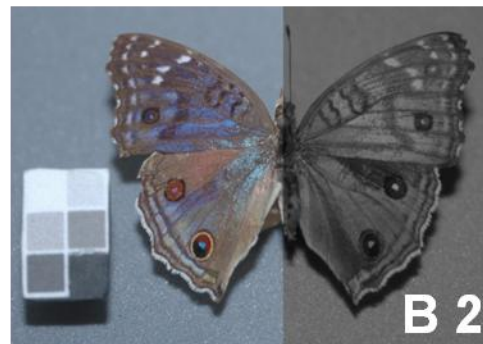
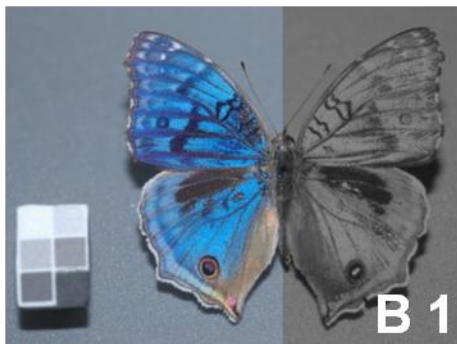
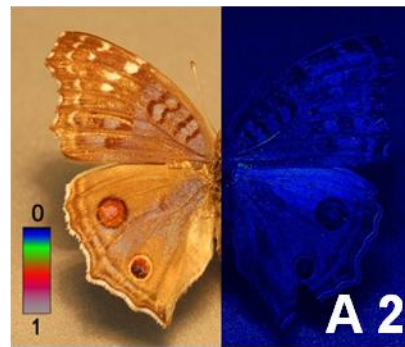
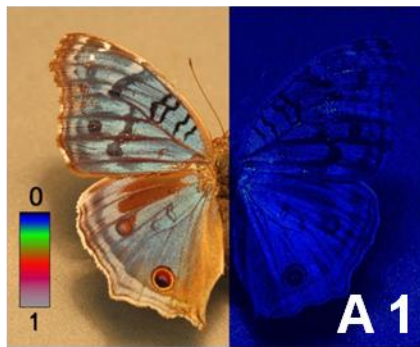
- A** Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Magneptychia tricolor*.
B UV-Ansicht eines Männchens der Art *Magneptychia tricolor*.
C Polarisationsansicht der Art *Bicyclus hewitsonii*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Bicyclus hewitsonii*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
E Polarisationsansicht der Art *Bicyclus italus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 19



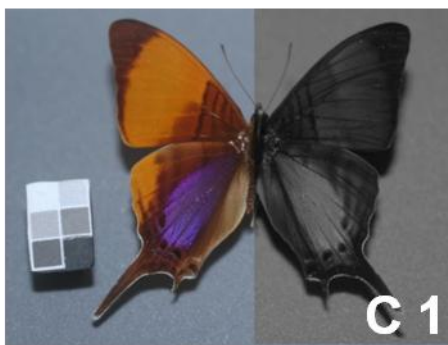
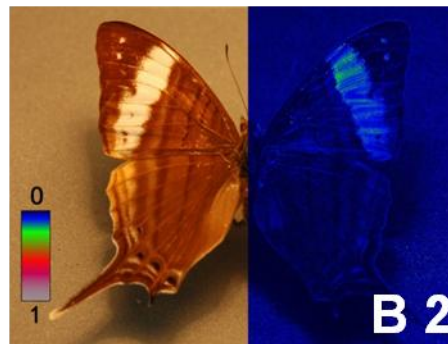
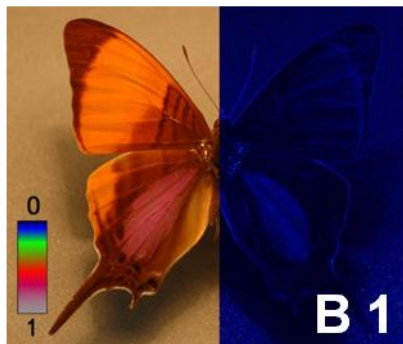
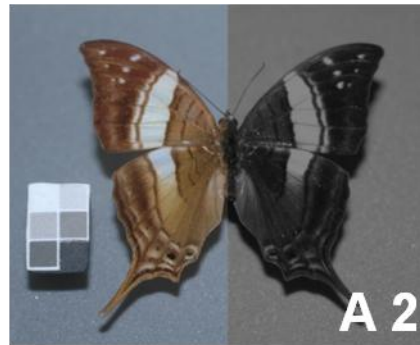
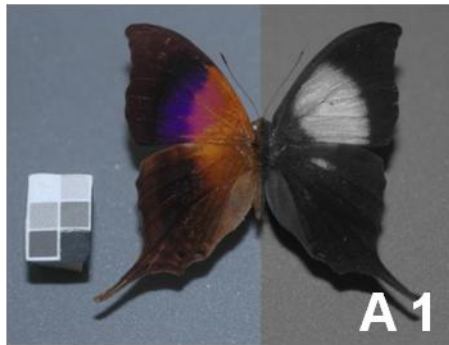
A UV-Ansicht der Art *Bicyclus italus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Lymanopoda samius*.
C UV-Ansicht eines Männchens der Art *Lymanopoda samius*.
D Polarisationsansicht der Art *Cithaerias andromeda*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
E UV-Ansicht der Art *Cithaerias andromeda*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 20



- A** Polarisationsansicht der Art *Junonia rhadama*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Junonia rhadama*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Salamis parhassus*.
D UV-Ansicht eines Männchens der Art *Salamis parhassus*.
E Polarisationsansicht der Art *Marpesia furcula*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 21



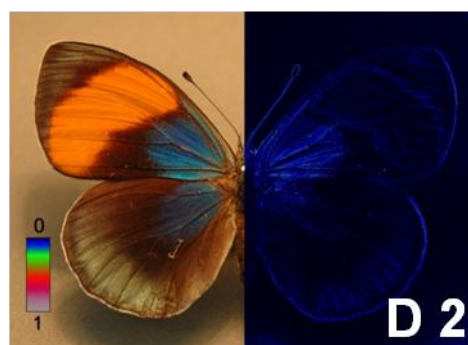
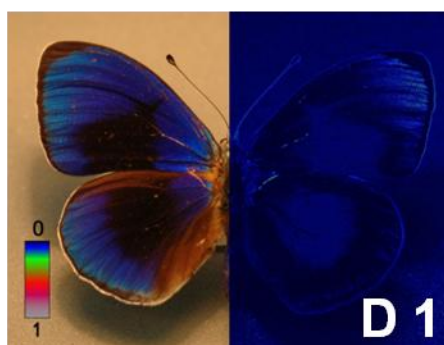
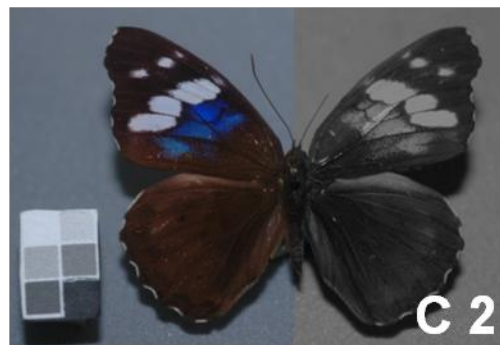
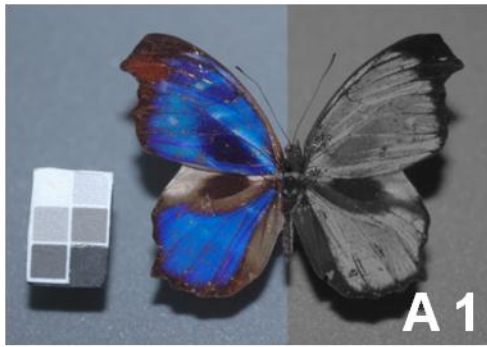
A UV-Ansicht der Art *Marpesia furcula*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B Polarisationsansicht der Art *Marpesia marcella*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

C UV-Ansicht der Art *Marpesia marcella*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

