Beiträge zur Entomofaunistik 25: 57–72 | Wien, Dezember 2024

# Metabarcoding als Beitrag zur Biodiversitätserhebung (Insecta): faunistische Ergebnisse einer Malaisefallenbeprobung (Naturpark Kaunergrat, Tirol, Österreich)

Sigrid ZOBL*, Andreas ECKELT**, Benjamin SCHATTANEK-WIESMAIR** & Peter HUEMER**

**Abstract**

**Metabarcoding as a contribution to biodiversity survey (Insecta): faunistic results of a malaise trap sampling (Kaunergrat Nature Park, Tyrol, Austria).** – As part of a biodiversity survey, arthropods (mainly flying insects) were sampled in the Kaunergrat Nature Park area from May 17 to September 21, 2021, using a Malaise trap. Due to a lack of experts in many groups and for cost reasons, identifications primarily used a DNA-based approach (metabarcoding). From sequences of the COI gene, 2177 barcode clusters (OTUs) were identified. However, the majority of sequences could not be assigned to valid species due to the lack of reference sequences or discrepancies in many sequences. This study only considers sequences that could be unambiguously assigned to a species name. Using existing DNA barcode reference sequences from the BOLD database which clustered into barcode index numbers (BINs), 818 species were identified at the species level. The order with the highest number of species is Diptera (396 spp.), followed by Hymenoptera (174 spp.), Lepidoptera (101 spp.), Coleoptera (63 spp.), and Hemiptera (59 spp.). The remaining 25 species belong to eight other arthropod groups. The significance of the survey for faunistic research in the region is enormous. It is underscored by the presence of 96 species not previously reported for Austria according to the Fauna Europaea database, particularly from the orders Diptera (69 spp.) and Hymenoptera (26 spp.). The majority of these species are likely new records for Austria, although specific cases could only be resolved sporadically due to a lack of group-specific expertise. Due to incomplete faunistic studies in many groups, the number of potential first records for Tyrol cannot currently be determined.

**Key words:** Alps, species diversity, insects, mtCOI gene, new records, Nature Park Kaunergrat.

**Zusammenfassung**

Im Rahmen einer Biodiversitätserhebung wurden vom 17.5.–21.9.2021 im Gebiet des Naturparks Kaunergrat Fluginsekten mit einer Malaisefalle beprobt. Die Bestimmung der Insekten basiert dabei auf dem Metabarcoding-Ansatz bei dem die Tiere über ihre DNA identifiziert werden. Aufgrund eines immer größer werdenden Mangels an Taxonomen und aus Kostengründen wird der Einsatz dieser sowohl kostengünstigen als auch personalressourcenschonenden Methode hier untersucht. Dabei wurden aus den Sequenzen des COI-Gens der gesammelten Insektenproben insgesamt 2.177 Barcode-Cluster (OTUs) identifiziert. Die Mehrheit dieser Operational Taxonomic Units konnte jedoch keiner gültigen Art zugeordnet werden, da Referenzsequenzen bis dato fehlen. Für die vorliegende Studie

* Dr. Sigrid ZOBL, Naturpark Kaunergrat, Gachenblick 100, 6521 Fließ, Österreich (*Austria*). E-Mail: sigrid.zobl@kaunergrat.at

** Mag. Andreas ECKELT, Benjamin SCHATTANEK-WIESMAIR, MA, Mag. Dr. Peter HUEMER, Naturwissenschaftliche Sammlung, Sammlungs- und Forschungszentrum, Tiroler Landesmuseen-Betriebsgesellschaft m.b.H., Krajnc-Straße 1, 6060 Hall, Österreich (*Austria*). E-Mails: a.eckelt@tiroler-landesmuseen.at, b.wiesmair@tiroler-landesmuseen.at, p.huemer@tiroler-landesmuseen.at

wurden nur Sequenzen berücksichtigt, die eindeutig auf Artebene zuordenbar sind (pragmatischer Ansatz). Mit Hilfe bestehender DNA-Barcode-Referenzsequenzen aus der BOLD-Datenbank, geclustert zu Barcode-Indexnummern (BINs), werden 818 Arten eindeutig auf Artniveau identifiziert. Die mit Abstand artenreichste Ordnung sind die Zweiflügler (Diptera; 396 spp.), gefolgt von den Hautflüglern (Hymenoptera; 174 spp.), Schmetterlingen (Lepidoptera; 101 spp.), Käfern (Coleoptera; 63 spp.) und Schnabelkerfe (Hemiptera; 59 spp.). Die verbleibenden 25 Arten verteilen sich auf weitere acht Arthropodengruppen. Die Bedeutung der Erhebungen für die faunistische Landesforschung ist enorm und wird durch 96 in der Fauna Europaea bisher nicht für Österreich gemeldete Arten bestätigt. Diese gehören fast ausnahmslos zu den Ordnungen der Zweiflügler (Diptera; 69 spp.) und Hautflügler (Hymenoptera; 26 spp.). Ein überwiegender Teil dieser Arten dürfte als Erstmeldung für Österreich einzuschätzen sein. Konkrete Fälle konnten jedoch, mangels gruppenspezifischer Expertise, nur punktuell gelöst werden. Aufgrund des bestehenden unvollständigen faunistischen Bearbeitungsstandes innerhalb vieler Gruppen kann auch die Anzahl an potenziellen Erstfunden für Tirol derzeit noch nicht verlässlich konstatiert werden.

## Einleitung

Die faunistische Erfassung von Tierarten ist eine Kernaufgabe zoologischer Forschung und essenzielle Grundlage für zahlreiche Fragen des Biodiversitätsschutzes. In Österreich im Allgemeinen und in Tirol im Besonderen werden seit der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts Arten erhoben. Sowohl die geografische Abdeckung als auch der Bearbeitungsstand taxonomischer Gruppen gestalten sich ausgesprochen heterogen. So geht die neueste Zählung österreichischer Tierarten von mehr als 54.000 Arten aus (Geiser 2018). Jedoch für megadiverse Insektenordnungen, wie die der Hautflügler (Hymenoptera) und Zweiflügler (Diptera), beruhen diese Zahlen nur auf groben Schätzungen. Lediglich in traditionell gut erforschten Gruppen wie z. B. Libellen (Odonata), Heuschrecken (Orthoptera), Käfer (Coleoptera), Schmetterlinge (Lepidoptera) oder naturgemäß den Wirbeltieren gilt der Artenbestand als weitgehend erfasst. Ähnliches gilt auch für den Erhebungsstand der Fauna in sämtlichen Bundesländern einschließlich Tirol. Exakte Artenzahlen sind nur für wenige Gruppen dokumentiert und vielfach nicht einmal ansatzweise bekannt. Eine inzwischen zwar schon überarbeitungsbedürftige Erhebung des gesamten Artenbestandes an Tieren – aus dem an Österreich angrenzenden Südtirol – listet beispielsweise 14.700 Arten, jedoch bei gleichzeitig vermuteten 32.000 Arten (Hellrigl 1996). Basierend auf diesen Zahlen lassen sich bereits die enormen Defizite in der Erfassung der regionalen Faunen ableiten, mit allen Konsequenzen für eine seriöse Abschätzung des viel diskutierten Artenrückganges. Diese Lücken erschweren oder verunmöglichen somit sowohl die Erstellung von Roten Listen als auch die Entwicklung zukünftiger Monitoringprogramme.

