

Methodische Entwicklungen für die Umsetzung eines nationalen Wildbienen-Monitorings in Agrarlandschaften

- Fazit nach 5-Jahren Pilotphase

Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften

Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften /Thünen-Institut für Biodiversität

Braunschweig/Germany, April 2025

Vorwort

Vor dem Hintergrund der Biodiversitätskrise und gleichzeitiger fehlender Datengrundlage in Agrarlandschaften, beauftragte das BMEL die Ressortforschungseinrichtungen Thünen-Institut, Julius Kühn-Institut, sowie die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung damit, ein Biodiversitätsmonitoring speziell in deutschen Agrarlandschaften zu konzipieren und umzusetzen. Mit MonViA – dem bundesweiten Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften wurde die Erarbeitung des Monitoringprogramm als Verbundprojekt gestartet. In der 5-jährigen Pilotphase von MonViA (2019-2023) wurden Monitoringkonzepte und Indikatoren spezifisch für die biologische Vielfalt in den Agrarlandschaften (Landschaftsvielfalt, Organismenvielfalt, genetische Vielfalt) entwickelt. Innerhalb der Organismenvielfalt wurde am Thünen-Institut unter anderem das Modul Wildbienen verankert und das Projekt Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften entwickelt. Wildbienen sind aufgrund ihrer Bestäubungsleistung von besonderer ökologischer und ökonomischer Bedeutung in Agrarökosystemen.

Alle konzeptionellen Grundlagen wurden im Zeitraum 2019-2023 durch das Team des Wildbienen-Monitorings (Dieker et al., 2022, 2023) anhand der Roadmap von Reynolds et al. (2016) entwickelt. Mit Abschluss der Pilotphase soll im Folgenden der erarbeitete Entwicklungsstand der methodischen Grundlagen beschrieben werden (Stand April 2024).

Das zentrale Element des Wildbienen-Monitorings ist der modulare Aufbau, der es ermöglicht verschiedenen Fokus-Artengruppen (z. B. hohlraumnistende Wildbienen, Hummeln) getrennt voneinander, aber anhand des gleichen Stichprogendesigns zu erfassen. Des Weiteren fokussiert sich das Monitoring auf bestandsschonende und innovative Erfassungsmethoden, sowie die Einbindung von interessierten Bürgerinnen und Bürgern (Citizen Science) in das Monitoring.

Die methodischen Ansätze befinden sich auf unterschiedlichen Entwicklungsständen und werden kontinuierlich weiterentwickelt. Aktuell befindet sich das Wildbienen-Monitoring in der MonViA-Umsetzungsphase (2024-2029) und es werden vorrangig die Entwicklungsstände „Idee“ bis „Evaluation“ abgedeckt. Gerade die beiden Citizen Science Module Hummeln und hohlraumnistende Wildbienen werden in der nun anstehenden Projektphase wissenschaftlich evaluiert. Jedes Modul, inkl. optionaler Erweiterungen und möglicher Weiterentwicklungen sollen hiermit der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Um den Leser*innen einen besseren Einblick in den jeweiligen Status zu geben, wird mit Hilfe eines Fortschrittsbarometers dargestellt (**Abbildung 1.1**). Aktualisierungen werden fortlaufend auf der Projektwebseite (<https://wildbienen.thuenen.de/>) zur Verfügung gestellt.

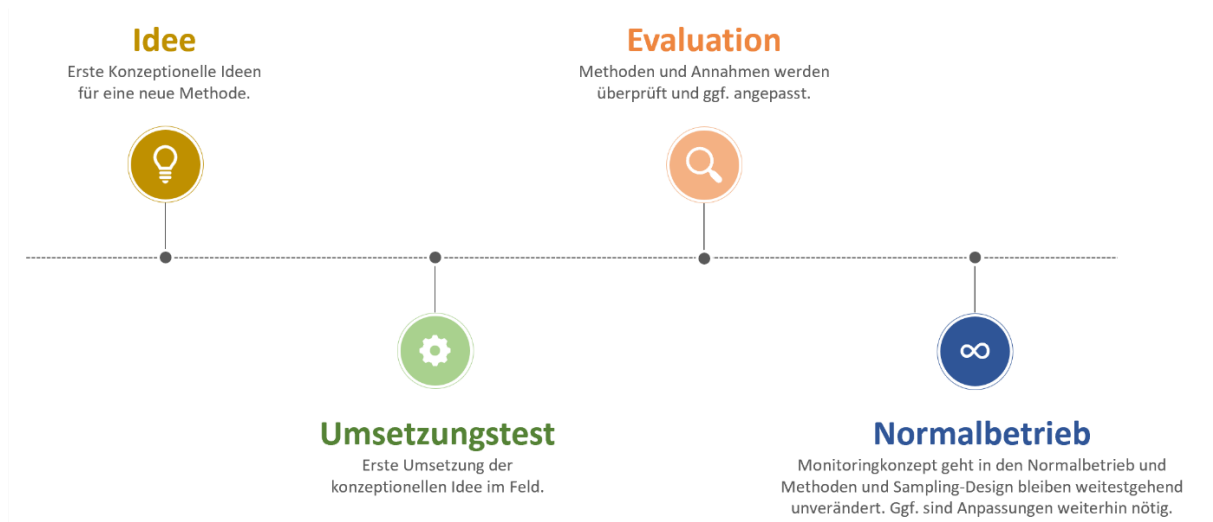


Abbildung 1.1: Entwicklungsbarometer – von der Idee zum Normalbetrieb, [Abbildung: Wildbienen-Team/Thünen-Institut].

Zusammenfassung

Wildbienen sind zusammen mit Honigbienen die wichtigsten Bestäuber in der Agrarlandschaft und spielen eine zentrale Rolle für die Vielfalt von Wild- und Nutzpflanzen. Die über Jahrhunderte in Mitteleuropa gewachsene Agrarlandschaft bietet mit ihrem Struktur- und Blütenreichtum, Lebensraum für eine große Wildbienenendiversität. Unter den fast 600 in Deutschland heimischen Wildbienenarten herrscht eine große Vielfalt an Lebensweisen. Dies spiegelt sich in unterschiedlichen Habitatsprüchen hinsichtlich Blütenressourcen als Nahrungspflanzen, Nistplätzen (z. B. Offenboden, Hohlräume, Totholz) und Nistmaterialien wider. Diese Vielfalt an Lebensräumen ist entscheidend, da Wildbienen auf ein ausreichendes Angebot an Blüten und geeigneten Nistplätzen angewiesen sind. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts haben Veränderungen in der Landnutzung jedoch dazu geführt, dass die Biodiversität, insbesondere die Insektenvielfalt, deutlich abnimmt. Hauptursachen sind die Intensivierung der Landwirtschaft, die damit einhergehende Fragmentierung von Lebensräumen sowie die Belastung durch Pflanzenschutz- und Düngemittel. Auch der Klimawandel und die Ausbreitung invasiver Arten beeinträchtigen die Wildbienenpopulationen zusätzlich. Höhere Temperaturen und veränderte Niederschlagsmuster beeinflussen das Blühangebot und die Lebenszyklen der Wildbienen. Trotz dieser negativen Entwicklungen fehlen belastbare Daten zum Zustand und zu den Trends der Wildbienenpopulationen in Deutschland. Um den Rückgang der Bestäuber zu stoppen, wurden auf nationaler und internationaler Ebene verschiedene Schutzprogramme und Strategien entwickelt. Dazu gehören die europäische Bestäuberinitiative, das nationale Aktionsprogramm Insektenschutz und der globale Biodiversitätsrahmen. Ein zentrales Element dieser Programme ist die Verbesserung des Monitorings, um Wissenslücken zu schließen und die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen bewerten zu können. Die Bedeutung von Bestäubern für die Agrarlandschaft und die damit verbundenen Ökosystemleistungen wird zunehmend anerkannt, sodass der Schutz von Bestäubern in politischen Entscheidungen eine größere Rolle spielt.

Das Thünen-Institut für Biodiversität hat ein Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften für Deutschland entwickelt. Ziel ist es, unter Einbeziehung der Gesellschaft eine wissenschaftliche Datengrundlage zum Zustand und zur Entwicklung von Wildbienenpopulationen in der Agrarlandschaft zu schaffen. Das Monitoring erfolgt im Rahmen von Citizen Science, bei dem eine große Zahl Ehrenamtlicher beteiligt ist. Dies ermöglicht eine breite räumliche und zeitliche Abdeckung. Geplant sind 950 Untersuchungsflächen mit einem Mindestanteil von 30 % landwirtschaftlicher Fläche. Die systematische Erfassung ermöglicht es, jährliche Rückgänge von drei Prozent bei hohlraumnistenden Wildbienen (Artenvielfalt) und Hummeln (Individuenzahl) nachzuweisen. Die Beteiligung der Bevölkerung schafft nicht nur ein größeres Bewusstsein für die Bedeutung von Bestäubern, sondern fördert auch die Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Naturschutz.

Im Monitoring hohlraumnistender Wildbienen werden standardisierte Nisthilfen verwendet, welche durch Ehrenamtliche regelmäßig fotografiert und damit die Anzahl der Wildbientaxa dokumentiert werden. Molekularbiologische Analysen liefern zusätzliche Informationen zu trophischen Interaktionen, genetischer Vielfalt und den verwendeten Nestbaumaterialien. Dies ermöglicht es, Rückschlüsse auf die umliegende Agrarlandschaft und die dort vorhandenen Ressourcen zu ziehen. Das Hummel-Monitoring basiert auf monatlichen Transektgängen, bei denen Ehrenamtliche Hummeln an Nist- und Nahrungsressourcen fotografisch erfassen. Das Monitoring des Gesamtartenspektrum soll perspektivisch den Citizen Science Ansatz durch Expert*innen-Erfassungen ergänzen, befindet sich allerdings noch in der Entwicklung.

Die gewonnenen Daten sollen zu anderen Biodiversitätsmonitoringprogrammen beitragen, z. B. zum europäischen Bestäubermonitoring (EU PoMS). Die erhobenen Zustandsindikatoren ermöglichen Aussagen über die Diversität von Wildbienen und Hummeln in der Agrarlandschaft und können helfen, die Wirkung von Schutzmaßnahmen zu bewerten. Zusätzlich einbezogene Daten zur Landnutzung und Landbedeckung liefern Belastungsindikatoren, die Veränderungen der Treiber auf Habitat- und Landschaftsebene anzeigen.

Die Daten des Wildbienen-Monitoring liefern wichtige Erkenntnisse für die langfristige Sicherung der Bestäuberpopulationen und damit für die Stabilität der landwirtschaftlichen Erträge. Dieser umfassende Ansatz schafft eine dringend benötigte Datengrundlage, um die Bestäuber in der Agrarlandschaft gezielt zu schützen.

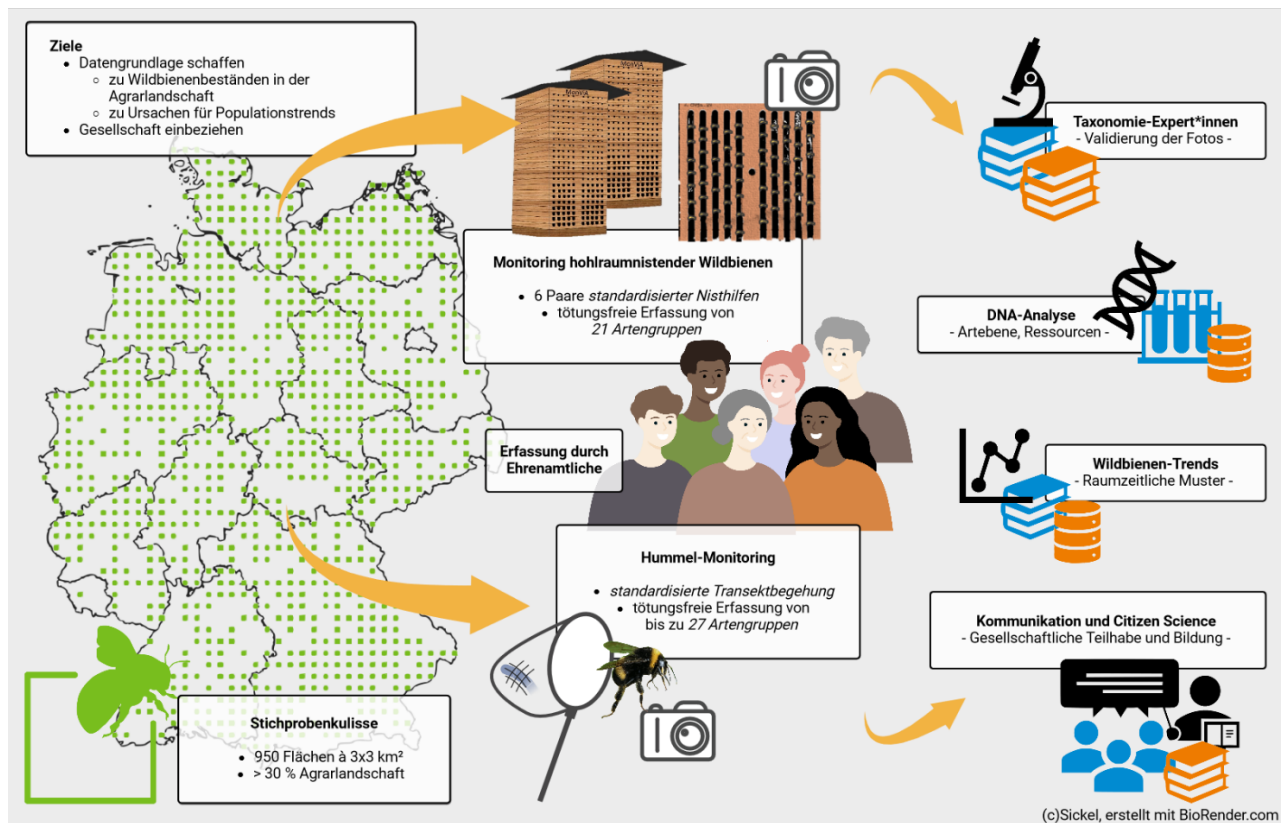
und zu fördern. Das Monitoring sensibilisiert die Bevölkerung für die Bedeutung von Bestäubern und trägt zur Vernetzung von Akteuren aus Landwirtschaft und Naturschutz bei.

Keywords: Agrarökosysteme, bestandsschonende Erfassung, Bestäuber, Biodiversitätstrends, Citizen Science, eDNA/Umwelt-DNA, LUCAS-Grid, Nisthilfen, Transekt, Ressourcennutzung, Bestäubungsleistung, Wissenschaftskommunikation

English Summary

Wild bees are of particular ecological and economic importance in agricultural ecosystems due to their pollination services, but their populations are declining worldwide. Although agriculture is a main land cover type in Germany and farming practices are among the major impact factors on wild bees, standardized, reliable data on wild bee populations in agricultural landscapes are lacking. The present document describes the theoretical foundation of a nationwide wild bee monitoring scheme in agricultural landscapes developed at the Thünen Institute of Biodiversity. The monitoring consists of different components that focus on surveying i) cavity-nesting wild bees using standardized nesting aids and ii) bumblebees through repeated transect walks and which in the future will be complemented by surveys assessing the entirety of wild bee species (in development). The components are designed to be population friendly and can be carried out by trained volunteers (citizen scientists) with additional DNA-based analyses. Therefore, the document also outlines the requirements for efficient coordination and targeted communication within the monitoring framework. The sampling set used for both modules is based on a subset of the European Land Use/Land Cover Area Frame Survey (LUCAS) grid and allows the detection of a three percent population change in the considered wild bee groups per year with high probability. Thus, the wild bee monitoring scheme can significantly contribute to an urgently needed database on spatial patterns and temporal trends of wild bee populations in the agricultural landscapes of Germany. The state indicators derived from the data, including diversity, abundance, and vitality of wild bees, provide representative information on wild bee populations. Interpretation of these indicators is supported by pressure indicators presented in the concept, indicating changes in wild bee habitats at landscape levels. Additionally, the methods established and data collected as part of the monitoring can be utilized for programmes aimed at assessing pollinators at the European level.

Grafische Zusammenfassung



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Zusammenfassung	3
English Summary	5
Grafische Zusammenfassung	6
Inhaltsverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	10
1 Einleitung	11
1.1 Verlust der biologischen Vielfalt	11
1.2 Effekte des Landnutzungswandels auf die biologische Vielfalt	11
1.3 Bedeutung der biologischen Vielfalt für den Menschen	12
1.4 Wildbienen – Ökologie, Vorkommen und Verbreitung	12
2 Ziel des Wildbienen-Monitorings in Agrarlandschaften	15
3 Design des Monitorings und Stichprobenauswahl	17
3.1 Räumliche und zeitliche Aspekte des Monitorings	17
3.1.1 Umweltfaktoren	17
3.1.2 Räumlich und zeitlich differenziertes Monitoring	17
3.2 Erhebungsdesign	19
3.2.1 Räumliche Sampling-Einheiten in der Grundgesamtheit	19
3.2.2 Abgrenzung der Agrarlandschaft	20
3.2.3 Festlegung der allgemeinen Strategie für die Stichprobenauswahl	22
3.2.4 Bestimmung der Stichprobengröße	23
3.2.5 Stichprobenauswahl	25
3.3 Festlegung der Nisthilfe-Standorte und Hummel-Transekte	27
4 Monitoring hohlraumnistender Wildbienen in Nisthilfen	29
4.1 Erfassungsmethoden	29
4.1.1 Nisthilfe-Standorte und zeitlicher Ablauf der Datenerhebung	29
4.1.2 Aufbau einer standardisierten Nisthilfe	31
4.1.3 Artbestimmung via eDNA-Analyse	33
4.1.4 Analyse von Nahrungsressourcen und Nistmaterial	34
4.2 Besonderheiten des Nisthilfe-Monitorings	35
4.3 Indikatoren	37
4.3.1 Zustandsindikatoren	37
4.3.2 Belastungsindikatoren	37
5 Hummel-Monitoring	39
5.1 Erfassungsmethoden	39
5.1.1 Transekt-Design	40
5.1.2 Transektbegehung	41
5.1.3 Bestimmung der Hummeln im Gelände und anhand der Belegfotos	42

5.1.4	Optional: Molekularbiologische Erfassungsansätze zur Auflösung von Artkomplexen und zur Identifizierung von Pollenquellen	43
5.2	Besonderheiten des Hummel-Monitorings	46
5.3	Indikatoren	47
5.3.1	Zustandsindikatoren	47
5.3.2	Belastungsindikatoren	47
5.4	Hummel-Challenge	49
6	Gesamtartenmonitoring für Wildbienen	49
7	Koordination und Kommunikation im Citizen Science-basierten Monitoring	50
7.1	Citizen Science im Biodiversitäts-Monitoring	50
7.2	Koordinative Kommunikation	51
7.2.1	Organisatorische Begleitung der Ehrenamtlichen	51
7.2.2	Bildungsangebot und Schulung von Ehrenamtlichen	52
7.2.3	Netzwerkarbeit und Datenschutz	53
7.3	Strategische Kommunikation	53
7.3.1	Ziele und Zielgruppen	54
7.3.2	Kommunikationskanäle und Evaluation	55
8	Datenmanagement	56
9	Synergien mit anderen Monitoringaktivitäten	57
10	Fazit	58
	Literaturverzeichnis	59
11	Anhang	72

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1.1: Entwicklungsbarometer – von der Idee zum Normalbetrieb, [Abbildung: Sophie Ogan].</i>	.....	Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abbildung 3.1: Umwelteinflüsse auf Wildbienen und ihre Habitate, verändert nach Hellwig et al., 2022.	.....	17
Abbildung 3.2: Landschaftsfenster als Sampling-Einheit. Kartengrundlage: DOP20 (BKG), verändert nach Hellwig et al. (2024).	.....	20
Abbildung 3.3: Anzahl an LUCAS-Gitterpunkten in der Agrarlandschaft gemäß Schwellenwerten für die jeweiligen 3x3 km²- und 1x1 km²-Landschaftsfenster, [Abbildung: Niels Hellwig].	.....	21
Abbildung 3.4: Vorausgewählte LUCAS-Gitterpunkte anhand des Schwellenwertes von 30 % Agrarlandschaft in den jeweiligen 3x3 km²- und 1x1 km²-Landschaftsfenstern, [Abbildung: Niels Hellwig].	.....	22
Abbildung 3.5: Ergebnisse der Poweranalysen für einen 3 %-igen Rückgang der Artenzahl an Wildbienen in Nisthilfen pro Zeitintervall. Dargestellt ist die Abhängigkeit von der Varianz der Artenzahlen zwischen den Landschaftsfenstern (basierend auf 200 GLMM- Simulationsläufen). Als mittlerer Erwartungswert werden 15 Arten an Wildbienen in den Nisthilfen pro Landschaftsfenster angenommen, verändert nach Hellwig et al., 2024.	.....	24
Abbildung 3.6: Ergebnisse der Poweranalysen für einen 3 %-igen Rückgang der Individuenzahl an Hummeln pro Zeitintervall. Dargestellt ist die Abhängigkeit vom Erwartungswert der Individuenzahl pro Landschaftsfenster sowie der Varianz der Individuenzahlen zwischen den Landschaftsfenstern (basierend auf 200 GLMM- Simulationsläufen), [Abbildung: Niels Hellwig].	.....	25
Abbildung 3.7: Zielkulisse für das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften. Kartengrundlage: DTK25 (BKG), verändert nach Hellwig et al., 2024.	.....	26
Abbildung 3.8: Beispiel für die Lage von sechs Nisthilfe-Standorten (A-F, gelbe Kreise) und des Hummeltransektes (zehn Abschnitte in rot-gelber Markierung) im Landschaftsfenster Kreischa (ID 45843100). Der orange Rahmen markiert das 3x3 km²-Landschaftsfenster für die Suche nach Nisthilfe-Standorten, der blaue Rahmen bildet das 1x1 km²-Fenster, in dem sich der Transekt fürs Hummel-Monitoring befindet. Kartengrundlage: Digitale Orthophotos DOP20 (BKG), [Abbildung: Niels Hellwig].	.....	28
Abbildung 4.1: Beispiel für die Fotodokumentation von Nisthilfe-Brettchen. Anhand von charakteristischen Merkmalen der Kokons, Larven, Larvennahrung und Brutzellenmaterial können Arten oder taxonomische Gruppen von Wildbienen bestimmt werden. Auch parasitierte Brutzellen können erkannt werden [Fotos: Lara Lindermann].	.....	30
Abbildung 4.2: Darstellung des zeitlichen Ablaufs der standardisierten repräsentativen Rohdatenerhebung im Feld. Die Fotodokumentation der besiedelten Brettchen findet bei jeder Nisthilfe Ende September des ersten Erhebungsjahres statt. Im zweiten Jahr erfolgt der Schlupf aller Tiere durch die Ausflugsvorrichtung. Nachdem alle Tiere ausgeschlüpft sind, wird die eDNA-Probenahme durchgeführt, [Abbildung: Leonie Lakemann].	.....	31
Abbildung 4.3: Aufbau einer standardisierten Nisthilfe, verändert nach Lindermann et al., 2024.	.....	32
Abbildung 4.4: Schematische Darstellung des eDNA-Workflows im Monitoring hohlraumnistender Wildbienen. Die Beprobung der einzelnen Brettchen erfolgt durch Ehrenamtliche. Die Mischproben mit organischem Material werden im DNA-Labor gemahlen und langfristig im Probenarchiv gelagert. Eine Teilmenge der Proben durchläuft dann den gesamten DNA-Analyseprozess durchläuft, inklusive DNA-Extraktion, PCR (tierische und pflanzliche Marker), Hochdurchsatzsequenzierung und taxonomische Klassifizierung. Die Analyse der pflanzlichen Marker wird im nachfolgenden Kapitel 4.1.4 beschrieben, [Abbildung: Wiebke Sickel].	.....	34