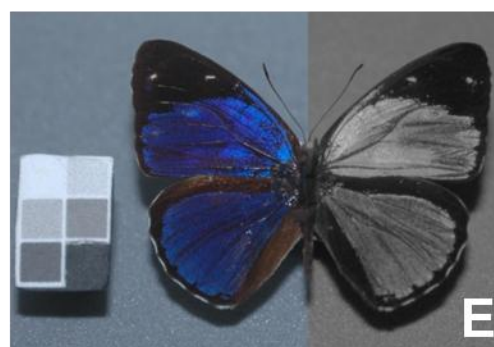
D Polarisationsansicht der Art *Myscelia orsis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 22



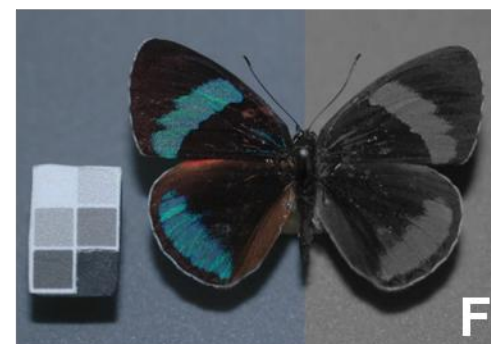
- A** UV-Ansicht der Art *Myscelia orsis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Eunica alpais*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Eunica alpais*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht der Art *Asterope sapphira*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 23



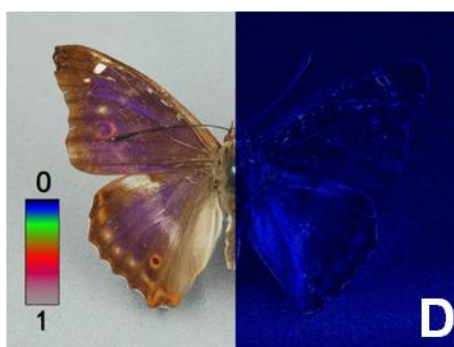
- A** UV-Ansicht der Art *Asterope sapphira*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Epiphile oreia* 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Epiphile oreia*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Dynamine gisella*.
E UV-Ansicht eines Männchens der Art *Dynamine gisella*.

NYMPHALIDAE 24



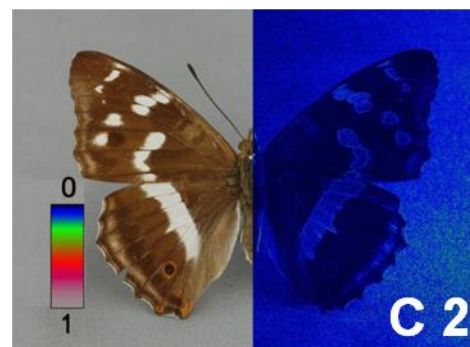
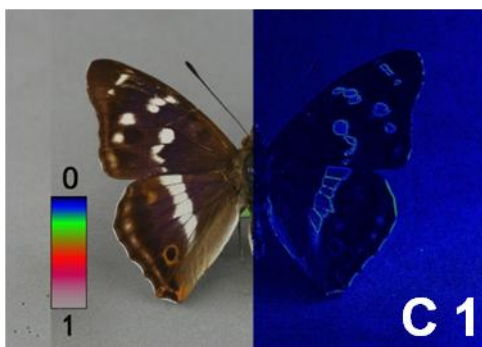
- A** Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Dynamine vicaria*.
B UV-Ansicht eines Männchens der Art *Dynamine vicaria*.
C Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Perisama patara*.
D UV-Ansicht eines Männchens der Art *Perisama patara*.
E Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Mesotaenia vaninka*.
F UV-Ansicht eines Männchens der Art *Mesotaenia vaninka*.
G Polarisationsansicht der Art *Apatura ilia budensis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 25



A UV-Ansicht der Art *Apatura ilia budensis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B Polarisationsansicht der Art *Apatura ilia ilia* 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C UV-Ansicht der Art *Apatura ilia ilia*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Apatura ilia f. astasioides*.
E UV-Ansicht eines Männchens der Art *Apatura ilia f. astasioides*.

NYMPHALIDAE 26



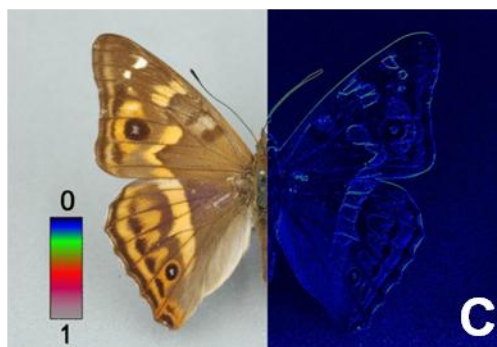
A Polarisationsansicht der Art *Apatura ilia f. clytie*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B UV-Ansicht der Art *Apatura ilia f. clytie*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

C Polarisationsansicht der Art *Apatura iris iris*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

D UV-Ansicht der Art *Apatura iris iris*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 27



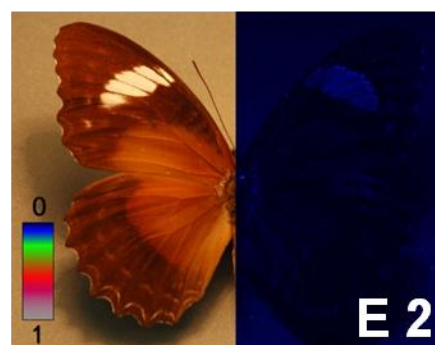
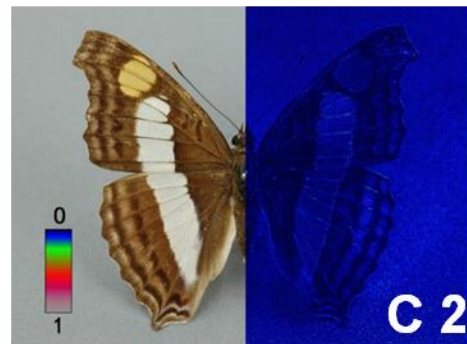
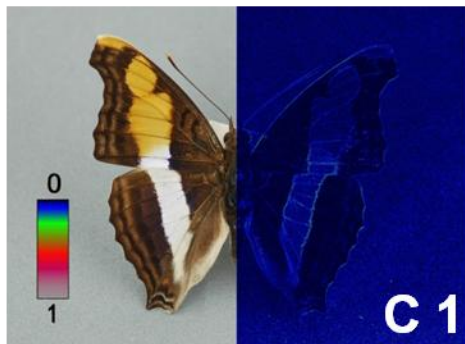
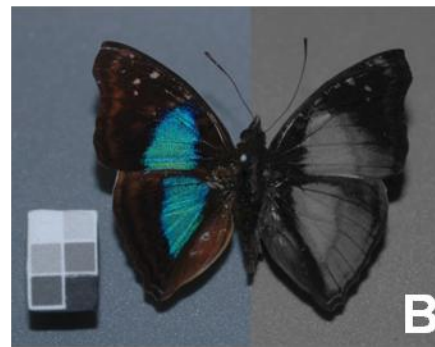
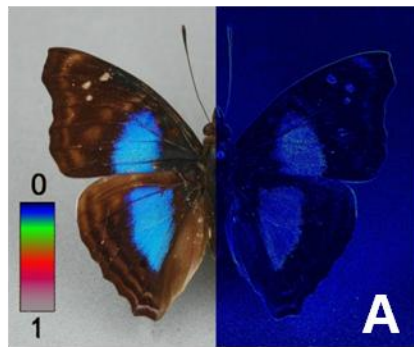
- A** Polarisationsansicht der Art *Apatura iris* ad f. *jole*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Apatura iris* ad f. *jole*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Apatura iris* *bieti*.
D UV-Ansicht eines Männchens der Art *Apatura iris* *bieti*.
E Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Apatura metis*.
F UV-Ansicht eines Männchens der Art *Apatura metis*.

