

**Wirkungskontrolle von Fördermassnahmen des
Blauschillernden Feuerfalters (*Lycaena helle*) in
der UNESCO Biosphäre Entlebuch anhand von
Falter- und Präimaginalstadien**

Masterarbeit
Umweltnaturwissenschaften

Rahel Müller
19-930-601
20.10.2024



Abbildung 1: UNESCO Biosphäre Entlebuch, Rahel Müller, 2024

Referent: Florian Knaus,
Institut für Terrestrische Ökosysteme,
D-USYS, ETH Zürich

Korreferentin: Judith Stalder
UNESCO Biosphäre Entlebuch

Danksagung

Hiermit danke ich meinen Betreuungspersonen Florian Knaus und Judith Stalder für ihre Unterstützung, fachlichen Inputs und Tipps und Tricks bei der Feldarbeit. Ein grosses Dankeschön geht an Anna Stäubli und Markus Fluri, die mir viel Wissen zu *L. helle* und zur Suche nach Präimaginalstadien mitgegeben haben. Weiter danke ich Krzysztof Cybulski vom statistischen Beratungsdienst der ETH Zürich für die hilfreichen Inputs bei der Datenanalyse.

Zusammenfassung

Der globale Verlust von Biodiversität ist eines der grössten ökologischen Probleme des 21. Jahrhunderts (Ceballos et al., 2015; Habibullah et al., 2022). Auch die Diversität von Schmetterlingen in Westeuropa ist insgesamt rückläufig (Goffart et al., 2014; Scherer et al., 2021). Ein Beispiel einer solchen gefährdeten Schmetterlingsart ist der Blauschillernde Feuerfalter, *Lycaena helle*. Es werden drei Ursachen für die Gefährdung von *L. helle* besprochen; der Qualitätsverlust der Habitate, die unzureichende Vernetzung zwischen bestehenden und potenziellen Habitaten, sowie der Klimawandel. Trotz theoretischen Grundlagen zu den Ansprüchen der Art ist kaum belegt, welche Artförderungsmaßnahmen tatsächlich wirkungsvoll sind. Um diese Wissenslücke zu füllen wurde 2021 in der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) ein Förderprojekt lanciert, welches über 4 Jahre 3 Fördermassnahmen auf 14 Untersuchungsflächen mit 14 Kontrollflächen vergleicht. Dabei sollte über die Studienzeit hinweg untersucht werden, wo sich in der UBE stabile *L. helle* Populationen befanden und wie sich die Massnahmen auf die Sichtungen auswirken. Diese Datenlage wurde ergänzt mit einer einmaligen Untersuchung zu den Habitaten der Präimaginalstadien. Es wurde untersucht, ob die Daten zu den Präimaginalstadien kongruente Resultate zu den Faltererhebungen lieferten, und welche Habitatsmerkmale die Eiablagestellen aufweisen.

Die Biosphäre weist ein stabiles Vorkommen von *L. helle* auf, welches sich räumlich in 3 Hotspots gruppiert, was darauf hinweist, dass es sich hierbei um 3 Quellpopulationen handeln könnte. Den Massnahmen konnte keine statistisch signifikante Wirksamkeit zugeschrieben werden, bis auf die Massnahme «Sträucher aufkommen lassen», welche einen statistisch negativen Effekt aufwies. Die Präimaginalstadien wurden sowohl auf Untersuchungsflächen gefunden, die stabile Faltervorkommen aufwiesen, als auch auf Untersuchungsflächen, auf denen während der Studienzeit nie Falter gesichtet wurden. Ausserdem wurden Präimaginalstadien eher in Mikrohabitaten gefunden, welche eine höhere Umgebungsvegetation aufwiesen. Aufgrund dieser Datenlage wurden Hypothesen zum räumlichen Verhalten der Art aufgestellt, welche in Zukunft genauer untersucht werden könnten.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
1. Einleitung.....	5
2. Methodik.....	12
2.1. Bestandeserhebung	12
2.2. Methodik Präimaginalstadien	14
3. Resultate	18
3.1. Vorkommen und Stabilität von <i>L. helle</i> Faltern	18
3.1.1. Präsenz-Absenz von <i>L. helle</i> Faltern.....	18
3.1.2. Stabilität in der Region Glauenberg.....	19
3.1.3. Stabilität in den Regionen Haglere, Hilfere und Salwiden	20
3.2. Massnahmenkontrolle	21
3.3. Untersuchung der Präimaginalstadien	24
3.3.1. Standorte der Präimaginalfunde	24
3.3.2. Kongruenz zwischen Falter- und Präimaginalfunden	25
3.3.3. Habitatsfaktoren	26
3.4. Qualitative Auswertung der Habitate	28
3.4.1. Umgebende Vegetation.....	28
3.4.2. Bachrand	29
3.4.3. Hanglage.....	30
3.4.4. Blatteigenschaften	31
4. Diskussion	32
5. Fazit.....	40
6. Quellen	41
7. Anhang.....	44

1. Einleitung

Der globale Verlust von Biodiversität ist eines der grössten ökologischen Probleme des 21. Jahrhunderts (Ceballos et al., 2015; Habibullah et al., 2022). Über die letzten Jahrzehnte wurde ein aussergewöhnlich schneller Artenverlust verzeichnet, der direkt auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist (Ceballos et al., 2015). Landnutzungswechsel, der Klimawandel, Überfischung, sowie die Urbanisierung und das Aufkommen von invasiven Arten können dafür verantwortlich gemacht werden (Christian, 2023). Der Verlust von Biodiversität gefährdet das Funktionieren von Ökosystemen und stört wichtige ökologische Prozesse (Cardinale et al., 2012; Ceballos et al., 2015). Ein Beispiel dafür ist die Bestäubung von Nutzpflanzen (Cardinale et al., 2012; Ceballos et al., 2015). Dabei ist vor allem die Gruppe der Insekten nennenswert. Insekten, welche über die Hälfte aller terrestrischen Tier- und Pflanzenarten ausmachen (Warren et al., 2021) bestäuben rund 80% aller Blüte- und rund 75% aller Erntepflanzen (Wagner, 2020). Umso besorgniserregender ist der Fakt, dass die Anzahl der Insekten über die meisten Taxa hinweg weltweit sinkt (Wagner, 2020). Durch ihre Position im Nahrungsnetz und ihre Rolle als Pestkontrolle wird sich ein Insektensterben auch unmittelbar auf andere Taxa auswirken (Wagner, 2020). Entomolog*innen betonen deshalb weitgehend, dass es wichtig ist, jetzt Massnahmen zu ergreifen, um mehr Daten zu sammeln und die negativen Auswirkungen von menschlichen Aktivitäten auf die Insektenfauna zu minimieren (Wagner et al., 2021).

Schmetterlinge sind unter den Insekten eine der Gruppen, welche am besten untersucht ist (Warren et al., 2021). Die Diversität von Schmetterlingen ist in Westeuropa insgesamt jedoch auch rückläufig (Goffart et al., 2014; Scherer et al., 2021). Ein Beispiel einer solchen gefährdeten Schmetterlingsart ist der Blauschillernde Feuerfalter, *Lycaena helle*. Auf der Roten Liste der Schweiz wird die Art als verletzlich (VU) aufgeführt (Wermeille et al., 2014). Über Europa hinweg wurde die Art zuletzt 2009 beurteilt und als gefährdet (EN) eingestuft (van Swaay et al., 2010). Folgend werden drei Ursachen der Gefährdung besprochen; der Qualitätsverlust der Habitate, die unzureichende Vernetzung zwischen bestehenden und potenziellen Habitaten, sowie der Klimawandel.

Qualitätsverlust der Habitate

Die wichtigste Ursache für die Abnahme der Schmetterlingszahlen in Westeuropa ist die Habitatsdegradierung (Warren et al., 2021). Diesbezüglich ist festzuhalten, dass Habitats-Spezialisten stärker von dieser Entwicklung betroffen sind, während Generalisten tendenziell mehr Resilienz aufweisen (Goffart et al., 2010). Um auf die Degradierung der *L. helle*-Habitate einzugehen zu können, ist es zentral, die Habitatsansprüche der Art zu verstehen.

L. helle ist in Nord- und Mitteleuropa univoltin und fliegt zwischen Mai und Juli (Finger et al., 2009). Die Habitatsansprüche von *L. helle* beinhalten mehrere Faktoren. Von entscheidender Bedeutung ist das Vorhandensein grossflächiger Bestände von *Polygonum bistorta*. In Mitteleuropa ist *P. bistorta* die einzige bestätigte Eiablage- und Futterpflanze der Raupen von *L. helle* (Bauerfeind et al., 2009). Es ist hierbei anzumerken, dass in skandinavischen Populationen auch Funde auf verschiedenen *Rumex*-Arten bekannt sind (Bauerfeind et al., 2009). Neben dem Vorhandensein von *P. bistorta* sind aber auch weitere, weniger offensichtliche Faktoren von

Bedeutung (Goffart et al., 2010). Ein weiterer Faktor ist die Nähe zu Gehölzen, welche einen windschützenden Effekt haben. Die territorialen Männchen sitzen während der Paarungszeit oft auf besonnten und erhöhten Kräutern oder Zweigen (Goffart et al., 2014; Nunner, 2010). Des Weiteren wurde beobachtet, dass die Tiere oft auf Baumspitzen übernachten (Goffart et al., 2014; Nunner, 2010). Typische Habitate von *L. helle* sind somit Waldränder, Waldlichtungen sowie Standorte, an denen *P. bistorta*-Bestände mosaikartig mit Gebüschern verzahnt sind (Goffart et al., 2014; Nunner, 2010). Die

Aussehen *Lycaena helle*

Trotz seiner geringen Grösse mit einer Vorderflügelänge von nur 11-14 mm (Nunner, 2010; Wachlin, 2006) fällt *L. helle* durch seine auffällige Färbung auf. Die Flügeloberseiten der Männchen schimmern bis auf die Ränder vollständig blauviolett, die der Weibchen nur teilweise. Auf den orangen Vorderflügeln sind bei Männchen und Weibchen dunkle Punkte zu erkennen. Ein weiteres Merkmal ist die orange Endbinde des Hinterflügels (LUBW, 2020; Nunner, 2010).

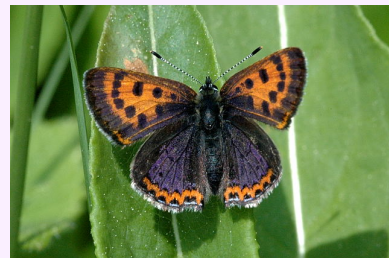


Abbildung 2: Männchen des Blauschillernden Feuerfalters in Belgien.
Foto: James K. Lindsey, 2004

Habitate der Falter zeichnen sich ausserdem durch ein spezifisches Mikroklima aus (Stäubli, persönliche Kommunikation, 2024). Eine ausreichende Feuchtigkeit des Standorts ist erforderlich (Stäubli, persönliche Kommunikation, 2024). Deswegen wird *L. helle* häufig in der Nähe von Bächen, feuchten Senken, oder Bereichen mit Staunässe angetroffen (Hintermann & Weber AG, 2018; Stäubli, persönliche Kommunikation, 2024). Im Falterstadium ernährt sich *L. helle* von einer Vielzahl an Nektarpflanzen. In Mitteleuropa wurde von bis zu mehr als 30 Pflanzenarten berichtet (Wachlin, 2006). Zusammenfassend können Flächen mit einem mosaikartigen Übergangscharakter als ideal für *L. helle* bezeichnet werden (Goffart et al., 2014).

Für die Larvalhabitate von *L. helle* ist das Vorkommen von *P. bistorta* ein zwingendes, aber nicht hinreichendes Merkmal (Goffart et al., 2014). Es wurde beobachtet, dass für

Lebenszyklus *L. helle*

Die Eier von *L. helle* sind grauweiss, klein und kugelförmig mit einer wabenartigen Oberflächenstruktur (Steiner et al., 2006; Wachlin, 2006). 1 bis 2 Wochen nach der Eiablage schlüpfen die Raupen aus der Eihülle und fressen während der nächsten Wochen am Eiablageblatt (Wachlin, 2006). Dies erfolgt in Form eines Schabefrasses, bei dem zunächst die Blattmittelrippe und die grösseren Seitenrippen des Blattes nicht gefressen werden. Ab dem dritten von vier Larvenstadien werden auch diese Teile des Blattes gefressen (Wachlin, 2006). Die Raupe ist zu Beginn weiss-grau gefärbt und wird mit der Zeit immer grüner. Die Raupe ist an ihrer leichten, weisslichen Behaarung zu erkennen (Wachlin, 2006). Etwa 4 bis 5 Wochen nach der Eiablage verpuppen sich die Raupen auf der Blattunterseite und fallen im Herbst in die Streuschicht, wo sie überwintern (LUBW, 2020; Wachlin, 2006).



Abbildung 3: Ei und Raupe von *L. helle* auf *P. bistorta*. Bild: Bernd Krüger

die Eiablage vermehrt grosse Blätter gewählt werden, die relativ besonnt und frei zugänglich stehen (Wachlin, 2006). Es lässt sich eine Tendenz zu Mikrohabitaten mit tiefer umliegender Vegetation beobachten, was vermutlich auf die erleichterte Zugänglichkeit der Blattbereiche von *P. bistorta* für das *L. helle* Weibchen zurückzuführen ist (Hintermann & Weber AG, 2018; Scherer et al., 2021). Gemäss Steiner et al. (2006) erfolgt die Eiablage präferiert an Standorten mit heterogener Vegetationsstruktur. Um das Risiko unterschiedlicher Witterungsverhältnisse zu minimieren, verteilt ein Weibchen seine Eier über Habitat-Patches mit variabler Bodenfeuchte (Dolek, 2024).