Abbildung 4.5: Die standardisierte Nisthilfe als Datenquelle. Daten werden (1) über das Fotografieren der Nisthilfe-Brettchen durch Ehrenamtliche erhoben sowie (2) durch einen molekularbiologischen Ansatz, welcher anhand der nach dem Schlupf der Tiere verbliebenen Nistmaterials durchgeführt werden kann, [Abbildung Nisthilfe: verändert nach Lindermann et al, 2024; Fotos: Lara Lindermann]. 36

Abbildung 5.1: Beispiele für Transekte. In: A einer von Ackerland (gelbe Schattierung) dominierten Landschaft; B einem von Grünland (hellgrün) dominierten Landschaftsfenster; C einer mit Sonderkulturen (Streuobstwiesen, dunkelgrün) bewirtschafteten Agrarlandschaft. Kartengrundlage: Digitale Orthophotos DOP20 (BKG), Basis-DLM; BKG, 2022). 40

Abbildung 5.2: Abschnittsweise Transektbegehung. Links: Ein Hummel-Transekt führt durch Agrarlandschaft. Rechts: Jeder Transekt-Abschnitt (5 m x 50 m) wird 5 Minuten lang ressourcenorientiert nach Hummeln abgesucht. Kartengrundlage: Digitale Orthophotos DOP20 (BKG). 42

Abbildung 5.3: Fotodokumentation von Hummeln im Beobachtungswürfel. I - Beobachtungswürfel mit Schaumstoffstopfen; II - Belegfotos eines Männchens des *B. terrestris* agg. im Beobachtungswürfel. Aufnahmen vom a) gesamten Tier, b) dem Gesicht und c) von der Seite, sowie d) eine Gesamtaufnahme des Würfels, [Fotos: D. Gottschalk (a, d) und A. Walter (b, c)]. 42

Abbildung 5.4: Indikatoren und weitere Messgrößen, die sich aus dem Hummel-Monitoring ableiten lassen. Die Interaktionen der Hummeln mit Blütenpflanzen werden direkt im Gelände erfasst. Als ein Maß für Vitalität wird der Befall von Milben anhand der Belegfotos abgeleitet. Weitere Erläuterungen im Text, [Abbildung: Frank Sommerlandt]. 48

Abbildung 11.1: Entity-Relationship-Diagramm des relationalen Datenbankmanagementsystems für das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften (ohne Gesamtartenerfassung), [Abbildung: Niels Hellwig] 74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Verteilung der Landschaftsfenster pro Bundesland (Zuordnung gemäß dem LUCAS-Gitterpunkt im Zentrum eines jeweiligen Landschaftsfensters). 26

Tabelle 11.1: Wildbienenarten, die bereits in künstlichen Nisthilfen nachgewiesen wurden (Lindermann et al. 2023) und ihre Gefährdungseinstufung nach der Roten Liste (Westrich et al., 2012) (* = ungefährdet; V = Vorwarnliste; G = Gefährdung unbekannten Ausmaßes; 3 = gefährdet; 2 = stark gefährdet; 1 = vom Aussterben bedroht; . = Nachweis noch nicht in Roter Liste berücksichtigt). Die römischen Zahlen fassen Arten zu taxonomischen Einheiten zusammen, welche anhand morphologischer Merkmale der Brutzellen nicht auf Artniveau aufgelöst werden können. 72

Tabelle 11.2: Liste der anhand morphologischer Merkmale unterscheidbaren Arten und Artkomplexe (fett). Bei Aggregaten sind direkt unter der Aggregatbezeichnung die zusammengefassten Arten aufgeführt. Teilweise lassen sich jeweils nur eines der Geschlechter auf Artniveau ansprechen, während das andere Geschlecht in einem Aggregat zusammengefasst wird; agg. = Aggregat, m = Männchen, w = Weibchen. 73

1 Einleitung

1.1 Verlust der biologischen Vielfalt

Die Bedeutung von biologischer Vielfalt für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung der Menschheit ist international ratifiziert, ebenso wie die Erkenntnis, dass der Druck auf die Ökosysteme durch das menschliche Handeln nie größer war (United Nations, 1992). Verschiedenste Studien belegen den dramatischen Verlust der globalen biologischen Vielfalt in den letzten Dekaden (z. B. Newbold et al., 2015, Dirzo und Raven, 2003). Eine aktuelle Studie schätzt, dass der globale Rückgang terrestrischer Insekten fast 9 % pro Jahrzehnt beträgt (van Klink et al., 2020). Als einer der vorrangigen Treiber wird die Veränderung der Landnutzung angeführt, was sich aus unterschiedlichen regionalen und lokalen Studien in Agrarlandschaften für Artengruppen wie Agrarvögel (Jerrentrup et al., 2017, Busch et al., 2020; Kamp et al., 2021), Pflanzen (Wesche et al., 2012; Meyer et al., 2013) und verschiedene Insektengruppen (Homburg et al., 2019; Uhler et al., 2021; Habel et al., 2022) ableiten lässt.

Spätestens seit der sogenannten „Krefelder-Studie“ hat die Debatte über den Artenverlust, speziell Insekten, Einzug in die breite Öffentlichkeit in Deutschland gefunden (Felgentreff et al. 2023; Hallmann et al., 2017). Denn auch hierzulande konnte der Rückgang von Bestäuberinsekten seit Ende des 20. Jahrhunderts nachgewiesen werden (Wildbienen: Kearns et al., 1998; Schmetterlinge: Habel et al., 2019). Besonders betroffen sind spezialisierte Arten, oft bedingt durch eine geringe Mobilität und eine enge Bindung an spezielle Nahrungs- und Nistressourcen (Biesmeijer et al., 2006). Diese Arten sind jedoch kritisch für die Stabilität der Ökosysteme, unsere Nahrungsmittelversorgung und die Funktionalität der trophischen Nahrungsnetze (Genung et al., 2023; Ramos-Jiliberto et al., 2020). Trotz zunehmender Evidenz für den Verlust der biologischen Vielfalt und dem steigenden Druck der Öffentlichkeit reicht die aktuelle Datengrundlage nicht aus, um gesicherte und wissenschaftlich belastbare Trends für Arten ableiten zu können, ebenso wie für die Einflussgrößen bzw. Wirksamkeit von Maßnahmen (Hochkirch et al., 2021). Um diesem Defizit begegnen zu können, wurden die ersten Konzepte für ein Biodiversitätsmonitoring veröffentlicht (Dauber et al., 2016).

1.2 Effekte des Landnutzungswandels auf die biologische Vielfalt

In Deutschland werden ca. 50 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt (Statistisches Bundesamt, 2023), wodurch der Landwirtschaft allein aufgrund des Flächenanteils eine wichtige Rolle beim Schutz der Biodiversität zukommt. Die Struktur der Agrarlandschaft, die Vielfalt der Landnutzungsformen sowie die Bewirtschaftungsintensität stellen aktuell viele Organismen vor eine große Herausforderung (Firbank et al., 2008). Daher gilt die moderne Landnutzung, neben z. B. dem Klimawandel, der Urbanisierung und der Industrie als einer der Treiber für den Verlust der Artenvielfalt (Wagner et al., 2021).

Seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert und insbesondere nach dem Zweiten Weltkrieg hat sich die Landnutzung in Deutschland und Europa tiefgreifend gewandelt (Ellenberg und Leuschner, 2010; Poschlod, 2017). Der maßgebliche Treiber für die Veränderung nach dem Zweiten Weltkrieg war die Einführung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP bzw. engl. CAP). Diese hatte zum Ziel, den sich in einem kritischen Zustand befindlichen Versorgungsstand der Bevölkerung abzusichern.

Die GAP ist das größte Subventionsprogramm der Europäischen Union für den Landwirtschaftssektor, dessen Ziele sich in den letzten 30 Jahren von Produktionssteigerung, Ernährungssicherheit und Marktstabilität hin zu Klima- und Biodiversitätsschutz erweitert haben. Getrieben durch die Maßnahmen aus der GAP haben jedoch zwei gegenläufige Prozesse die strukturellen Veränderungen in der deutschen Agrarlandschaft maßgeblich geprägt: auf der einen Seite die Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung, die mit einer großflächigen Flurbereinigung einherging (Jepsen et al., 2015); auf der anderen Seite wurden Flächen mit geringem Ertragspotential aufgegeben.

Im Zuge dessen kam es zu strukturellen, für die biologische Vielfalt relevante Veränderungen in der Ausgestaltung der Agrarlandschaft. Beispielsweise wurden Kleinstrukturen wie Hecken und Säume im Zuge der Zusammenlegung kleinerer Flächen aus der Agrarlandschaft entfernt, um eine effiziente Bewirtschaftung zu ermöglichen. Parallel zur Intensivierung der Landnutzung kam es in Deutschland zur Nutzungsaufgabe, vorrangig aus Produktivitäts- und Ertragsgründen (Niedertscheider et al., 2014; Feindt et al., 2019). Ohne weitere Nutzung durchliefen solche Flächen die verschiedenen Stufen der Sukzession und verloren in Folge den Charakter von offenen Kulturlandschaften. Verschiedene Studien der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass eine extensive Nutzung förderlich für die biologische Vielfalt ist und die Artenzahl von zum Beispiel Feldvögeln, Tagfaltern, Heuschrecken und auch Wildbienen erhöhen kann (Haber, 1996; Buchgraber et al., 2010; Eckarter et al., 2022).

1.3 Bedeutung der biologischen Vielfalt für den Menschen

Die biologische Vielfalt ist von essenzieller Bedeutung für die Funktionalität von Ökosystemen, darunter auch für solche im landwirtschaftlichen Kontext. Dabei sind Bestäuber besonders hervorzuheben, die in landwirtschaftlich genutzten Ökosystemen wichtige Funktionen erfüllen, und damit im weiteren Sinne auch für die menschliche Gesundheit und wirtschaftliche Leistungen von großer Bedeutung sind (Abrol, 2012).

Etwa 75 % der weltweit wichtigsten Kulturpflanzenarten in Agrarlandschaften sind direkt von biotischer Bestäubung abhängig und/oder weisen durch sie einen erhöhten Frucht- oder Samenansatz auf. Kulturpflanzen, deren Produktion durch Bestäubung begünstigt wird, tragen 35 % zur globalen Nahrungsproduktion bei (Klein et al., 2007). Der damit verbundene ökonomische Wert der Bestäubungsleistung, welcher in der EU auf 14,6 [±3,3] Milliarden EUR geschätzt wird, macht damit etwa 12 % des Gesamtwertes der weltweiten jährlichen Nahrungsmittelproduktion aus (Leonhardt et al., 2013).

Bienen sind neben Motten und Fliegen die wichtigsten Bestäuber für Wild- und Kulturpflanzen (Klein et al., 2007; Winfree et al., 2007; Symank et al., 2008; Hahn und Brühl, 2016). Sie sind äußerst verlässlich, da sie für die Deckung ihres eigenen Nährstoffbedarfs und den ihrer Nachkommen kontinuierlich auf der Suche nach Nahrungsressourcen, also blühenden Pflanzen, sind (Kearns et al., 1998). Dabei besuchen sie mehr als 90 % der weltweit führenden ernährenden Kulturpflanzenarten (Klein et al., 2007) und decken den gesamten Landnutzungsgradienten ab (Winfree et al., 2007).

1.4 Wildbienen – Ökologie, Vorkommen und Verbreitung

Wildbienen sind mit mehr als 600 in Deutschland nachgewiesenen Arten eine sehr vielfältige Artengruppe (Scheuchl et al., 2023). Es wird vermutet, dass Wildbienen in Deutschland, ebenso wie andere Artengruppen, negative Bestandstrends aufweisen (Schwenninger und Scheuchl, 2016). Jedoch ist die Datenlage aus Deutschland sehr lückenhaft, sodass sich diese Vermutung bislang nicht auf eine ausreichend belastbare Datengrundlage stützt.

Wildbienen sind mit einigen Ausnahmen Offenlandbewohner, weshalb ihr Vorkommen stark durch agrarwirtschaftliche Landnutzung und -management beeinflusst wird. Die bereits beschriebenen Veränderungen der Ausgestaltung der Agrarlandschaft, vor allem jedoch das Fehlen geeigneter Habitate und Nahrungspflanzen sowie geeigneter Paarungsstellen und Überwinterungsquartiere gilt als ursächlich für den Rückgang von Wildbienen in Agrarlandschaften (Winfree et al., 2009; Scheper et al., 2014; Koh et al., 2016). Vielmehr ist es aber nicht nur das Vorhandensein der Ressourcen, sondern auch deren Kontinuität über die Vegetationsperiode hinweg, welche über das Vorkommen von Wildbienen entscheidet (Kearns et al., 1998; Potts et al., 2010; Schindler et al., 2013). Vor allem solche Arten, die erst später im Jahresverlauf auftreten, haben mit limitierten Ressourcen zu kämpfen, da Massentrachten wie Raps und Obstblüte bereits vergangen, gleichzeitig sind

Grasflächen und Feldränder in der Regel gemäht (Scheper et al., 2014; Balfour et al., 2018). Darüber hinaus gehören etwa 35 % der Wildbienen Mitteleuropas zu den oligolektischen Arten, die auf den Pollen bestimmter Pflanzenarten bzw. Pflanzengruppen angewiesen sind (Zurbuchen und Müller, 2012).

Wildbienen weisen eine vergleichsweise enge ökologische Nische auf und haben hohe Ansprüche an die Landschaft in Bezug auf das Vorkommen von Brutplätzen und Nahrungsressourcen. Des Weiteren haben Wildbienen je nach Art und Körpergröße unterschiedliche Aktivitätsradien aufweisen. Sie legen zwischen Nahrungs- und Nistressourcen zum Teil nur wenige hundert Meter (kleine solitäre Arten) bis hin zu mehreren Kilometern (z. B. Hummeln) zurück. Sie können daher als Indikatoren für den Zustand der biologischen Vielfalt, sowie für die Bewertung von Umweltauswirkungen in Agrarlandschaften fungieren (Zurbuchen et al., 2010; Westrich, 2019).

Bislang gibt es kein flächendeckendes Wildbienen-Monitoring, welches Veränderungen in der Landnutzung (sowie den Klimawandel) mit der Entwicklung von Wildbienenpopulationen in Beziehung setzen lässt und die Auswirkungen nationaler und europäischer agrarpolitischer Strategien auf Wildbienen erfasst (siehe Box 1). Bisherige Erfassungen wurden meist im Rahmen von Projekten über kurze Zeiträume und mit voneinander abweichenden methodischen Ansätzen durchgeführt, wodurch eine Vergleichbarkeit der Daten erschwert ist. Im Rahmen der europäischen Wiederherstellungsverordnung (European Commission, 2024) muss jeder Mitgliedsstaat jedoch ab 2030 über seine Bestäuberpopulationen berichten. Deutschland hat hier die Chance, als Vorreiter schon jetzt mit dem Monitoring der Bestäuber (inkl. Wildbienen) zu beginnen. Wie ein solches Monitoring in Agrarlandschaften unter der Einbindung von Ehrenamtlichen (Citizen Science) aussehen kann, wird im Folgenden dargestellt.

Box 1: Aktuelle Monitoringaktivitäten in Deutschland

Bisher wird im Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“, welcher als Schlüsselindikator für die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt dient, die Artenvielfalt aus der Bestandsentwicklung von 51 ausgewählten Vogelarten berechnet (BMU, 2021; BMUV, 2023). Aus diesem Grund ist das Monitoring häufiger Brutvögel (Busch et al., 2020, 2022) derzeit eines der größten Monitoring-Programme in Deutschland. Durch das seit 2005 laufende Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD; Musche et al., 2020) ist ein kleiner Teil der Insekten bereits überwacht, während es für andere wichtige Artengruppen mit Indikatorfunktion noch große Lücken zu schließen gilt.

Im Rahmen des Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Monitorings (Richtlinie 92/43/EWG 1992 der Europäischen Union) sind die Mitgliedstaaten zur Überwachung der Lebensraumtypen und Arten verpflichtet, zu denen Moose und Flechten, Gefäßpflanzen, Mollusken, Libellen, Käfer, Schmetterlinge, Amphibien und Reptilien, Säugetiere, Fische, Rundmäuler und sonstige Arten (z. B. Krebstiere) zählen. Im Ökosystem-Monitoring (ehemals HNV-Farmland-Monitoring) wird der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union entwickelte HNV-Farmland-Indikator berichtet, welcher ein Maß für die Pflanzenvielfalt darstellt. Das vom Bundesamt für Naturschutz vorgestellte Ökosystem-Monitoring (Ackermann et al., 2020) soll zukünftig bereits bestehende Monitoring-Programme wie das [Monitoring der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert](#) und das Monitoring häufiger Brutvögel vereinen und Wissenslücken mit zusätzlichen Aktivitäten wie dem Insektenmonitoring (Bundesamt für Naturschutz, 2023) ergänzen.

Angestoßen durch die breite öffentliche Diskussion um das Insektensterben wurde 2019 das durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderte Verbundprojekt *Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften* (MonViA) der beiden Ressortforschungseinrichtungen Thünen-Institut (TI) Julius Kühn-Institut (JKI) sowie der Bundesanstalt für Ernährung und Landwirtschaft (BLE) ins Leben gerufen. Im Rahmen der fünfjährigen Pilotphase (2019-2023) wurden zahlreiche Module aus den Bereichen Lebensraumvielfalt, Organismenvielfalt und genetische Vielfalt konzipiert (MonViA, 2024). Das *Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften* (wildbienen.thuenen.de) wurde am Thünen-Institut für Biodiversität entwickelt und seit 2021 testweise umgesetzt.

2 Ziel des Wildbienen-Monitorings in Agrarlandschaften

Ziel des Wildbienen-Monitorings in Agrarlandschaften ist die Schaffung einer wissenschaftlich belastbaren Datengrundlage für Wildbienen in Agrarlandschaften (1) sowie die Berichterstattung der dazugehörigen Indikatoren (2). Methodisch wird sich hier auf bestandsschonende und innovative Erfassungsmethoden sowie die Einbindung von Ehrenamtlichen (Citizen Scientists) fokussiert (3+4). Des Weiteren soll eine Anschlussfähigkeit an andere (europäische) Programme gewährleistet werden (5).

(1) Datenbasis zu Wildbienenbeständen in Agrarlandschaften

Das übergeordnete Ziel ist es, langfristig bundesweite, belastbare Bestandsdaten von Wildbienen in Agrarlandschaften zu erfassen und diese auf der nationalen Ebene zu berichten. Diese Daten sollen wissenschaftlich fundierte Aussagen zur Entwicklung von Wildbienenpopulationen ermöglichen (= Bestandstrends). Damit sollen im weiteren Sinne auch Aussagen zur Wirkung agrarumweltpolitischer Förderinstrumente ermöglicht werden. Indirekt erlauben diese Daten auch eine grobe qualitative Abschätzung der Bestäubungsleistung. Insgesamt sollen die Bestandsdaten einen Beitrag zur evidenzbasierten Beratung politischer Entscheidungsträger leisten.

(2) Belastbare Indikatoren und Monitoringkonzepte

Neben den Bestandsdaten zu Wildbienen werden Daten zu Wildbienen-Habitaten basierend auf Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten generiert. Daraus sollen sich mögliche Ursachen für Bestandsveränderungen von Wildbienen identifizieren lassen (Belastungsindikatoren bzw. *pressures* gemäß DPSIR-Modell Burkhard und Müller, 2008). Eine genaue Beschreibung der aus dem Wildbienen-Monitoring erhaltenen Indikatoren und der jeweiligen Berechnungsgrundlagen findet sich im MonViA-Indikatorenbericht (MonViA, 2024).

(3) Ehrenamtliche in Monitoringaktivitäten einbinden

Im Wildbienen-Monitoring finden die Ziele der europäischen Bestäuberinitiative (European Commission, 2023) Berücksichtigung. Diese beinhalten beispielsweise die Verbesserung der Kenntnisse über Bestäuberpopulationen, sowie eine gesellschaftliche Mobilisierung. Daraus leitet sich für das Wildbienen-Monitoring beispielsweise ab, Wildbienen-Bestandsdaten unter Einbeziehung Ehrenamtlicher (Citizen Scientists) zu erheben.

Der bisherige Fokus liegt dabei auf der standardisierten Zustandserfassung von hohlraumnistenden Wildbienen und Hummeln sowie ihrer Lebensräume in der Agrarlandschaft. In beiden Fällen beruht die gewählte Methodik auf einer zentralen Integration von Citizen Science-Ansätzen, die es Ehrenamtlichen aller Erfahrungsstufen (vom Einstieg bis zur Artenkenntnis) ermöglicht, sich zu beteiligen. Die testweise Umsetzung dieser Ansätze findet schrittweise seit 2021 bis 2023.