NYMPHALIDAE 28



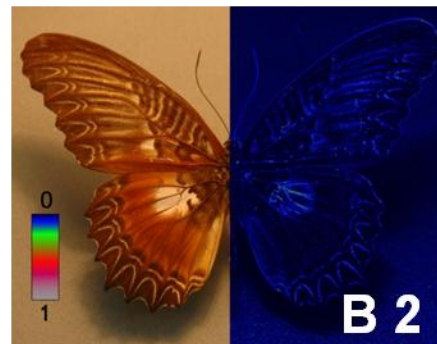
A Polarisationsansicht der Art *Mimathyma ambica*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Mimathyma ambica*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Sasakia charonda*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Sasakia charonda*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 29



- A** Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Doxocopa clothilda*.
B UV-Ansicht eines Männchens der Art *Doxocopa clothilda*.
C Polarisationsansicht der Art *Doxocopa laure*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Doxocopa laure*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
E Polarisationsansicht der Art *Cethosia cydippe chrysippe*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 30



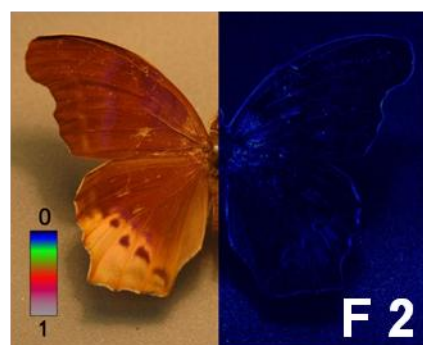
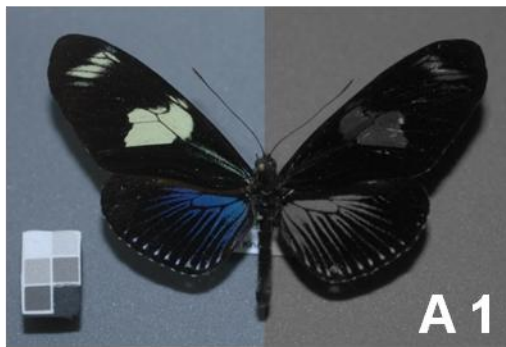
A UV-Ansicht der Art *Cethosia cydippe chrysippe*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B Polarisationsansicht der Art *Cethosia myrina*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

C UV-Ansicht der Art *Cethosia myrina*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

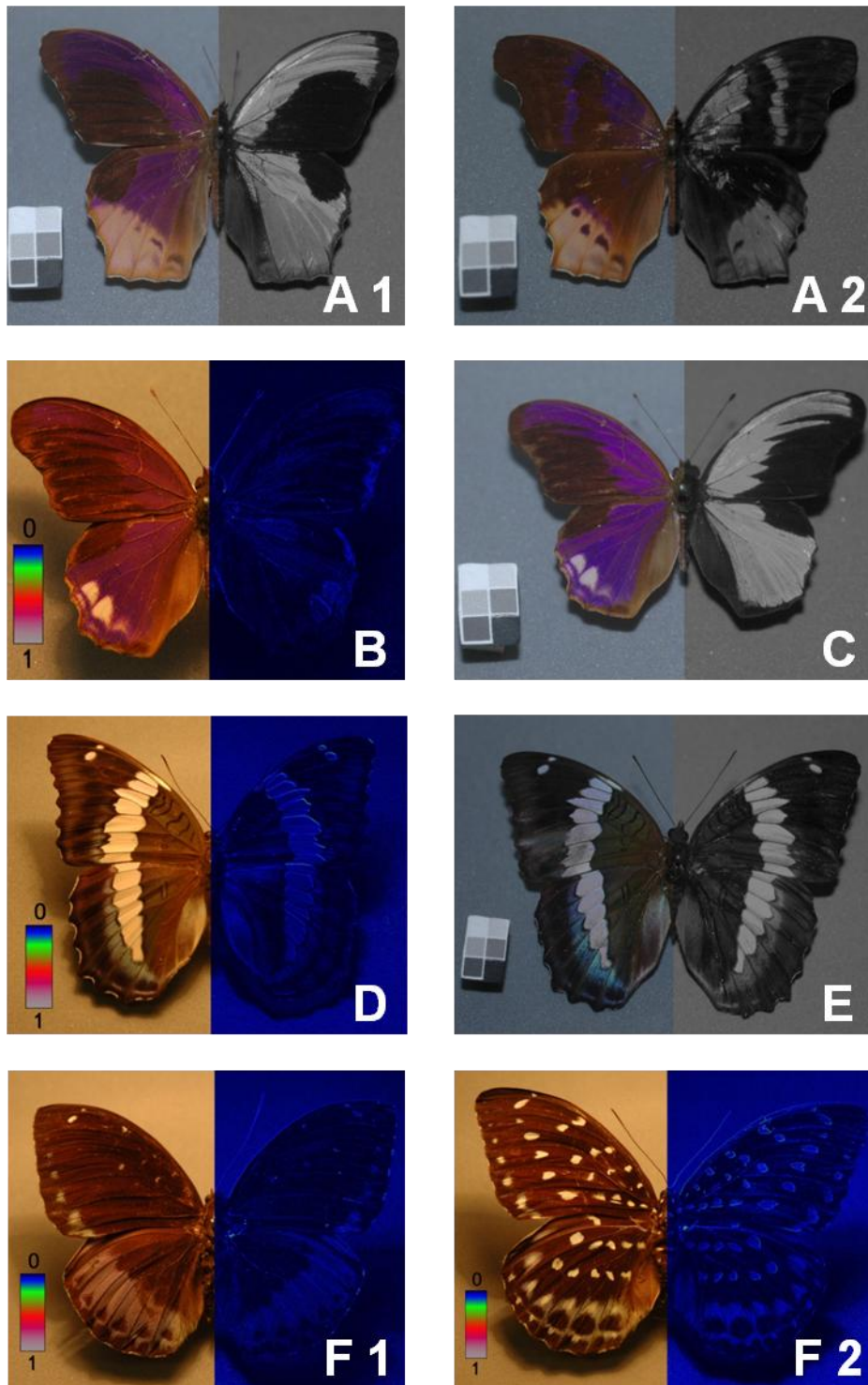
D Polarisationsansicht der Art *Laparus doris*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 31



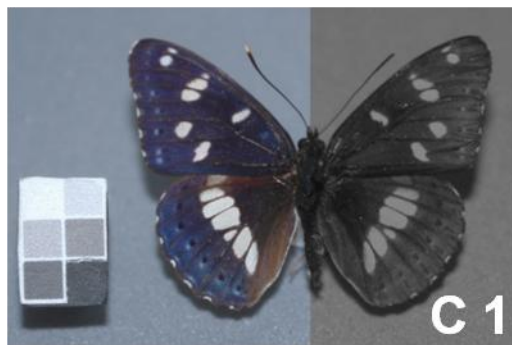
- A UV-Ansicht der Art *Laparus doris*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
 B Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Dione glycera*.
 C UV-Ansicht eines Männchens der Art *Dione glycera*.
 D Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Dione moneta butleri*.
 E UV-Ansicht eines Männchens der Art *Dione moneta butleri*.
 F Polarisationsansicht der Art *Terinos clarissa*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 32



- A UV-Ansicht der Art *Terinos clarissa*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
 B Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Terinos terpander robertsia*.
 C UV-Ansicht eines Männchens der Art *Terinos terpander robertsia*.
 D Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Bassarona durga*.
 E UV-Ansicht eines Männchens der Art *Bassarona durga*.
 F Polarisationsansicht der Art *Lexias cyanipardus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