Eine Verbesserung der genannten Problematik scheint durch die in den letzten zwei Jahrzehnten aufkommenden genetischen Bestimmungsmethoden, insbesondere des sogenannten DNA-Barcodings (Hebert et al. 2003), möglich. Diese molekular basierte Bestimmungsmethode erlaubt, dank stetig wachsender Referenzbibliotheken, inzwischen eine umfassendere Identifikation von Artengarnituren, und gleicht somit den gravierenden Mangel an taxonomischer Expertise in Österreich und in ganz Europa (Hochkirch et al. 2022) wenigstens teilweise aus. Basierend auf genetischen Artbestimmungen

können auch zunehmend standardisierte Beprobungen artenreicher Faunenbestandteile eingesetzt werden, da eine anschließende molekulare Identifikation der Proben gesichert und gleichzeitig relativ kostengünstig ist. In jüngster Vergangenheit hat sich für die besonders diversen Fluginsekten der Einsatz von Malaisefallen mit einer nachfolgenden Massensequenzierung über Metabarcoding bewährt und wurde beispielsweise im benachbarten Deutschland bereits im großen Stil eingesetzt (Geiger et al. 2016).

Wir berichten hier erstmals von faunistischen Ergebnissen aus einer derartigen saisonalen Malaisefallenbeprobung in Tirol mit anschließender Bestimmung der Proben durch Metabarcoding über „genetische Fingerprints“ (DNA-Barcodes).

## Material und Methodik

### Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (Abb. 1–4) liegt in südexponierter Hanglange und befindet sich circa 200 m Luftlinie entfernt vom Natura 2000-Gebiet Fließer Sonnenhänge. Die Falle wurde auf einer nicht beweideten Fläche mit dreischüriger Mahd aufgestellt, sowohl nördlich als auch südlich grenzt ein bewaldetes Areal an. Koordinaten: 47.123254 N / 10.616872 E (WGS 84) (Abb. 1, 2).

Tab. 1: Die 17 Proben (Anzahl der Leerungen) der Malaisefalle im Sammelzeitraum von 17.5.2021 bis 22.9.2021 sind in acht Zeiteinheiten zusammengefasst (Probennr., AIM, Datum). Weitere Details siehe Anmerkungen. */ The 17 samples (number of emptyings) of the Malaise traps in the collection period from 17.5.2021 to 22.9.2021 are summarized in eight time units (sample number, AIM, date). For further details see annotations.*

| Probennr. AIM | Masse[i)] [g] | Datum (von) | Datum (bis) | zwei [✓✓] oder drei [✓✓✓] Leerungen | Anmerkungen |
|---|---|---|---|---|---|
| EC_2021_144_001 | 269 | 17.5.2021 | 10.6.2021 | ✓✓ | |
| EC_2021_144_002 | 275 | 10.6.2021 | 28.6.2021 | ✓✓✓ | |
| EC_2021_144_003 | 243 | 30.6.2021 | 13.7.2021 | ✓✓ | 1. Mahd, Falle neu adjustiert |
| EC_2021_144_004 | 251 | 13.7.2021 | 30.7.2021 | ✓✓ | |
| EC_2021_144_005 | 291 | 30.7.2021 | 13.8.2021 | ✓✓ | Falle neu adjustiert, Rasenhöhe ~15 cm |
| EC_2021_144_006 | 282 | 13.8.2021 | 27.8.2021 | ✓✓ | 2. Mahd 20.8.2021 |
| EC_2021_144_007 | 246 | 27.8.2021 | 10.9.2021 | ✓✓ | Tagesmaxima ~10 °C |
| EC_2021_144_008 | 278 | 10.9.2021 | 22.9.2021 | ✓✓ | 3. Mahd 22.9.2021 |

i) Masse einer befüllten Probenflasche à 250 ml, wobei der Restrauminhalt jeweils mit Alkohol aufgefüllt wurde.

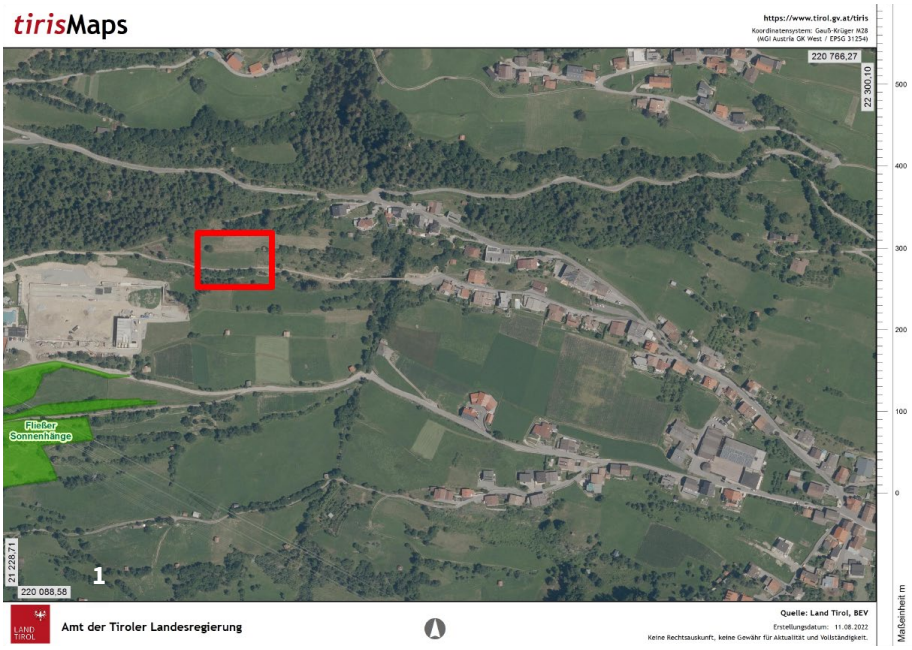

Abb. 1–2: Standort der Malaisefalle: (1) Malaisefalle nordöstlich der Fließer Sonnenhänge des Natura 2000-Gebietes (grüne Fläche), (2) die Malaisefalle (Pfeil) inmitten eines Magerrasens: asphaltierter Spazierweg 21 m südlich sowie Waldstreifen 23 m nördlich und südlich. */ Site of Malaise trap: (1) Malaise trap north east of Fließer Sonnenhänge (Natura 2000 area) (green area), (2) the Malaise trap (arrow) amidst a nutrient-poor grassland: sealed footpath 21 m south and strips of forest 23 m north and south.*

Abb. 3–4: Standort der Malaisefalle: (3) Malaisefalle (roter Kreis), (4) nordwestliche Ausrichtung der Falle am südexponierten Hang. / *Site of Malaise trap: (3) Malaise trap (red circle), (4) northwestern orientation of the trap on the south-exposed slope.* © S. Zobl.

