

Einnischung von *Leptidea sinapis* und *Leptidea juvernica* am Spitzberg bei Tübingen

THOMAS GOTTSCHALK¹, HEIKO HINNEBERG¹, ANJA FREESE-HAGER² UND MATTHIAS DOLEK²

Kurzfassung

Daten zur Ökologie, zur Verbreitung und Habitatainnischung sind für die beiden im Freiland nicht unterscheidbaren Zwillingarten, den Leguminosen-Weißling *Leptidea sinapis* und den Verkannten Leguminosen-Weißling *Leptidea juvernica*, kaum vorhanden. Aus diesem Grund wurde eine Habitatanalyse am Spitzberg bei Tübingen durchgeführt. In den Jahren 2018, 2019 und 2020 wurden insgesamt 96 Falter gefangen und mit Hilfe genitalmorphologischer Merkmale sowohl Art als auch Geschlecht bestimmt. Die Habitatwahl der beiden Arten unterschied sich am deutlichsten hinsichtlich der aufgesuchten Biotope. Im Vergleich zu *L. sinapis* besiedelte *L. juvernica* signifikant häufiger mesophile Grünländer. *L. sinapis* kam eher auf Magerrasen und Obstwiesen vor. Beim Faktor Sonneneinstrahlung und damit beim Wärmebedürfnis der beiden Arten wurde allerdings kein Unterschied festgestellt. Dagegen wurden Weibchen beider Arten, anders als die Männchen, signifikant häufiger an Orten mit höherer Sonneneinstrahlung und häufiger in den oberen Hangbereichen angetroffen. Dies wird mit der Suche der Weibchen nach geeigneten Eiablageplätzen in Verbindung gebracht. Insgesamt waren die ermittelten Unterschiede zwischen den bevorzugten Habitaten beider Arten am Spitzberg gering und deuten auf eine geringe bzw. noch nicht gefestigte ökologische Differenzierung der Zwillingarten hin.

Abstract

Niche differentiation of *Leptidea sinapis* and *Leptidea juvernica* at the Spitzberg near Tübingen

The Wood White *Leptidea sinapis*, and the Cryptic Wood White *Leptidea juvernica* are sibling species not distinguishable in the field. There is hardly any information on their ecology, distribution and niche differentiation. For this reason, a habitat analysis was conducted at the Spitzberg near Tübingen, Germany. In 2018, 2019, and 2020 ninety-six *Leptidea* specimens were collected. Sex and species were determined by genital morphology. Habitat preferences of both species were found distinct: *Leptidea juvernica* showed a preference for mesophilic meadows, while *L. sinapis* was more common on nutrient-poor grasslands and orchards. Concerning sun exposure, i.e. their thermal requirements, no differences were found between both species. Instead, significantly higher numbers of females were recorded on places of more intense sun exposure, and in the upper slope areas, compared to males. This might be attributed to the females' searching behaviour for suitable oviposition sites. The

habitat preferences of both species differ only slightly. Ecological differentiation of the two sibling species concerning their habitats seems to be low or still in progress.

Autoren

¹ Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Schadenweilerhof, 72108 Rottenburg, Germany. Tel.: 07472 / 951-249, E-Mail: Gottschalk@hs-rottenburg.de

² Büro für ökologische Forschung und Planung, Alpenblick 12, 82237 Wörthsee, Germany.

1 Einleitung

Der Leguminosen-Weißling *Leptidea sinapis* und der Verkannte Leguminosen-Weißling *Leptidea juvernica* (Abb. 1-3) werden für Deutschland seit 2011 als getrennte Arten behandelt (REINHARDT et al. 2020). *L. juvernica* wurde vor 2011 noch unter dem Namen *L. reali* geführt, kann aber von dieser Art durch unterschiedliche Chromosomenzahl und DNA-Sequenzen unterschieden werden (DINCĂ et al. 2011). Ältere Angaben in der Literatur zu *L. reali* aus Deutschland beziehen sich somit ausschließlich auf *L. juvernica*. *L. reali* ist auf das südwestliche Europa beschränkt (LERAUT 2016) und wurde bisher in Deutschland nicht nachgewiesen. Alle drei Arten sind im Gelände im Prinzip nicht unterscheidbar und nur genitalmorphologisch oder über DNA Sequenzierung sicher bestimmbar (FREESE & FIEDLER 2004, SACHANOWICZ 2013). Aus diesem Grund sind Daten zur Ökologie, Verbreitung und Habitatainnischung kaum vorhanden.

Nach FRIBERG et al. (2013) haben *L. sinapis* und ihre Zwillingarten *L. juvernica* und *L. reali* ihre Nischen bisher nur teilweise differenziert. In Europa zeichnen sich dementsprechend unterschiedliche Muster ab: je nach Region tendieren die Arten eher zu Habitatgeneralisten oder zu Habitatspezialisten. So ist in einigen Regionen *L. juvernica* auf bestimmte Grünländer beschränkt und *L. sinapis* ein Wald-Wiesen Generalist, während es in anderen Regionen genau umgekehrt ist. In Südfinnland beobachteten beispielsweise LEHTONEN et al. (2017) *L. juvernica* in offenen, gestörten Habitaten, während in Waldhabitaten



Abbildung 1. *Leptidea sinapis/ juvernica* am Spitzberg im NSG „Hirschauer Berg“, 19.4.2015. – Foto: T. GOTTSCHALK.