NYMPHALIDAE 33

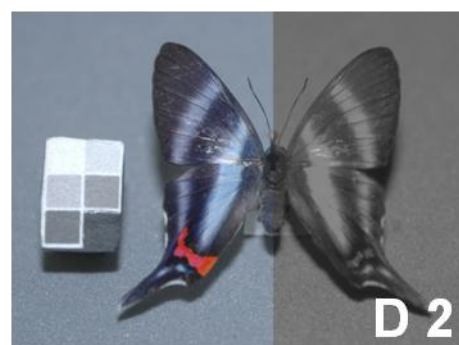
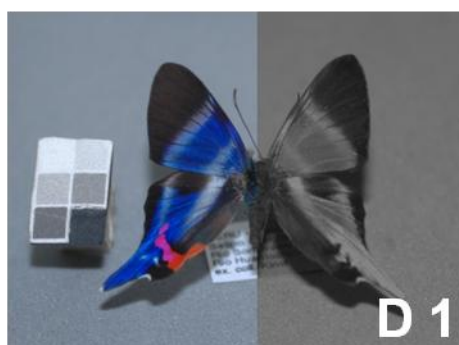
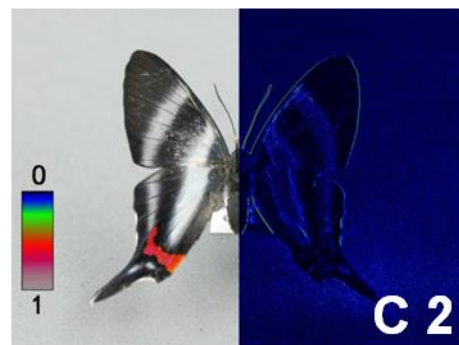
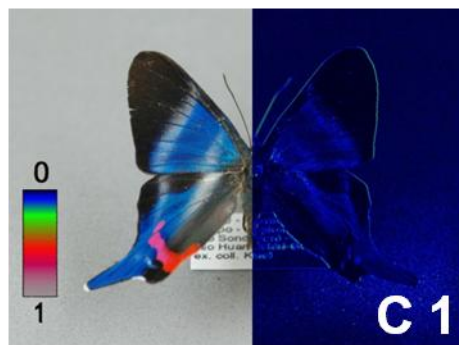
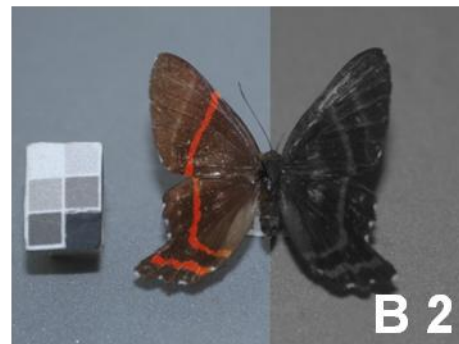
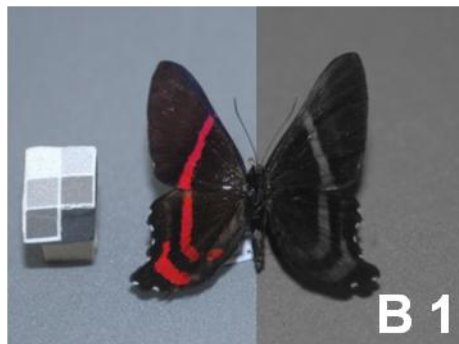
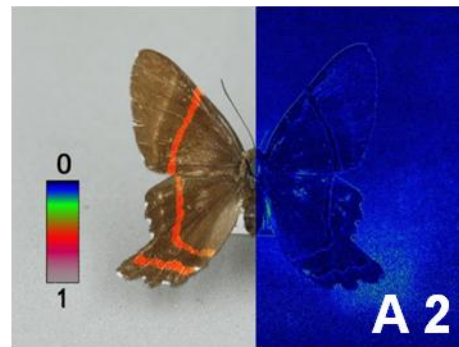
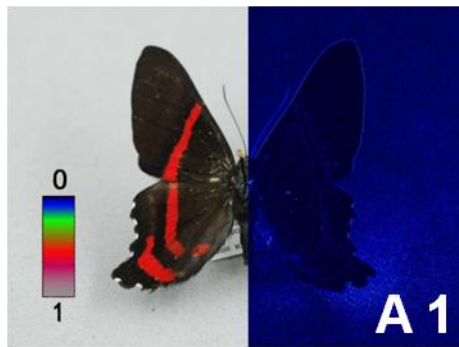


A UV-Ansicht der Art *Lexias cyanipardus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B Polarisationsansicht der Art *Limenitis reducta*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

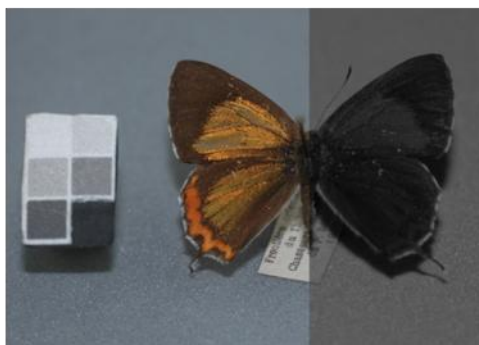
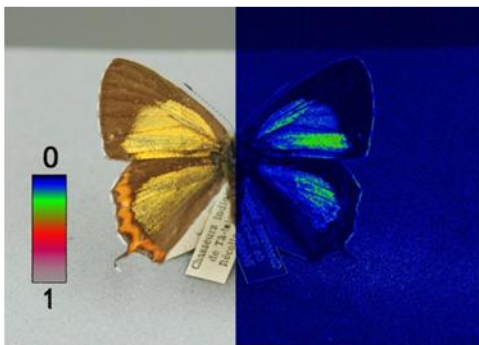
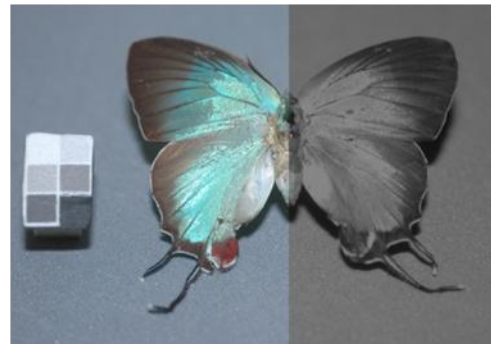
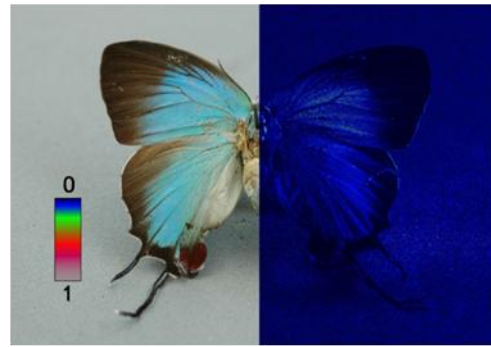
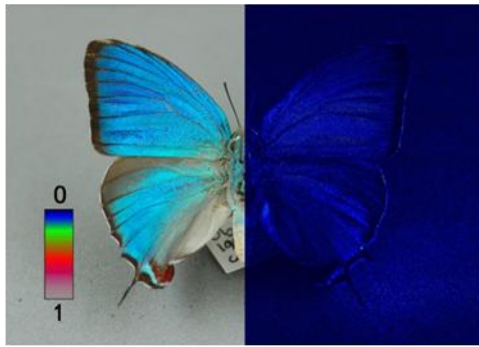
C UV-Ansicht der Art *Limenitis reducta*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

