

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	climbee
Langtitel:	Evaluating the effects of climate warming on wild bee communities
Zitiervorschlag:	Scharnhorst, V., Becsi, B., König, B., Ockermüller, E., Neumayer, J., Formayer, H., Pachinger, B. (2024): Evaluating the effects of climate warming on wild bee communities. Endbericht im Rahmen des ACRP12.
Programm inkl. Jahr:	ACRP – 12th Call, 2019
Dauer:	01.10.2020 bis 31.12.2024
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	BOKU Wien Dr. Bärbel Pachinger
Kontaktperson Name:	Dr. Bärbel Pachinger
Kontaktperson Adresse:	Universität für Bodenkultur Wien – BOKU Institut für Integrative Naturschutzforschung Gregor Mendel Str. 33, A-1180 Wien
Kontaktperson Telefon:	+43 1 47654 83414
Kontaktperson E-Mail:	baerbel.pachinger@boku.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	<ul style="list-style-type: none"> - Biologiezentrum des OÖ Landesmuseums, Linz - Büro Johann Neumayer, Salzburg
Schlagwörter:	Klimawandel, Wildbienen, Hummeln, Anthophila, historische Daten, Arealveränderung
Projektgesamtkosten:	248.918,- €
Fördersumme:	248.543,- €
Klimafonds-Nr:	KR19AC0K17547
Erstellt am:	31.08.2024

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Wildbienen sind wesentliche Bestäuber sowohl unserer Kultur-, als auch unserer Wildpflanzen. Durch Landnutzungsänderungen, landwirtschaftliche Intensivierung und Klimawandel sind sie jedoch zunehmend bedroht. Der Rückgang der Wildbienen ist mit wesentlichen Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktivität und die Gesundheit unserer Ökosystemen verbunden. Das Ziel dieser Studie ist es, die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Zusammensetzung der Wildbienengemeinschaften und damit zusammenhängenden funktionellen Eigenschaften zu dokumentieren.

Um die beobachteten Diversitätsmuster auf die Klimaerwärmung zurückführen zu können, ist ein Vergleich mit historischen Aufzeichnungen unerlässlich. Dafür wurde eine umfassende Datenbank mit historischen Wildbienenerhebungen erstellt und analysiert. Diese Daten wurden mit rezenten Wildbienenerhebungen verknüpft und mit verfeinerten Klimamodellen verschnitten. Durch diesen integrativen Ansatz ist es möglich, die vielfältigen Auswirkungen der Umweltveränderungen auf Wildbienenpopulationen zu bewerten und wirksame Schutzstrategien zu entwickeln.

Unser erster Schritt bestand darin, historische Daten über die Verbreitung von Wildbienen auffindig und verfügbar zu machen. In dieser Projektphase wurden mehrere tausend historische Aufzeichnungen von handgeschriebenen Karteikarten und Exemplar-Etiketten hauptsächlich aus der Pittioni-Sammlung des Natural History Museum London, der Sammlung des Oberösterreichischen Landesmuseums Linz und aus verschiedenen kleineren Sammlungen digitalisiert.

Parallel dazu führten wir umfangreiche Erhebungen von Wildbienen in ganz Österreich durch, bei denen wir historisch gut untersuchte Fundorte sowohl im Flachland als auch in den Alpen erneut besammelten. Ergänzend zu diesen biologischen Daten verarbeiteten wir umfangreiche Klimadaten. Die Verfeinerung der groben Auflösung traditioneller meteorologischer Daten durch Abwärtsskalierung der verfügbaren Datensätze war dabei ein wesentliches Ziel.

Unsere erste Veröffentlichung der Veränderungen von Hummelgemeinschaften in alpinen Regionen zeigt beim Vergleich historischer und rezenter Daten einen deutlichen Rückgang der Artenvielfalt an Hummeln. Dieser Rückgang war vor allem bei spezialisierten und sozio-parasitären Arten zu beobachten. Unsere Ergebnisse bringen diese Entwicklung mit den gestiegenen Frühlingstemperaturen in Zusammenhang, die eine direkte Folge des Klimawandels sind. Darüber hinaus ist es plausibel, dass vor allem in niedriger gelegenen Gebieten die Intensivierung der Landnutzung zu den beobachteten Veränderungen in den Hummelgemeinschaften beigetragen haben. Ein

bemerkenswerter Trend, der aus unseren Daten hervorging, war die zunehmende Präsenz von generalistischen Hummelarten, was als eine Reaktion auf die neuen Umweltbedingungen zu sehen ist.

Bei den Studien im Flachland wurde das Hauptaugenmerk auf den Raum Linz gelenkt, da die Wildbienenarten aus diesem Gebiet eine nahezu vollständige Chronologie der Verbreitungsmuster durch das ganze 20. Jahrhundert hindurch bereitstellen.

Die Ergebnisse zeigten, dass Wildbienenarten, die bis Mitte des 20. Jahrhunderts weit verbreitet waren, danach aber einen deutlichen Rückgang erlebten, überwiegend spezialisierte klimatische Nischen aufweisen. Im Gegensatz dazu zeigten Arten, die über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg konstant präsent waren, Anpassungen an ein breiteres Spektrum von Klimabedingungen. Arten, die während der rezenten Beprobungsphase neu hinzugekommen sind, deuten auf eine kürzliche Besiedelung von Bienen hin, die an wärmere und trockenere Klimabedingungen angepasst sind. Dies lieferte Belege für klare Aussterbe- und Besiedlungsmuster, die sowohl mit massiven Landschaftsveränderungen und als auch mit der steigenden Jahresmitteltemperatur in Verbindung gebracht werden können.

Zusammenfassend unterstreicht das Projekt climbee den dringenden Bedarf an gezielten Schutzstrategien, um die Lebensräume von Wildbienen weitgehend zu bewahren und in Hinblick auf die Verfügbarkeit von Pollenquellen und Nisthabitaten zu optimieren. So sollen weitere Stressfaktoren, die insbesondere auf spezialisierte Wildbienenarten einwirken, entschärft werden, um dem Klimawandel möglichst resilient begegnen zu können.

2 Executive Summary

Wild bees are essential pollinators not only of our cultivated plants but also of wild plants. However, they are increasingly threatened by land use change, agricultural intensification and climate warming. The decline of wild bees is linked to significant impacts on agricultural productivity and the health of our ecosystems. The aim of this study is to document the effects of global warming on the composition of wild bee communities and related functional traits in Austria.