Seit den 1950er Jahren ist ein Qualitätsverlust vieler semi-natürliche Habitats durch die Intensivierung der Landwirtschaft zu verzeichnen (Scherer et al., 2021). Auch für *L. helle* stellt die Zerstörung ihrer Habitats eine Gefährdung dar (Habel, Finger, et al., 2011; Nunner, 2010). Eine zu intensive Nutzung, vor allem früh terminiertes Weiden oder Mähen ist für die Art problematisch (Goffart et al., 2014; Hintermann & Weber AG, 2020). Auch die Entwässerung geeigneter Feuchtwiesen, die Entfernung des Windschutzes oder das Deponieren von Materialien auf *P. bistorta*-Beständen kann der Art schaden (Hintermann & Weber AG, 2020). Im Gegenzug kann aber auch das Fehlen einer Nutzung für *L. helle* problematisch sein, da die Habitats Überwachsen und Verbuschen können (Goffart et al., 2014; Hintermann & Weber AG, 2020). In der Tat wurde in Belgien festgestellt, dass die *L. helle* Falter genutzte Flächen komplett ungenutzten Flächen vorziehen, da sie eine höhere Dichte von gewissen Nektarpflanzen aufweisen (Goffart et al., 2010). Sofern die Eiablage jedoch auch auf regelmässig und intensiv bewirtschafteten Flächen erfolgt, können die Präimaginalstadien beispielsweise durch eine zu frühe Mahd beeinträchtigt werden. Dies kann letztendlich zu einem «ecological trapping effect» führen, wobei die Art ein Habitat präferiert, welches ihre Fitness senkt (Goffart et al., 2014).

Unzureichende Vernetzung zwischen Habitats

Das heutige Verbreitungsgebiet von *L. helle* erstreckt sich von Mitteleuropa über das mittlere und nördliche Fennoskandinavien und Russland bis in die Amur Region und die Mongolei (Finger et al., 2009). In Mitteleuropa war *L. helle* während der letzten Eiszeit, und der frühen Postglazialzeit weit verbreitet (Habel, Rödder, et al., 2011; Scherer et al.,

2021). Die Art wurde jedoch infolge der postglazialen Erwärmung grossteilig aus den tieferen Lagen Europas verdrängt (Habel et al., 2010; Habel, Finger, et al., 2011; Habel, Rödder, et al., 2011). Infolge dessen wanderte die Art einerseits nach Norden in Richtung Fennoskandia und verschob sich in Mitteleuropa andererseits in höhere Lagen, wo die Temperaturen niedriger sind (Habel et al., 2010). Dies führte zu der heutigen Situation, in der die Populationen dieser postglazialen Reliktart in West- und Mitteleuropa verstreut und voneinander isoliert sind (Bauerfeind et al., 2009; Habel, Rödder, et al., 2011; Nunner, 2006). Das heutige Verbreitungsgebiet in Mitteleuropa beschränkt sich im Wesentlichen auf kleine Gebiete in den Mittelgebirgen, Voralpen und Alpen, in Höhenlagen bis 2000 m (Habel et al., 2010; Wachlin, 2006). Aufgrund der Isolation haben sich in Europa neun Subspezies der Art gebildet (Finger et al., 2009).

In Mitteleuropa gibt es viele theoretisch geeignete Habitate, welche jedoch nicht von *L. helle* besiedelt sind (Bauerfeind et al., 2009). Die Gefährdung von *L. helle* kann also nicht ausschliesslich auf die Qualität der Habitate zurückgeführt werden. Das Fehlen von *L. helle* in grundsätzlich geeigneten Habitaten kann durch die unzureichende Anbindung dieser an das Habitat-Netzwerk erklärt werden, wodurch sie für *L. helle* nicht erreichbar sind (Bauerfeind et al., 2009; Fischer et al., 1999; Goffart et al., 2014). *L. helle* wird häufig als Art mit tiefer Mobilität beschrieben, wobei nur selten Kolonisationsevents über grössere Distanzen beobachtet werden (Goffart et al., 2014; Habel, Finger, et al., 2011). Anhand von Erkenntnissen über die Verbreitung zahlreicher Schmetterlingsarten kann das Vorkommen von *L. helle* in einer Meta-Populationsstruktur betrachtet werden (Fischer et al., 1999). Viele Habitate und Populationen in Mitteleuropa haben eine geringe Grösse, was ein höheres Aussterberisiko pro Population zur Folge trägt (Nunner, 2006).

Klimawandel

Aufgrund des menschengemachten Klimawandels hat sich die globale mittlere Oberflächentemperatur von 2011–2020 im Vergleich zu 1850–1900 um 1.1°C erhöht (Calvin et al., 2023). Während thermophile Insektenarten von dieser Entwicklung teilweise sogar profitieren können, stellt der Klimawandel eine besondere Herausforderung für Arten dar, die an kalte Habitate angepasst sind (Kebaïli et al., 2023; Scherer et al., 2021; Stuhldreher et al., 2014). Eine Strategie für Arten, mit dem Klimawandel umzugehen ist die Verschiebung des Verbreitungsgebiets in höhere

Breitengrade oder Höhenlagen, wo die Temperaturen tiefer sind (Chen et al., 2011). Es wurde beobachtet, dass sich die Verbreitung verschiedener montaner Schmetterlingsarten in den österreichischen Alpen während 1961 bis 2019 im Mittelwert um mehr als 300 m in Richtung Gipfel verschoben haben (Rödder et al., 2021). Die Verschiebung erfolgte bei Generalisten und Arten mit höherer Mobilität schneller als bei Spezialisten und Arten mit tiefer Mobilität (Rödder et al., 2021). *L. helle*, als kaltangepasster Spezialist mit tiefer Mobilität ist somit weniger fähig, auf den Klimawandel mit einer Verlagerung des Lebensraums zu reagieren (Rödder et al., 2021).

Förderprojekt *L. helle* in der UNESCO Biosphäre Entlebuch

Trotz einer Vielzahl an theoretischen Grundlagen zur Gefährdung von *L. helle* konnten kaum Studien gefunden werden, welche die Effekte von spezifischen Fördermassnahmen zu quantifizieren versuchen. Um diese Wissenslücke zu füllen, wurde in der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) im Jahr 2021 ein Projekt lanciert, mit dem Ziel, *L. helle* zu fördern und gleichzeitig Daten zur Wirksamkeit der gewählten Eingriffe zu sammeln. Im Projekt werden drei Massnahmen getestet und evaluiert. Die erste Massnahme, die Mahd einer Hochstaudenflur, zielt darauf ab, die Verbuschung von geeigneten Habitaten zu vermeiden. Die zweite Massnahme, das Auszäunen eines *P. bistorta*-Bestandes soll die Habitate trotz früher Mahd oder Weide präservieren. Die letzte Massnahme, das Aufkommen lassen von Sträuchern, soll die Habitate durch windschützende Elemente aufwerten. Die Massnahmenflächen wurden mit Kontrollflächen gepaart und die Anzahl von *L. helle*-Faltern wurde in einem jährlichen Monitoring erfasst.

Neben dem Monitoring der Massnahmen über vier Jahre hinweg beinhaltet das Projekt auch die einmalige Suche nach Präimaginalstadien (Eier und Raupen). Die Möglichkeit, das Vorkommen von Tagfaltern in einem Habitat mithilfe von Nachweisen von Präimaginalstadien nachzuweisen, ist in der Literatur bereits Gegenstand von Diskussionen (Dolek, 2006; Hermann, 2006; Steiner et al., 2006). In der Praxis findet die Suche nach Präimaginalstadien, zum Teil aus Gründen der Praktikabilität, zum Teil aber auch aufgrund von Skepsis bei Expert*innen nur selten Anwendung und die Suche nach Faltern bleibt der Status Quo (Hermann, 2006). Im Jahr 2004 untersuchten Steiner et al. das Vorkommen von Präimaginalstadien von *L. helle* in der UBE. Die Autoren betonen die

höhere Effizienz der Erfassung von Präimaginalstadien, da diese einfacher, weitgehend unabhängig von der Witterung und oft häufiger aufzufinden seien als die *L. helle*-Falter. In diesem Kontext ist es interessant, die Methodik der Suche nach Präimaginalstadien im Projekt zu testen, da sie vielleicht auch in Zukunft weiter angewendet werden könnte. Neben den methodischen Einsichten ist ein weiterer Vorteil dieser ergänzenden Erhebungsmethode die Erkenntnisse zur Habitatsnutzung. Eine Sichtung von *L. helle* in einem Habitat erlaubt keine Aussagen zur Nutzung des Habitats. Das Habitat könnte ein Primärhabitat sein, welches für mehrere Lebensstadien genutzt wird, oder lediglich ein Trittbrett dazwischen. Die Daten zu den Präimaginalstadien können jedoch Aufschluss darüber geben, welche der untersuchten Gebiete als Standorte für die Eiablage und die Larvenentwicklung genutzt werden. Ausserdem wurden die Habitate der Präimaginalstadien qualitativ und qualitativ beschrieben, um Wissen für weitere Förderprojekte zu generieren.

Fragestellungen

Mithilfe der Daten aus der vierjährigen Untersuchung der *L. helle* Falter, sowie der einmaligen Untersuchung der Präimaginalstadien sollen folgende Fragestellungen beantwortet werden.

1. Wo im Untersuchungsgebiet waren *L. helle* Falter während der Studienzeit anwesend, respektive abwesend?
2. Wie stabil waren die Sichtungen der *L. helle* Falter über die Studienzeit hinweg?
3. Wie wirken sich die durchgeführten Massnahmen auf die Sichtungen der *L. helle* Falter aus?
4. Zeigen die Untersuchungen der Präimaginalstadien und Falterstadien aus dem Jahr 2024 kongruente Resultate?
5. Welche quantitativen und qualitativen Merkmale zeichnen die Standorte aus, an denen Präimaginalstadien gefunden wurden?

Methodik

2.1. Bestandeserhebung

Versuchsaufbau Bestandeserhebung

Mit dem Ziel, *L. helle* evidenzbasiert zu fördern, wurde in der UBE 2021 ein vierjähriges Förderprojekt gestartet, welches die Wirkung von 3 Massnahmen mittels einem jährlichen Monitoring quantifizieren soll. Über die UBE verteilt wurden jeweils 14 Massnahmenflächen mit 14 Kontrollflächen gepaart. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die gepaarten Flächen in Struktur, Höhenlage und Landnutzung ähneln. Die Versuchsflächen erstrecken sich über verschiedene Regionen der UBE, wobei eine Unterteilung in vier Regionen vorgenommen werden kann. Diese sind: Glaubenberg, Haglere, Hilfere und Salwiden (siehe Abbildung 4).

Regionen

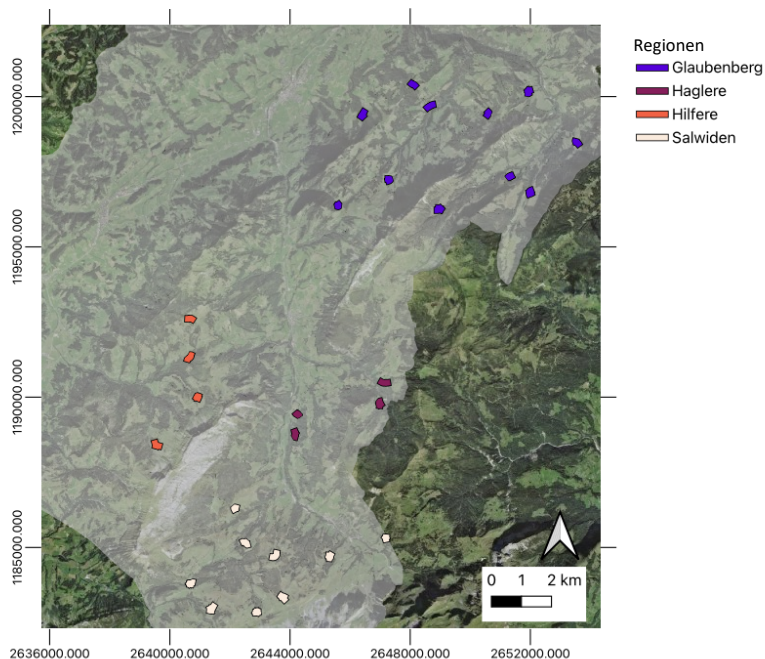


Abbildung 4: Die 4 Regionen Glaubenberg, Haglere, Hilfere und Salwiden, Hintergrundkarten: SWISSIMAGE (Swisstopo, 2024), Biosphärenreservate (BAFU, 2017)

Es wurden drei Massnahmen getestet; das Auszäunen eines *P. bistorta*-Bestandes (kurz: Auszäunen), das Mähen einer Hochstaudenflur (kurz: Flur mähen), und das Aufkommen

lassen von Sträuchern (kurz: Sträucher). Pro Massnahmenfläche wurden jährlich 2 Ar ausgezäunt, bzw. gemäht. Bei der Massnahme «Sträucher» wurden Sträucher auf einer Länge von 50 Laufmeter aufkommen gelassen. Die Lage der Massnahmen- und Kontrollflächen ist auf Abbildung 5 zu sehen.