(4) Bestandsschonende, innovative und zukunftsorientierte Methoden

Ein weiteres Ziel der Bestäuberinitiative ist die Verbesserung des Schutzes von Bestäubern. Dies wird im Wildbienen-Monitoring durch die Wahl bestandsschonender (d. h. weitestgehend tötungsfreier) Erfassungsmethoden verfolgt. Die Erfassung hohlraumnistender Wildbienen und Hummeln beruht vorrangig auf fotografischen Dokumentationen, welche teilweise durch molekularbiologische Analysen ergänzt werden.

Das Monitoring ist geeignet, um perspektivisch einen integrativen Monitoringansatz zu verfolgen, um die raumzeitliche Aussagekraft des Monitorings weiter zu erhöhen. Hierbei können die strukturierten Daten aus der repräsentativen, standardisierten Erfassung ergänzt werden durch unstrukturierte Daten aus Gelegenheits-

beobachtungen. Durch diesen Ansatz können sich räumliche Lücken schließen und Bestandstrends frühzeitiger erkennen lassen (z. B. Hertzog et al., 2021).

(5) Anschlussfähigkeit an andere Programme

Das Wildbienen-Monitoring soll relevante Daten und Indikatoren für verschiedene politische Handlungsfelder, auch im europäischen Raum, liefern. Dazu gehören die gemeinsame Agrarpolitik (GAP), die EU-Verordnung zur Wiederherstellung der Natur (Nature Restoration Law) und die EU-Bestäuber-Initiative (EUPI).

Um dies zu gewährleisten, wird für das Monitoring, wo möglich, eine Harmonisierung mit europäischen Programmen angestrebt. Daher orientieren sich die Untersuchungsflächen am europäischen Stichprobenraster des Land Use and Cover Area Survey (LUCAS) (Eurostat, o. J.). An diesem Raster orientieren sich auch die Untersuchungsflächen bereits laufender und geplanter Monitoring-Programme zur biologischen Vielfalt (Europäisches Monitoring der Biodiversität in Agrarlandschaften, EMBAL; Oppermann et al., 2018; European Pollinator Monitoring Scheme, EUPoMS; Potts et al., 2021, 2024), sodass Synergien zwischen den Programmen nutzbar gemacht werden können.

Darüber hinaus gibt es Anknüpfungspunkte zu nationalen Programmen wie der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS), der Agrobiodiversitätsstrategie sowie dem Aktionsprogramm Insektenschutz.

3 Design des Monitorings und Stichprobenauswahl



3.1 Räumliche und zeitliche Aspekte des Monitorings

Für die Planung und Durchführung eines Biodiversitätsmonitorings spielen die räumliche und zeitliche Dimension eine herausragende Rolle (Yoccoz et al., 2001; Anderson, 2018; Kühl et al., 2020). Je nach Standort und Zeitpunkt einer Erhebung unterscheiden sich die Umweltbedingungen und somit die Einflüsse, die Umweltfaktoren auf Organismen haben.

3.1.1 Umweltfaktoren

Das Vorkommen und die Häufigkeit von Wildbienen werden vor allem durch die vorherrschenden Umweltbedingungen innerhalb weniger hundert Meter bestimmt. Neben der Quantität sind auch die Qualität von Nahrungs- und Nisthabitaten entscheidend (**Abbildung 3.1**). Je nach Wildbienenart unterscheiden sich die Habitatansprüche und damit die Landschaftsausstattung, die das Vorkommen einer jeweiligen Art begünstigt. Neben den für Wildbienen generell wichtigen Blühpflanzen als Pollen- und Nektarquelle benötigen hohlraumnistende Wildbienen geeignete Nistplätze z. B. in Totholz oder Pflanzenstängeln (Westerfelt et al., 2015; Harmon-Threatt, 2020). Für bodennistende Hummelarten sind dagegen die Ausrichtung und Beschaffenheit des Bodens von Bedeutung (Sardiñas und Kremen, 2014; Harmon-Threatt, 2020; Lybrand et al., 2020). Zahlreiche Studien konnten zeigen, dass die Diversität und Abundanz von Wildbienen in Agrarlandschaften insbesondere mit der landwirtschaftlichen Praxis (z. B. Fruchtfolgen, Bewirtschaftungsintensität) und der Landschaftsheterogenität (z. B. Kleinstrukturen, seminatürliche Habitate) zusammenhängen (Kennedy et al., 2013; Lehmann und Camp, 2021; LeBuhn und Vargas Luna, 2021).

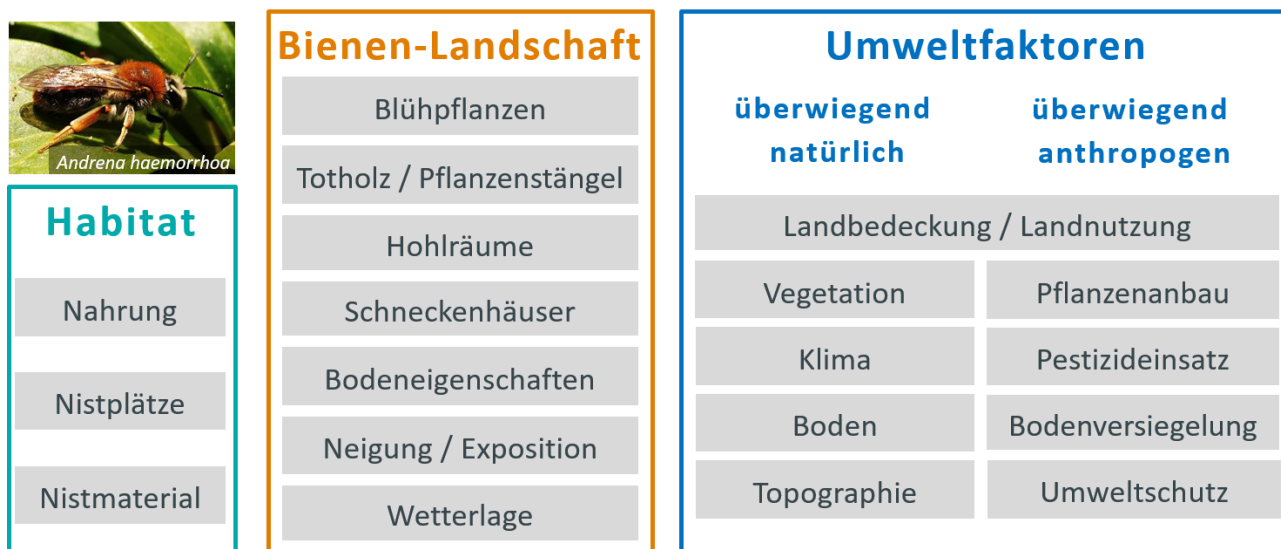


Abbildung 3.1: Umwelteinflüsse auf Wildbienen und ihre Habitate, verändert nach Hellwig et al., 2022.

3.1.2 Räumlich und zeitlich differenziertes Monitoring

Für ein räumlich differenziertes Monitoring ist es essenziell, die aufgrund der genannten Umwelteinflüsse natürliche räumliche Variabilität von Biodiversitätsmaßen repräsentativ zu erfassen (z. B. Vorkommen und Diversität von Wildbienenarten). Basierend auf einer repräsentativen Stichprobe lassen sich statistisch unverzerrte Aussagen zum Status und zu den Trends von Artengemeinschaften ableiten und diese nach räumlichen Flächeneinheiten differenziert berichten. Hierfür kommen verschiedene Raumgliederungen in

Betracht, die unterschiedlich relevant sind für die Verbreitungstrends von Wildbienen innerhalb der Agrarlandschaften Deutschlands einerseits und für die Beratung politischer Entscheidungsträger andererseits:

- **Administrative Einheiten:**

Das sind vor allem die 16 Bundesländer, auf deren Ebene politische Entscheidungen mit Auswirkungen auf die Landnutzung getroffen werden, ggf. darüber hinaus auch untergeordnete Verwaltungseinheiten wie z. B. Regierungsbezirke oder Landkreise

- **Naturräumliche bzw. biogeographische Regionen**

Dafür eignet sich beispielsweise die Einteilung Deutschlands in die Großlandschaften Norddeutsches Tiefland, Zentraleuropäisches Mittelgebirgsland, Südwestdeutsches Mittelgebirgsland, Alpenvorland und Alpen (Ssymank, 1994, zitiert nach Bundesamt für Naturschutz, 2024). Alternativ lassen sich die atlantische, kontinentale und alpine Region abgrenzen (Bundesamt für Naturschutz, 2024).

- **Agrarraumtypen nach Pingel et al. (Preprint)**

Um ein für die Agrarlandschaft in Deutschland räumlich differenziertes, repräsentatives Biodiversitätsmonitoring zu ermöglichen, wurde im Forschungsprojekt BM-Landwirtschaft („Entwicklung der grundlegenden Standards für die Umsetzung eines Biodiversitätsmonitorings in der Landwirtschaft“, Verbundprojekt des Thünen-Institutes und des Julius Kühn-Institutes; Johann Heinrich von Thünen-Institut, 2024) eine grundlegende Klassifikation mit acht Agrarraumtypen vorgelegt (Pingel et al., Preprint). Diese Klassifikation (z. B. Hoch-intensiver Ackerbau, Heterogenes Grünlandmosaik) basiert auf bundesweit verfügbaren Geodaten zu den für die Biodiversität in Agrarlandschaften relevanten Umwelteinflüssen.

In einem fortlaufenden, über mehrere Jahre bis Jahrzehnte angelegten Trendmonitoring müssen gerichtete Biodiversitätstrends von natürlicherweise üblichen Schwankungen getrennt werden können. Nur so können sowohl der zeitliche Verlauf der gerichteten Trends genau nachvollzogen, als auch Ursachen verstanden werden, um ggf. frühzeitig gegensteuern zu können. Um dies für einen mittel- bis langfristigen Zeithorizont zu erreichen, ist für das Wildbienen-Monitoring eine jährliche (Hummel-Monitoring, Kapitel 5) bzw. im mehrjährigen Rhythmus alternierende (Monitoring hohlraumnistender Wildbienen, Kapitel 4) Erfassung vorgesehen. Für das Monitoring hohlraumnistender Wildbienen mittels Nisthilfen bietet dieses zeitliche Design mehrere Vorteile:

- Im Fall des Monitorings mit Nisthilfen wird ein Aufbau von Populationen hohlraumnistender Wildbienen verhindert.
- Der Aufwand für das Gesamt-Monitoring bleibt auch bei einer hohen Zahl an Standorten logistisch durchführbar.
- Trends aufgrund sich verändernder Standort- und Umweltbedingungen sind nur langfristig beobachtbar. Daher ist der Informationsgewinn bei einem Monitoring innerhalb zweier aufeinanderfolgender Jahre auf denselben Flächen minimal – im Gegenzug wird durch ein alternierendes Design eine doppelt so große räumliche Abdeckung erreicht.
- Eine jährliche Auflösung für deutschlandweite bzw. räumlich differenzierte Aussagen zu Wildbienengemeinschaften in Agrarlandschaften bleibt erhalten, wenn die gesamte Fläche jährlich möglichst gleichmäßig abgedeckt wird.

3.2 Erhebungsdesign

Um die Leitfragen des Wildbienen-Monitorings beantworten zu können (Kapitel 2), wird in einem fünfstufigen Entscheidungsprozess die Stichprobenkulisse für das bundesweite Wildbienen-Monitoring erarbeitet (Hellwig et al., 2024):

- (1) Definition der räumlichen Sampling-Einheiten in der Grundgesamtheit
- (2) Abgrenzung der Agrarlandschaft (Vorauswahl von Sampling-Einheiten)
- (3) Festlegung der allgemeinen Strategie für die Stichprobenauswahl
- (4) Bestimmung der Stichprobengröße
- (5) Stichprobenauswahl: Spezifizierung der Sampling-Standorte pro Sampling-Intervall

Um mit dem bewusst gewählten Citizen Science-basierten Monitoringansatz Wildbienen repräsentativ in Agrarlandschaften zu erfassen, werden hohlraumnistende Wildbienen und Hummeln auf vordefinierten Flächen erfasst. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.1 eingeführten räumlichen und zeitlichen Aspekte, die für das Monitoring relevant sind, werden innerhalb dieses Vorgehens folgende zusätzliche Kriterien berücksichtigt:

- Die Stichprobe soll die Vielfalt der Agrarlandschaft in Deutschland repräsentieren.
- Die Stichprobe soll aufgeteilt werden können, um eine alternierende Erhebung pro Jahr zu ermöglichen.
- Die Stichprobenkulisse soll beliebig erweitert bzw. nachverdichtet werden können, z. B. für Länderstichproben.
- Die Standorte / Sampling-Einheiten aus der Stichprobe sollen für Ehrenamtliche gut erreichbar sein.

3.2.1 Räumliche Sampling-Einheiten in der Grundgesamtheit

Die Anordnung der Untersuchungsflächen für das Wildbienen-Monitoring orientiert sich am Raster der *Land Use/Cover Area frame Survey* (LUCAS-Grid; Eurostat, o. J.), das die gesamte Europäische Union (EU) mit einer Rasterweite von 2 km abdeckt (basierend auf der flächentreuen azimutalen Lambert-Projektion, ETRS89 / LAEA). Neben den bereits seit 2006 stattfindenden Erhebungen der Bodenbedeckungs- / Bodennutzungsstatistik soll das LUCAS-Grid im europäischen Kontext nach aktuellem Stand zunehmend als räumliche Grundlage für Erhebungen zur Biodiversität in Agrarlandschaften (EMBAL; Oppermann et al., 2018) und zu Bestäubern (EUPoMS; Potts et al., 2021, 2024) genutzt werden.

Als Untersuchungsflächen im Wildbienen-Monitoring sind Landschaftsfenster zu je 3x3 km² vorgesehen. Diese Untersuchungsflächen werden so um jeden LUCAS-Gitterpunkt angelegt, dass dieser exakt den Mittelpunkt bildet (**Abbildung 3.2**). Bei Berücksichtigung aller LUCAS-Gitterpunkte innerhalb von Deutschland liegt die Grundgesamtheit aller möglichen Untersuchungsflächen für das Wildbienen-Monitoring bei N = 89.341.



Abbildung 3.2: Landschaftsfenster als Sampling-Einheit. Kartengrundlage: DOP20 (BKG), verändert nach Hellwig et al. (2024).

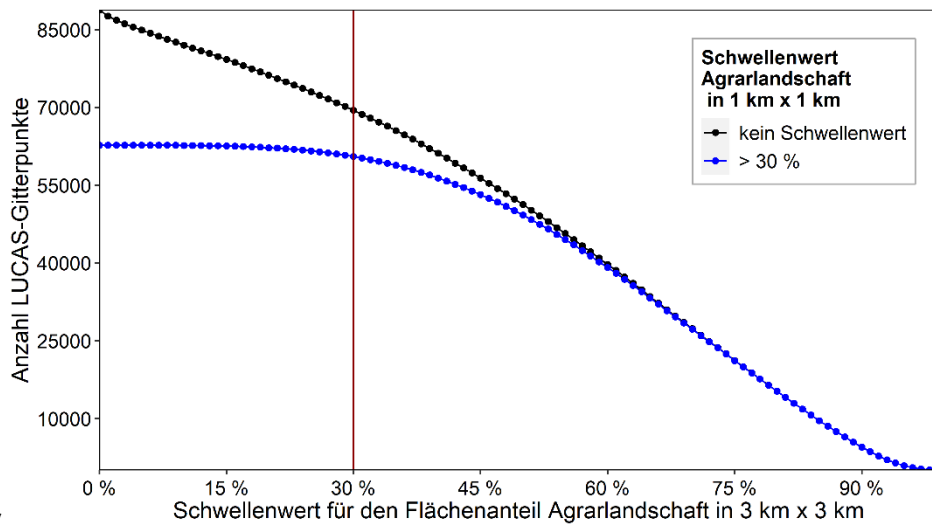
3.2.2 Abgrenzung der Agrarlandschaft

Zur Abgrenzung der Agrarlandschaft für das Monitoring werden alle im Digitalen Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM; BKG, 2022) ausgewiesenen landwirtschaftlichen Flächen berücksichtigt (Objektart „AX_Landwirtschaft“; Adv, 2008). Um die LUCAS-Gitterpunkte zusammen mit den umgebenden 3x3 km²- und 1x1 km²-Landschaftsfenstern als zugehörig zur Agrarlandschaft zu charakterisieren, wird ein Schwellenwert hinsichtlich des Flächenanteils an landwirtschaftlicher Fläche in den Landschaftsfenstern benötigt. Außerdem ist ein solcher Schwellenwert auch notwendig, um das methodische Design des Monitorings hohlraumnistender Wildbienen und des Hummel-Monitorings über die Fläche eines jeweiligen Landschaftsfensters mit Bezug zur Agrarlandschaft verwirklichen zu können (siehe **Abbildung 3.2** bzw. Kapitel 4 und 5).

Vorangegangene Analysen gemäß dieser beiden genannten Aspekte haben gezeigt, dass Schwellenwerte von jeweils 30 % für die 3x3 km²- und 1x1 km²-Landschaftsfenster geeignet erscheinen. Landschaftsfenster mit weniger als 30 % Anteil landwirtschaftlicher Fläche sind in der Regel dominiert von anderen Nutzungstypen, z. B. Wald- oder Siedlungsflächen. In den 3x3 km²-Fenstern ist es dann nicht möglich, ausreichend Standorte für Nisthilfen auszuweisen, die sich im landwirtschaftlichen Kontext befinden. Hummel-Transekte können dann innerhalb des Landschaftsfensters oft nur in äußeren Randbereichen im landwirtschaftlichen Kontext angelegt werden.

Durch die Wahl des Schwellenwertes von 30 % Anteil landwirtschaftlicher Fläche sowohl für die 3x3 km²- als auch für die 1x1 km²-Landschaftsfenster reduziert sich die Grundgesamtheit der für das Monitoring relevanten LUCAS-Gitterpunkte auf N = 60.512 (67,7 % aller LUCAS-Gitterpunkte innerhalb von Deutschland). Die Wahl dieses Schwellenwertes wird dadurch unterstützt, dass die Anzahl der LUCAS-Gitterpunkte, die in der Auswahl fürs

Monitoring verbleiben, für Schwellenwerte bis 30 % relativ weniger abnimmt als für Schwellenwerte oberhalb



von 30 % (

Abbildung 3.3). Die räumliche Verteilung der aufgrund der Schwellenwerte ausgeschlossenen Standorte im LUCAS-Grid zeigt außerdem, dass davon vor allem die großen Waldflächen in den Mittelgebirgen, die Alpen sowie die urban geprägten Metropolregionen betroffen sind (**Abbildung 3.4**).

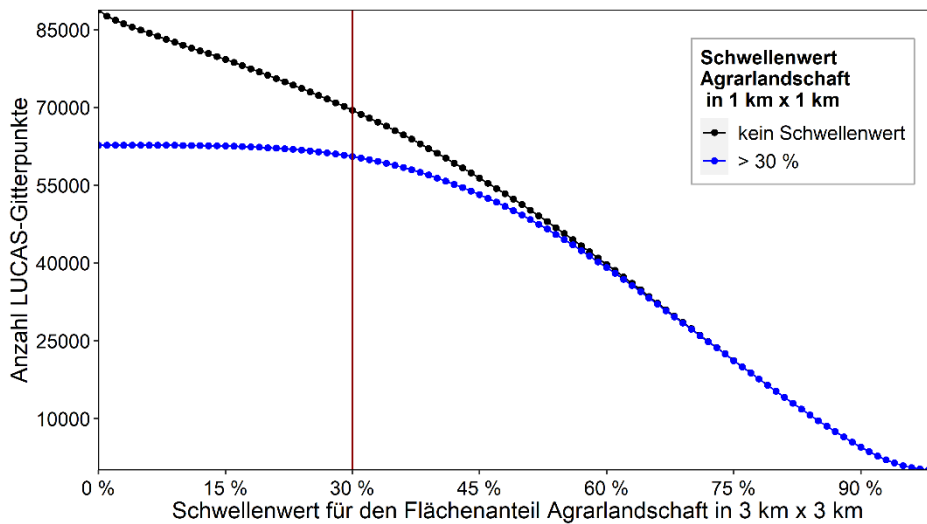


Abbildung 3.3: Anzahl an LUCAS-Gitterpunkten in der Agrarlandschaft gemäß Schwellenwerten für die jeweiligen 3x3 km²- und 1x1 km²-Landschaftsfenster, [Abbildung: Niels Hellwig].

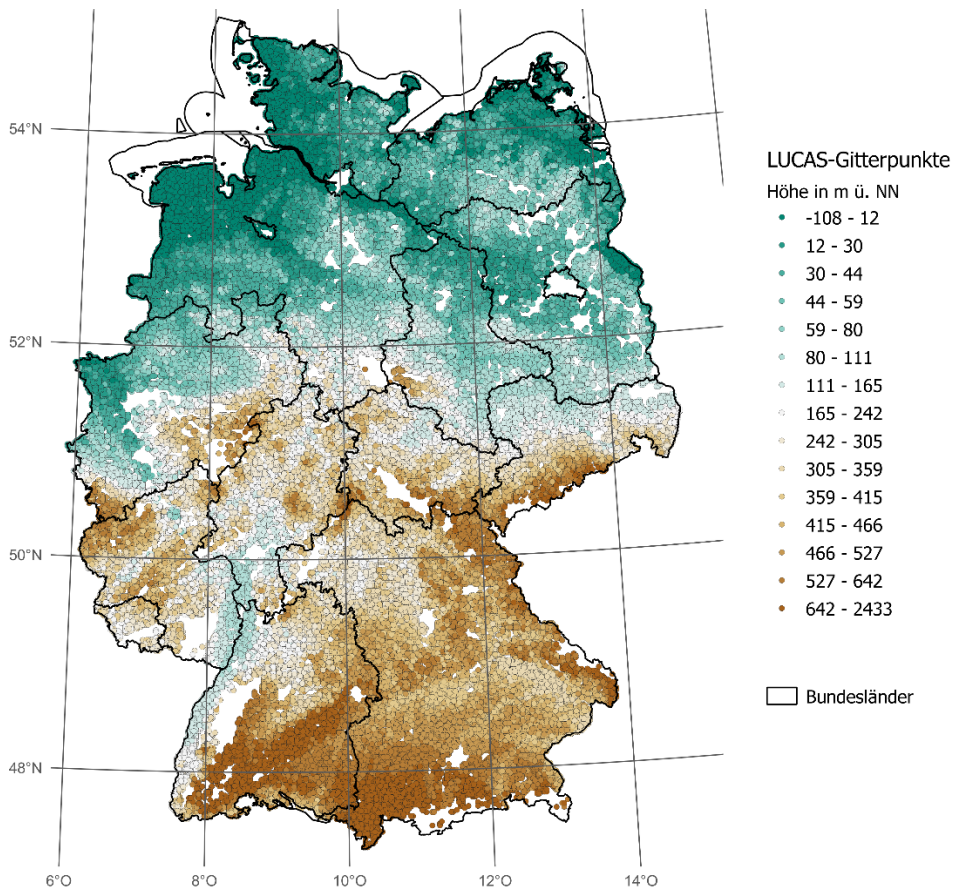


Abbildung 3.4: Vorausgewählte LUCAS-Gitterpunkte anhand des Schwellenwertes von 30 % Agrarlandschaft in den jeweiligen 3x3 km²- und 1x1 km²-Landschaftsfenstern, [Abbildung: Niels Hellwig].