In order to be able to attribute the observed diversity patterns to global warming, a comparison with historical records is essential. To this purpose, a comprehensive database of historical wild bee surveys was compiled and analyzed. These data were linked to recent wild bee surveys and blended with refined climate models. This integrative approach makes it possible to assess the diverse effects of environmental changes on wild bee populations and to develop effective conservation strategies.

Our first step was to locate historical data on the distribution of wild bees, mainly from the Pittioni Collection of the Natural History Museum London, the collection of the Upper Austrian State Museum Linz and various smaller collections. In this phase of the project, several thousand historical records were digitized from handwritten index cards and specimen labels.

At the in parallel, we conducted extensive field surveys of wild bees throughout Austria, revisiting historically well-studied sites both in the lowlands and in the Alps. In addition to this wild bee data, we processed extensive climate data. Complementing this biological data, we processed extensive climate data, including downscaling of available datasets to overcome the limitations of coarse resolution in traditional meteorological data.

Our first publication on changes in bumblebee communities in alpine regions shows a clear decline in bumblebee species diversity when comparing historical and recent data. This decline was mainly observed in specialized and socio-parasitic species. Our results correlate this shift with increased spring temperatures, which are a direct consequence of climate change. Additionally, it is plausible that the intensification of land use, especially in lower-lying areas, has contributed to the observed changes in bumblebee communities. A remarkable trend that emerging from our data was the increasing presence of generalist bumblebee species, which can be seen as a response to the new environmental conditions.

In the lowland studies, the main focus was on the greater Linz area, as the wild bee data offer a nearly complete chronology of distribution patterns throughout the 20th century.

The results showed that wild bee species that were widespread until the middle of the 20th century, but then experienced a significant decline, predominantly have specialized climatic niches. In contrast, species that were consistently present throughout the study period showed adaptations to a broader range of climatic conditions. Species that were newly added during the recent sampling period indicate recent colonization by bees adapted to warmer and drier climatic conditions. This provided evidence of clear extinction and colonization patterns that can be linked to both massive landscape changes and mean annual temperature.

In conclusion, the "climbee" project highlights the urgent need for targeted conservation strategies to protect the habitats of wild bees as far as possible and to optimize the availability of pollen sources and nesting habitats. The aim is to mitigate other stress factors that affect specialized wild bee species in particular in order to be as resilient as possible in the face of climate change.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Angesichts des fortschreitenden Klimawandels wird es immer wichtiger zu verstehen, wie sich dieser auf unsere Ökosysteme auswirkt. Besonders die Entwicklung der Wildbienenpopulationen spielt dabei eine entscheidende Rolle. Diese Insekten sind unverzichtbar für die Bestäubung von Nutz- und Wildpflanzen und damit auch für unsere Ernährung sowie das Funktionieren der Natur.

Der Anstieg der globalen Temperaturen, der sich in einer allmählichen Erwärmung und häufigeren extremen Wetterereignissen wie Hitzewellen äußert, führt zu spürbaren Umweltveränderungen. Bei Insekten, darunter auch Wildbienen, kommt es zur Verschiebung von Arealgrenzen der einzelnen Arten und neu zusammengesetzten Artengemeinschaften; ebenso verändert sich die Phänologie der Arten.

Aktuellen Trends bei den Wildbienenpopulationen, insbesondere die vermutete Verschiebung hin zu einer Dominanz generalistischer Arten, haben schwerwiegende Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und die Funktionalität der Ökosysteme. Diese generalistischen Arten können zwar aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit vorübergehend zunehmen, sind aber nicht in der Lage, den Verlust spezialisierter Arten, die eine Schlüsselrolle bei der Bestäubung spielen, vollständig auszugleichen. Dies macht deutlich, wie wichtig es ist, wirksame Schutzmaßnahmen zu ergreifen, die auf einem umfassenden Verständnis der Verbreitung, Häufigkeit und Artenvielfalt von Wildbienen basieren.

Der Vergleich von aktuellen und historischen Daten ist eine zentrale Methode, um die Auswirkungen von Umweltveränderungen auf verschiedene Arten besser zu verstehen. Durch die Analyse langfristiger Trends in historischen Aufzeichnungen lassen sich Verschiebungen in den Verbreitungsgebieten und Anpassungsprozesse von Artengemeinschaften erkennen, die auf veränderte Umweltbedingungen reagieren.

Daten aus Museen und historischen Sammlungen bieten wertvolle Einblicke in die frühere und heutige biologische Vielfalt und bleiben eine wichtige Ressource für die ökologische Forschung. Besonders angesichts der aktuellen globalen Biodiversitätskrise, die durch den dramatischen Rückgang der Insektenbiomasse und -vielfalt geprägt ist, zeigt sich der große Wert dieser Aufzeichnungen. Sie dienen als wichtige Basis, um die Prozesse und das Ausmaß des Insektensterbens zu bewerten und besser zu verstehen.

Ebenso sind langfristige historische Klimaaufzeichnungen unerlässlich, um vergangene Veränderungen besser zu beurteilen. Besonders in Regionen mit komplexer Topografie ist die aktuelle Datenlage oft unzureichend – sowohl in

Bezug auf die Detailgenauigkeit als auch die zeitliche Abdeckung früherer Klimaperioden.

Wesentliches Ziel des Projekts climbee bestand daher darin, eine umfassende historische Datenbank zu Wildbienenenerhebungen in Österreich zu erstellen und nutzbar zu machen. Diese Daten wurden mit aktuellen Erhebungen und modernen Klimamodellen verknüpft, um eine detaillierte Analyse der Veränderungen in der Verbreitung und Zusammensetzung von Wildbienengemeinschaften zu ermöglichen und die Auswirkungen des Klimawandels und der intensivierten Landnutzung besser zu bewerten. Unser Ziel war es, auf Basis dieser Erkenntnisse Grundlagen für effektive Schutzmaßnahmen für Wildbienen zu entwickeln.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

Das Projekt war in vier Hauptarbeitspakete gegliedert: Aufarbeitung historischer Daten (WP1), Wildbienen-Felderhebung (WP2), Modellierung Klimadaten (WP3) und Projektmanagement (WP4).