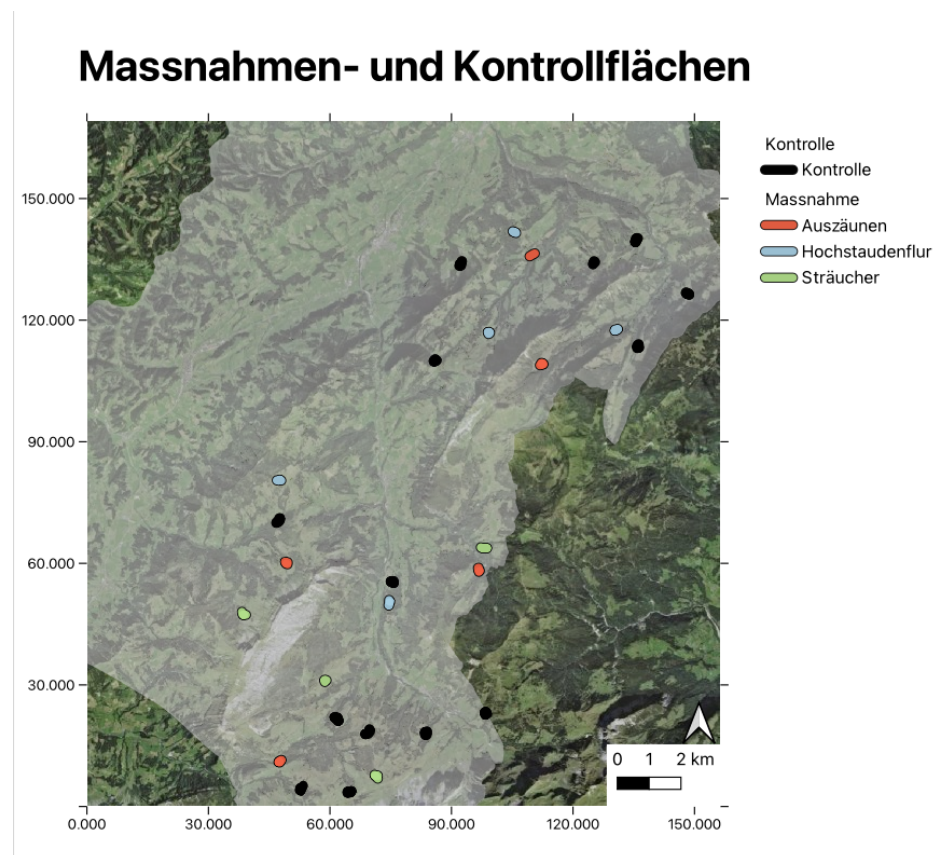


Abbildung 5: Lageplan der Massnahmen- und Kontrollflächen, Hintergrundkarten: SWISSIMAGE (Swisstopo, 2024), Biosphärenreservate (BAFU, 2017)

Einmal jährlich wurde pro Untersuchungsfläche ein 250m langer, vordefinierter Transekt begangen. Der Zeitpunkt der Begehung war abhängig vom klimatischen Verlauf des Frühlings und fand ab der Zeit statt, in welcher die ersten adulten Tiere flogen. Diese Zeitpunkte variieren erfahrungsgemäss zwischen Mitte April und Ende Mai (Stäubli, 2022). Die Datenaufnahme fand zwischen Mai und Juli zwischen 10:00 (respektive 10:30 vor Mitte Juni) bis 17:00 an Tagen mit geeigneter Witterung statt. Anforderungen an die Witterung waren eine Temperatur von mindestens 13°C in 1m Höhe über Boden im Schatten, 100% Sonnenschein auf dem gesamten Transekt und eine Windstärke von höchstens 3 Beaufort. Eine Begehung dauerte total 30 Minuten, da die 250m lange Strecke hin und zurück mit einem Tempo von 2 km/h abgelaufen wurde.

Datenauswertung Bestandeserhebung

Die Daten der Bestandeserhebungen wurden mit R, Version 4.3.2. (R Core Team, 2013) statistisch ausgewertet. Im ersten Schritt erfolgte eine qualitative Untersuchung der Daten hinsichtlich der Präsenz bzw. Absenz von *L. helle* auf den Untersuchungsflächen. Als nächstes wurde die Stabilität der Sichtungen auf den Untersuchungsflächen über die Studienzeit untersucht. Die Stabilität der Sichtungen wurde wie folgt kategorisiert: Eine Untersuchungsfläche wurde als "Absent" gewertet, wenn in allen 4 Jahren keine Sichtung erfolgte. Die Kategorie «Neu absent» umfasst Flächen, auf denen in den Jahren 2021 und 2022 Sichtungen erfolgten, in den Jahren 2023 und 2024 jedoch nicht mehr. Analog wurden Flächen, auf denen nur in den Jahren 2023 und 2024 Sichtungen verzeichnet wurden als «Neu präsent» kategorisiert. Flächen, auf denen in 3 oder mehr Jahren *L. helle* Falter gesichtet wurden, wurden als «Präsent» kategorisiert. Eine Fläche wurde bereits bei 3 von 4 Sichtungen als präsent kategorisiert, da es möglich ist, dass trotz einer konstanten Population die Individuen in einem Jahr übersehen werden. Alle anderen Situationen wurden als «Labil» kategorisiert. Als nächstes wurden die Sichtungen in Bezug auf die Massnahmen ausgewertet. Mithilfe eines Generalized Linear Model (GLM) wurden Unterschiede in der Abundanz der Sichtungen zwischen den verschiedenen Massnahmen untersucht (Neuhaus & McCulloch, 2011). Da es sich bei den Sichtungen um Zählraten handelt und die Sichtung von *L. helle* relativ selten erfolgte, wurde von einer Poissonverteilung ausgegangen (Thompson, 2001).

2.2. Methodik Präimaginalstadien

Versuchsaufbau Präimaginalstadien

Die Suche nach den Präimaginalstadien erfolgte auch auf den zuvor definierten 28 Untersuchungsflächen. Die Suche wurde jedoch auf einer kleineren räumlichen Skala durchgeführt. Dazu wurden die relevanten Flächen begangen und alle grösseren Bestände von *P. bistorta* als potenzielle Habitate beschrieben und abgesucht. Pro Habitat wurde für die Dauer von 10 Minuten die Unterseite der Blätter von *P. bistorta* nach Präimaginalstadien abgesucht. Dabei wurde vorwiegend auf grossen bis mittelgrossen Blättern gesucht. Jeder Standort wurde mithilfe folgender Faktoren beschrieben.

Tabelle 1: Faktoren und Messwerte für die Beschreibung der potenziellen Eiablagestellen von *L. helle*

Faktoren	Messwert
Koordinaten	Numerisch, per GPS
Höhe (M. ü. M.)	Numerisch, per GPS
Datum	Datum
Zeit	Numerisch (0-24)
Name der Fläche	String
Massnahmen	String
Deckungsgrad von <i>P. bistorta</i>	Faktoriell 0 >1% 1 1-50% 2 51-95% 3 >95%
Vegetationsdeckung (Steiner et al., 2006)	Faktoriell 0 nahezu vegetationsfrei (0-10%) 1 gering (10- 30%) 2 mittel (30 - 60%) 3 hoch (61-90%) 4 sehr hoch (>90%)
Vegetationshöhe der Umgebung des <i>P. bistorta</i> -Bestandes	Faktoriell 0 sehr niedrige Vegetation (<50cm) 1 niedrige Vegetation (50 – 100cm) 2 mittelhohe Vegetation (100 – 150cm) 3 hohe Vegetation (>150cm)
Nähe zu Bäumen (Steiner et al., 2006)	Faktoriell 0 >100m 1 51 – 100m 2 11 -50m 3 5-10m 4 >5m

Nähe zu Sträuchern	Faktoriell 0 >100m 1 51 – 100m 2 11 -50m 3 5-10m 4 >5m
Nähe zu anderen Windschützenden Elementen (Relief)	Faktoriell 0 >100m 1 51 – 100m 2 11 -50m 3 5-10m 4 >5m
Bodenfeuchte (Steiner et al., 2006)	Faktoriell 0 Sehr trocken (trocken, rissig) 1 Trocken (trocken aber keine Risse) 2 Feuchter Boden (leicht feucht, nicht schlammig) 3 Sehr feuchter Boden (schlammig)
Besonnung (Steiner et al., 2006)	Faktoriell 0 Vollständiger Schatten 1 Teilweise Schatten (durch Bäume oder Strukturen teilweise bedeckt) 2 Halbschatten (weniger als die Hälfte des Bereichs von direktem Sonnenlicht betroffen) 3 Sonnig (überwiegend oder vollständig von Sonnenlicht durchflutet)
Anzahl Eier	Numerisch
Anzahl Raupen	Numerisch
Qualitative Beschreibung der Habitate	An jedem Standort wurde ein kurzes Video mit Standortbeschreibung gefilmt und Fotos geschossen

Datenauswertung Präimaginalstadien

Die Daten der Präimaginalstadien wurden mit R, Version 4.3.2. (R Core Team, 2013) statistisch ausgewertet. Zunächst wurde überprüft, ob die Daten der Präimaginalstadien und der Imaginalstadien miteinander übereinstimmen. Dafür wurde zunächst getestet, in wie vielen Regionen die Absenz-/Präsenzdaten kongruente Ergebnisse lieferten. Für die Habitatsanalyse wurden zunächst alle erklärenden Variablen miteinander korreliert, um mögliche indirekte Korrelationen mit der Zielvariable zu vermeiden (siehe Anhang 3). Die Habitatsvariablen wurden dann mit den Eier- und Raupenfunden in ein GLM gefittet. Darauf folgte eine qualitative Auswertung der Habitate anhand der Beschreibungen, Fotos und Videos.

3. Resultate

3.1. Vorkommen und Stabilität von *L. helle* Faltern

3.1.1. Präsenz-Absenz von *L. helle* Faltern

Die Präsenz von *L. helle* im Falterstadium wurde während der Studienzeit auf 21 von 28 Flächen festgestellt. Auf sieben Untersuchungsflächen (Pfenigsloch, Bärsel, Neuhütte, Schneebergli, Blattligrabe, Vorder Rotbach und Türndliwald) konnte der Falter hingegen während der gesamten Studienzeit nie nachgewiesen werden. Abbildung 6 zeigt, in wie vielen Jahren *L. helle* pro Untersuchungsfläche nachgewiesen werden konnte.

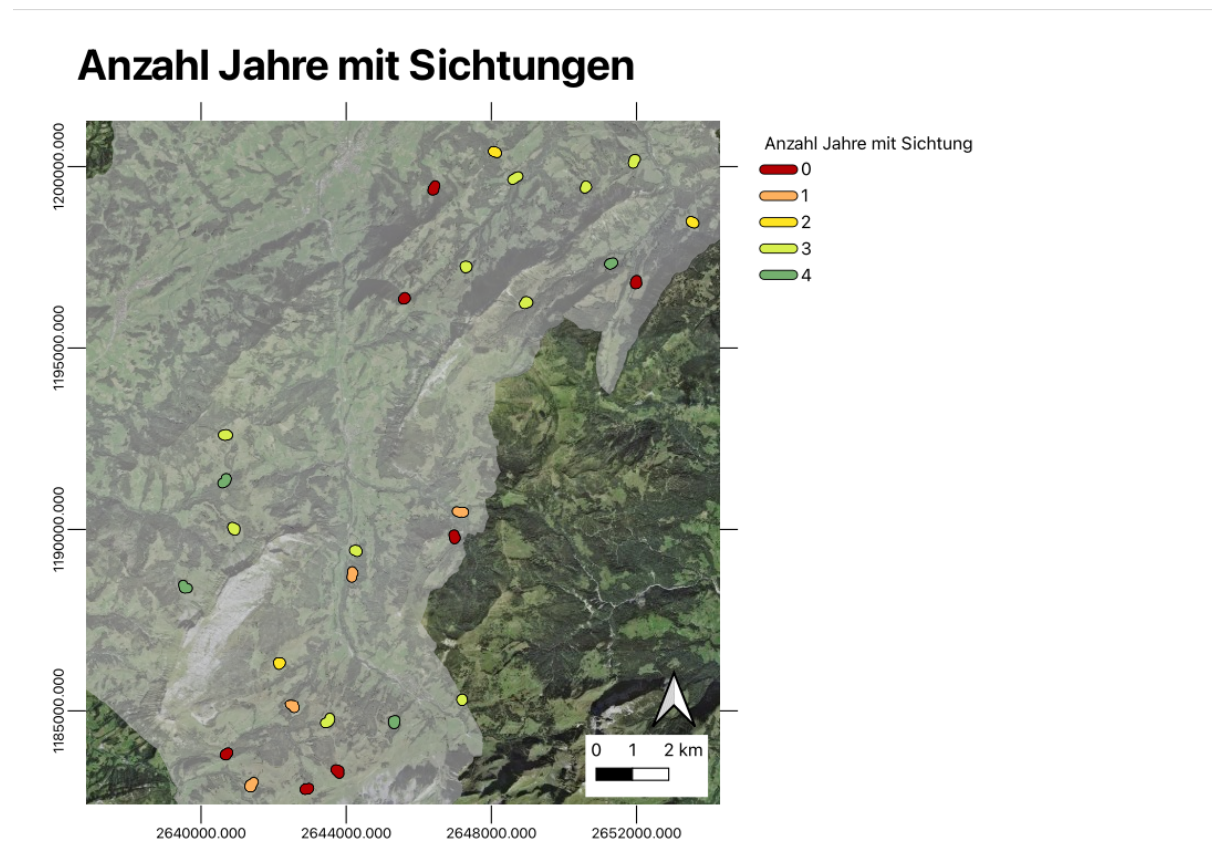


Abbildung 6: Übersicht in welchen Untersuchungsflächen *L. helle* nachgewiesen wurden konnte. Die Farbe beschreibt, in wie vielen Jahren der Studienzeit ein Nachweis gelang. Hintergrundkarten: SWISSIMAGE (Swisstopo, 2024), Biosphärenreservate (BAFU, 2017)

Dabei fällt auf, dass in der Region Hilfere konsistent Falter gesichtet worden sind. Diese Tendenz kann auch quantitativ belegt werden. Auf Abbildung 7 ist erkennbar, dass in der Region Hilfere der Medianwert der Faltersichtungen pro Fläche jedes Jahr grösser als in



Die Stabilität der Untersuchungsflächen in der Region Glaubenberg ist auf Abbildung 8

Stabilität in Glaubenberg

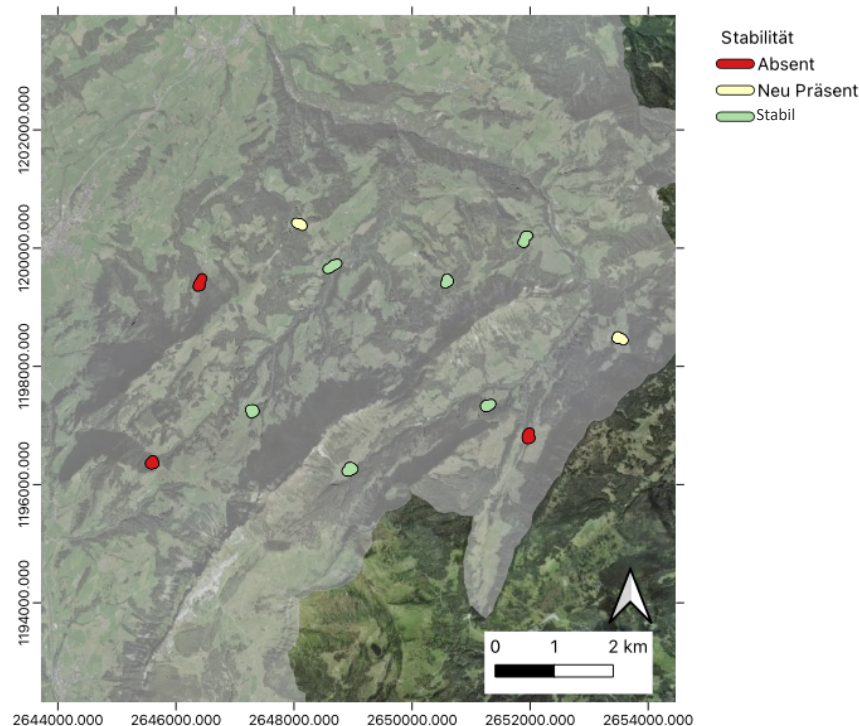


Abbildung 8: Stabilität der Populationen in der Region Glaubenberg in 5 Kategorien. »Absent«, wenn in 4 Jahren keine Sichtung erfolgte. »Neu Absent«, wenn in 2021 und 2022 Sichtungen, und in 2023 und 2024 keine Sichtungen erfolgten. »Stabil«, wenn in mindestens 3 von 4 Jahren eine Sichtung erfolgte. »Neu Präsent«, wenn in 2021 und 2022 keine Sichtungen, und in 2023 und 2024 Sichtungen erfolgten. »Labil«, in allen anderen Situationen. Hintergrundkarten: SWISSIMAGE (Swisstopo, 2024), Biosphärenreservate (BAFU, 2017)

Die stabilen Flächen gruppieren sich um die Bergkette vom Schimberig nach Schafmatt, welche sich von Nordosten nach Südwesten erstreckt. Die Stabilität der Flächen scheint mit zunehmender Distanz vom Grat abzunehmen. Es lässt sich beobachten, dass die Flächen ohne Sichtungen am weitesten vom Grat entfernt sind.