3.2.3 Festlegung der allgemeinen Strategie für die Stichprobenauswahl

Generell wird bei der Stichprobenauswahl im räumlichen Kontext zwischen dem designbasierten und dem modellbasierten Ansatz unterschieden (de Gruijter et al., 2006; Brus, 2021). Dem designbasierten Ansatz liegt eine zufällige Stichprobenauswahl zugrunde, wodurch valide Schätzwerte für Populationsparameter wie die Arten- und Individuenzahlen im Untersuchungsraum erreicht werden. Dem modellbasierten Ansatz liegt ein statistisches Modell zugrunde, das die Verteilung der Populationsparameter oft basierend auf flächendeckend verfügbaren Umweltvariablen erklärt.

Einerseits haben bereits zahlreiche Studien die Effekte von Umwelteinflüssen auf hohlraumnistende Wildbienen und Hummeln untersucht und modelliert (z. B. Marshall et al., 2015; Geue und Thomassen, 2020; Kammerer et al., 2021; Meier et al., 2021). Andererseits ist die Validität der gefundenen Zusammenhänge über Gesamt-Deutschland und einen mittel- bis langfristigen Zeitraum jedoch fraglich. Daher basiert die allgemeine Strategie für das Wildbienen-Monitoring auf einer Zufallsstichprobe (Hellwig et al., 2024).

Um gleichzeitig die Vielfalt der Agrarlandschaft über die gesamte Fläche Deutschlands zu erfassen und die Erreichbarkeit von Landschaftsfenstern in der Stichprobe für interessierte Ehrenamtliche aus ganz Deutschland zu ermöglichen, wird eine systematische Zufallsstichprobenauswahl basierend auf einem Gitterabstand von 16 km vorgenommen (unter Ausschluss derjenigen LUCAS-Gitterpunkte, deren zugehörige Landschaftsfenster bereits bei der Vorselektion aussortiert wurden, siehe Kapitel 3.2.2). Mit dieser räumlichen Anordnung wird gleichzeitig eine einfache Möglichkeit für eine potenzielle Erweiterung der Stichprobe geschaffen: Für einzelne, kleinräumige Einheiten innerhalb von Deutschland (z. B. Bundesländer) kann die Stichprobe auf Abstände von 8 km oder 4 km zwischen den ausgewählten LUCAS-Gitterpunkten verdichtet werden.

Um den Effekt unterschiedlicher Umweltbedingungen und landwirtschaftlicher Nutzungssysteme für Wildbienen einzubeziehen, wäre auch eine stratifizierte Zufallsstichprobenauswahl nach Agrarräumen denkbar (Pingel et al., Preprint), jedoch ist mit fortlaufenden Veränderungen in der Klassifikation zu rechnen, sodass von einer solchen Stratifizierung abgesehen wurde.

3.2.4 Bestimmung der Stichprobengröße

Ein wesentlicher Faktor für die Aussagekraft eines Biodiversitätsmonitorings ist die Stichprobengröße (Herzog und Franklin, 2016; Scherber et al., 2019). Eine hohe Aussagekraft bemisst sich dabei oft an einem geringen Schätzfehler für Populationsparameter der Grundgesamtheit (z. B. Erwartungswerte und Varianzen von Arten- und Individuenzahlen an Wildbienen), der mit einer hohen Wahrscheinlichkeit unterschritten wird.

Im Fall eines Trendmonitorings ist es entscheidend, eine möglichst hohe Wahrscheinlichkeit (bzw. Power des zugehörigen Hypothesentests) zu erreichen, einen bestimmten Trend in den Populationsparametern der Grundgesamtheit mit hoher statistischer Signifikanz nachweisen zu können (z. B. 5 % Abnahme im Erwartungswert der Arten- oder Individuenzahl an Wildbienen zwischen zwei Erhebungszeiträumen). Basierend auf Annahmen über Erwartungswert und Varianz lässt sich die erforderliche Stichprobengröße hier mittels Computersimulationen abschätzen (Johnson et al., 2015; Kain et al., 2015).

3.2.4.1 Stichprobengröße für das Monitoring hohlraumnistender Wildbienen in Nisthilfen

Mit dem Monitoring hohlraumnistender Wildbienen in Nisthilfen werden in erster Linie Trends in der Zahl der pro Landschaftsfenster vorkommenden hohlraumnistenden Wildbienenarten erfasst (Kapitel 4). Als Zielvariable wird daher die Artenzahl betrachtet. Als Grundlage für die Berechnung der benötigten Stichprobengröße dienen die Daten bisheriger Feldstudien in Deutschland, in denen die Anzahlen nachgewiesener hohlraumnistender Wildbienenarten berichtet wurden (5-22; siehe Hellwig et al., 2024¹). Auch wenn sich all jene Studien hinsichtlich der Methodik der Wildbienen Erfassung unterscheiden (z. B. Standzeiten, Anzahl und Material der Nisthilfen, bereitgestellte Niströhren-Durchmesser, Größe der betrachteten Landschaftsausschnitte), kann die Gesamtheit der Studien trotzdem als ein erster Anhaltspunkt für die zu erwartenden Artenzahlen im Monitoring hohlraumnistender Wildbienenarten dienen.

In der **Abbildung 3.5** werden die Ergebnisse der Poweranalysen für den Zielwert eines statistisch nachweisbaren Trends der Artenzahl hohlraumnistender Wildbienen in Nisthilfen von 3 % zwischen zwei Erhebungszeiträumen präsentiert ($p < 0,05$). Basierend auf den Erfahrungen mit den eingesetzten Nistmodulen in den ersten beiden Jahren der Methodenentwicklung (Lindermann, pers. Komm.) sowie Daten aus bisherigen Studien zu hohlraumnistenden Wildbienen in Nisthilfen wird ein Erwartungswert von 15 Arten pro Landschaftsfenster zugrunde gelegt. Bei einem Zielwert von 3 % werden unabhängig von der Varianz zwischen den Landschaftsfenstern etwa 1000 Standorte benötigt (**Abbildung 3.5**). Bei einem Zielwert von 4 % sollte die Stichprobengröße ca. 600 betragen, bei einem Zielwert von 5 % läge die benötigte Stichprobengröße bei ca. 350.

¹ <https://www.mdpi.com/article/10.3390/insects15040229/s1>

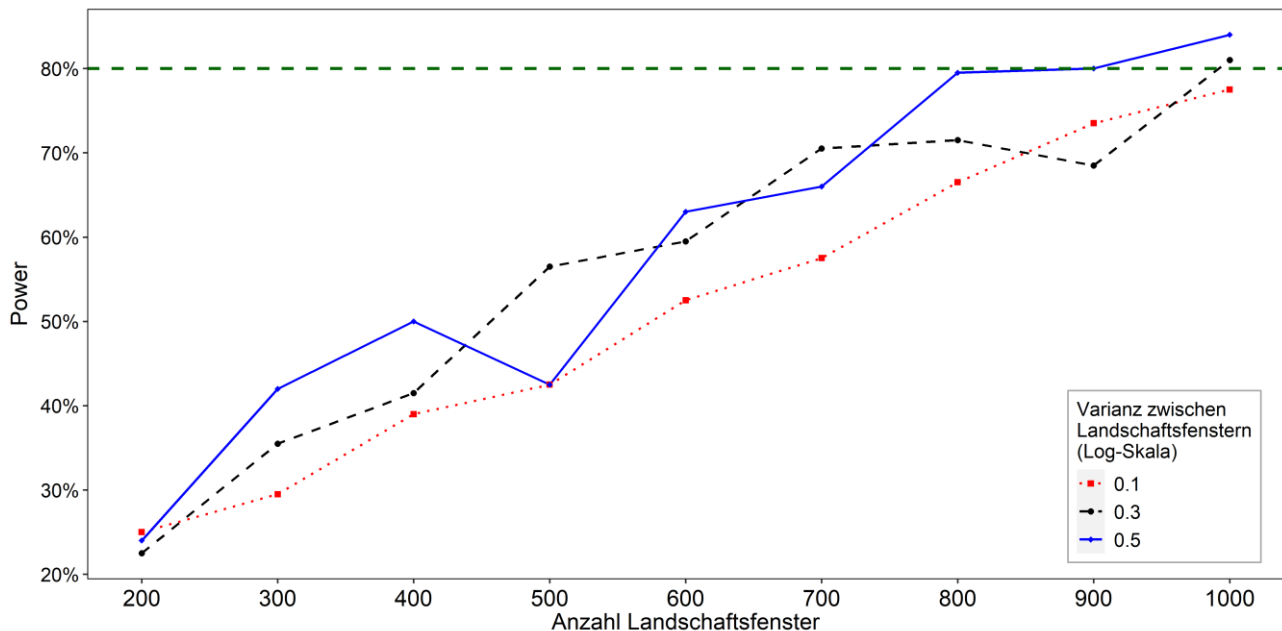


Abbildung 3.5: Ergebnisse der Poweranalysen für einen 3 %-igen Rückgang der Artenzahl an Wildbienen in Nisthilfen pro Zeitintervall. Dargestellt ist die Abhängigkeit von der Varianz der Artenzahlen zwischen den Landschaftsfenstern (basierend auf 200 GLMM- Simulationsläufen). Als mittlerer Erwartungswert werden 15 Arten an Wildbienen in den Nisthilfen pro Landschaftsfenster angenommen, verändert nach Hellwig et al., 2024.

3.2.4.2 Stichprobengröße für das Hummelmonitoring

In der **Abbildung 3.6** werden die Ergebnisse der Poweranalysen für den Zielwert eines statistisch nachweisbaren Trends der Individuenzahl von Hummeln von 3 % zwischen jeweils zwei Erhebungszeiträumen präsentiert ($p < 0,05$). Basierend auf den Erfahrungen mit bisherigen Hummel-Transekten im Zeitraum der Methodenentwicklung ist von einem Erwartungswert zwischen 10 und 20 Individuen pro Landschaftsfenster über mehrere Begehungen innerhalb eines Jahres auszugehen (Sommerlandt, pers. Komm.). Bei einem Zielwert von 3 % werden je nach Erwartungswert und Varianz zwischen den Landschaftsfenstern etwa 400-800 Standorte benötigt (**Abbildung 3.6**). Bei einem Zielwert von 5 % läge die benötigte Stichprobengröße bei ca. 150-300.

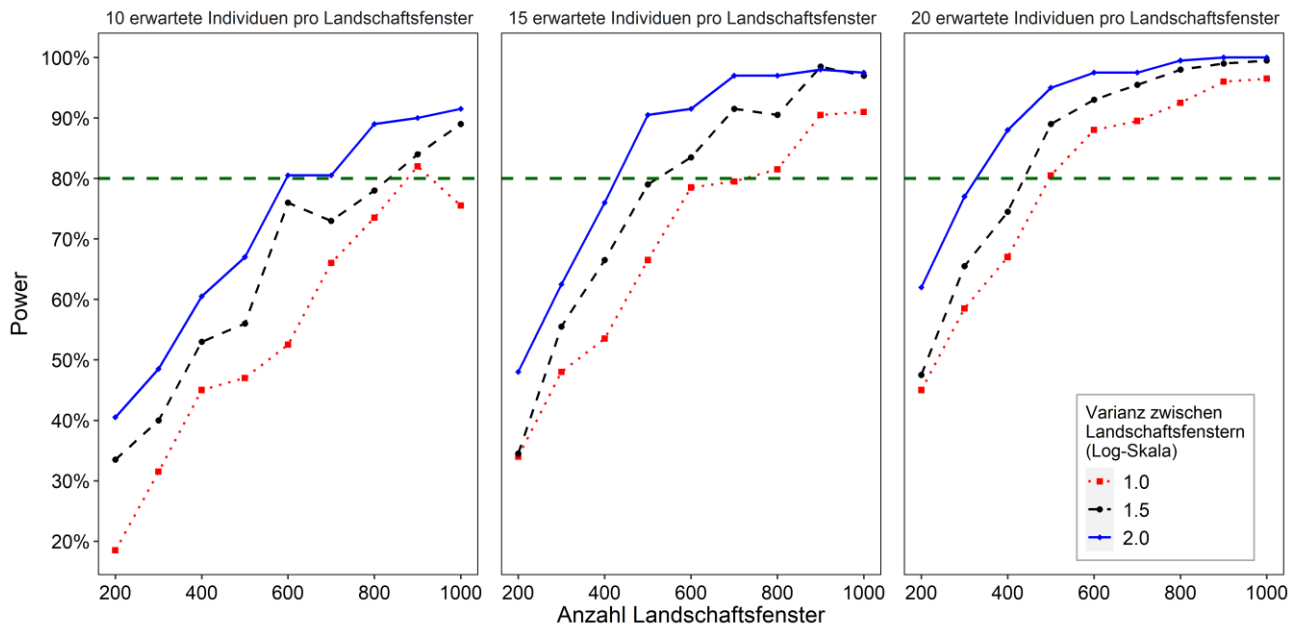


Abbildung 3.6: Ergebnisse der Poweranalysen für einen 3 %-igen Rückgang der Individuenzahl an Hummeln pro Zeitintervall. Dargestellt ist die Abhängigkeit vom Erwartungswert der Individuenzahl pro Landschaftsfenster sowie der Varianz der Individuenzahlen zwischen den Landschaftsfenstern (basierend auf 200 GLMM-Simulationsläufen), [Abbildung: Niels Hellwig].

3.2.5 Stichprobenauswahl

Aus den Vorüberlegungen zu den räumlichen Sampling-Einheiten, der Abgrenzung der Agrarlandschaft, der allgemeinen Strategie für die Stichprobenauswahl sowie der Bestimmung der Stichprobengröße (Kapitel 3.2, Schritte 1-4) ergibt sich die Zielkulisse für das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften (**Abbildung 3.7**, **Tabelle 3.1**). Diese Kulisse umfasst insgesamt 950 Landschaftsfenster², die auf einem Gitter mit 16 km Abstand liegen (bezogen auf die im Zentrum der Landschaftsfenster befindlichen LUCAS-Gitterpunkte, siehe **Abbildung 3.2**). Aussparungen in diesem Gitter resultieren aus der Vorauswahl durch das Kriterium von mindestens 30 % Agrarlandschaft (Kapitel 3.2.2)³. Fünf der 950 Landschaftsfenster müssen aufgrund lokaler Gegebenheiten fürs Monitoring unberücksichtigt bleiben: die IDs 41362956, 42482780, 43763084 und 43763468 aufgrund von Truppenübungsplätzen sowie ID 45043484 aufgrund der Ruhezone auf Zingst.

² <https://atlas.thuenen.de/geoserver/ows>

³ Eine vollständige Übersicht der Flächenbezeichnungen (LUCAS-IDs und Namen gemäß geographischer Verortung) befindet sich hier: https://wildbienen.thuenen.de/fileadmin/nisthilfen/Publikationen/Zusatz_1_LUCAS-Standorte.pdf

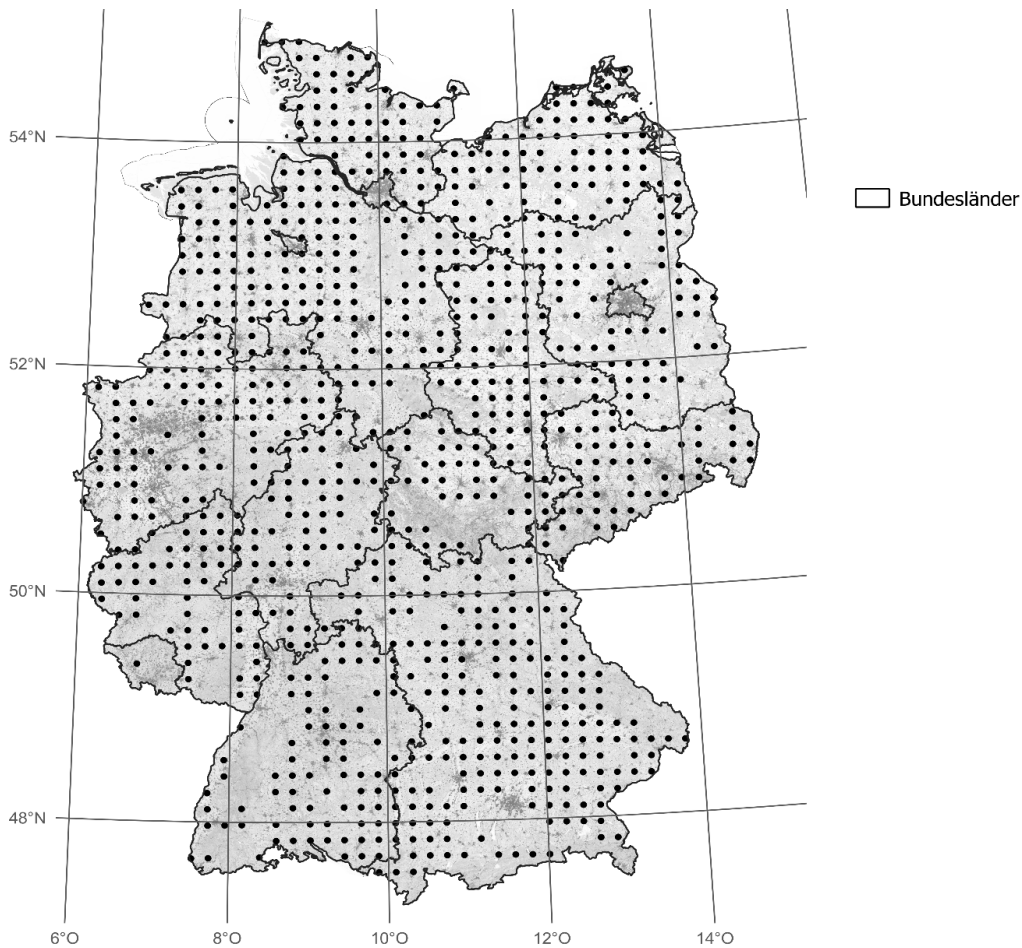


Abbildung 3.7: Zielkulisse für das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften. Kartengrundlage: DTK25 (BKG), verändert nach Hellwig et al., 2024.

Tabelle 3.1: Verteilung der Landschaftsfenster pro Bundesland (Zuordnung gemäß dem LUCAS-Gitterpunkt im Zentrum eines jeweiligen Landschaftsfensters).

Bundesland	Anzahl Standorte
Baden-Württemberg	80
Bayern	182
Berlin	0
Brandenburg	65
Bremen	1
Hamburg	1
Hessen	54
Mecklenburg-Vorpommern	72
Niedersachsen	141
Nordrhein-Westfalen	90

Bundesland	Anzahl Standorte
Rheinland-Pfalz	52
Saarland	1
Sachsen	49
Sachsen-Anhalt	70
Schleswig-Holstein	54
Thüringen	38
Gesamt	950

Hinsichtlich der in Kapitel 3.2 genannten Kriterien für die Stichprobenauswahl bleibt festzuhalten:

- Die so erreichte Stichprobe repräsentiert die Vielfalt der Agrarlandschaft in Deutschland durch eine systematische Zufallsauswahl, in der sich alle naturräumlichen Einheiten und alle Agrarlandschaftstypen in etwa gemäß ihren jeweiligen Flächenanteilen wiederfinden.
- Die Stichprobe kann in einem systematischen Rotationsprinzip aufgeteilt werden, um eine alternierende Erhebung von Wildbienen in Nisthilfen und daran anschließende eDNA-Analysen pro Erhebungszeitraum zu ermöglichen.
- Die Stichprobenkulisse ist beliebig erweiterbar, indem das Gitter regional auf Abstände von 8 km oder 4 km verdichtet wird.
- Die Standorte / Sampling-Einheiten aus der Stichprobe sind über das gesamte Bundesgebiet systematisch verteilt, sodass überall Flächen für Ehrenamtliche gut erreichbar sind.

3.3 Festlegung der Nisthilfe-Standorte und Hummel-Transekte

Die Nisthilfe-Standorte und Hummel-Transekte innerhalb der Landschaftsfenster werden in einem halbautomatisierten Verfahren festgelegt. Zunächst wird deren Lage mithilfe eines Algorithmus optimiert. Anschließend werden die finalen Standorte anhand von Luftbildern (DOP20, BKG; Google Earth) sowie durch die Rückmeldung der Ehrenamtlichen vor Ort und unter Berücksichtigung der Aufstellgenehmigungen angepasst.

Der Algorithmus zur Festlegung der Nisthilfe-Standorte umfasst folgende Schritte:

- (1) Innerhalb des jeweiligen 3x3 km²-Landschaftsfensters werden alle Grenzlinien zu Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung extrahiert (Basis-DLM, BKG, 2022).
- (2) Entlang all dieser Grenzflächen werden sechs Standorte zufällig ausgewählt, die alle einen Mindestabstand von 250 m zur äußeren Grenze des Fensters haben.
- (3) Alle paarweisen Abstände zwischen den sechs Nisthilfen werden berechnet.
- (4) Schritte 2 und 3 werden 10.000-mal wiederholt.
- (5) Unter all den 10.000 Möglichkeiten für Nisthilfe-Standorte wird diejenige Möglichkeit ausgewählt, bei der der kleinste Abstand zwischen jeweils zwei Nisthilfen (aus den Abständen in Schritt 3) maximal ist.