WP1: Aufarbeitung historischer Daten

Die erste zentrale Aufgabe im Arbeitspaket 1 (WP1) war die Erstellung einer Datenbank mit historischen Wildbienenenerhebungen. Dies erforderte die Digitalisierung und Zusammenführung historischer Daten aus Museen. Zu den genutzten Quellen gehörten unter anderem die handschriftlichen Karteikarten der Wildbienensammlung von Bruno Pittioni im Natural History Museum London (zugänglich unter <https://pittioni.myspecies.info/>), Wildbienenpräparate aus dem Raum Linz im Oberösterreichischen Landesmuseum sowie kleinere Sammlungen vor allem aus dem alpinen Raum. Insgesamt wurden mehrere Tausend historische Aufzeichnungen digitalisiert, darunter handgeschriebene Karteikarten und Etiketten von präparierten Individuen aus der Zeit von 1910 bis in die frühen 2000er Jahre. Die Artbezeichnungen und Synonyme wurden auf den aktuellen taxonomischen Stand gebracht. Fehlende Informationen zu Sammlern und Fundorten wurden sorgfältig recherchiert. Historische Proben wurden anhand von persönlichen Notizen der Sammler georeferenziert und die Fundorte, wenn nötig, durch Rücksprache mit den Sammlern selbst oder wissenschaftlichen Kollegen, die diese kannten, überprüft.

WP2: Wildbienen-Felderhebung

Das Arbeitspaket 2 (WP2) des Projekts beinhaltet Felduntersuchungen an historisch gut untersuchten Standorten und die anschließende Aufbereitung der

gesammelten Proben. Durch die Wiederholung der historischen Erhebungen konnte ein detailliertes Bild der aktuellen Wildbienenpopulationen erstellt und mögliche Veränderungen besser nachvollzogen werden. Die Untersuchungsstandorte waren so gewählt, dass sie sowohl einen Ost-West-Gradienten als auch alpine Gebiete in unterschiedlichen Höhenlagen abdeckten. Die Wildbienen wurden mithilfe von Insektennetzen durch semiquantitative Sichterfassungen gesammelt. Die Probenahmen fanden zwischen 9 und 17 Uhr bei guten Wetterbedingungen für Wildbienen (Sonnenschein, leichter Wind und Temperaturen über 15 °C) statt. Alle beobachteten Individuen wurden dokumentiert und, wenn möglich (z. B. bei Hummeln), im Feld auf Artniveau bestimmt oder zur Artbestimmung ins Labor gebracht. Alle erfassten Bienenproben wurden mit aktuellen Bestimmungsschlüsseln bestimmt und mit Insekten aus Vergleichssammlungen abgeglichen. Alle im Rahmen des Projekts gesammelten Wildbienen werden in der Wildbienensammlung des Instituts für Integrative Naturschutzforschung der Universität für Bodenkultur Wien oder in der Sammlung im Biologiezentrum Linz aufbewahrt und stehen für zukünftige Forschungen zur Verfügung.

WP3: Modellierung Klimadaten

Arbeitspaket 3 (WP3) konzentriert sich auf der Identifizierung klimarelevanter Faktoren, die einen Einfluss auf die Verschiebung der Verbreitung der Wildbienenarten und damit auf die Zusammensetzung der Wildbienengemeinschaften haben.

Dazu gehörten die Sichtung und Verarbeitung verfügbarer Klimadaten, die Berechnung relevanter Indikatoren, die Entwicklung von Downscaling-Routinen für verschiedene meteorologische Parameter an den Untersuchungsstandorten und die Visualisierung hochauflösender Datenreihen.

Eine Herausforderung bestand darin, dass die vorhandenen Klimabeobachtungsdaten entweder keine ausreichende räumliche Auflösung oder keinen ausreichenden zeitlichen Umfang für die geplanten Analysen aufwiesen. Daher wurden zwei bestehende Beobachtungsdatensätze mit Hilfe von Regridding- und Bias-Korrekturtechniken zu einem neuen Datensatz kombiniert, der nun bis ins 19. Jahrhundert zurückreicht. Anschließend wurden Downscaling-Routinen für verschiedene meteorologische Parameter und Indikatoren eingesetzt, um den Detaillierungsgrad für unsere Analysen auf Standortebene zu erhöhen. Dieser Ansatz war wichtig, um die Genauigkeit der Berechnungen zu den klimatischen Auswirkungen auf die Verteilung der Bienen zu gewährleisten.

WP 4: Projektmanagement

Die Projektadministration und das Projektmanagement erfolgten ohne nennenswerte Schwierigkeiten. Hervorheben wollen wir hier die im Rahmen dieses Arbeitspaketes durchgeführten steeringboard Treffen. Als Berater für unseren

Lenkungsausschuss konnten wir Dr. Paolo Biella von der University of Milano-Bicocca und Dr. Stefan Dötterl von der Paris-Lodron-Universität Salzburg gewinnen. Die drei Treffen wurden einerseits via Video-Konferenz, andererseits in Präsenz durchgeführt. In der ersten Sitzung des Lenkungsausschusses am 26. Februar 2021 via zoom stellte das Projektteam dem Lenkungsausschuss die geplanten Projektschritte als Hauptprogrammpunkt vor. Im Rahmen dieses Treffens wurden die Untersuchungsstandorte nach Abschätzung der vorhandenen historischen Daten festgelegt und der Erhebungsleitfaden für die rezenten Erhebungen präzisiert. Das zweite Treffen fand vom 30.-31.07.2021 im Nationalpark Hohe Tauern in der Eberhard Stüber Forschungsstation statt. Bei dem Treffen wurden erste Erkenntnisse zu Veränderungen bei alpinen Hummelarten, insbesondere im Kalsbachtal, wo zu diesem Zeitpunkt bereits erste Analysen vorlagen, diskutiert. Das dritte Treffen fand vom 27.-29.08.2023 in der Biologischen Station Illmitz im Nationalpark Neusiedler See Seewinkel und im Nationalparkzentrum Illmitz statt. Hier stand vor allem die Auswertung der Daten im Flachland, insbesondere Großraum Linz und Seewinkel und die Verschränkung der Bienen und Klimadaten mit Landschaftserhebungen im Zentrum der Diskussion.

Im Folgenden werden Projektergebnisse anhand der daraus resultierenden Publikationen dargestellt.