Abbildung 2. *Leptidea sinapis/ juvernica* während der Balz mit einem anderen Männchen. Das Männchen auf der rechten Bildseite schlägt hierbei mit dem Proboscis hin und her. Die Männchen sind am weißen Bereich vor der dunklen Spitze am Fühler erkennbar. Spitzberg Nordseite, 7.4.2017. – Foto: T. GOTTSCHALK.



Abbildung 3. *Leptidea sinapis/ juvernica*. – Foto: T. GOTTSCHALK.

ausschließlich *L. sinapis* vorgefunden wurde. In Deutschland werden für beide Arten, *L. juvernica* und *L. sinapis*, Gebüsch- und Saumgesellschaften, Bahndämme und Straßenböschungen mit Gebüsch und Magerrasen als Lebensraum genannt (REINHARDT et al. 2020). Zusätzlich werden für *L. sinapis* Lichtungen, Waldwege, Kiefernwälder und Halbtrockenrasen und für *L. juvernica* zusätzlich extensiv genutztes und ungedüngtes Grünland und Streuobstwiesen als Habitate aufgeführt. In Brandenburg bevorzugt *L. sinapis* im Gegensatz zu *L. juvernica* offenere, zumeist mesophile Strukturen, z.B. Mähwiesen mit geeigneten Saumstrukturen (GELBRECHT et al. 2016). *L. juvernica* besiedelt hier auch feuchtere Habitate.

Auch die Auswahl der Futterpflanzen deutet auf eine junge, noch nicht gefestigte ökologische Differenzierung der beiden *Leptidea*-Arten hin (FREESE & FIEDLER 2002). So konnten FREESE & FIEDLER (2002) experimentell zwar keine Unterschiede zwischen den Raupen beider Arten bei der Rangfolge angebotener Fraßpflanzen feststellen, aber es gab Diskrepanzen bei *L. juvernica* (damals noch als *L. reali* benannt), zwischen Eiablagepräferenz und Eignung der Fraßpflanzen (relativer Rang von *Lathyrus pratensis* versus *Lotus corniculatus*). Die Autoren führen dies darauf zurück, dass beide Arten im Hinblick auf Ökologie und Lebenszyklus bisher nur geringfügig differenziert sind. Auch deutschlandweit wird die Differenzierung der Eiablageplätze beider Arten nur sehr vorsichtig formuliert. So scheinen laut SETTELE et al. (2015) Gewöhnlicher Hornklee *Lotus corniculatus* und Vogel-Wicke *Vicia cracca* eher *L. sinapis* zur Eiablage zu dienen, während *L. juvernica* Wiesen-Platterbse *L. pratensis* und Berg-Platterbse *Lathyrus linifolius* zu favorisieren scheint.

In Irland stellten O'NEILL und MONTGOMERY (2018) fest, dass die Verbreitung und Abundanz von *L. juvernica* mit der Verbreitung der Raupennahrungspflanze zusammenhängt und dass die Falter gerne Schatten an südexponierten Waldrändern aufsuchen. Während die Männchen eher an Waldrändern anzutreffen waren, hielten sich die Weibchen eher im offenen kurzrasigen Gelände auf, wenn es sich als Eiablagehabitat eignete. Männchen von *L. juvernica* zeigten dagegen eine hohe Aktivität, indem sie weit umher streiften auf der Suche nach empfänglichen Weibchen. Das optimale Habitat von *L. juvernica* bestand aus einem Wechsel unterschiedlicher Teil-Habitate bestehend aus offenem Grasland, Larvallebens-

räumen und Bereichen mit höheren Büschen, Bäumen und Waldrändern, die Schatten zur Balz und zur Rast spendeten. Die Habitateinnischung von *L. sinapis* und *L. juvernica* scheint nicht von den Nahrungsressourcen der Raupen abzuhängen, da die Raupen beider Arten Futterpflanzen bevorzugen, die auf Wiesen vorkommen (FREESE & FIEDLER 2002). Da die Futterpflanzen recht weit verbreitet sind, ist es unwahrscheinlich, dass zwischenartige Konkurrenz um die Futterpflanzen ausschlaggebend ist für die Einnischung beider Arten (FRIBERG et al. 2008).

Inwieweit sich die Einnischung der beiden Arten hinsichtlich der für die Larvalentwicklung optimalen Habitatstrukturen unterscheidet, bleibt offen. Um zu prüfen, ob die Mikroverteilung der Imagines ein eventuell damit zusammenhängendes Muster erkennen lässt, wurde die vorliegende Studie am Spitzberg bei Tübingen durchgeführt, da dort beide Arten verbreitet vorkommen (GOTTSCHALK 2019b). Der Spitzberg ist gekennzeichnet durch eine hohe Anzahl unterschiedlicher Habitats (GOTTSCHALK 2019a) und weist aufgrund seiner Ost-West-Ausrichtung große strahlungsklimatologische Unterschiede zwischen Nord- und Südseite auf (ROSNER 2019). Gerade diese Vielfalt erscheint für eine Untersuchung der Einnischung der beiden Zwillingarten hervorragend geeignet. Ziel der Untersuchung war es daher, Unterschiede im Auftreten der beiden Arten und zwischen den beiden Geschlechtern am Spitzberg mit Hilfe von Habitatmodellen herauszuarbeiten.