Der Algorithmus zur Festlegung der Hummeltransekte besteht aus folgenden Schritten (Hellwig et al., in Vorbereitung):

- (1) Innerhalb des jeweiligen 3x3 km²-Fensters werden alle Grenzlinien zu Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung extrahiert (Basis-DLM, BKG, 2022).
- (2) Als Startpunkt für den Transekt wird ein Punkt ausgewählt, an dem sich zwei oder mehr Grenzlinien schneiden.
- (3) Ausgehend von dem Startpunkt wird der Transekt meterweise entlang von Punkten auf den Grenzlinien aus Schritt 1 angelegt, bis die Länge von 500 m erreicht wird.
- (4) Als Gütekriterien für den Hummeltransekt werden folgende Maße berechnet:
 - a. der mittlere Abstand der auf dem Transekt liegenden Punkte zum LUCAS-Gitterpunkt im Zentrum des 1x1 km²-Fensters,
 - b. der mittlere Abstand der auf dem Transekt liegenden Punkte zueinander,
 - c. der Anteil der auf dem Transekt liegenden Punkte, die auf Grenzlinien zwischen verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzungen liegen (Ackerland / Grünland / Sonderkulturen gemäß Basis-DLM, BKG, 2022).
- (5) Schritte 2 bis 4 werden 100-mal wiederholt.

- (6) Unter all den 100 Möglichkeiten für Hummeltransekte wird diejenige Möglichkeit ausgewählt, deren Differenz aus der Summe der Kriterien (B) und (C) und Kriterium (A) maximal ist (d. h. $B+C-A$ wird maximiert).
- (7) Der in Schritt 6 ausgewählte Transekt wird in zehn 50-m-Abschnitte aufgeteilt.

Abbildung 3.8 veranschaulicht die gemäß diesem halbautomatisierten Verfahren optimierte Lage der sechs Nisthilfe-Standorte und des Hummel-Transektes am Beispiel des Landschaftsfensters Kreischa (ID 45843100).

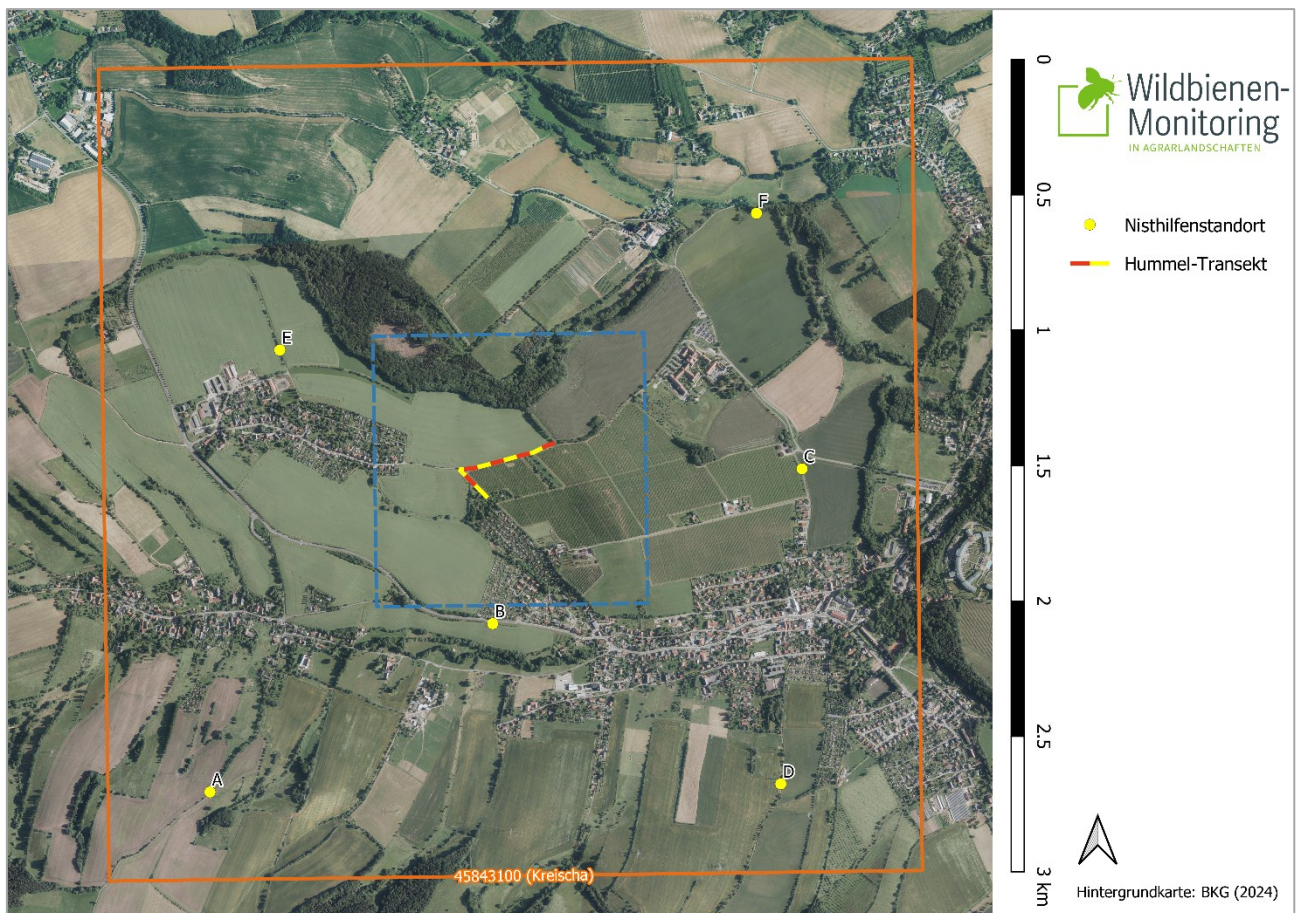


Abbildung 3.8: Beispiel für die Lage von sechs Nisthilfe-Standorten (A-F, gelbe Kreise) und des Hummeltransektes (zehn Abschnitte in rot-gelber Markierung) im Landschaftsfenster Kreischa (ID 45843100). Der orange Rahmen markiert das 3x3 km²-Landschaftsfenster für die Suche nach Nisthilfe-Standorten, der blaue Rahmen bildet das 1x1 km²-Fenster, in dem sich der Transekt fürs Hummel-Monitoring befindet. Kartengrundlage: Digitale Orthophotos DOP20 (BKG), [Abbildung: Niels Hellwig].

4 Monitoring hohlraumnistender Wildbienen in Nisthilfen



Rund ein Viertel aller in Deutschland heimischen Wildbienenarten legt Nester oberirdisch in bereits bestehenden Hohlräumen an. Dies können hohle Pflanzenstängel, Käferfraßgänge in Totholz, Schneckenhäuser, Schilfhalm, aber auch künstlich angelegte Hohlräume sein. Dank der gesellschaftlichen Sensibilisierung für das Thema Insektenschutz erfreuen sich für diese Arten ausgelegte Nisthilfen (oft in diesem Zusammenhang auch als „Bienenhotels“ bezeichnet) in der Bevölkerung wachsender Beliebtheit. Auch im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen zur Beantwortung ökologischer Fragestellungen werden Nisthilfen zunehmend zur Erfassung hohlraumnistender Wildbienen eingesetzt (z. B. MacIvor und Packer, 2015; Staab et al., 2018). Das Potential der Methode ist längst international anerkannt (Kruess und Tscharrntke, 2002; Loyola und Martins, 2011; Diekötter et al., 2014; Pereira-Peixoto et al., 2014).

Bisher konnten in Deutschland 42 hohlraumnistende Wildbienenarten und neun Kuckucksbienenarten in künstlichen Nisthilfen nachgewiesen werden (Lindermann und Grabener et al., 2023). Die nestbauenden Wildbienen sind wiederum die Lebensgrundlage für teils hochspezialisierte Gegenspieler (Parasitoide und Räuber) wie beispielsweise Goldwespen oder Keulenwespen, die sich in den Juvenilstadien ihrer Wirtsarten entwickeln oder sich von deren Proviant ernähren (Lindermann und Grabener et al., 2023). Gegenspieler sowie hohlraumnistende Wespen können bei Nisthilfen ohne großen Mehraufwand miterhoben werden. Nisthilfen erlauben somit Rückschlüsse auf trophische Interaktionen, Parasitierungsgrad und die verwendeten Nahrungs- und Nistressourcen (Tscharrntke et al., 1998; Staab et al., 2018).

Nachfolgend wird beschrieben, wie hohlraumnistende Wildbienen mit Hilfe standardisierter Nisthilfen durch Fotos und eDNA-Analyse im Rahmen des Wildbienen-Monitorings erfasst werden können.

4.1 Erfassungsmethoden

4.1.1 Nisthilfe-Standorte und zeitlicher Ablauf der Datenerhebung

Im Monitoring hohlraumnistender Wildbienen wird ein Großteil der Daten durch Ehrenamtliche erhoben, die eine Nisthilfe-Patenschaft übernehmen. Dabei werden 12 Nisthilfen, ein Nisthilfe-Paar an je sechs Standorten, auf einer von 950 LUCAS-Flächen der festgelegten Stichprobenkulisse betreut (siehe Kapitel 3; standardisierte, repräsentative Erfassung)⁴. Die Koordinaten jeder Nisthilfe werden erfasst, um sicherzustellen, dass zwischen zwei Nisthilfe-Standorten immer ein Mindestabstand von 500 m eingehalten wird, damit die Unabhängigkeit der erhobenen Daten gewährleistet ist.

Im September werden innerhalb der letzten zehn Tage jedes Monats Fotos der Nisthilfe-Brettchen gemacht (Beispiele sind in **Abbildung 4.1** dargestellt). Optional sind auch monatliche Foto-Dokumentationen von April bis August störungsfrei möglich, wenn jedes der Nisthilfe-Brettchen durch eine atmungsaktive und durchsichtige Schutzschicht versiegelt wird. Die Bilder werden zur Auswertung und Speicherung an die verantwortliche Organisationseinheit übermittelt.

Die Besiedlung der Nisthilfen und somit die Foto-Dokumentation der Nisthilfe-Brettchen sollte alle zwei Jahre mit einem Jahr Pause erfolgen, um eine künstliche Erhöhung der Bestände durch das zusätzlich geschaffene Nistangebot und damit eine Verfälschung der Daten zu vermeiden. Denn bei vielen Wildbienenarten ist philopatrisches Verhalten nachgewiesen worden, wonach sie bevorzugt die Röhren wieder besiedeln, aus denen

⁴ Perspektivisch kann hier im Rahmen des integrativen Monitorings eine zweite Option hinzukommen: der Erwerb einer eigenen Nisthilfe und deren Aufstellung an einem selbst gewählten Standort in der Agrarlandschaft (standardisierte, nicht-repräsentative Erfassung).

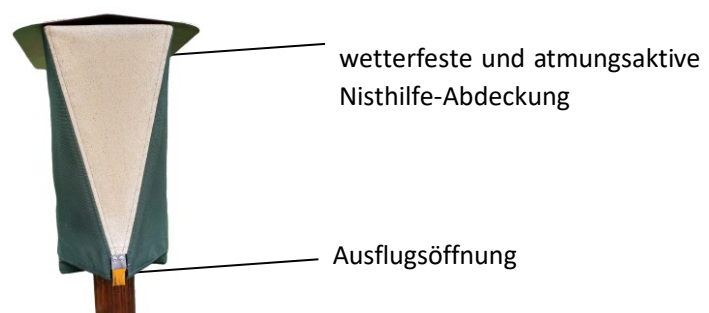
sie selbst geschlüpft sind (Shields, 1982). Um dies zu verhindern, soll im Winter nach der Besiedlung und Foto-Dokumentation vor die Nisthilfe eine Ausflugsvorrichtung angebracht werden, die es den sich in den Nisthilfen entwickelnden Tieren ermöglichen soll, diese zu verlassen, nicht aber, diese wieder zu besiedeln (siehe Box 2).



Abbildung 4.1: Beispiel für die Fotodokumentation von Nisthilfe-Brettchen. Anhand von charakteristischen Merkmalen der Kokons, Larven, Larvennahrung und Brutzellenmaterial können Arten oder taxonomische Gruppen von Wildbienen bestimmt werden. Auch parasitierte Brutzellen können erkannt werden [Fotos: Lara Lindermann].

Box 2: Die Ausflugsvorrichtung

Damit eine tötungsfreie Entnahme des genetischen Materials aus den Nisthilfen möglich wird, ist im zweiten Jahr des Nisthilfezyklus eine vollständige Entsiedelung der Nisthilfen notwendig. Hierfür wird eine Ausflugsvorrichtung entwickelt, die an die Vorderseite der Nisthilfen angebracht wird und einerseits das Ausfliegen der geschlüpften Insekten ermöglicht, andererseits aber eine Wiederbesiedelung verhindert. Dabei wird darauf geachtet, dass Temperatur und Luftfeuchtigkeit in und an der Nisthilfe nicht wesentlich beeinflusst werden. Aktuell befinden sich mehrere Versionen einer solchen Ausflugsvorrichtung in der Testphase.



Beispiel eines Prototyps der Ausflugsvorrichtung, [Abbildung: Lasse Krüger].

Nach dem Schlupf aller in der Nisthilfe befindlichen vitalen Tiere kann die Nisthilfe im Spätsommer des darauffolgenden Jahres zur Entnahme organischer Reste geöffnet werden (Analyse der eDNA, siehe Kapitel 4.1.3). Durch den auf zwei Jahre angelegten Datenerhebungs-Rhythmus befinden sich die Nisthilfen einer beprobten Fläche immer entweder im Zyklus der Besiedlung und Foto-Dokumentation oder des Ausflugs und der eDNA-Entnahme. Der zeitliche Verlauf der Erhebung von Daten durch Ehrenamtliche ist in **Abbildung 4.2** dargestellt.



Abbildung 4.2: Darstellung des zeitlichen Ablaufs der standardisierten repräsentativen Rohdatenerhebung im Feld. Die Fotodokumentation der besiedelten Brettchen findet bei jeder Nisthilfe Ende September des ersten Erhebungsjahres statt. Im zweiten Jahr erfolgt der Schlupf aller Tiere durch die Ausflugsvorrichtung. Nachdem alle Tiere ausgeschlüpft sind, wird die eDNA-Probenahme durchgeführt, [Abbildung: Leonie Lakemann].

4.1.2 Aufbau einer standardisierten Nisthilfe

In wissenschaftlichen Studien, bei denen hohlraumnistende Wildbienenarten mit Nisthilfen erfasst wurden, sind eine Vielfalt von Materialien, Niströhren-Durchmessern und Anzahl angebotener Niströhren verwendet worden (Westphal et al., 2008; Holzschuh et al., 2013; Fabian, 2014; Staab et al., 2018; Uzman et al., 2020). Um bundesweit vergleichbare Daten zu erheben und folglich statistische Auswertungen durchführen zu können, ist eine Vereinheitlichung dieser Variablen und damit eine Standardisierung der Nisthilfe notwendig. Damit

Nisthilfen wiederverwendet werden können und in den Niströhren wiederkehrend die Entwicklung der Brutzellen erfasst werden kann, werden Nisthilfebrettchen aus Tricoya-MDF Platten verwendet. Dies ist ein wasserfester Baustoff aus acetylierter Holzfaser und der Fertigungstechnik von Medite MDF. Das Holz wird aus nachhaltiger FSC®-Forstwirtschaft unter Verwendung eines Hochleistungsharzes hergestellt, welches kein Formaldehyd enthält. In diese Brettchen werden jeweils 8-10 Niströhren vordefinierter Durchmesser und 15 cm Länge gefräst. Nach oben hin sind die Röhren offen und erlauben es, die Belegung einzusehen. Die Nisthilfe-Brettchen sind mittig durchbohrt und werden übereinander an ein Metallgewinde gesteckt und mittels einer Schraubenmutter fest zusammengehalten. Verschiedene Wildbienenarten weisen Präferenzen für unterschiedliche Niströhren-Durchmesser auf (Westrich, 2019). Die im Rahmen eines Vorversuchs standardisierte Nisthilfe (Lindermann et al., *in Vorbereitung*, **Abbildung 4.3**) bietet sieben Brettchen à 3,2 mm, sieben Brettchen à 4,8 mm, fünf Brettchen à 6 mm, fünf Brettchen à 8 mm (jeweils 10 Röhren) und ein Brettchen à 9,5 mm an (8 Röhren), um das vorherrschende Artenspektrum in Agrarlandschaften bestmöglich abbilden zu können. Oberhalb der Nisthilfe schützt ein Aluminiumdach vor starken Witterungseinflüssen. Die Nisthilfen werden auf Holzpfosten in ca. 1,50 m Höhe montiert. Die Einfluglöcher werden in süd-südöstlicher Richtung ausgerichtet. Um später in der Saison fliegenden Arten sowie Individuen späterer Generationen bei bivoltinen und multivoltinen Arten ebenfalls Nistplatz zu bieten, wird zu jeder im Februar installierten Nisthilfe Ende Mai eine zweite Nisthilfe aufgestellt.

Insgesamt können in Nisthilfen 21 verschiedene taxonomische Einheiten nestbauender Wildbienen anhand des Erscheinungsbildes ihrer Brutzellen bzw. Larven und Kokons aufgelöst werden, davon 15 bis auf Artebene. Nach bisherigen Erfassungen (Stand 2024) aus drei Jahren konnten in der beschriebenen standardisierten Nisthilfe 16 der 21 Einheiten nachgewiesen werden (**Tabelle 11.1**).



Abbildung 4.3: Aufbau einer standardisierten Nisthilfe, verändert nach Lindermann et al., 2024.

4.1.3 Artbestimmung via eDNA-Analyse

Die Erfassung der Wildbienen mit Ehrenamtlichen und Fotos liefert Informationen darüber, welche Taxa in den Nisthilfen vorkommen – eine Aufschlüsselung auf Artebene ist mit diesem Ansatz jedoch nicht bei allen Arten möglich. Um die taxonomische Auflösung zu verbessern, können zusätzlich DNA-basierte Erfassungsmethoden eingesetzt werden. Die Probenahme des genetischen Materials erfolgt dabei erst nach dem Schlupf der Wildbienen, wodurch eine bestandsschonende Erfassung gewährleistet wird (**Abbildung 4.4**). Die Wildbienenarten werden dabei über DNA-Spuren nachgewiesen, die in den Nisthilfen verbleiben (eDNA) (Sickel et al., 2023a). Hierfür wird im Spätsommer aus allen im „eDNA-Jahr“ befindlichen Nisthilfen das nach dem Schlupf der Tiere hinterlassene organische Material entnommen (**Abbildung 4.2**). Ein Teil dieser Proben wird dann für die eDNA-Analyse weiterverwendet, während das organische Material aus den restlichen Proben für zukünftige Fragestellungen archiviert wird. Die Probenahme ist so gestaltet, dass sie unter Verwendung detaillierter Schulungsmaterialien (z.B. Schulungsvideos) von Ehrenamtlichen durchgeführt werden kann.

Die Nisthilfen werden geöffnet und Brettchen-weise beprobt. Dabei werden die Röhren mit Hilfe eines Metallspatels mechanisch ausgeschabt. Das dadurch anfallende lose Material (Nestwände, Pollenreste, nicht entwickelte Kokons, adulte abgestorbene Individuen und Kot) wird in einem Auffanggefäß gesammelt und anschließend in eine Probeflasche überführt. Zur Vorbereitung auf die DNA-Analyse wird die Sammelprobe anschließend getrocknet und gemahlen. Pro Nisthilfestandort liegen dann zwei gemahlene Proben vor, die entsprechend der oben beschriebenen Rotation entweder im Probenarchiv gelagert oder mittels DNA-Metabarcoding analysiert werden. Zur eDNA-Analyse wird nur ein geringer Teil der Sammelprobe verwendet, sodass auch hier Rückstellproben im Archiv verwahrt werden können.

Zur DNA-Analyse werden die beiden Proben der Nisthilfen-Paare eines Standortes vereint, um die DNA zu extrahieren. In der anschließenden PCR wird ein Fragment des *COI*-Gens amplifiziert und die Proben werden mittels Index-Sequenzen spezifisch gekennzeichnet (ähnlich Elbrecht und Steinke, 2018), um sie später bioinformatisch identifizieren zu können. Die Proben können dann in einem Gesamtpool sequenziert werden. Die Rohdaten der Sequenzierung (*reads*) werden bioinformatisch aufbereitet. Dies beinhaltet unter anderem Filterung nach Sequenzqualität, *demultiplexing* (Zuordnen der einzelnen *reads* zu den Ausgangsproben) und taxonomische Klassifizierung. Dabei wird ausschließlich Open-Source-Software verwendet, wie *cutadapt* (Martin, 2011) und *VSEARCH* (Rognes et al., 2016). Die *reads* werden dabei als *amplicon sequence variants* (ASVs) gruppiert (*denoising*) (Edgar, 2016; Callahan et al., 2017; Porter und Hajibabaei, 2020). Die taxonomische Klassifizierung erfolgt mittels Referenzdaten aus den Datensätzen von BOLD (Ratnasingham und Hebert, 2007) und GenBank (Sayers et al., 2021). Die bioinformatische Aufarbeitung findet automatisiert statt (https://github.com/monagrland/MB_Pipeline).

Mit Hilfe der eDNA-Analyse können Wildbienen auf Artebene erfasst werden, sodass hier eine genauere Aussage über Artenvielfalt erreicht werden kann. Mithilfe dieser Daten kann der Anteil der gefährdeten Arten pro Untersuchungsfläche bestimmt, sowie die phylogenetische Diversität (dritte Säule der Biodiversität; Faith's PD; Faith, 1992) erfasst werden. Neben den Informationen zu den Wildbienen-Beständen werden außerdem Daten über weitere Hymenopteren erhoben, wie zum Beispiel solitäre Wespen, sowie Antagonisten. Die Erfassung dieser Arten erlaubt es, ökologische Interaktionen (z. B. Trophieebenen) nachzuvollziehen.