### Wetter

Das Wetter wies im Untersuchungszeitraum von Mai bis September 2021 ein Temperaturmaximum im Juni mit 33,2 °C auf und die Summe der Monatsniederschlagsmaxima betrug für die Monate Juli und August 2021 laut ZAMG je 163 mm. Die durchschnittliche Lufttemperatur pro Tag, 5 cm über dem Boden gemessen, lag bei 10,1 °C bis 12,7 °C von Juni bis September.

### Beprobung

Zum Sammeln der Proben diente von 17.5.2021 bis 21.9.2021 eine Malaisefalle (Bioform). Der Sammelbehälter der Falle war konstant mit 750 ml Ethylalkohol (Ethanol PRIMA 96 % vol.) befüllt. Zweimal wöchentlich erfolgte eine Kontrolle, um ein Trockenfallen der Proben zu verhindern. Der Zeitraum zwischen den Leerungen betrug zwei Wochen. Die einzelnen Leerungen wurden zu acht Proben zusammengeführt und bei 7 °C gelagert (Tab. 1) und am Ende der Sammelperiode an das Analyselabor (Advanced Identification Methods AIM, Leipzig, Deutschland) übermittelt. Das Labor nahm vor der Sequenzierung noch eine Größenfraktionierung vor (< 6,5 mm >), der weitere Ablauf folgt Morinière et al. (2016).

### Systematik und taxonomische Zuordnung

Die Auswahl der Arten folgte – in Anbetracht vieler problematischer und unsicherer Taxa in den Rohdaten – einem pragmatischen Ansatz, der auch für zukünftige faunistische Auswertungen von Metabarcodingdaten als Beispiel dienen kann, insbesondere bei mangelnder taxonomischer Expertise in den betroffenen Gruppen. Als Referenz für den genetischen Abgleich wurde ausschließlich die Datenbank BOLD herangezogen und potenzielle ergänzende Determinationshinweise aus GenBank und RDP aufgrund der höheren Fehleranfälligkeit dieser Daten konsequent nicht berücksichtigt.

Die zu berücksichtigenden Taxa wurden basierend auf nachfolgenden Kriterien aus der Rohdatenliste gefiltert:

Ausschließliche Berücksichtigung von Taxa mit BOLD Hits > 97 %

- Eliminierung aller Datensätze ohne Artnamen in BOLD
- Eliminierung aller nicht auf Artniveau bestimmten Taxa (sp. und cf. species)
- Eliminierung von (wenigen) Duplikaten von Artnamen
- Eliminierung aller Taxa mit BIN-sharing

Die Taxaliste (Supplementtabelle 1; aufrufbar unter oegef.at/) basiert im Wesentlichen auf der bei Fauna Europaea verwendeten Systematik und Nomenklatur (DE JONG 2014). Diese wurde, bei nicht inkludierten Taxa sowie erst kürzlich vorgenommenen aber bekannten Änderungen, wenn möglich weitgehend adaptiert.

**Faunistische Analysen**

Potenzielle Erstnachweise für die Fauna Österreichs orientieren sich primär an faunistischen Angaben der Fauna Europaea beziehungsweise dort fehlenden Meldungen für das Bundesgebiet. De facto zeigen die fehlenden Landeseinträge die Grenzen dieser Datenbank auf. Neben tatsächlichen Erstmeldungen kann das belegte Vorkommen bestimmter Arten übersehen worden sein, das gilt insbesondere für Dipteren (Szucsich in litt.). Weiters wurden seit Veröffentlichung der Letztversion viele faunistische Neufunde publiziert, aber nicht mehr in die Datenbank eingepflegt. Das betrifft sowohl in der Fauna Europaea gelistete Arten als auch zusätzliche, teils neu beschriebene Taxa, die erst nach der letzten Überarbeitung berücksichtigt wurden.

## Ergebnisse

**Gesamtübersicht**

Von 2.177 Sequenzclustern konnten 818 auf Grund zweifelsfreier genetischer Zuordnung zu Referenzsequenzen in BOLD auf Artniveau bestimmt werden. Die 818 Arten verteilen sich auf 13 Ordnungen, darunter vor allem Zweiflügler (Diptera; 396 spp.), Hautflügler (Hymenoptera; 174 spp.), Schmetterlinge (Lepidoptera; 101 spp.), Käfer (Coleoptera; 63 spp.) und Schnabelkerfe (Hemiptera; 59 spp.). Weitere 25 Arten gehören zu acht zusätzlichen Ordnungen (Abb. 5).

Die vorerst unbestimmten, etwa 1.300 Cluster belegen jedoch eine wesentlich größere genetische Vielfalt. Diese sind allerdings mangels Referenzsequenzen oder aufgrund von Barcode-Sharing aktuell nicht auf Artniveau identifizierbar. Etliche dieser Arten wären auch durch eine entsprechende Kontrolle von Expert*innen über ihre Sequenzen bestimmbar, dies liegt jedoch außerhalb des hier gewählten pragmatischen Ansatzes (siehe Methodikteil) dieser Arbeit.