Ad (1): *Scharnhorst, V.S.; Thierolf, K.; Neumayer, J.; Becsi, B.; Formayer, H.; Lanner, J.; Ockermüller, E.; Mirwald, A.; König, B.; Kriechbaum, M.; Meimberg, H.; Meyer, P.; Rupprecht, C.; Pachinger, B. (2023) Changes in Community Composition and Functional Traits of Bumblebees in an Alpine Ecosystem Relate to Climate Warming. Biology, 12, 316. <https://doi.org/10.3390/biology12020316>*

- Hummeln in alpinen Ökosystemen sind dem Klimawandel besonders ausgesetzt, da sich diese Bereiche im Vergleich zum globalen Durchschnitt stärker erwärmen.
- Um die Auswirkungen der Klimaerwärmung zu untersuchen, haben wir Hummeln im alpinen Bereich erhoben und Daten mit Aufzeichnungen historischer Erhebungen aus den Jahren 1935/36 verglichen und unsere Ergebnisse mit Klimamodellen in Beziehung gesetzt.
- Die Hummelgemeinschaften zwischen den beiden Probenahmezeiträumen haben sich deutlich unterschieden. Die aktuellen Hummel-Daten weisen eine signifikant geringere Artenvielfalt auf als die historischen Aufzeichnungen. Beispielsweise ist die Anzahl der heutigen Kuckucksbienenarten (sozio-parasitische Hummeln, die die Hummelvölker anderer Hummelarten zur Fortpflanzung nutzen) im Vergleich zu den historischen Daten signifikant geringer.

- Unsere Analysen zeigen die steigenden Temperaturen im Frühjahr als wichtigsten Faktor für die Verschiebung in der Zusammensetzung der Hummel-Gemeinschaft.
- Es konnte zwar keine größere Zahl wärmeliebender Hummel-Arten gefunden werden, aber die heutigen Hummel-Gemeinschaften zeigen eine Zunahme von anspruchsloseren Arten, die gut mit variablen klimatischen Bedingungen umgehen können.
- Wir schließen daraus, dass die Zusammensetzung und Funktionalität der Hummelgemeinschaften im Untersuchungsgebiet durch die Klimaerwärmung erheblich beeinflusst wurden, wobei Landnutzung und Vegetationsveränderungen wahrscheinlich eine zusätzliche wichtige Rolle spielen

Ad (2): Scharnhorst, V.S.; Hopfenmüller, S.; Schoder, S.; Wallner, W.; Zettel, H.; Wiesbauer, H.; Meyer, P; Pachinger, B. (2023) *Hylaeus euryscapus* FÖRSTER, 1871 (Hymenoptera, Apiformes) neu für Österreich und weitere Wildbienen-Neufunde für das Burgenland. *Linzer biologische Beiträge* 54/2: 647-661.

- In diesem apidologischen Artikel werden besondere Wildbienenfunde aus dem Burgenland, aus der Region Neusiedler See Seewinkel, publiziert. Sie enthalten die faunistischen Highlights aus den rezenten Erhebungen aus einem der climbee Untersuchungsgebiete. Eine Gegenüberstellung dieser Erhebungen mit historischen Daten ist in Planung.
- Bedeutendster Fund ist dabei der Nachweis der Breitschaft-Maskenbiene *Hylaeus euryscapus* FÖRSTER, 1871 (Abb.1), die in Zusammenarbeit mit Experten des Naturhistorischen Museums Wien, als neue Art für Österreich publiziert wird.
- Die Breitschaft-Maskenbiene ist eine mediterrane Art, die in Mitteleuropa relativ selten nachgewiesen werden kann. Die nächsten bekannten Vorkommen liegen in Nordkroatien, der Slowakei, Polen und Ungarn. Die Entdeckung dieser Art in Österreich ist, obwohl es sich um einen Einzelfund handelt, bezeichnend für einen breiteren ökologischen Trend: Arten, die an ein heißes und trockenes Klima angepasst sind, dehnen ihr Verbreitungsgebiet in Gebiete aus, die früher kühler waren, in denen aber jetzt aufgrund der Klimaerwärmung höhere Durchschnittstemperaturen herrschen.
- Ebenso werden für weitere Wildbienenarten neue Fundorte in Österreich genannt, darunter wärmeliebende Arten, die ihr Areal in den letzten Jahren weiter nach Nordwesten ausbreiten könnten (z.B. die Rabenschwarze Schmalbiene *Lasioglossum corvinum* oder die Steppen-Harzbiene *Icterantheidium laterale*).



Abbildung 1: Frontal Ansicht der Breitschaft-Maskenbiene *Hylaeus euryscapus* FÖRSTER, 1871 (links Männchen, rechts Weibchen) ein Wildbienenneufund für Österreich.

Ad (3): Scharnhorst, V.S.; Ockermüller, E.; Becsi, B.; Formayer, H.; Hainz-Renetzeder, C; Glaser, M; Neumayer, J.; Meimberg, H.; Pachinger, B. Shifting Sands of Metacommunity Occupancy: A Century of Collection Work Reveals How Species Loss and Gains Are Tied to Climatic Niches; in Fertigstellung

- Die Veränderungen der Wildbienengemeinschaften im Großraum Linz, untersucht anhand einer Metacommunity an acht Untersuchungsstandorten, werden anhand eines umfangreichen Datensatzes dargestellt, der den Zeitraum von 1910 bis 2021 umfasst und 17.5000 Belege beinhaltet. Die Analyse beleuchtet insbesondere die Dynamik der Artengemeinschaften und stellt Muster im Verschwinden und der Kolonisation der Wildbienenarten dar.
- Unsere Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang zwischen der Fluktuation der Arten und den Veränderungen der menschlichen Bevölkerungsentwicklung sowie der Auswirkungen der Klimaerwärmung.
- Der durch das Bevölkerungswachstum in der Mitte des 20. Jahrhunderts verursachte Druck auf die Landnutzung fällt mit dem Verschwinden vieler spezialisierter Bienenarten zusammen, was einen Rückgang der lokalen Artenvielfalt einleitet.
- Wir zeigen, dass die Klimaerwärmung die Einwanderung thermophiler Arten in den letzten Jahrzehnten begünstigt.
- Insbesondere spezialisierte Wildbienenarten, die bereits durch die Intensivierung der Landnutzung und den damit einher gehenden Verlust von geeigneten Lebensräumen in Bedrängnis geraten sind, stehen durch

den Klimawandel und die Verschiebung der Artengemeinschaften zusätzlich unter Druck.

- Lebensraumgeneralisten mit einer breiten klimatischen Nische kommen mit diesen Veränderungen der Umwelt am besten zurecht.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das Projekt climbee hat wesentliche Einblicke in die Veränderungen der Wildbienenpopulationen in Österreich im letzten Jahrhundert erbracht, die für das Verständnis der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen und Klimawandel auf diese wichtige Bestäubergruppe von großer Bedeutung ist.

