

Farbunterschiede bei nahestehenden Arten des Genus *Zygaena* (Lepidoptera: Zygaenidae)

Colour Differences in Closely Related Species of the Genus *Zygaena* (Lepidoptera: Zygaenidae)

GÜNTER BUNTEBARTH

Zusammenfassung: Geringe Farbunterschiede auf den Flügeln von Zygaeninae sind meist erkennbar, lassen sich aber in vielen Fällen nur schwer objektiv beschreiben, weil das subjektive Empfinden und die Art der Beleuchtung die wahrnehmbare Farbe beeinflussen. Diese Nachteile werden umgangen, indem das Reflexionsvermögen von Flügeln bei monochromatischem Licht bestimmt wird. Mit einem Spektrometer wurde die Reflexion zwischen dem langwelligen Ultraviolett ($\lambda = 360$ nm) bis in den Rotbereich ($\lambda = 700$ nm) bei einer Wellenlängenbreite von 0,5 nm ermittelt. Die Reflexion wurde getrennt von den Vorder- und Hinterflügeln sowohl von der Unter- wie auch von der Oberseite gemessen. Die Größe des einfallenden Strahls war konstant und betrug $3 \times 5,5$ mm. Die Untersuchungen wurden an *Zygaena* (*Mesembrynus*) *purpuralis* (Brünnich, 1763) und *Zygaena* (*Mesembrynus*) *minos* ([Dennis & Schiffermüller], 1775), an *Zygaena* (*Zygaena*) *loti* ([Dennis & Schiffermüller], 1775) und *Zygaena* (*Zygaena*) *armena* (Eversmann, 1851) sowie an *Zygaena* (*Agrumenia*) *olivieri dsidsilia* (Freyer, 1851) und *Zygaena* (*Agrumenia*) *haberbaueri* (Lederer, 1870) aus unterschiedlichen Gegenden Georgiens durchgeführt. Konstante Unterschiede, auch geschlechtsspezifische, waren feststellbar.

Schlüsselwörter: *Zygaena*, Zygaeninae, Flügelfarbe, Reflexion, Georgien

Summary: Slight colour differences on the wings of Zygaeninae are visible in most cases, but an objective description cannot be provided because of the subjective impression and the type of ambient light influence the perceived colour. These disadvantages are avoided, if the reflectance of the wings is determined at monochromatic light. The reflectance was measured in the range of ultraviolet ($\lambda = 360$ nm) to the red ($\lambda = 700$ nm) at a wavelength width of 0.5 nm. The reflectance was measured separately at fore- and hindwings as well as at the upper and under side. The size of the incident light beam was constant with 3×5.5 mm. The investigations were done at *Zygaena* (*Mesembrynus*) *purpuralis* (Brünnich, 1763) and *Zygaena* (*Mesembrynus*) *minos* ([Dennis & Schiffermüller], 1775), at *Zygaena* (*Zygaena*) *loti* ([Dennis & Schiffermüller], 1775) and *Z. (Zygaena) armena* (Eversmann, 1851) as well as at *Zygaena* (*Agrumenia*) *olivieri dsidsilia* (Freyer, 1851) and *Zygaena* (*Agrumenia*) *haberbaueri* (Lederer, 1870) from different locations in Georgia. Constant differences, also gender-specific ones, could be realized.

Keywords: *Zygaena*, Zygaeninae, wing colour, reflection, Georgia

1. Einleitung

Es gibt unter den Schmetterlingen Arten, bei denen die Imagines visuell kaum oder zumindest nicht zuverlässig einer bestimmten Art zuzuordnen sind, wie es zum Beispiel bei den Zygaenen *Zygaena* (*Mesembrynus*)

purpuralis und *Zygaena* (*Mesembrynus*) *minos* der Fall ist. Diese Erkenntnis beruht jedoch auf der Beurteilung durch das menschliche Auge. Die Schmetterlinge sehen sich selbst wahrscheinlich ganz anders, weil die spektrale Empfindlichkeit ihrer Augen eine andere ist. Sie empfinden z. B. das langwellige Ultravio-

lett als hell, was wir gar nicht wahrnehmen, und der tiefrote Bereich nahe 700 nm, der unsere Farbwahrnehmung beeinflusst, ist für die Zygaenen wahrscheinlich unsichtbar. Dennoch haben auch die Schmetterlinge Rezeptoren für unterschiedliche Wellenlängenbereiche (z. B. BRISCOE & CHITTKA 2001; LAND & NILSSON 2006), so dass zumindest vermutet werden kann, dass auch sie eine Art Farberkennung haben könnten. SCHERER & KOLB (1987) ordnen den Rezeptoren im Insektenauge von *Pieris brassicae* konkrete Funktionen zu; so soll die UV-Empfindlichkeit bei $\lambda = 370$ nm der räumlichen Orientierung dienen, die Grünempfindlichkeit ($\lambda = 540$ nm) für die Eiablage von Bedeutung sein, und die Blau- und Orangerot-Empfindlichkeit ($\lambda = 460$ nm bzw. 600 nm) soll für die Nahrungsaufnahme bedeutend sein. Der Frage nach der visuellen Erkennung der eigenen Spezies bei Lepidopteren und der Bedeutung von Farbmustern ist verschiedentlich nachgegangen worden, wie KNÜTTEL & FIEDLER (2001) an *Polyommatus icarus* (Rottemburg, 1775) beschreiben. Beziehungen zwischen der Flügelfarbe und dem spektralen Sehvermögen wurden an verschiedenen