2 Methode

2.1 Erfassung der Arten

Die Erfassung erfolgte mittels Transektbegehungen nach POLLARD (1977) in den Jahren 2018, 2019 und 2020. Hierbei wurden Transekte innerhalb des gesamten Spitzbergs begangen (GOTTSCHALK 2019b). Sämtliche Fundpunkte wurden vor Ort mit einem GPS (Garmin Oregon 700) aufgenommen. Für die Darstellung der Phänologie der Artengruppe *L. sinapis/juvernica* wurden alle Beobachtungen vom Untersuchungsgebiet aus den Jahren 2015-2021 verwendet, die im Rahmen des Tagfaltermonitorings Deutschland (TMD) erfasst wurden (KÜHN et al. 2014, GOTTSCHALK 2020). Die Begehungen erfolgten nur bei sonnigem und warmem Wetter nach den für Tagfaltererfassungen üblichen Standards (KÜHN et al. 2014).

Die Determination der Arten und der Geschlechter erfolgte mit Hilfe der aus der Literatur be-

kannten genitalmorphologischen Merkmale (LORKOVIC 1993, EMBACHER 1996, SEGERER 2001). Zur Vermessung der Genitalien wurde den toten Faltern das Abdomen abgeschnitten. Nach einer 30-minütigen Mazeration in 10 %iger KOH-Lösung bei 70 °C (zum Verfahren siehe KOCH (1991)) konnten die Genitalmaße unter dem Binokular bei fünfzigfacher Vergrößerung mittels Messokular auf 0,02 mm genau bestimmt werden. Bei den Weibchen wurde die Gesamtlänge des sklerotisierten Ductus bursae vermessen, bei den Männchen der Aedoeagus und, wenn nötig, auch der Saccus.

2.2 Habitatvariablen

Um Unterschiede in den Habitatpräferenzen herauszuarbeiten, wurden an jedem Standort vier Parameter ermittelt:

1. Biotoptypen in 5 Klassen (mesophiles Grünland, Magerrasen, Obstwiesen, Waldränder / Gehölze, Wald)
2. Abstand zum Wald [m]
3. Höhe über NN [m]
4. Summe der direkten Sonneneinstrahlung für den Zeitraum 1.4.-30.9. basierend auf einem Höhenmodell mit 1 m Auflösung (bei Waldbereichen wurde eine Höhe von 25 m berücksichtigt) [kWh/m²]

2.3 Statistik

Um Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen der *Leptidea*-Arten bzw. der Geschlechter und den Habitatvariablen zu testen, verwendeten wir Generalisierte Lineare Modelle (GLM) mit Binominalverteilung der Fehler und einer logit Link-Funktion (Logistische Regression, FRANKLIN 2009). Alle Auswertungen erfolgten mit Hilfe von R 4.1.2 (www.r-project.org). Als abhängige Variable dienten die Nachweise von *L. juvernica* (codiert mit 1) und *L. sinapis* (codiert mit 0) bzw. die Nachweise von Weibchen (codiert mit 1) und Männchen (codiert mit 0). Die Habitatvariablen und die phänologischen Daten bildeten die unabhängigen, also erklärenden Variablen. Für alle Variablen mit Ausnahme der Biotoptypen wurden neben linearen auch quadratische Effekte auf das Vorkommen der Arten bzw. Geschlechter getestet. Die erklärenden Variablen wurden z-transformiert. Der Variance Inflation Factor (VIF, ZUUR et al. 2010) wurde als Maß für die Kollinearität der erklärenden Variablen berechnet. Variablen mit einem VIF > 3 wurden aus der Modellierung ausgeschlossen (ZUUR et al. 2010). Mithilfe automatisierter Modellbildung (R-Paket MuMIn 1.43.17,

BARTOŃ 2022) wurden anhand des für kleine Stichproben korrigierten AICc-Wertes (AKAIKE's Information Criterion corrected, AKAIKE 1973) die Modelle mit dem höchsten Informationsgehalt ausgewählt (BURNHAM & ANDERSON 2002).

Als Maß für die Qualität der Modelle wurde der prozentuale Anteil an erklärter Devianz (D^2) und der AUC-Wert (area under curve, FIELDING & BELL 1997) berechnet. Die Devianz entspricht der Summe der residualen Abweichungsquadrate, die die quadrierten Differenzen zwischen beobachteten und modellgeschätzten Werten der Zielgröße darstellen.

Aufgrund der geringen Anzahl beprobter Individuen war es nicht möglich, zwei nach Arten getrennte Modelle zur Habitatdivergenz der Geschlechter zu erstellen.

2.4 Untersuchungsgebiet

Der zwischen Neckar- und Ammertal gelegene Spitzberg beginnt im Osten in Tübingen und verläuft bis zum kapellengekrönten Wurmlinger Berg im Westen, dem mit 475 m höchsten Punkt des insgesamt sechs Kilometer langen Berges. Der Spitzberg ist durch ein relativ warmes Klima geprägt mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9-10 °C und schwankenden Jahresniederschlägen zwischen 400 und 800 mm. Der Spitzberg besitzt sehr unterschiedliche Strahlungsbedingungen im Jahresverlauf, und vor allem die Südseite ist durch ein vielfältiges Mosaik unterschiedlich stark sonnenexponierter Standorte gekennzeichnet (ROSNER 2019). Während auf der Nordseite und in den tief eingeschnittenen Klingen die Strahlungssummen nahe bei null liegen, werden auf den südexponierten steilen Hanglagen Maximalwerte von bis zu 925 kWh im Sommerhalbjahr erreicht. Der errechnete Mittelwert innerhalb des Untersuchungsgebietes liegt bei 775 kWh. Der Großteil des Spitzberges (über 65 %) ist bewaldet bzw. mit Gehölzen bestanden (GOTTSCHALK 2019c). Überwiegend extensiv genutzte Obstwiesen decken eine Fläche von 7,2 % ab. In den Talniederungen wird sowohl Ackerbau als auch Grünlandwirtschaft betrieben. Vor allem auf den Südhängen befinden sich ausgedehnte Magerrasen, Weinanbauflächen und Gärten mit zahlreichen Trockenmauern. Die naturschutzfachlich wertvollsten Teile wurden 1980 als Naturschutzgebiet „Hirschauer Berg“ und 1990 zusätzlich als Naturschutzgebiet „Spitzberg Ödenburg“ im Südosten ausgewiesen, um die trockenheits- und wärmeliebende Flora und Fauna unter Schutz zu stellen.