Es wurde eine umfangreiche Datenbank mit historischen Wildbienenenerhebungen zusammengestellt und mit aktuellen Aufzeichnungen verknüpft. Damit wurde eine solide Grundlage für die Verfolgung langfristiger Trends bei Wildbienenpopulationen sowohl in Flachland- als auch im alpinen Raum gelegt.

Von klimatologischer Seite wurde ein hochauflösender Langzeit-Klimadatensatz geschaffen, der viele neue Möglichkeiten für die regionale Klimafolgen- und Ökologieforschung auf der Grundlage historischer Daten bietet. Die im Rahmen des Projektes entwickelten Routinen können bei Verfügbarkeit neuer Referenzdaten angewandt werden, um den Datensatz zu aktualisieren, was bereits für SPARTACUS und einen kürzlich entwickelten langfristigen historischen Niederschlagsdatensatz für die Alpen der Fall ist.

Der Projektansatz, der historische Daten mit aktuellen Felderhebungen und fortschrittlicher Klimadatenverarbeitung kombiniert, war für die Bewertung der vielschichtigen Auswirkungen von Umweltveränderungen auf Wildbienenpopulationen zielführend.

Unsere Studie zu Hummelgemeinschaften im alpinen Gebiet zeigte eine deutliche Verschiebung der Artengemeinschaften in den letzten acht Jahrzehnten. Dabei wiesen die aktuellen Hummel-Daten eine signifikant geringere Artenvielfalt als die historischen Aufzeichnungen auf, insbesondere bei den sozioparasitischen Arten. Dieser Trend deutet auf den Verlust spezialisierter Arten hin, eine besorgniserregende Entwicklung für die Resilienz der Ökosysteme und die Artenvielfalt. Im Gegenzug zeigten die heutigen Hummel-Gemeinschaften eine Zunahme von anspruchsloseren Arten, mit einer breiten ökologischen und klimatischen Amplitude, also Arten, die gut mit variablen Bedingungen umgehen können.

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass dieser Rückgang der Artenvielfalt eng mit den gestiegenen Temperaturen im Frühjahr korreliert, was eine direkte Folge des Klimawandels darstellt. Dieser Trend deutet auf eine adaptive Reaktion alpiner Artengemeinschaften auf die sich verändernden Klimabedingungen hin.

Im außeralpinen Bereich, vor allem im äußersten Osten Österreichs, stellten die rezenten Erhebungen einen äußerst wertvollen Beitrag in der Dokumentation der Zuwanderung wärmeliebender Wildbienenarten aus dem mediterranen oder südosteuropäischen Bereich nach Österreich dar. Darunter befinden sich verschiedene Wildbienenarten, die neu für das Burgenland, und die Breitschaft-Maskenbiene *Hylaeus euryscapus*, die neu für Österreich, entdeckt werden konnte.

Die komplexen Muster vom Verschwinden und der Besiedelung von Wildbienen in Abhängigkeit von Landnutzung und Klimaerwärmung konnten mit dem umfangreichen Datensatz im Großraum Linz aufgeschlüsselt werden. So führte die durch das Bevölkerungswachstum intensivierete Landnutzung in der Mitte des 20. Jahrhunderts bereits zu einem ersten lokalen Aussterben vieler spezialisierter Bienenarten, was einen Rückgang der Artenvielfalt einleitet. Für die letzten Jahrzehnte konnte in Abhängigkeit steigender Jahresmitteltemperaturen die Einwanderung thermophiler Arten aufgezeigt werden. Ebenso wie in den alpinen Gebieten kommen Lebensraumgeneralisten mit einer breiten klimatischen Nische mit den Veränderungen in der Landnutzung als auch von Seiten des Klimas am besten zurecht.

Die Ergebnisse des Projektes climbee identifizieren die Veränderungen der Landnutzung und des Klimas als entscheidende Faktoren für weitreichende Verschiebungen der Wildbienengemeinschaft. Diese Erkenntnisse der analysierten Untersuchungsgebiete verdeutlichen das komplexe Zusammenspiel zwischen Umweltveränderungen und biologischer Vielfalt.

Der Rückgang und die Gefährdung von Wildbienen sind wie dargestellt multifaktoriell. Lebensraumverlust und Fragmentierung durch intensive Landnutzung und Klimawandel stellen dabei jedoch insbesondere für spezialisierte Arten maßgebliche Faktoren dar. Für einen nachhaltigen Wildbienenschutz müssen Lebensräume so Wildbienen-freundlich wie möglich gestaltet werden, um weitere Stressfaktoren, wie veränderte klimatische Bedingungen, zu entschärfen.

Abgeleitete Empfehlungen

Für Umwelt- und Naturschutz

- Berücksichtigung von klimainduzierten Auswirkungen auf Wildbienen (wie beispielsweise Arealverschiebungen) beim künftigen Management von gefährdeten Arten und Schutzgebieten.
- Verstärkte Implementierung des Arten- und Lebensraumschutzes in die Folgenabschätzung des Klimawandels.

Für Forschung & Langzeitbeobachtungen

- Stärkung der Anwendbarkeit der Indikatorgruppe Wildbienen für die Klimafolgenabschätzung durch Förderung von Projekten, die die Weiterentwicklung von spezifischen Indices zum Ziel haben (beispielsweise species temperature index (STI) für alle Wildbienenarten)
- Förderung von weiteren Projekten zum genaueren Verständnis ökologischer und ökophysiologischer Zusammenhänge in Hinblick auf Klimaerwärmung
- Verdichtung der Klimadaten und Erweiterung auf längere Zeiträume mit täglicher Auflösung, sowie weiteren Variablen.
- Verstärkte Einbindung von Klimadaten sowie abgeleitete Indikatoren in biologische Datenreihen, sowie Bereitstellung für die internationale Forschungsgemeinschaft.
- Implementierung von Monitoringstationen an strategisch geeigneten Orten mit guter historischer Wildbienen-Datenlage ->Fortführung der in climbee etablierten Datenreihen
- Förderung von entomologischen Sammlungen zur Verbesserung der Sicht auf die historische Insektenwelt
- Unterstützung von Datenbankstrukturen, die zu einer langfristigen Absicherung der Datenverfügbarkeit beitragen

c) Projektdetails

6 Methodik

Im Rahmen des Projektes climbee haben wir verschiedene Methoden angewandt, um zu verstehen, wie sich die Populationen verschiedener Wildbienen-Arten und das Klima in Österreich im Laufe der Zeit verändert haben. Hier erklären wir, wie wir historische Daten gesammelt, aktuelle Feldstudien durchgeführt und Klimadaten analysiert haben, um unsere Forschungsziele zu erreichen.