3.1.3. Stabilität in den Regionen Haglere, Hilfere und Salwiden

Der südliche Bereich der Biosphäre umfasst die Regionen Haglere, Hilfere und Salwiden, auf denen insgesamt 17 Versuchsflächen angelegt wurden. Die Stabilität der Versuchsflächen ist auf Abbildung 9 dargestellt. In der Region Haglere wurde 1 Fläche als absent kategorisiert, während 2 Flächen als labil kategorisiert wurde. 1 Fläche wurde als stabil kategorisiert. In der Region Hilfere wurden alle 4 Flächen als stabil kategorisiert. In der Region Salwiden waren 3 stabile Flächen am südöstlichen Rand der Region zu

verzeichnen. Im westlichen Teil von Salwiden wurden 3 Flächen als absent und 3 weitere als labil kategorisiert.

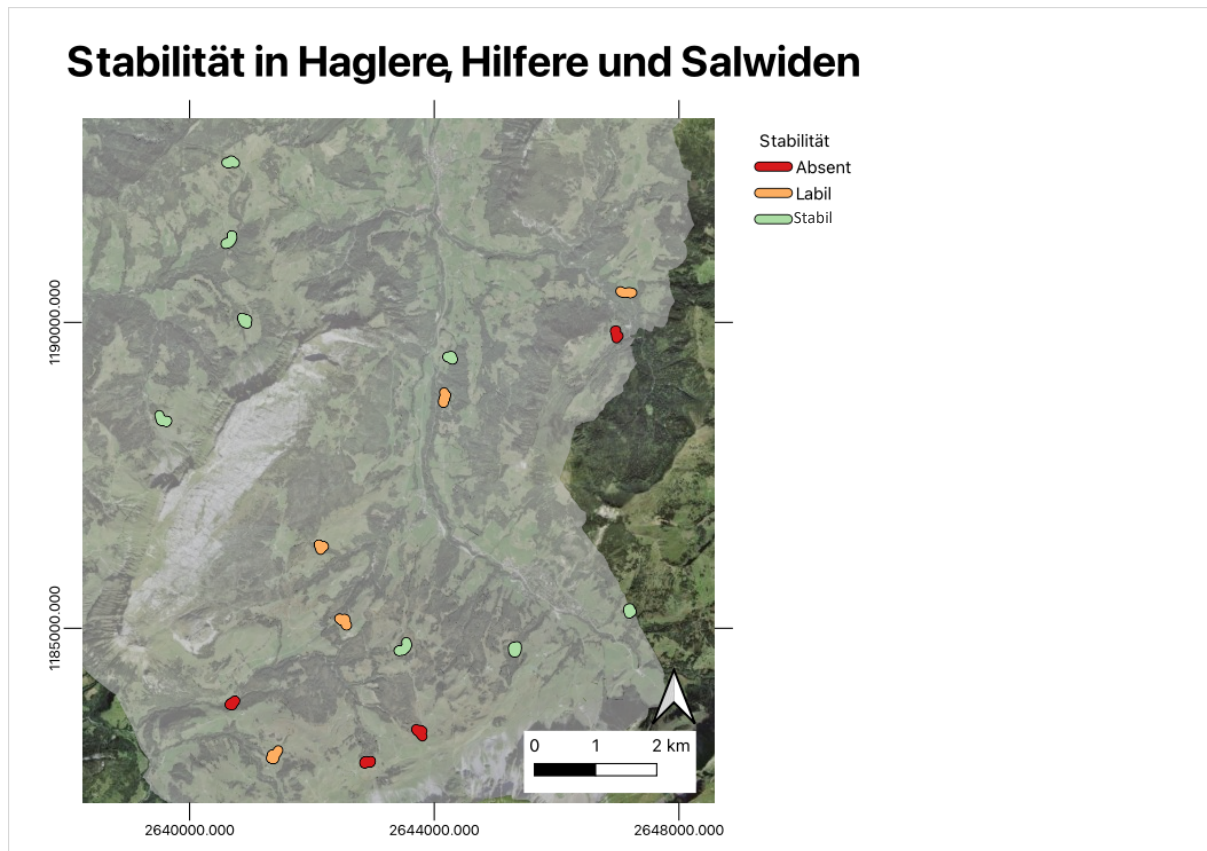


Abbildung 9: Stabilität der Populationen im Süden der UBE in 5 Kategorien. »Absent«, wenn in 4 Jahren keine Sichtung erfolgte. »Neu Absent«, wenn in 2021 und 2022 Sichtungen, und in 2023 und 2024 keine Sichtungen erfolgten. »Stabil«, wenn in mindestens 3 von 4 Jahren eine Sichtung erfolgte. »Neu Präsent«, wenn in 2021 und 2022 keine Sichtungen, und in 2023 und 2024 Sichtungen erfolgten. »Labil«, in allen anderen Situationen. Hintergrundkarten: SWISSIMAGE (Swisstopo, 2024), Biosphärenreservate (BAFU, 2017)

Analog zu den stabilen Flächen in der Region Glaubenberg lassen sich auch in den anderen drei Regionen der Biosphäre die stabilen Flächen räumlich gruppieren. Dies zum einen in der Region Hilferer, wo alle Flächen stabil sind. Weiter kann eine zweite Gruppe an der südwestlichen Grenze der UBE zum Kanton Obwalden in der Region Salwiden identifiziert werden. Einzig die stabile Fläche in der Region Haglere lässt sich nicht räumlich gruppieren.

3.2. Massnahmenkontrolle

Über die UBE hinweg wurden in einem vierjährigen Förderprojekt von *L. helle* 14 Massnahmenflächen mit 14 Kontrollflächen gepaart. Dabei wurde darauf geachtet,

dass sich die Flächen in Struktur, Höhenlage und Landnutzung ähneln. Es wurden 3 Massnahmen getestet; das Auszäunen eines *P. bistorta*-Bestandes (kurz: Auszäunen), das Mähen einer Hochstaudenflur (kurz: Flur mähen), und das Aufkommen lassen von Sträuchern (kurz: Sträucher). Mithilfe eines GLM wurde der Effekt der Massnahmen auf die Anzahl Sichtungen von *L. helle* getestet. Die Annahme der Normalverteilung wurde getestet und verworfen (siehe Anhang 1). Da die Sichtungen seltene Zähldaten sind, wurde stattdessen von einer Poissonverteilung ausgegangen (Thompson, 2001). Somit wurde ein Modell gefittet, welches die Anzahl der Sichtungen adulter Tiere anhand der Massnahme erklärt. Die Paar-ID wurde dem Modell als Fixed Effect hinzugefügt, um die Paarung der Daten darzustellen. Dabei wurde bei der Massnahme «Sträucher» ein negativer Effekt (-0.6931) mit p-Wert 0.049935 erfasst. Bei den anderen Massnahmen konnte kein statistisch signifikanter Effekt ($p > 0.05$) verzeichnet werden. Der Output des Modells ist in Tabelle 2 zu finden. Auf Abbildung 10 sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Massnahmenflächen und den Kontrollflächen visuell dargestellt.

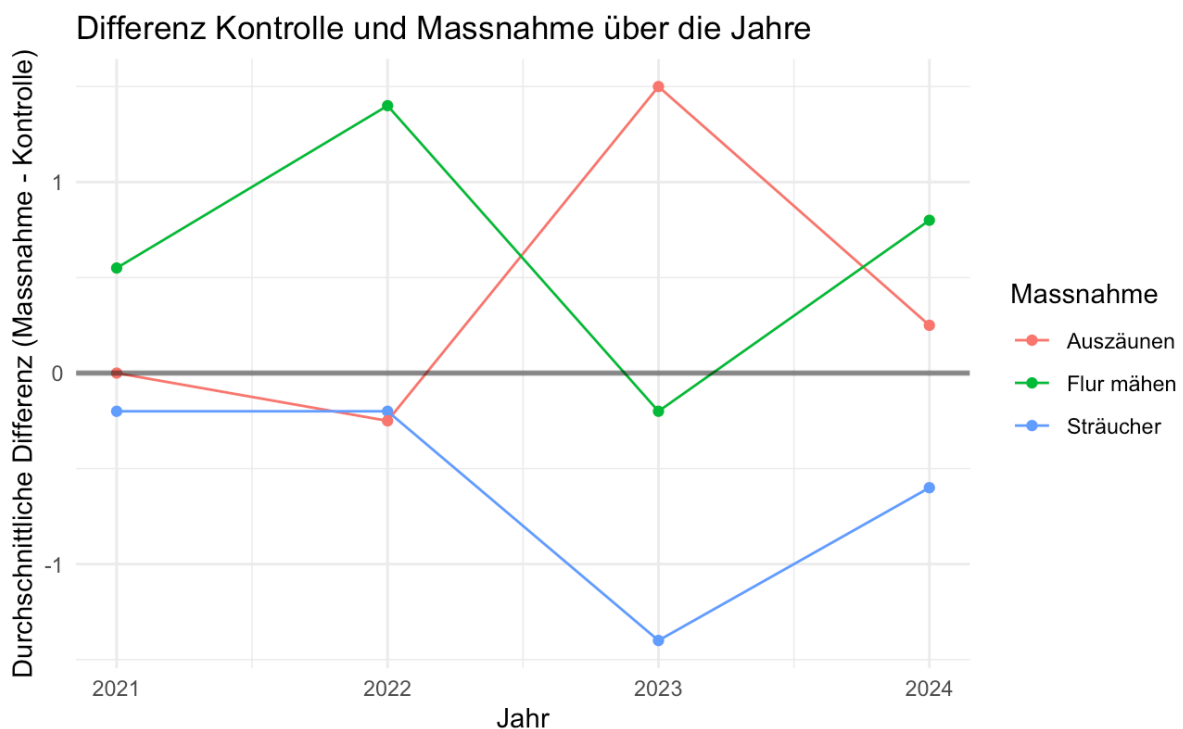


Abbildung 10: Unterschiede zwischen Massnahmen- und den dazugehörigen Kontrollflächen. Pro Jahr wurde der arithmetische Mittelwert der Sichtungen pro Fläche einer gegebenen Massnahme kalkuliert. Von diesem Wert wurde der arithmetische Mittelwert der Sichtungen pro Fläche der dazugehörigen Kontrollflächen subtrahiert, um die Differenz zwischen Massnahmen– Kontrollflächen über die Studienzeit hinweg darzustellen.

Tabelle 2: Output des GLMs der Kontrolle der Massnahmen. Die Massnahme «Sträucher» zeigt einen statistisch signifikanten negativen Effekt auf die Anwesenheit von adulten Tieren.

	Estimate	Std. error	Z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.9045	0.5254	-1.722	0.085151 .
Massnahme_auszaeunen	0.6931	0.5000	1.386	0.165657
Massnahme_flur_maehen	0.3858	0.2712	1.422	0.154897
Massnahme_strauecher	-0.6931	0.3536	-1.961	0.049935 *
pair_id2	1.0116	0.5839	1.733	0.083173 .
pair_id3	1.5977	0.6110	2.615	0.008923 **
pair_id4	0.5596	0.6268	0.893	0.371944
pair_id5	1.2528	0.5669	2.210	0.027128 *
pair_id6	-17.7616	1979.5421	-0.009	0.992841
pair_id7	0.3655	0.7280	0.502	0.615601
pair_id8	-17.7616	1979.5421	-0.009	0.992841
pair_id9	0.8175	0.6914	1.182	0.237064
pair_id10	0.7222	0.7000	1.032	0.302172
pair_id11	0.4991	0.7348	0.679	0.497023
pair_id12	1.1922	0.6442	1.851	0.064200 .
pair_id13	1.0587	0.6579	1.609	0.107566
pair_id14	1.8114	0.5439	3.331	0.000866 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Auf Abbildung 11 ist die Entwicklung der Flächen mit Massnahme «Sträucher» visuell dargestellt. Die Entwicklung der Mittelwerte über Zeit ist bei den Massnahmenflächen «Sträuchern» negativ. Bei den dazugehörigen Kontrollflächen ist diese positiv, ausgenommen einer negativen Entwicklung von 2023 nach 2024. Spezifisch bei der Massnahme «Sträucher» ist zu erwarten, dass der Effekt der Massnahme von Jahr zu Jahr grösser werden sollte, da die Sträucher von Jahr zu Jahr wachsen. Das Jahr wurde deshalb als weitere erklärende Variable ins GLM hinzugefügt. Dies konnte jedoch nicht als statistisch signifikant gewertet werden (Anhang 2).