3 Ergebnisse

In den Jahren 2018, 2019 und 2020 wurden insgesamt 96 Falter (56 *L. juvernica*, 40 *L. sinapis*) der beiden Arten am Spitzberg gefangen und auf Artniveau und Geschlecht bestimmt (Tab. 1). *L. juvernica/sinapis* fliegt am Spitzberg in drei Generationen mit drei Maxima Mitte April, Mitte Juni und Anfang August (Abb. 4, Daten vom Spitzberg aus 2015-2021, N=768). Während die nachträglich genital bestimmten Beobachtungen von *L. juvernica* zwischen dem 28. März und dem 9. September erfolgten und einen Peak im April und im August erreichten, war die Flugzeit von *L. sinapis* kürzer und reichte von 9. April bis 24. August. Die meisten Individuen von *L. sinapis* wurden im Juli erfasst (Abb. 4). Während von *L. juvernica* in allen drei Jahren Individuen im August gefangen wurden (8 Ex. in 2018, 9 Ex. in 2019 und 2 Ex. in 2020) konnte *L. sinapis* nur im August 2019 festgestellt werden (3 Ex.).

Tabelle 1. Art und Geschlecht der am Spitzberg erfassten *Leptidea*-Individuen.

Art	2018		2019		2020		Gesamt	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
<i>Leptidea juvernica</i>	13	9	11	7	8	8	32	24
<i>Leptidea sinapis</i>	13	6	1	8	8	4	22	18
Gesamt	26	15	12	15	16	12	54	42

Bis auf die geschlossenen Waldbereiche der höheren Lagen wurden beide Arten in fast allen Bereichen sowohl auf der Süd- als auch auf der Nordseite des Spitzberges angetroffen (Abb. 5). Die Habitatmodelle wiesen mit einer erklärten Devianz von 31% (Modell Arten) und 11% (Modell Geschlechter) eine gute bis moderate Modellgüte auf. Die Trennung zwischen den beiden Arten war mit einem AUC Wert von 0,865 exzellent bzw. zwischen Weibchen und Männchen mit einem AUC Wert von 0,7 akzeptabel. Die Habitatwahl der beiden Arten unterschied sich am deutlichsten hinsichtlich der Biotoptypen und der Distanz zum Wald (Tab. 2). Im Hinblick auf die Sonneneinstrahlung und die bevorzugte Höhenlage waren zwischen den Arten keine Unterschiede festzustellen. Von beiden *Leptidea*-Arten zeigte *L. juvernica* eine klare Präferenz für mesophiles Grünland. Im Gegensatz dazu kommt *L. sinapis* eher im Bereich der Magerrasen und Obstwiesen vor. Gehölzbereiche/Waldränder

Tabelle 2. Ergebnisse der GLMs zum Auftreten der beiden Arten *L. sinapis* und *L. juvernica* und der Geschlechter. Es wird das Auftreten von *L. juvernica* bzw. von Weibchen modelliert. Referenzkategorie im Modell der Arten ist der Biotyp „mesophiles Grünland“. ² = quadratische Effekte.

Habitatvariablen	Modell Arten		Modell Geschlechter	
	Effektstärke	p-Wert	Effektstärke	p-Wert
Phänologie	-0,2271	<0,001	0,0096	0,0683
Phänologie ²	0,0007	<0,001	-	-
Sonneneinstrahlung	-	-	0,0025	0,0491
Sonneneinstrahlung ²	-	-	-	-
Höhe	-	-	0,0181	0,0225
Abstand zum Wald	0,0026	0,055	-	-
Abstand zum Wald ²	-	-	-	-
Biotyp				
Magerrasen	-2,1131	0,0201	-	-
Obstwiese	-2,3175	0,0228	-	-
Wald	-2,7604	0,0120	-	-
Gehölze und Waldränder	-3,4238	0,0010	-	-

und Wälder werden von *L. sinapis* präferiert, spielen für *L. juvernica* hingegen kaum eine Rolle (Abb. 6). Mit zunehmendem Abstand zum Wald ist im Vergleich zu *L. sinapis* eher *L. juvernica* zu finden. Ebenfalls zeigten sich deutliche Unterschiede im phänologischen Auftreten der Arten, die sich signifikant ($p < 0,001$) unterschieden. Während in den Jahren 2018-2020 *L. juvernica* stärker im Frühjahr und im Spätsommer anzutreffen war, flog *L. sinapis* vor allem im Sommer. Weibchen beider Arten kommen im Gegensatz zu Männchen am Spitzberg an Orten mit höherer Sonneneinstrahlung und eher in höheren Lagen vor (Tab. 2, Abb. 7). Beide Unterschiede waren signifikant ($p < 0,05$). Der Anteil weiblicher Falter steigt mit fortschreitender Jahreszeit tendenziell an. Nach einem Überhang männlicher Falter in der ersten Generation (KW 13-19) im Frühjahr nimmt der Anteil weiblicher Falter an den *Leptidea*-Funden in den nachfolgenden Generationen der Sommermonate zu.