Lepidopteren untersucht (z. B. BRISCOE & CHITTKA 2001; STAVENGA & ARIKAWA 2006) und die trichromatische Sensibilität als eine seit dem Devon entwickelte Eigenschaft hervorgehoben, auch wenn sich zusätzliche Sensibilitäten zur Erkennung von Flügel Farben im Verlaufe der Evolution entwickelten. Untersuchungen an Zygaenen sind wenige bekannt. YURTSEVER et al. (2010) beschreiben u. a., dass *Z. (M.) purpuralis* niemals rote Blüten zur Nahrungsaufnahme besucht haben. EBERT & HOFMANN (1994) geben im Gegensatz dazu an, dass die Männchen am Kaiserstuhl mit Vorliebe auf den knallroten Blüten der Kartäusernelken sitzen. Das Rot ist die dominierende Flügel Farbe der meisten Zygaeninae. Ein auf Zygaenen spezialisierter Entomologe kann die meisten Arten bis auf die erwähnten *Z. (M.) purpuralis* und *Z. (M.) minos* am Flugbild erkennen, obwohl ihm die Reflexion im UV-Bereich unsichtbar bleibt. Es soll daher untersucht werden, ob es art- und geschlechtsspezifische Reflexionen im langwelligen UV-Bereich und im sichtbaren Bereich bis ins Rot gibt, die auch zur Unterstützung der visuellen Arterkennung dienen könnten.

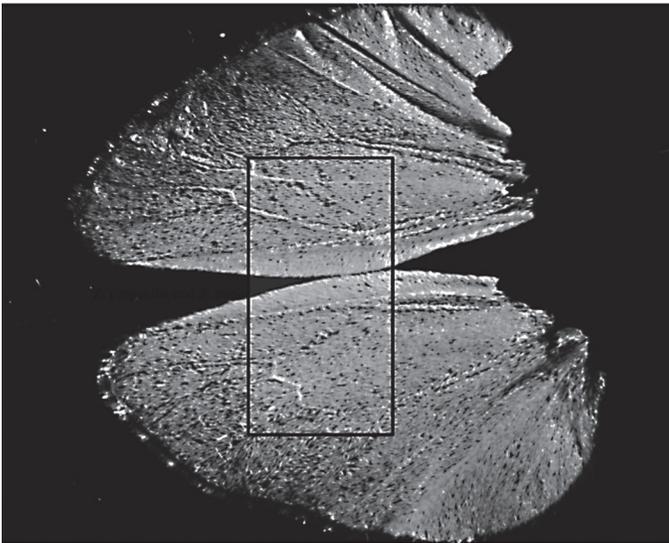


Abb. 1: Größe des einfallenden Lichtstrahls auf die Hinterflügel einer *Zygaena*-Spezies.
Fig. 1: Size of the incident light beam on the hind wing of a *Zygaena* species.

2. Methode

Zur Bestimmung des Reflexionsvermögens diente ein UV/VIS-Spektrometer (Shimadzu, UV260 mit Ulbricht-Kugel). Die reflektierte Lichtstärke wurde im Vergleich zu einem Referenzmaterial (Bariumsulfat) prozentual bestimmt. Der Wellenlängenbereich reichte vom langwelligen Ultraviolett ($\lambda = 360$ nm) bis in den Rotbereich ($\lambda = 700$ nm), die Wellenlängenbreite wurde mit 0,5 nm gewählt. Die Messfläche, die eine konstante Größe von 3 x 5,5 mm hatte, ist im Verhältnis zum Objekt in Abbildung 1 dargestellt. Wenn das Objekt nicht die gesamte Messfläche ausfüllt, wurde es im Gerät jeweils so verschoben, dass die

Reflexion maximal war. Der senkrecht zur Oberfläche auftreffende Lichtstrahl kann von außen nicht gesehen werden und deshalb kann ein kleineres Objekt nur bei einer Kontrollmessung bestmöglich orientiert werden. Der Hintergrund der drehbaren Objektaufnahme war matt schwarz und zeigte keine Reflexion im angewandten Wellenlängenbereich.

3. Ergebnisse

Bei dem senkrecht zur Oberfläche auf das Objekt treffenden Strahl wurde im Wellenlängenbereich von $\lambda = 360$ bis 700 nm keine Richtungsabhängigkeit zur Schuppenorientierung festgestellt und, wenn polarisiertes Licht

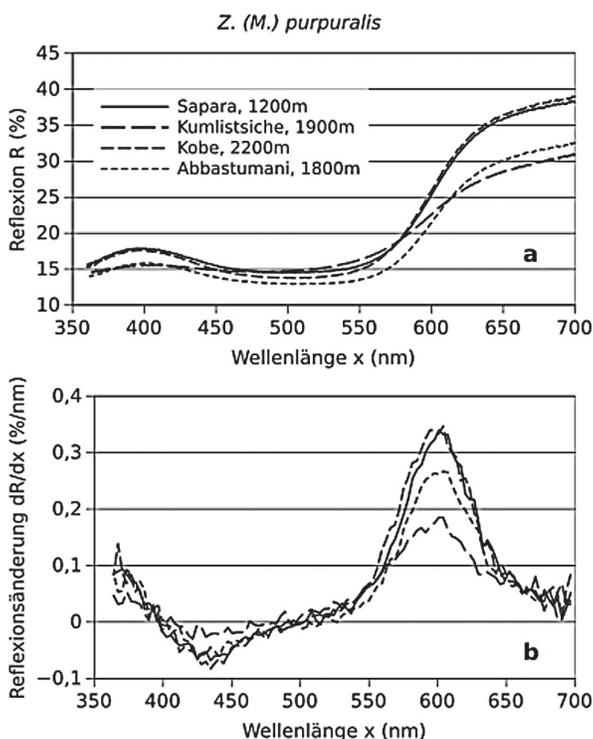


Abb. 2: Reflexion der Hinterflügeloberseite von *Zygaena (M.) purpuralis* aus unterschiedlichen Gegenden Georgiens; **a** spektrale Reflexion, **b** Steilheit der Reflexionsänderung dR/dx (%/nm) in Abhängigkeit von der Wellenlänge als 1. Ableitung des Spektrums oben.

