

Erweiterte Erfassung und Bewertung der Vorkommen des Apollofalters (*Parnassius apollo*) im Naturpark Nagelfluhkette

Nr. 71 - 2020

Alexander W. Feurle¹ & Carola Bauer¹

¹MMag. Alexander W. Feurle, Mag. Carola Bauer
Naturpark Nagelfluhkette, Platz 370, A-6952 Hittisau
E-Mail: alexander.feurle@gmail.com bzw. bauer@naturpark-nagelfluhkette.eu

Abstract

The highly endangered and therefore nationally and internationally protected Apollo butterfly (*Parnassius apollo*) still occurs in the international natural preserve Naturpark Nagelfluhkette, located between Allgäu (Bavaria, Germany) and Bregenzerwald (Vorarlberg, Austria) <<https://nagelfluhkette.info/>>. In 2016 we already conducted a preliminary study about the Apollo butterfly. Based on these previous investigations, the aim of the present study was to record the detailed Apollo distribution for the Austrian part of the natural preserve. Apollo larvae as well as imagines were counted and mapped using aerial views and GIS. A detailed mapping of conglomerate rocks with a plant cover of White Stonecrop (*Sedum album*), the only feeding plant of the caterpillars, was carried out. All records were found in secondary habitats located on alpine agriculture meadows. Temporal occurrence dynamics, abundance of adult butterflies as well as mating indices have been assessed along two transects. Few major habitat patches could be identified. All other findings of larval and imaginal state are scattered in the valleys Lecknertal and Balderschwangertal, interspersed by huge areas which do not provide appropriate habitats, indicating the presence of a metapopulation structure. One of the first DNA barcodings of *Parnassius apollo* from Austria and Germany has been conducted. Genetic barcoding using the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I (COI, COX1) gene reveals the assignment to haplotype H9 within haplogroup A. Thus, the Apollo butterflies from Naturpark Nagelfluhkette are phylogeographically affiliated to lineages inhabiting the Alps, the Massif Central, and parts of the Apennine. Larval mortality by ant predation has been assessed. The present study comprises the documentation of an osmeterium, the Papilionidae-specific predator repelling organ, in *Parnassius apollo*. In addition, further impairing factors are presented (availability of larval habitats and nectar plants, predation, losses through trampling and road traffic, adverse weather patterns, snow slides and avalanches, lack of habitat connectivity, population structure and critical population size). Our results clearly indicate urgent need for conservation measures. In order to locally preserve this endangered butterfly species, a cooperative conservation strategy comprising of individually adapted measures for each agriculture area is necessary.

Key words: Apollofalter (Mountain Apollo, *Parnassius apollo*, Roter Apollofalter), Naturpark Nagelfluhkette, Austria, Vorarlberg, Lecknertal, Balderschwangertal, Weiße Fetthenne (White Stonecrop, *Sedum album*), habitat, butterfly conservation, Alpwirtschaft, alpine transhumance, Ameisen, ants, Osmeterium, osmeterium, Gülle, liquid manure, genetic barcoding, COI, COX1
GenBank Accessions: MN888486, MN888487, MN888488, MN888489
BOLD sample ID: PANAG001-20, PANAG002-20, PANAG003-20, PANAG004-20

Zusammenfassung

Der seltene und gefährdete Apollofalter (*Parnassius apollo*) ist national und international streng geschützt. Der länderübergreifende Naturpark Nagelfluhkette (<https://nagelfluhkette.info/>) weist sowohl auf Allgäuer (D), als auch auf Bregenzerwälder Seite (A)

noch Vorkommen dieser Art auf. Basierend auf den Erkenntnissen aus der im Jahr 2016 durchgeführten Untersuchung, ist das Ziel der vorliegenden Arbeit die Vorkommen des roten Apollofalters auf der österreichischen Seite des Naturparks in den Südhängen des Lecknertals und Balderschwangertals flächendeckend zu erfassen.

Hierzu wurden sowohl die Konglomeratfelsen mit dem Bewuchs des Weißen Mauerpfeffers (*Sedum album*), der einzigen Futterpflanze der Raupen, als auch die einzelnen Raupenfunde auf den Felsen kartiert. Grundlage hierfür bildete eine Luftbildanalyse der Alpwirtschaftsflächen, die als Sekundärstandorte die

Hauptvorkommen beheimaten. Die Dynamik des zeitlichen Auftretens, die Häufigkeit, sowie die Begattungsindices wurden durch zwei Transekte zur Flugzeit der Falter erarbeitet. Neben verstreuten Einzelfunden, die durch große Flächen, die keine geeigneten Habitate für den Apollofalter darstellen, getrennt sind, wurden auch zusammenhängende Vorkommen auf größeren Alpfächen gefunden, was auf eine Metapopulationsstruktur hinweist. Ein DNA-Barcoding des Apollofalters (eines der ersten für Österreich und Deutschland) wurde unter Verwendung der mitochondrialen cytochrome c oxidase Untereinheit I (COI, COX1) durchgeführt, um die genetische Linie nachvollziehen zu können. Die untersuchten Tiere gehören zur Haplogruppe A (Haplotyp H9), und weisen somit phylogeographische Nähe zu weiteren Vorkommen in den Alpen, im Massif Central und in Teilen des Apennins auf. Die Prädation durch Ameisen an Raupen wurde untersucht. Dabei wurde auch das Osmaterium (Nackengabel), ein Abwehrorgan der Ritterfalter, bei *Parnassius apollo* dokumentiert. Weitere beeinträchtigende Faktoren wie die Verfügbarkeit von Larvalhabitaten und Saugpflanzen, Verluste durch Betritt, Straßenverkehr und Prädation, ungünstiger Witterungsverlauf, Schneesrutsche und Lawinen sowie fehlender Habitatverbund und kritische Populationsgröße werden vorgestellt.

Unsere Untersuchungen machen einen dringenden Handlungsbedarf zum lokalen Schutz dieses bedrohten Schmetterlings deutlich. Dazu ist ein dynamisches, kooperatives Schutzkonzept mit individuellen Maßnahmen für die einzelnen Alpfächen notwendig.

Abb. 1: Zur Biologie des Apollofalters. A: Weibchen bei der Eiablage. B: Ei mit charakteristischer Form und Struktur. C: Junge Raupe (L1). D: Ältere Raupe (L4). Fotos nicht maßstabsgetreu.

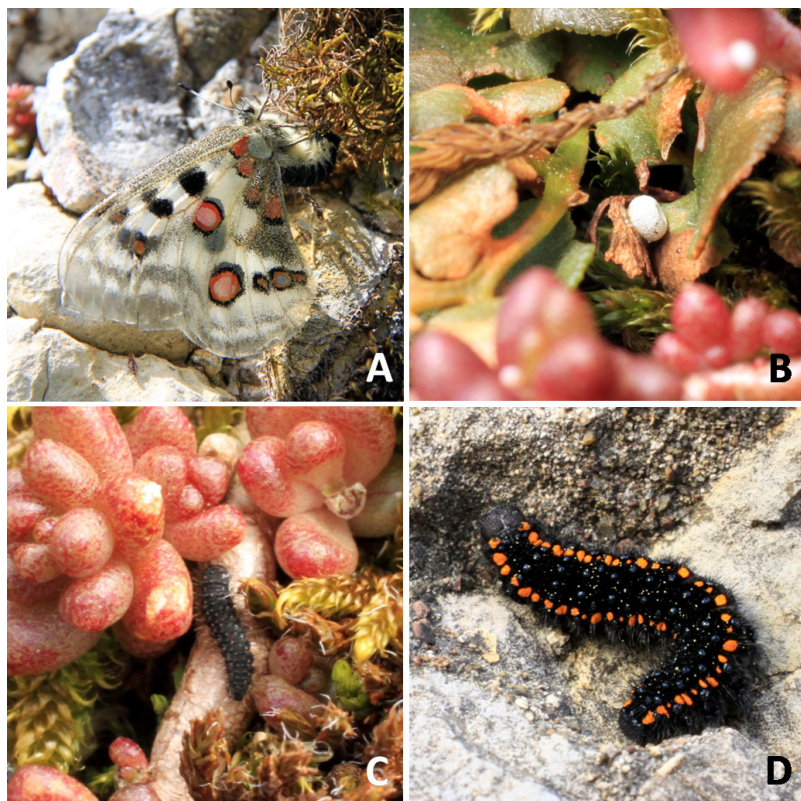
1 Einleitung

Der länderübergreifende Naturpark Nagelfluhkette weist noch größere zusammenhängende Vorkommen des seltenen und streng geschützten Roten Apollofalters (*Parnassius apollo*) auf. Im Gebiet des Naturparks konzentrieren sich die Vorkommen des Apollofalters auf traditionell bewirtschaftete Alpfächen (Sekundärlebensräume). Potentielle primäre Lebensräume, wie Kammlagen an der Waldgrenze oder besonnte Lawenstriche, sind vom Apollofalter ungenutzt.

Im Zuge einer vorangegangenen Studie (BAUER & FEURLE 2017) konnten sowohl Larval- als auch Imaginalnachweise für das Lecknertal und das Balderschwangertal im Bregenzerwald erbracht werden. Jedoch deckte die Ersterhebung aufgrund limitierender Faktoren, wie das zeitlich begrenzte Auftreten der Raupen bzw. Imagines oder der Wetterabhängigkeit der Geländearbeit, nicht das komplette Gebiet ab. Dadurch entstand weiterer Kartierungsbedarf. SCHWARZ (2013)

zeigte auf, dass Beeinträchtigungen wie das Ausbringen von Dünger oder fortschreitende Verbuschung in den Habitaten zur Isolation bzw. zum Rückgang der Population beitragen können. Auch dies galt es, neben anderen limitierenden Faktoren für Raupe und Schmetterling, weiter zu erforschen. Auf deutscher Seite des Naturparks wurde im Jahr 2015 ein Projekt zur »Erfassung und Bewertung der Vorkommen des Apollofalters (*P. apollo*) im Naturpark Nagelfluhkette sowie angrenzenden Gebieten im Landkreis Oberallgäu« begonnen und läuft derzeit weiter.

Die vorliegende Studie hat die weitere und detailliertere Erfassung und Bewertung der Vorkommen des Apollofalters an den Südhängen des Lecknertals und Balderschwangertals, im Vorarlberger Teil des Naturparks, zum Inhalt. Die Südhänge auf dem Gemeindegebiet von Sibratsgfall konnten bereits 2016 aufgrund der fehlenden Futterpflanze der Raupen ausgeschlossen werden.



1.1 Biologie des Apollofalters

Aufgrund seiner speziellen Habitat- und Nahrungsansprüche ist der Apollofalter gefährdet. Die wärmeliebende Art (xerothermophile Offenlandart) ist auf traditionell extensiv bewirtschafteten Alpflächen an Südhängen zu finden. Pro Jahr tritt nur eine Generation auf (Univoltinität). In den Frühlingsmonaten dienen den schwarz-orangen Raupen Nagelfluhfelsen mit Bewuchs der Weißen Fetthenne (*Sedum album*) als Habitat (Abb. 1, 2). Die Raupen fressen ausschließlich am Tag. Von Mitte Mai bis Mitte Juni verpuppt sich die Raupe und die rotbraune, blau bereifte Puppe liegt in ein zartes Gespinnst gehüllt, beispielsweise in Felsritzen versteckt. Die Falter, welche ab Juli fliegen, ähneln großen Weißlingen (Abb. 1, 4). Die Flügel sind nur spärlich beschuppt und somit durchscheinend. Charakteristisch sind die roten Punkte auf dem hinteren Flügelpaar. Der Flug wirkt stürmisch, ist aber von Segelphasen unterbrochen. Die Weibchen tragen nach der Paarung eine Sphragis (»Begattungstasche«). Diese besteht aus dem ausgehärteten Sekret von Anhangsdrüsen des männlichen Geschlechtsapparates. Ein Weibchen mit diesem Begattungszeichen wird von Männchen kaum mehr angefliegen. Die Eiablage wird durch die Sphragis jedoch nicht gestört (GEYER & DOLEK 1999, 2001; BRÄU et al. 2013; SCHWARZ 2013; GEYER & NUNNER 2013; JACOBS & RENNER 1988; HUEMER 2001). Im Naturpark Nagelfluhkette legen Apollofalter-Weibchen ihre Eier im Bewuchs auf den Felsen ab, wobei direkt auf *Sedum album* weder eine Eiablage dokumentiert wurde, noch Eier

gefunden wurden (pers. Beobachtungen). Vergleichbar wurde in Schweden beobachtet, dass die Eier 1-2 m entfernt von den Futterpflanzen bzw. auf Flechten abgelegt werden. Durch die Vermeidung der Futterpflanze sind die Eier vielleicht weniger leicht auffindbar. Bei der Hälfte der Fälle landeten die Weibchen vorher auf *Sedum album*, welches sie vermutlich geruchlich wahrnehmen (WIKLUND 1984). Eine gute Nektarversorgung ist für die Eiproduktion wichtig. Auf den Magerrasen müssen daher ausreichend Saugpflanzen als Nektarquelle für die Falter vorhanden sein. Die auffallend großen Schmetterlinge bevorzugen dabei violette Blüten (GEYER & DOLEK 1999, 2001; BRÄU et al. 2013; SCHWARZ 2013; GEYER & NUNNER 2013, FRED 2004). Wie bei anderen Schmetterlingen auch, wird mit dem Saugrüssel Blütennektar als flüssige Nahrung aufgenommen. Der Rüssel besteht aus zwei verbundenen Halbröhren und wird im Ruhezustand nach unten aufgerollt. Über den Nektar sichern sie sich die für die Muskulatur nötige Energie. Der proteinreiche Pollen bleibt ihnen in der Regel verwehrt. Zahlreiche Blütenpflanzen, die auf die Bestäubung durch Schmetterlinge setzen, haben deshalb mit Aminosäuren angereicherten Nektar. Blütennektare haben einen Zuckergehalt von typischerweise zwischen 20 und 40 %. In flachen und offenen Blüten (Doldenblütler; Oregano) kann der Nektar an Hochsommertagen über 70 % Zuckergehalt (!) erreichen, wobei Schmetterlinge diese Energiequelle notfalls nach Verflüssigung mit Speichel nutzen (FLÜGEL 2013; SCHWERDTFEGER & FLÜGEL 2015).

Der Apollofalter ist europarechtlich streng geschützt: In der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie 92/43/EWG (FFH-Richtlinie) wird die Art unter Anhang IV, »streng zu schützende Arten von gemeinschaftlichem Interesse« gelistet (EBERT & BAUER 2000).

1.2 Biologie der Weißen Fetthenne

Die zu den Dickblattgewächsen (Crassulaceae) zählende Weiße Fetthenne ist eine ausdauernde, Matten bildende Pflanze. Die fünf weißen bis leicht rotvioletten Blütenblätter sind sehr schmal, eiförmig, vorne stumpf und 6-9 mm groß. Die radiärsymmetrischen Blüten wachsen zahlreich in rispigen Blütenständen. Die Blüte findet von Juni bis August statt. Die niederliegenden nichtblühenden Triebe zweigen von den kriechenden Hauptstengeln ab. Die Fruchtkapseln bleiben im ausgetrockneten Zustand geschlossen. Sie öffnen sich erst mit der Benetzung (Hygrochasia). Die Blätter sind wechselständig angeordnet, grün, oft rötlich überlaufen und stehen fast waagrecht ab. Sie sind als Anpassung an sonnenreiche, heiße und trockene Standorte fleischig verdickt, etwa 0,5 bis 1 cm lang, 1-3 mm im Durchmesser und dienen als Wasserspeicherorgane (Blattsukkulenz). Die Pflanze wird 5-20 cm hoch und bevorzugt einen trockenen, feinerdigen, humusarmen und steinigen Untergrund in sonnigen Lagen, der oft aber nicht immer kalkhaltig ist. Man findet die Pflanze auf Felsschutthalden und anderen felsigen Standorten, auf Geröll, Moränen und Felsvorsprüngen, sehr trockenen und lückigen Rasen, auf alten Mauern, aber auch an Straßenrändern und als Begrünung auf den Kiesschüttungen von Flachdächern. In den Alpen kommt die Pflanze meist nur auf über



Abb. 2: Weiße Fetthenne (*Sedum album*).
A: Polster auf Konglomeratfelsen.
B: Detailsicht der Blüte.

2000 m vor, in den mittleren und niederen Lagen ist sie eher weit verstreut zu finden (BLAMEY & GREY-WILSON 2008; AICHELE & SCHWEGLER 2000; SITTE et al. 2002).

Sedum album wird in der aktualisierten Roten Liste der Farn- und Blütenpflanzen Vorarlbergs in der Gefährdungskategorie LC (nicht gefährdet) angeführt. Diese Zuordnung kommt zustande, indem die Population als mehr oder weniger stabil eingeschätzt wird, bzw. dass Habitate keinen Veränderungen ausgesetzt sind (AMANN 2016). Die zu den Mauerfugengesellschaften gehörenden Weiße Mauerpfeffer-Fluren mit ihren Mauerpfeffer-Dominanzbeständen auf Mauern, Steinriegeln, Felsabsätzen etc. kommen in Vorarlberg in den tiefen bis mittleren Lagen vor. In der aktualisierten Roten Liste der Pflanzengesellschaften und Vegetationstypen Vorarlbergs wird die *Sedum album*-Gesellschaft (Cymbalario-Asplenion) als gefährdet (VU) angeführt. Das bedeutet, dass die Pflanzengesellschaft (bzw. entsprechende Vegetationstypen) in großen Teilen ihres Verbreitungsgebiets deutliche und stete Rückgänge zeigt und durch qualitative Beeinträchtigungen gekennzeichnet ist. Regional ist sie nur mehr selten in typischer Ausbildung anzutreffen oder bereits zur Gänze verschwunden (BEISER 2016). Die Bestände von *Sedum album* sind als Futterpflanzen für die Raupen des Apollofalters besonders schützenswert. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, *Sedum album* (in Vorarlberg) unter Naturschutz zu stellen.

1.3 Mikroklimatische Verhältnisse

Da der Apollofalter eine sehr wärmeliebende Art ist, ist er hauptsächlich auf den Alpflächen der Südhänge des Leckner- und Balderschwangertals zu finden. Ausnahmen bilden hier die wenigen Funde auf den Flächen der Sipperseggalpe, die sich am Hangfuß befinden. Die Apollofalter-Funde lie-

gen zwischen 900 m und rund 1.300 m Seehöhe. In den Sommermonaten zählt der Bregenzerwald mit 45-50 % relativer Sonnenscheindauer zum Spitzenbereich innerhalb Vorarlbergs (MOHNL 2002). Zusätzlich zeichnet sich der Bereich des vorderen Bregenzerwaldes durch einen vergleichsweise geringen sommerlichen Bedeckungsgrad aus (BÖHM 2001). Mittlere Höhenlagen (1000 bis 1500 m) können in Vorarlberg bis zu 15 °C wärmer als Tal- und Beckenlagen sein (BÖHM 2001). Die orographisch abgeschirmten Tallagen des Bregenzerwaldes sind als wind-schwach zu klassifizieren (KOCH & WERNER 2001). Die von dichtem Wald umgebenen Alpflächen sind recht gut windgeschützt und somit wärmebegünstigt. Die Jahresmitteltemperatur der montanen Höhenlage des Vorderbregenzerwaldes beträgt 4-6 °C, das mittlere Jahresmaximum der Lufttemperatur liegt bei 28-30 °C und die durchschnittliche Vegetationsperiode (Tage mit Mitteltemperatur von zumindest +5 °C) dauert zwischen 180 und 240 Tagen, was landesweit jeweils lediglich von dem deutlich tiefer liegenden Bereich des Bodensees/Rheintals/Walgau übertriften wird (BÖHM 2001). Die jährlichen Niederschlagssummen liegen zwischen 2100 und 2400 mm (AUER 2001). Zusammenfassend sind die Südhänge des Lecknertals und des Balderschwangertals daher trotz der Höhenlage und der relativ großen Niederschlagsmengen als Wärmestandorte zu bezeichnen.

1.4 Veränderungen in der Berglandwirtschaft

Der Apollofalter ist von der landwirtschaftlichen Nutzung der Alpflächen abhängig. Regelmäßiges Schwenden, damit die Felsen mit dem Weißen Mauerpfeffer nicht beschattet werden, das Stehenlassen von Disteln, der bevorzugten Saugpflanze des Schmetterlings, oder das Aussparen der Felsen mit Gülle sind nur eini-

ge Beispiele, wie die Landwirte dem Falter helfen können.

Jedoch vollzieht sich auch in der Berglandwirtschaft ein Strukturwandel, wodurch ökologisch wertvolle Kulturlandschaften gefährdet werden. Der stärker werdende Konkurrenzdruck führt je nach Lage zu einer Nutzungsintensivierung bzw. zu einer Nutzungsaufgabe, wobei die einzelnen Landschaftselemente verschieden gefährdet sind (BROGGI 1998). Bergweiden und die heutigen Baum- und Waldgrenzen sind direkt oder indirekt das Werk des Menschen. Bereits vor Jahrhunderten wurden Waldflächen zu Weidezwecken für die Alpwirtschaft gerodet (STREIT 2007; BERCHTEL 1990). Somit handelt es sich bei den im Untersuchungsgebiet vorgefundenen Habitaten des Apollofalters um Sekundärstandorte. Beispiele von Veränderungen seit den 1940er-Jahren (nach FELDMANN 1995; ANONYMUS 2008; JARITZ 2014; MOOSBRUGGER 2013; BROGGI 1998):

- die Berglandwirtschaft ist rückläufig, da Alpflächen aus der Nutzung genommen oder aufgelassen werden.
- die Milch- und Käseherstellung wird durch die weniger arbeitsintensive Jungviehaufzucht verdrängt.
- Personalmangel auf Alpen wird zur Existenzfrage.
- In das mittlerweile stark gefährdete Original Braunvieh wurden ab 1960 zur Milchproduktionssteigerung Rinder der Rasse Brown-Swiss eingekreuzt. Diese ursprüngliche und langlebige Zweinutzungsrasse mit guter Milch- und Fleischleistung hatte klare Vorzüge für die extensive Bewirtschaftung im Berggebiet, da die trittsicheren Tiere mit geringem Körpergewicht gute Futterverwerter sind.
- die Tiere sind in Folge der Zuchtanstrengungen deutlich größer und schwerer geworden, was sich in einem größeren Futterbedarf und Mist-/Gülleaufkommen niederschlägt.