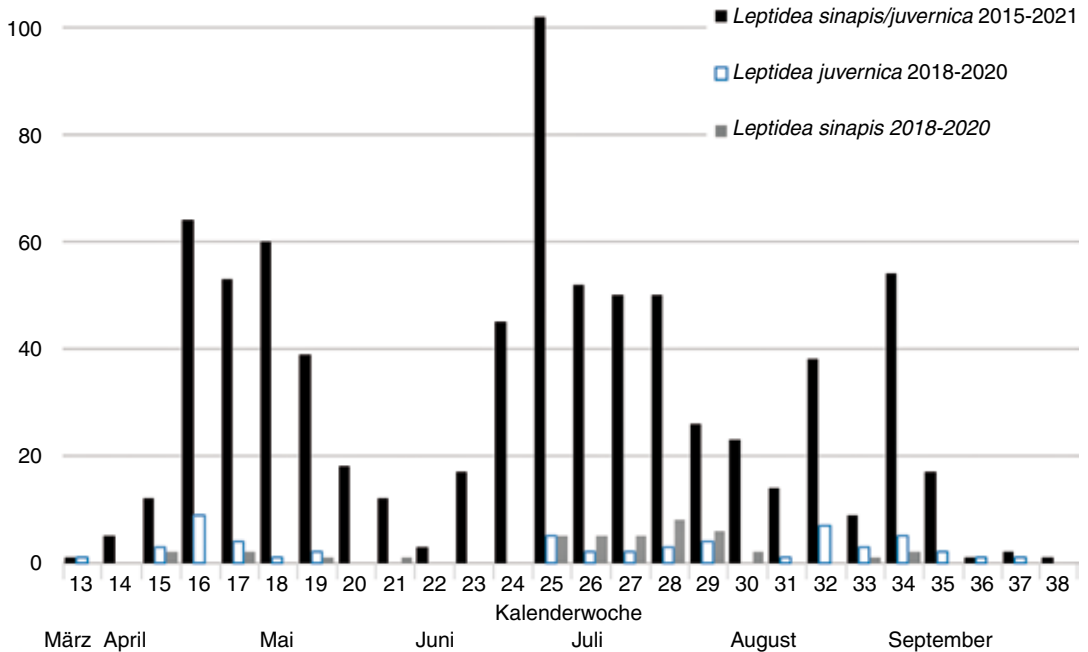


Abbildung 4. Jahreszeitliches Auftreten von *L. juvernica* und *L. sinapis* am Spitzberg nach Kalenderwochen.

4. Diskussion

Trotz des syntopen Vorkommens beider Arten am Spitzberg sind Unterschiede der Einnischung zwischen *L. sinapis* und *L. juvernica* erkennbar. Dies betrifft sowohl die genutzten Lebensräume, als auch das jahreszeitliche Auftreten beider Arten. Die bevorzugten Habitate von *L. sinapis* und *L. juvernica* am Spitzberg decken sich mit den wenigen bisherigen Angaben in der Literatur (SETTELE et al. 2015, REINHARDT et al. 2020). Dies betrifft das am Spitzberg festgestellte häufigere Auftreten von *L. sinapis* in Wäldern im Vergleich zu *L. juvernica* und die Bevorzugung mesophiler Grünländer für *L. juvernica*. Beide Arten wurden jedoch ausschließlich im Sommer (zwischen dem 30. Juni und dem 25. August) im Wald beobachtet, was auf eine Hitzeflucht hinweist. Im März, April, Mai und September erfolgten dagegen keine Beobachtungen im Wald.

Die Höhenlage wurde zwar im Modell einbezogen aber letztendlich nicht als entscheidender Faktor über den AICc ausgewählt. Der Höhengradient am Spitzberg dürfte zu gering sein, um eine Aussage im Hinblick auf eine Bevorzugung bestimmter Höhenlagen ableiten zu können. In

Bayern kommen *L. sinapis* bis auf Höhen um 1700 m und *L. juvernica* bis auf Höhen um 700 m vor (SCHMITZ et al. 2013a, SCHMITZ et al. 2013b). Anders ist es bei der Sonneneinstrahlung. Hier existieren zwischen Nord- und Südseite des Spitzberges deutliche Unterschiede. Allerdings wurde die Sonneneinstrahlung ebenso nicht als entscheidender Faktor über den AICc im Modell ausgewählt. Daher scheint sich die Einnischung der beiden Arten im Hinblick auf die Sonneneinstrahlung und damit auf ihre Wärmebedürfnisse nicht zu unterscheiden. Eine geringe ökologische Differenzierung der beiden Arten bezüglich der Nutzung (xero-)thermer Habitate wurde bereits in Bayern festgestellt (SCHMITZ et al. 2013a, SCHMITZ et al. 2013b). Über eine stärkere Präferenz (xero-)thermer Habitate bei *L. sinapis* im Vergleich zu *L. juvernica* berichten hingegen STÖCKEL et al. (2014).