Da Nisthilfen als Gesamtproben prozessiert werden, kann es zu sogenannten *taxa dropouts* kommen. Dabei kann es sein, dass Arten, die in den Nisthilfen vorkamen, nicht per eDNA detektiert werden. Dies kann insbesondere Arten betreffen, die seltener vorkommen oder weniger DNA in der Niströhre hinterlassen als andere Arten. Des Weiteren kann es zu Ungenauigkeiten bei der Bestimmung kommen, da nur ein Teil des *COI*-Gens amplifiziert und sequenziert wird. Dies ist aufgrund der mitunter geringeren Qualität der eDNA, aber auch aufgrund der technisch erreichbaren *read*-Längen der Fall. Zur Fehlerminimierung werden daher die eDNA-Daten mit den Fotos der entsprechenden Nisthilfebrettchen abgeglichen.

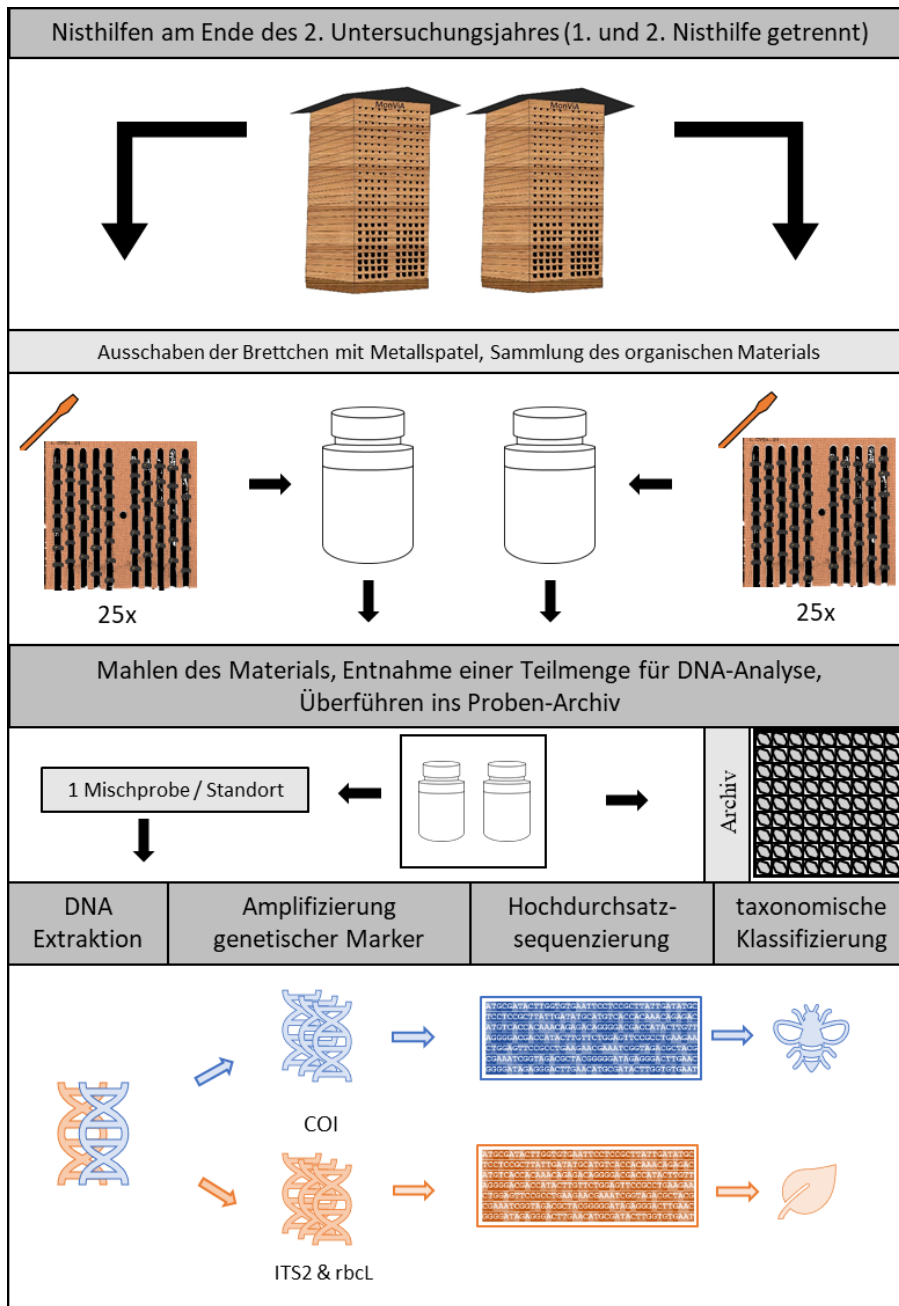


Abbildung 4.4: Schematische Darstellung des eDNA-Workflows im Monitoring hohlraumnistender Wildbienen. Die Beprobung der einzelnen Brettchen erfolgt durch Ehrenamtliche. Die Mischproben mit organischem Material werden im DNA-Labor gemahlen und langfristig im Probenarchiv gelagert. Eine Teilmenge der Proben durchläuft dann den gesamten DNA-Analyseprozess, inklusive DNA-Extraktion, PCR (tierische und pflanzliche Marker), Hochdurchsatzsequenzierung und taxonomische Klassifizierung. Die Analyse der pflanzlichen Marker wird im nachfolgenden Kapitel 4.1.4 beschrieben, [Abbildung: Wiebke Sickel].

4.1.4 Analyse von Nahrungsressourcen und Nistmaterial

Parallel zur Erfassung der oben beschriebenen Artenvielfalt der Wildbienen und anderer Arthropoden mittels Analyse des *COI*-Gens können aus den gesammelten Proben pflanzliche Marker amplifiziert, sequenziert und

analysiert werden. Hierbei werden sämtliche pflanzliche Rückstände erfasst, was neben dem gesammelten Pollen auch eingetragenes Nistmaterial umfasst. Die Aufbereitung der Proben im Labor erfolgt genauso wie für die Analyse der Wildbienenarten beschrieben, jedoch werden die genetischen Marker *ITS2* und *rbcL* verwendet (**Abbildung 4.4**).

Die taxonomische Klassifizierung und weitere Analyse muss dabei für beide Marker getrennt erfolgen. Es wird je Nisthilfepaar und Untersuchungsfläche erfasst, welche und wie viele Pflanzenarten hohlraumnistende Wildbienen in Agrarlandschaften als Ressource nutzen. Des Weiteren wird der Anteil an Feldfrüchten in der Gesamtprobe erfasst. Die beschriebenen genetischen Marker zur Erfassung der Wildbienenarten sowie ihrer genutzten pflanzlichen Ressourcen werden klassischerweise getrennt voneinander amplifiziert. Durch den Einsatz moderner *multiplex*-PCR-Ansätze kann jedoch aufgrund paralleler Arbeitsprozesse die Effizienz in der Probenverarbeitung und Datengenerierung steigert werden (da Silva et al. 2019; de Kerdrel et al. 2020).

4.2 Besonderheiten des Nisthilfe-Monitorings

Das Erfassen von hohlraumnistenden Wildbienen mittels Nisthilfen liefert für ein Monitoring unter Einbeziehung von Ehrenamtlichen Informationen, die mit anderen Methoden nicht oder nur eingeschränkt erzielt werden können, auch wenn ein vergleichsweise geringes Artenspektrum abgebildet wird (Westphal et al. 2008). Durch das Fotografieren der Nisthilfe-Brettchen am Ende der Saison (Ende September) können Taxa- und Brutzellenanzahl abgebildet werden. Des Weiteren können Ehrenamtliche den Nisthilfen organische Reste entnehmen, sodass mit molekularbiologischen Methoden zum einen das Nahrungsspektrum der Wildbienen über die Analyse des eingetragenen Pollens erfasst und zum anderen trophische Interaktionen durch die Analyse von Umwelt-DNA (environmental DNA, eDNA; siehe Kapitel 4.1.4 und Kapitel 4.1.4) rekonstruiert werden kann (Taberlet et al., 2012; Deiner et al., 2017; Beng und Corlett, 2020).

Unter der Voraussetzung, dass Brutzellen vor Beschädigung geschützt werden, kann ein zusätzliches monatliches Öffnen der Nisthilfe und Fotografieren der Brettchen ab April das Erheben phänologischer Daten ermöglichen. Diese können wiederum mit vorherrschenden Witterungsbedingungen (mit Blick auf langfristige Klimatrends) oder Nahrungsverfügbarkeit (Blühzeitpunkte von Feldfrüchten oder in Blühflächen angesäten Arten) in Bezug gesetzt werden. Die Vielfalt der Daten, die mit einer Nisthilfe erfasst werden kann, veranschaulicht **Abbildung 4.5**. Des Weiteren bietet das Monitoring mittels Nisthilfen das Potential, Daten zur Vitalität von Populationen zu liefern, beispielsweise über Verhältnis erfolgreich entwickelter Brutzellen zur Gesamtzahl angelegter Brutzellen pro Taxon.

Die Analyse der mit Nisthilfen erhobenen Daten erlaubt es, diese in Bezug zur Ausgestaltung der umgebenden Agrarlandschaft (Landnutzung, Landnutzungsintensität, Landschaftsstrukturen) zu setzen. Mehrere Studien belegen einen positiven Effekt der Verfügbarkeit von natürlichen Nistressourcen in direkter Umgebung zu den untersuchten künstlichen Nisthilfen (Holzschuh et al., 2009, Fabian et al., 2013). Zudem haben viele Wildbienenarten relativ geringe Sammelradien (Zurbuchen et al., 2010), wodurch die Anlage der Nester direkte Rückschlüsse auf die Verfügbarkeit des umgebenden Nahrungsangebots zulässt.

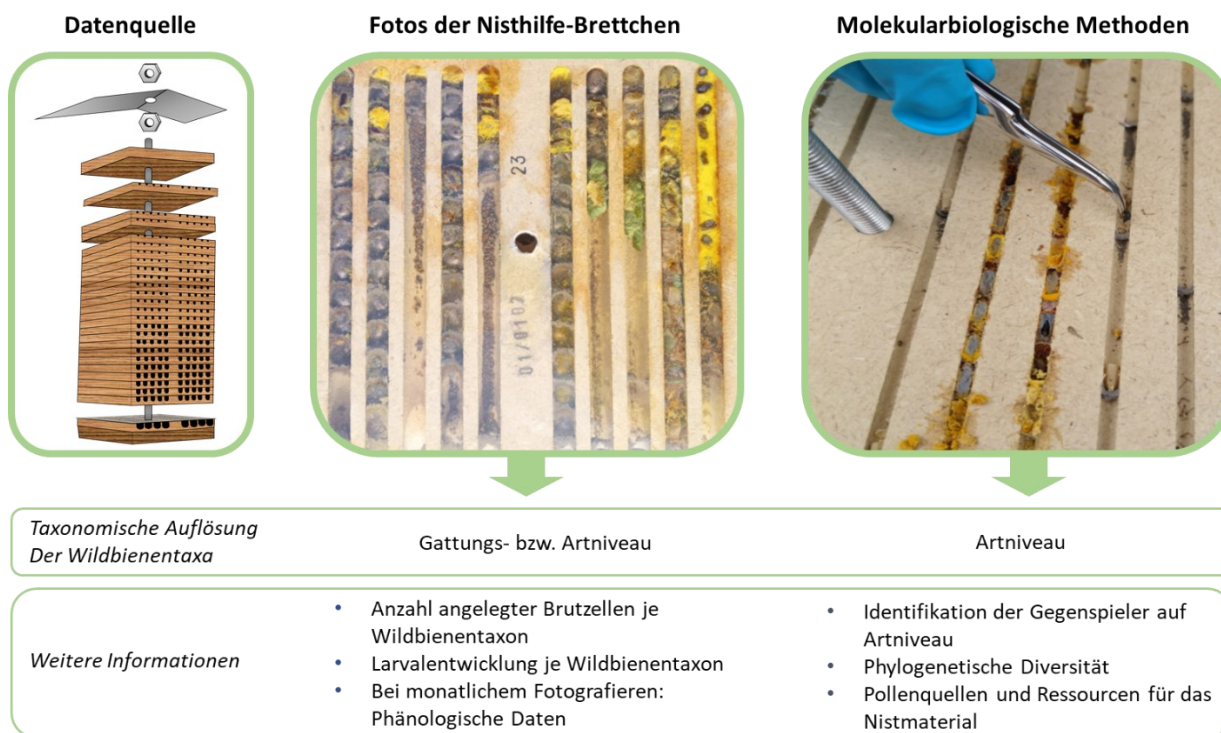


Abbildung 4.5: Die standardisierte Nisthilfe als Datenquelle. Daten werden (1) über das Fotografieren der Nisthilfe-Brettchen durch Ehrenamtliche erhoben sowie (2) durch einen molekularbiologischen Ansatz, welcher anhand der nach dem Schlupf der Tiere verbliebenen Nistmaterials durchgeführt werden kann, [Abbildung Nisthilfe: verändert nach Lindermann et al, 2024; Fotos: Lara Lindermann].

Über Nisthilfen können standardisierte Daten durch weitestgehend ungeschulte Personen erhoben werden, da durch das Fotografieren der Brettchen wenig fehleranfällige Rohdaten erzeugt werden. Dies ist gegenüber personenabhängigen Erfassungsmethoden, wie dem Handfang mit einem Insektennetz, ein wichtiger Vorteil. Bei der Erfassung von hohlraumnistenden Wildbienen in Nisthilfen entsteht, anders als bei weiteren personenunabhängigen Erfassungsmethoden (wie Malaise-Fallen, aber auch Farbschalen), kein Beifang, dessen Sortierung und Lagerung langfristig räumliche, personelle und damit auch finanzielle Ressourcen beansprucht. Zwar ist die manuelle Bestimmung der Bilder zeitaufwendig, jedoch entfällt der vorangestellte langwierige Schritt der Vorsortierung und des Präparierens der Tiere. Die auf den Fotografien der Nisthilfe-Brettchen erkennbaren Brutzellen können direkt ohne Vorbearbeitung bestimmt werden. Zukünftig könnte zur Bestimmung der Nisthilfe-Fotos unterstützend eine KI-basierte Bilderkennung implementiert werden.

Hiermit verbunden ist auch, dass die Methodik bestandsschonend ist. Auch wenn durch eine sachgemäße und schonende Anwendung der weiteren hier angesprochenen Standardmethoden im begrenzten zeitlichen und räumlichen Rahmen keine negativen Auswirkungen auf Wildbienenbestände zu erwarten sind (Gezon et al., 2015; Ssymank et al., 2018), so muss insbesondere bei einem groß angelegten Monitoring-Programm sichergestellt werden, dass dieses keine negativen Auswirkungen auf die Bestände hat (Woodard et al., 2020; Tepedino und Portman, 2021). Die Wahl einer bestandsschonenden Methode ist auch im Hinblick auf die Einbeziehung von Ehrenamtlichen wichtig, da die Hürde zur Beschäftigung mit der Artengruppe der Wildbienen abgesenkt wird und der Einstieg in die Bestimmung erleichtert werden kann. Die Bereitschaft, Nisthilfen zu betreuen und zu beobachten, ist erfahrungsgemäß bei vielen Menschen sehr hoch, wohingegen der Schritt, Tiere zu töten, viele davon abhalten würde, bei einem Monitoring mitzumachen. Das Verwenden der Nisthilfen ist außerdem mit dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) vereinbar, da die Wildbienen weder gefangen, verletzt

oder getötet, noch ihre Fortpflanzungs- und Ruhestätten entnommen, beschädigt oder zerstört werden. Es bedarf daher keiner besonderen Ausnahmegenehmigung für den Einsatz der Nisthilfen.

Darüber hinaus gibt es noch weitere Vorteile von Nisthilfen als Erfassungsmethode. So werden keine Arten, welche ein Gebiet lediglich durchqueren ohne Populationen vor Ort aufzuweisen, miterfasst und Daten können unabhängig von Aktivitätszeiten erfasst werden. Durch Nisthilfen wird zudem eine gezielte Probennahme von hohlraumnistenden Arten ermöglicht, wodurch das anzutreffende Artenspektrum im Vergleich überschaubar und eine Auswertung damit weniger komplex ist (Staab et al., 2018).

4.3 Indikatoren

4.3.1 Zustandsindikatoren

Die im Rahmen des Nisthilfe-Monitorings erhobenen Daten werden genutzt, um zwei Indikatoren zur Zustandsbeschreibung der Bestände hohlraumnistender Wildbienen in Deutschland zu berechnen. Dazu zählen neben der Diversität der hohlraumnistenden Wildbienen, bestehend aus den Subindikatoren Artenreichtum, Simpson-Index und Evenness, auch der Anteil an Rote-Liste-Arten. Als Datengrundlage zur Berechnung dienen je nach (Sub-)Indikator die Bestimmungsergebnisse aus der Fotoauswertung und/oder die Ergebnisse der eDNA-Analyse. Eine genaue Beschreibung der Indikatoren und die jeweiligen Berechnungen sind im MonViA-Indikatorenbericht aufgeführt (MonViA, 2024). Zusätzlich zu den Zustandsindikatoren liefert das Monitoring durch die eDNA-Analyse des organischen Materials aus den Nisthilfen Daten zur phylogenetischen Diversität und zu genutzten Nahrungs- und Nistressourcen aus der Agrarlandschaft.

4.3.2 Belastungsindikatoren

Der Zustand und die Entwicklung von Wildbienenbeständen in der Agrarlandschaft lassen sich primär mit der Qualität der Wildbienen-Habitate erklären, die wiederum im Wesentlichen durch die Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen, Nistplätzen und Nistmaterial bestimmt wird (Cane, 2001; Westrich, 2019). Qualitativ hochwertige Habitate für hohlraumnistende Wildbienen sind somit vor allem durch ein über die Aktivitätsperioden der Wildbienen kontinuierlich breites Angebot an Blühpflanzen sowie die Verfügbarkeit oberirdischer Nistmöglichkeiten z. B. in Totholz oder Pflanzenstängeln gekennzeichnet. Bisherige Studien haben gezeigt, dass sich vor allem strukturreiche, naturnahe Landschaften als Nahrungs- und Nisthabitate für hohlraumnistende Wildbienen eignen (z. B. Steffan-Dewenter, 2002; Kennedy et al., 2013; Hopfenmüller et al., 2014; Steckel et al., 2014; Rollin et al., 2019).

Die Habitatqualität für hohlraumnistende Wildbienen wird für die 3x3 km²-Landschaftsfenster (LUCAS-Flächen) mittels Geodaten ausgewertet. Dazu werden drei Bereiche unterschieden (**Tabelle 4.1**): Habitatvielfalt, Habitatkonnektivität und Landnutzungsintensität. Für die Analyse der Habitatvielfalt und der Habitatkonnektivität werden Daten zu Biotoptypen und Landnutzungsklassen genutzt, die aus dem Digitalen Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM; BKG, 2022) oder weiteren amtlichen Kartierungen (beispielsweise Biotoptypenkartierungen auf Bundesland-Ebenen, z. B. Sachsen-Anhalt; LAU, 2020) stammen oder aus Fernerkundungsdaten extrahiert werden (z. B. aus dem Copernicus-Programm; CLMS, o. J.). Außerdem dienen Fernerkundungsdaten als wichtige Quelle für hochaufgelöste Karten zur Kulturartenvielfalt (Blickensdörfer et al., 2022) sowie zur Intensität der Grünlandnutzung (z. B. Anzahl der Grünlandschnitte; Schwieder et al., 2022). Mithilfe kulturspezifischer Nektar- und Pollenwerte sowie Abschätzungen zur Pestizidanwendung lassen sich aus den Daten zu Kulturarten flächenhafte Indizes mit Relevanz für die Qualität der Wildbienen-Habitate berechnen (Hellwig et al., 2022). Sobald flächenhaft verfügbar, können aus Daten des Integrierten Verwaltungs- und

Kontrollsystems (InVeKoS) weitere Daten zur Kulturartenvielfalt, zum Viehbesatz sowie zu ökologischen Vorrangflächen und Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKMs) als biodiversitätsfördernde Maßnahmen abgeleitet werden (siehe bisherige Studien zur Verwendung von InVeKoS-Daten für agrarökologische Studien, z. B. Lomba et al., 2017; Jerrentrup et al., 2017).

Tabelle 4.1: Indikatoren zur Habitatqualität für Wildbienen.

Habitatvielfalt	Habitatkonnektivität	Landnutzungsintensität
Landschaftsvielfalt	Flächengrößen	Anwendung von Pflanzenschutzmitteln
Kleinstrukturen	Länge der Grenzlinien	Grünlandschnitte
Vegetationsfreie Flächen		Viehbesatz
Nahrungsressourcen		Biodiversitätsfördernde Maßnahmen

5 Hummel-Monitoring



Hummeln (Gattung *Bombus*) zählen zu den wichtigsten Bestäubern von Wild- und Kulturpflanzen und sind in landwirtschaftlichen Produktionssystemen von besonderer ökonomischer und ökologischer Bedeutung. Einige für die Landwirtschaft zentrale Futter- und Gründünpflanzen (z. B. Rotklee und Luzerne) sowie zahlreiche Gemüsesorten (z. B. Tomaten und Kürbisse) werden ausschließlich oder überwiegend von Hummeln bestäubt, was unter anderem an besonderen Verhaltensweisen wie der Vibrationsbestäubung (*buzz pollination*) liegt (Hutchinson et al., 2021). Außerdem kann der Ertrag und die Produktqualität vieler Obst- und Gemüsesorten gesteigert werden, wenn neben den klassischerweise für die konventionelle Bestäubung eingesetzten Honigbienen (*Apis mellifera*) auch Hummeln an der Bestäubung beteiligt sind (Nayak et al., 2020). Gleiches gilt ebenso für Ackerkulturen wie Raps, Ackerbohne oder Sonnenblumen (Aslan und Yavuksuz, 2010; Perrot et al., 2018). Hinzu kommt, dass Hummeln auf ihren Sammelflügen Distanzen von einigen hundert Metern bis wenige Kilometer zurücklegen können, sodass sie auch in Agrarlandschaften mit großen Feld- oder Schlaggrößen ihre Bestäubungsleistung erbringen können. Aufgrund dieser Eigenschaften können Veränderungen in der Abundanz und Diversität von Hummeln Auswirkungen auf die Produktionssicherheit von Lebensmitteln haben (Khalifa et al., 2021).