Fig. 2: Reflectance of the hind wing upper side of *Zygaena (M.) purpuralis* from different Georgian regions; **a** spectral reflectance, **b** slope of the reflectance change dR/dx (%/nm) in dependence on the wavelength as the 1st derivative of the spectrum top.

benutzt wurde, konnte keine Abhängigkeit der Reflexion von der Polarisationsrichtung festgestellt werden. Der Erhaltungszustand der Einzeltiere war in der Regel unterschiedlich. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde die Reflexion, die bei $\lambda = 700$ nm stets maximal ist, normiert auf 100 %. Die absoluten Reflexionen liegen bei den meisten untersuchten Arten zwischen 30 und 60 % bei $\lambda = 700$ nm.

Die Bewertung der Reflexion als Funktion der Wellenlänge kann durch die Funktionsanalyse, nämlich die Ableitung der Reflexion nach der Wellenlänge, deutlich verbessert werden. Die Steigung der Reflexionskurve wurde als Mittelwert bei Wellenlängenintervallen von 3 nm bestimmt. Extremwerte und Wendepunkte in der Reflexion können auf diese Weise besser angegeben werden und sind nicht davon abhängig, wie hoch die

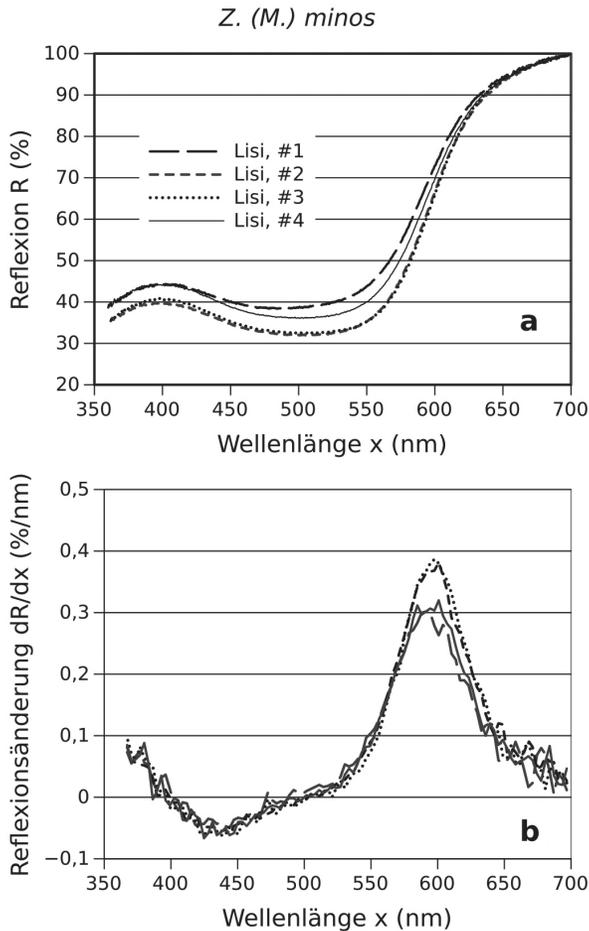


Abb. 3: Reflexion der Hinterflügeloberseite von *Zygaena (M.) minus* mit unterschiedlichem Erhaltungszustand; **a** relative spektrale Reflexion, **b** Steilheit der Reflexionsänderung dR/dx (%/nm) in Abhängigkeit von der Wellenlänge als 1. Ableitung des Spektrums oben.

Fig. 3: Reflectance of the hindwing upper side of *Zygaena (M.) minus* at different states of preservation; **a** relative spectral reflectance, **b** slope of the reflectance change dR/dx (%/nm) in dependence on the wavelength as the 1st derivative of the spectrum top.

Reflexionsstärke ist. Es können damit auch die Merkmale von Vorderflügeln angegeben werden, wenn die Messfläche nur einen Teil der roten Zeichnungsmuster erfasst. Rein schwarze Schuppen reflektieren auch im UV-Bereich nicht.

3.1. *Zygaena (Mesembrynus) purpuralis* und *Zygaena (Mesembrynus) minos*

Abbildung 2a zeigt das absolute Reflexionsvermögen von vier Tieren aus unterschiedlichen Gegenden Georgiens und in unterschiedlichem Erhaltungszustand. Die maximale Reflexion variiert bei $\lambda = 700$ nm zwischen 30 % und 40 %. Deutlich sichtbar ist ein Maximum bei $\lambda = 400$ nm, einem tiefen Violett, das für das menschliche Auge kaum wahrnehmbar ist. Abbildung 2b stellt dieses Maximum als Nulldurchgang dar und je steiler die Kurve dabei ist, desto deutlicher ist das Reflexionsmaximum ausgebildet. Ein weiterer Nulldurchgang liegt bei $\lambda = 500$ nm, ein Minimalwert im Blaugrün, der aber ein wenig ausgeprägtes Reflexionsminimum hat.

Abbildung 3a zeigt das relative Reflexionsspektrum von *Z. (M.) minos*. Die Tiere stammen aus demselben Gebiet, sind aber in unterschiedlichem Erhaltungszustand. Deshalb wurde die maximale Reflexion bei $\lambda = 700$ nm auf 100 % normiert. Der spektrale Reflexionsverlauf ist zu *Z. (M.) purpuralis* (Abb. 2a) ähnlich. Die Abbildung 3b zeigt jedoch eine geringe Verschiebung der maximalen Ableitung zu kürzeren Wellenlängen, d. h. eine Verschiebung ins gelbliche Orange. In Abbildung 4 wird der geringe konstante Unterschied deutlich. Die größte Reflexionsänderung liegt unterhalb von $\lambda = 600$ nm. Der Unterschied ist auf der Oberseite der Hinterflügel und der Unterseite (Abb. 4) gleich groß. Bei *Z. (M.) purpuralis* liegen die mittleren Maxima bei $\lambda = 601$ nm und bei *Z. (M.) minos* bei $\lambda = 598$ nm.