- der Alpauftrieb findet im Schnitt etwa zwei Wochen früher statt als noch vor 40-50 Jahren; Der Zeitpunkt der Bestoßung ist für die Landwirte von entscheidender Bedeutung. Bei einem zu frühen Zeitpunkt fressen die Tiere die Weiden kahl, bei einem zu späten Zeitpunkt überaltert das Gras, wodurch die Milchleistung zurück geht.
- inzwischen sind 89 % der Alpen in Vorarlberg mit Güterwegen erschlossen, um wirtschaftlich bleiben zu können. Somit kann auf die Alpen (Kraft-)Futter transportiert werden, was wiederum zu einem Nährstoffüberschuss auf den Alpflächen führt.
- Landschaftsveränderungen durch Geländearbeiten; Buckelwiesen wurden planiert, Hangmoore und Sümpfe entwässert.
- der Nutzungsdruck durch Erholungssuchende steigt.

Aus diesen Veränderungen können diverse Probleme für die Biodiversität entstehen. Der zuchtbedingte Leistungszuwachs beim Vieh in Kombination mit der Abnahme an Nettoflächen auf den Alpen führt zu einer deutlichen Steigerung der Nutzungsintensität auf den verbleibenden Flächen. Die unsachgemäße Ausbringung des Düngers führt zu lang anhaltenden und teilweise irreversiblen Veränderungen der standortangepassten Pflanzengesellschaft. Vor allem Halbtrockenrasen, die mit zu den artenreichsten Lebensräumen zählen, leiden darunter. Unsachgemäße Düngung, sowie Über- oder Unterbeweidung fördern die Verunkrautung der Flächen. Besonders gefährdet sind nasse, überdüngte, sowie magere Weiden auf sauren Standorten. Wird die standortangepasste Bewirtschaftungsintensität überschritten, kommen Ruderalpflanzen auf (typische Fettwiesenarten) und reiche Bestände an Blühpflanzen, wie z. B. Arnika verschwinden schnell. Bei der Behirtung ist auf einen standortangepassten Weidewechsel zu achten.

Untersuchungen an Vorarlberger Alpflächen zeigen wiederholt, dass es zu einer »verhängnisvollen Spirale« kommen kann: Mehr Dünger – mehr Futter – mehr Tiere – mehr Dünger – bis zur kompletten Verunkrautung der wertvollen Flächen. Gesellschaftliche Wertschätzung und entsprechendes Konsumverhalten (Preissteigerung statt Leistungssteigerung) sind ein wesentlicher Beitrag zur Sicherung der traditionellen Alpwirtschaft und der damit zusammenhängenden Naturräume. Die Alpen spielen demnach eine herausragende Rolle bei der Erhaltung der Lebensraumvielfalt und dem Artenschutz (MOOSBRUGGER 2013). Die traditionelle, extensive Alpwirtschaft steht für eine kulturbedingte Biodiversität und Wertschöpfung und sichert selten gewordenen Arten wie dem Apollofalter einen Lebensraum.

1.5 Projektinhalt und Ziele der Arbeit

Ziel dieser Studie ist es, die Vorkommen des seltenen Apollofalters im Lecknertal, sowie im Balderchwangertal auf Basis der Grunderhebung von 2016 (BAUER & FEURLE 2017) lückenlos zu erfassen. Die vollständige Gebietsabdeckung ist notwendig, um eine gesicherte Einschätzung und Bewertung der Population zu erhalten. Darüber hinaus soll die Individuendichte bzw. – soweit möglich – Parameter, die die Stabilität der jeweiligen Population anzeigen, erarbeitet und weiter ausgebaut werden. Faktoren wie Populationsgröße, Isolation oder Migration spielen hierbei eine wichtige Rolle. Aufgrund der geringen Individuenzahlen müssen möglichst viele beeinträchtigende Faktoren identifiziert werden, um die Qualität des Lebensraumes für den Apollofalter zu steigern und die wertvollen Vorkommen in Vorarlberg zu sichern. Detailliertere Untersuchungen der be- und entstehenden Beeinträchtigungen aufgrund unterschiedlicher Nutzungsarten der

Flächen, sowie zur Sterblichkeit der Raupen durch Ameisen sollen u. a. dazu Aufschlüsse liefern.

Die Ergebnisse fließen in einen Maßnahmenkatalog ein. Dieser dient der nachfolgenden Beurteilung und Ableitung geeigneter Maßnahmen zur Erhaltung und Optimierung der Larval- und Nektarhabitate, sowie zur Verbesserung des Habitatverbundes. Auf Basis dieser und eigener Studien wird der Lepidopterologe Adi Geyer gemeinsam mit uns ein detailliertes Maßnahmenpaket für den Naturpark Nagelfluhkette erarbeiten.

2 Material und Methoden

Die vorliegende Arbeit dient der Fortsetzung der Untersuchung aus dem Projektjahr 2016. Daher wurde für die Erfassung der Larvalhabitate, sowie der Imagines, aber auch für die Gespräche mit den Alpbauern dieselbe methodische Vorgehensweise gewählt. Besprechungen mit den Alpbauern wurden durchgeführt, um die Art der Bewirtschaftung (Alpbewirtschaftung) in den Bearbeitungsgebieten detaillierter zu erfassen und somit Zusammenhänge mit rezenten Apollofaltervorkommen ableiten zu können. Auch die Auswahl der Kartierflächen wurde wieder mittels Luftbildanalyse mit Hilfe von VoGIS abgedeckt, um weiterhin vergleichbar zu bleiben (BAUER & FEURLE 2017: 3-5). Um in der begrenzten Geländezeit möglichst viele Flächen des Untersuchungsgebietes abdecken zu können, wurden während der Erstuntersuchung die einzelnen Alpgebiete nur grob untersucht. In jedem Alpgebiet (pro Luftbild) wurden ca. 20 Felsen bis zum ersten Raupenfund geprüft. Daher wurden die Alpflächen für diese Studie erneut begangen und die restlichen Flächen vollständig kartiert. Dies war insbesondere in den Gebieten mit größerem Felsvorkommen notwendig, um eine flächendeckende Aufnahme im begrenzten Untersuchungszeitraum zu gewährleisten.

2.1 Untersuchungszeitraum

Die Geländebegehungen richten sich hauptsächlich nach dem Lebenszyklus des Apollofalters und den entsprechenden Witterungsbedingungen vor Ort. Da die Felsen der Untersuchungsflächen recht früh zu Jahresbeginn ausgeapert waren, konnte die Erfassung der Larvalhabitate in den Untersuchungsjahren 2018 und 2019 bereits gegen Mitte/Ende Februar beginnen und aufgrund der unterschiedlichen Entwicklungsstadien bis Mai andauern. Dadurch konnte eine vollständige Erfassung der Larvalhabitate erreicht werden. Zusätzlich wurden die Imagines entlang zweier Transekte von Mitte Juni (2018) bzw. Anfang Juni (2019) bis jeweils Anfang August erfasst. Die daraus gewonnenen Daten dienen der Abschätzung der Stabilität der Vorkommen. Zur Untersuchung der Auswirkung von Ameisen auf die Raupen wurde im April/Mai 2018 für den Naturpark gemeinsam mit den bayerischen Kollegen eine Referenz-

fläche in Balderschwang (Felsfläche östlich des Biohotels Ifenblick) eingerichtet. Die entwickelten Methoden wurden im selben Zeitraum des Jahres 2019 auf unterschiedlich genutzten Felsstandorten im Lecknertal und Balderschwangertal angewendet.

2.2 Erfassung der Larvalhabitate

Hierzu wurden die Vorkommen der Raupen nach der gleichen bekannten Methode im Frühjahr kartiert. Während der ersten drei Larvenstadien verursacht die Raupe ein charakteristisches Fraßbild (Abb. 3). Während dieser Zeit kann sie ausschließlich die jungen Blättchen am Vegetationskegel der Futterpflanze fressen. Diese in typischer Weise abgefressenen Triebspitzen können wiederum für Larvennachweise als »Suchbild« herangezogen werden. Bei ausreichendem Futterangebot sind die Larven während dieser ersten Stadien sehr ortstreu und können auch deshalb während dieser Zeit

– in Verbindung mit dem auffälligen Fraßbild – gut nachgewiesen werden. Es ist darauf zu achten, dass die Fraßspuren in diesem Stadium sicher von anderen Pflanzenfressern am Weißen Mauerpfeffer unterschieden werden können. Die im Untersuchungsgebiet ebenfalls vorkommenden Geometridenarten der Gattung *Gnophos* (Lepidoptera: Geometridae), weisen als Nahrungskonkurrenten ein ähnliches Fraßbild auf (Abb. 3). Im Zeitraum der Häutung zur L3 ändert sich das Verhalten der Apollofalterraupe: Jetzt werden auch die Basisblätter von *Sedum album* gefressen, und die Mobilität der Larve steigt mit weiter zunehmendem Alter deutlich an. Die Untersuchung sollte demnach im Entwicklungsbereich des dritten Larvenstadiums stattfinden (GEYER & DOLEK 1995, 1999, 2001; DOLEK & GEYER 2005).

Zur statistischen Evaluierung des Sachverhalts wurde der Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest auf einem Signifikanzniveau von 5 % durchgeführt. Überprüft wurde, ob die Düngung mit Gülle und die Färbung von *Sedum album* voneinander stochastisch unabhängig sind (Nullhypothese).

2.3 Erfassung der Imagines

Soweit es im Gelände möglich ist, sollten Transekte zur Erhebung von vergleichbaren Monitoringdaten im Untersuchungsgebiet eingerichtet werden. Um die Individuendichte und die Populationsstabilität abschätzen zu können, wurden zur Flugzeit im Hochsommer nach bewährter Methodik im Lecknertal auf der Lochalpe, sowie im Balderschwangertal bei der Sipperseggalpe ein Transekt angelegt. Im Untersuchungsgebiet sind Baumweißlinge sehr häufig (Abb. 4). Aufgrund der Ähnlichkeiten in Größe und Flugverhalten ist darauf zu achten, dass es nicht zu einer Verwechslung mit dem Apollofalter kommt (Bauer & Feurle 2017; Geyer & Dolek 1999, 2001; Dolek & Geyer 2005).

Neben der Individuendichte ist die aktuelle Reproduktionsfähigkeit für



Abb. 3: Fraßbild der Spanner-Raupen (*Gnophos* sp., Geometridae; links) im Vergleich zu dem der Apollofalter-Raupen (rechts).

die Beurteilung einer (Teil-) Population wichtig. Der Begattungsindex (BI) ist hierfür eine Maßeinheit. Sofern es das Gelände erlaubt, soll der BI für jede speziell zu untersuchende (Teil-) Populationen erhoben werden. Da die Sphragis am Abdomen bei günstigem Blickwinkel auch von einem etwas weiter entfernten Standort mit Hilfe eines Fernglases erkannt werden kann, können ggf. auch in unwegsamere Felsregionen der Nagelfluhkette diese Daten aufgenommen werden. Da die erfolgte Begattung eines Weibchens optisch festgestellt werden kann, kann die »Begattungssicherheit« innerhalb einer Population erfasst werden (DOLLEK & GEYER 2005). Der Begattungsindex (BI) errechnet sich mit der Formel $BI = n_{(\text{Weibchen mit Sphragis})} / n_{(\text{Weibchen gesamt})}$ und wurde nach Möglichkeit für jeden Transekt bestimmt.

2.4 Untersuchung der Prädation durch Ameisen

Aufgrund einer erstmaligen Beobachtung (BAUER & FEURLE 2017), wie Ameisen eine Apollotalterraupe töteten, wurde hier untersucht, inwieweit die Nutzung einer Alpfäche das Vorkommen von Ameisen begünstigt und welche Rolle die Ameisen in Bezug auf die Raupensterblichkeit spielen. Hierbei wird überprüft, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Ausbringen von Gülle und der Nestdichte von Ameisen bzw. ggf. eine erhöhte Individuendichte fouragierender Ameisen auf Felsen gibt, die den Raupen gefährlich werden können. Die methodischen Grundlagen wurden mit unseren bayerischen Projektpartnern im Naturpark auf vergleichbaren Alpfächen im Allgäu erarbeitet. Die detaillierte Untersuchung wurde mit der durch die Pilotstudie präzisierten Methode im Projektjahr 2019 auf den Flächen im Vorderbregenzerwald durchgeführt. Um die Auswirkung von Ameisen auf die Sterblichkeit der Apollotalterraupen zu untersuchen, wurde für jeden kartierten Felsen das Vorhandensein folgender Parameter

protokolliert: Fraßspuren (ja/nein), Raupen (ja/nein) und Ameisen (ja/nein). Da für die jüngsten Raupenstadien (L1 und L2) ein höheres Prädationsrisiko anzunehmen ist, wurde ein früherer Untersuchungszeitraum ab Mitte Februar angesetzt. Durch regelmäßige Begehungen wurden Entwicklung und »Schicksal« der einzelnen Raupen erfasst und weitere Faktoren, die den Raupen schaden könnten, nach Möglichkeit ausgeschlossen. Des Weiteren wurden Ameisennester in der Nähe und auf den Felsen kartiert, der Belauf von Ameisen im Nahbereich der Raupe (Anzahl/m² in 3 min), sowie die Ameisenart bestimmt. Bei Ameisenkontakt wurde das Verhalten der Raupen und der Ameisen dokumentiert.

Zur statistischen Evaluierung des Sachverhalts wurde der Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest auf einem Signifikanzniveau von 5 % durchgeführt. Überprüft wurde, ob das Vorhandensein von Ameisen und jenes von Raupen voneinander stochastisch unabhängig sind (Nullhypothese).

2.5 Genetische Analyse (DNA barcoding)

Die hierfür benötigten behördlichen Genehmigungen wurden sowohl bei der Bezirkshauptmannschaft Bregenz (für Österreich), als auch bei der Regierung Schwaben (für Deutschland) eingeholt. Die genetischen Analysen wurden wie bei TODISCO et al. (2010) beschrieben durchgeführt, wobei folgende Änderungen und Ergänzungen gemacht wurden:

DNA-Präparation

Es wurde jeweils ein etwa 4x4x4 mm großes Gewebestück in einem 1,5 mL Reaktionsgefäß mit 500 µL Lysepuffer (100 mM TRIS-HCl pH 8,5; 200 mM NaCl; 5 mM EDTA; 0,2 % SDS) und 200 µg Proteinase K (7528.3, Roth) mit Hilfe eines sterilen Mikropistills (749521-1500, Kimble®) zerkleinert und für 90 min bei 56 °C im Wasserbad lysiert. Anschließend wurden 100 µL



Abb. 4: Baumweißling (*Aporia crataegi*).

Fällungspuffer (8 M Kaliumacetat) in ein neues 1,5 mL-Reaktionsgefäß vorgelegt, 550 µL des Lysats dazu pipettiert und der Inhalt durch 10maliges Wenden vermischt. Nach 5 min Inkubation bei -20 °C wurde für 3 min mit 9.800 g zentrifugiert. Anschließend wurden 500 µL des Überstands in ein neues 1,5 mL-Reaktionsgefäß mit 300 µL vorgelegtem Isopropanol sowie 1,5 µL Glycogen (50 µg/mL, HP51.1, Roth) pipettiert. Der Inhalt wurde durch 10maliges Wenden vermischt und für 5 min bei -20 °C inkubiert. Dann wurde die DNA pelletiert (5 min zentrifugieren mit 9.800 g) und der Überstand verworfen. Das DNA-Pellet wurde mit 500 µL 70 % Ethanol gewaschen (kurzes Vortexen), für 2 min mit 9.800 g zentrifugiert und der Überstand verworfen. Die restliche Flüssigkeit wurde durch Zentrifugation (30 sec bei 2000 g) gesammelt und mit einer Pipette vorsichtig abgesaugt. Das DNA-Pellet wurde bei offenem Deckel kurz angetrocknet, in 100 µL TE-Puffer (10 mM TRIS-HCl pH 8,0; 0,5 mM EDTA) resuspendiert und bis zur weiteren Analyse bei 4 °C gelagert. Protokoll verändert nach: BERGER & KIMMEL (1987); HENGEL (1996); RÍO BARTULOS et al. (2012).

PCR und DNA-Sequenzierung

Die PCR wurde mit einem Mastercycler proS (ependorf) durchgeführt (Tab. 1). Die PCR-Produkte wurden mittels

Agarosegelelektrophorese (1,8 % Agarose in TAE-Puffer mit Roti®-GelStain [3865.1, Roth]) kontrolliert. Nach dem Kontaminationsausschluss (non template control) wurden die PCR-Aufreinigung und die DNA-Sequenzierung (Sanger Cycle Sequencing / Capillary Electrophoresis) bei Microsynth AG (Balgach, CH) durchgeführt.

Die Bestimmung der einzelnen Belege erfolgte nach morphologischen Merkmalen und wurde mittels der Zuordnung zu vorhandenen Sequenzen in der globalen Datenbank BOLD überprüft. Alle Sequenzen wurden entsprechend der iBOL-Kriterien in Referenzdatenbanken veröffentlicht (GenBank, BOLD; Tab. 4). Die DNA-Extrakte werden für weitere Untersuchungen in unserem Labor gelagert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Lecknertal

Die Südflänge im Lecknertal wurden flächendeckend untersucht (Abb. 5). Die nicht farblich markierten Bereiche wurden bei der Vorauswahl aufgrund von fehlendem Felsvorkommen aus-

PCR mix (25 µL/Reaktion)	Thermal Cycle
12.5 µL Master Mix ¹	initial denaturation: 95 °C 5 min
9.5 µL H ₂ O	5 touchdown cycles: 95 °C 50 sec, 54.5 °C* 45 sec, 72 °C 50 sec
1.0 µL forward primer ²	30 cycles: 95 °C 40 sec, 49.5 °C 45 sec, 72 °C 50 sec
1.0 µL reverse primer ²	final extension: 72 °C 5 min
1.0 µL template DNA	cooling: 4 °C

Tab. 1: PCR. ¹ GoTaq® G2 Green Master Mix (M7822, Promega), ² 10 µM (Microsynth AG), * -1.0 °C/cycle.

geschlossen und daher nicht begangen. Daher konzentrieren sich die Untersuchungen auf die Alpflächen mit ausreichend Nagelfluhfelsen. Das Gebiet wurde um die Flächen der Dreißigschwendalpen erweitert. Diese weisen zwar keine explizite Südausrichtung auf, haben aber ein entsprechend großes Felsvorkommen mit guter Besonnung. Die roten Flächen zeigen Flächen, auf denen zwar Felsen vorkommen, aber der Bewuchs mit *Sedum album* fehlt. Die gelben Flächen zeigen potentielle Larvalhabitate an, da auf diesen Felsen die Futterpflanze der Raupen wächst. Bis auf die Flächen rund um die Lochalpe, einem Abschnitt bei den Streichbrunnentalalpen, einem Bereich bei Ohligschwend und nördlich bei der Urschlabodenalpe sind geeignete Lebensräume für die

Apollofalter kleinräumig und verstreut gelegen. Die grünen Punkte markieren die Funde aus dem Untersuchungsjahr 2016, die grünen Rauten zeigen die Lage der Raupenfunde aus dem Jahr 2018 (Abb. 5).

Im östlichen Teil des Lecknertals sind zwar einige potentielle Lebensräume vorhanden, es jedoch konnten nur wenige Nachweise erbracht werden. Im Vergleich dazu konzentrieren sich die Raupenfunde von der Urschlabodenalpe über die Lochalpe bis hinab zu Ohligschwend (Abb. 5). Dies ist durch das erhöhte Felsvorkommen zu erklären, welches zum einen auf den vermehrten Gehänge- und Verwitterungsschutt (MUHEIM 1934), zum anderen auf den Sturzstrom der Schwarzenberger Platte (SEIJMONSBERGEN et al. 2005) zurückzuführen ist.

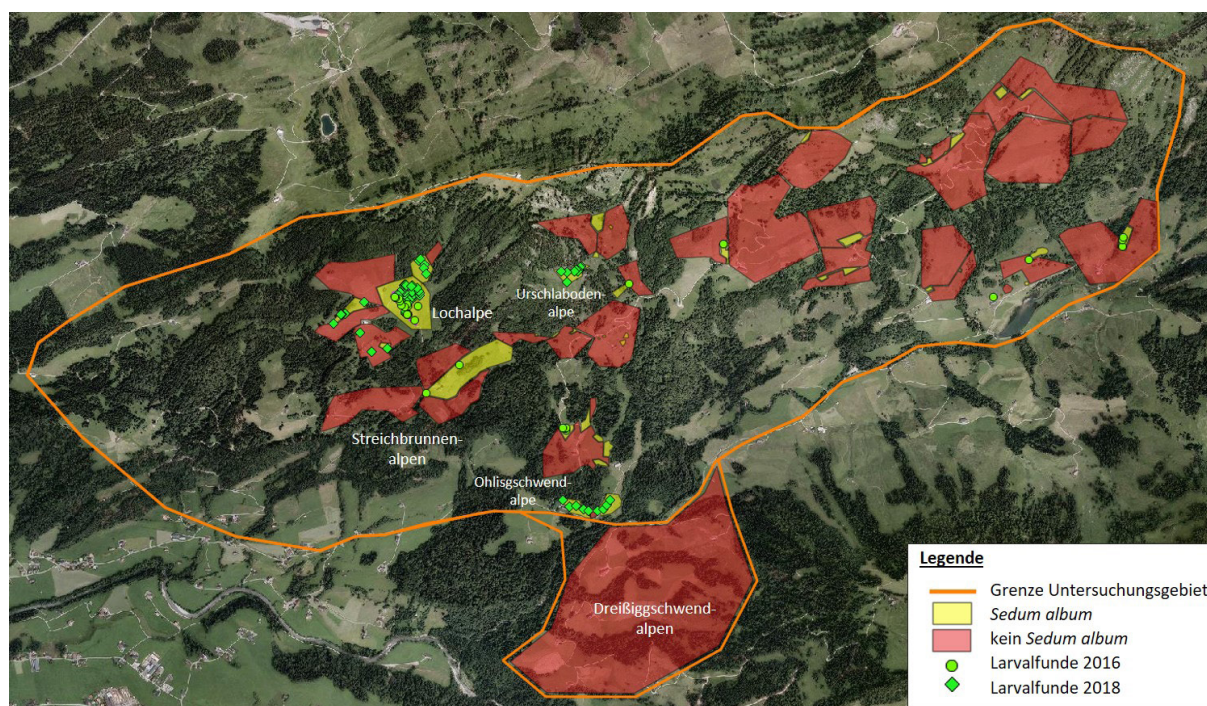


Abb. 5: Untersuchungsergebnisse Lecknertal (Kartengrundlage VoGIS - © Land Vorarlberg).