RIODINIDAE 1



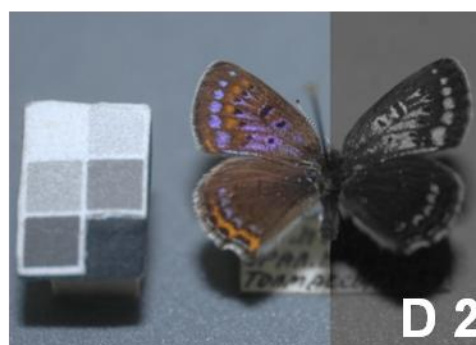
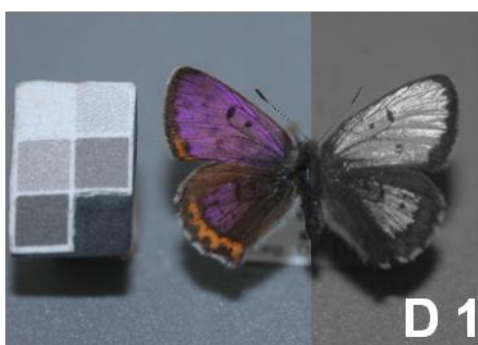
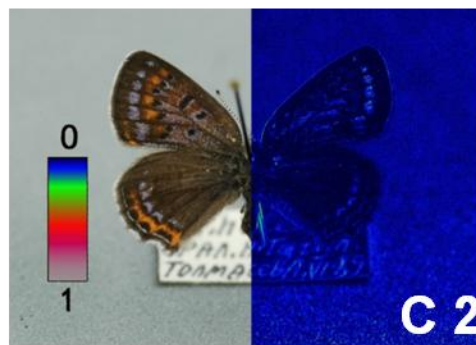
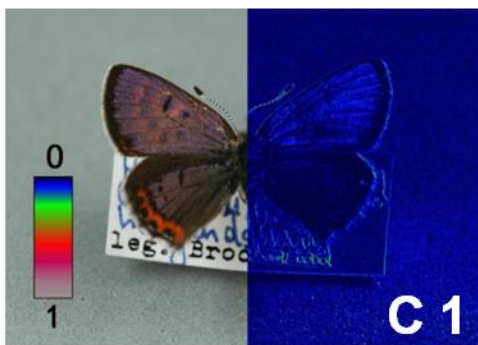
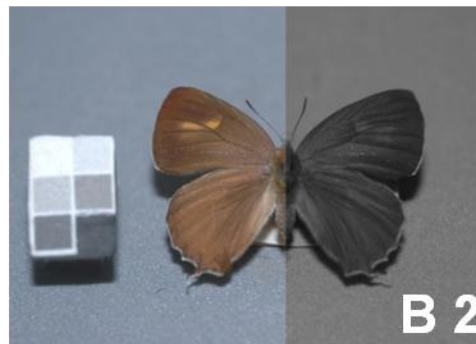
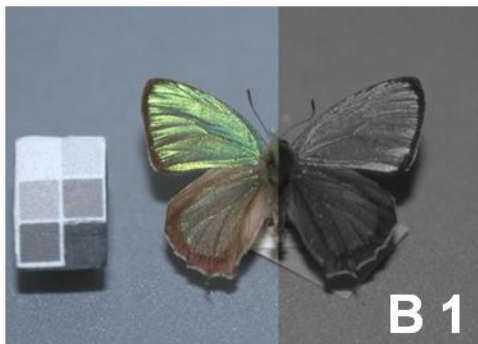
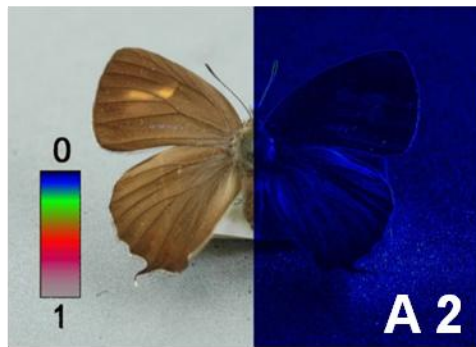
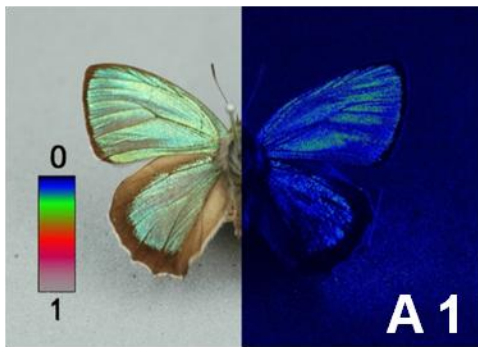
A Polarisationsansicht der Art *Ancyclus meliboeus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Ancyclus meliboeus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Rhetus dysonii*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Rhetus dysonii*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

LYCAENIDAE 1



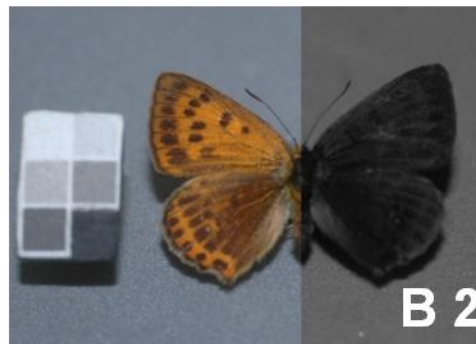
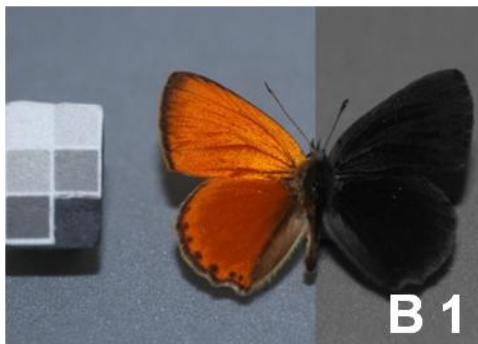
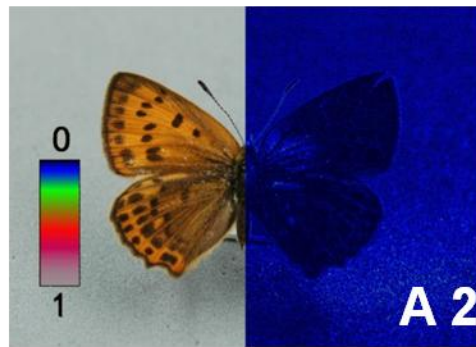
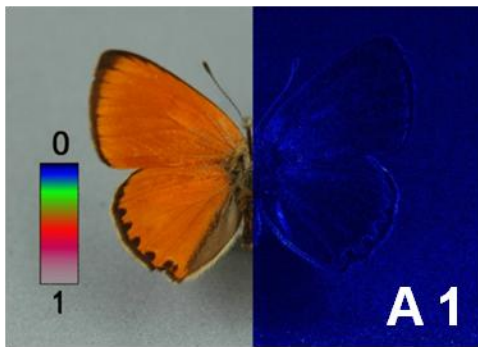
- A** Polarisationsansicht der Art *Evenus regalis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Evenus regalis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Heliophorus brahma*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Heliophorus brahma*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

LYCAENIDAE 2



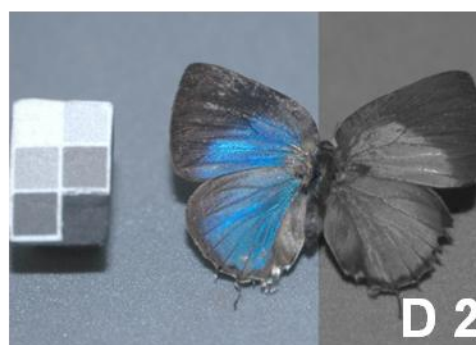
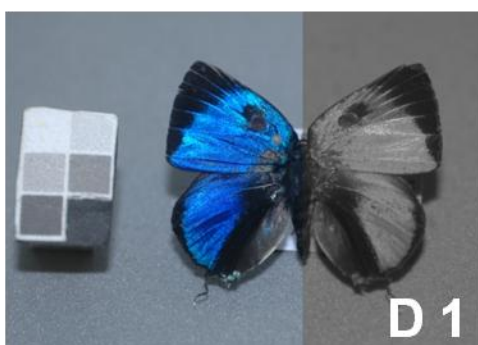
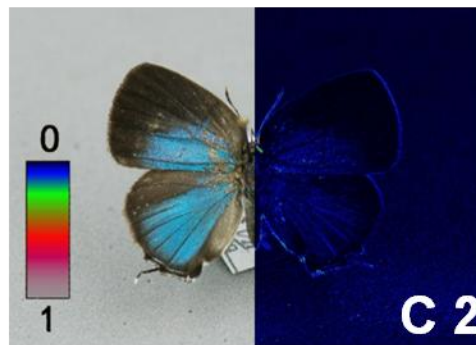
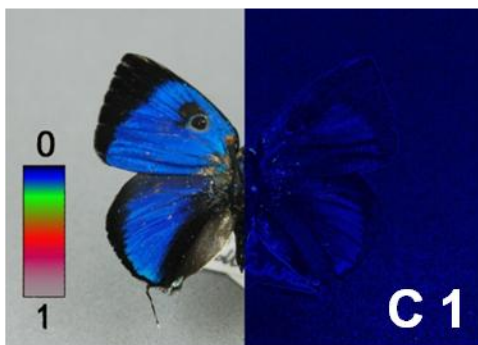
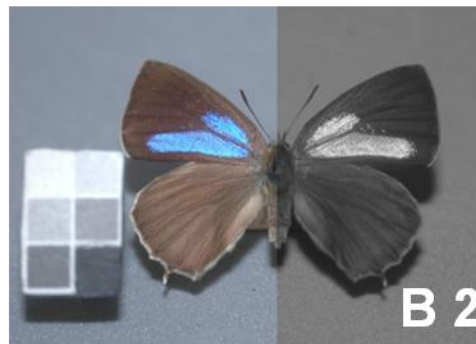
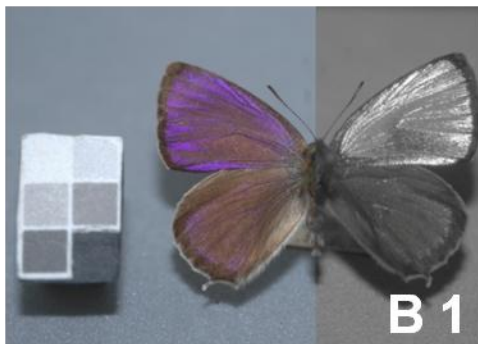
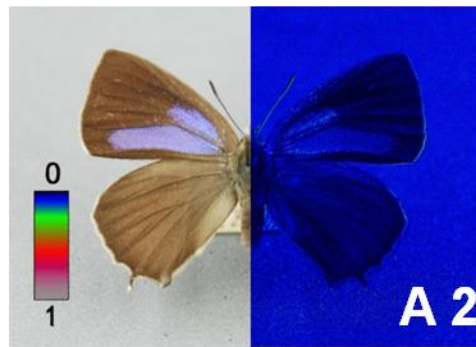
A Polarisationsansicht der Art *Chrysozephyrus brilliantinus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Chrysozephyrus brilliantinus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Lycaena helle*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Lycaena helle*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