Neben der Bedeutung der von ihnen erbrachten Ökosystemleistungen bieten Hummeln auch die Möglichkeit, als Zeiger für die Zustandsbeschreibung der Agrarlandschaft eingesetzt zu werden, da sie hierfür geeignete Indikatoreigenschaften besitzen. So kommen Hummeln weitverbreitet in der Agrarlandschaft vor, reagieren sensibel auf Umweltveränderungen und können als Indikator für Habitatqualität herangezogen werden (Sepp et al., 2004; Diaz-Forero et al., 2011). Darüber hinaus kann eine Analyse des von Hummeln gesammelten Pollens Informationen zur Pollenverfügbarkeit und zur Zusammensetzung der angiospermen Flora auf Landschaftsebene preisgeben (Leidenfrost et al., 2020; Piko et al., 2021).

Trotz ihrer zentralen Bedeutung sind die Bestände von Hummeln weltweit seit Jahren rückläufig (Kosior et al., 2007; Arbetman et al., 2017; Soroye et al., 2020). Von den 41 für Deutschland gelisteten Hummelarten gelten zwölf Arten als in ihrem Bestand gefährdet und drei weitere Arten als bereits ausgestorben bzw. verschollen (Westrich et al., 2011). Neben Klimaveränderungen werden als Hauptursachen für die Bestandsrückgänge Veränderungen in landwirtschaftlichen Produktionssystemen und Bewirtschaftungsformen sowie in der strukturellen Ausgestaltung von Agrarlandschaften angenommen (Cameron und Sadd, 2020).

Damit Zusammenhänge besser verstanden und verlässliche Aussagen über die Entwicklungstrends sowie Folgen für die biologische Vielfalt und Wirtschaftlichkeit agrarischer Produktionssysteme getroffen werden können, werden langfristige Datenreihen zur Abundanz und Diversität von Hummeln benötigt. Da es möglich ist, die häufigen Arten bzw. Artengruppen nach entsprechender Anleitung verlässlich im Feld zu bestimmen, können geschulte Ehrenamtliche (z. B. aus naturwissenschaftlichen Vereinen, Naturschutzorganisationen, Schulen oder Akteure aus der Landwirtschaft etc.) in die Erfassung eingebunden werden (MacPhail und Colla, 2020), wodurch eine große Flächenabdeckung und eine gesellschaftliche Sensibilisierung gegenüber Themen wie dem Bestäuberrückgang erzielt werden können (Schlegel et al., 2015).

Im Folgenden wird daher ein bundesweites und standardisiertes Hummel-Monitoring in Agrarlandschaften beschrieben, das durch Integration von Citizen Science-Ansätzen einen Beitrag zur Schließung der genannten Datenlücken liefern soll.

5.1 Erfassungsmethoden

Das Hummel-Monitoring beruht auf der klassischen Transekt-Erfassung, was eine Harmonisierung mit anderen europäischen Hummel-Monitoringprogrammen ermöglicht. Darüber hinaus weist das hier beschriebene Hummel-Monitoring einige Besonderheiten auf, da Prozesse zur Validierung und Sicherung der Datenqualität

implementiert sind. Außerdem sind Schnittstellen zu weiteren Methoden integriert, wie beispielsweise molekularbiologische Erfassungsmethoden. Dadurch können Ehrenamtliche mit unterschiedlichem Erfahrungsstand eingebunden und perspektivisch Artkomplexe aufgelöst sowie Aussagen über das Nahrungsspektrum von Hummeln getroffen werden.

5.1.1 Transekt-Design

Das Hummel-Monitoring wird auf einer Teilmenge der Zielkulisse für das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften durchgeführt. Um zu erwartende Bestandsveränderungen mit ausreichender Sicherheit detektieren zu können, wird angestrebt, das Hummel-Monitoring auf mindestens 400 Stichprobenflächen in Deutschland durchzuführen (siehe Kapitel 3.2.4).

Die Lage der Stichprobenflächen orientiert sich dabei, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, am europäischen LUCAS-Raster. Auf jeder dieser Flächen wird innerhalb des 1x1 km² großen Landschaftsfensters ein Transekt festgelegt (**Abbildung 5.1**). Dieser verläuft entlang von Grenzlinien wie unbefestigten Wegen, die mindestens einseitig an agrarisch genutzte Flächen angrenzen. Startpunkt des Transekts ist, soweit möglich, der zum Mittelpunkt des Landschaftsfensters (dem LUCAS-Punkt) nächstgelegene Punkt auf einer Grenzlinie. Beim Festlegen des Transektverlaufs wird außerdem berücksichtigt, möglichst eine Vielzahl der im Landschaftsfenster vorhandenen Landnutzungstypen (auf Grundlage des Basis-DLM; BKG, 2022; siehe **Abbildung 5.1 B**) abzudecken. Für die teilautomatisierte Erstellung der Transekte wird ein Algorithmus verwendet, welches die genannten Bedingungen berücksichtigt (Kapitel 3.3). Die so erstellten Transekte werden anschließend *in silico* anhand von Luftaufnahmen und *in situ* durch Ehrenamtliche vor Ort auf ihre Begehrbarkeit (Einschränkungen durch Einfriedungen, Weidetiere etc.) überprüft und gegebenenfalls angepasst. Auf eine freie Transektwahl durch Ehrenamtliche wird verzichtet, damit sichergestellt werden kann, dass die umgebende Landschaft möglichst repräsentativ durch das Transekt abgebildet wird.

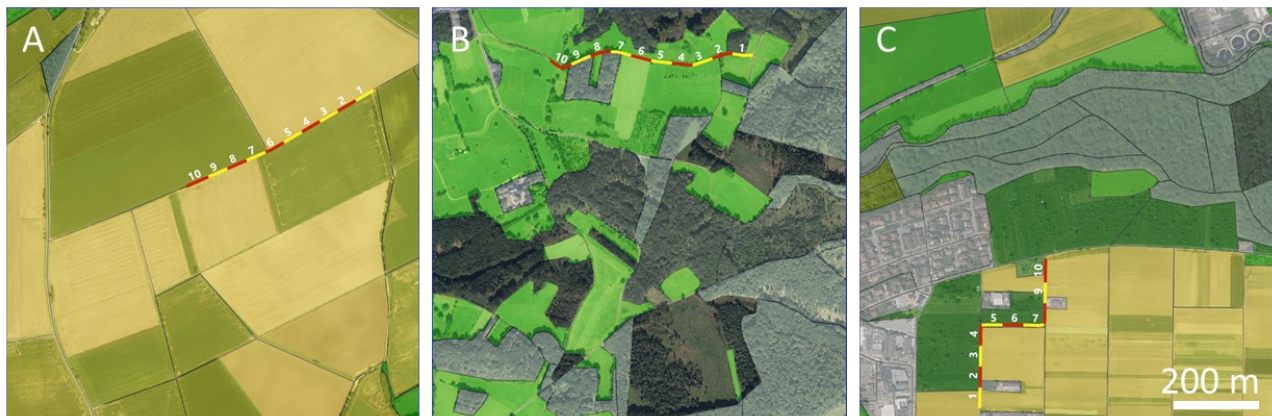


Abbildung 5.1: Beispiele für Transekte. In: A einer von Ackerland (gelbe Schattierung) dominierten Landschaft; B einem von Grünland (hellgrün) dominierten Landschaftsfenster; C einer mit Sonderkulturen (Streuobstwiesen, dunkelgrün) bewirtschafteten Agrarlandschaft. Kartengrundlage: Digitale Orthophotos DOP20 (BKG), Basis-DLM; BKG, 2022), [Abbildung: Frank Sommerlandt].

5.1.2 Transektbegehung

Das Hummel-Monitoring basiert in Anlehnung an andere europäische Hummel-Monitoringprogramme auf regelmäßig wiederholten, standardisierten Transektgängen. Dabei führen geschulte Ehrenamtliche die Hummelerfassung einmal pro Monat von März bis Oktober innerhalb der letzten 15 Tage eines jeden Monats durch. Mit Hilfe zugeschnittener Schulungsangebote (Kapitel 7.2.2) und genauen Vorgaben zur Durchführung der Erfassung wird ein hoher Grad an Standardisierung erreicht.

Die vorhandenen Rahmenbedingungen (wie Temperatur und Windstärke) sowie die Sichtungen der Hummeln und ihrer Nahrungspflanzen werden bei jeder Begehung erfasst⁵. Als Rahmenbedingung für Begehungen ist festgesetzt, dass sie nur zwischen 9 Uhr morgens und 17 Uhr abends stattfinden. Das Wetter sollte trocken und sonnig sein sowie eine Mindesttemperatur von 6°C aufweisen. Keine Erhebung erfolgt bei Regen, Tau und nassen Pflanzen sowie wenn der Wind Blätter und Laub verweht oder noch stärker ist ($\geq$ Windstärke 5), da bei derart für den Hummelflug ungünstigen Wetterbedingungen erheblich weniger bis keine Hummeln ihre Nester für die Nahrungssuche verlassen.

Ein Transekt des Hummel-Monitorings hat eine Breite von 5 m und eine Länge von 500 m, welche in zehn Abschnitte à 50 m unterteilt ist (**Abbildung 5.2**). Für die Erfassung werden in jedem 50-m-Abschnitt 5 Minuten lang gezielt für Hummeln geeignete Nist- und Nahrungsressourcen aufgesucht. Alle Hummeln werden mit einem Insektennetz gefangen und in ein Beobachtungsgläschen (ein kubisches Kunststoffgefäß; sogenannte Jousi- oder Mikromountdosen mit einer Länge von 40 mm, einer Breite von 35 mm und einer Höhe von 33 mm, **Abbildung 5.3: I**) mit Schaumstoffstopfen überführt.

Die sicher auflösbare taxonomische Gruppe (siehe **Tabelle 11.2**) und gegebenenfalls die Nahrungspflanze, auf der die Hummel gefangen wurde, werden nach Abschluss des 5-Minuten-Abschnittes vermerkt. Zusätzlich werden von allen Hummeln Belegfotos angefertigt. Im Anschluss an die Aufnahme der Belegfotos werden die Hummeln an Ort und Stelle wieder freigelassen. Die während des Fangens, Bestimmens und Fotografierens der Hummeln verstreichende Zeit wird nicht den 5 Minuten Gehzeit pro Abschnitt angerechnet. Die Methodik für das Monitoring ist zwar bestandsschonend konzipiert, sodass ein Abtöten von Tieren nicht notwendig ist, bedarf zur Umsetzung aber dennoch einer Ausnahmegenehmigung durch die zuständige Naturschutzbehörde (Kapitel 7.2.1).

⁵ Ein Beispiel für ein standardisiertes Feldprotokoll findet sich hier:

https://wildbienen.thuenen.de/fileadmin/nisthilfen/PDFs_zum_Download/Hummelmonitoring_Feldprotokoll_V2025-1.pdf



Abbildung 5.2: Abschnittsweise Transektbegehung. Links: Ein Hummel-Transekt führt durch Agrarlandschaft. Rechts: Jeder Transekt-Abschnitt (5 m x 50 m) wird 5 Minuten lang ressourcenorientiert nach Hummeln abgesucht. Kartengrundlage: Digitale Orthophotos DOP20 (BKG), [Abbildung Frank Sommerlandt].



Abbildung 5.3: Fotodokumentation von Hummeln im Beobachtungswürfel. I - Beobachtungswürfel mit Schaumstoffstopfen; II - Belegfotos eines Männchens des *B. terrestris* agg. im Beobachtungswürfel. Aufnahmen vom a) gesamten Tier, b) dem Gesicht und c) von der Seite, sowie d) eine Gesamtaufnahme des Würfels, [Abbildung Frank Sommerlandt; Fotos: D. Gottschalk (a, d) und A. Walter (b, c)].

5.1.3 Bestimmung der Hummeln im Gelände und anhand der Belegfotos

Die Bestimmung von Hummelarten stellt eine gewisse Herausforderung dar. Bisweilen unterscheiden sich die Geschlechter und Kasten in ihrem Erscheinungsbild innerhalb einer Art stärker als zwischen verschiedenen Arten. Hinzu kommt, dass auch ontogenetische Prozesse, wie das verlieren oder ausbleichen der Haare, das Erscheinungsbild von Individuen stark verändern können. Damit trotz der im Sinne der bestandsschonenden Erfassung fehlenden Belegtiere und ohne die Möglichkeit der Bestimmung bei hoher Vergrößerung unter dem Binokular qualitative, belastbare Daten generiert werden, müssen die aufgenommenen Belegfotos bestimmte Mindestanforderungen erfüllen. Für die Bestimmung anhand der Fotos ist entscheidend, dass möglichst viele

morphologische Merkmale gut erkennbar erfasst werden. Dafür werden von jeder Hummel mindestens drei Fotos aufgenommen: Neben einer Draufsicht-Aufnahme vom gesamten Tier werden Detailaufnahmen vom Gesicht der Hummel sowie aus der Seitenansicht mit Fokus auf die Mittel- und Hinterbeine angefertigt (**Abbildung 5.3: II**). Hierfür werden die Hummeln mit dem Schaumstoffstopfen so im Bestimmungsgläschen fixiert, dass artspezifische Bestimmungsmerkmale möglichst gut erkennbar sind. Es kann sinnvoll sein, mehrere Fotos aus verschiedenen Blickwinkeln anzufertigen. Zusätzlich wird ein Übersichtsfoto angefertigt, auf dem die Kantenlängen des Beobachtungswürfels erkennbar sind, um im Nachgang die Größe der Hummel im Verhältnis zur Größe des Beobachtungswürfels messen zu können. Als Maß für die Körpergröße der Hummel wird der Abstand zwischen den Flügelansätzen (Tegulae) herangezogen. Damit alle aufgenommenen Fotos später sicher den erfassten Daten zugeordnet werden können, sollte jedes Foto über einen Zeit- und Ortsstempel verfügen.

Die übermittelten Belegfotos werden durch Artexpert*innen validiert bzw. bestimmt. Die Bestimmungsergebnisse werden dann zusammen mit Hinweisen zu Bestimmungsmerkmalen monatlich an die Ehrenamtlichen zurückgemeldet, sodass diese in der Lage sind, ihren Bestimmungserfolg zu verfolgen und zu steigern. Durch diese positive Rückkopplung erhalten die Ehrenamtlichen Training in der Artbestimmung, wodurch sich mit fortwährender Dauer des Monitorings die Validität der Daten erhöht. Zukünftig könnte für die Validierung der Belegfotos unterstützend eine KI-basierte Bilderkennung implementiert werden. Besondere Funde, z. B. gebietsfremde oder seltene Arten, sollten stets manuell durch Expert*innen validiert und auf Plausibilität geprüft werden.

5.1.4 Optional: Molekularbiologische Erfassungsansätze zur Auflösung von Artkomplexen und zur Identifizierung von Pollenquellen

COI-Sequenzierung zur Auflösung von Artkomplexen

Einige Hummelarten können im Feld bzw. mittels Belegfotos nicht anhand morphologischer Merkmale von ähnlichen Arten unterschieden werden. So umfasst beispielsweise der Erdhummelkomplex vier Arten, die sich nicht durch bloße Sichtkontrolle voneinander unterscheiden lassen (Murray et al., 2008). Auch bei weiteren Hummelarten ist die Bestimmung üblicherweise nicht bestandsschonend im Feld, sondern nur nach Entnahme und Abtöten der Tiere umsetzbar. Eine morphologische Artunterscheidung der Drohnen von *B. semenoviellus* und *B. jonellus* ist beispielsweise nur anhand einer Genitalpräparation möglich. Eine methodische Alternative, Artkomplexe doch tötungsfrei auflösen zu können, stellen genetische Analysen minimal-invasiv gewonnener Gewebeproben dar. Beispielsweise kann aus einem einzigen Hummelbein eine ausreichende Menge DNA für die Artbestimmung gewonnen werden, während die Entnahme eines Mittelbeins für eine Hummel-Arbeiterin selbst keine größeren Einschränkungen mit sich bringt hinsichtlich Überlebenswahrscheinlichkeit und Sammelaktivität (Holehouse et al., 2003). Aus dem gewonnenen genetischen Material wird dann zur Artbestimmung standardmäßig die artspezifische Sequenz des COI-Gens sequenziert und mit einer Referenzdatenbank abgeglichen (DNA-Barcoding). Die COI-Sequenzierung lässt sich in das Hummel-Monitoring mit überschaubaren zusätzlichen Anforderungen an die finanziellen und personellen Ressourcen integrieren. Jedoch müssen grundsätzlich folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Für die Probenahme wird eine gesonderte Fanggenehmigung benötigt, die auch das Sammeln von Gewebeproben bzw. ganzen Tieren erlaubt.
- Ehrenamtliche, die an der Probenahme mitwirken, müssen speziell geschult werden.
- Zur Schonung der Proben muss ein zeitnahe Überführen vom Feld ins Labor sichergestellt sein.
- Zum Schutze nestgründender Königinnen sollten genetische Analysen erst ab Ende Mai durchgeführt werden

Es empfiehlt sich, aus Gründen der Logistik und der Kosten die Probenahme für die Artbestimmung einmal im Jahr im Zuge der Juni-Erfassung durchzuführen. Zu diesem Zeitpunkt sind sowohl die Arten-, als auch die

Individuenzahl am höchsten. Es sollten mindestens alle zu Aggregaten zählende Morphotypen beprobt werden. Darüber hinaus empfiehlt sich aber auch das breite Anlegen einer genetischen Datenbank für Hummeln, um zukünftig Aspekte der Populationsgenetik oder genetischen Vielfalt beleuchten zu können.

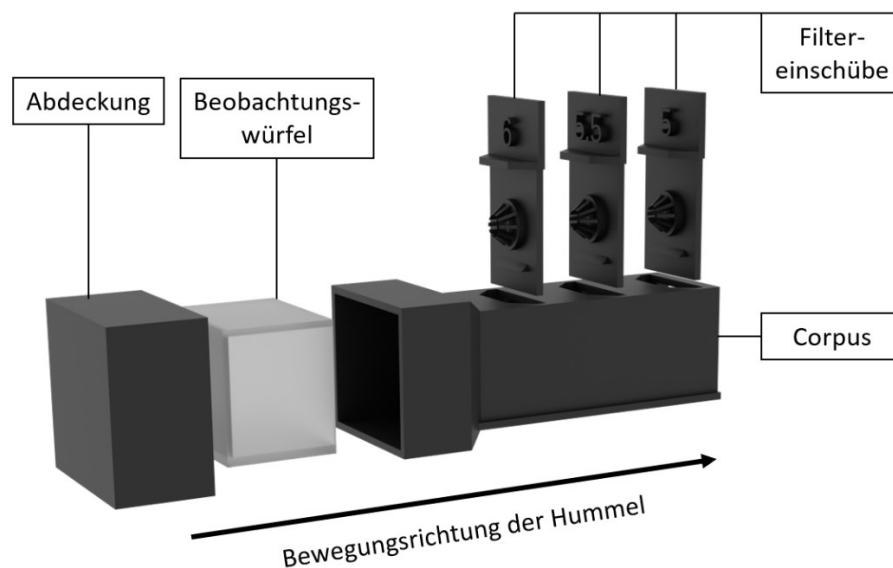
Pollen-Metabarcoding zur Identifizierung von Pollenquellen

Die Analyse der Pollenhöschen von Hummeln erlaubt Rückschlüsse auf erschlossene Pollenquellen. Die Entnahme des Pollens von den Hinterbeinen der Hummeln erfolgt klassischerweise mit Hilfe einer Pinzette oder durch Auswaschen (Piko et al., 2020). Als eine neue, minimal-invasive Methode haben wir den *Pollenstripper* entwickelt und getestet (siehe Box 3). Für die Probenahme der Pollenhöschen empfiehlt sich aus wissenschaftlichen Gesichtspunkten ein monatliches Vorgehen und eine Beprobung aller Hummel-Arten. Anhand der gesammelten und analysierten Pollenproben lassen sich dann Aussagen zur Pollenverfügbarkeit und -nutzung auf Landschaftsebene ableiten.

Pollenhöschen-Proben können innerhalb eines Transekts pro Begehung gepoolt werden (Aussagen auf Hummel-Artebene sind aufgrund der teilweisen Bestimmung auf Artengruppen-Niveau und den geringen Individuen-Zahlen pro Begehung nur eingeschränkt möglich). Aus den Pollen-Mischproben kann die DNA extrahiert werden, bevor mittels DNA-Metabarcoding und dem Abgleich mit Referenzdatenbanken (siehe Kapitel 4.1.4) die Pflanzenarten bestimmt werden, aus denen sich die Pollenhöschen zusammengesetzt haben. Als genetische Marker werden analog zur Methodik beim Monitoring hohlraumnistender Wildbienen der ribosomale Marker *ITS2* und das in Chloroplasten vorkommende *rbcl* verwendet.

Box 3: Der Pollenstripper zur Gewinnung von Pollen aus Pollenhöschchen (Krüger et al. *in prep.*)

Damit Ehrenamtliche in die Probenahme der Pollenhöschchen eingebunden werden können, wurde mit dem Pollenstripper eine preisgünstige, einfach umzusetzende Methode entwickelt. Der Pollenstripper kann direkt an die für das Hummel-Monitoring verwendeten Beobachtungsgläschen angeschlossen werden und bildet dann einen Ausgangstunnel für die Hummel. In diesem Tunnel befinden sich drei ringförmige Verengungen unterschiedlicher Größe, durch die die Hummel auf ihrem Weg zum Ausgang hindurch klettern muss. Diese Verengungen sind so gestaltet, dass an der Hummel vorhandene Pollenhöschchen daran abgestreift werden und auf den Boden des Pollenstrippers fallen. Sobald die Hummel den Ausgangstunnel verlassen hat, kann der Pollen eingesammelt und zur Analyse weiterverarbeitet werden. Die Druckdateien sowie eine Anleitung zur Verwendung des Pollenstripper sind frei zugänglich unter <https://github.com/monagrland/Bumblebee-Pollen-Trap>.