Datensammlung aus historischen Quellen (Arbeitspaket 1)

Zu Beginn des Projekts haben wir uns darauf konzentriert, eine umfassende Datenbank mit historischen Informationen zu erstellen. Dabei wurden tausende historische Datensätze digitalisiert, die auf Indexkarten und Etiketten von genadelten Insekten in Museen gespeichert waren. Diese stammen aus Sammlungen des Naturhistorischen Museums London, des Oberösterreichischen Landesmuseums in Linz und verschiedenen weiteren kleineren Sammlungen. Die Daten reichen von 1910 bis in die frühen 2000er Jahre zurück.

Feldforschung und Probenanalyse (Arbeitspaket 2)

Nachdem wir die historischen Daten gesichert hatten, führten wir Feldstudien durch, um aktuelle Daten zu sammeln und diese mit den historischen Daten zu vergleichen. Um Veränderungen in den Bienenpopulationen festzustellen, wurden diese Erhebungen an Orten durchgeführt, die bereits in der Vergangenheit umfassend untersucht wurden. Die Bienen wurden mit einem Insektennetz in einem etwa vierwöchigen Rhythmus während einer ganzen Vegetationsperiode gefangen. Die Erhebungen fanden unter standardisierten Bedingungen (sonniges Wetter, kein bis mittlerer Wind, Temperaturen über 15°C) statt, um eine repräsentative Artenzusammensetzung zu erfassen. Die gesammelten Bienen wurden entweder direkt vor Ort oder bei nicht im Feld bestimmbarer Arten später im Labor identifiziert. Diese aktuellen Daten ermöglichen es uns, die historischen Informationen zu ergänzen und zu verstehen, wie sich die Bienenpopulationen im Laufe der Zeit verändert haben.

Klimadaten und Analysemethoden (Arbeitspaket 3)

Ein weiterer wichtiger Aspekt unserer Studie war die Untersuchung, wie das Klima die Verbreitung der Bienen beeinflusst. Wir haben vorhandene Klimadaten genutzt und, wo nötig, diese Daten verbessert, um genauere Analysen durchzuführen. Wir haben historische Klimadaten mit neueren Daten kombiniert und diese auf eine feinere Auflösung herunterskaliert, damit wir die

Klimabedingungen an spezifischen Orten besser analysieren können. Diese detaillierten Klimainformationen sind wichtig, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Verbreitung der Bienen zu verstehen.

Statistische Analysen und Modellierung

Um die gesammelten Daten zu verstehen und Trends zu identifizieren, haben wir verschiedene statistische Modelle und Analysen verwendet.

So wurde eine Methode angewandt, die man sich wie das Sortieren von Büchern in einer Bibliothek vorstellen kann. Dabei wurden alle Daten in Gruppen eingeteilt, basierend darauf, wann und wo sie gesammelt wurden. Anschließend wurde untersucht, welche Bienenarten in diesen verschiedenen Gruppen am häufigsten vorkommen, und wie sich diese Gruppen im Laufe der Zeit verändert haben. Ebenso wurde eine besondere statistische Technik angewendet, um zu sehen, wie ähnlich oder unterschiedlich diese Gruppen sind. Bildlich lässt sich das so vorstellen wie das Vergleichen des Aussehens der sortierten Bücher aus der Bibliothek aus verschiedenen Jahren, um zu sehen, wie sich die Merkmale der Bücher im Laufe der Zeit verändert haben: z.B. ob sich eine bestimmte Farbe der Bücher-Umschläge im Laufe der Zeit wandelt oder die Schriftgröße des Textes für einen bestimmten Zeitraum charakteristisch ist. Umgelegt auf unsere Wildbienen bedeutet dies, die Wildbienenarten anhand ihrer spezifischen ökologischen Merkmale zu betrachten. So sind manche Arten auf bestimmte Pollenfutterpflanzen spezialisiert, nutzen spezifische Nistplätze und Lebensräume oder können nur in Gebieten mit Art-spezifischen klimatischen Bedingungen vorkommen. Ähnlich wie die Bücher werden die Bienengemeinschaften mit Fokus auf die ökologischen Merkmale betrachtet (z.B. wie viele Arten kommen vor, die im Boden nisten, wie viele, die oberirdisch nisten) und die verschiedenen Jahre verglichen. Damit kann festgestellt werden, ob sich die Artengemeinschaften im Laufe der Zeit verändert haben.

In einem weiteren Schritt wurden die Beziehung zwischen verschiedenen Umweltfaktoren (wie zum Beispiel der Seehöhe eines Ortes oder klimatische Kennwerte) und den Bienenpopulationen mittels einer Regressions-Methode (Generalized linear model GLM) untersucht. Um zu verstehen, wie vielfältig die Bienenpopulationen an verschiedenen Orten oder zu verschiedenen Zeiten sind, wurde eine Methode angewandt, mit der sich abschätzen lässt, wie viele verschiedene Arten von Bienen es gibt, und wie sich diese Vielfalt im Laufe der Zeit verändert. Die wesentliche Idee hinter dieser Methode besteht darin, dass die Anzahl der festgestellten Bienenarten davon abhängig ist, wie viele Bienen gesammelt wurden. Ab einer bestimmten Anzahl von gesammelten Bienen kann mathematisch davon ausgegangen werden, dass über 90 % der theoretisch an einem Standort vorkommenden Arten gefunden wurde. Die Vielfalt der Bienen Arten lässt sich somit in Abhängigkeit von der Anzahl gesammelter Bienen darstellen und für alle Standorte standardisieren.