Diese für den Spitzberg ermittelten eher geringen ökologischen Unterschiede bestätigen die von FREESE & FIEDLER (2002) bereits bei den Futterpflanzen festgestellte geringe bzw. noch nicht gefestigte ökologische Differenzierung der beiden Arten. Auch FRIBERG et al. (2013) kamen

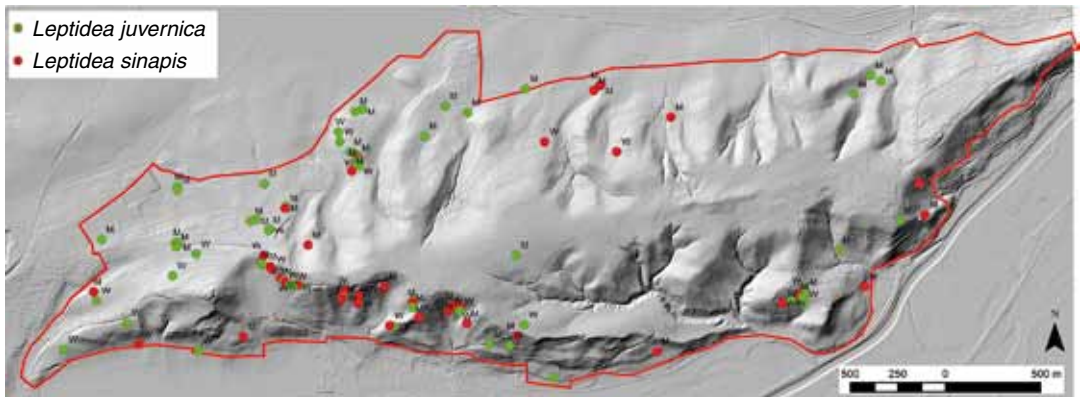


Abbildung 5. Fundpunkte der beiden am Spitzberg erfassten *Leptidea*-Arten.

wie eingangs erwähnt in Bezug auf die Nischenbildung der Zwillingarten auf ein ähnliches Ergebnis.

Für das jahreszeitliche Auftreten der beiden Arten am Spitzberg wurden für die betrachteten Jahre signifikante Unterschiede ermittelt. Im Vergleich hierzu werden von SCHMITZ et al. (2013a, 2013b) für beide Arten in Bayern zwei gleich große Generationen dargestellt. Dies gilt am Spitzberg für die drei untersuchten Jahre nur für *L. juvernica*. Für Baden-Württemberg gibt es bisher keine nach den beiden Arten differenzierte Darstellungen der Flugzeiten (EBERT & RENNWALD 1991). Auffällig ist hier, dass die beiden Hauptflugzeiten der Arten von Anfang bis Mitte Mai und Mitte Juli angegeben werden. Am Spitzberg liegen diese bereits im April, die zweite Generation fliegt Mitte Juni und die dritte im August. Diese Verschiebung der Hauptflugzeiten könnte auf klimatische Veränderung seit dem Erscheinen von EBERT & RENNWALD (1991) zurückzuführen sein. Eine klimabedingte Veränderung der Flugzeiten wurde am Spitzberg bereits für *Brintesia circe* festgestellt (BIRCH et al. 2021).

Interessant ist, dass die genitalbestimmten Individuen von *L. sinapis* überwiegend aus dem Juli und von *L. juvernica* überwiegend aus dem August stammen. Diese jahreszeitlichen Unterschiede zwischen den beiden Arten könnten eventuell auf eine beginnende phänologische Einnischung hindeuten bzw. auf eine unterschiedliche Populationsstärke der 2. und 3. Generation der beiden Arten. Allerdings sind noch mehr Nachweise beider Arten notwendig, um dieses Muster zu bestätigen. Die Anzahl an *Leptidea*-Individuen, die aus dem Gebiet ent-

nommen werden durften, wurde in dieser Untersuchung von Seiten der Genehmigungsbehörde begrenzt. Die festgestellten phänologischen Unterschiede zwischen den Geschlechtern entsprechen dem bekannten Wissen, dass bei Tagfaltern die Männchen vor den Weibchen fliegen (FAGERSTRÖM & WIKLUND 1982).

Die Bevorzugung der Weibchen für Standorte hoher Sonneneinstrahlung ist wahrscheinlich der Tatsache geschuldet, dass die Eiablagepflanzen eher an sonnenexponierten Standorten angetrof-

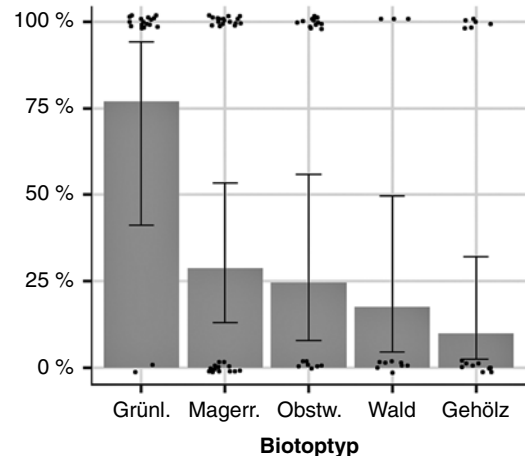


Abbildung 6. Bevorzugter Biotoptyp von *L. juvernica*. Es wird der modellierte Anteil von *L. juvernica* an allen genitalmorphologisch bestimmten *Leptidea*-Funden (\pm 95%-Konfidenzintervall) dargestellt. Die Rohdatenpunkte zeigen Funde von *L. juvernica* (oben) bzw. *L. sinapis* (unten).