3.2. *Zygaena (Zygaena) loti* und *Zygaena (Zygaena) armena*

Über diese beiden Spezies aus der *loti*-Gruppe wurde viel spekuliert und sogar

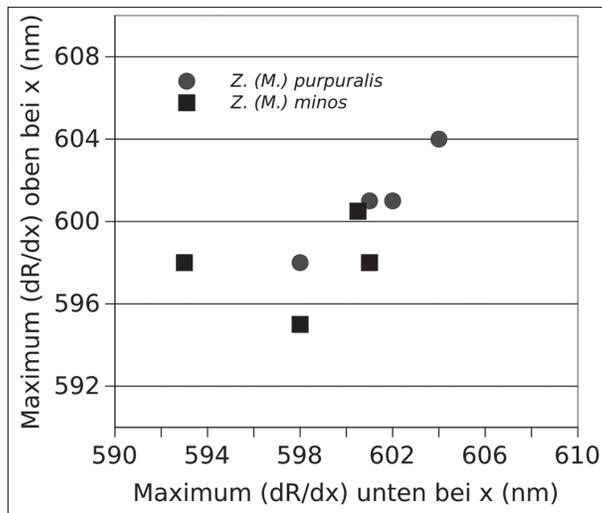


Abb. 4: Größte Steilheit der Wellenlängenänderung in Schritten von 0,5 nm auf der Ober- und Unterseite der Hinterflügel von *Zygaena (M.) purpuralis* (●) und *Z. (M.) minos* (■).

Fig. 4: Steepest slope of the wavelength change in steps of 0.5 nm on the upper and lower side of the hindwings of *Zygaena. (M.) purpuralis* (●) und *Z. (M.) minos* (■).

ihre Artverschiedenheit angezweifelt (ALBERTI 1964, 1971). NAUMANN & NAUMANN (1980) konnten zeigen, dass beide Arten in der NE-Türkei im selben Biotop vorkommen, jedoch zeitlich getrennt, was auch von BUNTEBARTH et al. (2011) in Georgien beobachtet wurde. Obwohl die visuelle Trennung leicht möglich ist, soll geklärt werden, inwieweit das Reflexionsvermögen die Artverschiedenheit unterstützt. Der Geschlechtsdimorphismus erfordert eine getrennte Betrachtung von Männchen und Weibchen. Beiden Arten fehlt

das deutliche Reflexionsmaximum bei $\lambda = 400$ nm (Abb. 5a, 6a), wie es bei *Z. (M.) purpuralis* und *Z. (M.) minos* zu sehen ist. *Zygaena (A.) loti*-Männchen weisen ein Minimum bei $\lambda = 500$ nm auf (Abb. 5b), das bei *Z. (A.) armena* mit sehr geringer Amplitude bei ca. $\lambda = 420$ nm liegt (Abb. 6b). Manche *Z. (A.) loti*-Männchen weisen eine schwache, weiße Bestäubung auf, die in Abbildung 5a durch eine erhöhte Reflexion zwischen $\lambda = 400$ nm und $\lambda = 600$ nm auch auf den Hinterflügeln angezeigt ist, wie am Exemplar aus Kiketi zu sehen ist.

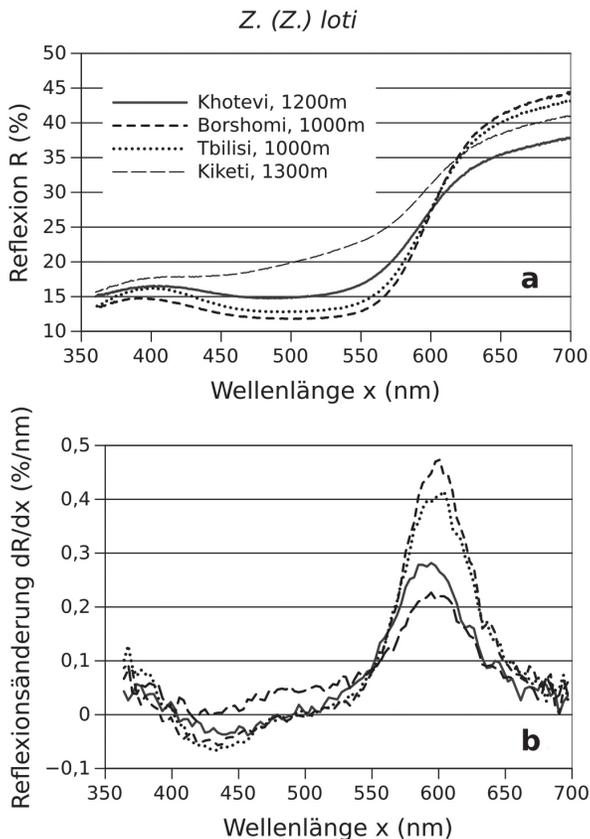


Abb. 5: Reflexion der Hinterflügeloberseite von *Zygaena (Z.) loti* aus unterschiedlichen Gegendern Georgiens; **a** spektrale Reflexion, **b** Steilheit der Reflexionsänderung dR/dx (%/nm) in Abhängigkeit von der Wellenlänge als 1. Ableitung des Spektrums oben.