Der Gipfelbereich des Hochhäderich ist als 11,36 ha großer »Biotop« Nr. 21604 des Vorarlberger Biotopinventars ausgewiesen. Auf den nach Süden und Südosten abfallenden Konglomerat-Härtlingsrippen findet sich eine vielfältige Kalkfels- und Rasenvegetation (GRASS & ZÖHRER 2009). Die vorhandenen Felsband-Gesellschaften mit Weißem Mauerpfeffer (*Sedo-Scleranthetia*) sind jedoch nicht vom Apollofalter besiedelt (Abb. 6). Ebenso konnten im höher gelegenen Bereich des Falken und der Rohnehöhe/Eineguntkopf keine Nachweise erbracht werden. Der höchstgelegene Raupenfund des Lecknertals liegt mit 1309 m Seehöhe auf dem Oberen Schmalzberg (Abb. 10). Dieser Umstand könnte mit der höhenabhängigen Abnahme der Temperatur zusammenhängen.

Des Weiteren wurde erneut der Transekt auf der Lochalpe begangen (Abb. 7), um die Entwicklung der Apollofalter abschätzen zu können, sowie um die Individuendichte und die Stabilität der Population beurteilen zu können. Zur Beurteilung der Stabilität der Population wurden die Weibchen auf das Vorhandensein einer Sphragis untersucht. Der rund 400 m lange Transekt wurde während der Flugzeit je nach Witterung mindestens einmal pro Woche begangen. Die Lochalpe wurde aus mehreren Gründen als Referenzfläche ausgewählt:

- eine von den Ergebnissen der Larvaluntersuchung zu erwartende, eher individuenreiche (Teil-)Population
- die als positiv gedeuteten Bestände an Futterpflanzen auf den zahlreichen Felsen (für die Larven), sowie Saugpflanzen (für die Imagines)
- eine für die Untersuchungsgebiete »Mittlere Höhenlage« von rund 1170 m Höhe
- die freundliche und hilfsbereite Haltung der Landwirte dem Apollo-Projekt gegenüber
- leichte Erreichbarkeit für die wiederholte Begehung.

Weitere Details finden sich in der vorhergehenden Studie (BAUER & FEURLE 2017).



Abb. 6: Vom Apollofalter ungenutztes Felsgelände am Hochhäderichkamm mit Lawinenresten (Mai 2018).

In Abb. 8 werden die Ergebnisse der Transekt-Begehungen der Jahre 2016, 2018 und 2019 dargestellt. Der Vergleich führt zu zwei Haupterkennnissen: 1) Ein deutlicher Einbruch der Individuenzahlen in den Jahren 2018 und v. a. 2019 im Vergleich zu 2016, sowie 2) eine zeitliche Verschiebung der Flugzeit. So wurde 2018 das erste Tier vier Wochen früher beobachtet als 2016.

Auswertung für das Jahr 2016

Es wurden bis zu 30 Schmetterlinge pro Begehung dokumentiert. Der Begehungssindex konnte gegen Ende der Flugzeit nicht für alle Weibchen sicher bestimmt werden. Die wenigen Nachweise von Weibchen könnten darin begründet sein, dass diese meist gut getarnt am Felsen sitzen und dort auf die Männchen warten. Die Männchen hingegen fliegen viel,

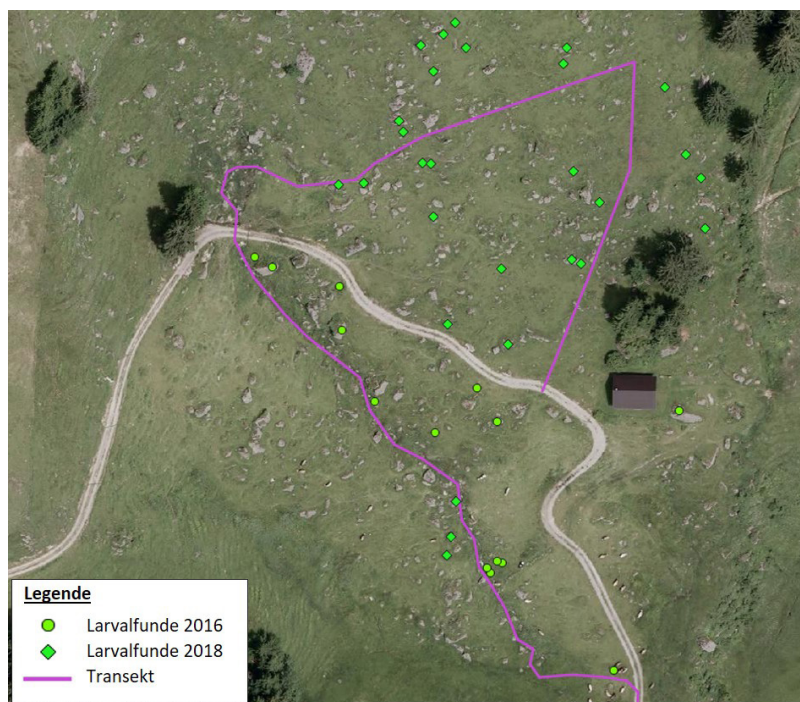


Abb. 7: Transekt bei der Lochalpe (Kartengrundlage VoGIS - © Land Vorarlberg).

um geeignete Weibchen zu finden. Daher kann es möglich sein, dass der eine oder andere Schmetterling mehrfach gesichtet und gezählt wurde. Der Verlauf der Kurve beschreibt die Verteilung wie folgt: Zu Beginn der Zählung gibt es noch recht wenige Männchen, die im stetigen Verlauf der Untersuchung ihren Höhepunkt Ende Juli erreicht. Gegen August nimmt die Population wieder ab. Wie von GEYER & DOLEK (2001) beschrieben, führt der frühere Schlupfzeitpunkt der Männchen (die sog. Protoandrie, also »Vormännlichkeit«) zu einer schnellen und gesicherten Begattung der Weibchen. Die Flugzeit hängt stark von der Höhenstufe und der Witterung ab (GEYER & NUNNER 2013), wodurch einzelne Teilpopulationen durch die zeitliche Verschiebung getrennt werden können (Anachronismus). Es ist zu vermuten, dass das kühle und eher regnerische Wetter Anfang Juli den Flugstart der Männchen verzögert hat.

Auswertung für das Jahr 2018

Der gegen Ende der diesjährigen Flugzeit festgestellte Begattungsindex von 1,0 zeigt eine gesicherte Begattung der Weibchen auf der Lochalpe. Die Individuendichte ist jedoch im Vergleich zu 2016 weiter zurückgegangen. Bei einer Studie im Pieniny Nationalpark (PL) wurde ein deutlicher Unterschied im Aktivitätsmuster der Männchen und Weibchen festgestellt, welches mit der Lochalpe vergleichbar ist: Männchen fliegen aktiv umher, während Weibchen meistens sitzend gefunden werden. Im Freiland wurde ein Geschlechterverhältnis (Männchen/Weibchen) von näherungsweise 2:1 bestimmt. Beim Zuchtprogramm (für die Stärkung der Freilandpopulation) hingegen, wurde ein Geschlechterverhältnis von annähernd 1:1 festgestellt (ADAMSKI & WITKOWSKI 1999), wie es auch aus genetischen Gründen zu erwarten ist (GRAW 2006). Daher ist nicht von einer unterschiedlichen geschlechtsabhängigen Mortalität im Freiland auszugehen. Die beobachteten Unterschiede sind auf das unterschiedliche

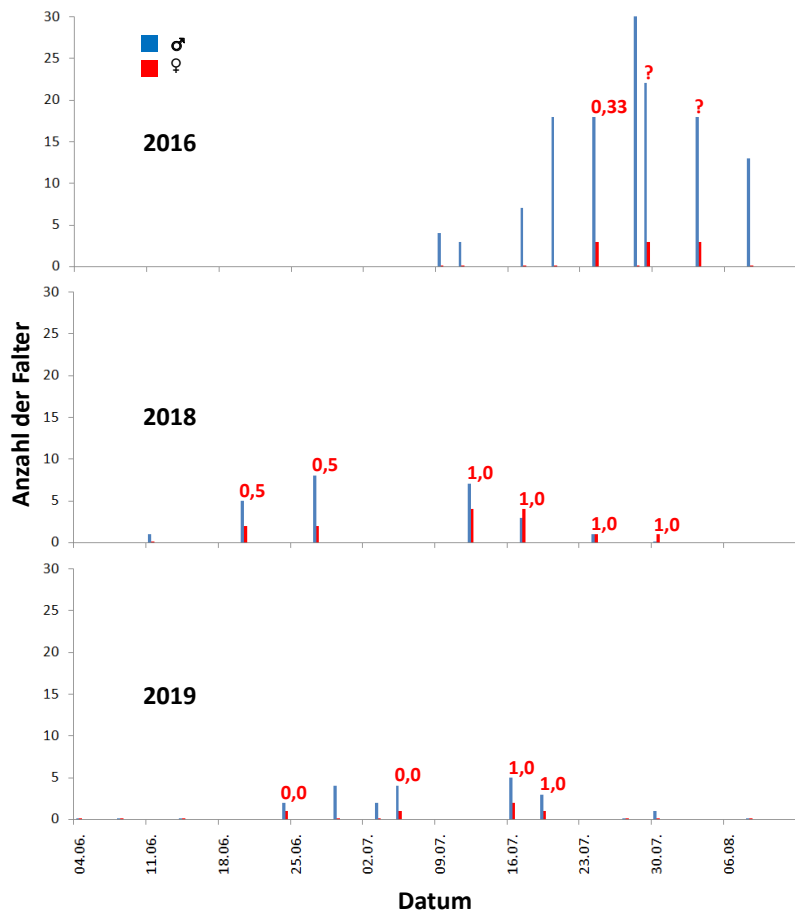


Abb. 8: Transekt-Begehungen zur Erfassung der Imagines auf der Lochalpe. Die roten Zahlen im Diagramm zeigen den Begattungsindex der Weibchen zum jeweiligen Zeitpunkt an.

Verhalten zurückzuführen. Männchen werden auch rund doppelt so häufig wieder gefangen als Weibchen. Daneben haben weitere Faktoren (z. B. eine höhere Rate an Flügelmissbildungen bei Weibchen verglichen zu den Männchen; ADAMSKI & WITKOWSKI 1999) einen Anteil am beobachteten 2:1-Geschlechterverhältnis, dessen genaues Ausmaß schwer abschätzbar ist. Das beobachtete Geschlechterverhältnis kommt folglich u.a. durch das weniger auffällige Verhalten der Weibchen zustande (ADAMSKI 2004).

Auswertung für das Jahr 2019

Der festgestellte Begattungsindex von 1,0 zeigt eine gesicherte Begattung der Weibchen auf der Lochalpe, wenn gleich die Individuendichte deutlich geringer ausgefallen ist als bei den Untersuchungen im Projektjahr 2016.

Die deutliche Vormännlichkeit von *Parnassius apollo* ergibt – nach Geschlecht aufgetrennt – einen zweigipfeligen Kurvenverlauf während der Flugzeit (GEYER & DOLEK 2001). In einer intakten Population führt der frühere Schlupfzeitpunkt der Männchen zu einer schnelleren und sicheren Begattung der nachfolgenden Weibchen. Bei einer beeinträchtigten, individuenarmen Population ist dieser Prozess gestört und nicht alle Weibchen werden ausreichend schnell bzw. im Extremfall einige überhaupt nicht begattet. Bisherige Erhebungen haben gezeigt, dass in einer intakten, individuenreichen Population alle während der Flugzeit festgestellten Weibchen zu über 90 % begattet waren. Bei einer individuenarmen, kurz vor dem Erlöschen stehenden Population in der Nördlichen Frankenalb erreichte

dieser Wert dagegen nur 30 % (GEYER 1991). Nach unserer Einschätzung befindet sich die Population daher in einem kritischen Zustand. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die günstigen Bedingungen auf der Lochalpe das individuenstärkste Vorkommen des österreichischen Teils des Naturparks ermöglichen.

Die Lochalpe ist mikroklimatisch begünstigt, was eine wichtige Voraussetzung für den wärmeliebenden Apollofalter ist. Die Lage der Lochalpe am zwischen O über S bis WSW offenen Südhang des Lecknertals ermöglicht eine effektiv mögliche tägliche Sonnenscheindauer zwischen 6,5 h im Winter und rund 11 h im Sommer. Die Sonne kann in den Morgenstunden, aufgrund der nur geringen Horizontüberhöhung im Osten, beinahe ungehindert die Fläche erreichen. Lediglich im Westen ist die Horizontüberhöhung deutlicher ausgeprägt, wodurch die Abendsonne diesen Teil der Alpfläche in der Hangmulde nicht erreicht (Daten: Sonnengangberechnung mittels VoGIS). Der Vergleich mit der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer von 8,5 h im Winter bzw. rund 16 h im Sommer (MOHNL 2002) verdeutlicht die sonnige Lage der Alpe. Die ausgeprägte Hangmulde der Lochalpe ist außerdem besonders windgeschützt

(Florian Fuchs, pers. Kommentar). Neben der mikroklimatisch begünstigten Lage profitieren die Falter vom großen Felsvorkommen und der traditionellen Bewirtschaftung. Einmal pro Jahr wird händisch Mist zwischen den Felsen ausgebracht. Die Alpfläche wird durch regelmäßiges Schwenden und durch angepasste Beweidung gepflegt, was sich positiv auf die Artenvielfalt der Fläche auswirkt. Die Feuchtwiesen im unteren Bereich der Alpe stellen ein wertvolles und von den Faltern stark frequentiertes Saughabitat dar.

3.2 Balderschwangertal

Auch die Südhänge im Balderschwangertal sind nun flächendeckend durch Larvarkartierungen abgedeckt. Das Gebiet wurde um die Flächen der Sippseggalpe erweitert, da dort AISTLEINER (1998) Nachweise aus den Jahren 1959 und 1964 erbrachte. Weitere gesicherte Nachweise waren bisher dort nicht bekannt (Datenbankabfrage inatura, 15.11.2016). Wie im Lecknertal wurden im Balderschwangertal potentielle Felslebensräume vorab mittels Luftbildanalyse ausgewertet. Die nicht farblich markierten Bereiche weisen wiederum keine oder nur sehr wenige Felsen auf, die roten Flächen zeigen die Felsen ohne Bewuchs von

Sedum album und die gelben Flächen sind wiederum potentielle Lebensräume für die Apollofalterraupe in denen ausreichend Felsen mit Bewuchs vorkommen. Sowohl im Westen, als auch im Osten des vorliegenden Kartenausschnittes (Abb. 9) konnten keine Funde gemacht werden. Auf der Schrofenalpe sind geeignete Voraussetzungen gegeben, die Fläche ist jedoch vom Apollofalter unbesiedelt. Der grüne Punkt markiert den einzigen Fund in diesem Gebiet aus dem Jahr 2016 bei der Unteren Hobelalpe. Diese Fläche stellte sich bei den Untersuchungen von 2018, vorwiegend nördlich der Alpe, als gut heraus (grüne Rauten). Einzelne Funde konnten auf der Unteren Hobelalpe gemacht werden. Die Raupenfunde konzentrieren sich im Balderschwangertal um die Gschwendwiesalpe und die Sippseggalpe (Abb. 9). Somit fehlt die Verbindung zu naheliegenden Populationen in Balderschwang (beim Biohotel Ifenblick) oder Richtung Lecknertal. Bei den Dreißigsgschwendalpen (im westlichsten Teil des Lecknertals angrenzend) konnten auch keine Vorkommen nachgewiesen werden. Der höchstgelegene Raupenfund des Balderschwangertals liegt mit 1312 m Seehöhe auf der Unteren Hobelalpe.



Abb. 9: Untersuchungsergebnisse Balderschwangertal (Kartengrundlage VoGIS - © Land Vorarlberg).

Die für das Lecknertal und das Balderschwangertal zusammengefasste Auswertung der Höhenverteilung der Raupenfunde zeigt ein interessantes Bild: Rund 2/3 der Raupenfunde liegen in den Höhenstufen von 1100 m und 1200 m, die Höhen- und Kammlagen um 1400 m und 1500 m sind nicht vom Apollofalter besiedelt (Abb. 10).

Auf der Sipperseggalpe wurde im Jahr 2019 erstmals ein Transekt angelegt, um einen Einblick in diese Teilpopulation zu erhalten. Durch die Begehung mehrerer Transekte in unterschiedlichen Gebieten mit Larvalfunden kann die Auswirkung von Bewirtschaftungsänderungen und Pflegemaßnahmen auf die Apollofalter-Population besser erfasst werden. Der Transekt wurde während der Flugzeit je nach Witterung mindestens einmal pro Woche begangen, um die Entwicklung des Apollofalters abschätzen zu können. Die rund 400 m lange Transektlinie wurde quer durch das Untersuchungsgebiet gelegt (Abb. 11).

Während der Flugzeit wurden bei acht Transektbegehungen insgesamt nur drei einzelne Männchen beobachtet (am 08. Juni, 24. Juni und am 29. Juni). Weibchen wurden keine gesichtet. Die Individuenzahlen sind so gering, dass nicht von einer eigenständigen Population ausgegangen werden kann. Bei

den wenigen Einzelfunden handelt es sich momentan offensichtlich um Tiere, die von der Gschwendwiesalpe zugeflogen sind. Allerdings muss das ehemalige Vorkommen auf diesen Flächen in den 1960ern sehr groß gewesen sein, was die Vielzahl der gesammelten und präparierten Apollofalter in der inatura (Dornbirn) beweisen. In den 1980ern allerdings wurde die Straße nach Balderschwang ausgebaut. Laut Luftbildanalyse mittels VoGIS fielen der Trassierung damals einige Felsen zum Opfer. Weitere Verluste dürften auch durch Kollisionen im Straßenverkehr über die Jahre zu verzeichnen sein. Dennoch ist aufgefallen, dass zu Beginn der Flugzeit im Mai die Fläche bereits sehr wenige bis gar keine Saugpflanzen aufweist. Auch während der Flugzeit stellte sich keine Verbesserung der Situation ein. Die mikroklimatischen Verhältnisse der Alpe sind für den Apollofalter geeignet. Die Lage am zwischen ONO über S bis WNW offenen Südhangfußes des Balderschwangertales erlaubt eine effektiv mögliche tägliche Sonnenscheindauer zwischen 6 h im Winter und rund 14 h im Sommer (Daten: Sonnengangberechnung mittels VoGIS). Der Vergleich mit der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer von 8,5 h im Winter bzw. rund 16 h im

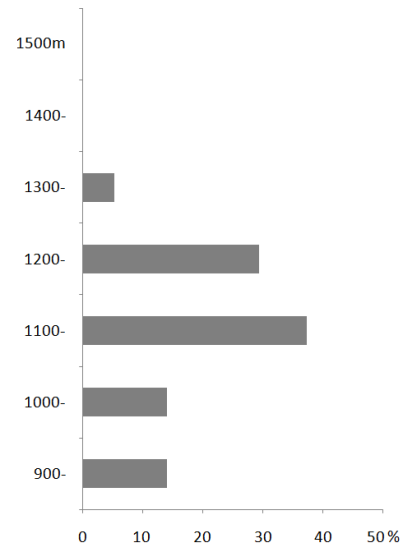


Abb. 10: Höhenverteilung der Raupenfunde des Apollofalters im Lecknertal und Balderschwangertal (n=150; Datengrundlage Projektjahre 2016 und 2018).

Sommer (MOHNL 2002) verdeutlicht die sonnige Lage der Alpe.

Die Ergebnisse aller Funde für das gesamte Untersuchungsgebiet (Lecknertal und Balderschwangertal) werden in Tab. 2 dargestellt. Die im Projektjahr 2019 im Zuge der Ameisenuntersuchungen gemachten Raupenfunde (blau markiert in Tab. 2) werden im Anschluss genauer dargestellt.



Abb. 11: Transekt bei der Sipperseggalpe (Kartengrundlage VoGIS - © Land Vorarlberg).