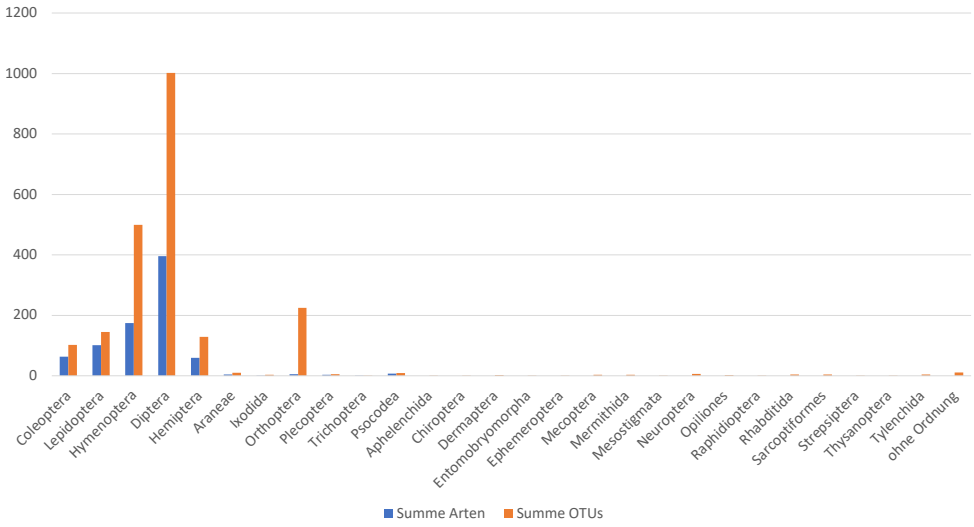


Abb. 5: Aktuell auf Artniveau bestimmbare, subsumierte Artendiversität pro Tiergruppe. / *Subsumed diversity of species currently determinable to species level, per animal group.*

Die komplette Taxa-Liste findet sich in Supplementtabelle 1 (aufrufbar unter oegef.at/). Rohdaten sowie nicht bestimmte Cluster können bei Bedarf bei den Autoren angefragt werden.

In einem taxonomischen Abgleich mit der einzigen für alle Tierordnungen auf europäischer Ebene und auch bundesweit verfügbaren Datenbank Fauna Europaea fanden sich für 96 Arten keine Nachweise für Österreich (Tab. 2). Unter diesen beinahe 100 potenziellen Neufunden für das Bundesgebiet überwiegen mit Abstand die Gruppen der Diptera (69 spp.) und Hymenoptera (26 spp.) und somit Arten aus faunistisch und teils taxonomisch bisher unzureichend behandelten Insektenordnungen. Mehrere der aufgelisteten Arten fehlen in der Fauna Europaea und es finden sich daher auch keine relevanten Einträge. Es handelt sich hierbei insbesondere um übersehene Taxa, aber auch um rezente Neubeschreibungen.

Tab. 2: Erstmeldungen für Österreich nach Fauna Europaea. / *First records for Austria according to Fauna Europaea.*

| **Ordnung** | **Familie** | **Taxon** |
|---|---|---|
| Diptera | Agromyzidae | *Agromyza bromi* SPENCER, 1966 |
| Diptera | Agromyzidae | *Agromyza mobilis* MEIGEN, 1830 |
| Diptera | Agromyzidae | *Amauromyza karli* (HENDEL, 1927) |
| Diptera | Agromyzidae | *Cerodontha lapplandica* (RYDEN, 1956) |

| Ordnung | Familie | Taxon |
|---|---|---|
| Diptera | Agromyzidae | *Liriomyza flaveola* (Fallén, 1823) |
| Diptera | Agromyzidae | *Liriomyza ptarmicae* de Meijere, 1925 |
| Diptera | Agromyzidae | *Chromatomyia ramosa* (Hendel, 1923) |
| Diptera | Agromyzidae | *Phytomyza vitalbae* Kaltenbach, 1872 |
| Diptera | Anthomyiidae | *Anthomyia bazini* Seguy, 1929 |
| Diptera | Anthomyiidae | *Anthomyia procellaris* Rondani, 1866 |
| Diptera | Anthomyiidae | *Delia penicilliventris* Ackland, 2010 |
| Diptera | Anthomyiidae | *Emmesomyia socia* (Fallén, 1825) |
| Diptera | Anthomyiidae | *Eustalomyia histrio* (Zetterstedt, 1838) |
| Diptera | Anthomyiidae | *Lasiomma seminitidum* (Zetterstedt, 1845) |
| Diptera | Anthomyiidae | *Subhylemyia longula* (Fallén, 1824) |
| Diptera | Bibionidae | *Bibio nigriventris* Haliday, 1833 |
| Diptera | Calliphoridae | *Tricogena rubricosa* (Meigen, 1824) |
| Diptera | Cecidomyiidae | *Anaretella iola* Pritchard, 1951 |
| Diptera | Cecidomyiidae | *Dasineura spadicea* Rubsaamen, 1917 |
| Diptera | Cecidomyiidae | *Porricondyla colpodioides* Mamaev, 1963 |
| Diptera | Cecidomyiidae | *Resseliella theobaldi* (Barnes, 1927) |
| Diptera | Ceratopogonidae | *Atrichopogon brunnipes* (Meigen, 1804) |
| Diptera | Ceratopogonidae | *Atrichopogon muelleri* (Müller, 1905) |
| Diptera | Ceratopogonidae | *Dasyhelea incisurata* Remm, 1962 |
| Diptera | Chironomidae | *Bryophaenocladius nigrus* Albu, 1974 |
| Diptera | Chironomidae | *Limnophyes difficilis* Brundin, 1947 |
| Diptera | Chironomidae | *Limnophyes edwardsi* Saether, 1990 |
| Diptera | Chironomidae | *Paracladius quadrinodosus* Hirvenoja, 1973 |
| Diptera | Conopidae | *Sicus ferrugineus* (Linnaeus, 1761) |
| Diptera | Dolichopodidae | *Medetera belgica* Parent, 1936 |
| Diptera | Dolichopodidae | *Medetera pseudoapicalis* Thuneberg, 1955 |
| Diptera | Dolichopodidae | *Medetera setiventris* Thuneberg, 1955 |
| Diptera | Dolichopodidae | *Medetera veles* Loew, 1861 |
| Diptera | Hybotidae | *Trichina opaca* Loew, 1864 |
| Diptera | Keroplatidae | *Orfelia tristis* (Lundström, 1911) |
| Diptera | Milichiidae | *Desmometopa sordida* (Fallén, 1820) |
| Diptera | Muscidae | *Coenosia lineatipes* (Zetterstedt, 1845) |
| Diptera | Mycetophilidae | *Brevicornu verralli* (Edwards, 1925) |