Ein wichtiger Teil unserer Analyse war es auch zu verstehen, wie sich die Gemeinschaften der Bienen an einem Ort an ihre Umgebung anpassen. Dabei wurde untersucht, welche Eigenschaften (z.B. Temperatur- oder Nahrungs-Spezialisierung) am häufigsten in verschiedenen Gruppen oder zu verschiedenen Zeiten vorkommen. Dies lässt sich bildlich vorstellen, als ob die Bienengemeinschaften verschiedene „Werkzeuge“ besitzen, um sich an ihre Umgebung anzupassen: z.B. die Nutzung verschiedener Nahrungsquellen (Blütenpollen von speziellen Pflanzen) oder die Fähigkeit bei extremen Temperaturen zu überleben. Diese Untersuchung zeigen, welche „Werkzeuge“ am häufigsten verwendet werden und ob sich diese im Laufe der Zeit ändern

7 Arbeits- und Zeitplan

In folgender Tabelle ist eine Übersicht über den durchgeführten Arbeits- und Zeitplan dargestellt. Die Arbeitspakete, Zeitplan und Meilensteine wurden gegenüber dem ursprünglichen beantragten Zeitplan geringfügig adaptiert.

So wurde der Landschaftsanalyse als ein treibender Faktor für den Rückgang der biologischen Vielfalt mehr Platz eingeräumt. Für eine präzisere Ausarbeitung und die Integration der Landschaftsanalysen in ausgewählten Gebieten wurde die Projektlaufzeit kostenneutrale um neun Monate verlängert.

Tabelle 1: Finaler Arbeits- und Zeitplan gegliedert nach Arbeitspaketen mit Aufgaben (T), Meilensteinen (M) und Leistungen (D).

Arbeitspaket	Task, Milestones, Deliverables	2020		2021						2022						2023						2024		
		10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	1-12		
WP1 Aufarbeitung historischer Daten	T1 Literatursuche	■	■																					
	T2 Erhebung Sammlungen		■	■	■																			
	T3 Datendigitalisierung								■	■														
	T4 Datenbankprüfung									■														
	M1 Flächenauswahl für WP2 ist erfolgt				■																			
	M2 Aufarbeitung der historischen Daten abgeschlossen										■													
WP2 Wildbienen Feld- Erhebungen	T1 Erfassung Flachland				■	■	■	■			■	■	■											
	T2 Erfassung alpine Bereiche																							
	T3 Bestimmung der Bienen								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	T4 Zusammenstellung der Daten																							
	M1 Bienenenerhebung abgeschlossen									■						■								
	M2 Vollständiger Datensatz vorhanden																■	■						
WP neu Landschafts- analyse	T1 Landschaftsanalyse für ausgewählte Standorte																				■	■	■	■
WP3 Modellierung	T1 Ermittlung der relevanten Faktoren																							
	M1 Indikatorenentwicklung abgeschlossen																							
	M2 Downscaling-Routines entwickelt																							
	M3 Analysen der Verschiebung der Bienengemeinschaften für ausgewählte Standorte abgeschlossen																							
WP4 Projekt- Management, Publikation, Lenkungs- ausschuss	T1 Projekt Management	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	M1 Workshop mit Lenkungsausschuss																							
	D1 Presentation bei Konferenzen																							
	D2 Publikationen																							
	D3 Öffentlichkeitsarbeit																							

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Wissenschaftliche Publikationen:

Scharnhorst, V.S.; Thierolf, K.; Neumayer, J.; Becsi, B.; Formayer, H.; Lanner, J.; Ockermüller, E.; Mirwald, A.; König, B.; Kriechbaum, M.; Meimberg, H.; Meyer, P.; Rupprecht, C.; Pachinger, B. (2023) Changes in Community Composition and Functional Traits of Bumblebees in an Alpine Ecosystem Relate to Climate Warming. *Biology*, 12, 316.
<https://doi.org/10.3390/biology12020316>

Scharnhorst, V.S.; Hopfenmüller, S.; Schoder, S.; Wallner, W.; Zettel, H.; Wiesbauer, H.; Meyer, P.; Pachinger, B. (2023) *Hylaeus euryscapus* FÖRSTER, 1871 (Hymenoptera, Apiformes) neu für Österreich und weitere Wildbienen-Neufunde für das Burgenland. *Linzer biologische Beiträge* 54/2: 647-661.

Scharnhorst, V.S.; Ockermüller, E.; Becsi, B.; Formayer, H.; Renetzeder, C.; Glaser, M.; Neumayer, J.; Meimberg, H.; Pachinger, B. Shifting Sands of Metacommunity Occupancy: A Century of Collection Work Reveals How Species Loss and Gains Are Tied to Climatic Niches; in *Fertigstellung*

Präsentationen bei wissenschaftlichen Tagungen:

Thierolf, K.; Scharnhorst, V.; Neumayer, J.; Formayer, H.; Mirwald, A.; Becsi, B.; König, B. & Pachinger, B. (2021) The effect of climate warming on bumblebee diversity and community composition along the elevation gradient of the Kalsbach-Valley in East Tyrol: a historical comparison. 50th Annual Conference of the Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland (GfÖ) 2021, mündliche Präsentation online, 30.08-01.09.2021; Abstractband.

Thierolf, K.; Scharnhorst, V.; Neumayer, J.; Formayer, H.; Mirwald, A.; Becsi, B.; König, B.; Meimberg, H.; Pachinger, B. (2021) Die Veränderung der Hummelfauna aufgrund der Klimaerwärmung im Kalsbachtal in Ost-Tirol: ein historischer Vergleich. 87. Internationale Entomologentagung der Entomologischen Arbeitsgemeinschaft, 05.11.2021- 07.11.2021, Linz, Austria

Scharnhorst, V.; Thierolf, K.; Neumayer, J.; Ockermüller, E.; Formayer, H.; König, B.; Becsi, B.; Biella, P.; Dötterl, S.; Meyer, P.; Lanner, J.; Rupprecht, C.; Gaulhofer, F.; Meimberg, H.; Pachinger, B. (2021) A window into the past: how historical wildbee records can help assess warming impacts on diversity and function. 87. Internationale Entomologentagung der Entomologischen Arbeitsgemeinschaft, 05.11.2021-07.11.2021, Linz, Austria