Untersuchungsgebiet	Gebietsbeschreibung	Fundorte	Kartiermethode	Anzahl der Funde 2016		Anzahl der Funde 2018		Anzahl der Funde 2019	
				Raupen	Imagines	Raupen	Imagines	Raupen	Imagines
Lecknertal	<ul style="list-style-type: none"> kleinräumige potentielle Larvalhabitate für den Apollofalter mit ausreichend <i>Sedum album</i> sind vorhanden auf Nagelfluhfelsen z.T. sehr hohes Felsaufkommen (Felssturzgelände) Funde zwischen 960 und 1300 m 	östl. Streichbrunnentalpe	Larval-/Imagineskartierung	2	2 (♂)	-	-	-	-
		nördl./südl. Ohligschwendalpe	Larval-/Imagineskartierung	4	2 (♂)	9	-		-
		östl. Lochalpe (Transekt)	Larval-/Imagineskartierung	17	max. 30 (pro Tag)	-	max. 12 (pro Tag)		max. 7 (pro Tag)
		Lochalpe gesamt	Larvalkartierung	-	-	41	-	-	-
		nördl./nordöstl. Vorderschneidenbachalpe	Larvalkartierung	2	-	-	-	-	-
		nordwestl. Hinterschneidenbachalpe	Larvalkartierung	3	-	-	-	-	-
		nordöstl. Urschlabodenalpe	Larvalkartierung	1	-	-	-	-	-
		nordwestl. Urschlabodenalpe	Larvalkartierung	-	-	10	-	-	-
		nordwestl. Schwarzenbergerplattenalpe	Larvalkartierung	1	-	-	-	-	-
Balderschwangertal	<ul style="list-style-type: none"> kleinräumige potentielle Larvalhabitate für den Apollofalter mit ausreichend <i>Sedum album</i> sind vorhanden auf Nagelfluhfelsen Funde zwischen 960 und 1300 m 	nördl. Untere Hobelalpe	Larvalkartierung	3	-	6	-	-	-
		südl. Untere Hobelalpe	Larvalkartierung	-	-	1	-	-	-
		nördl. Gschwendwiesalpe	Larvalkartierung	-	-	5	-	-	-
		Sipperseggalpe (Transekt)	Imagineskartierung	-	-	-	-	-	max. 1 (an 1 Tag)
		Sipperseggalpe	Larvalkartierung	-	-	11	-		-
Sibratsgfall, Feuerstätter	im gesamten Untersuchungsgebiet keine Vorkommen von <i>Sedum album</i>	keine Fundorte	Larvalkartierung	0	-	-	-	-	-
Sibratsgfall, Hochrubach	im gesamten Untersuchungsgebiet keine Vorkommen von <i>Sedum album</i>	keine Fundorte	Imagineskartierung	-	0	-	-	-	-

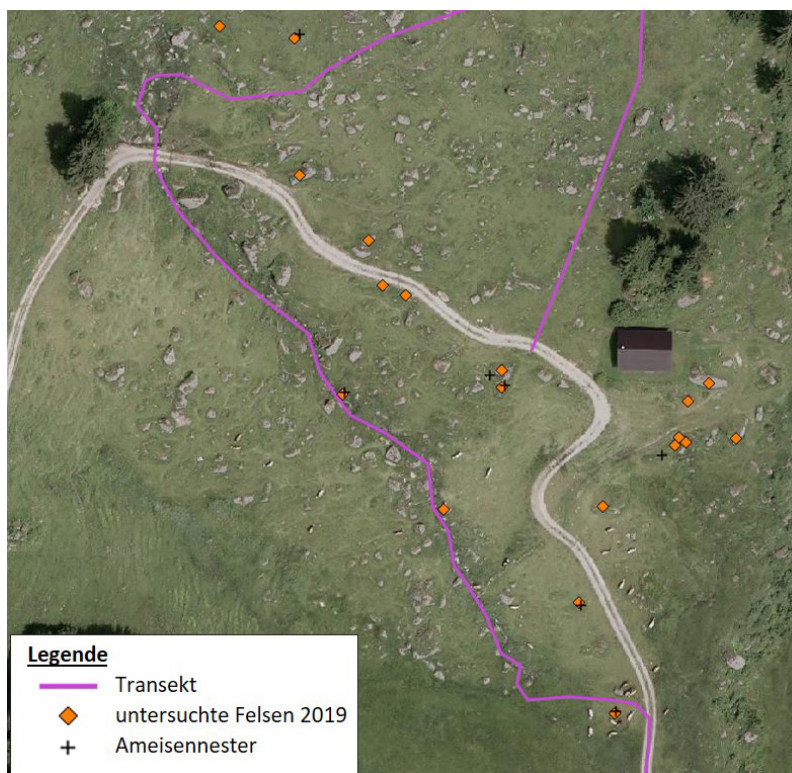
Tab. 2: Übersicht aller Untersuchungsergebnisse der Projektjahre 2016, 2018, 2019.

3.3 Prädation durch Ameisen

Im Naturpark Nagelfluhkette wurde im Zuge der Larvalkartierung im Jahr 2016 beobachtet, wie Ameisen eine Raupe innerhalb von wenigen Minuten töteten. Auch fanden sich auf einigen mit Ameisen besetzten Felsen Fraßspuren an den Futterpflanzen – die Raupen waren jedoch unauffindbar. Diese Beobachtungen führten zur Hypothese, dass die Ameisen einen Mortalitätsfaktor für die Raupen des Apollofalters darstellen können. Bei der Untersuchung zeigte sich deutlich, dass neben Ameisen weitere Faktoren eine Rolle für die Mortalität der Raupen spielen (BAUER & FEURLE 2017). Basierend auf diesen ersten Erkenntnissen wurde im Naturpark eine länderübergreifende Untersuchung durchgeführt.

Überblick zum Untersuchungsgebiet

Die Auswahl der Flächen für die Untersuchungen von 2019 basieren auf



Legende
 — Transekt
 ◆ untersuchte Felsen 2019
 + Ameisennester

Abb. 12: Lage der untersuchten Ameisennester und Raupenfunde auf der Lochalpe (Kartengrundlage VoGIS - © Land Vorarlberg).



Abb. 13: Lage der untersuchten Ameisennester und Raupenfunde auf der Ohligschwendalpe (südlich) (Kartengrundlage VoGIS - © Land Vorarlberg).



Abb. 14: Lage der untersuchten Ameisennester und Raupenfunde auf der Ohligschwendalpe (nördlich) (Kartengrundlage VoGIS - © Land Vorarlberg).

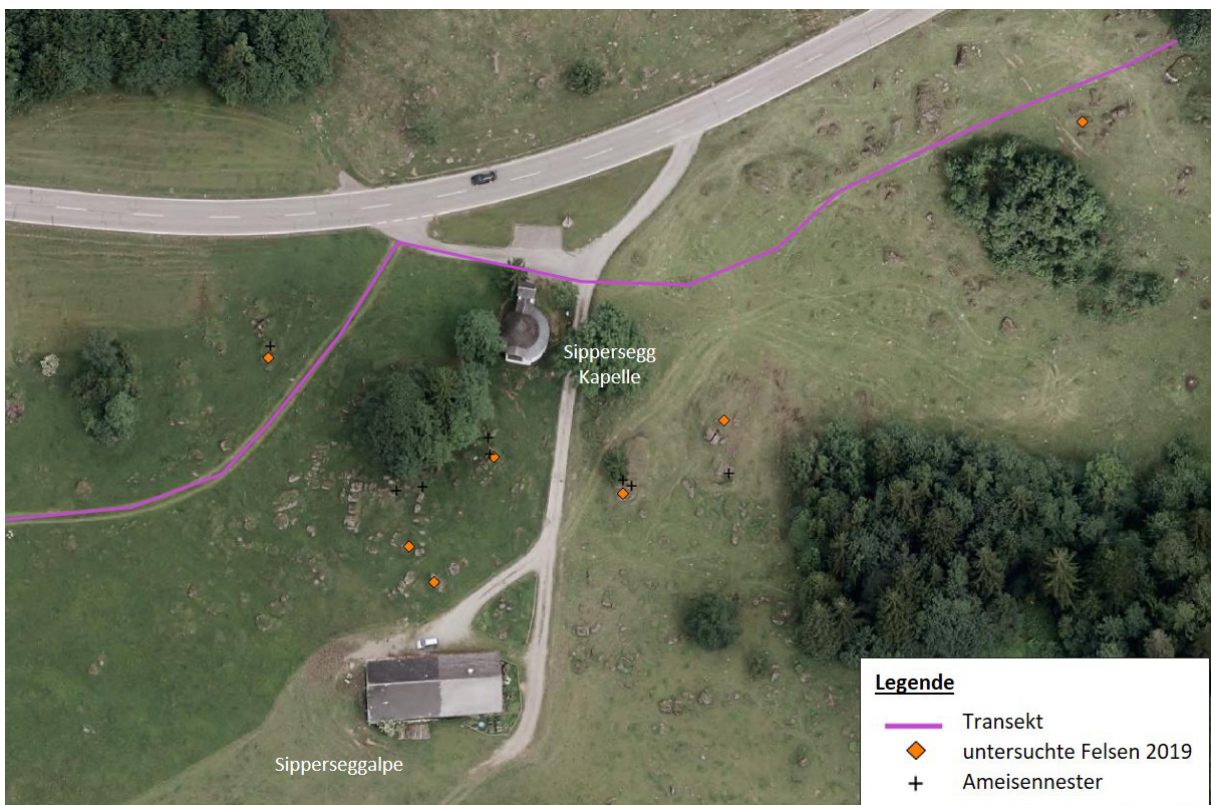


Abb. 15: Lage der untersuchten Ameisennester und Raupenfunde auf der Sipperseggalpe (Kartengrundlage VoGIS - © Land Vorarlberg).

den Kartierungen von 2018. Um herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Ausbringen von Gülle und der Häufigkeit von Ameisennestern im Gebiet gibt, wurden die Flächen entsprechend ausgewählt. Auf der Lochalpe im Lecknertal wird

nur einmal pro Jahr Mist ausgebracht. Trotzdem gibt es sowohl auf, als auch neben einigen Felsen Ameisennester. Auf den Untersuchungsgebieten bei den Alpen Ohligschwend und Sippersegg wird mehr Gülle als auf der Lochalpe ausgebracht und auch dort

sind Ameisennester nachweislich vorhanden. In den *Abbildungen 12-15* sind die entsprechend untersuchten Felsen mit Raupen mit orangen Rauten markiert, wohingegen die Ameisennester mit schwarzen Kreuzen ausgezeichnet sind. Wenn Ameisennester neben

Felsen gefunden wurden, wurden die Ameisenstraßen bis zu den Felsen verfolgt. Die Flächen rund um die Ohligschwendalpe wurden zweigeteilt, da sich 2018 zeigte, dass im südlicheren Bereich einige Ameisennester und die entsprechenden Felsen mit den nötigen Raupen vorhanden sind. Allerdings zeigte sich 2019 im Verlauf der Untersuchung ein völlig neues Bild. Die Ameisen waren weiterhin aktiv, nur konnte man zu Beginn des Untersuchungszeitraumes bis auf einen Felsen keine Raupen finden. Auch im weiteren Verlauf waren dort nur wenige Raupen anzutreffen. Auf dem einzigen untersuchten Felsen, der Idealbedingungen bot, waren keine Besonderheiten festzustellen. Trotz L1-Fund, der regelmäßig beobachtet wurde, und einer Ameisenstraße, die genau über den Futterplatz der Jungraupe verlief, erreichte die Raupe zumindest das mobilere L3-Stadium. Im nördlichen Teil der Ohligschwendalpe wurden zu Beginn der Untersuchungen vielversprechende L2-Funde auf den Felsen getätigt. Die Ameisen wurden hier erst zwei Wochen später aktiv, also zeitverzögert zur Raupe. Dies könnte bedeuten, dass die jungen Raupen (L1, L2) so den Entwicklungsvorsprung gegenüber den Ameisen nutzen und eine höhere Überlebenschance haben. Trotz der frühen Funde können auch nördlich der Ohligschwendalpe keine eindeutigen Aussagen getroffen werden, da anders wie im Jahr 2018 nur ein Ameisennest gefunden wurde. Bei der Alpe Sippersegg gibt es eine vergleichsweise große Vielzahl von Ameisennestern, was auch am Be-



Abb. 16: Nest der Großen Wiesenameise (*Formica pratensis*) auf einem Felsen im Untersuchungsgebiet. Die Art ist im gesamten Untersuchungsgebiet häufig.

wuchs mit Fichten liegen könnte. Zum Untersuchungsbeginn am 03.04.2019 konnten zwar Fraßspuren von Raupen nachgewiesen werden, der Raupenfund blieb jedoch aus. Auch in den Folgeuntersuchungen haben wir teilweise die Fraßspuren weiter verfolgen können, jedoch nur selten eine Raupe gefunden. Die Lochalpe hingegen lieferte ein komplett anderes Bild, was die Raupenfunde angeht. Ob mit oder ohne Ameisenbelauf nahm die Anzahl der Raupen pro Felsen im Verlauf der Untersuchung zu. Durch das unterschiedliche Ausapern der einzelnen Felsen gab es in diesem Gebiet vermutlich unterschiedliche Schlüpfzeitpunkte, wodurch auf den meisten Konglomeratfelsen L2- bis L5-Stadien gleichzeitig zu finden waren. Durch den stetigen Raupenzuwachs auf den Felsen ist daher auch hier keine eindeutige Aussage möglich. Es wurde

kein weiterer Angriff mit Todesfolge beobachtet.

Ameisenarten im Untersuchungsgebiet

Ameisennester sind im Untersuchungsgebiet häufig zu finden (Abb. 12-16). Auch auf Felsen weitab von Nestern werden Ameisen auf Nahrungssuche angetroffen. Beispielsweise wurde auf der Lochalpe festgestellt, dass die Große Wiesenameise (*Formica pratensis*) mehr als 50 m weit vom Nest entfernt die Konglomeratfelsen absucht (die Ameisenstraße wurde vom Waldrand aus verfolgt). LIEGL (2018) konnte für den Allgäuer Teil des Naturparks zeigen, dass auf gegüllten Flächen der Anteil von Felsen mit Ameisennestern 41 % beträgt, während auf ungegüllten Flächen nur 24 % der Felsen Ameisennester aufweisen. Somit ist der Anteil an Ameisennestern

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	Informationen
Grauschwarze Sklavenameise	<i>Formica fusca</i> (<i>Serviformica fusca</i>)	Erdnester, oft unter Steinen, manchmal auch mit Erdkuppeln oder in Holz erbaut. Arbeiterinnen 4,5 bis 7,5mm lang.
Große Wiesenameise	<i>Formica pratensis</i>	Nest teils unter- teils oberirdisch aus Pflanzenmaterial, oft um Baumstümpfe, bisweilen beachtliche Ausmaße erreichend. Arbeiterinnen 4,5 bis 9,5mm lang.
Schwarzgraue Wegameise	<i>Lasius niger</i>	Erdnester, meist unter Steinen, auf grasigem Boden meist mit gekammertem Erdoberbau. Häufigste heimische Art. Arbeiterinnen 3,0 bis 5,0mm lang.
Schmalbrustameisen	<i>Temnothorax</i> sp.	Verwendet kleinste Möglichkeiten als Nester. Mehrere heimische Arten. Arbeiterinnen dieser Gattung sind ausgesprochen klein.

Tab. 3: Auflistung der im Bayerischen Teil des Naturparks festgestellten Ameisenarten (nach LIEGL, 2018). Informationen zu den Ameisen nach JACOBS und RENNER (1988).

auf gegüllten Flächen rund doppelt so hoch wie auf ungegüllten Flächen. Im Vorarlberger Teil des Naturparks sind *Formica pratensis* und *Lasius niger* sehr häufig (eigene Beobachtung). In Balderschwang war die Schwarze Wegameise (*Lasius niger*) häufig zu finden, wobei auch andere Arten vorkommen (Tab. 3).

Möglicher Verlust von Eiern

WIKLUND (1984) konnte in einer vergleichenden Studie für 51 Schmetterlingsarten (u. a. für *Parnassius apollo*) in Schweden zeigen, dass Arten, die im Eistadium überwintern und krautige Raupenfutterpflanzen nutzen, dazu tendieren, diese zur Eiablageplatz zu meiden. Viele pflanzenfressende Insekten legen die Eier zur Vermeidung von Prädation abseits der Wirtspflanze. Durch diese Verhaltensanpassung reduziert z. B. der südamerikanische Schmetterling *Oleria onega* erfolgreich die Verlustrate an Eiern (DE-SILVA et al. 2011). Ob überhaupt bzw. zu welchem Anteil Ameisen die Eier von Apollofaltern fressen, ist aus der Literatur nicht bekannt. Die rein weißen und im Durchmesser rund 1,5mm großen Eier werden bei der Ablage durch das Weibchen mit einem Sekret überzogen, sodass diese gelblichweiß bis elfenbeinfarben (durch Alterungs-

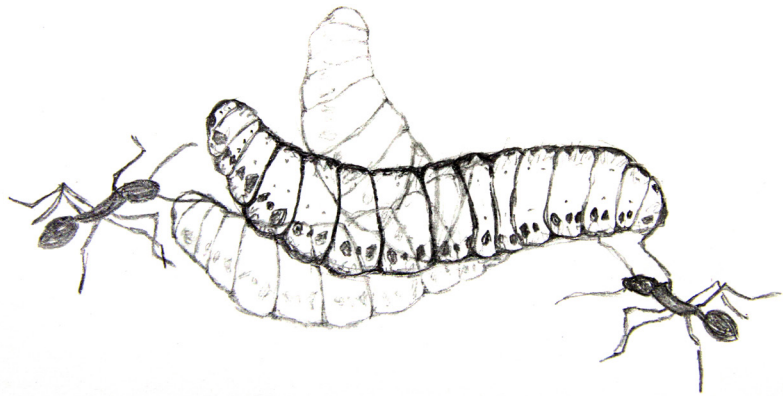


Abb. 17: Abwehrbewegungen der Raupen bei Ameisenkontakt. Das Vorder- und/oder Hinterende der Raupe kann in das seitliche Schnellen involviert sein. Auch S-förmiges Verkrümmen des Körpers ist zu beobachten.

prozesse bisweilen grau oder braun) aussehen (EITSCHBERGER et al. 1994). Dieses Sekret könnte einen Fraßschutz darstellen.

Abwehrverhalten der Raupen

Nach unseren Beobachtungen reagieren die Raupen des Apollofalters bei Ameisenkontakt in zweierlei Weise: Entweder verharren sie regungslos oder sie machen seitlich schnellende Bewegungen (Abb. 17). In einzelnen Fällen reagieren die Raupen auch mit Flucht auf Störung. LIEGL (2018) berichtet vergleichbar dazu, dass sich in einer Reihe von 15 Beobachtungen zum Raupen-Ameisenkontakt mehrheitlich dasselbe Bild zeigte: Die Raupen

verharren ruhig bei Ameisenkontakt, ohne dass es zu einem Fall von Prädationsverlust gekommen wäre. In vereinzelten Fällen konnte beobachtet werden, dass die Raupen mit Abwehrbewegungen (S-förmiges verkrümmen und seitliches Schnellen) auf die Ameisen reagierten (LIEGL 2018). Aus den Verhaltensbeobachtungen geht folglich klar hervor, dass ein Kontakt mit Ameisen nicht automatisch tödlich für die Raupen des Apollofalters endet.

Das Osmaterium von *Parnassius apollo*

Im Zuge der Untersuchungen zur Prädation durch Ameisen konnten wir auch das Osmaterium der Raupen des Apollofalters dokumentieren (Abb. 18). Zeitgleich dazu beobachtete Adi Geyer das Osmaterium bei Apollofalterraupen bei den Untersuchungen auf bayerischer Seite des Naturparks (pers. Mitteilung). Raupen der Ritterfalter (Papilionidae) besitzen zwischen dem Kopf und dem ersten Thoraxsegment eine Nackengabel (Osmaterium). Untersuchungen an verschiedenen Arten der Papilionidae zeigten, dass das Ausstülpfen des Osmateriums nachweislich der Prädation durch Ameisen sowie durch kleine Spinnen entgegenwirkt. Das unangenehm riechende Sekret der Drüsenzellen weist eine artabhängig (teilweise) unterschiedliche chemische Zusammensetzung auf. Detailliertere Untersuchungen liegen

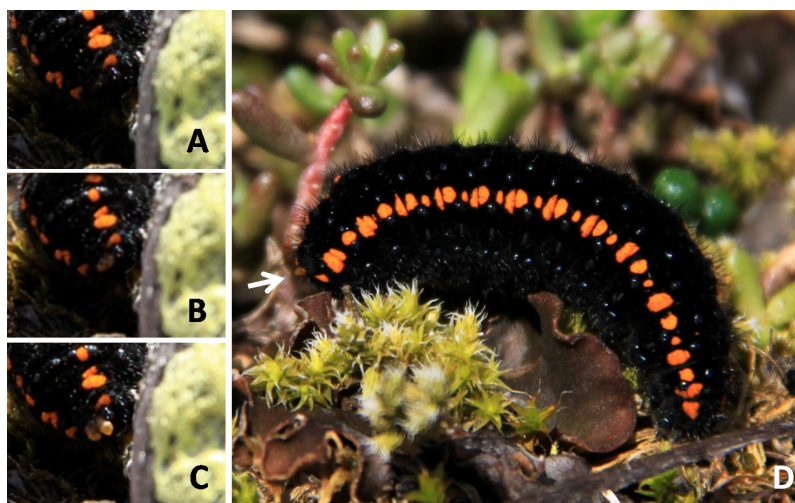


Abb. 18: Osmaterium des Apollofalters (*Parnassius apollo*). Im normalen Zustand ist das Organ eingeklappt und nicht sichtbar (A). Bei Störung können die Raupen das gelbliche Osmaterium durch Einpressen von Hämolymphe ausstülpfen (B, C, Pfeil in D). A bis C frontal, D lateral.

für *Papilio* spp. (Schwalbenschwänze) vor (EISNER & MEINWALD 1965; DAMMAN 1986; CONG et al. 2015). Die vielleicht älteste Darstellung des Osmateriums des Apollofalters findet sich in SCHÄFFER (1754). Darüber hinaus liegt uns keine wissenschaftliche Arbeit über die Nackengabel bei *Parnassius apollo* vor. Eine Studie dazu ist in Ausarbeitung (A. Geyer, A. Feurle & C. Bauer).

Mortalität der Raupen

Wie zuvor bereits erläutert wurde, steigt die Anzahl der Ameisennester durch das Ausbringen von Gülle an und trägt so indirekt zur Mortalität bei. Ein Ameisenkontakt ist in der Mehrheit der Fälle aufgrund des Verhaltens der Raupen nicht tödlich. Aufgrund der Körpergröße ist zu vermuten, dass bei jüngeren Raupenstadien höhere Prädationsverluste durch Ameisen zu verzeichnen sind. LIEGL (2018) führt den Verlust von einer L1- sowie einer L2-Raupe auf *Formica fusca* zurück. Auch eine deutlich größere Raupe kann Ameisen der Gattung *Formica* zum Opfer fallen (s. Abb. 11 in BAUER & FEURLE 2017).