LYCAENIDAE 3



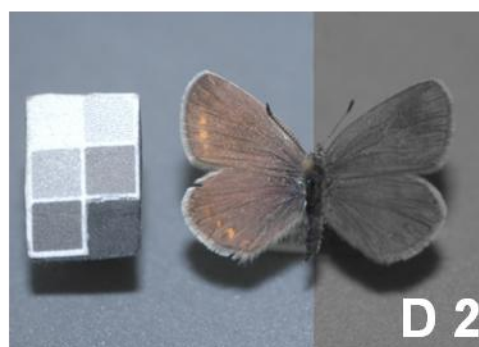
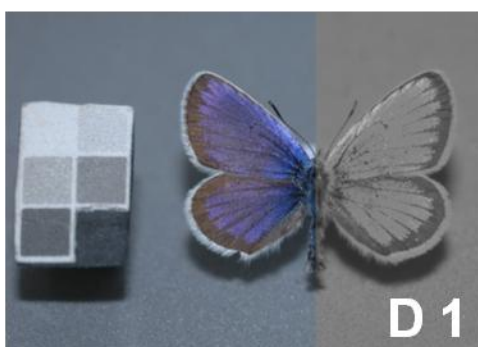
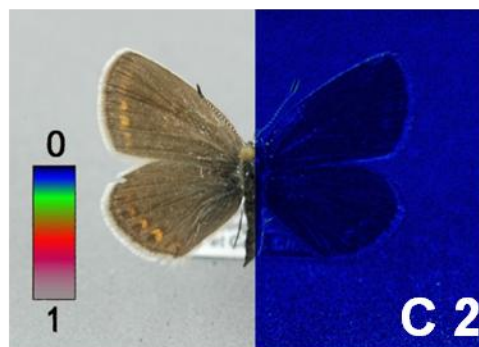
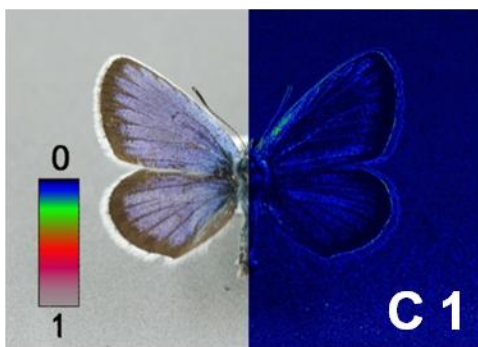
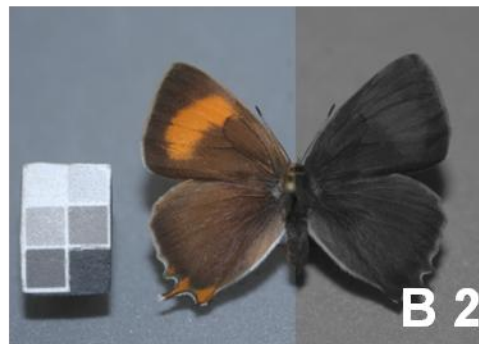
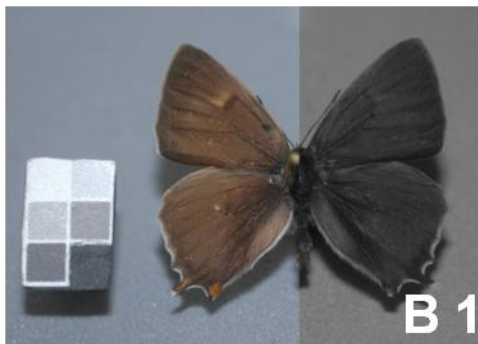
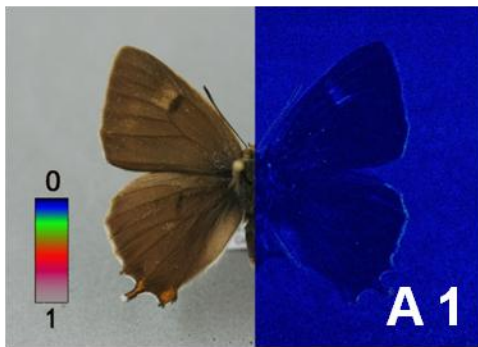
A Polarisationsansicht der Art *Lycaena virgaureae*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Lycaena virgaureae*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Arhopala micale*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Arhopala micale*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

LYCAENIDAE 4



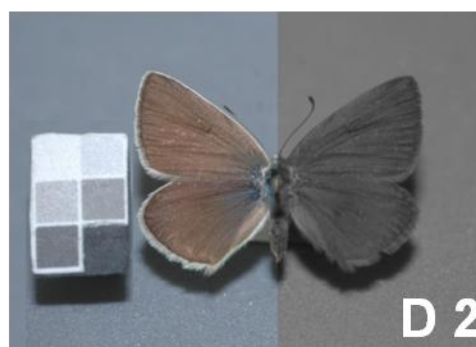
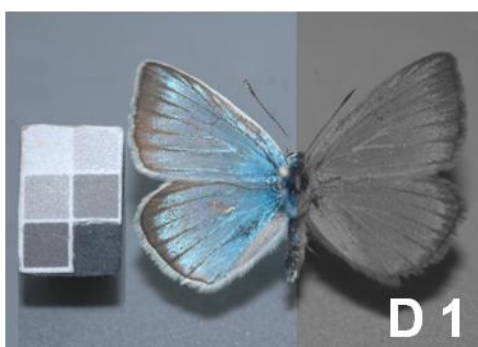
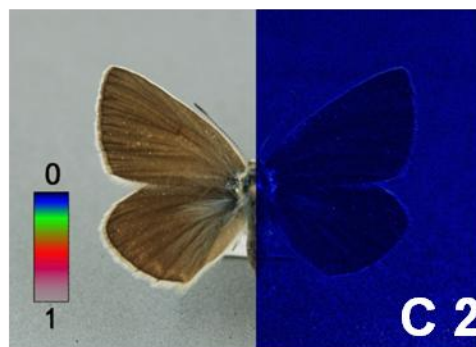
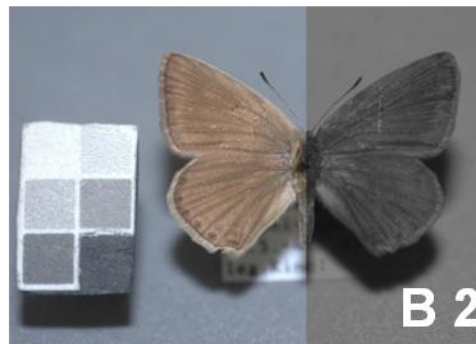
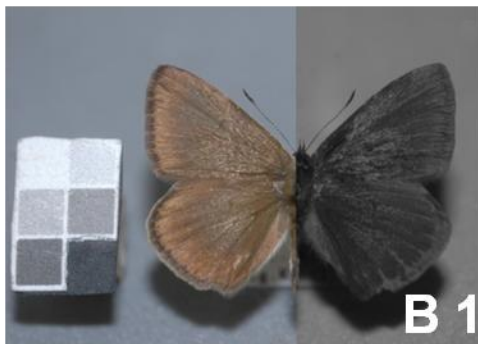
A Polarisationsansicht der Art *Favonius quercus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Favonius quercus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Panthiades bitias*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Panthiades bitias*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