Fig. 5: Reflectance of the hind wing upper side of *Zygaena (Z.) loti* from different Georgian regions **a** spectral reflectance, **b** slope of the reflectance change dR/dx (%/nm) in dependence on the wavelength as the 1st derivative of the spectrum top.

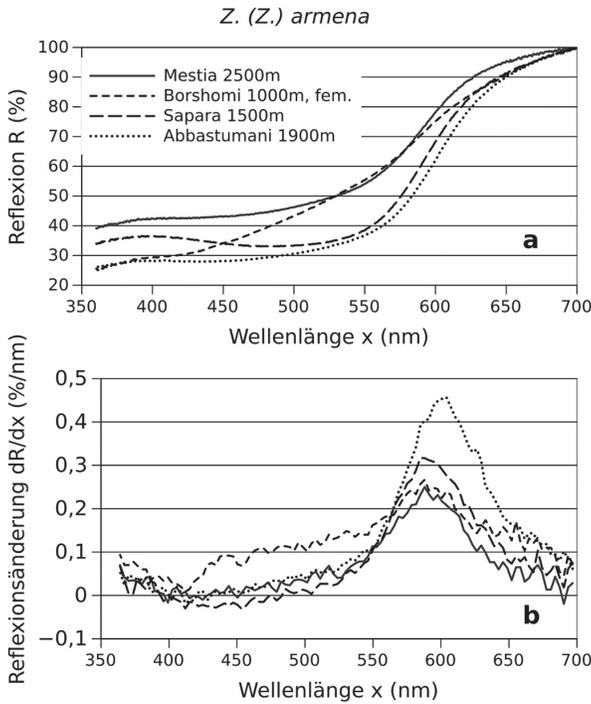


Abb. 6: Reflexion der Hinterflügeloberseite von *Zygaena (Z.) armena* aus unterschiedlichen Gegenden Georgiens mit der ssp. *caucasica* Rebel, 1901 aus Mestia; **a** relative Reflexion, **b** Steilheit der Reflexionsänderung dR/dx (%/nm) in Abhängigkeit von der Wellenlänge als 1. Ableitung des Spektrums oben.
Fig. 6: Reflectance of the hindwing upper side of *Zygaena (Z.) armena* from different Georgian regions with ssp. *caucasica* Rebel, 1901 from Mestia; **a** relative reflectance, **b** slope of the reflectance change dR/dx (%/nm) in dependence on the wavelength as the 1st derivative of the spectrum top.

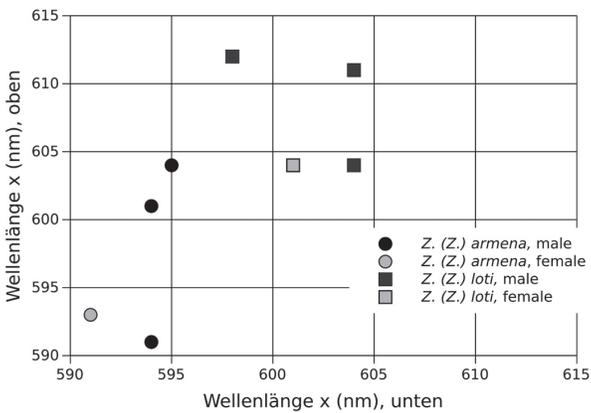


Abb. 7: Größte Steilheit der Wellenlängenänderung auf der Ober- und Unterseite der Hinterflügel von *Zygaena (Z.) armena* (● Männchen, ● Weibchen) und *Z. (Z.) loti* (■ Männchen, ■ Weibchen).
Fig. 7: Steepest slope of the wavelength change on the upper and lower side of the hindwings of *Zygaena (Z.) armena* (● male, ● female) und *Z. (Z.) loti* (■ male, ■ female).

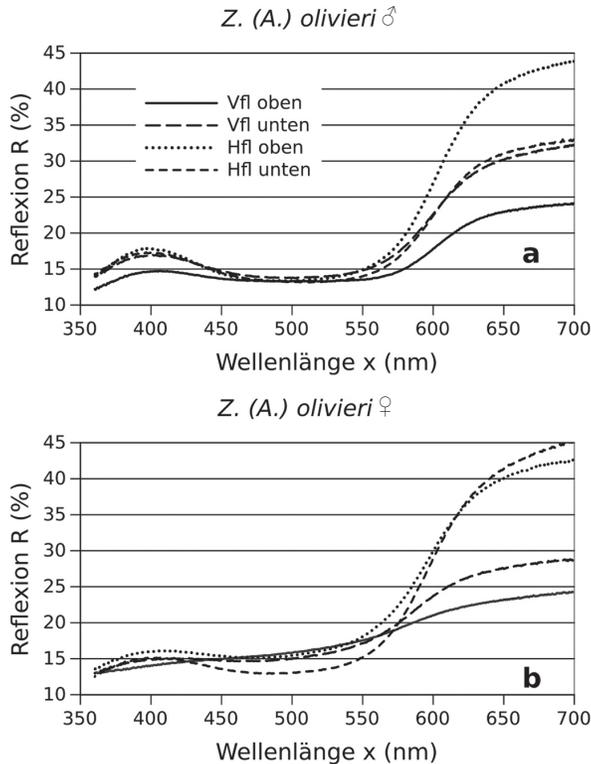


Abb. 8: Spektrale Reflexion der Vorder- und Hinterflügel oben und unten der *Zygaena (A.) olivieri dsidsilia*; **a** Männchen, **b** Weibchen.

Fig. 8: Spectral reflectance of the fore- and hindwings at the upper and lower side of *Zygaena (A.) olivieri dsidsilia*; **a** males, **b** females.