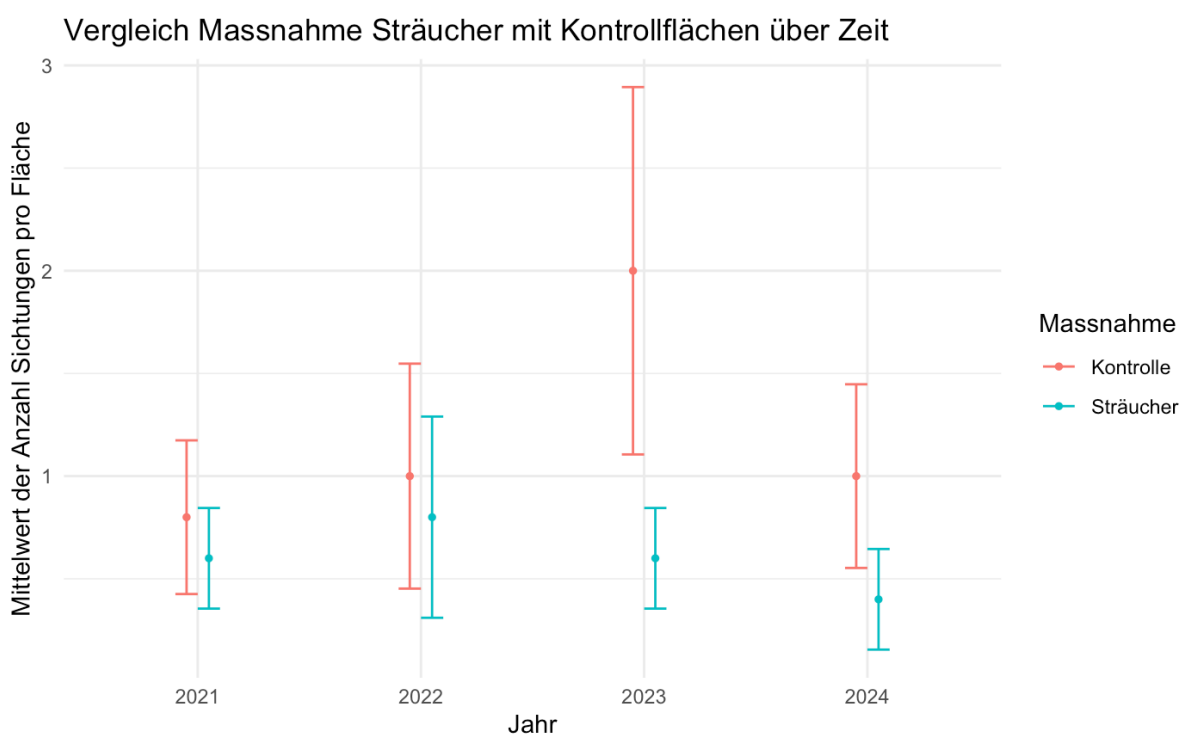


Abbildung 11: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Sichtungen pro Fläche über die Zeit zwischen den Massnahmenflächen «Sträucher» und deren dazugehörigen Kontrollflächen. Sichtbar ist ein potenziell negativer Effekt, welcher sich mit der Zeit zu vergrössern scheint.

3.3. Untersuchung der Präimaginalstadien

3.3.1. Standorte der Präimaginalfunde

Bei der standardisierten Suche nach Präimaginalstadien wurden 16 Individuen auf 7 Untersuchungsflächen gefunden. Die Standorte der Präimaginalfunde sind auf

Abbildung 12 sichtbar. Die Präimaginalstadien wurden hauptsächlich im südlichen Teil der Biosphäre (Regionen Hilfere, Haglere und Salwiden) nachgewiesen. In der Region Glaubenberg erfolgte der Nachweis nur auf einer Fläche. In der Region Hilfere, in der auch die Falter am häufigsten und konsistentesten gesichtet wurden, wurden auf 3 von 4 Untersuchungsflächen Präimaginalstadien gefunden.

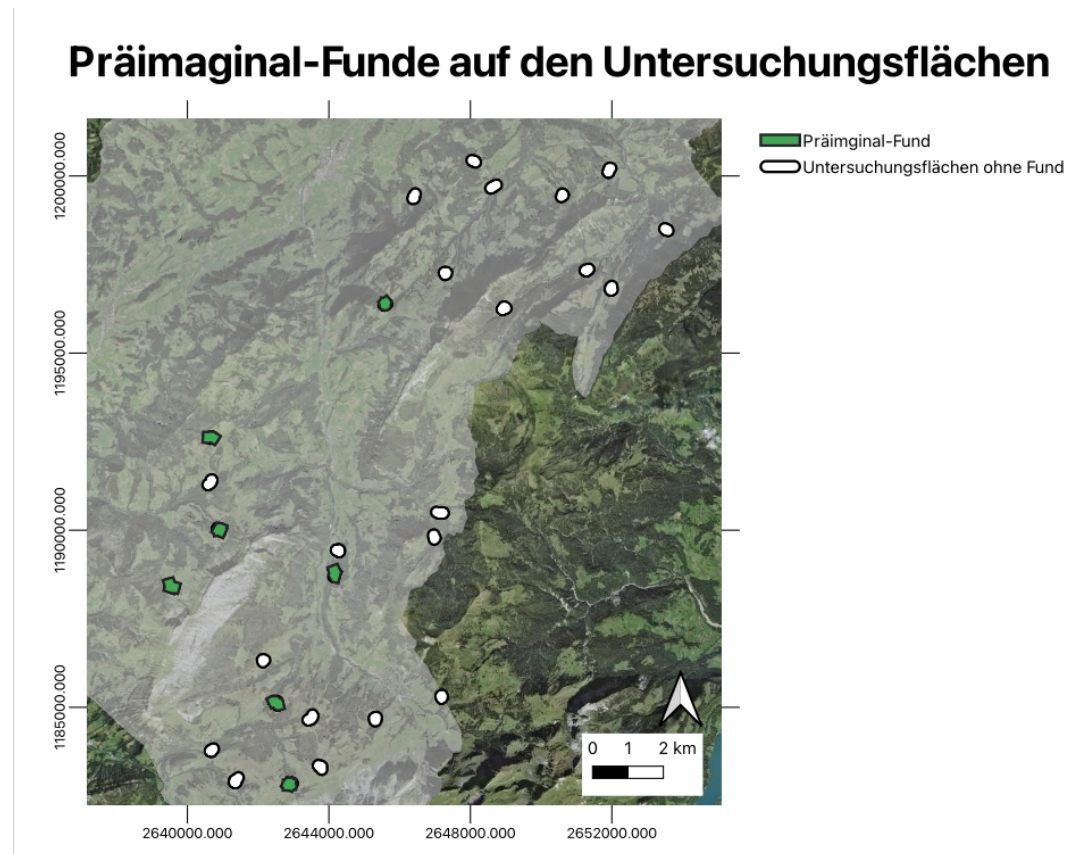


Abbildung 12: Grün: Flächen, auf denen Präimaginalstadien gefunden wurden. Weiss: Flächen, auf denen keine Präimaginalstadien gefunden wurden. Hintergrundkarten: SWISSIMAGE (Swisstopo, 2024), Biosphärenreservate (BAFU, 2017)

3.3.2. Kongruenz zwischen Falter- und Präimaginalfunden

In dieser Arbeit wurde ein standardisiertes Verfahren zur Suche von Präimaginalstadien mit einem standardisierten Verfahren zur Suche nach Faltern aus dem gleichen Jahr auf den gleichen Untersuchungsflächen verglichen. Auf 14 von 28 Untersuchungsflächen wurden dabei kongruente Präsenz/Absenz-Daten gesammelt. Das bedeutet, dass auf einer Fläche entweder keine Präimaginalstadien sowie keine Falter gesichtet wurden oder auf einer Fläche Präimaginalstadien sowie Falter gesichtet wurden. Bei nicht-kongruenten Daten kann zwischen zwei Fällen unterschieden werden. Zum einen gibt es

den Fall, dass zwar Falter gefunden wurden, aber keine Eier oder Raupen entdeckt wurden. 10-mal trat dieser Fall im Jahr 2024 ein, dass der Falter an Standorten gesichtet wurde, an denen keine Präimaginalstadien gesichtet wurden. Der andere Fall von Inkongruenz, dass nämlich Präimaginalstadien an Standorten gefunden wurden, an denen im Jahr 2024 kein Nachweis des Falterstadiums erfolgte trat 4-mal auf.

Insgesamt wurden auf 7 Untersuchungsflächen Präimaginalstadien gefunden. Davon waren 2 Untersuchungsflächen im Bezug auf die Falter als absent, und 2 als labil kategorisiert wurden. Die restlichen 3 Untersuchungsflächen befinden sich in der Region Hiltfer, in der alle Untersuchungsflächen im Bezug auf die Falter als stabils kategorisiert wurden.

3.3.3. Habitatsmerkmale

In der UBE ist *P. bistorta* häufig und weit verbreitet, im Gegensatz zu *L. helle*–Präimaginalstadien, welche viel seltener zu finden sind. Eine weitere Fragestellung ist deshalb, welche zusätzlichen Eigenschaften ein Vorkommen von *P. bistorta* aufweisen muss, um als Eiablagestandort geeignet zu sein. Eine quantitative und qualitative Analyse der Eiablagestandorte soll einen Einblick in die Ansprüche an die Eiablagestelle schaffen. Die erfassten Habitatsfaktoren (siehe Tabelle 1) wurden in ein GLM gefittet, welches die Anzahl Präimaginalfunde mit den Habitatsfaktoren in Verbindung setzt. Dazu wurde ein Random Effect für die Field ID verwendet, um für den Fakt zu kontrollieren, dass mehrere Messungen auf den gleichen Untersuchungsflächen erfolgten. Dabei wurden keine statistischen signifikanten Resultate ($p < 0.05$) gefunden (siehe Tabelle 3), jedoch wurde eine auffällige Korrelation zwischen Vegetationshöhe und Präimaginalfunden festgestellt.

Tabelle 3: Output des GLMs der Habitatsanalyse. Keine der Variablen konnte als statistisch signifikant erachtet werden. Die Variable «Vegetationsdeckung» wurde aufgrund von zu wenig verschiedenen Werten aus der Analyse ausgelassen.

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Field_ID	(Intercept)	2.578	1.606

Number of obs: 67, groups: Field_ID, 26

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-3.65804	3.96330	-0.923	0.356
`Deckungsgrad-knoeterich`	-0.09124	0.58341	-0.156	0.876
vegetationshoehe	1.43641	0.91185	1.575	0.115
`straucher-naehe`	-0.14067	0.38665	-0.364	0.716
`baum-naehe`	-0.50783	0.57524	-0.883	0.377
besonnung	0.01342	0.63625	0.021	0.983
bodenfeuchte	0.36390	0.70916	0.513	0.608

Auf Abbildung 13 ist der Zusammenhang zwischen Vegetationshöhe und der Präsenz von Individuen im Präimaginalstadium dargestellt.

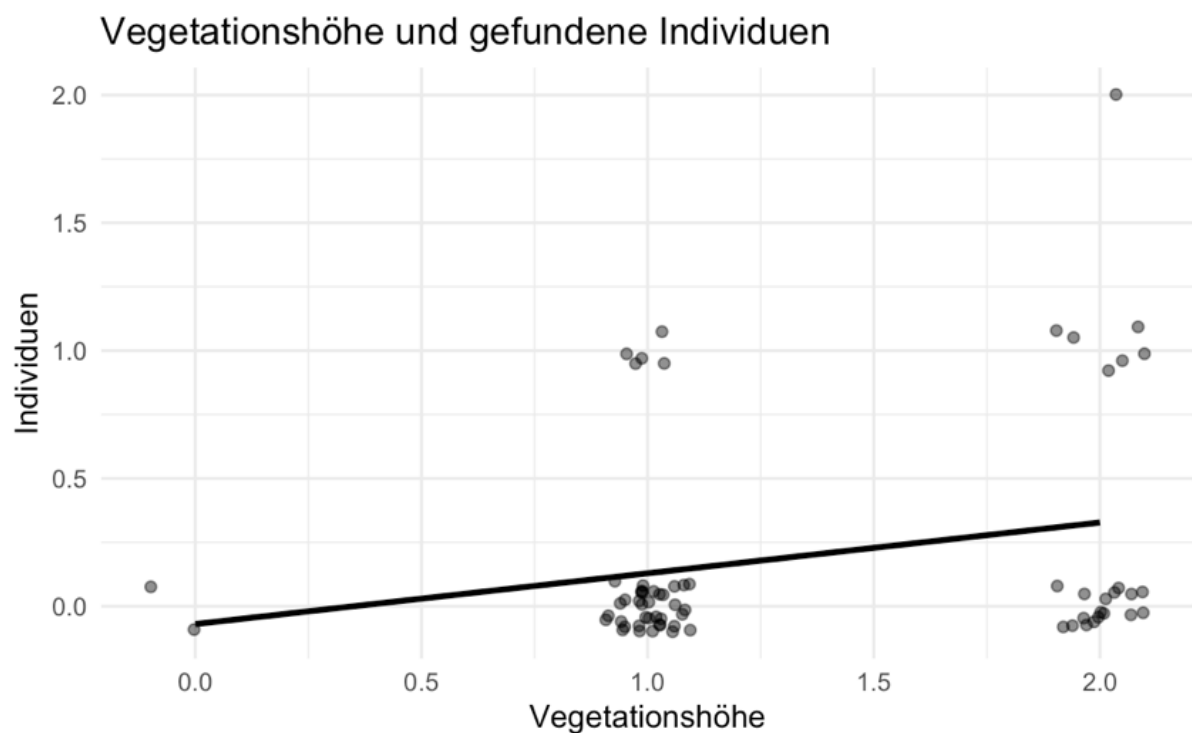


Abbildung 13: Präimaginalfunde in Zusammenhang mit der Vegetationshöhe, Regressionslinie mit linearem Modell hinzugefügt.