LYCAENIDAE 5



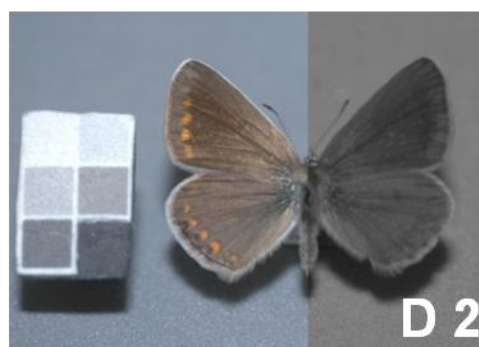
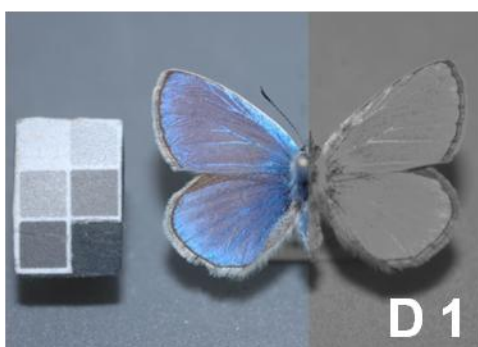
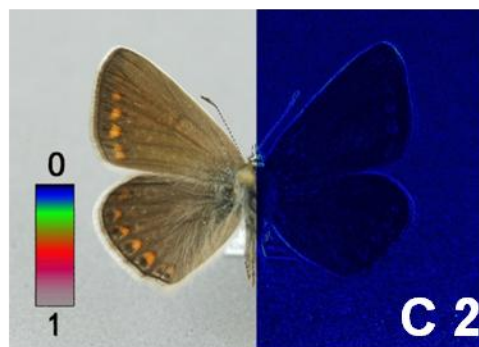
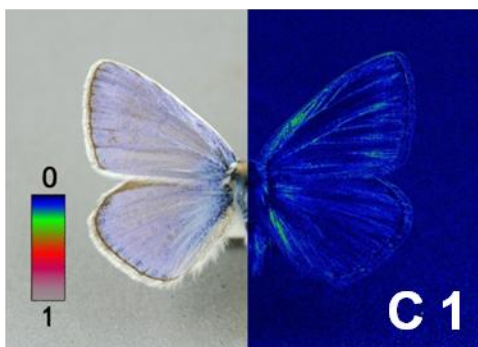
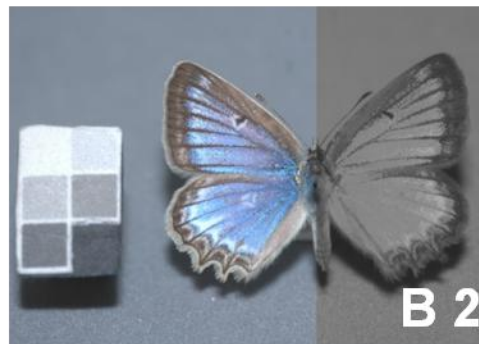
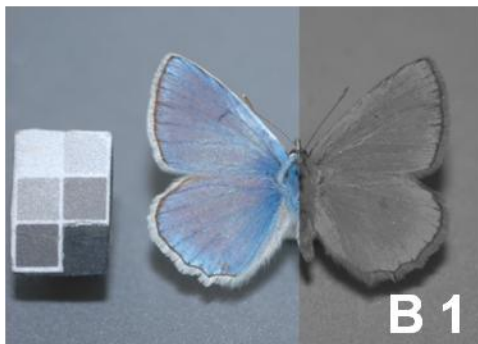
A Polarisationsansicht der Art *Thecla betulae*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Thecla betulae*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Plebejus argus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Plebejus argus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

LYCAENIDAE 6



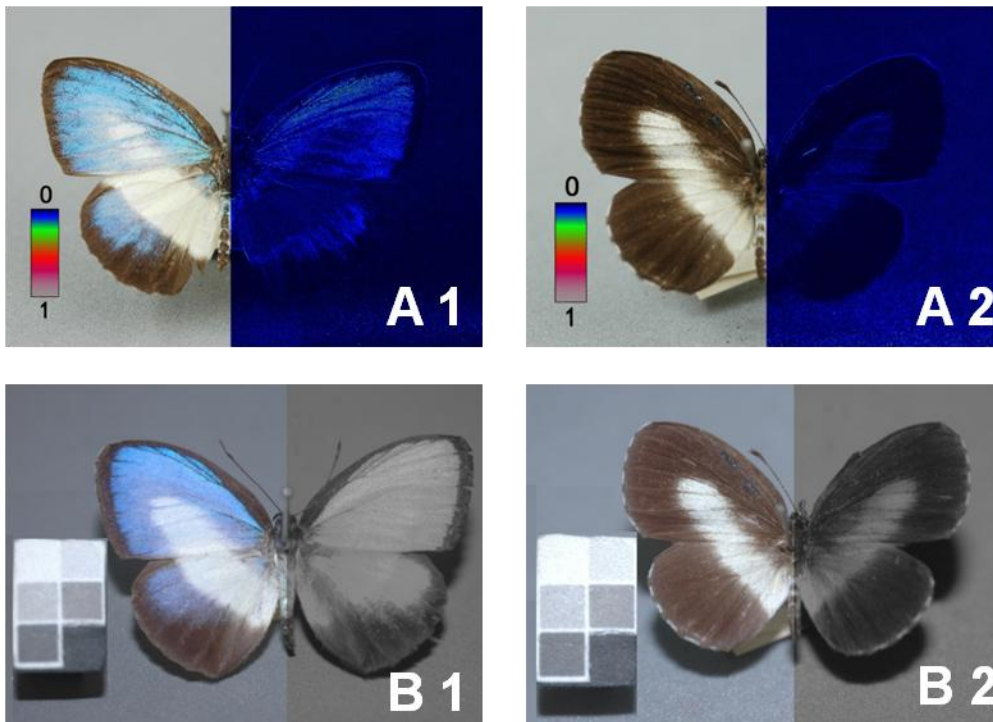
A Polarisationsansicht der Art *Polyommatus admetus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Polyommatus admetus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Polyommatus daphnis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Polyommatus daphnis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

LYCAENIDAE 7



A Polarisationsansicht der Art *Polyommatus damon*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Polyommatus damon*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Polyommatus icarus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Polyommatus icarus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

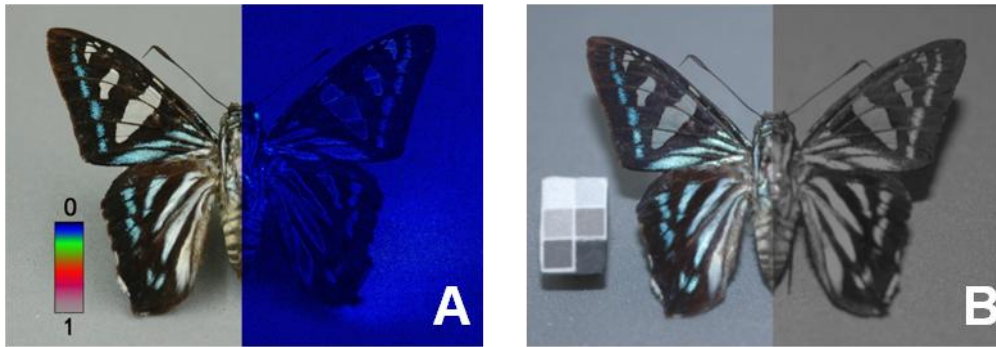
LYCAENIDAE 8



A Polarisationsansicht der Art *Danis danis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B UV-Ansicht der Art *Danis danis*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