Die weiße Beschuppung tritt bei *Z. (A.) armena* deutlicher hervor als bei *Z. (A.) loti*. Das *Z. (A.) armena*-Weibchen (Borshomi 1000 m) ist auf den Hinterflügeln stärker weiß beschuppt (Abb. 6a), wie auch unter dem Mikroskop zu sehen ist. Durch die deutlich steigende Reflexion von Blau bis Grün erscheinen die Hinterflügel heller und orangefarben. Abbildung 7 zeigt an, dass beide Arten deutlich unterscheidbar sind, wenn die Steilheit der Reflexionsänderung betrachtet wird. Bei *Z. (A.) loti* liegt das Maximum im Mittel auf der Hinterflügeloberseite bei $\lambda = 608$ nm und auf der -unterseite bei $\lambda = 601$ nm, bei *Z. (A.) armena* jedoch bei $\lambda = 598$ nm bzw. bei $\lambda = 593$ nm. Die Hinterflügeloberseite ist in der Regel rötlicher als die -unterseite.

3.3. *Zygaena (Agrumenia) olivieri dsidsilia* und *Zygaena (Agrumenia) haberhaueri*

Obwohl diese beiden Arten visuell deutlich unterscheidbar sind, bezweifelte ALBERTI (1971) die Artverschiedenheit aufgrund gleicher Genitalstrukturen. Die Präimaginalstadien sind jedoch sehr verschieden, so dass es keinen Zweifel gibt, dass es sich um unterschiedliche Arten handelt (BUNTEBARTH 2009). Bei diesen beiden Arten werden sowohl die Geschlechter wie auch die Vorder- und Hinterflügel getrennt behandelt. Weil die Vorderflügel von *Z. (A.) olivieri dsidsilia* einen großen Schwarzanteil besitzen, ist die Reflexion im Mittel deutlich niedriger. Dies betrifft jedoch nur den Gelb-, Orange- und

Rotbereich (Abb. 8a). Im Spektrum von Blau ($\lambda = 450 \text{ nm}$) bis Grün ($\lambda = 550 \text{ nm}$) sind die Reflexionen bei den Männchen nahezu gleich. Ein ausgeprägtes Reflexionsmaximum ist bei $\lambda = 400 \text{ nm}$ angezeigt (Abb. 8a), das bei den Weibchen kaum sichtbar ist (Abb. 8b). Die Flügelunterseiten reflektieren bis auf die Hinterflügelunterseite der Männchen von Orange bis Rot stärker als die Oberseiten, was beim Flug ein Blinken verursacht, wenn die Blinkfrequenz von den Tieren aufgelöst werden kann. Die Hinterflügeloberseiten reflektieren im Rot mit bis zu 45 % sehr stark, so dass sie im Flug als leuchtend rot wahrgenommen werden. Der sichtbare Weißanteil bei den Weibchen erhöht die Reflexion etwas im Spektrum von Blau bis Rot.

Bei *Z. (A.) haberhaueri* reflektieren die Flügeloberseiten der Männchen nur halb so viel Licht im Orange- und Rotbereich (Abb. 9a) wie die von *Z. (A.) olivieri dsidsilia*, die Unterseiten jedoch mehr als die Oberseiten. Auf den Hinterflügeln ist ein Maximum bei $\lambda = 400 \text{ nm}$ oben und unten deutlich ausgeprägt. Bei den Weibchen reflektieren im gesamten Wellenlängenbereich die Hinterflügel sehr viel stärker als die Vorderflügel, was visuell nicht bemerkbar ist. Das Maximum bei $\lambda = 400 \text{ nm}$ ist oben und unten unterschiedlich stark ausgebildet. Im Gegensatz zur nahestehenden *Z. (A.) olivieri dsidsilia* ist die Reflexion im Blaugrün geringer. Die Ableitung der Reflexionsfunktionen ergibt jeweils ein Maximum bei ca. $\lambda = 600 \text{ nm}$, wo die größte Empfindlichkeit der Reflexionsstärke

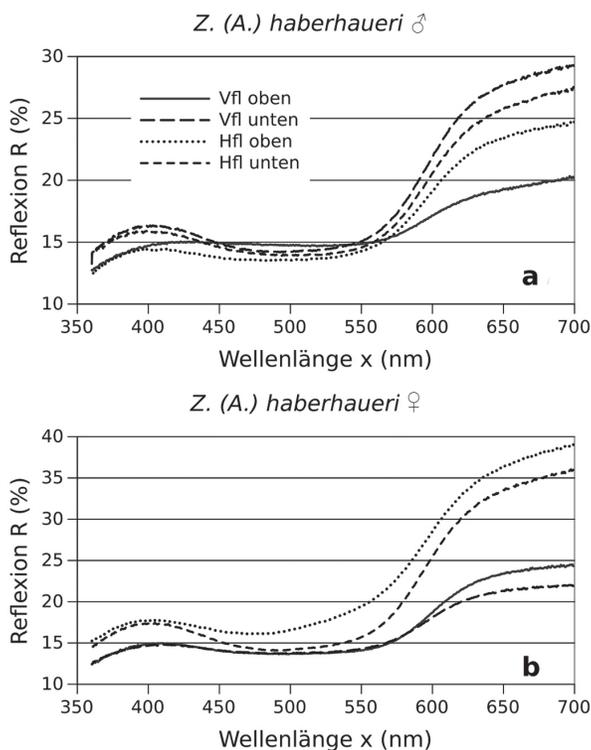


Abb. 9: Spektrale Reflexion der Vorder- und Hinterflügel oben und unten der *Zygaena (A.) haberhaueri*; **a** Männchen, **b** Weibchen.

Fig. 9: Spectral reflectance of the fore- and hindwing at the upper and lower side of *Zygaena (A.) haberhaueri*; **a** males, **b** females.