Die Raupenmortalität auf der Untersuchungsfläche in Balderschwang war mit 5 % gering. Hervorzuheben ist bei den Daten jedoch, dass auf 4 % der Felsen die Raupen fehlten, wenn Ameisennester vorhanden waren, während lediglich auf 1 % der Felsen ohne Ameisennester die Raupen fehlten. In anderen Worten: Wenn Ameisen anwesend sind, fehlten die Raupen viermal häufiger, als wenn keine Ameisen anwesend sind (Abb. 22 in LIEGL 2018). Eine potentiell erhöhte Mortalität bei Anwesenheit von Ameisen wurde für das Lecknertal und das Balderschwangertal auf österreichischer Seite des Naturparks festgestellt (auf nur 17,9 % der Felsen Raupen mit Anwesenheit von Ameisen gefunden wurden, während in 82,1 % der Fälle Raupen auf ameisenfreien Felsen zu finden waren) (BAUER & FEURLE 2017). Die Raupen fehlten folglich in Anwesenheit von Ameisen ebenfalls rund viermal häufiger. SCHWARZ (2013) nennt

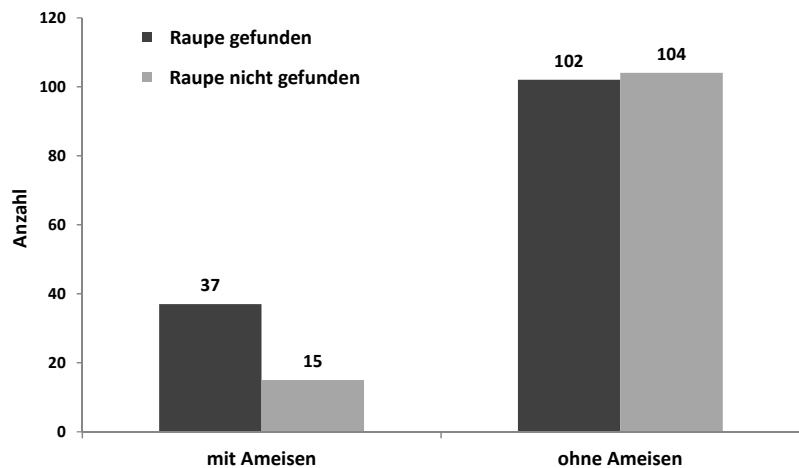


Abb. 19: Auswirkung von Ameisen auf die Raupen des Apollofalters. Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest: $p=0,0052$; $n=258$. Datengrundlage: Projektjahre 2016/2018.

mehrere mögliche Erklärungen für das Fehlen von Raupen trotz Vorhandensein der charakteristischen Fraßspuren: Raupen verstecken sich oder wandern auf andere Felsen; Raupen sterben durch verschiedene Prädatoren oder Betritt durch Weidetiere; ungünstige Witterung.

Bei den Verhaltensuntersuchungen wurde kein Fall beobachtet, bei dem sich eine Raupe nach Ameisenkontakt versteckte. Zudem könnte sich eine Raupe aufgrund der Körpergröße wohl kaum vor Ameisen geeignet verstecken (vgl. Informationen in Tab. 3). Dass sich die Raupen durch ungünstige Witterung versteckt aufhalten und daher trotz Vorhandensein der charakteristischen Fraßspuren »übersehen« werden, wurde ausgeschlossen, indem nur bei sonnigen und windarmen Bedingungen kartiert wurde.

Zur Untersuchung der Auswirkung von Ameisen auf die Sterblichkeit der Raupen des Apollofalters wurden die Daten aus den Projektjahren 2016 und 2018 zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Felsen mit Futterpflanzen, welche Fraßspuren aufweisen, auf denen jedoch nicht wie üblich die dazugehörige Raupe gefunden wurde, wurden als »Raupen sterben« gewertet. Felsen mit Futterpflanzen und Raupenfund wurden als »Raupen überleben« gewertet. Auf Grundlage einer Stichprobe von 258 Beobachtungen und einem Signifikanzniveau von

5 % konnte mittels Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest die Nullhypothese verworfen werden ($p=0,0052$). Damit ist die Alternativhypothese, dass Ameisen einen Einfluss auf die Raupen des Apollofalters haben, statistisch signifikant. Auf 52 von 258 untersuchten Felsen ($\hat{=} 20,2\%$ der Fälle) waren Ameisen anzutreffen. Mit Ameisen war es rund 2,5-mal häufiger der Fall, dass Raupen fehlten, als dass sie lebend angetroffen wurden. Hingegen fehlten ohne Ameisen die Raupen gleich oft wie sie lebend angetroffen wurden (Abb. 19). Somit ist ein Einfluss der Ameisen auf die Raupen des Apollofalters statistisch signifikant nachgewiesen. Daraus ist zu schließen, dass Ameisen für die Raupen der Apollofalter eine gewisse Gefahr darstellen. Durch das Abwehrverhalten in Form von seitlichem Schnellen und dem Einsatz des Osmateriums ist ein gewisser Schutz der Raupen anzunehmen. Im Vergleich ist interessant, dass Schmetterlingsraupen in tropischen Wäldern vor allem Ameisen zum Opfer fallen (SMILEY 1985; FREITAS & OLIVEIRA 1996; MACHADO & FREITAS, 2001).

Es ist möglich, dass Raupen nicht gefunden wurden, weil sie sich bei Störung vielleicht verstecken und somit fälschlich der Kategorie »Raupen sterben« zugeordnet wurden (falsch positives Ergebnis). Ebenso ist es möglich, dass die Ameisen zu einem früheren Zeitpunkt die Raupen gefressen

Collection locality	specimen-voucher	haplogroup/haplotype	GenBank Accession	BOLD Sample ID
¹ Austria: Naturpark Nagelfluhkette, Hittisau, Lochalpe (47.473515 N 9.991060 E), 1200 m	ATNAG1	A / H9	MN888486	PANAG001-20
² Austria: Naturpark Nagelfluhkette, Hittisau, Bolgenach (47.465193 N 9.990315 E), 850 m	ATNAG2	A / H9	MN888487	PANAG002-20
³ Germany: Naturpark Nagelfluhkette, Balderschwang, Ifenblick (47.466141 N 10.095901 E), 1050 m	DENAG1	A / H9	MN888488	PANAG003-20
⁴ Germany: Naturpark Nagelfluhkette, Balderschwang, Ifenblick (47.466141 N 10.095901 E), 1050 m	DENAG2	A / H9	MN888489	PANAG004-20

Tab. 4: Genetische Analyse (mtDNA barcoding, cytochrome c oxidase subunit I) der Apollofalter (*Parnassius apollo*) im Naturpark Nagelfluhkette. 1: Raupe (L3), 2: Falter, 3: Falter, 4: Falter. Koordinaten: Dezimalgrad (WGS84).

haben, zum Untersuchungszeitpunkt aber nicht mehr auf den Felsen zu finden waren (falsch negatives Ergebnis). Um diese Möglichkeiten auszuschließen, wurden im Projektjahr 2019 die Strategie gewählt, Mehrfachbegehungen der Flächen durchzuführen. Somit wurden einzelnen Raupen über einen längeren Zeitraum wiederholt besucht. Durch die Mehrfachbegehungen und das Auszählen der abgefressenen Triebe sollte ausgeschlossen werden, dass die Raupe noch am Leben ist, aber »übersehen« wurde. Im Untersuchungsgebiet konnte beobachtet werden, dass die Raupen auch zu- oder abwandern können. Wie mehrfach gezeigt wurde, sind die Raupen vor allem ab dem L3-Stadium besonders mobil (GEYER & DOLEK 1995, 1999, 2001; DOLEK & GEYER 2005). Im Idealfall müsste man die Raupen vom Schlupftermin an untersuchen, was unter Geländebedingungen aber fast nicht möglich ist (die Eier sind sehr klein und schwer zu finden [Abb. 1], der Zeitpunkt des Schlupfes ist unbekannt und kann stark variieren, etc.). Ein witterungsbedingter Entwicklungsvorsprung könnte dazu führen, dass die Raupen aufgrund der Körpergröße weniger leicht den erst bei wärmeren Bedingungen aktiven Ameisen zum Opfer fallen (LIEGL 2018). Ameisen können bei Sonnenschein jedoch auch über Schnee gehen (pers. Beobachtung). Aufgrund des Einbruches in den Bestandszahlen (Abb. 8) konnte die Ameisenuntersuchung im Projektjahr 2019 nicht im ursprünglich geplanten Ausmaß durchgeführt werden. Zudem

wurde auf einem Teil der Untersuchungsflächen die Beweidung mit Ziegen intensiviert, wodurch die Anzahl der für die Erhebung geeigneter Felsen weiter eingeschränkt wurde, und keine weiteren statistisch getesteten Aussagen möglich sind.

3.4 Phylogeographische Zuordnung der Apollofalter im Naturpark Nagelfluhkette

Ein umfassendes Bild zum Erhaltungszustand einer Art beinhaltet auch genetische Analysen (HOLDEREGGER & SEGELBACHER 2016). TODISCO et al. (2010) geben in ihrer Studie einen detaillierten Einblick in die Phylogeographie, eine Art »historische« Betrachtung des Ursprungs und der genetischen Ausstattung, des Apollofalters, woran sich die genetische Untersuchung der vorliegenden Arbeit orientiert. Aus naturschutzfachlichen Überlegungen, insbesondere die geringen Individuenzahlen betreffend, wurde für diese Studie komplett auf die Entnahme von lebenden Raupen oder Schmetterlingen verzichtet. Von vier zufällig gemachten Totfunden (1 Raupe, 3 Imagines) aus dem Gebiet des Naturpark Nagelfluhkette (2 aus Österreich, 2 aus Deutschland) wurde die DNA extrahiert und ein DNA-Barcoding mit der mitochondrialen cytochrome c oxidase Untereinheit I (COI, COX1; 869bp-Fragment) durchgeführt. Es handelt sich um eines der ersten DNA-Barcodings für *Parnassius apollo* aus Österreich (das erste aus Vorarlberg) und Deutschland, sowie eines der ersten im nördlichen Alpenbereich

(BOLD-Systems Datenbankabfrage, Stand: 19.01.2020). Somit stellen die Sequenzdaten einen kleinen Beitrag zu den wertvollen nationalen Forschungsinitiativen ABOL (Austrian Barcode of Life; DNA-Barcoding der Tagfalter Österreichs) und GBOL (German Barcode of Life) dar.

Nach den Ergebnissen der genetischen Untersuchungen gehören die Apollofalter des Naturparks Nagelfluhkette zum Haplotyp H9 innerhalb der Haplogruppe A (N=4, Haplotype diversity $h = 0,000 \pm 0,000$) (Tab. 4), welche nach TODISCO et al. (2010) im Alpenraum, in Teilen des Apennins, sowie dem französischen Massiv Central vorkommt. Somit sind die Apollofalter in unserem Bereich der Alpen näher mit den Faltern der südlichen Alpen verwandt als mit jenen der Karpaten. Die Populationen der Alpen und des Apennins weisen einen geringen Grad an genetischer Differenzierung auf (TODISCO et al. 2010). Die Daten aus dem Naturpark Nagelfluhkette bestätigen die Hypothese von TODISCO et al. (2010), dass die Apollofalter während des letzten glazialen Maximums im späten Pleistozän (25.000-18.000 Jahre vor heute) außerhalb des Alpenbogens Lebensraum fanden und mit dem Zurückweichen der Gletscher und der Wiederbewaldung großer Bereiche Europas weiter expandierten. Folglich sind die heutigen Vorkommen im Naturpark zumindest jünger als 18.000-15.000 Jahre. Die Berglandwirtschaft in den Alpen ist mehrere Tausend Jahre alt (zusammengefasst in BERCHTEL, 1990). Die Apollofalter dürften von der früheren Landnutzung durch den Menschen profitiert haben. Zumindest in der heutigen Situation ist der Apollofalter von der traditionellen Berglandwirtschaft abhängig, wodurch er als Kulturfolger zu bezeichnen ist. Die zum Naturpark nächstgelegenen Vorkommen des Apollofalters befinden sich an der Kanisfluh in Vorarlberg (HUEMER 2001, 2005), in Lichtenstein (HIERMANN et al. 2019), sowie im schweizerischen Engadin (pers. Beobachtungen). AISTLEITNER (2011) konnte im

mehrfährigen Beobachtungszeitraum keine Nachweise für das nahegelegene Kleinwalsertal machen. In den Tal-lagen des Landes ist der Apollofalter weitgehend verschwunden (HUEMER 2001). Im neuen DNA barcode reference library der Schweiz (LITMAN et al. 2018), in der Checkliste der Schmetterlinge des Fürstentums Liechtenstein (HIERMANN et al. 2019) sowie im »DNA-Barcoding der Tagfalter Österreichs« (HUEMER & WIESMAIR 2017) sind keine Sequenzdaten zum Apollofalter aufgelistet. Genetische Untersuchungen an weiteren, bisher nicht berücksichtigten Populationen wären interessant und sollten mit nicht-invasiven Methoden zur DNA-Gewinnung (z. B. Totfunde, bestehende Museums-Sammlungen, etc.) durchgeführt werden.

3.5 Beeinträchtigte Faktoren

Für die Einschätzung der Gefährdung einer Population spielen mehrere Parameter eine große Rolle: Populationsgröße, Reproduktion, Mortalität, Populations-Wachstumsraten, Migration, Biotopansprüche und die Qualität des Lebensraumes. Für Metapopulationen können Isolationsfaktoren eine Gefahr darstellen, weshalb es wichtig ist, die Austauschraten zwischen den Teilpopulationen, sowie die Besetzung

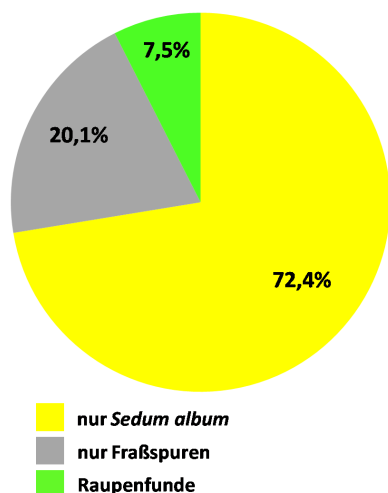


Abb. 21: Auswertung der Felskartierung (Datengrundlage: Projektjahre 2016 und 2018; n = 1606).

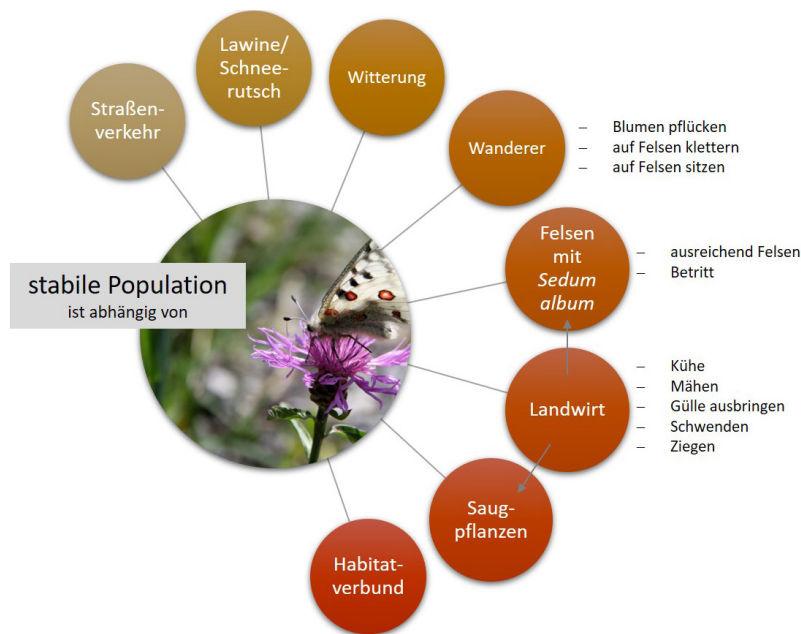


Abb. 20: Eine stabile Apollofalter-Population ist abhängig von verschiedenen Faktoren, die sich je nach Teilfläche in ihrer Gewichtung unterscheiden und unterschiedlich kombinieren.

der Habitate zu bestimmen (HENLE et al. 1999). Die Austauschraten sind im Untersuchungsgebiet u.a. durch die Entfernung zwischen den Larvalhabitaten begrenzt. Angesichts der geringen Individuenzahlen in den untersuchten Gebieten (BAUER & FEURLE 2017) war es für die angedachte Erstellung des Maßnahmenkataloges entscheidend, möglichst viele der beeinträchtigenden Faktoren zu identifizieren und richtig einzuschätzen. Die hier präsentierte Reihenfolge stellt keine Aussage zu deren Wichtigkeit bzw. Bedeutung dar. Vielmehr beeinträchtigen mehrere Faktoren, in für einzelne Alpflächen unterschiedlicher Kombination, die Apollofalter (Abb. 20).

3.5.1 Verfügbarkeit und Qualität von Larvalhabitaten

Als Schutz und Pflegemaßnahmen empfiehlt sich nach der Roten Liste für Vorarlberg eine Förderung der extensiven traditionellen Pflege, Düngeverzicht, Verhinderung weiterer baulicher Maßnahmen und Förderung des Blütenreichtums (HUEMER 2001). Die Erhaltung und Optimierung der Larvalhabitate sind ein wichtiges Element zum Schutz des Apollofalters (GEYER &

NUNNER 2013). Um in diesem Zusammenhang einen Überblick über das Untersuchungsgebiet zu bekommen, wurden die Daten aller Geländeerhebungen der Jahre 2016 und 2018 ausgewertet. Dabei wurden im Lecknertal und Balderschwangertal 1606 Felsen erfasst, die ausreichend *Sedum album* für die Versorgung von Apollofalterraupen aufweisen. Bei 1163 Felsen ($\hat{=}$ 72,4 %) wurde nur *Sedum album* gefunden (ohne Raupen oder deren Fraßspuren). Die Flächen mit diesen Felsen sind in den Abb. 5 und Abb. 9 gelb dargestellt. Auf 323 Felsen ($\hat{=}$ 20,1 %) wurden nur Fraßspuren gefunden (ohne Raupennachweis). Auf lediglich 120 Felsen ($\hat{=}$ 7,5 %) wurden lebende Raupen gesichtet. Diese Funde sind in den Abb. 5 und Abb. 9 als grüne Punkte/Rauten dargestellt. Insgesamt können die Raupen also auf 443 Felsen ($\hat{=}$ 27,6 % der Felsen mit *Sedum album*) indirekt durch die charakteristischen Fraßspuren (auf 323 Felsen, $\hat{=}$ 72,9 % der Fälle) bzw. direkt durch Sichtung lebender Raupen (auf 120 Felsen, $\hat{=}$ 27,1 % der Fälle) nachgewiesen werden.

Nur ein Teil der theoretisch zur Verfügung stehenden Felsen ist mit Rau-

pen besetzt. Die Anzahl an Felsen mit ausreichend *Sedum*-Bewuchs ist nach unseren Daten in den Gebieten mit größeren Felsaufkommen nicht limitierend. Es ist allerdings zu beachten, dass Flächen mit geeigneten Felsen oft sehr klein sind und diese oft weit voneinander entfernt liegen (v. a. im Lecknertal; vgl. *Abb. 5* und *Abb. 9*). Auf manchen Flächen ist der Anteil an kahlen Felsen durch Ziegenbeweidung in den letzten Jahren gestiegen. Der Habitatverbund ist folglich nicht überall gegeben, was im Folgenden näher betrachtet wird. Durch die Entfernung von Felsen aus Alpflächen und die Drainage von Feuchtbereichen gehen wichtige Lebensgrundlagen für zahlreiche Arten wie den Apollofalter verloren.

Ziegen halten sich mit Vorliebe auf den Felsen auf. Auf der Lochalpe wurde von den Älplern beobachtet, dass Ziegen sogar die für den Apollofalter wertvollen Disteln fressen und einzelne Felsen am Ende des Alpsommers kahl sind. Damit kann der Apollofalter durch eine intensive und zeitlich nicht abgestimmte Ziegenhaltung beeinträchtigt werden. Durch Betritt und Fraß werden die Felsen nahezu vegetationsfrei, was im Altmühltal unter kontrollierten Bedingungen zur Habitatsicherung eingesetzt wird (GEYER & DOLEK 2001). So könnten bei gezielter Beweidung mit Ziegen im Frühjahr der Verbuschung/Verwaldung von geeigneten Felsen entgegengewirkt werden. Gleichzeitig würde dies für den Landwirt eine Arbeiterleichterung darstellen. Besonders wertvolle Felsen könnten durch Zäune vor Betritt/Fraß durch die Ziegen geschützt werden. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass sich Ziegen positiv und negativ auf die Bestände des Apollofalters auswirken können.

Die traditionelle, arbeitsintensive Pflege der Flächen (Schwenden) garantiert, dass *Sedum album* ausreichend erhalten bleibt. Unterhalb der Waldgrenze würde sich nach Auflasung der Bewirtschaftung oder bei mangelnder Pflege der Weiden als



Abb. 22: Mit Gülle verklebte Raupe des Apollofalters. Die Futterpflanze ist ebenso mit Gülle beschmutzt. Die rote Färbung der Pflanze zeigt die bisher nährstoffarmen Bedingungen an.

Folge der Sukzession die natürliche standortgemäße Vegetation in Form eines Tannen-Fichten-Waldes ausbilden (BERCHTEL 1990). Die Verbuschung und Wiederbewaldung führt in Bayern zum Verlust der Habitate und zum Erlöschen zahlreicher Populationen (GEYER & NUNNER 2013). Auf Teilflächen des Untersuchungsgebietes wurde eine Verbuschung und Wiederbewaldung festgestellt.