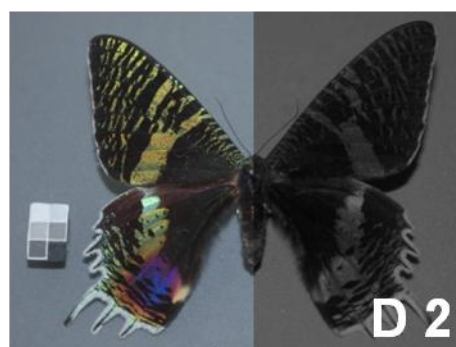
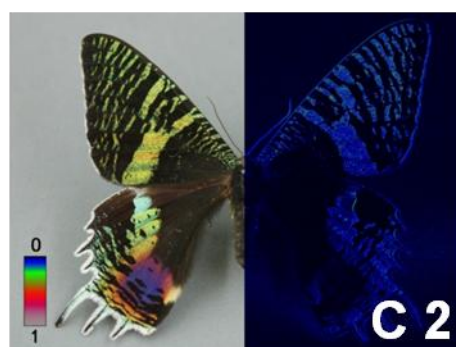
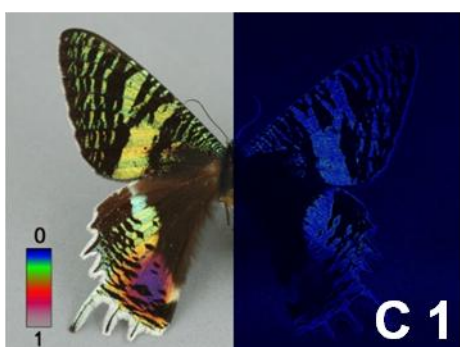
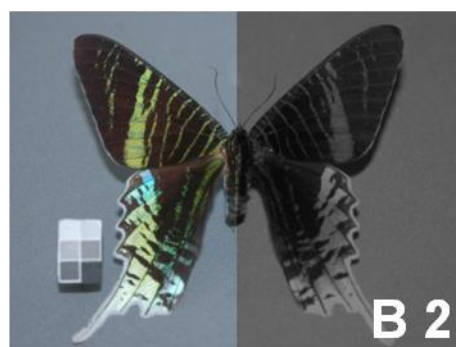
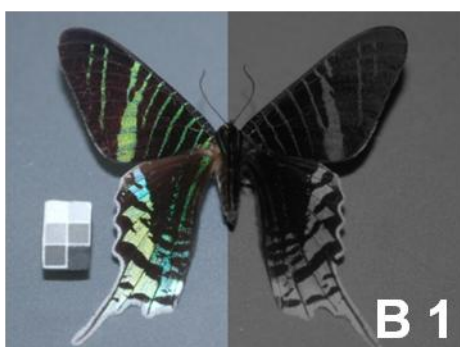
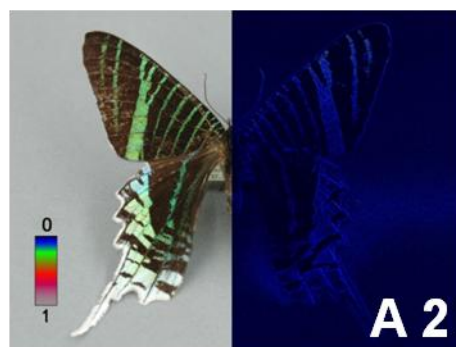
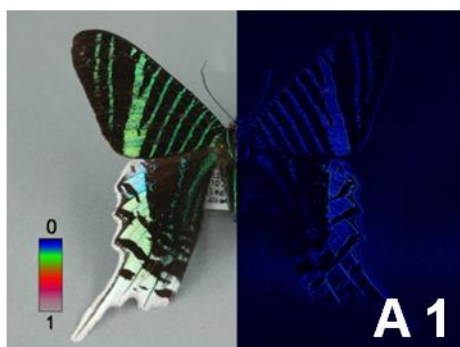
HESPERIIDAE 1



A Polarisationsansicht eines Männchens der Art *Phocides belus*.

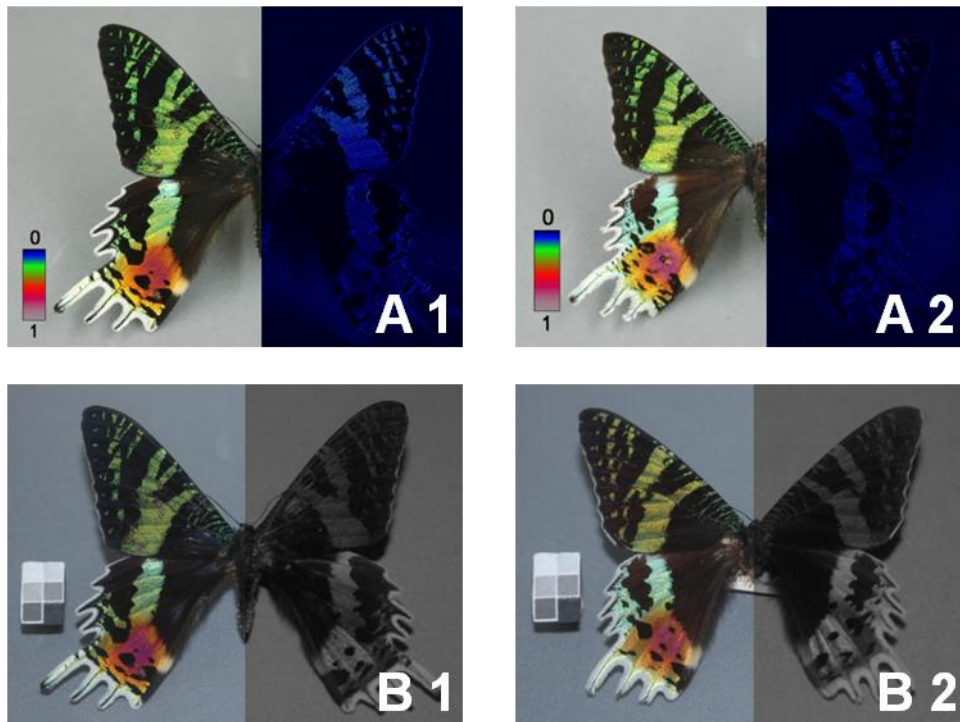
B UV-Ansicht eines Männchens der Art *Phocides belus*.

URANIIDAE 1



A Polarisationsansicht der Art *Urania leilus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
B UV-Ansicht der Art *Urania leilus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
C Polarisationsansicht der Art *Chrysiridia croesus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.
D UV-Ansicht der Art *Chrysiridia croesus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

URANIIDAE 2



A Polarisationsansicht der Art *Chrysiridia rhipheus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

B UV-Ansicht der Art *Chrysiridia rhipheus*: 1... Männchen; 2 ... Weibchen.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Sandra Schneider
Adresse: Magazinstrasse 7
3580 Horn
Nationalität: Österreich
Telefon: +43 664/5644485
E-Mail: s.j.schneider@gmx.at
Geburtsdatum: 24.02.1988
Familienstand: Ledig
Führerschein: Kategorie B



Schulische Ausbildung

1994 – 1998: **Volksschule Horn**
1998 – 2006: **Bundesgymnasium Horn**

Hochschulausbildung

WS 2006/07 – SS 2008: **Studium der Pädagogik an der Universität Wien**
WS 2006/07 – SS 2009: **Studium der Biologie an der Universität Wien (abgeschlossen)**
seit SS 2008: **Studium der Zoologie mit Schwerpunkt Evolutionsbiologie an der Universität Wien**

Beruflicher Werdegang

seit 10/2009: **Geringfügige Beschäftigung:** in der zoopädagogischen Abteilung des Tiergarten Schönbrunn
08/2012: **Praktikum:** in der zoopädagogischen Abteilung des Tiergarten Schönbrunn

Persönliche Fähigkeiten und Kompetenzen

Muttersprache: Deutsch

**Fremdsprachen-
kenntnisse:**

- Englisch (sehr gut)
- Französisch (gut)

**Computerkennt-
nisse:** ECDL

**Persönliche
Interessen:**

- Tiere
- Natur
- Digitale Fotografie
- Künstlerisches, kreatives Arbeiten

Horn, 05. November 2012