3.4. Qualitative Auswertung der Habitate

Funde von Präimaginalstadien gelangen in einer Vielzahl von Habitatsstrukturen, wobei einige Faktoren hervorgehoben werden können. Die folgende Analyse versucht potenzielle Muster zu identifizieren, welche in weiteren Studien untersucht werden könnten. Dafür werden die qualitativen Beschreibungen nach Gemeinsamkeiten untersucht und mit persönlichen Eindrücken und Bildern der Feldarbeit ergänzt.

3.4.1. Umgebende Vegetation

Von 16 Funden wurde in 7 Fällen die Beschreibung «höheres Gras» oder «Hochstaudenflur» verwendet. Dies, kombiniert mit den Ergebnissen zur Vegetationshöhe, spricht weiter dafür, dass sich eine höhere umgebende Vegetation positiv auf die Eignung eines Standorts als Eiablagestelle auswirken könnte. Dabei sollte jedoch festgehalten werden, dass bei allen Funden der spezifische Standort aus der Luft relativ einfach erreichbar war. Ein Beispiel einer solcher Vegetationsstruktur ist auf Abbildung 14 zu sehen. Die Durchzählung von höheren Vegetationselementen mit herausstehenden, einfach anzufliegenden *P. bistorta*-Blättern fiel während der Feldarbeit als vielversprechende Kombination auf.



Abbildung 14: Hochstaudenflur mit einfach zu erreichenden *P. bistorta*-Blättern (rot umrandet), Versuchsfläche Sammlige, bei der Voruntersuchung wurden in dieser Hochstaudenflur Präimaginalstadien gefunden, in der standardisierten Suche hingegen nicht.

3.4.2. Bachrand

Bei 9 von 16 Funden wurde die direkte Nähe zum Bach erwähnt. Der Bachrand wurde ausserdem von Anna Stäubli (2024) als beliebte Eiablagestelle erwähnt.



Abbildung 15: Fundstelle am Bachrand, Versuchsfläche Bärsel, Präimaginalstadien gefunden

3.4.3. Hanglage

Bei 12 von 16 Funden wurde die Lage mit den Worten «Graben», «Hang», «Senke» oder «geneigt» beschrieben. Dabei muss festgehalten werden, dass die meisten Untersuchungsflächen einen gewissen Grad an Neigung vorwiesen. Trotzdem wurde der Eindruck erweckt, dass oft am Grabenhang oder im Senkenminimum Eier oder Raupen gefunden wurden.



Abbildung 16: P. bistorta in Hanglage in einer Waldlichtung, Versuchsfläche Portenalp, Präimaginalstadien gefunden

3.4.4. Blatteigenschaften

Eier und Raupen wurden oft auf Blättern gefunden, welche für den Schmetterling einfach zu erkennen und anzufliegen scheinen. Dabei ist eine gewisse Grösse des Blattes, sowie die Lage in der restlichen Vegetation auffällig. Während der Feldarbeit entstand der Eindruck, dass oft Blätter bevorzugt werden, welche visuell aus der Vegetation herausstechen. Dies ist auf Abbildung 17 gut zu sehen.



Abbildung 17: *P. bistorta* Blatt mit L. helle Ei (rot umkreist), hervorstehend in der Vegetation, Versuchsfläche Hefti

4. Diskussion

In der UNESCO Biosphäre Entlebuch können drei *L. helle* Hotspots mit stabilen Sichtungen über die Studienzeit identifiziert werden.

Auf 28 Flächen wurden in der UBE über vier Jahre hinweg jährlich Daten zum Vorkommen von *L. helle* gesammelt. Auf 7 dieser 28 Flächen wurde der *L. helle* Falter während der gesamten Studienzeit nie gesichtet, während in der Region Hilferer die Falter am meisten und konsistentesten gesichtet wurden. Um die Stabilität der Sichtungen auf den Untersuchungsflächen zu quantifizieren, wurden diese in die Kategorien «stabil», «labil», «absent», «neu präsent» und «neu absent» eingeteilt. Dabei fiel auf, dass sich die stabilen Untersuchungsflächen räumlich gruppieren. 6 stabile Flächen gruppieren sich in der Region Glaubenberg um den Schimbrig-Grat. In der Region Hilferer wurden alle 4 Flächen als stabil kategorisiert. 3 weitere stabile Flächen lagen in der Region Salwiden an der Grenze zum Kanton Obwalden. Es lässt sich vermuten, dass sich in diesen «Hotspots» Quellpopulationen befinden, von welchen dann Falter in umliegende Gebiete ausfliegen. In diesem Fall würde man auch davon ausgehen, dass die Reproduktion und die Eiablage in diesen Hotspots stattfinden würde, so dass sich über die Jahre eine stabile Population auf diesen Untersuchungsflächen bilden konnte.

Nur die Massnahme «Sträucher» war statistisch signifikant und wirkte sich negativ auf die Sichtungen der *L. helle*-Falter aus.

Das Auszäunen von *P. bistorta*-Beständen, sowie das Mähen der Hochstaudenflur zeigte keine statistisch signifikante Wirkung auf die Sichtungen der *L. helle*-Falter. Das Aufkommen lassen von Sträuchern hatte jedoch einen statistisch signifikanten negativen Einfluss auf die Sichtungen.

Die fehlende statistische Signifikanz der Massnahmen «Auszäunen» und «Flur Mähen» kann verschiedene Gründe haben. Zum einen könnte es sein, dass diese Massnahmen tatsächlich keinen Effekt auf die Habitatsqualität von *L. helle* haben. Vielleicht sind die Auszäunungen oder der Anteil der gemähten Hochstaudenflur zu klein, um einen genügend grossen Effekt auf das Vorkommen der Falter zu zeigen. Eine andere These wäre, dass die Massnahmen einen Effekt –ob positiv oder negativ– auf die Habitatsqualität haben, welcher sich jedoch in der Versuchszeit noch nicht zeigen

konnte. Bei einer ziemlich immobilen Art könnte die An- oder Abwesenheit des Falters auf einer Untersuchungsfläche hauptsächlich mit seiner An- oder Abwesenheit im Vorjahr erklärt werden. Bei nur seltenen Kolonisierungsevents ist die Besiedlung weiter entfernter Habitate unwahrscheinlich, auch wenn diese theoretisch gut geeignet wären. In diesem Fall könnte man den Effekt der Massnahmen gar nicht quantifizieren, da die Falter weiter entfernte Massnahmenflächen noch gar nie besucht hätten. Doch nur weil Kolonisierungsevents selten sind, heisst es nicht, dass sie nie stattfinden. Mit jedem Jahr in der Beobachtungsreihe steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kolonisierungsevent stattfindet. Das Risiko besteht, dass wenn ein Falter einmal eine grössere Distanz zurücklegt, die neuen Habitate nicht geeignet sind und die Ausbreitung gehindert wird. Um das Verbreitungsgebiet der Art zu vergrössern, könnte es deshalb lohnend sein, die Habitate am Rand der Quellenpopulation einladend zu gestalten, um potenzielle Neukolonisierungen zu fördern. Wenn dies der Fall ist, sollte sich die Wirkung der Massnahmen über einen längeren Zeitraum zeigen.

Weiter bleibt dabei die Frage offen, welche Faktoren die Habitate tatsächlich positiv beeinflussen könnten. Der einzige Faktor, welcher sich signifikant auf die Faltersichtungen auswirkte, war das Aufkommen lassen von Sträuchern. Dabei wurde ein negativer Effekt entdeckt. In der Literatur wird erwähnt, dass Sträucher, verzahnt mit *P. bistorta* einen positiven Einfluss auf die Habitatsqualität von *L. helle* haben (Goffart et al., 2014; Nunner, 2010). Dies bedeutet jedoch nicht, dass das Aufkommen lassen von Sträuchern zwingend in jedem Fall die Habitatsqualität erhöht. Sträucher könnten *P. bistorta* oder Nektarpflanzen überdecken, was die Attraktivität des Standorts verringern könnte. Durch das lokale Aufkommen von Sträuchern ist ausserdem nicht garantiert, dass sich die gewünschte Verzahnung von *P. bistorta* und den Gehölzpflanzen ergibt. Eventuell ist es problematisch, dass die Sträucher auf einer 50 m langen Strecke wachsen und nicht verzahnt mit der restlichen Vegetation und *P. bistorta*. Es wäre interessant, in Zukunft eine weitere Massnahme zu testen, in der einzelne Sträucher auf der Fläche verteilt aufkommen könnten, um eine heterogenere Landschaft mit Übergangscharakter zu schaffen. Dabei bleibt die Frage offen, wie viele Sträucher und in welcher Distanz zu den *P. bistorta*-Beständen diese vorhanden sein sollten, um ein ideales *L. helle*-Habitat zu schaffen.

Die Resultate zur Massnahme «Sträucher» sollten jedoch auch kritisch betrachtet werden. Die Studienzeit von 4 Jahren ist eigentlich zu kurz, um eine solche Massnahme zu testen, da die Sträucher im besten Fall erst gegen Schluss des Versuches genug gross sind, um die Habitatstruktur zu ändern. In diesem Kontext und aufgrund der tiefen Anzahl Daten sollte auch erwägt werden, dass der negative Effekt trotz statistischer Signifikanz aus stochastischen Begebenheiten hervortreten könnte.

Allgemein gesagt bedeuten die Resultate also nicht zwingend, dass die Massnahmen «nichts nützen», oder dass das Aufkommen lassen von Sträuchern tatsächlich negativ wirkt. Es können viele Effekte auf die Resultate wirken, von der Rigorosität der Landwirtinnen und Landwirten bei der Durchführung der Massnahmen bis zu jährlichen Veränderungen der Vegetation aufgrund der Witterung. Gerade bei der tiefen Anzahl von Flächen pro Massnahme sollten keine voreiligen Schlüsse bezüglich deren Wirksamkeit gezogen werden. Allgemein wäre es jedoch interessant, die jetzigen Massnahmen mit einem Versuch zu vergleichen, bei dem die gleichen Massnahmen mosaikartiger über die ganze Fläche angewendet werden. Beispiele wären das Aufkommen lassen von einzelnen Sträuchern über die gesamte Versuchsfläche verteilt, das Mähen von mehreren kleinen Teilen der Hochstaudenflur oder das Auszäunen von mehreren kleineren *P. bistorta*-Beständen über die ganze Fläche hinweg. Dabei ist jedoch anzumerken, dass solche Massnahmen um einiges arbeitsintensiver sind, und somit auf weniger Kooperation bei den Landwirtinnen und Landwirten zu zählen ist.

Die Untersuchungen der Präimaginalstadien und Imaginalstadien sind teilweise nicht kongruent und beantworten unterschiedliche Fragestellungen.

Schon länger wird diskutiert, ob die Suche nach Präimaginal- oder Falterstadien für naturschutzbiologische oder ökologische Fragestellungen geeigneter ist. In dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass die standardisierte Suche nach Faltern im Jahr 2024 in 4 von 28 Flächen keine Individuen nachwies, in welchen aber Präimaginalstadien gesichtet wurden. Im Gegenzug wurden auf 10 von 28 Flächen im Jahr 2024 Falterstadien gesichtet, auf denen dann keine Präimaginalstadien gesichtet wurden. Dieser zweite Fall ist jedoch grundsätzlich auch zu erwarten, da davon ausgegangen werden kann, dass die Falter nicht an allen Präsenzstellen Eier ablegen. Es stellt sich automatisch die Frage, welche Methodik sich für zukünftige Untersuchungen von *L. helle* besser eignet. Steiner

et al. (2006) argumentieren hierzu, dass nur die Suche nach Präimaginalstadien eine effiziente Erfassung der Verbreitung von *L. helle* liefern kann. Die hier gesammelten Resultate sprechen gegen diese Einschätzung. Eine Schwäche jener Studie ist der Fakt, dass spontane Sichtungen von Faltern mit einer standardisierten Suche nach Präimaginalstadien verglichen werden. Ob Falter- oder Präimaginalstadien gesucht werden sollen, hängt also von der Fragestellung ab. Während die Daten zum Falter eher ein realistisches Bild des Verbreitungsgebiets der adulten Tiere liefern, können die Standorte der Präimaginalstadien spezifischere Informationen liefern zu Standorten, welche durch ihre Wichtigkeit im Lebenszyklus der Art besonders schützenswert sind. Trivial, aber zentral ist der Fakt, dass die Präsenz von Präimaginalstadien zwar die Präsenz von Faltern beweist, die Präsenz von Faltern aber nicht die Präsenz von Präimaginalstadien. Somit kann die Datenlage zur Verbreitung der Falter mit Daten von Präimaginalstadien ergänzt werden, umgekehrt jedoch nicht. Im Kontext dieser Arbeit ist es wichtig hervorzuheben, dass gezeigt wurde, dass auch eine standardisierte Suche nach Präimaginalstadien und Falterstadien unterschiedliche Resultate liefert (50% Kongruenz), dass jedoch nur 28% (4 von 14) der Inkongruenz mit Sicherheit auf das Übersehen von Individuen zurückzuführen ist.

Die Suche nach Faltern ist immer noch der Status Quo in der Schmetterlingsforschung (Hermann, 2006). Die Suche nach Falterstadien und Präimaginalstadien sollten in Anbetracht der Resultate dieser Arbeit als gleichwertige, aber unterschiedliche Methodiken betrachtet werden, die unterschiedliche Resultate liefern und unterschiedliche Schlüsse erlauben.

Die Eiablagestellen zeichnen sich durch eine erhöhte Vegetation aus.