| Ordnung | Familie | Taxon |
|---|---|---|
| Diptera | Mycetophilidae | *Megophthalmidia crassicornis* (CURTIS, 1837) |
| Diptera | Mycetophilidae | *Mycetophila gemerensis* SEVCIK & KURINA, 2011 |
| Diptera | Mycetophilidae | *Mycetophila stricklandi* (LAFFOON, 1957) |
| Diptera | Mycetophilidae | *Platurocypta punctum* (STANNIUS, 1831) |
| Diptera | Mycetophilidae | *Sceptonia demeijerei* BECHEV, 1997 |
| Diptera | Mycetophilidae | *Sceptonia nigra* (MEIGEN, 1804) |
| Diptera | Mycetophilidae | *Trichonta subterminalis* ZAITZEV & MENZEL, 1996 |
| Diptera | Phoridae | *Megaselia haraldlundi* DISNEY, 1995 |
| Diptera | Pipunculidae | *Eudorylas subfascipes* COLLIN, 1956 |
| Diptera | Pipunculidae | *Tomosvaryella coquilletti* (KERTÉSZ, 1907) |
| Diptera | Psilidae | *Chamaepsila atra* (MEIGEN, 1826) |
| Diptera | Psilidae | *Loxocera aristata* (PANZER, 1801) |
| Diptera | Psychodidae | *Philosepedon humeralis* (MEIGEN, 1818) |
| Diptera | Psychodidae | *Psychoda grisescens* TONNOIR, 1922 |
| Diptera | Psychodidae | *Psychoda lobata* TONNOIR, 1940 |
| Diptera | Psychodidae | *Psychoda satchelli* QUATE, 1955 |
| Diptera | Psychodidae | *Psychoda surcoufi* TONNOIR, 1922 |
| Diptera | Scathophagidae | *Cordilura albipes* FALLÉN, 1819 |
| Diptera | Sciaridae | *Bradysia fenestralis* (ZETTERSTEDT, 1838) |
| Diptera | Sciaridae | *Bradysia lembkei* MOHRIG & MENZEL, 1990 |
| Diptera | Sciaridae | *Camptochaeta sicilicula* HIPPA & VILKAMAA, 1994 |
| Diptera | Sciaridae | *Camptochaeta uniformis* (MOHRIG & MENZEL, 1990) |
| Diptera | Sciaridae | *Corynoptera concinna* (WINNERTZ, 1867) |
| Diptera | Sciaridae | *Cratyna cryptospina* (RUDZINSKI, 1993) |
| Diptera | Sciaridae | *Lycoriella weberi* MENZEL & HELLER, 2013 |
| Diptera | Sciaridae | *Pseudolycoriella brunnea* (BUKOWSKI & LENGERSDORF, 1936) |
| Diptera | Sciaridae | *Pseudolycoriella compacta* HELLER, 2000 |
| Diptera | Sciaridae | *Pseudolycoriella paludum* (FREY, 1948) |
| Diptera | Sciaridae | *Scatopsciara subciliata* TUOMIKOSKI, 1960 |
| Diptera | Sciaridae | *Sciara hebes* (LOEW, 1869) |
| Diptera | Simuliidae | *Simulium kiritshenkoi* RUBTSOV, 1940 |
| Hemiptera | Aphididae | *Brachycaudus ballotae* (PASSERINI, 1860) |
| Hymenoptera | Braconidae | *Aleiodes ruficornis* (HERRICH-SCHAEFFER, 1838) |
| Hymenoptera | Braconidae | *Chelonus andrievskii* TOBIAS, 1972 |

| Ordnung | Familie | Taxon |
|---|---|---|
| Hymenoptera | Braconidae | *Leiophron pallidistigma* Curtis, 1833 |
| Hymenoptera | Braconidae | *Aleiodes nunbergi* (Noskiewicz, 1956) |
| Hymenoptera | Braconidae | *Aphidius avenae* Haliday, 1834 |
| Hymenoptera | Braconidae | *Chelonus inanitus* (Linnaeus, 1767) |
| Hymenoptera | Braconidae | *Pygostolus falcatus* (Nees, 1834) |
| Hymenoptera | Dryinidae | *Anteon cameroni* Kieffer, 1905 |
| Hymenoptera | Dryinidae | *Gonatopus solidus* (Haupt, 1938) |
| Hymenoptera | Encyrtidae | *Ixodiphagus hookeri* (Howard, 1908) |
| Hymenoptera | Eulophidae | *Aprostocetus minimus* (Ratzeburg, 1848) |
| Hymenoptera | Eulophidae | *Kocourekia debilis* (Ratzeburg, 1852) |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Casinaria subglabra* Thomson, 1887 |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Diadegma erucator* (Zetterstedt, 1838) |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Exochus nigripalpis* Thomson, 1887 |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Gelis cayennator* (Thunberg, 1822) |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Homotropus pallipes* (Gravenhorst, 1829) |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Hyposoter caedator* (Gravenhorst, 1829) |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Olesicampe tarsator* (Thomson, 1887) |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Ophion crassicornis* Brock, 1982 |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Ophion parvulus* Kriechbaumer, 1879 |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Perithous septemcinctorius* (Thunberg, 1824) |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Phygadeuon leucostigmus* Gravenhorst, 1829 |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Phygadeuon variabilis* Gravenhorst, 1829 |
| Hymenoptera | Ichneumonidae | *Stenomacrus deletus* (Thomson, 1897) |
| Hymenoptera | Pteromalidae | *Gastrancistrus amaboeus* Walker, 1848 |

### Gruppenspezifische Resultate

Nachfolgend werden ausgewählte relevante gruppen- und artspezifische Ergebnisse kurz dargestellt. Reihung systematisch nach Ordnungen.

### Ordnung Heuschrecken (Orthoptera)

Die Ordnung Orthoptera ist in Österreich mit 139 Arten vertreten und ist bedingt durch eine rezente monographische Bearbeitung (Zuna-Kratky et al. 2017) gut bearbeitet. Für die große Mehrzahl der Arten liegt auch eine umfangreiche DNA-Barcode-Bibliothek vor, die knapp 80 % der mitteleuropäischen Arten umfasst (Hawlitschek et al. 2017). Demnach sind etwa 76 % der untersuchten Arten einschließlich aller untersuchten

Ensifera über ihren DNA-Barcode eindeutig zu bestimmen. In den Caelifera-Familien Acrididae und Tetrigidae wurde hingegen das weit verbreitete Barcode-Sharing, teils sogar über generische Grenzen hinweg, belegt. Auch nicht funktionale, nukleare Kopien mitochondrialer Gene (NUMTS) als potenzielles Problem für Barcode-Bestimmungen werden diskutiert (Hawlitschek et al. 2017). Die Unzulänglichkeit in der Bestimmung von Orthopteren mittels Barcoding zeigt sich auch gravierend in unseren Proben. Von den 225 genetischen Clustern (OTUs) konnten ausschließlich fünf zweifelsfrei auf Artniveau bestimmt werden. Weitere potenziell beprobte Arten sind aktuell nicht mit Sicherheit zu determinieren.