Ebenso wurde vermehrt ein Einsatz von Gülle, sogar auf den Felsen beobachtet. Einerseits kann die Gülle die Raupen direkt treffen und die Futterpflanze verunreinigen (*Abb. 22*). Andererseits hat der Nährstoffeintrag auch einen indirekten Langzeiteffekt, der sich an der grünen Farbe der Pflanze und den längeren Internodien zeigt, welche auch durch mehr Feuchtigkeit oder weniger Besonnung entstehen können (*Abb. 23*). Auffällig ist, dass vor allem die Junglarven, aber auch die Mehrzahl der Altlarven, Rotblättriges gegenüber grünblättrigem *Sedum album* bevorzugen. In der rotblättrigen Ausbildung kommt *Sedum album* unter starker Besonnung vor. Wächst die Pflanze jedoch im Schatten, so ist sie hauptsächlich grünblättrig. Grünblättriges *Sedum album* hat in der Zucht verstärkt zu Erkrankungen des Verdauungstrakts bis hin zum Tod der Raupen

geführt (GEYER & DOLEK 1999). Die Meinung grünblättriger Futterpflanzen durch die Jungraupen hängt unter anderem mit dem hohen Wassergehalt zusammen, der bei den Raupen zu Durchfall führt. Durch die höhere Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit verändert sich die Pflanze physiologisch in einer Weise, dass sie von den Raupen nicht mehr als Futterpflanze genutzt werden kann (DOLEK 2006; GEYER 2019). Im Gunzesriedertal hat SCHWARZ (2013) festgestellt, dass die für die Apollofalterraupen charakteristischen Fraßspuren ausschließlich auf rotblättrigem *Sedum album* zu finden sind.

Zur Untersuchung der Auswirkung von Gülle-Düngung auf die Farbe von *Sedum album* wurden die Daten aus den Projektjahren 2016 und 2018 zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf Grundlage einer Stichprobe von 364 Beobachtungen und einem Signifikanzniveau von 5 % konnte mittels Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest die Nullhypothese verworfen werden ($p=1,15 \cdot 10^{-11}$). Damit ist die Alternativhypothese, dass Gülle-Düngung einen Einfluss auf die Farbe von *Sedum album* hat, statistisch signifikant. Wenn nicht mit Gülle gedüngt wird, sind auf 88,3 % der untersuchten Felsen rotes Sedum (226 Felsen), sowie

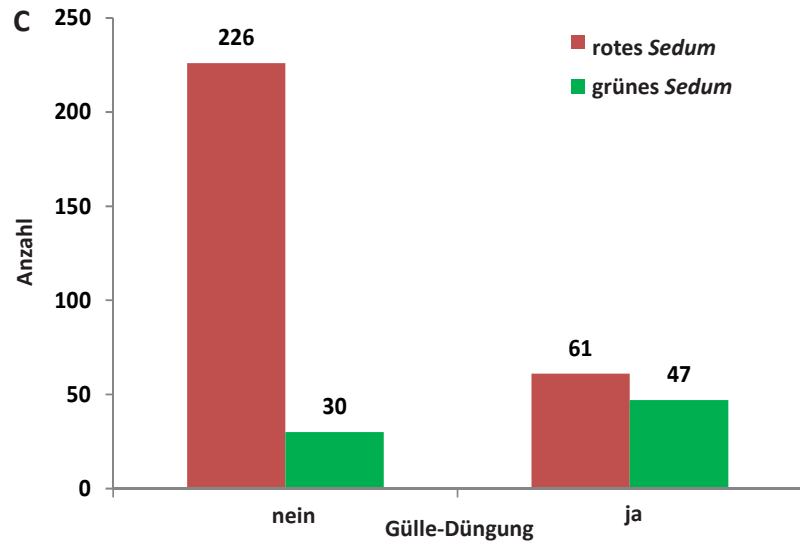


Abb. 23: Einfluss von Gülle-Düngung auf *Sedum album*. A: Rote Blätter und kurze Internodien. B: Grüne Blätter und lange Internodien (Resten von Dünger sichtbar). C: Auffallend ist, wie der Anteil an Felsen grünem *Sedum* mit der Düngung zunimmt. Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest: $p=1,15 \cdot 10^{-11}$, $n=364$. Datengrundlage: Projektjahre 2016/2018.

auf 11,7 % der untersuchten Felsen grünes *Sedum* (30 Felsen) zu finden. Wenn hingegen mit Gülle gedüngt wird, sind auf 56,5 % der untersuchten Felsen rotes *Sedum* (61 Felsen), sowie auf 43,5 % der untersuchten Felsen grünes *Sedum* (47 Felsen) zu finden (Abb. 23 C). Der Anteil am für die Raupen ungünstigen, grünen *Sedum* liegt nach unseren Untersuchungen um das 3,7fache höher, wenn mit Gülle gedüngt wird.

LIEGL (2018) konnte folgenden Zusammenhang zeigen: Je besser die Qualität der Felsen (großflächige Polster aus *Sedum* vorhanden, kein Gülleeinfluss), desto mehr Raupen sind auf den Felsen zu finden. *Sedum album* scheint durch die Gülle-Düngung nicht direkt verdrängt zu werden. Die Farbe von *Sedum album* ist somit geeignet, auf die ungefähren Standortbedingungen zu schließen. Gleichzeitig kann die qualitative Eignung der Pflanzen als Futter für die Raupen des Apollofalters eingeschätzt werden (Abb. 23). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Farbe und Wuchsform des Weißen Mauerpfeffers stark von der Düngung der Alpfächen abhängig sind, wobei rote Blätter und kurze Internodien eine gute Futterqualität für die Raupen anzeigen.

Die Weibchen der Apollofalter bewegen sich zwischen Bereichen mit Saugpflanzen und Bereichen mit den Futterpflanzen der Raupen. Die Häufigkeit der Raupen hängt von der Anzahl der weiblichen Falter im Vorjahr ab. Die Häufigkeit der Apollofalter ist nachweislich von der Verfügbarkeit von Larvalhabitaten und Saugpflanzen, sowie von deren räumlicher Nähe abhängig (FRED et al. 2006; FRED 2004).

3.5.2 Verfügbarkeit von Saugpflanzen

Im Zuge einer Erfolgskontrolle für das Artenschutzprogramm für den Apollofalter in Oberfranken konnte nachgewiesen werden, welche Bedeutung eine ausreichende Versorgung mit Saugpflanzen hat (GEYER 2019). Die räumliche Verteilung von Futterpflanzen der Raupen und von Nektarpflanzen haben Auswirkungen auf die Populationsdynamik beim Apollofalter (FRED et al. 2006). Die Imagines nutzen verschiedene Saugpflanzen (Tab. 5), wobei violette Blüten bevorzugt angefliegen werden (Abb. 24). Der blütenökologische Stieltyp der Tagfalterblumen (Psychophile; Stieltellerblumen) umfasst in Mitteleuropa v. a. eine rosa über rot bis violette Färbung. Das Erblühen erfolgt morgens, die charakter-

istisch süßen Düfte weisen auch frisch geschlüpften und somit unerfahrenen Tieren den Weg. Neben den Stieltellerblumen werden köpfchenartige Blütenstände angefliegen (FLÜGEL 2013; SCHWERTFEGER & FLÜGEL 2015). Die Weiße Fetthenne entspricht von der Blütenökologie nicht dem Typ einer Tagfalterblüte. Die Pflanze wird nach unseren Beobachtungen selten, und nur bei schlechter Verfügbarkeit von violettblütigen Saugpflanzen angefliegen – der Nachweis der Nektarnutzung ist



Abb. 24: Apollofalter beim Blütenbesuch. Schmetterlinge tragen wesentlich zur Bestäubung bei.

noch ausständig. LIEGL (2018) dokumentierte einen Apollofalter, der ungewöhnlicherweise an einem gelben Korbblütler saugte.

Keine der in Tab. 5 angeführten Pflanzenarten ist im gesamten Untersuchungsgebiet besonders häufig vertreten, bzw. steht während der gesamten Flugzeit zur Verfügung. Zum Teil waren die Saugpflanzen noch nicht aufgeblüht, bzw. schon verblüht. Vor allem gegen Ende der Flugzeit, wenn die Weibchen fliegen, (Abb. 7, Abb. 11) sind oftmals nur noch wenige Saugpflanzen verfügbar. Für Tagfalter stellt Nektar in der Regel die Hauptproteinquelle dar. Bei Schmetterlingen erhöhen sich daher die Eiablageraten bei mit Aminosäuren angereichertem Nektar deutlich (FLÜGEL 2013; SCHWERDTFEGER & FLÜGEL 2015). Ein Apollofalter-Weibchen legt in Gefangenschaft unter Fütterung, also unter ernährungsphysiologisch begünstigten Bedingungen, innerhalb von zwei bis drei Wochen zwischen 150 und 250 Eier (MOSER & OERTLI 1980). Die Nektarversorgung ist dabei für die qualitative und quantitative Produktion von Eiern nachweislich wichtig und wirkt sich sogar auf die Populationsgröße aus (FRED 2004).

Es wurde beobachtet, dass Kühe zwar die Pflanzen zwischen den Felsen abweiden, dabei aber manche der bevorzugten Saugpflanzen des Apollofalters verschmähen (Kratzdisteln, Dost, etc.). Die Nutzungsart hat einen großen Einfluss auf die Artzusammensetzung der Weiden. So wirkt sich vor allem freier Weidegang negativ aus (Über- und Unternutzung von Teilflächen). Die Unterteilung der Weide in Koppeln ist daher ein sinnvoller Weg, den Flächen die nötige Pflege zukommen zu lassen. Durch die Koppelhaltung fressen die Tiere auch weniger wohlschmeckende Arten und auf den übrigen Flächen kann sich die Vegetation wieder erholen. Auf Magerrasen sind Borstgrasweiden vorherrschend. Diese sind in der Regel nicht »verbesserungsfähig«, verbuschen aber bei Unternutzung sofort (BERCHTEL 1990).

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	Familie
Ringdisteln ^[1]	<i>Carduus</i> spp.	Korbblütler (Asteraceae)
Flockenblumen ^[1, 2]	<i>Centaurea</i> spp.	Korbblütler (Asteraceae)
Kratzdisteln ^[1]	<i>Cirsium</i> spp.	Korbblütler (Asteraceae)
Schmalblättrige Weidenröschen ^[3]	<i>Epilobium angustifolium</i>	Nachtkerzengewächse (Onagraceae)
Acker-Witwenblume ^[1]	<i>Knautia arvensis</i>	Geißblattgewächse (Caprifoliaceae)
Oregano ^[4]	<i>Origanum vulgare</i>	Lippenblütler (Lamiaceae)
Wegerich ^[4]	<i>Plantago</i> spp.	Wegerichgewächse (Plantaginaceae)
Weißer Fetthenne ^[4]	<i>Sedum album</i>	Dickblattgewächse (Crassulaceae)
Tauben-Skabiose ^[1]	<i>Scabiosa columbaria</i>	Geißblattgewächse (Caprifoliaceae)
Alpen-Thymian ^[4]	<i>Thymus praecox polytrichus</i>	Lippenblütler (Lamiaceae)
Baldrian ^[3]	<i>Valeriana officinalis</i>	Geißblattgewächse (Caprifoliaceae)

Tab. 5: Auflistung vom Apollofalter genutzter Saugpflanzen. Quellen: ^[1] GEYER (2019);

^[2] HUEMER (2001); ^[3] FRED (2004); ^[4] A. Geyer, A. Feurle & C. Bauer, pers. Beobachtung.

Auch das Schwenden hat einen bedeutenden Einfluss auf die Verfügbarkeit von Saugpflanzen, wobei es wichtig wäre, dass diese nötige Pflegemaßnahme nicht zu früh durchgeführt wird. Manche Äpler sparen Oregano und Flockenblumen teilweise beim Schwenden aus. Die für die Apollofalter besonders wertvollen Kratzdisteln sind hingegen auf den Alpflächen nicht gerne gesehen und werden meist konsequent geschwendet. Die Streu- und Feuchtwiesenbereiche werden oft sehr früh gemäht. Das stellt einen bedeutenden Gefährdungsfaktor für Schmetterlinge dar (HUEMER 1996). Die zunehmende landwirtschaftliche Intensivierung (v. a. durch Gülle- und Jauchedüngung und intensivere Beweidung) in Magerwiesen und -weiden bis in mittlere und höhere Lagen, hat zu massiven Einbrüchen in der Häufigkeit vieler Schmetterlingsarten geführt. Auch Ruderal- und Unkrautgesellschaften sind davon betroffen (HUEMER 2001). Besonders die schnell wirksame Düngung durch Gülle und Kunstdünger beeinflusst Alpweiden negativ. Festmistdüngung ist der Gülleausbringung jedenfalls vorzuziehen (MOOSBRUGGER 2013). Nicht übersehen werden darf die Tatsache, dass sogar auf weiterhin bewirtschafteten Alpen die Waldflächen oft zugenommen haben, was bei einer seit Generationen unveränderten Bestoßung der Alpe zu einem höheren Nutzungsdruck führt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die qualitative und quantitative Verfügbarkeit von Nektar als

Nährstoff- und Wasserquelle eine große Bedeutung für Apollofalter und andere Tiere hat, und diese stark von der Bewirtschaftung der Flächen abhängig ist. Auch Weibchen fliegen nach unseren Beobachtungen aktiver, wenn wenig Saugpflanzen verfügbar sind.

3.5.3 Verluste durch Prädation

Ameisen stellen für die Raupen der Apollofalter eine gewisse Gefahr dar (s. Kapitel 3.4; BAUER & FEURLE 2017; LIEGL 2018). Daneben können auch andere Tiere Raupen oder Falter fressen. Als natürliche Feinde der Raupen und Falter sind Meisen, Eidechsen, Spinnen, Ameisen und Raubwanzen bekannt. In bereits durch andere Faktoren geschwächten Populationen können diese natürlichen Prädatoren eine Bedrohung darstellen (HASSELBACH 2003). In einem Fall wurde beobachtet, wie eine Apollofalter-Raupe im Naturparkgebiet durch eine Eidechse gefressen wurde (Carmen Liegl, pers. Mitt.). Nach persönlichen Beobachtungen sind Eidechsen im Untersuchungsgebiet allgegenwärtig (Abb. 25). Auch aus anderen Gebieten ist bekannt, dass Eidechsen die Raupen fressen (HASSELBACH 2003). Spinnen sind im Prinzip überall zu finden. Im Untersuchungsgebiet wurden häufig verschiedene Kleinvögel im Bereich der Felsen beobachtet. Zu welchem Anteil Vögel die Raupen fressen, ist unklar. Sowohl die Raupen, als auch die Falter weisen eine Warnfärbung auf (BOHLIN 2013). Dadurch sollten die Tiere vor optisch orientierten Räubern geschützt sein.

Das ist angesichts des häufigen »Sonnenbadens« der wärmeliebenden Tiere notwendig (BOHLIN 2013). Beim Apollofalter enthalten sowohl die Raupen als auch die erwachsenen Tiere große Mengen Giftstoffe wie Sarmentosin und weitere cyanogenen Glucoside (BJARNHOLT et al. 2012).

3.5.4 Verluste durch Betritt

Neben dem Gefressen werden stellt der Betritt von Felsen durch Menschen und Weidetiere eine Gefahr für die Apollofalter dar. Auf den Alpflächen wurde wiederholt festgestellt, dass die Konglomeratfelsen von Menschen, z. B. auf der Lochalpe und der Sippers-eggalpe (z. B. beim Besuch der Kapelle), betreten werden (eigene Beobachtungen; pers. Mitteilung der Älpler). Neben dem Klettern/Bouldern wurden die Felsen als Rastplatz, sowie als Aussichtspunkt um Fotos zu machen genutzt. Dabei ist die Gefahr gegeben, dass die Futterpflanzen, Eier, Raupen und Schmetterlinge zertrampelt werden.

Während Männchen grundsätzlich fliegend beobachtet werden können, werden die Weibchen meistens sitzend gefunden (Abb. 26) (ADAMSKI & WITKOWSKI 1999; ADAMSKI 2004). Dasselbe geschlechtsspezifische Aktivitätsmuster wurde auch im Naturpark Nagelfluhkette dokumentiert. Folglich sind vor allem Weibchen, aufgrund ihres Verhaltens, besonders gefährdet. Wenn die Vorderflügel über die Hinterflügel geschoben werden, sind die roten Augenflecken nicht zu sehen und die Tiere sind sehr gut getarnt (Abb. 26). Zwei auf Wanderwegen totgetrampelte weibliche Falter wurden den Autoren zugetragen (Tab. 4). Neben dem Menschen können auch Weidetiere zu Verlusten durch Betritt führen. Bei der Beweidung mit Schafen wurde gezeigt, dass sogar die gut verborgenen Puppen der Apollofalter so zerstört werden können (GEYER & DOLEK 1995). Auf sehr flachen Felsen kommt es sogar durch Kühe zu Trittschäden. Dem Betritt durch Weidetiere kann durch gezielte Zäunung entgegengewirkt



Abb. 25: Zauneidechsen (*Lacerta agilis*, hier ein Jungtier) sind im gesamten Untersuchungsgebiet häufig auf Felsen zu beobachten. Sie können Raupen des Apollofalters nachweislich fressen.

werden. Durch Aufklärungsarbeit (Exkursionen, Hinweisschilder, Medienarbeit, etc.) wird versucht, den Betritt durch Menschen zu minimieren.

3.5.5 Verluste durch den Straßenverkehr

Seit Jahrzehnten ist bekannt, dass der motorisierte Straßenverkehr eine Gefahr für Schmetterlinge darstellt (GEPP 1973; PAURITSCH 1985). Apollofalter fliegen meist niedriger als 2 m über Grund (eigene Beobachtungen; pers. Mitteilung Adi Geyer). Bei der Querung von Straßen sind somit Kollisionen mit Fahrzeugen wahrschein-

lich. So wurde den Autoren ein auf der Straße zum Lecknertal (bei Bolgenach, Hittisau) getötetes Tier zugetragen. Zwei Beinahe-Kollisionen zwischen Apollofalters und einem PKW wurden bei der Balderschwanger Straße bei der Sippers-eggalpe beobachtet. Auf den höher gelegenen Alpflächen (Lagen ohne Durchzugsstraßen) dürften Kollisionen mit Fahrzeugen keine Bedeutung haben. PFEIFER (2017) wies nach, dass im Bereich von vielbefahrenen Straßen viele Apollofalter getötet werden (diese zählten zu den häufigsten tot aufgefundenen Arten) – mögliche Maßnahmen werden dort



Abb. 26: Weibchen des Apollofalters sitzen zum Sonnen oft auf Felsen, Wegen und Straßen.

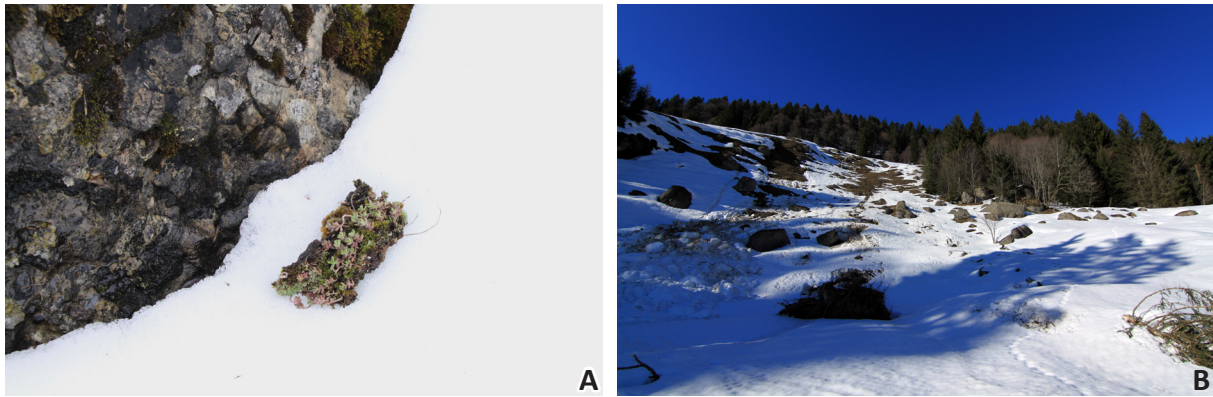


Abb. 27: Schneerutsche und Lawinen wirken sich auf den Bewuchs von Felsen aus. A: Meist im Frühjahr reißen Schneerutsche Pflanzenpolster auch mit *Sedum album* von den Felsen. B: Lawinen können Felsen komplett kahl räumen (Lochalpe, Februar 2019).

angeführt. Der Straßenverkehr hat somit einen direkten Einfluss auf die Apollofalter-Vorkommen, vor allem im Bereich der Sipperseggalpe und der Ohligschwendalpe.

3.5.6 Verluste durch ungünstigen Witterungsverlauf

Eine Gefahr für die Apollofalter, die sich im gesamten Gebiet und nicht nur in Straßennähe auswirkt, ist ein ungünstiger Witterungsverlauf. Die Wetterbedingungen, und vor allem deren Anomalien sind ein bedeutender Gefährdungsfaktor. Längere Phasen mit Regen und niedrigen Temperaturen führen zu einer Verlängerung der Entwicklungszeit der Larven, einer Erhöhung der Lokomotion und Fressrate von Raupen und Faltern und können sogar zum Tod führen (ŁOZOWSKI et al. 2014). Bereits GEYER & DOLEK (2001) berichteten, dass die Mortalitätsraten der ersten Larvalstadien bei fehlender Wärme erhöht sind. Auch SCHWARZ (2013) berichtet von einem witterungsbedingten Populationseinbruch. Betrachtet man den Wetterverlauf der beiden Untersuchungsjahre konnte dies bestätigt werden. Der Winter 2018 war mild und niederschlagsreich und endete mit einem massiven Kaltlufteinbruch. Das Frühjahr war, bis auf den März, der kühl und trüb verlief, durch frühe Hitze, viele Sonnenstunden und einzelnen heftigen Gewittern gekennzeichnet (der April war der Zweitwärmste der Messgeschichte). Auf einen sehr schneereichen Winter

2019 folgte ein warmer und trockener Frühling, wobei der Mai außergewöhnlich nass und kühl verlief. Am 07.05.2019 wurden von uns auf der Lochalpe in Folge einer Kaltfront 30 cm Neuschnee gemessen. Die Sommermonate von 2018 sowie teilweise auch von 2019 waren durch außergewöhnliche Trockenheit und hohe Temperaturen gekennzeichnet (HIEBL et al. 2019; <https://www.zamg.ac.at/>).