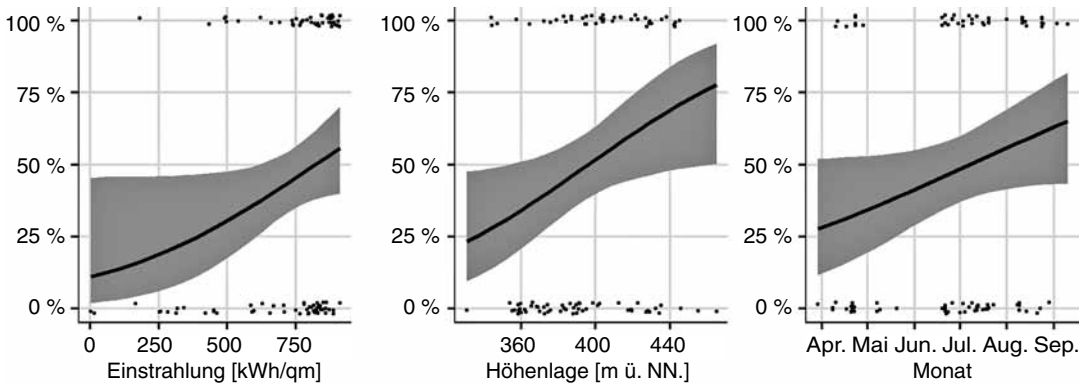


Abbildung 7. Zusammenhang zwischen Geschlecht und den Umweltfaktoren Sonneneinstrahlung und Höhenlage sowie Unterschiede zwischen den Geschlechtern im jahreszeitlichen Auftreten. Es wird der modellierte Anteil von Weibchen an allen genitalmorphologisch bestimmten *Leptidea*-Funden (\pm 95 %-Konfidenzintervall) dargestellt. Die Rohdatenpunkte zeigen Funde von Weibchen (oben) bzw. Männchen (unten).

fen werden. Da Weibchen viel Zeit damit verbringen, Pflanzen für die Eiablage zu prüfen (EBERT & RENNWALD 1991), wurden sie vermehrt auf diesen Flächen festgestellt. Dies deckt sich mit den Beobachtungen von O'NEILL & MONTGOMERY (2018), die Männchen eher in schattigeren Habitaten festgestellt haben. Zudem ist von dispergierenden Männchen bekannt, dass sie weit umherfliegen, um geeignete Paarungspartner (Weibchen) zu finden (O'NEILL & MONTGOMERY 2018).

Dank

Für die Fanggenehmigung danken wir dem Regierungspräsidium Tübingen. Dank gilt den wertvollen Hinweisen zum Manuskript von ROBERT TRUSCH und einem anonymen Gutachter.

Literatur

- AKAIKE, H. (1973): Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. – In: Second International Symposium on Information Theory: 267-281; Budapest (Akademiai Kiado).
- BARTOŃ, K. (2022): MuMIn: Multi-Model Inference. R-Paket. – <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/index.html> (Zugriff am 3.3.2022).
- BIRCH, R. J., MARKL, G. & GOTTSCHALK, T. K. (2021): Aestivation as a response to climate change: the Great Banded Grayling *Brintesia circe* in Central Europe. – *Ecological Entomology* **46**: 1342-1352.
- BURNHAM, K. P. & ANDERSON, D. R. (2002): Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. 2. Aufl. – 488 S.; New York (Springer).
- DINCĂ, V., LUKHTANOV, V. A., TALAVERA, G. & VILA, R. (2011): Unexpected layers of cryptic diversity in wood white *Leptidea* butterflies. – *Nature communications* **2**: 1-8.

- EBERT, G. & RENNWALD, E. (1991): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 1, Tagfalter I. – 552 S.; Stuttgart (Ulmer-Verlag).
- EMBACHER, G. (1996): Contribution to the distribution and biology of *Leptidea sinapis* (LINNAEUS, 1758) und *Leptidea reali* (REISSINGER, 1989) (Lepidoptera: Pieridae, Dismorphiinae). – *Zeitschrift der Arbeitsgemeinschaft Österreichischer Entomologen* **48**: 107-112.
- FAGERSTRÖM, T. & WIKLUND, C. (1982): Why do males emerge before females? Protandry as a mating strategy in male and female butterflies. – *Oecologia* **52**: 164-166.
- FIELDING, A. H. & BELL, J. F. (1997): A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. – *Environmental Conservation* **24**: 38-49.
- FRANKLIN, J. (2009): Mapping Species Distributions - Spatial Inference and Prediction. – 320 S.; San Diego State University (Cambridge University Press).
- FREESE, A. & FIEDLER, K. (2002): Experimental evidence for specific distinctness of the two wood white butterfly taxa, *Leptidea sinapis* and *Leptidea reali* (Pieridae). – *Nota Lepidopterologica* **25**: 39-59.
- FREESE, A. & FIEDLER, K. (2004): Unterscheidungsmerkmale von *Leptidea sinapis* (LINNAEUS, 1758) und *Leptidea reali* REISSINGER, 1989 (Lepidoptera, Pieridae) und ihre Eignung zur Artbestimmung. – *Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo NF* **25**: 65-77.
- FRIBERG, M., LEIMAR, O. & WIKLUND, C. (2013): Heterospecific courtship, minority effects and niche separation between cryptic butterfly species. – *Journal of Evolutionary Biology* **26**: 971-979.
- FRIBERG, M., OLOFSSON, M., BERGER, D., KARLSSON, B. & WIKLUND, C. (2008): Habitat choice precedes host plant choice—niche separation in a species pair of a generalist and a specialist butterfly. – *Oikos* **117**: 1337-1344.