Die Analyse der Habitatsfaktoren der Eiablagestellen zeigte einen möglichen Einfluss der Vegetationshöhe auf die Sichtungen von Präimaginalstadien. Trotz früherer Beobachtungen, dass niedrige umgebende Vegetation bei der Eiablage bevorzugt wird (Hintermann & Weber AG, 2018; Scherer et al., 2021), wirkt sich in dieser Analyse eine erhöhte Vegetationshöhe möglicherweise positiv auf die Präsenz von Eiern und Raupen aus. Dieses Resultat muss zunächst kritisch betrachtet werden, da die Variable «Vegetationshöhe» kategorisiert, mit insgesamt 4 Stufen ist, wovon nur die 3 niedrigsten Werte verwendet wurden. Es ist jedoch auffällig, dass keine der Funde in sehr niedriger

Vegetation (<50 cm) erfolgte. Dies ist jedoch vor allem durch die tiefe Anzahl von Suchversuchen in solchen Habitaten zu erklären. Nicht-Nachweise wurden am meisten in mittelniedrig bewachsenen Habitaten (50 – 100 cm) erbracht. Nachweise erfolgten jedoch am häufigsten in hoch bewachsenen Habitaten (100 – 150 cm). Wegen der Seltenheit von Habitaten im Studiengebiet, welche höher als 150 cm bewachsen sind, sowie durch das Fehlen von sichtbaren *P. bistorta*-Beständen in solchen Habitaten wurde die vierte Stufe der kategorisierten Variable nie verwendet. Hierbei kann man auch anmerken, dass eine der ausgewählten Massnahmen die Mahd einer Hochstaudenflur ist. Diese Resultate suggerieren jedoch, dass sich dies je nach Durchführung als problematisch erweisen könnte. Wichtig wäre es, besser zu verstehen, welche Vegetationsstruktur für die Eiablage ideal ist, damit die Landschaft entsprechend angepasst werden kann. In einer nächsten Analyse wäre es deshalb interessant, die umgebende Vegetationshöhe genauer zu beschreiben, zum Beispiel mit mehr Kategorien der faktoriellen Variable oder mit mehreren zufälligen Messungen im Suchgebiet, aus welchen der Mittelwert bestimmt wird. Trotzdem kann gesagt werden, dass die Vegetationshöhe an Fundorten im Mittelwert höher war als die Vegetationshöhe auf den anderen untersuchten Standorten. Es stellt sich die Frage, weshalb *L. helle* Weibchen Eiablagestellen in höherer Vegetation bevorzugen könnten.

Dabei lohnt es sich, die Ergebnisse der qualitativen Habitatsbeschreibung zu integrieren. Dort wurde festgehalten, dass wahrscheinlich *P. bistorta*-Blätter bevorzugt werden, welche gut sichtbar und für *L. helle* einfach anzufliegen sind. Dies kann auch in höheren Vegetationen der Fall sein, wenn die *P. bistorta*-Blätter hervorstechen, oder einen gut sichtbaren Horst bilden. Gerade bei einer Hanglage ist es gut möglich, dass *P. bistorta*-Blätter gut sichtbar sind, da durch die Neigung auch weniger hohe Pflanzen eine überragende Position einnehmen können. Doch dies erklärt noch nicht, weshalb sich eine höhere umgebende Vegetation positiv auf die Eiablage auswirken könnte. Folgend wird eine These vorgestellt, die diesen Sachverhalt erklären könnte.

In der Literatur wird oft auf die Wichtigkeit von Windschutz bei der Habitatswahl von *L. helle* hingewiesen (Goffart et al., 2014; Nunner, 2010). Dabei wird oft Nähe zu Sträuchern, Bäumen oder windschützendem Relief genannt. Während Strukturen auf dieser Skala wohl bei der Habitatswahl der Falter wichtig sind, geschieht die Habitatswahl bei der Eiablage auf einer kleineren Skala. Das Eistadium, sowie die ersten

Wochen der Larve werden nur auf einem Blatt verbracht. Die Larve wechselt früher oder später das Blatt, bleibt aber bis zur Verpuppung im engen Umkreis der Eiablagestelle. Die Larve verpuppt sich dann und überwintert in der Streuschicht (LUBW, 2020; Steiner et al., 2006; Wachlin, 2006). Wichtig für die Eiablagestelle ist also vor allem, dass das Ei und die Larve auf dem gewählten *P. bistorta* Blatt und dem umgebenden Bestand überleben kann, und dass die Streuschicht am gewählten Standort für die Überwinterung geeignet sein wird. Auf dieser Skala könnte eine höhere umgebende Vegetation oder eine leichte Hanglage bereits schützend wirken. Gleichzeitig könnte der Sonnenschutz einer höheren umgebenden Vegetation für ein kühleres Mikroklima sorgen, welches von Expertin Anna Stäubli (2024) als ausschlaggebend für die Eiablagestelle gewertet wurde. Die Habitatswahl würde somit auf verschiedenen Ebenen stattfinden. Zum einen gäbe es die «übergeordnete» Habitatswahl des Falters, welche von einer Vielzahl von Faktoren geprägt ist. Diese können überlappen mit den Faktoren, die auch bei der Wahl der Eiablagestellen wichtig sind, wie beispielsweise die Sonneneinstrahlung oder die Feuchtigkeit eines Habitats. Es gibt aber auch gewisse Faktoren, die nur für die Falter relevant sind, wie beispielsweise das Vorhandensein von Nektarpflanzen. Die Wahl der Eiablagestelle würde dann innerhalb dieser übergeordneten Habitate auf einer kleineren Skala stattfinden. Es wäre interessant, mehr Informationen zum räumlichen Verhalten der Weibchen zu sammeln, um herauszufinden, welche Habitate diese im Laufe ihres Falterstadiums aufsuchen. Dies könnte auch Aufschluss darüber geben, weshalb auf gewissen *P. bistorta*-Beständen Eier abgelegt werden und auf anderen nicht.

Es wurden Präimaginalstadien auf Flächen gefunden, die über 4 Jahre hinweg stabile Faltersichtungen aufweisen, sowie auf Flächen auf denen während der gesamten Studienzeit nie Falter gesichtet wurden.

In der UBE wird ein stabiles Vorkommen der gefährdeten Schmetterlingsart *L. helle* verzeichnet. Die Individuen scheinen 3 Quellpopulationen zu entspringen, einer in der Region Hilfere, einer in der Region Glaubenberg um den Schimbrig-Grat und eine an der südöstlichen Grenze der UBE. Es wird davon ausgegangen, dass an den Quellstandorten Reproduktion und Eiablage stattfinden sollte, um die stabilen Populationen aufrecht zu halten. Die Eiablage konnte in der stabilen Hilfere-Region auf 3 von 4 stabilen Flächen nachgewiesen werden, was diese Erwartungen erfüllt. In den anderen zwei

Quellpopulationen konnte dieses Muster nicht nachgewiesen werden, da dort auf den als stabil gewerteten Untersuchungsflächen keine Eiablagen nachgewiesen werden konnten. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass bei diesen zwei Quellpopulationen die Präimaginalstadien auf den stabilen Flächen übersehen wurden. In der Region Hiltfer ist die Quellpopulation zudem wahrscheinlich grösser oder dichter, was somit auch die Wahrscheinlichkeit für einen Fund von Präimaginalstadien erhöht.

Es ist bemerkenswert, dass je 2 Funde von Präimaginalstadien auf Untersuchungsflächen gelangen, die als «absent», respektive «labil» kategorisiert wurden. Dies kann positiv gewertet werden. Das Verbreitungsgebiet von *L. helle* scheint grösser zu sein, als nur durch die Bestandeserhebung angenommen werden kann.

Anhand der begrenzten Datenlage ist es nicht möglich das räumliche Verhalten von *L. helle* mit Sicherheit zu beschreiben. Durch die tiefe Anzahl von Sichtungen der Falter ist die Analyse anfällig für Ausreisser. Ausserdem müsste eine gründlichere Suche nach Präimaginalstadien erfolgen, um sicherzustellen, dass weniger Präimaginalstadien übersehen werden. Trotzdem können die Resultate verwendet werden, um eine Hypothese aufzustellen, die in folgenden Untersuchungen getestet werden könnte. Folgend werden Überlegungen dargestellt, welche erklären könnten, weshalb Präimaginalstadien auch auf Flächen gefunden wurden, auf denen selten bis nie Falter gesichtet wurden.

Es ist möglich, dass die Weibchen nach der Paarung von der Quellpopulation wegfliegen, und ihre Eier als Strategie zur Risikominimierung über eine grössere Fläche ablegen. Das würde erklären, weshalb Eier an Standorten gefunden werden, die keine stabilen Populationen beherbergen. *L. helle* Weibchen weisen eine höhere Mobilität als Männchen auf (Fischer et al., 1999; Gantigmaa & Barua, 2008). Es wäre interessant, die Hypothese zu testen, dass diese höhere Mobilität mit einem Migrationsverhalten zwecks Risikominimierung bei der Eiablage zusammenhängen könnte.

Dies würde jedoch im Gegenzug bedeuten, dass das limitierte Verbreitungsgebiet von *L. helle* nicht durch die fehlende Mobilität der Tiere zu begründen ist. Es scheint, dass die Weibchen mindestens zum Teil potenzielle, weitgehend unbesiedelte Habitate erreichen können und dort auch Eier ablegen. Es stellt sich die Frage, weshalb sich in diesen potenziellen Habitaten keine stabilen Populationen etablieren konnten. Eine Erklärung wäre, dass die Habitate zwar als Eiablagestelle genutzt werden können, aber

die Dichte an geschlüpften Faltern im Habitat zu tief für die Reproduktion im Folgejahr war. In diesem Fall könnte es hilfreich sein, Massnahmen im Kerngebiet der Falter zu implementieren, mit dem Ziel, die Populationsgrösse im Kerngebiet zu erhöhen. Unter Annahme einer konstanten Migrationsrate würde sich somit die Anzahl der Eiablagen ausserhalb des Kerngebiets, sowie die Chancen auf Reproduktion ausserhalb des Kerngebiets erhöhen. Eine andere These wäre, dass die Präimaginalstadien gar nicht bis zum Schlüpfzeitpunkt überleben. Dies könnte der Fall sein, wenn gewisse abiotische Faktoren wie Anzahl Frosttage oder Feuchtigkeit an diesen Standorten nicht den Ansprüchen der Präimaginalstadien entsprechen. Auch möglich ist, dass die Präimaginalstadien aufgrund von zu frühem Mähen oder Beweiden der Flächen nach der Eiablage nicht überleben. Eine Anekdote aus der Feldarbeit zeigt diesen Sachverhalt. Die Feldarbeit zu den Präimaginalstadien fand rund 3 Wochen nach der Feldarbeit zu den Faltern statt. Auf der Untersuchungsfläche «Rischli» konnte bei der Bestandeserhebung des Falters ein Weibchen bei der Eiablage beobachtet werden. Als die Untersuchungen zu den Präimaginalstadien stattfanden, war die Fläche jedoch schon beweidet worden. Die *P. bistorta*-Bestände auf der Fläche waren so abgeweidet und zertrampelt, dass keine Bestände identifiziert werden konnten, die gross genug wären um den Anforderungen der standardisierten Suche gerecht zu werden. In solchen Situationen würde die Massnahme «Auszäunen vom *P. bistorta*-Bestand» helfen. Welche Bestände ausgezäunt werden sollten, könnte mithilfe der Einsichten zu den Habitatsmerkmalen der Eiablagestandorten ausgewählt werden.

Allgemein müssen diese Überlegungen jedoch im Kontext der Datenlage kritisch betrachtet werden. Wie oft in ökologischen Studien war auch in diesem Fall die Datenlage begrenzt. Die Auswahl der Flächen basierte nicht nur auf ökologischen Faktoren, sondern auch auf der Bereitschaft der Landwirt:innen, ihr Land für den Versuch bereitzustellen. Die witterungsbedingt limitierte Suchzeit begrenzte die Anzahl Flächen, welche pro Jahr begangen werden können. Dazu kommt, dass sowohl bei der Suche nach Präimaginalstadien als auch bei der Suche nach Falterstadien falsch-negative Resultate zu erwarten sind. In diesem Kontext ist es schwierig, statistisch signifikante Resultate zu erfassen, was aber auch nicht zwingend notwendig ist, um Schlüsse für potenzielle Anwendungen ziehen zu können (Amrhein et al., 2019)

5. Fazit

Lycaena helle in der UBE zeigte ein stabiles Vorkommen über die Studienzeit hinweg, wobei drei potenzielle Quellpopulationen identifiziert werden konnten. Die getesteten Massnahmen zeigten keinen signifikanten Effekt auf die Sichtungen, bis auf die Massnahme «Sträucher», welche einen statistisch signifikanten negativen Effekt auf die Sichtungen aufwies. Aufgrund der begrenzten Datenlage müssten diese Massnahmen jedoch weiter getestet werden, um definitive Aussagen treffen zu können.

Die Präimaginalstadien wurden im Jahr 2024 sowohl auf Flächen gefunden, welche über die Studienzeit hinweg stabile Faltersichtungen aufwiesen, wie auch auf Flächen, auf denen während der ganzen Studienzeit nie Falter gesichtet wurden. Eine These ist, dass die Weibchen von der Quellpopulation aus nach der Paarung in weiter entfernte Gebiete migrieren, und ihre Eier risikomindernd zu streuen. Um diese These zu prüfen, müsste jedoch eine gründlichere Untersuchung der Präimaginalstadien in der Region erfolgen. Um *L. helle* so effizient wie möglich zu fördern, sollten sowohl die Ansprüche der Falter als auch die Ansprüche der Präimaginalstadien beachtet werden. Eine Einsicht dazu ist, dass die Eiablagen tendenziell auf *P. bistorta*-Beständen erfolgten, welche von einer höheren Vegetation umgeben waren als im Durchschnitt.

Durch die gesammelten Daten konnte die Verbreitung der Art im Studiengebiet untersucht werden, sowie Hypothesen aufgestellt werden zu ihrem räumlichen Verhalten. Mit weiteren Untersuchungen können so Informationen zur Art gesammelt werden, die in Förderprojekten, auch über die Grenzen der UBE hinweg, verwendet werden. Wie bereits von Goffart et al. (2014) argumentiert, muss jedoch nicht immer komplette Information vorhanden sein, um eine Art zu fördern. Stattdessen können Wissenschaft und Naturschutzpraxis Hand in Hand gehen und sich gegenseitig unterstützen, wie hier im Beispiel des Förderprojekts der UBE. Dadurch hätte *L. helle* schlussendlich bessere Chancen, die Herausforderungen der Zukunft zu überleben und weiter einen Teil der Biodiversität zu bleiben.