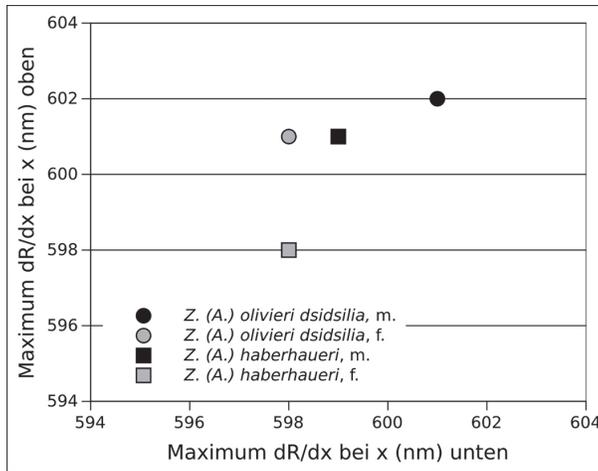


Abb. 10: Größte Steilheit der Wellenlängenänderung auf der Ober- und Unterseite der Hinterflügel von *Zygaena (A.) haberhaueri* (■) und *Z. (A.) olivieri dsidsilia* (●).

Fig. 10: Steepest slope of the wavelength change on the upper and lower side of the hindwings of *Zygaena (A.) haberhaueri* (■) and *Z. (A.) olivieri dsidsilia* (●).

von der Wellenlänge feststellbar ist. Dieses Maximum ist für beide Arten und für beide Geschlechter verschieden (Abb. 10). *Zygaena (A.) olivieri dsidsilia* zeigt auf der Oberseite der Männchen und Weibchen die größte Steigung der Reflexionskurve im rötlichen Orange, und auf der Unterseite zeigen es nur die Weibchen im gelblichen Orange. Bei *Z. (A.) haberhaueri* ist die Steigung der Reflexionskurve der Weibchen oben und unten im gelblichen Orange am größten.

4. Diskussion

Alle untersuchten Arten zeigen entweder ein Maximum der Reflexion bei $\lambda = 400$ nm, zumindest einen Wert von wenigstens 15 %, der bei kürzeren Wellenlängen stark zurückgeht. Daher kann angenommen werden, dass diese Zygaenen Rezeptoren für diesen Wellenlängenbereich haben. Es gibt darüber hinaus artspezifische Unterschiede, die vermutlich auch zur Identifizierung der eigenen Art dienen. Die Sonnenstrahlung hat ihre maximale Intensität bei $\lambda = 500$ nm, die bei $\lambda = 400$ nm um ein Drittel niedriger ist. Es ist auffallend, dass die Reflexion bei den

meisten untersuchten Arten die niedrigere Intensität durch eine entsprechend höhere Reflexion ausgleicht. Ob dieser Befund für die Zygaenen von Bedeutung ist, kann hier nicht geklärt werden.

Besondere Beachtung kommt dem Bereich um $\lambda = 600$ nm zu, weil darin art- und geschlechtsspezifische geringe, aber konstante Unterschiede festzustellen sind, die beim Reflexionsmaximum im tiefen Violett ($\lambda = 400$ nm) fehlen. Bei *Zygaena (Mesembrynus) purpuralis* liegen die mittleren maximalen Steigungen der Reflexionen bei $\lambda = 601$ nm und bei *Zygaena (Mesembrynus) minos* bei $\lambda = 598$ nm. Diese Verschiebung vom rötlichen Orange ins gelbliche Orange können bei manchen Imagines unter Umständen auch vom menschlichen Auge erkannt werden. Der Überlappungsbereich ist dafür verantwortlich, dass eine visuelle Trennung nicht bei allen Tieren gelingt. Zur Differenzierung könnte daher die Farbenanalyse beitragen.

Bei *Zygaena (Agrumenia) loti* und *Zygaena (Agrumenia) armena* ist die Differenzierung deutlicher: Die Maxima der Reflexionsänderung liegen bei *Z. (A.) loti* oberhalb von

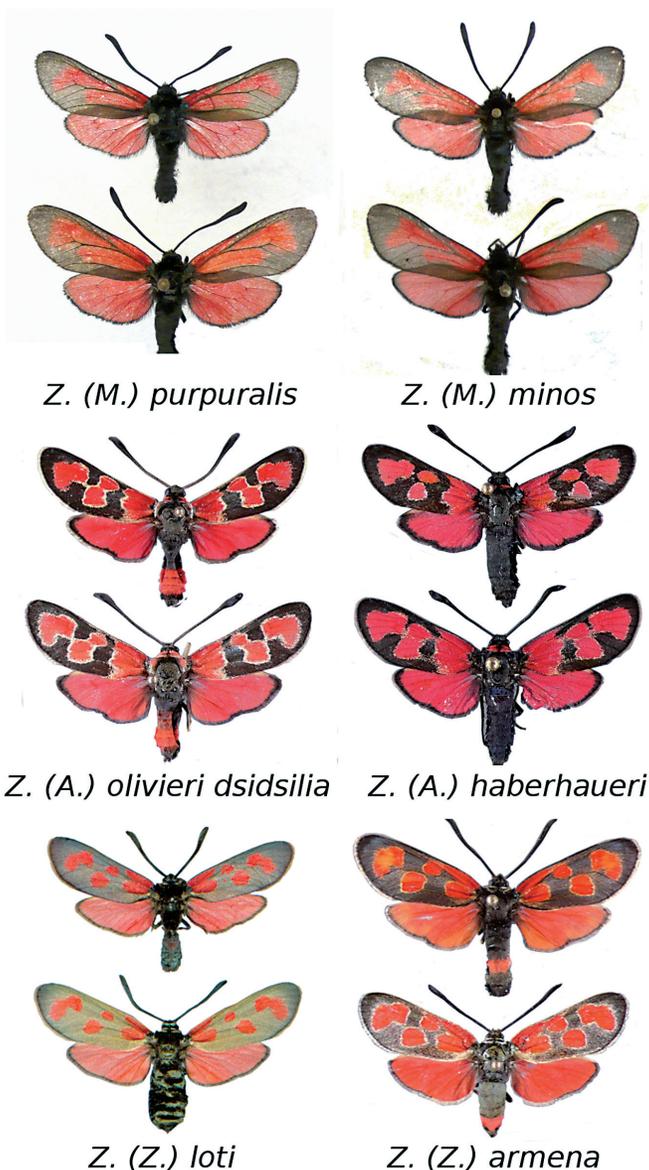


Abb. 11: Männchen und Weibchen der untersuchten Zygaeniden-Arten.
Fig. 11: Males and females of the investigated species of Zygaenidae.