**Ordnung Hautflügler (Hymenoptera)**

Die Artenzahlen zu den Hautflüglern in Österreich beruhen bislang lediglich auf groben Schätzungen. Schwarz (2014) listet weitgehend nach Meldungen in der Fauna Europaea 6.689 Arten für das Bundesgebiet, Geiser (2018) kommt in einer Extrapolierung auf etwa 11.200 Arten. Für Tirol liegt bisher kein umfassendes Verzeichnis der Hautflügler vor. Anhaltspunkte zu den Erfassungsdefiziten gibt Hellrigl (1996) für Südtirol: 1.480 gesicherten Artnachweisen steht eine geschätzte Artenzahl von 6.000 gegenüber. Im Bundesland Tirol wurden lediglich einzelne Gruppen mit eher größeren und auffälligeren Arten, wie die Bienen und Blumenwespen (Apoidea), bereits frühzeitig einigermaßen umfassend erhoben. Rezent folgten nur wenige, über lokale Erfassungen hinausreichende landesweite Bearbeitungen wie beispielsweise von Grabwespen (Dolfuss 1983), Ameisen (Glaser 2001) oder Bauchsammlerbienen (Megachilinae) (Stöckl 2000).

Aus den hier diskutierten Malaisefallenbeprobungen konnten 174 Hymenoptera-Arten bestimmt werden, das ist allerdings nur ein Bruchteil der insgesamt 499 genetischen Cluster. Insbesondere bei parasitischen Hymenopteren besteht noch ein enormer Mangel an Referenzsequenzen. So stehen beispielsweise 14 auf Artniveau bestimmbare Braconidae aktuell 64 nicht bestimmten Clustern gegenüber. In der besonders diversen Familie Ichneumonidae konnten ebenfalls nur 64 von 210 Clustern einer Art zugeordnet werden. In dieser einzelnen Familie finden sich bereits 12 Arten die laut Fauna Europaea in Österreich bisher unbekannt waren. Insgesamt beläuft sich die Zahl an potenziellen Neufunden für das Bundesgebiet auf 26 Arten.

**Ordnung Käfer (Coleoptera)**

Die Gruppe der Käfer gilt in Österreich, im Vergleich zu anderen Insektenordnungen, als relativ gut untersucht, dennoch liegt bislang kein zusammenfassendes nationales Verzeichnis zu dieser Insektenordnung vor. Der vermutete Bestand der in Österreich vorkommenden Käferarten wird auf 8.000 geschätzt (Geiser 2018). In Tirol sind bislang 4.367 Arten dokumentiert (Degasperi et al. 2014) und aus dem Untersuchungsraum bei Fließ finden sich derzeit 340 Käferarten in der Datenbank der Tiroler Landesmuseen. Von den 102 von Käfern stammenden COI-Sequenzen, konnten 63 einer Referenzsequenz zugeordnet und damit eindeutig einer belegten Art zugewiesen werden. Mit der Unterart *Omaloplia alternata occidentalis* aus der Familie der Blatthornkäfer (Scarbaeidae), konnte

ein Neufund für Nordtirol verzeichnet werden. Die festgestellten 102 COI-Sequenzen stellen nur einen Bruchteil der im Gebiet vorkommenden Käferarten dar, was jedoch der Erfassungsmethode mittels Malaisefalle geschuldet ist, welche nur suboptimal für Biodiversitätserhebungen von Käferarten geeignet ist.

**Ordnung Schmetterlinge (Lepidoptera)**

Schmetterlinge sind in Österreich mit etwa 4.100 Arten vertreten (Huemer 2013) und noch immer ist kein Ende in der Erfassung des Artenbestandes absehbar. Weitere faunistische Erstnachweise wurden zuletzt vermehrt mittels DNA-Barcoding ermittelt, beziehungsweise bestätigt (Huemer 2019, 2023, Stark 2020). Das hier vorliegende weitere Untersuchungsgebiet zählt mit mehr als 1.100 Artnachweisen (Huemer & Erlebach 2005) zwar zu den diversesten Gebieten Tirols und Österreichs, die im Rahmen dieser Studie belegten 101 Arten entsprechen jedoch nur einem Bruchteil der bisher nachgewiesenen Schmetterlinge. Malaisefallen sind somit offensichtlich nur in eingeschränktem Umfang für eine standardisierte Erhebung von Schmetterlingen geeignet. Die Artenliste beinhaltet mit *Glaucolepis lituanica* (Ivinskis & van Nieukerken, 2012) aber trotzdem einen höchst bemerkenswerten Neufund für Tirol.

**Ordnung Zweiflügler (Diptera)**

Die Dipterenfauna Österreichs wird grob auf 11.500 Arten extrapoliert (Geiser 2018), es existiert aber kein auch nur ansatzweise vollständiges Verzeichnis. Ähnliches gilt für Tirol, und Hellrigl (1996) listet für Südtirol, mit einem geschätzten Artenbestand von 5.600, letztlich 1.606 sichere Artnachweise. Die in unserer Untersuchung bestimmbaren 396 Arten sind zwar eine beachtliche Zahl, entsprechen jedoch ebenfalls nur einem Bruchteil der lokalen Fauna, die nach den vorliegenden 1.002 Barcode-Clustern, wesentlich diverser ist. Die dramatischen Defizite in der Erforschung der Zweiflügler zeigen sich aber auch überregional mit 69 im Verzeichnis Fauna Europaea bisher noch nicht für Österreich gelisteten Arten, wenngleich etliche dieser Arten trotz relevanter Publikationen in diesem Referenzwerk einfach übersehen wurden (Szucsich in litt.). Diese besonders bemerkenswerten Funde verteilen sich auf 24 Familien, allerdings in auffallend unterschiedlicher Gewichtung. So wurden bei den Trauermücken (Sciaridae) zwölf von 41 Arten und bei den Minierfliegen (Agromyzidae) acht von 17 Arten in der Fauna Europaea für Österreich nicht berücksichtigt, während beispielsweise bei den ebenfalls artenreichen Echten Fliegen (Muscidae) eine von 33 Arten als potenzieller Neufund für die Landesfauna gelten kann.

Abgesehen von den österreichischen Neufunden kann davon ausgegangen werden, dass eine erhebliche Zahl an Arten auch im Bundesland Tirol noch nie nachgewiesen wurde. Stichprobenartige Kontrollen ergaben selbst bei den auffallenden und nur mit fünf Arten belegten Schwebfliegen (Syrphidae) mit *Chrysotoxum cautum* (Harris, 1776) einen Landesneufund, der auf Grund einer rezenten faunistischen Bearbeitung dieser Familie (Heimburg et al. 2022) ausnahmsweise auch als solcher eruiert werden konnte.