Die Vorkommen der Apollofalter im Naturpark Nagelfluhkette sind in den Untersuchungsjahren 2018 und 2019 im Vergleich zu 2016 deutlich eingebrochen (Abb. 8). Wir führen dies teilweise auf eine erhöhte Mortalität durch den ungünstigen Witterungsverlauf zurück. Einbrüche in der Populationsstärke wurden im Frühjahr 2019 auch im Bayerischen Teil des Naturparks, sowie im Frankenjura (Adi Geyer, pers. Mitteilung) und auf der Schwäbischen Alb (Joachim Striebel, pers. Mitteilung) beobachtet. Neben den nasskalten Phasen in den Frühjahrsmonaten dürfte aber auch die ausgeprägte Trockenheit indirekt einen Effekt gezeigt haben: Aus physiologischen Untersuchungen ist bekannt, dass Pflanzen die Nektarproduktion bei Trockenstress reduzieren, bisweilen sogar ganz einstellen (FLÜGEL 2013; SCHWERTFEGGER & FLÜGEL 2015). Eine ausreichende Nahrungsversorgung der Falter ist somit selbst bei Vorhandensein geeigneter Saugpflanzen nicht automatisch gewährleistet. Die Alpfelder im Untersuchungsgebiet

lieferten aufgrund der Trockenheit deutlich weniger Futter für die Kühe, zudem fielen einige Bäche und Quellen erstmals seit Jahrzehnten trocken (pers. Mitteilung der Äpler).

3.5.7 Schneerutsche und Lawinen

Neben der Witterung in den warmen Monaten des Jahres haben Schnee und die damit verbundenen Schneerutsche und Lawinen in der kalten Jahreszeit einen Einfluss auf die Apollofalter. Bei den Begehungen (2016-2019) wurde festgestellt, dass im Felsgelände, sowie auf Felsblöcken in den Alpweiden, der Bewuchs mit *Sedum album* spärlich ausfällt bzw. ganz fehlt, wenn es sich dabei um Lawinengelände, also um Hänge, die steiler als rund 30° sind, handelt (MAIR & NAIRZ 2011). Beispielsweise ist der Hang oberhalb des Fahrweges der Lochalpe (Abb. 27) über 30°, an einigen Stellen auch über 35°/40° steil (vgl. VoGIS). Nach unseren Geländebegehungen weisen die Felsen in diesem Hangbereich weniger Bewuchs mit *Sedum album*, sowie eine geringere Besetzung mit Apollofalter-Raupen auf. Hier handelt es sich nachweislich um Lawinengelände: Das ursprüngliche Wirtschaftsgebäude der Lochalpe (unterhalb dieses Hanges) wurde im Winter 1952/53 durch eine Lawine völlig zerstört (BERCHTEL 1990; ANONYMUS 2008; pers. Mitteilung der Äpler). Im Februar 2019 ging die letzte größere Lawine in diesem Hangbereich ab (Abb. 27). Wie sich nach der Schneeschmelze zeigte, wurde dabei

ein Teil des Bewuchses von den Konglomeratfelsen gerissen. Auch sehr große Lawinen kommen manchmal im Untersuchungsgebiet vor: Am 11. Januar 1954 ging eine Staublawine vom Ochsenlager in Richtung Alpe Klösterle und Gasthaus Sonne (zwischen den Alpen Sippersegg und Gschwendwies) nieder (BECHTER 2009). Neben den vergleichsweise seltenen und lokal eher begrenzten Lawinen, beeinflussen von den Felsköpfen abgehende Schneerutsche im gesamten Gebiet den Bewuchs. Im zeitigen Frühjahr kann man überall zahlreiche Polster bestehend aus Moos, Flechten und *Sedum* finden, die durch Schneerutsche von den Felsen gerissen wurden (Abb. 27). Es ist anzunehmen, dass die Eier in den heruntergerissenen Polstern wegen der Wärmebedürftigkeit der Raupen in den meisten Fällen verloren sind.

Durch den Gülleinsatz wächst nachweislich ein größerer Anteil an Gräsern und anderen typischen Wiesenarten auf den Felsen, wodurch die Weiße Fetthenne in direktem Konkurrenznachteil ist (LIEGL 2018). Lange Grashalme begünstigen, dass die Vegetation bei Schneerutschen aufgerissen wird (BERCHTEL 1990). Somit ist davon auszugehen, dass die Bewuchspolster mit einer höheren Wahrscheinlichkeit durch Schneerutsche von den Felsen gerissen werden.

Im Bereich des Hochhäderich-Kammes sind ausgeprägte, südlich ausgerichtete Felsformationen vorhanden. Diese sind vermutlich aufgrund der Lawinen, die jeden Winter großflächig niedergehen, weitestgehend frei von *Sedum album*. Somit kommt diesem Bereich auch für den Habitatverbund keine Funktion zu.

3.5.8 Fehlender Habitatverbund und Populationsstruktur

Im Lecknertal und im Balderschwangetal gibt es weit verstreute Einzelbäume, die durch größere Flächen, die kein Habitat darstellen, getrennt sind (Abb. 5, Abb. 9). Bei der Planung von Schutzgebieten für Schlüsselarten ist die Betrachtung der Metapopulations-

dynamik besonders aufschlussreich. Monophage und oligophage herbivore Insektenarten, besonders solche mit geringer Ausbreitungstendenz, entsprechen oft dem Metapopulationskonzept. Unter Metapopulationen versteht man lokale Populationen, die über den Austausch von Individuen miteinander interagieren. Neben den Geburten und Sterbefällen innerhalb einzelner Populationen beeinflussen Aussterbeereignisse und Kolonisierung in einer Region die Existenz der lokalen Populationen. Eine Metapopulation kann nur dann dauerhaft existieren, wenn die Neugründungsraten lokaler Populationen die lokale Aussterberate übersteigt. Dabei spielen vor allem die Größe und Isolation der einzelnen Flächen eine wesentliche Rolle. Die Aussterbewahrscheinlichkeit zwischen den einzelnen Flächen verringert sich, wenn die Anzahl der besetzten Flächen zunimmt. Das ist damit zu erklären, dass die Aussterbewahrscheinlichkeit zunimmt, wenn die Populationsgröße abnimmt, wobei gleichzeitig die lokale Populationsgröße zunimmt, wenn der Anteil der besetzten Flächen zunimmt. Metapopulationsstrukturen mit ihrer Tendenz zum Aussterben lokaler Populationen und einer relativ schwachen Fähigkeit zur Ausbreitung und Besiedelung neuer Habitate wurden intensiv an Schmetterlingen erforscht. Die prinzipielle Eignung von unbesiedelten Habitaten kann durch die erfolgreiche Einbürgerung bestätigt werden (BEGON et al. 1997).

Als Beispiel für ein solches unbesiedeltes Habitat für den Apollofalter lässt sich die Schrofenalpe anführen. Die Alpfläche wird extensiv von Hand bewirtschaftet, regelmäßig geschwendet, es wird weder mit Gülle gedüngt noch zusätzlicher Mist zwischen den Felsen verteilt, und sie weist einen großen Anteil an Saugpflanzen (Disteln etc.) auf. Auch sind die Felsen großflächig mit *Sedum album* bewachsen. Die volle Unterstützung der dortigen Äpler, die mit Begeisterung und großem Interesse das Schutzpro-

jekt des Naturparks verfolgen, wäre vorhanden (BAUER & FEURLE 2017). Die fehlende Besiedelung könnte damit erklärt werden, dass die Schrofenalpe von den Apollofalter-Vorkommen im Bereich der Sipperseggalpe/Gschwendwiesalpe/Hobelalpe durch Bewaldung und topographische Ausrichtung isoliert ist (Datengrundlage: VoGIS-Analyse zur Orographie und potentiellen Besonnung).

Der Aufbau eines Biotopverbunds als zentrale Maßnahme im Artenschutzkonzept für den Apollofalter führt zu einer nachhaltigen Stabilisierung. Die einzelnen Larvalhabitate müssen dabei durch dispergierende Falter im Austausch stehen. Durch gezielten Eingriff in Form von Felsfreistellungen (Einzelbaumfällung) konnten in der Fränkischen Schweiz »Trittsteine« geschaffen werden, die nachweislich von Imagines über eine Distanz von mindestens 1,5 km genutzt und somit ein Biotopverbund geschaffen werden konnte. Auf den freigestellten Felsen kann sich jedoch nur dann die notwendige Pioniervegetation mit *Sedum album* einstellen, wenn keine Humusaufgabe und dichter Grasbewuchs vorhanden sind. Die Felsen sind in solchen Fällen von der Humusaufgabe und eventuell vorhandenen Büschen, z. B. durch den kontrollierten Einsatz von Ziegen, zu befreien (GEYER & DOLEK 1999; GEYER 2019). Diese Maßnahmen sind dem bloßen Transport von Raupen oder Faltern auf zu besiedelnde Flächen vorzuziehen, und wurden für den Schutz des Apollofalters bereits erfolgreich eingesetzt (GEYER 2019).

Durch Vernetzungsmaßnahmen kann auch dem Inzucht-Problem entgegen gewirkt werden (BIEBACH & KELLER 2016). Solange zwischen diesen einzelnen Vorkommen ein Austausch an Individuen stattfindet, besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass das Netzwerk aus Individuen-schwachen Populationen mittelfristig überleben kann (SEGELBACHER & HOLDEREGGER 2016). Beim nah verwandten Schwarzen Apollofalter wurde festgestellt, dass trotz geographischer Nähe eine Trennung in Me-

tapopulationen auftreten kann, wenn es zu einer zeitlichen Verschiebung der Flugzeit kommt. Das hat eine negative Auswirkung auf das langzeitige Überleben, andererseits können bestimmte kurzzeitige Einflüsse (Wetter) besser überstanden werden (ADAMSKI et al. 2019). Eine für den Apollofalter vergleichbare Situation ist je nach Witterungsverlauf denkbar, Daten dazu liegen uns jedoch nicht vor.

Für den Apollofalter konnte gezeigt werden, dass die Isolation zwischen Teilpopulationen stark von der tatsächlichen Flugdistanz, und nicht von der topographisch kürzesten Linie abhängt. Außerdem unterliegen die Vorkommen einer source-sink-Dynamik, bei der sich Tiere, ausgehend von größeren Teilflächen, ausbreiten (MIRA et al. 2017). Wenn geeignete Habitatpatches nur in Nähe zu individuenreichen Patches besiedelt sind, ist das ein Hinweis darauf, dass nicht die Habitatqualität, sondern die begrenzte Ausbreitungsfähigkeit von Schmetterlingen widergespiegelt wird. Die große Population wirkt als Quelle für die kleinen Patches (BEGON et al. 1997). Somit sind selbst kleine Flächen für den Habitatverbund von großer Bedeutung. Aus dem Grund ist es wichtig, möglichst viele (noch so kleine) Habitatpatches zu besetzen. Diese können zudem als Trittsteine in der Wiederbesiedelung wichtig sein, müssen aber über Korridore verbunden sein (Abb. 28). Der frühe Sukzessionscharakter eines Habitats kann durch geeignete, traditionelle Bewirtschaftung geschaffen und längerfristig erhalten werden. Dort wo diese Grundlage durch die Landwirtschaft erfüllt ist, kommen mehr Apollofalter vor (GEYER 2019).

3.5.9 Kritische Populationsgröße

Bei kleinen Populationen stellt die Entnahme einzelner Tiere schon eine Gefahr dar. Der seltene und ästhetische Falter ist bei Sammlern begehrt. Zum Schutz ist die Art als einziger nichttropischer Schmetterling weltweit seit 1977 durch das Washingtoner

Artenschutzübereinkommen vor illegalem Handel geschützt (FLACHSMANN 1977; EBERT 1991). Schmetterlingssammeln scheint aber an Bedeutung zu verlieren (HUEMER 2001). Hinweise auf illegale Entnahmen von Tieren sind uns bisher nicht bekannt. Dennoch ist eine Gefährdung durch Sammler nicht auszuschließen. Die Populationsgröße wird aber weitaus stärker durch die oben beschriebenen Faktoren beeinflusst. Populationsgenetisch betrachtet ist die Unterschreitung einer bestimmten kritischen Anzahl an Individuen wiederum ein Gefährdungsfaktor. Für die Mindestzahl an Individuen, die in einer isolierten Population das Aussterben zumindest kurzzeitig zu verhindern vermag (MVP, minimum viable population), wird oft die 50/500-Regel angegeben. Danach werden kurzzeitig 50, langfristig jedoch 500 sich fortpflanzende Individuen zur Erhaltung der genetischen Vielfalt einer Population angegeben (HOFER 2016). Probleme aufgrund von Inzucht und der Verlust genetischer Vielfalt spielen dann eine geringere Rolle. Um eine Population langfristig zu erhalten, dies wurde für viele Arten unabhängig bestätigt, sind sogar über 1000 Individuen nötig. Sinkt die Anzahl an Individuen in einer Population unter diesen Schwellenwert, besteht ein hohes Aussterberisiko (SEGELBACHER & HOLDEREGGER 2016; SEGELBACHER 2016). Die Vorkommen der Apollofalter im Naturpark Nagelfluhkette weisen sehr geringe Individuenzahlen auf (Abb. 8, Tab. 2), was einen kritischen Zustand verdeutlicht und sofortige Schutzmaßnahmen erfordert.

3.6 Kooperativer Naturschutz im Naturpark Nagelfluhkette

Im Anhang IV (FFH-Richtlinien) sind streng zu schützende Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse aufgelistet und beinhalten im Wesentlichen Fang-, Tötungs- und Störungsverbote. Nach Artikel 12 ist jede Beschädigung oder Vernichtung



Abb. 28: Verbindungskorridore zwischen Habitatflächen sind für die Apollofalter wichtig (hier im Bereich Urschlaboden/Klösterle zum Oberen Schmalzberg).

der Ruhe- und Fortpflanzungsstätten verboten. Es besteht also ein weitreichender gesetzlicher Schutz (HUEMER 2001). Der Apollofalter genießt mit der Listung auch außerhalb ausgewiesener Schutzgebiete, besonderen Schutz. Dies ist aufgrund der speziellen Biologie der Art, der zerstreuten Vorkommen, besonderer Habitatansprüche und der Abhängigkeit von der traditionellen Landwirtschaft für einen effektiven Schutz wichtig. (GEYER & DOLEK 1999, 2001; BRÄU et al. 2013; SCHWARZ 2013; GEYER & NUNNER 2013; BAUER & FEURLE 2017). Schmetterlingsschutz hat sich in der bisher dominierenden Form (Aufzählung geschützter Arten in Naturschutzverordnungen und damit verbundener Sammelverbote) als unzureichend erwiesen. Dem Arten- und Individuenrückgang der vergangenen Jahrzehnte kann nur durch nachhaltigen Schutz der Lebensräume und begleitende Maßnahmen begegnet werden (ZULKA et al. 2001). Die Umsetzung des Schmetterlingsschutzes scheitert in Mitteleuropa oftmals an den unterschiedlichen Nutzungskonflikten (AISTLEITNER 2011). Daher wird im Naturpark Nagelfluhkette an einem ganzheitlichen Konzept des kooperativen Naturschutzes gearbeitet. Unter Einbindung aller beteiligten Parteien, wird

eine dauerhafte Partnerschaft angestrebt, in der sich alle auf Augenhöhe und gleichberechtigt begegnen. Ziel ist jeweils eine individuelle, regionale Lösung zu finden. Teil dieser Lösung für den Naturschutz ist in der Regel die Besucherlenkung, die Umweltbildung, sowie die Bewusstseinsbildung durch Aufklärung. Mit ähnlichen Ansätzen wurden für den Apollofalter in Deutschland bereits nachweislich Verbesserungen umgesetzt. Das Bayerische Vertragsnaturschutzprogramm (VNP) stellte dazu eine wichtige behördliche Basis auf der deutschen Seite des Naturparks dar (GEYER 2019). Im Praxishandbuch »Biodiversität auf dem Landwirtschaftsbetrieb« finden sich zukunftsfähige Konzepte, die in der Schweiz bereits erfolgreich umgesetzt werden (GRAF et al. 2016). Unter allen beeinträchtigenden Faktoren ist der Habitatverlust ohne Zweifel die größte Gefahr für das längerfristige Überleben der Apollofalter (NAKONIECZNY et al. 2007), weshalb es diesen speziell zu berücksichtigen gilt. Die Nutzung der Flächen ist für den Schutz von Schmetterlingen und anderen Arten von zentraler Bedeutung. Auf extensiv genutzten Wiesen und Weiden können beispielsweise mehr Tagfalterarten nachgewiesen werden als auf intensiv genutzten Weiden (MOOSBRUGGER 2013). Der Apollofalter ist im Naturpark Nagelfluhkette (als Leitart) unmittelbar auf das Fortbestehen der traditionellen, extensiven Berglandwirtschaft angewiesen, weshalb diese dringend zu erhalten ist. Weitere auf den Alpfeldern vorkommende Arten sind auch von besonderer naturschutzrechtlicher Bedeutung (diverse Pflanzenarten, Eidechsen, Blindschleichen, Alpensalamander, Weinbergschnecken, usw.). Die umfangreichen Kartierungen der vergangenen Projektjahre, neben der Klärung lokal relevanter ökologischer Zusammenhänge, bilden ebenso wie die Fachliteratur die Basis für das Artenschutzprogramm im Naturpark Nagelfluhkette. Für jede Alpfläche soll ein individuelles, dynamisches Managementkonzept an-

gepasst an die lokalen, sich laufend ändernden Bedingungen) erarbeitet werden (A. Geyer unter Mitarbeit von C. Bauer und A. Feurle).

3.7 Ausblick und nächste Schritte

Zum Schutz des Apollofalters empfehlen sich in der Praxis nach GEYER & NUNNER (2013) Maßnahmenpakete bestehend aus 1.) der Erhaltung und Optimierung der Larval- und Nektarhabitats und 2.) der Verbesserung des Habitatverbundes. Ersteres wird durch eine Kombination aus Entbuschung von eingewachsenen Felsen, gezieltes Fällen von beschattenden Bäumen, sowie eine extensive und zeitlich angepasste Beweidung der Felsstandorte und der Magerrasen in Teilen Bayerns erfolgreich umgesetzt. Durch Verbrennen des bei der Entbuschung anfallenden Materials vor Ort wird kurzfristig Distelbewuchs als geeignete Saugpflanzen gefördert (GEYER & DOLEK 2001). Auch in der Roten Liste gefährdeter Schmetterlinge Vorarlbergs (HUMER 2001) heißt es als Schutzmaßnahmen für den Apollofalter ganz ähnlich: 1.) Entbuschungsmaßnahmen, 2.) Verzicht auf Aufforstungen in bekannten Habitats, sowie 3.) extensive Bewirtschaftung (spätsommerliche Mahd und Beweidung von Teilflächen) der Magerrasen im Habitat.

Die vorliegenden Untersuchungen und detailliertes Wissen über die einzelnen Alpflächen bilden die fachlich notwendige Basis für individuell abgestimmte Maßnahmenpläne. Durch deren Umsetzung sollen die Vorkommen des Apollofalters erhalten und gestärkt werden. Weitere Untersuchungen zur Biologie der Art und ein Fortführen des Monitorings (z. B. weitere Transektbegehungen in den nächsten Jahren) sind eine Voraussetzung für eine evidenzbasierte und somit für alle Beteiligten faire Naturschutzarbeit. Im Naturschutzfachlichen Konzept »Monitoring Natur und Landschaft in Vorarlberg« ist der Apollofalter als Indikator für landwirtschaftliche Flächen

(Trockene Magerwiesen/-Weiden) enthalten (UMG & RENAT 2016). Die Landwirtschaft ist mehr als nur eine Wirtschaftsbranche. Mit ihrem Zusammenbruch würden die menschengepägten Lebensräume verschwinden, mit weitreichenden ökonomischen, ökologischen, ästhetischen, infrastrukturellen und kulturellen Folgen. Eine Zukunft kann die Landwirtschaft in den Alpen nur haben, wenn sie nicht mehr für einen Mengenmarkt produziert, sondern auf Umwelt- und sozialverträgliche Qualitätsprodukte setzt (BÄTZING 2015). Durch eine Verbesserung der Fördersysteme bzw. Fördermöglichkeiten könnten die Politik und die Behörden einen wertvollen Beitrag leisten. Die positive Haltung der Äpler ist nach unserer Erfahrung jedenfalls vorhanden.

4 Danksagung

Kooperativer Naturschutz funktioniert nur durch die gemeinsame Arbeit unzähliger Personen. Wir danken folgenden Personen und Institutionen: Dir. Mag. Ruth Swoboda, Dr. J. Georg Friebe und Mag. Christine Tschisner von der inatura, Dipl.-Geogr. Rolf Eberhardt, Dipl.-Biol. Adi Geyer, Jonas Liegl, BSc, Dipl.-Biol. Carmen Liegl, DI (FH) Dominik Bartenstein, MSc., Annika Schmidinger, Dr. Fabian Mussnig, Dir. Mag. Ariel Lang vom BORG Egg, Mag. Daniel Amann, Mag. Julian Henning, Mag. Walter Gasperi, Mag. Ulrike Kuster und Katja Längle, MSc. von Microsynth AG, Joachim Striebel, Johannes Bilgeri sowie Jürgen Kislich. Wir danken Mag. Rainer Honsig-Erlenburg und Mag. Matthias Gächter von der Bezirkshauptmannschaft Bregenz für die Erteilung der Bewilligung nach der Naturschutzverordnung sowie dem Sachgebietsleiter Naturschutz Dipl.-Biol. Alois Liegl von der Regierung Schwaben für die Erteilung der Genehmigung. Unser herzlichster Dank gilt allen Äplerinnen und Äplern für ihre fachliche Hilfsbereitschaft und Gastfreundschaft.