6. Quellen

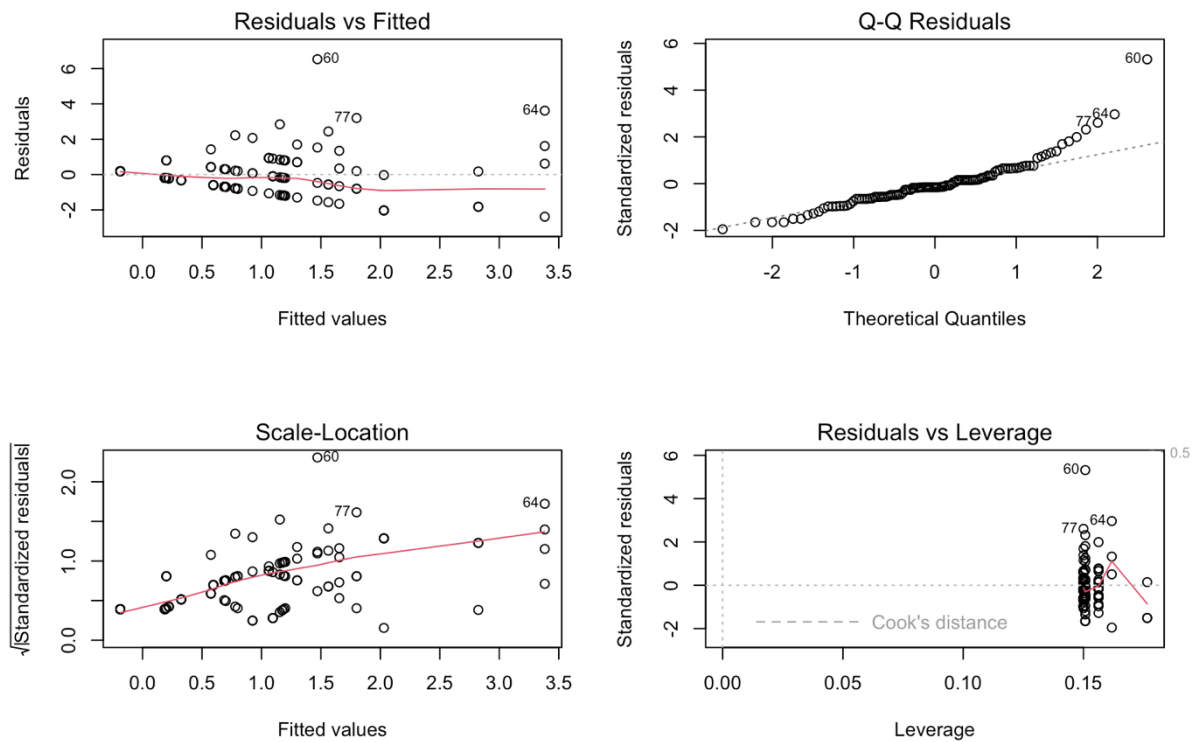
- Amrhein, V., Greenland, S., & McShane, B. (2019). Scientists rise up against statistical significance. *Nature*, 567(7748), 305–307. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00857-9>
- BAFU. (2017). *Karte Biosphärenreservate*. <https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/catalog.search#/metadata/c212a19c-6e06-4ca4-bdee-3ec62ccd7b1e>
- Bauerfeind, S. S., Theisen, A., & Fischer, K. (2009). Patch occupancy in the endangered butterfly *Lycaena helle* in a fragmented landscape: effects of habitat quality, patch size and isolation. *Journal of Insect Conservation*, 13(3), 271–277. <https://doi.org/10.1007/s10841-008-9166-1>
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Ha, M. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland*. (P. Arias, M. Bustamante, I. Elgizouli, G. Flato, M. Howden, C. Méndez-Vallejo, J. J. Pereira, R. Pichs-Madruga, S. K. Rose, Y. Saheb, R. Sánchez Rodríguez, D. Ürgen-Vorsatz, C. Xiao, N. Yassaa, J. Romero, J. Kim, E. F. Haïtes, Y. Jung, R. Stavins, ... C. Péan, Eds.). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S., & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M., & Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1(5). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>
- Chen, I.-C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science*, 333(6045), 1024–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432>
- Christian, H.-M. (2023). The Main Drivers of Biodiversity Loss: A Brief Overview. *Journal of Ecology & Natural Resources*, 7(3). <https://doi.org/10.23880/jenr-16000346>
- Dolek, M. (2006). Die Bedeutung der Larvalökologie bei Artenschutzprojekten. *Larvalökologie von Tagfaltern Und Widderchen in Mitteleuropa. Abhandlungen Aus Dem Westfälischen Museum Für Naturkunde*, 68(3), 271–280.
- Dolek, M. (2024). *Lycaena helle - Blauschillernder Feuerfalter*. Bundesamt Für Naturschutz - Artenportraits. <https://www.bfn.de/artenportraits/lycaena-helle>
- Finger, A., Schmitt, T., Emmanuel Zachos, F., Meyer, M., Assmann, T., & Christian Habel, J. (2009). The genetic status of the violet copper *Lycaena helle* – a relict of the cold past in times of global warming. *Ecography*, 32(3), 382–390. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05766.x>
- Fischer, K., Beinlich, B., & Plachter, H. (1999). Population structure, mobility and habitat preferences of the violet copper *Lycaena helle* (Lepidoptera: Lycaenidae) in Western Germany: implications for conservation. *Journal of Insect Conservation*, 3(1), 43–52. <https://doi.org/10.1023/A:1009630506216>

- Gantigmaa, C., & Barua, K. (2008). Habitat Occupancy and Mobility of the Violet Copper (*Lycaena helle*) in West Khentii, Northern Mongolia. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 6(1–2). <https://doi.org/10.22353/mjbs.2008.06.05>
- Goffart, P., Cavelier, E., Lighezzolo, P., Rauw, A., & Lafontaine, D. (2014). Restoration and management of habitat networks for *Lycaena helle* in Belgium. In *Jewels In The Mist* (pp. 197–216).
- Goffart, P., Schtickzelle, N., & Turlure, C. (2010). Conservation and Management of the Habitats of Two Relict Butterflies in the Belgian Ardenne: *Proclissiana eunomia* and *Lycaena helle*. In *Relict Species* (pp. 357–370). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92160-8_21
- Habel, J. C., Finger, A., Schmitt, T., & Nève, G. (2011). Survival of the endangered butterfly *Lycaena helle* in a fragmented environment: Genetic analyses over 15 years. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 49(1), 25–31. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2010.00575.x>
- Habel, J. C., Rödder, D., Schmitt, T., & Nève, G. (2011). Global warming will affect the genetic diversity and uniqueness of *Lycaena helle* populations. *Global Change Biology*, 17(1), 194–205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02233.x>
- Habel, J. C., Schmitt, T., Meyer, M., Finger, A., Rödder, D., Assmann, T., & Zachos, F. E. (2010). Biogeography meets conservation: The genetic structure of the endangered lycaenid butterfly *Lycaena helle* (Denis & Schiffermüller, 1775). *Biological Journal of the Linnean Society*, 101(1), 155–168. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2010.01471.x>
- Habibullah, M. S., Din, B. H., Tan, S.-H., & Zahid, H. (2022). Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 1073–1086. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15702-8>
- Hermann, G. (2006). Präimaginalstadien-Suche als Nachweismethode für Tagfalter-Rahmenbedingungen, Chancen, Grenzen. *Larvalökologie von Tagfaltern Und Widderchen in Mitteleuropa. Abhandlungen Aus Dem Westfälischen Museum Für Naturkunde*, 68(3), 223–231.
- Hintermann & Weber AG. (2018). *Grundlagenkartierung von Lycaena helle im Naturpark Gantrisch*.
- Hintermann & Weber AG. (2020). *Förderprojekt Blauschillernder Feuerfalter*.
- Kebaïli, C., Sherpa, S., Guéguen, M., Renaud, J., Rioux, D., & Després, L. (2023). Comparative genetic and demographic responses to climate change in three peatland butterflies in the Jura massif. *Biological Conservation*, 287, 110332. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110332>
- Krüger Bernd. (2024). *BK Makro*. https://www.bkmakro.de/Makro/Lepidoptera/Lycaenidae/Lycaena_helle.htm
- Lindsey, J. K. (2004, May 15). *Wikimedia Commons*. James Lindsey's Ecology of Commanster Site.
- LUBW. (2020). *Artensteckbrief Lycaena helle*. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/-/blauschillernder-feuerfalter-lycaena-helle-denis-schiffermueller-1775>
- Neuhaus, J., & McCulloch, C. (2011). Generalized linear models. *WIREs Computational Statistics*, 3(5), 407–413. <https://doi.org/10.1002/wics.175>
- Nunner, A. (2006). Zur Verbreitung, Bestandssituation und Habitatbindung des Blauschillernden Feuerfalters (*Lycaena helle*) in Bayern. *Larvalökologie von Tagfaltern Und Widderchen in Mitteleuropa. Abhandlungen Aus Dem Westfälischen Museum Für Naturkunde*, 68(3), 153–170.
- Nunner, A. (2010). *Merckblatt Artenschutz 32 - Blauschillernder Feuerfalter Lycaena helle*.

- R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical Computing*.
<http://www.R-project.org/>
- Rödger, D., Schmitt, T., Gros, P., Ulrich, W., & Habel, J. C. (2021). Climate change drives mountain butterflies towards the summits. *Scientific Reports*, 11(1), 14382.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-93826-0>
- Scherer, G., Löffler, F., & Fartmann, T. (2021). Abandonment of traditional land use and climate change threaten the survival of an endangered relict butterfly species. *Insect Conservation and Diversity*, 14(5), 556–567. <https://doi.org/10.1111/icad.12485>
- Stäubli, A. (2022). *Förderprojekt Blauschillernder Feuerfalter - Anleitung für die Felderhebung*.
- Stäubli, A. (2024). Persönliche Kommunikation.
- Steiner, R., Trautner, J., & Grandchamp, A.-C. (2006). Larvalhabitate des Blauschillernden Feuerfalters (*Lycaena helle*) am schweizerischen Alpennordrand unter Berücksichtigung des Einflusses von Beweidung. *Larvalökologie von Tagfaltern Und Widderchen in Mitteleuropa. Abhandlungen Aus Dem Westfälischen Museum Für Naturkunde. Heft 68 (3/4)*, 135–151.
- Stuhldreher, G., Hermann, G., & Fartmann, T. (2014). Cold-adapted species in a warming world – an explorative study on the impact of high winter temperatures on a continental butterfly. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 151(3), 270–279.
<https://doi.org/10.1111/eea.12193>
- Swisstopo. (2024). *SWISSIMAGE 10cm*. <https://www.swisstopo.admin.ch/de/orthobilder-swissimage-10-cm>
- Thompson, W. J. (2001). Poisson distributions. *Computing in Science & Engineering*, 3(3), 78–82. <https://doi.org/10.1109/5992.919271>
- Wachlin, V. (2006). *Lycaena helle*. In *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie*.
- Wagner, D. L. (2020). Insect Declines in the Anthropocene. *Annual Review of Entomology*, 65(1), 457–480. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025151>
- Wagner, D. L., Grames, E. M., Forister, M. L., Berenbaum, M. R., & Stopak, D. (2021). Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(2).
<https://doi.org/10.1073/PNAS.2023989118>
- Warren, M. S., Maes, D., van Swaay, C. A. M., Goffart, P., Van Dyck, H., Bourn, N. A. D., Wynhoff, I., Hoare, D., & Ellis, S. (2021). The decline of butterflies in Europe: Problems, significance, and possible solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2). <https://doi.org/10.1073/pnas.2002551117>

7. Anhang

Anhang 1: Überprüfung der Normalverteilungsannahme der Daten der Bestandesaufnahme. Aufgrund der Abweichungen beim Q-Q-Plot wurde die Normalverteilungsannahme verworfen und eine Poissonverteilung angenommen.



Anhang 2: Output des GLMs mit Jahr als Interaktionseffekt. Keine der Interaktionen konnte als statistisch signifikant erachtet werden.

Call:

```
glm(formula = adu_tot ~ Year * Massnahme + pair_id, family = poisson,
     data = dat_reduced)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-43.22759	258.18367	-0.167	0.867032
Year	0.02092	0.12765	0.164	0.869788
Massnahmeauszaeunen	-507.60744	597.40765	-0.850	0.395501
Massnahmeflur_maehen	132.64837	397.12883	0.334	0.738366
Massnahmestrauecher	312.65286	586.07608	0.533	0.593710
pair_id2	1.01160	0.58387	1.733	0.083173 .
pair_id3	1.59992	0.61118	2.618	0.008851 **
pair_id4	0.55962	0.62678	0.893	0.371944
pair_id5	1.25276	0.56695	2.210	0.027128 *
pair_id6	-17.75076	1971.03086	-0.009	0.992814
pair_id7	0.36777	0.72821	0.505	0.613532
pair_id8	-17.75076	1971.03086	-0.009	0.992814
pair_id9	0.81976	0.69162	1.185	0.235910
pair_id10	0.72445	0.70015	1.035	0.300806
pair_id11	0.50130	0.73499	0.682	0.495202
pair_id12	1.19445	0.64437	1.854	0.063784 .
pair_id13	1.06092	0.65808	1.612	0.106929
pair_id14	1.80768	0.54431	3.321	0.000897 ***
Year:Massnahmeauszaeunen	0.25130	0.29534	0.851	0.394834
Year:Massnahmeflur_maehen	-0.06539	0.19635	-0.333	0.739097
Year:Massnahmestrauecher	-0.15494	0.28980	-0.535	0.592902

Anhang 3: Korrelationsmatrix der Habitatmerkmale der potenziellen Eiablagestellen. Anzahl Eier und Anzahl Raupen wurden kombiniert zur Variable «Individuen». Es gibt eine negative Korrelation zwischen der Variable «Besonnung» und den Variablen Baum-nähe, Sträucher-nähe und Windschutz-nähe. Es besteht eine positive Korrelation zwischen der Variable «Vegetationshöhe» und der Zielvariable «Individuen».