## Diskussion

Die Bedeutung entomofaunistischer Erhebungen ist zwar unbestritten, sie machen aber nicht zuletzt mangels Expert*innen (Hochkirch et al. 2022) nur schleppende Fortschritte. So existiert trotz mehr als 250 Jahren landesfaunistischer Forschung bisher weder für Österreich noch für eines der Bundesländer eine auch nur einigermaßen vollständige Artenliste. Zwar wurden von 2004 bis 2017 von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften neun Checklisten der Fauna Österreichs herausgegeben, diese Arbeiten decken aber bisher erst einen Bruchteil des Artenbestandes an Insekten ab. Darüber hinaus gibt es für einzelne Gruppen rezente Bearbeitungen die auch Details zu den Bundesländervorkommen wiedergeben, beispielsweise für Lepidoptera (Huemer 2013) und Orthoptera (Zuna-Kratky et al. 2017), oder auch für Teilgruppen der großen Ordnungen Hymenoptera (Pompilidae) (Madl et al. 2021) und Diptera (Syrphidae) (Heimburg et al. 2022). Darüber hinaus existieren zahlreiche lokale oder regionale faunistische Bearbeitungen, die jedoch nur selten den Ansatz einer Vollständigkeit auf Bundesländerebene verfolgen. Selbst die zuletzt erschienenen umfangreichen Roten Listen für die Bundesländer Kärnten und Steiermark (Ökoteam 2021, Komposch 2023) können daher nicht über die gravierenden regionalen und nationalen Forschungsdefizite hinwegtäuschen. Denn auch die dort bearbeiteten tausenden Arten decken nur einen Bruchteil der jeweils zu erwartenden Landesfauna ab. So sind wir aktuell gerade für die mutmaßlich besonders artenreichen Ordnungen der Hautflügler (Hymenoptera) und Zweiflügler (Diptera) national immer noch auf Schätzungen angewiesen (Geiser 2018), regional vielfach auf reine Mutmaßungen. Erhebungen wie die hier vorgestellte zeigen erstmals ein realistisches Szenario auf, auch bisher stark vernachlässigte, jedoch extrem diverse sogenannte „Dark Taxa“ – trotz des gravierenden Mangels an Spezialist*innen – zu erfassen. Die zahlreichen faunistischen Neufunde für Österreich – und mit Sicherheit in noch größerem Umfang für Tirol – belegen das Potenzial solcher Erhebungen. Zusätzlich zeigen unsere Daten aber auch einen erheblichen Aufwand in der konsequenten Sequenzierung von „gap species“ um letztlich zu einem vollständigeren Bild lokaler Faunen zu gelangen. Die dafür zwingend nötigen Referenzbibliotheken werden gerade in Mitteleuropa zunehmend ergänzt und daher können diese Gruppen zukünftig ebenso in Biomonitoringprojekten herangezogen werden (Morinière et al. 2019). Dank des globalen Ansatzes der zugrundeliegenden Datenbanken können dann auch invasive Arten aus anderen Kontinenten rasch erkannt (Hardulak et al. 2020), und die bisher extrem aufwändigen Recherchen beschleunigt und vereinfacht werden.

Unbestritten bleibt die Unvollständigkeit in der Artenerfassung von Fluginsekten durch den exklusiven Einsatz von einer einzigen Methode, im vorliegenden Beispiel einer Malaisefalle (Juillet 1963, Duelli et al. 1999). Dies zeigt sich auch deutlich in unseren Beprobungen der beispielsweise gut erforschten Ordnungen der Lepidoptera und Coleoptera, die vergleichsweise deutlich unterrepräsentiert sind. Gegenüber anderen Methoden, wie dem Einsatz von Lichtfallen für Lepidopteren, ist die Standardisierbarkeit der hier angewandten Methode und die breite jahreszeitliche Abdeckung als grundsätzlicher Vorteil anzusehen.

Auch wenn in Kreisen klassischer Entomolog*innen die anfänglich weit verbreitete Skepsis gegenüber molekularen Bestimmungsmethoden, wie dem DNA-Barcoding, inzwischen abgenommen hat, so verursacht die zunehmend propagierte Massensequenzierung über Metabarcoding bei vielen Expert*innen neue Zweifel. Insbesondere die Unkontrollierbarkeit der Bestimmungen mangels Belegtieren wird als gravierendes Problem angesehen. Möglicherweise basieren viele Vorurteile auch auf der Sorge, dass die im Vergleich zu morphologischen Bestimmungen wesentlich preisgünstigere molekulare Methode letztlich jobgefährdend sein könnte. Verstärkt werden solche Bedenken durch vereinzelt vorkommende kritische Studien zum Metabarcoding (Förster et al. 2023). Diese stehen aber im Widerspruch zu Untersuchungen, welche die Eignung genetischer Bestimmungen mittels Metabarcoding bestätigen (Strutzenberger et al. 2023).

Gerade deshalb werden in der hier vorliegenden Arbeit auch Möglichkeiten aufgezeigt, wie durch eine konservative Bewertung der Rohdaten – d. h. unter Ausschluss aller in irgendeiner Form kritischen oder zweifelhaften Bestimmungsergebnisse – eine hohe Zuverlässigkeit in der Artbestimmung zu gewährleisten ist. Somit können auch bisher wenig oder gar nicht mit molekularer Taxonomie befasste Biolog*innen, Schutzgebietsverantwortliche oder Behördenvertreter*innen die Daten aus solchen Untersuchungen für ihre jeweiligen Anforderungen nutzbringend interpretieren.

**Dank**

Besonderer Dank gebührt dem GF des Naturparks Kaunergrat, Herrn DI Dr. Ernst Partl, sowie der Billa Stiftung Blühendes Österreich für die immaterielle und finanzielle Förderung des Projektes. Weiteres danken wir Herrn Dr. Jérôme Morinière (AIM – Advanced Identification Methods GmbH, Leipzig) und seinem Team für die umfassenden genetischen Analysen sowie wertvolle Hinweise zur Auswertung. Herr Mag. Gerhard Schlüsslmayr unterstützte dankenswerterweise erste Analysen in der Dipterologie. Schließlich danken wir Herrn Dr. Nikolaus Szucsich (Naturhistorisches Museum Wien) für zahlreiche Anmerkungen zum Manuskript.

**Literatur**

Degasperi G., Eckelt A., Kahlen M., Klarica J., Kopf T., Lederwasch M., Schatz I. & Schied J. 2014: Bemerkenswerte Funde aus der Käferwelt Tirols (Coleoptera). – Beiträge zur Entomofaunistik 14: 61–86.

de Jong Y., Verbeek M., Michelsen V., de Place Bjørn P., Los W., Steeman F., Bailly N., Basire C., Chylarecki P., Stlouka, E., Hagedorn G., Wetzel F.T., Glöckler F., Kroupa A., Korb G., Hoffmann A., Häuser C., Kohlbecker A., Müller A., Güntsch A., Stoev P. & Penev L. 2014: Fauna Europaea - all European animal species on the web. – Biodiversity Data Journal 2: e4034. doi: 10.3897/BDJ.2.e4034.

Dolfuss H. 1983: Sphecidae. Catalogus Faunae Austria. XVII. – Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, 32 pp.