5 Literatur

- ADAMSKI, P. (2004): Sex ratio of apollo butterfly *Parnassius apollo* (Lepidoptera: Papilionidae) – facts and artifacts. – European Journal of Entomology, 101: 341-344.
- ADAMSKI, P., ČMIEL, A. & LIPÍŇSKA, A. M. (2019): Intra-seasonal asynchrony as a factor boosting isolation within a metapopulation. The case of the clouded apollo. – Insect Science, 26(5): 311-322.
- ADAMSKI, P. & WITKOWSKI, Z. (1999): Wing deformation in isolated Carpathian population of *PARNASSIUS APOLLO* (Papilionidae, Parnassiinae). – Nota Lepidopterologica, 22(1): 67-73.
- AICHELE, D. & SCHWEGLER, H.-W. (2000): Die Blütopflanzen Mitteleuropas. Band 2. – 2. Auflage: 324 S.; Stuttgart (Franckh-Kosmos).
- AISTLEITNER, E. (1998): Die Schmetterlinge Vorarlbergs. Band 1: Gebietsbeschreibung, Tagfalter, Spinner und Schwärmer (Lepidoptera, Diurna, Bombyces et Sphinges sensu classico). – Vorarlberger Naturschau - forschen und entdecken, 5: 7-377.
- AISTLEITNER, E. (2011): Die Tagschmetterlinge und Blutströpfchen des Kleinwalsertales, Vorarlberg, Österreich (Insecta: Leiodoptera: Papilionoidea, Hesperoidea, Zygaenoidea). – Linzer biologische Beiträge, 43/2: 1023-1121.
- AMANN, G. (2016): Aktualisierte Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen Vorarlbergs. – Online-Beilage zu: GRABHERR, G., AMANN, G., BEISER, A. & GRABHER, M.: Das Pflanzenleben Vorarlbergs: 161 S.; Hohenems (Bucher). http://www.inatura.at/forschung-online/RL_pflanzen_2016.pdf
- ANONYMUS (2008): Alp- und Landwirtschaft – Die Alpe Loch. – In: FINK, O. (Red.): Heimat Lingenau, Band I: 392 S. (218-222, 226-227, 287-294); Lingenau (Gemeinde Lingenau).
- AUER, I. (2001): Niederschlag und Gewitter. – in: AUER, I. & WERNER, R. (Hrsg.): Klima von Vorarlberg. Eine anwendungsorientierte Klimatographie, II: 9-144; Bregenz (Amt der Vorarlberger Landesregierung).
- BÄTZING, W. (2015): Die Alpen. Geschichte und Zukunft einer europäischen Kulturlandschaft. – 4., völlig überarb. u. erw. Auflage: 484 S.; München (C.H. Beck).
- BAUER, C. & FEURLE, A. W. (2017): Erfassung und Bewertung der Vorkommen des Apollofalters (*Parnassius apollo*) im Naturpark Nagelfluhkette. – Inatura - Forschung online, 39: 14 S.
- BECHTER, A. (2009): Die Lawinenkatastrophe in Hittisau 1954. – In: MATT, W. (Koord.): Hittisau, Heimatbuch: 392 S. (236-237); Hittisau (Gemeinde Hittisau).
- BEGON, M., MORTIMER, M. & THOMPSON, D. J. (1997): Populationsökologie. – 380 S. (316-324); Heidelberg, Berlin, Oxford (Spektrum Akademischer Verlag).
- BEISER, A. (2016): Aktualisierte Rote Liste der Pflanzengesellschaften und Vegetationstypen Vorarlbergs. – Online-Beilage zu: GRABHERR, G., AMANN, G., BEISER, A. & GRABHER, M.: Das Pflanzenleben Vorarlbergs: 85 S.; Hohenems (Bucher). http://www.inatura.at/forschung-online/RL_pflanzenges_2016.pdf
- BERCHTEL, R. (1990): Alpwirtschaft im Bregenzerwald. – Innsbrucker Geographische Studien, 18: 155 S.
- BERGER, S. L. & KIMMEL, A. R. (eds.) (1987): Guide to Molecular Cloning Techniques. – Methods in Enzymology, 152: 812 S.; New York etc. (Academic Press).
- BIEBACH, I. & KELLER, L. (2016): Inzucht. – In: HOLDEREGGER, R. & SEGELBACHER, G. (Hrsg.): Naturschutzgenetik. Ein Handbuch für die Praxis: 247 S. (71-88); Bern (Haupt).
- BJARNHOLT, N., NAKONIECZNY, M., KĘDZIORSKI, A., DEBINSKI, D. M., MATTER, S. F., OLSEN, C. E. & ZAGROBELNY, M. (2012): Occurrence of Sarmenosin and Other Hydroxynitrile Glucosides in *Parnassius* (Papilionidae) Butterflies and Their Food Plants. – Journal of Chemical Ecology, 38(5): 525-537.
- BLAMEY, M. & GREY-WILSON, C. (2008): Die Kosmos Enzyklopädie der Blütenpflanzen. – 544 S. (166); Stuttgart (Franckh-Kosmos).
- BOHLIN, T. (2013): Stop bugging me! Diversity in appearance of warning coloration. – 31 S.; Åbo (Environmental and Marine Biology, Department of Biosciences, Åbo Akademi University).
- BÖHM, R. (2001): Lufttemperatur / Bewölkung, Nebel. – In: WERNER, R. & AUER, I. (Red.): Klima von Vorarlberg. Eine anwendungsorientierte Klimatographie. I: 29-103 / 169-222; Bregenz (Amt der Vorarlberger Landesregierung).
- BRÄU, M., BOLZ, R., KOLBECK, H., NUNNER, A., VOITH, J. & WOLF, W. (2013): Tagfalter in Bayern. – 784 S.; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- BROGGI, M. F. (1998): SOS für bedrohte Kulturlandschaften. – in: CIPRA (Hrsg.): 1. Alpenreport. Daten, Fakten, Probleme, Lösungsansätze. 472 S. (152-156); Bern (Haupt).
- CONG, Q., BOREK, D., OTWINOWSKI, Z. & GRISHIN, N. V. (2015): Tiger Swallowtail Genome Reveals Mechanisms for Speciation and Caterpillar Chemical Defense. – Cell Reports, 10: 910-919.
- DAMMAN, H. (1986): The osmeterial glands of the swallowtail butterfly *Eurytides marcellus* as a defense against natural enemies. – Ecological Entomology, 11: 261-265.
- DE-SILVA, D. L., SILVA VÁSQUEZ, A. & MALLET, J. (2011): Selection for enemy-free space: eggs placed away from the host plant increase survival of a neotropical ithomiine butterfly. – Ecological Entomology, 36, 667-672.
- DOLEK, M. (2006): Die Bedeutung der Larvalökologie bei Artenschutzprojekten. – In: FARTMANN, T. & HERMANN, G. (Hrsg.): Larvalökologie von Tagfaltern und Widderchen in Mitteleuropa. Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde, 68 (3/4): 271-280.
- DOLEK, M. & GEYER, A. (2005): *Parnassius apollo* (Linnaeus, 1758) - Apollofalter. – In: DORPINGHAUS, A., EICHEN, C., GUNNERMANN, H., LEOPOLD, P., NEUKIRCHEN, M., PETERMANN, J. & SCHRÖDER, E. (Bearb.): Methoden zur Erfassung von Arten der Anhänge IV und V der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Naturschutz und Biologische Vielfalt, 20: 188-195; Bonn-Bad Godesberg (BfN).
- EBERT, G. (Hrsg.) (1991): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 1 Tagfalter I. – 552 S.; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- EBERT, A. & BAUER, E. (2000): Naturschutzrecht. Bundesnaturschutzgesetz, FFH-Richtlinie, Washingtoner Artenschutzübereinkommen, EG-Artenschutzverordnung, Bundesartenschutzverordnung. – 8. neubearbeitete Auflage. München (Deutscher Taschenbuch Verlag).
- EISNER, T. & MEINWALD, Y. C. (1965): The defensive secretions of a caterpillar (*Papilio*). – Science, 150 (3704): 1733-1735.

- ETSCHBERGER, U., BOLLINO, M. & SALA G. (1994): REM-Studien zur Kenntnis der Eimorphologie von *Parnassius apollo*-Unterarten (Lepidoptera, Papilionidae). – *Atalanta*, 25(3/4): 483-505.
- FELDMANN A. (1995): Länderbearbeitung Deutschland, Österreich. – In: GRÜNENFELDER, H.-P., ARBENZ, M. & BOSSARD, M.: Landwirtschaftliche Genressourcen der Alpen. Bristol-Schriftenreihe, 4: 542 S. (375, 378-379, 405, 410-411); Bern (Haupt).
- FLACHSMANN, A. (1977): Völkerrechtlicher Schutz gefährdeter Tiere und Pflanzen vor übermäßiger Ausbeutung durch den internationalen Handel. (Das Washingtoner Artenschutzabkommen von 1973). – 147 S.; Zürich (Schulthess).
- FLÜGEL, H.-J. (2013): Blütenökologie. Band 1: Die Partner der Blumen. – Die neue Brehm-Bücherei, 43: 245 S. (74-78, 192-204); Magdeburg (VerlagsKG Wolf).
- FRED, M. S. (2004): Influence of resource distribution and abundance on the population structure and dynamics of *Parnassius apollo*. – Academic dissertation, Department of Biological and Environmental Sciences. University of Helsinki, Finland: 32 S.; Helsinki.
- FRED, M. S., O'HARA, R. B. & BROMMER, J. E. (2006): Consequences of the spatial configuration of resources for the distribution and dynamics of the endangered *Parnassius apollo* butterfly. – *Biological Conservation*, 130(2): 183-192.
- FREITAS, A. V. L. & OLIVEIRA, P. S. (1996): Ants as selective agents on herbivore biology: effects on the behaviour of a non-myrmecophilous butterfly. – *Journal of Animal Ecology*, 65, 205-210.
- GEPP, J. (1973): Kraftfahrzeugverkehr und fliegende Insekten. – *Natur und Land*, 59: 127-129.
- GEYER, A. (1991): Fortführung des Artenhilfsprogrammes für den Apollofalter, *Parnassius apollo* L. in der Nördlichen Frankenalb. - Unveröffentlichter Schlussbericht, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU); 42 S.; München
- GEYER, A. (2019): Der Apollofalter im Kleinziegenfelder Tal – Erhaltung und Sicherung der letzten Population in der Fränkischen Schweiz. – ANLIEGEN Natur 41(1): 113-122; Laufen.
- GEYER, A. & DOLEK, M. (1995): Ökologie und Schutz des Apollofalters (*Parnassius apollo*) in der Frankenalb. – Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie, 10(1-6): 333-336.
- GEYER, A. & DOLEK, M. (1999): Erfolgskontrolle an einer Population des Apollofalters in der Frankenalb. – Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 150: 193-202.
- GEYER, A. & DOLEK, M. (2001): Das Artenhilfsprogramm für den Apollofalter, *Parnassius apollo* in Bayern. – Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 156: 301-319.
- GEYER, A. & NUNNER, A. (2013): Apollo. *Parnassius apollo* (Linnaeus, 1758). – in: BRÄU, M., BOLZ, R., KOLBECK, H., NUNNER, A., VOITH, J. & WOLF, W. (Hrsg.): Tagfalter in Bayern. – 125-128; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- GRAF, R., JENNY, M., CHEVILLAT, V., WEIDMANN, G., HAGIST, D. & PFIFFNER, L. (2016): Biodiversität auf dem Landwirtschaftsbetrieb. Ein Handbuch für die Praxis. – 177 S.; Frick / Sempach (Forschungsinstitut für biologischen Landbau & Schweizerische Vogelwarte).
- GRASS, V. (Bericht) & ZÖHRER, R. (Geländeerhebung) (2009): Aktualisierung des Biotopinventars Vorarlberg. Gemeinde Hittisau. – 66 S. + Artenliste; Bregenz (Vorarlberger Landesregierung, Abteilung IVe Umweltschutz).
- GRAU, J. (2006): Genetik. – 4. Auflage; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- HASSELBACH, W. (2003): Apollofalter in Rheinland-Pfalz. – *Naturschutz bei uns*, 7: 1-16; Mainz (Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz).
- HENGEN, P. (1996): Carriers for Precipitating Nucleic Acids. – *Trends in Biochemical Sciences*, 21: 224-225.
- HENLE, K., VOGEL, B., KÖHLER, G. & SETTELE, J. (1999): Erfassung und Analyse von Populationsparametern bei Tieren. – In: AMLER, K., BAHL, A., HENLE, K., KAULE, G., POSCHLOD, P. & SETTELE, J. (Hrsg.): Populationsbiologie in der Naturschutzpraxis. Isolation, Flächenbedarf und Biotopansprüche von Pflanzen und Tieren. 336 S. (94-112); Stuttgart (Eugen Ulmer).
- HIEBL, J., CHIMANI, B., GANEKIND, M. & ORLIK, A. (2019): Österreichisches Klimabulletin. Jahr 2018. – 6 S.; Wien (ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik).
- HIERMANN, U., MAYR, T. & KOPP, A. (2019): Checkliste der Schmetterlinge (Insecta: Lepidoptera) des Fürstentums Liechtenstein – eine erste Bilanz. – *inatura - Forschung online*, 66: 34 S.
- HOFER, U. (2016): Evidenzbasierter Artenschutz. Begriffe, Konzepte, Methoden. – 184 S.; Bern (Haupt).
- HOLDEREGGER, R. & SEGELBACHER G. (Hrsg.) (2016): Naturschutzgenetik. Ein Handbuch für die Praxis: 247 S; Bern (Haupt).
- HUEMER, P. (1996): Frühzeitige Mahd, ein bedeutender Gefährdungsfaktor für Schmetterlinge der Streuwiesen (NSG Rheindelta, Vorarlberg, Österreich). – *Vorarlberger Naturschau - forschen und entdecken*, 1: 265-300.
- HUEMER, P. (2001): Rote Liste gefährdeter Schmetterlinge Vorarlbergs. – *Rote Listen Vorarlbergs*, 1: 112 S. & 1 CD-ROM, Dornbirn (Vorarlberger Naturschau).
- HUEMER, P. (2005): Die Kanisfluh im Bregenzerwald (Vorarlberg), ein «Hot Spot» der Biodiversität für Schmetterlinge (Lepidoptera). – *Vorarlberger Naturschau - forschen und entdecken*, 14: 9-92.
- HUEMER P., & WIESMAIR B. (2017): DNA-Barcoding der Tagfalter (Lepidoptera, Papilionoidea) Österreichs. Unbekannte genetische Vielfalt im Zentrum Europas. – *Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen*, 2017: 9-33.
- JACOBS, W. & RENNER, M. (1988): Biologie und Ökologie der Insekten. - 2. überarbeitete Aufl.: 690 S.; Stuttgart (Gustav Fischer).
- JARITZ, G. (2014): Seltene Nutztiere der Alpen. 7000 Jahre geprägte Kulturlandschaft. – 336 S. (48-51; 128-130); Salzburg (Anton Pustet).
- KOCH, E. & WERNER, R. (2001): Wind. – In: WERNER, R. & AUER, I. (Red.): Klima von Vorarlberg. Eine anwendungsorientierte Klimatographie. II: 277-368; Bregenz (Amt der Vorarlberger Landesregierung).
- LIEGL, J. (2018): Einfluss der Gülle auf das Larvalhabitat des Apollofalters in der Nagelfluhkette. – unveröff. Bachelorarbeit, Fakultät Landschaftsarchitektur, Umwelt- und Stadtplanung (FLUS), Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen.

- LITMAN, J., CHITTARO, Y., BIRNER, S., PRAZ, C., WERMELLE, E., FLURI, M., STALLING, T., SCHMID, S., WYLER, S., & GONSETH, Y. (2018): A DNA barcode reference library for Swiss butterflies and forester moths as a tool for species identification, systematics and conservation. – *PloS ONE* 13(12): e0208639: 31 pp.
- ŁOZOWSKI, B., KEDZIORSKI, A., NAKONIECZNY, M. & ŁASZCZYCA, P. (2014): *Parnassius apollo* last-instar larvae development prediction by analysis of weather condition as a tool in the species' conservation. – *Comptes Rendus Biologies*, 337: 325-331.
- MACHADO, G. & FREITAS, A. V. L. (2001): Larval defence against ant predation in the butterfly *Smyrna blomfieldia*. – *Ecological Entomology*, 26: 436-439.
- MAIR, R. & NAIRZ, P. (2011): Lawine. Die 10 entscheidenden Gefahrenmuster erkennen. – 2. Auflage: 216 S. (10-11); Innsbruck (Tyrolia).
- MIRA, Ó., SÁNCHEZ-PRÍETO, C. B., DAWSON, D. A., BURKE, T., TINAUT, A. & MARTÍNEZ, J. G. (2017): *Parnassius apollo nevadensis*: Identification of recent population structure and source-sink dynamics. – *Conservation Genetics*, 18, 837-851.
- MOHNL, H. (2002): Sonnenscheindauer – kurzweilige Einstrahlung. – In: WERNER, R. & AUER, I. (Red.): Klima von Vorarlberg. Eine anwendungsorientierte Klimatographie. III: 9-76; Bregenz (Amt der Vorarlberger Landesregierung).
- MOOSBRUGGER, M.-A. (2013): Alpstrategie Vorarlberg. Sömmerung und Lebensraumvielfalt. – Studie erstellt im Auftrag des Vorarlberger Naturschutzrats: 116 S. (24-25; 34.35, 58-63, 91-99, 108-113); Dornbirn (Vorarlberger Naturschutzrat).
- MOSER, H. A. & OERTLI, J. J. (1980): Evidence of a biochemical interaction between insect and specific food plant in the system *Parnassius apollo* - *Sedum album*. – *Revue suisse de zoologie*, 87(2): 341-357.
- MUHEIM, F. (1934): Subalpine Molassezone im östlichen Vorarlberg. – *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 27: 281-296.
- NAKONIECZNY, M., KĘDZIORSKI, A., & MICHALCZYK, K. (2007): Apollo Butterfly (*Parnassius apollo* L.) in Europe – its History, Decline and Perspectives of Conservation. – *Functional Ecosystems and Communities*, 1(1): 56-79.
- PAURITSCH, G., MADER, H.-J. & ERZ, W. (1985): Beziehungen zwischen Straße und freilebender Tierwelt - Faunistische Kriterien und Entscheidungshilfen bei der Trassenwahl. – *Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik*, 444: 1-46.
- PFEIFER, M. A. (2017): Straßen- und Schienenverkehr: ein ernst zu nehmender Risikofaktor für den Mosel-Apollo (*Parnassius apollo vinningensis*). – *Fauna und Flora in Rheinland Pfalz. Zeitschrift für Naturschutz*, 13(3): 823-844.
- RIO BARTULOS, C., TAPPE, H., & ROTHHÄMEL, S. (2012): Allgemeine Methoden. – In: JANSOHN, M. & ROTHHÄMEL, S. (Hrsg.): *Genetische Methoden. Eine Sammlung von Arbeitsanleitungen für das molekularbiologische Labor*. 5. Auflage. 1-36; Heidelberg (Spektrum).
- SCHÄFFER, J. C. (1754): Neuentdeckte Theile an Raupen und Zweyfaltern nebst der Verwandlung der Hauswurzraupe zum schönen Tagvogel mit rothen Augenspiegeln. – 54 S., 2 Taf.; Regensburg (Emanuel Adam Weiß).
- SCHWARZ, C. (2013): Der Apollofalter (*Parnassius apollo*) und seine Verteilung auf unterschiedlich genutzten Alpen im Naturpark Nagelfluhkette. – unveröff. Masterarbeit, Institut für Experimentelle Ökologie, Universität Ulm.
- SCHWERDTFEGGER, M., & FLÜGEL, H.-J. (2015): Blütenökologie. Band 2: Sexualität und Partnerwahl im Pflanzenreich. – *Die neue Brehm-Bücherei*, 43/2: 272 S. (88-98, 164-167); Magdeburg (VerlagsKG Wolf).
- SEGELBACHER (2016): Populationsgröße und Raumnutzung. – In: HOLDEREGGER, R. & SEGELBACHER G. (Hrsg.): *Naturschutzgenetik. Ein Handbuch für die Praxis*: 247 S. (59-70); Bern (Haupt).
- SEGELBACHER, G. & HOLDEREGGER, R. (2016): Genetische Vielfalt. – In: HOLDEREGGER, R. & SEGELBACHER, G. (Hrsg.): *Naturschutzgenetik. Ein Handbuch für die Praxis*: 247 S (25-42); Bern (Haupt).
- SEJMONSBERGEN, A. C., WONING, M. P., VERHOEF, P. N. W. & DE GRAAFF, L. W. S. (2005): The failure mechanism of a Late Glacial Sturzstrom in the Subalpine Molasse (Leckner Valley, Vorarlberg, Austria). – *Geomorphology*, 66: 277-286.
- SITTE, P., WEILER, E. W., KADEREIT, J. W., BRESINSKY, A. & KÖRNER, C. (2002) *Strasburger. Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. – 35. Auflage; Heidelberg (Spektrum)
- SMILEY, J. T. (1985): *Heliconius* caterpillar mortality during establishment on plants with and without attending ants. – *Ecology*, 66: 845-849.
- STREIT, B. (2007): Was ist Biodiversität? Erforschung, Schutz und Wert biologischer Vielfalt. – 125 S. (96-97); München (C.H. Beck).
- TODISCO, V., GRATTON, P., CESARONI, D. & SBORDONI, V. (2010): Phylogeography of *Parnassius apollo*: hints on taxonomy and conservation of a vulnerable glacial butterfly invader. – *Biological Journal of the Linnean Society*, 101: 169-183.
- UMG UMWELTBÜRO GRABHER & RENAT AG (Red.) (2016): *Naturschutzfachliches Konzept „Monitoring Natur und Landschaft in Vorarlberg“*. – Im Auftrag des Landes Vorarlberg Abteilung Umwelt- und Klimaschutz: 52 S.; Bregenz / Schaan.
- WIKLUND, C. (1984) Egg-laying patterns in butterflies in relation to their phenology and the visual apparency and abundance of their host plants. – *Oecologia*, 63: 23-29.
- ZULKA, K. P., EDER, E., HÖTINGER, H. & WEIGAND, E. (2001): *Grundlagen zur Fortschreibung der Roten Listen gefährdeter Tiere Österreichs*. – Monographien, M-135: 85 S.; Wien (Umweltbundesamt).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Inatura Forschung online](#)

Jahr/Year: 2020

Band/Volume: [71](#)

Autor(en)/Author(s): Feurle Alexander, Bauer Carola

Artikel/Article: [Erweiterte Erfassung und Bewertung der Vorkommen des Apollofalters \(*Parnassius apollo*\) im Naturpark Nagelfluhkette 1-30](#)