$\lambda = 600 \text{ nm}$ und bei *Z. (A.) armena* darunter. Beide Spezies können auch syntop nach eigenen Beobachtungen bei Borshomi/Georgien vorkommen. Die subjektive Farberkennung des menschlichen Auges wird deutlich an der Darstel-

lung der *Zygaena (Agrumenia) haberhaueri* in Abbildung 11. Die Flecken und Hinterflügel dieser Zygaene haben einen magentafarbenen Anteil, eine Farbe, die nur von der Kamera so wiedergegeben wird, aber das menschliche Auge nicht so deutlich wahrnimmt. Alle

Zygaenen in Abbildung 11 sind unter identischer Beleuchtung im gleichen Abstand aufgenommen. Das Auge erkennt aber kein so leuchtendes Rot mit magentafarbenem Anteil.

Bei der senkrechten Beleuchtung der Objekte mit polarisiertem Licht kann keine Richtungsabhängigkeit festgestellt werden, was zu erwarten ist, weil das Licht von Pigmenten, hauptsächlich von Erythropterin (z. B. BUNTEBARTH 2004), reflektiert wird. Dies bedeutet nicht, dass bei Variation des Einfallswinkels eine Polarisation durch die Struktur der Flügelschuppen eintritt, die von den Zygaenen erkannt und analysiert werden könnte, wie sie von KELBER et al. (2001) über *Papilio* sp. berichtet wird.

Literatur

- ALBERTI, B. (1964): Über *Zygaena armena* Ev. – Ein Beitrag zu den Problemen von Artbildung und Artwertung (Lep., Zygaenidae). Deutsche Entomologische Zeitschrift, N. F. 11: 381-392.
- ALBERTI, B. (1971): Zur Kenntnis der Zygaeniden-Fauna des Grossen Kaukasus und Transkaukasiens (Lepidoptera, Zygaenidae). Faunistische Abhandlungen des Museums für Tierkunde Dresden 3: 51-81.
- BRISCOE, A.D., & CHITTKA, L. (2001): The evolution of color vision in insects. Annual Review of Entomology 46: 471-510.
- BUNTEBARTH, G. (2004): Zur Variation der Zusammensetzung von Farbpigmenten (Pteridine) auf Lepidopteren, insbesondere bei Pieriden und Zygaeniden. Entomologie heute 16: 201-216.
- BUNTEBARTH, G. (2009): Zur Biologie einiger Zygaeniden des Südkaukasus (Lepidoptera: Zygaenidae). Entomologische Zeitschrift 119: 87-92.
- BUNTEBARTH, G., DIDMANIDZE, E., & PETROV, V. (2011): Beitrag zur Verbreitung des Genus *Zygaena* (Lepidoptera: Zygaenidae) in Georgien während der letzten 100 Jahre. Entomologie heute 23: 79-92.
- LAND, M.F., & NILSSON, D.-E. (2006): Animal eyes. Oxford University Press; Oxford.
- EBERT, G., & HOFMANN, A. (1994): Die Rotwidderchen (*Aglaope*, *Zygaena*) Baden-Württembergs. Pp. 195-335 in: EBERT, G. (Hrsg.): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 3. Ulmer; Stuttgart.
- KELBER, A., THUNELL, C., & ARIKAWA, K. (2001): Polarisation-dependent colour vision in *Papilio* butterflies. Journal of Experimental Biology 204: 2469-2480.
- KNÜTTEL, H., & FIEDLER, K. (2001): Host-plant-derived variation in ultraviolet wing patterns influence mate selection by male butterflies. Journal of Experimental Biology 204: 2447-2459.
- NAUMANN, S., & NAUMANN, C.M. (1980): Ein Beitrag zur Kenntnis der Zygaenen-Fauna Nord- und Ost-Anatoliens (Lep., Zygaenidae). Entomofauna 1: 302-353.
- SCHERER, C., & KOLB, G. (1987): Behavioral experiments on the visual processing of colour stimuli in *Pieris brassicae* L. (Lepidoptera). Journal of Comparative Physiology A 160: 645-656.
- STAVENGA, D.G., & ARIKAWA, K. (2006): Evolution of color and vision of butterflies. Arthropod Structure and Development 35: 307-315.
- YURTSEVER, S., OKYAR, Z., & GULER, N. (2010): What colour of flowers do Lepidoptera prefer for foraging. Biologia 65/6: 1049-1056.

Prof. Dr. Günter Buntebarth
 Ampferweg 10
 D-38678 Clausthal-Zellerfeld
 E-Mail: pgg@tu-clausthal.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Entomologie heute](#)

Jahr/Year: 2018

Band/Volume: [30](#)

Autor(en)/Author(s): Buntebarth Günter

Artikel/Article: [Farbunterschiede bei nahestehenden Arten des Genus Zygaena \(Lepidoptera: Zygaenidae\). Colour Differences in Closely Related Species of the Genus Zygaena \(Lepidoptera: Zygaenidae\) 55-66](#)