Duelli P., Obrist M.K. & Schmatz D.R. 1999: Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: above-ground insects. – Agriculture, Ecosystems and Environment 74: 33–64.

Förster T., Creutzburg F., Anton E., Weigel A. & Hartmann M. 2023: Metabarcoding versus morphologische Differenzierung: der Herausforderung gewachsen? – Entomologische Zeitschrift, Schwanfeld 133(2): 103–116.

Geiser E. 2018: How many animal species are there in Austria? Update after 20 years. – Acta ZooBot Austria 155: 1–18.

Geiger M.F., Moriniere J., Hausmann A., Haszprunar G., Wägele W., Hebert P.D.N. & Rulik B. 2016: Testing the Global Malaise Trap Program - How well does the current barcode reference library identify flying insects in Germany? Biodiversity Data Journal 4, e10671 (22 pp., supplements).

Glaser F. 2001: Die Ameisenfauna Nordtirols – eine vorläufige Checkliste (Hymenoptera: Formicidae). – Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins Innsbruck 88: 237–280.

Hardulak L.A., Morinière J., Hausmann A., Hendrich L., Schmidt S., Doczkal D., Müller J., Hebert P.D.N. & Haszprunar G. 2020: DNA metabarcoding for biodiversity monitoring in a national park: screening for invasive and pest species. Molecular Ecology Resources 20(6): 1542–1557. https://doi.org/10.1111/1755-0998.13212.

Hawlitschek O., Morinière J., Lehmann G.U.C., Lehmann A.W., Kropf M., Dunz A., Glaw F., Detcharoen M., Schmidt S., Hausmann A., Szucsich N.U., Caetano-Wyler S.A. & Haszprunar G. 2017: DNA barcoding of crickets, katydids and grasshoppers (Orthoptera) from Central Europe with focus on Austria, Germany and Switzerland. – Molecular Ecology Resources 17(5): 1037–1053. https://doi.org/10.1111/1755-0998.12638.

Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L. & deWaard J.R. 2003a: Biological identifications through DNA barcodes. – Proceedings of the Royal Society of London B 270: 313–321.

Heimburg H., Doczkal D. & Holzinger W.E. 2022: A checklist of the hoverflies (Diptera: Syrphidae) of Austria. – Zootaxa 5115(2): 151–209. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5115.2.1.

Hellrigl K. (Hrsg.) 1996: Die Tierwelt Südtirols. Kommentiertes systematisch-faunistisches Verzeichnis der auf dem Gebiet der Provinz Bozen-Südtirol (Italien) bekannten Tierarten. – Veröffentlichungen des Naturmuseums Südtirol, Band 1, Bozen, 831 pp.

Hochkirch A., Casino A., Penev L., Allen D., Tilley L., Georgiev T., Gospodinov K. & Barov B. 2022: European Red List of Insect Taxonomists. – Publication Office of the European Union, Luxembourg, 32 pp.

Huemer P. 2013: Die Schmetterlinge Österreichs (Lepidoptera). Systematische und faunistische Checkliste. – Tiroler Landesmuseen Innsbruck, Studiohefte 12, 304 pp.

Huemer P. 2019: DNA-Barcoding als signifikanter Beitrag zur regionalen Faunistik: Erstnachweise von Schmetterlingen für das Burgenland und Österreich (Insecta: Lepidoptera). – Beiträge zur Entomofaunistik 20: 21–39.

Huemer P. 2023: DNA-Barcoding als ein signifikanter Beitrag zur regionalen Faunistik: weitere Neufunde von Schmetterlingen für das Burgenland und Österreich (Insecta: Lepidoptera). – Beiträge zur Entomofaunistik 24: 165–176.

Huemer P. & Erlebach S. 2005: Die Schmetterlinge (Lepidoptera) des Fließer Sonnenberges – „Hot Spot“ der Artenvielfalt Tirols (Österreich). – Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum 85: 231–278.

Juillet J.A. 1963: A comparison of four types of traps used for capturing flying insects. – Canadian Journal of Zoology 41: 219–233.

Komposch C. 2023: Rote Liste gefährdeter Tiere Kärntens. – Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Klagenfurt, 1072 pp.

Madl M., Ockermüller E. & Zettel H. 2021: Aktualisierter Katalog der Pompilidae (Hymenoptera, Vespoidea) Österreichs. – Linzer biologische Beiträge 53/2: 811–900.

Morinière J., de Araujo B.C., Wai Lam A., Hausmann A., Balke M., Schmidt S., Hendrich L., Doczkal D., Fartmann B., Arvidsson S. & Haszprunar G. 2016: Species Identification

in Malaise Trap Samples by DNA Barcoding Based on NGS Technologies and a Scoring Matrix. – PloS ONE 11(5): p e0155497. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155497

Morinière J., Balke M., Doczkal D., Geiger M.F., Hardulak L.A., Haszprunar G., Hausmann A., Hendrich L., Regalado L., Rulik B., Schmidt S., Wägele J. & Hebert P.D.N. 2019: A DNA barcode library for 5,200 German flies and midges (Insecta: Diptera) and its implications for metabarcoding-based biomonitoring. – Molecular Ecology Resources 19: 900–928. https://doi.org/10.1111/1755-0998.13022

Ökoteam 2021: Rote Listen der Tiere der Steiermark, Teile 1, 2A und 2B. – Unveröff. Projektbericht i.A. der Österreichischen Naturschutzjugend für das Land Steiermark, Naturschutz: Teil 1, 85 pp., Teil 2A, 501 pp., Teil 2B, 217 pp.

Schwarz M. 2014: Bienen, Wespen, Ameisen – eine Übersicht über heimische Hautflügler (Hymenoptera) sowie praktische Tipps für angehende Hymenopterologen. – Entomologica Austriaca 21: 153–207.

Stark W. 2020: Neunachweise von Lepidoptera (Schmetterlinge) für Österreich und Niederösterreich – Motivation zur Initiative „Leuchtturmprojekt Schmetterlinge Niederösterreich“. – Naturkundliche Mitteilungen aus den Landessammlungen Niederösterreich 29: 19–27.

Stöckl P. 2000: Synopsis der Megachilinae Nord- und Südtirols (Österreich, Italien) (Hymenoptera: Apidae). – Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins Innsbruck 87: 273–306.

Strutzenberger P., Gottsberger B., Bodner F., Bartusel F., Jerga D. & Fiedler K. 2023: DNA metabarcoding of light trap samples vs. morphological species identification. – Ecological Entomology 2023: 1–12. https://doi.org/10.1111/een.13297

Zuna-Kratky T., Landmann A., Illich I., Zechner L., Essl F., Lechner K., Ortner O., Weissmair W. & Wöss G. 2017: Die Heuschrecken Österreichs. – Denisia 39: 1–880.