- Scharnhorst, V; Thierolf, K; Neumayer, J; Ockermüller, E; Formayer, H; König, B; Becsi, B; Biella, P; Dötterl, S; Meyer, P; Lanner, J; Rupprecht, C; Gaulhofer, F; Meimberg, H; Pachinger, B, (2022) Evaluating the effects of climate warming on wild bee communities (mündl. Präsentation und Poster) 22. Österreichischer Klima Tag, 20.04.2022-22.04.2022, Wien, Austria
- Scharnhorst, V; Thierolf, K; Neumayer, J; Ockermüller, E; Formayer, H; König, B; Becsi, B; Biella, P; Dötterl, S; Meyer, P; Lanner, J; Rupprecht, C; Gaulhofer, F; Meimberg, H; Pachinger, B, (2022) Effects of climate warming on Austrian wild bee communities and functional traits (mündl. Präsentation) 7th International Symposium for Research in Protected Areas, 07.09.2022-08.09.2022, Wien, Austria
- Scharnhorst, V; Ockermüller, E; Thierolf, K; Neumayer, J; Formayer, H; König, B; Becsi, B; Biella, P; Dötterl, S; Meyer, P; Lanner, J; Rupprecht, C; Gaulhofer, F; Meimberg, H; Pachinger, B, (2022) Composition and functionality of Austrian wild bee communities in the context of climate warming and landscape transformation (mündl. Präsentation) 9TH Congress of Apidology, EURBEE 9, 20.09.2022-22.09.2022, Belgrad, Serbien
- Scharnhorst, V; Ockermüller, E; Thierolf, K; Neumayer, J; Formayer, H; König, B; Becsi, B; Biella, P; Dötterl, S; Meyer, P; Lanner, J; Rupprecht, C; Gaulhofer, F; Meimberg, H; Pachinger, B, (2022) Climate warming and landscape transformation drive composition and functionality of Austrian wild bee communities (mündl. Präsentation) 14. Stuttgarter Hymenopteren-Tagung, 15.10.2022-16.10.2022, Stuttgart, Deutschland
- Gaulhofer, F; Neumayer, J; Scharnhorst, V; Thierolf, K; Kriechbaum, M; Pachinger, B (2022) Die Hummelfauna des Kleinwalsertals in Vorarlberg und ihr Wandel seit mehr als 80 Jahren. 88. Internationale Entomologentagung der Entomologischen Arbeitsgemeinschaft, 04.11.2022-6.11.2022, Linz, Austria
- Hörmann, G; Hainz-Renetzeder, C; Scharnhorst, V; Rupprecht, C; Kerschbaumer-Stöckler, J; Lanner, J; Arnold, V; Fuchs, S; Schoder, S; Becsi, B; Formayer, H; Pachinger, B (2022) Einblicke in die Wiener Wildbienen Vergangenheit: ein Vergleich historischer und rezenter Daten. 88. Internationale Entomologentagung der Entomologischen Arbeitsgemeinschaft, 04.11.2022-6.11.2022, Linz, Austria
- Scharnhorst, V; Ockermüller, E; Thierolf, K; Neumayer, J; Formayer, H; König, B; Becsi, B; Biella, P; Dötterl, S; Meyer, P; Lanner, J; Rupprecht, C; Gaulhofer, F; Meimberg, H; Hainz-Renetzeder, C; Pachinger, B; (2022) 110 years of wild bee research: Linz data provide evidence of climate warming impacts on diversity and function (oral presentation) 88.

Internationale Entomologentagung der Entomologischen Arbeitsgemeinschaft, 04.11.2022-6.11.2022, Linz, Austria

Scharnhorst, V; (2023) Insights from 110 years of Wild Bee Research: Climate Warming and Landuse Change shape diversity and function. Research Symposium of the Department of Integrative Biology and Biodiversity Research at the University of Natural Resources and Life Sciences, 03.03.2023 Vienna, Austria

Scharnhorst, V; Ockermüller, E; Neumayer, J; Formayer, H; König, B; Becsi, B; Hainz-Renetzeder, C; Bauer, C; Biella, P; Dötterl, S; Meyer, P; Rupprecht, C; Thierolf, K; Pachinger, B; (2023) Erkenntnisse aus 110 Jahren Wildbienenforschung: Klimaerwärmung und Landnutzungsänderung beeinflussen Diversität und funktionelle Vielfalt. Kolloquium der Österreichischen Entomologischen Gesellschaft, 25.03.2023, Graz, Austria

Abgeschlossene Masterarbeiten als Teil des Projektes:

Gaulhofer Felix (2023) Die Hummelfauna des Kleinwalsertals in Vorarlberg und ihr Wandel seit mehr als 80 Jahren. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien. Verfügbar unter:
<http://permalink.obvsg.at/bok/AC16969494>

Bauer Christina (2024) Einfluss der landwirtschaftlichen Flächennutzungsänderung auf Wildbienengemeinschaften im Seewinkel- Ein Vergleich historischer und rezenter Luftbilder und Wildbienendaten. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

Hörmann Georg Martin (2024) Die Wildbienenfauna ausgewählter Standorte Wiens im Kontext der Veränderung von Landnutzung und Klima: Ein Vergleich der 1930/40er Jahre und heute. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien. Verfügbar unter:
<http://permalink.obvsg.at/bok/AC17245545>

Laufende wissenschaftliche Abschlussarbeiten als Teil des Projektes:

Victor Sebastian Scharnhorst: Evaluating the effects of climate warming on wild bee communities. Doktorarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

Czernin Karolina: Einfluss von Landnutzungsänderungen und Klimaerwärmung auf die Wildbienengemeinschaften im Großraum Linz. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

Andere Publikationen und öffentliche Medien:

Pachinger, B (2023) Wildbienen im Tullnerfeld – Ein Spiegel der offenen Landschaft. In: Naturschutzbund NÖ (Hrsg.) Fördern wir gemeinsam die Natur im Tullnerfeld, Eigenverlag, Wien: 4-5

Wilde Bienen in Oberösterreich - Wie wirkt sich der Klimawandel auf die Bienen aus? Video anlässlich der Ausstellung „Wild(e) Bienen“ im Sumerauerhof, OÖ (28.04.-27.10.2023);
<https://www.youtube.com/watch?v=GNwN97gI4og>

Boku.university (2024, January 8) Bienenschutz [Instagram-reel]
<https://instagram.com/reel/C16j6x9sZLo/?gsh=MXViaXpoM2Ny0HgwMw=>
=

Ooe.ORF.at (2024, 22. Februar) Bienen kämpfen mit Klimawandel
<https://ooe.orf.at/stories/3245844> Fernsehbeitrag in Oberösterreich heute
<https://tvthek.orf.at/profile/Oberoesterreich-heute/70016/Oberoesterreich-heute-vom-22-02-2024/14214895?meta=suggestion&query=Ober&pos=1>

Pachinger, B (2024) Wildbienen im Fokus – Vom Underdog zum begehrten Schutzobjekt. BOKU Magazin 1/2024: 30-31.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.