- GELBRECHT, J., CLEMENS, F., KRETSCHMER, H., LANDECK, I., REINHARDT, R., RICHTER, A., SCHMITZ, O. & RÄMISCH, F. (2016): Die Tagfalter von Brandenburg und Berlin (Lepidoptera: Rhopalocera und Hesperiiidae). – 327 S.; Potsdam (Landesamt für Umwelt, LfU).
- GOTTSCHALK, T. (Hrsg.) (2019a): Der Spitzberg – Landschaft, Biodiversität und Naturschutz. – 567 S.; Ostfildern (Jan Thorbecke).
- GOTTSCHALK, T. (2019b): Die Tagfalter und Widderchen des Spitzbergs. – In: GOTTSCHALK T. (Hrsg.): Der Spitzberg: 216-254; Ostfildern (Jan Thorbecke).
- GOTTSCHALK, T. (2019c): Landnutzungs- und Landschaftsveränderungen. – In: GOTTSCHALK T. (Hrsg.): Der Spitzberg: 409-427; Ostfildern (Jan Thorbecke).
- GOTTSCHALK, T. K. (2020): Do single Pollard transects represent the local butterfly community? A case study from the Spitzberg near Tübingen, Germany. – Insect Conservation and Diversity **13**: 606-616.
- KOCH, M. (1991): Wir bestimmen Schmetterlinge. 3. Aufl. – 792 S.; Radebeul (Neumann Verlag).
- KÜHN, E., MUSCHE, M., HARPKE, A., FELDMANN, R., METZLER, B., WIEMERS, M., HIRNEISEN, N. & SETTELE, J. (2014): Das Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD). Volkszählung für Schmetterlinge. – Oedipus **27**: 5-18.
- LEHTONEN, S., LEHTONEN, I., TERÄS, A., VARRELA, J., VIRTA, P. & VESTERINEN, E. (2017): DNA barcoding reveals widespread occurrence of *Leptidea juvernica* (Lepidoptera: Pieridae) in southern Finland. – Entomologisk Tidskrift **138**: 151-159.
- LERAUT, P. (2016): Butterflies of Europe and neighbouring regions. – 1113 S.; Shenzhen (N.A.P. Editions).
- LORKOVIC, Z. (1993): *Leptidea reali* REISSINGER, 1989 (= *lorkovicii* Real, 1988), a new European species (Lepid., Pieridae). – Natura Croatica **2**: 1-26.
- O'NEILL, J. & MONTGOMERY, I. (2018): Demographics and spatial ecology in a population of cryptic wood white butterfly *Leptidea juvernica* in Northern Ireland. – Journal of Insect Conservation **22**: 499-510.
- POLLARD, E. (1977): A method for assessing changes in the abundance of butterflies. – Biological Conservation **12**: 115-134.
- REINHARDT, R., HARPKE, A., CASPARI, S., DOLEK, M., KÜHN, E., MUSCHE, M., TRUSCH, R., WIEMERS, M. & SETTELE, J. (2020): Verbreitungsatlas der Tagfalter und Widderchen Deutschlands. – 428 S.; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- ROSNER, H.-J. (2019): Das Klima am Spitzberg. – In: GOTTSCHALK, T. (Hrsg.): Der Spitzberg: 67-83; Ostfildern (Jan Thorbecke).
- SACHANOWICZ, K. (2013): Separation possibilities and genital measurement variations in two cryptic species of European pierid butterflies, *Leptidea juvernica* WILLIAMS, 1946 and *Leptidea sinapis* (LINNAEUS, 1758). – Zoology **116**: 215-223.
- SCHMITZ, O., HAGER, A. & BOLZ, R. (2013a): LINNÉS Leguminosenweißling *Leptidea sinapis*. – In: BRÄU M., BOLZ, R., KOLBECK, H., NUNNER, A., VOITH, J. & WOLF, W. (Hrsg.): Tagfalter in Bayern: 136-138; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- SCHMITZ, O., HAGER, A. & BOLZ, R. (2013b): Verkannter Leguminosenweißling *Leptidea juvernica*. – In: BRÄU, M., BOLZ, R., KOLBECK, H., NUNNER, A., VOITH, J. & WOLF, W. (Hrsg.): Tagfalter in Bayern: 139-141; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- SEGERER, A. (2001): Beitrag zur Genitaldiagnose einiger bayerischer Tagfalterarten unter besonderer Berücksichtigung der Weibchen. – Beiträge zur Bayerischen Entomofaunistik **4**: 5-25.
- SETTELE, J., STEINER, R., REINHARDT, R., FELDMANN, R. & HERMANN, G. (2015): Schmetterlinge. Die Tagfalter Deutschlands. – 256 S.; Stuttgart (Ulmer Verlag).
- STÖCKEL, D., REINHARDT, R. & SCHMITZ, O. (2014): Die Falter des *Leptidea*-Komplexes unter besonderer Berücksichtigung der Oberlausitz (Lepidoptera, Pieridae). – Entomologische Nachrichten und Berichte **58**: 83-85.
- ZUUR, A. F., LENO, E. N. & ELPHICK, C. S. (2010): A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. – Methods in Ecology and Evolution **1**: 3-14.