Aufbau des Pollenstrippers zur tötungsfreien Isolierung der Pollenhöschchen von Hummeln, [Abbildung: Lasse Krüger]

Aus den DNA-Metabarcoding-Daten der Pollenproben kann auf die Vielfalt von Pflanzen geschlossen werden, die als Pollenquellen genutzt wurden. Das wiederum erlaubt Einblicke in die räumliche und zeitliche Nutzung der Agrarlandschaft, insbesondere die Pollenverfügbarkeit auf Landschaftsebene. Daraus kann der Anteil der Feldfrüchte an der Gesamtheit des gesammelten Pollens bestimmt werden. DNA-Metabarcoding-Daten sind nur bedingt geeignet, um quantitative Aussagen über das Pollenspektrum treffen zu können. Es kann jedoch eine grobe Einteilung in häufig und weniger häufig gesammelte Pflanzenarten vorgenommen werden. Dies kann zum Beispiel über *frequency of occurrence* (FOO) erfolgen, eine Kennzahl, die sich für Analysen des Nahrungsspektrums mittels DNA-Metabarcoding eignet (Deagle et al., 2019; Sickel et al., 2023b). Eine monatliche Probenahme ermöglicht die Analyse der Veränderungen im Jahresverlauf (Phänologie).

5.2 Besonderheiten des Hummel-Monitorings

Monitoring-Daten aus Citizen Science-Projekten können einen wertvollen Beitrag zur Erfassung von Bestandsveränderungen und Verbreitungsverschiebungen von Hummelarten leisten und Rückschlüsse über den Einfluss von Schutzmaßnahmen und der umgebenden Landschaft ermöglichen (Kadoya et al., 2009; Dubaïc et al., 2022; Whitehorn et al., 2022; Ghisbain et al., 2023). Zum Beispiel haben Daten über das Vorkommen und die Häufigkeit von Hummeln, die durch regelmäßige Transektbegehungen im Rahmen des Hummel-Monitorings im Vereinigten Königreich (UK BeeWalk) über einen Zeitraum von zehn Jahren gesammelt wurden, artspezifische Bestandsveränderungen aufgezeigt und konnten mit verschiedenen Einflussfaktoren (Landnutzung, Habitateigenschaften und klimatische Bedingungen) in Verbindung gebracht werden (Whitehorn et al., 2022).

Transektbegehungen bieten dabei im Vergleich zu anderen Erfassungsmethoden wie Gelbschalen ein hohes Potenzial für ein Citizen Science-basiertes Bestäuber-Monitoring. Ehrenamtliche zeigen einerseits eine hohe Bereitschaft, Transektbegehungen als Methode zu nutzen, und andererseits lässt sich die Durchführung der Transektbegehungen auch von Personen mit unterschiedlichem Erfahrungshintergrund erlernen und mit einem angemessenen Standardisierungsgrad umsetzen (Garratt et al., 2019).

Eine Herausforderung besteht jedoch in der Bestimmung von Hummeln anhand von Belegfotos. Nicht alle Hummelarten lassen sich morphologisch im Feld (z. B. Murray et al., 2008) oder anhand von Belegfotos (Austen et al., 2016; Colgan et al., 2024) zuverlässig auf Artenebene bestimmen. Daher werden einige Arten entsprechend morphologischer Merkmale in Artengruppen zusammengefasst (**Tabelle 11.2**).

Trotz der daraus resultierenden teilweise geringeren Artenauflösung liefert die Erfassung von Hummeln durch Ehrenamtliche eine Datenbasis, die mit anderen bestandsschonenden Methoden wie einer expertenbasierten Erfassung nicht in diesem Umfang erzielt werden kann. Ein wesentlicher limitierender Faktor ist dabei ohnehin, dass Experten mit tiefgreifenden taxonomischen Kenntnissen nicht ausreichend verfügbar sind (Löbl et al., 2023). Durch die Entkopplung der Datenerhebung im Feld von der anschließenden Artbestimmung können relativ wenige Artexperten die Meldungen vieler Untersuchungsflächen bestimmen bzw. validieren. Darüber hinaus steigern sich die Fähigkeiten zur Artbestimmung bei Ehrenamtlichen im Laufe ihrer Projektteilnahme und damit die Datenqualität (Falk et al., 2019) und auch der Einsatz von Bilderkennungssoftware kann eine Unterstützung bei der Bestimmung anhand von Belegfotos darstellen (Spiesmann et al., 2021).

Die Analyse der Belegfotos ermöglicht zudem eine Abschätzung des Milbenbefalls. Für mehr als 30 verschiedene Milbenarten wurde nachgewiesen, dass sie mit oder von Hummeln leben, indem sie sich parasitär von Hämolymphe, kleptoparasitär von Pollen und Nektar von mit Hummeln assoziierten Bakterien oder Pilzen ernähren (Haas et al., 2019). Da ein hoher Milbenbefall die Fitness von Hummeln negativ beeinflusst, kann der Grad der Parasitierung als Proxy für die Vitalität von Hummelpopulationen dienen.

Die monatliche Erfassung liefert zudem phänologische Daten, wie beispielsweise das erste Auftreten von Hummelköniginnen im Frühjahr oder den Höhepunkt der Anzahl fliegender Hummelindividuen im Sommer. Diese phänologischen Daten können wiederum mit den vorherrschenden Witterungsbedingungen (unter Berücksichtigung langfristiger Klimatrends) oder der Verfügbarkeit von Nahrung in Zusammenhang stehen und langfristige Verschiebungen aufzeigen (Pyke et al., 2016; Koppel und Kerr, 2022).

Die Vielfalt der aus den Hummel-Monitoringdaten abgeleiteten Indikatoren wird im Folgenden beschrieben und in **Abbildung 5.4** dargestellt.

5.3 Indikatoren

5.3.1 Zustandsindikatoren

Die im Rahmen des Hummel-Monitorings erhobenen Daten werden genutzt, um drei Indikatoren zur Zustandsbeschreibung der Hummel-Bestände in Deutschland sowie weitere Messgrößen zu berechnen (**Abbildung 5.4**). Dazu zählen neben der Diversität der Hummeln, bestehend aus den Subindikatoren Artenreichtum, Simpson-Index und Evenness, die Abundanz und der Anteil an Rote-Liste-Arten. Eine genaue Beschreibung der Indikatoren und die jeweiligen Berechnungen sind im MonViA-Indikatorenbericht (MonViA, 2024) aufgeführt.

Aufgrund der Fokussierung des Wildbienen-Monitorings auf die Agrarlandschaft ist davon auszugehen, dass ein Großteil der erfassten Hummeln zu den häufigen Hummelarten und -artengruppen zählt, die sich den Bedingungen in Agrarlandschaften verhältnismäßig gut anpassen können. Jedoch sind auch häufige Arten von Bestandsrückgängen und Verschiebungen ihrer Verbreitungsgebiete betroffen (Soroye et al., 2020).

Zusätzlich zu den genannten Zustandsindikatoren liefert das Monitoring Daten zur Körpergröße und Phänologie der Hummeln sowie zu Hummel-Pflanze-Interaktionen. Dadurch lassen sich langfristig Verschiebungen, die insbesondere im Zuge von Änderungen des Klimas und der Landnutzung (Gérard et al., 2020) auftreten können, analysieren. Auch kann anhand der Belegfotos die Vitalität der Hummeln, beispielsweise anhand des Milbenbefalls, ermittelt werden.

Durch die Integration molekulargenetischer Analysen lassen sich außerdem Aussagen darüber treffen, welchen Anteil Individuen einer einzelnen Art an der Gesamtzahl der Hummeln des gesamten Artkomplexes ausmachen, sowie zu den genutzten Pollenressourcen.

5.3.2 Belastungsindikatoren

Die Belastungsindikatoren werden durch Indikatoren für die Habitatqualität abgedeckt. Die Erfassung der Hummel-Habitate erfolgt in gleicher Weise wie bei den hohlraumnistenden Wildbienen in Nisthilfen über Geodaten zur Analyse der Habitatvielfalt, der Habitatkonnektivität und der Landnutzungsintensität (siehe Kapitel **4.3.2**). Aufgrund der in der Regel größeren Flugdistanzen von Hummeln im Vergleich zu hohlraumnistenden Wildbienen, die die Nisthilfen nutzen (Osborne et al., 2008; Zurbuchen & Müller, 2012), werden die Habitate der Hummeln ebenfalls im 3x3 km²-Landschaftsfenster ausgewertet. Zusätzlich können die Hummel-Habitate ausgehend von den jeweiligen Hummel-Transekten auf verschiedenen räumlichen Skalen, d. h. auch für geringere Distanzen, analysiert werden.

		Indikator	Beschreibung
Zustandsindikatoren	Diversität	Artenreichtum Simpson Index Evenness	Veränderungen in der Artenvielfalt und Artenzusammensetzung
	Abundanz		Veränderungen in der Häufigkeit von Individuen
	Trends von Arten von besonderem Interesse		Entwicklungen von Arten von besonderem Interesse, bspw. Anteil gefährdeter oder qualitätszeigender Arten
Weitere Messgrößen	Körpergröße		Veränderungen in der durchschnittlichen Körpergröße
	Phänologie		Jahreszeitliche Verschiebungen der Flugzeiten
	Hummel-Pflanze-Interaktionen		Veränderungen in der Interaktion zwischen Hummel- und Pflanzenarten bei der Nahrungssuche
	Vitalität		Veränderungen in der Vitalität von Hummeln, bspw. Parasitierungsgrad

Abbildung 5.4: Indikatoren und weitere Messgrößen, die sich aus dem Hummel-Monitoring ableiten lassen. Die Interaktionen der Hummeln mit Blütenpflanzen werden direkt im Gelände erfasst. Als ein Maß für Vitalität wird der Befall von Milben anhand der Belegfotos abgeleitet. Weitere Erläuterungen im Text, [Abbildung: Frank Sommerlandt].

5.4 Hummel-Challenge

Die Hummel-Challenge ist Teil des Wildbienenmonitoring in Agrarlandschaften und wird ergänzend zum Hummel-Monitoring durchgeführt. Bei dem Projekt ruft das Wildbienen-Monitoring zwei Mal im Jahr zusammen mit Partner*innen über die Biodiversitätsdatenerfassungsplattform Observation (App: ObsIdentify, Observation, ObsMap) dazu auf in definierten Zeiträumen (Frühjahr: 20. März – 9. April; Sommer: 21. Juni – 4. Juli) Hummeln in der Natur zu fotografieren und über die App zu melden. Das Projekt hat das Ziel, als Ergänzung zum standardisierten Hummel-Monitoring, Daten über die Verbreitung und Vielfalt von Hummeln, sowie die genutzten Nahrungsressourcen von Hummeln, unter der Einbindung aller Bürger*innen in Deutschland zu erfassen. Das Monitoring häufiger Brutvögel des DDA hat in einer gemeinsamen Auswertung mit dem Thünen-Institut gezeigt, dass die Vorhersagbarkeit des standardisierten Monitorings verbessert werden kann, wenn Zufallsbeobachtungen, wie bei der Hummel-Challenge, in die Trendanalysen mit einbezogen werden (Hertzog et al., 2021). Eine Stärke der Hummel-Challenge ist, dass die Teilnahmehürden deutlich geringer sind als beim Monitoring, da Personen schon mit einem einzigen Foto, gemeldet über die App, einen Beitrag leisten. Zusätzlich ist über die strategischen Partner*innen im Projekt und durch den Challenge-Charakter die mediale Aufmerksamkeit deutlich größer, wodurch auch neue Ehrenamtliche für das Hummel-Monitoring gewonnen werden können.

6 Gesamtartenmonitoring für Wildbienen



Mit den konzeptionellen Grundlagen für die Erfassung von hohlraumnistenden Wildbienen und Hummeln wurden wichtige Bausteine für ein bundesweites Monitoring geschaffen. Jedoch decken diese beiden Artengruppen nur einen Teil der gesamten Wildbienengemeinschaft Deutschlands ab. Um diese gesamte Artengemeinschaft abdecken zu können, wird ein komplementärer Ansatz benötigt. Die meisten Wildbienen sind deutlich schwerer zu bestimmen und deutlich seltener, was viel Expertise erfordert, um sie sicher im Feld zu erkennen und von ähnlich aussehenden anderen Insektengruppen wie Wespen und Fliegen zu unterscheiden. Wie auch bei den anderen Modulen wird dieses Modul bestandschonend sein müssen, um die hohe Gefährdung nicht durch intensives Sampling zu steigern. Gemäß der Roten Liste der Wildbienen Deutschlands gelten mehr als die Hälfte der Wildbienen als gefährdet bis hin zu vom Aussterben bedroht. Aus diesem Grund wird das Modul auf Expert*innen oder sehr geschulten Ehrenamtlichen über einen ressourcenorientierten Erfassungsansatz aufbauen. Wie alle Module des Wildbienen-Monitorings wird die Erfassung auf den LUCAS-Flächen durchgeführt (siehe Kapitel 3). Die methodischen Grundlagen für ein Monitoring der gesamten Wildbienengemeinschaft befinden sich derzeit in Entwicklung.

7 Koordination und Kommunikation im Citizen Science-basierten Monitoring



Das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften verfolgt mit den Modulen des Nisthilfe- sowie des Hummel-Monitorings einen Citizen Science-basierten Ansatz. Ehrenamtliche werden in die bundesweite Erfassung von Wildbienen eingebunden. Im Vergleich zu wissenschaftlichen Projekten ohne direkte Bürgerbeteiligung ergeben sich einige Besonderheiten, insbesondere hinsichtlich benötigter Ressourcen, die als wesentliche Faktoren in der Planung und Durchführung des Monitorings zu berücksichtigen sind. Im Falle einer deutschlandweiten Umsetzung des Monitorings von hohlraumnistenden Wildbienen und Hummeln ist mit der Beteiligung von hunderten von Ehrenamtlichen zu rechnen. Die Vor- und Nachbereitung der Datenerfassung durch Ehrenamtliche bedarf ein hohes Maß an Planung und Organisation. Ebenso ist es von Bedeutung, sowohl an Ehrenamtliche als auch an die breite Öffentlichkeit kontinuierlich Fortschritte und Ergebnisse aus dem Monitoring zu kommunizieren sowie auf Anfragen und Problemstellungen zeitnah reagieren zu können. Für diese Aufgaben müssen personelle Ressourcen und professionelle Arbeitsprozesse eingeplant werden, da sie nicht problemlos neben dem eigentlichen wissenschaftlichen Betrieb umgesetzt werden können.

7.1 Citizen Science im Biodiversitäts-Monitoring

Citizen Science bezeichnet die aktive Beteiligung der Gesellschaft in wissenschaftliche Arbeitsprozesse zur Klärung wissenschaftlicher Fragestellungen. Das Einbinden von Ehrenamtlichen in die Forschung kann einen beidseitigen Gewinn darstellen. Für wissenschaftliche Projekte lassen sich die räumlichen und zeitlichen Dimensionen der Datenerhebung stark ausweiten und Datendefizite können ressourceneffektiv aufgelöst werden (Kremen et al., 2002). Daher können durch die Integration von Citizen Science große Datensätze zur Bewertung ökologischer Trends generiert werden (Fraisl et al., 2022), wie sich beispielsweise anhand der in Deutschland bereits etablierten Programme zur Untersuchung der Verbreitung von Tagfaltern (Musche et al., 2020) und invasiven Mücken (Pernat et al., 2021) zeigt.

Darüber hinaus trägt Citizen Science zur Umweltbildung und gesellschaftlichen Teilhabe bei (Turrini et al., 2018). Im Falle des Wildbienen-Monitorings wird das Bewusstsein für die Beziehung zwischen Wildbienen und ihrer umgebenden (Agrar-)Landschaft gesteigert. Zusätzlich werden Bildungsangebote zum Erlangen taxonomischer Kenntnisse bereitgestellt. Außerdem können aktiv beteiligte Ehrenamtliche als Multiplikatoren neue gesellschaftliche Impulse setzen, eine erhöhte Verbreitung der Forschungsergebnisse unterstützen und die gesellschaftliche Akzeptanz für Entscheidungsprozesse im Sinne der Nachhaltigkeit fördern (Whitelaw et al., 2003; Conrad und Hilchey, 2011; Tulloch et al., 2013; Bonn et al., 2016). Auch das persönliche Wohlbefinden und das gesundheitliche und psychische Kapital der Ehrenamtlichen kann durch Lernen und Wissenserwerb sowie die enge Beziehung zur Natur gefördert werden (Conrad und Hilchey, 2011; Tulloch et al., 2013; Finke, 2014). Ehrenamtliche, die sich beispielsweise in der Erfassung von Wildbienen engagieren, sind in der Regel mindestens so sehr daran interessiert, mehr über Bestäuber und ihre Bestandsveränderungen zu erfahren, wie letztlich zur Datenerhebung beizutragen (Bloom und Crowder, 2020). Entsprechende Bildungsangebote und deren kontinuierliche Weiterentwicklung sind daher Teil des Wildbienen-Monitorings in Agrarlandschaften (Kapitel 7.2.2).

Das Durchführen eines bundesweiten Citizen-Science-basierten Monitorings bedarf der Aufrechterhaltung der bürgerwissenschaftlichen Beteiligung, welche nur durch eine fortwährende Betreuung der Ehrenamtlichen sichergestellt werden kann (Kapitel 7.2 und 7.3). Die hierdurch anfallenden finanziellen Kosten sind gemessen an der erzielten Datenquantität im Verhältnis zu einem durch bezahlte Experten durchgeführten Monitoring äußerst gering und die Wertschöpfung durch das erbrachte ehrenamtliche Engagement entsprechend hoch. Ein tiefgreifender Bestandsverlust von Bestäubern würde indes ungleich höhere Kosten verursachen (Gallai et al., 2009).

7.2 Koordinative Kommunikation

7.2.1 Organisatorische Begleitung der Ehrenamtlichen

Für ein bundesweites Monitoring-Programm mit hunderten Teilnehmer*innen, darunter sowohl Privatpersonen mit unterschiedlichsten Vorerfahrungen und Kenntnissen als auch Vertreter*innen von Kooperationspartnern und Verbänden, ist die zielgerichtete Koordination aller Beteiligten essentiell für eine langfristige Datengenerierung.

Vor der tatsächlichen Beteiligung neuer interessierter Bürger*innen muss der Datenerhebung durch Citizen-Scientists der rechtliche und planerische Weg geebnet werden. Im Rahmen des Wildbienen-Monitorings bedeutet dies unter anderem die Berücksichtigung des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG). Gesetzlich ist es verboten, Wildbienen zu fangen, zu verletzen, zu töten oder ihre Entwicklungsformen bzw. ihre Fortpflanzungs- oder Ruhestätten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören (BNatSchG §44). Daher müssen Ehrenamtliche für die Tätigkeiten im Rahmen des Hummel-Monitorings (Fangen der Hummeln zwecks Bestimmung sowie gegebenenfalls die Entnahme von Pollen- und Gewebeprobe) vor Beginn ihrer ersten Erfassung eine artenschutzrechtliche Ausnahmegenehmigung von der jeweils zuständigen (unteren) (Naturschutz-)Behörde erteilt bekommen. Diese zu beantragen ist die Aufgabe der durchführenden Forschungseinrichtung. Da die Tiere im Rahmen des Nisthilfe-Monitorings hingegen störungsfrei und nur durch Fotoaufnahmen erfasst werden können, bedarf es hierfür keiner Ausnahmegenehmigung. Es ist vorgesehen, die Nisthilfen mindestens für die Dauer eines Erhebungszyklus von zwei Jahren an den Standorten in der Agrarlandschaft zu belassen. Hierfür müssen von der Forschungseinrichtung entsprechende Aufstellgenehmigungen aller privaten und/oder öffentlichen Flächeneigentümer*innen eingeholt werden, wobei Ehrenamtliche durch Vernetzung vor Ort oftmals hierzu beitragen können.

Die Lage des Hummel-Transektes bzw. die Standorte der Nisthilfen-Paare werden durch einen Algorithmus errechnet (Kapitel 3.3) und nach Absprache mit den Ehrenamtlichen finalisiert. Generell muss in einer solchen individuellen Kommunikationsphase zu Beginn sichergestellt werden, dass alle notwendigen Informationen zur Untersuchungsfläche und zu den anstehenden zeitlichen Abläufen und Arbeitsschritten lückenlos kommuniziert werden, sodass jede*r Ehrenamtliche sicher und organisiert im Monitoring aktiv werden kann.

Es gilt jedoch neben neuen Ehrenamtlichen auch alle schon länger teilnehmenden Personen über die Saison hinweg, angepasst an den Status der jeweiligen Projektphase, zu begleiten. Im Wildbienen-Monitoring haben zum Beispiel vor allem die Ehrenamtlichen im Nisthilfe-Monitoring aufgrund des zyklischen Untersuchungsdesigns je nach Startjahr variierende Aufgaben zu gleichen Zeitpunkten. Um einen reibungslosen Ablauf zu ermöglichen, wird neben regelmäßigen Updates und Erinnerungen auch auf individuelle Fragen zeitnah reagiert. Hierbei kann es sich um fachliche, organisatorische oder methodische Rückfragen handeln. Um diese zu minimieren, werden auf der Projektwebsite Materialien, Anschauungs- und Erklärvideos zur Methodik sowie Antworten auf häufig gestellte Fragen bereitgestellt und stetig aktualisiert.

In jedem Fall erreichen alle Ehrenamtlichen außerdem individuelle Rückmeldungen: Im Hummel-Monitoring ist dies nach jeder monatlichen Erfassung ein Feedback zu den selbst bestimmten Hummeln im Feld und im Nisthilfe-Monitoring eine Zusammenfassung zur Besiedlung (Taxa und Belegungsrate) einer jeden betreuten Nisthilfe. Eine Rückmeldung zum eigenen Beitrag ist nicht nur aus fachlicher Sicht, sondern auch als Beitrag zur Wertschätzung essenzieller Bestandteil der Begleitung von Ehrenamtlichen.

Teil der Koordinationsaufgaben ist außerdem die Qualitätssicherung, wonach durch ein Prüfen der eingegangenen Daten der Anteil fehlerhaft oder unvollständig übermittelter Daten durch den Austausch mit den erfassenden Personen minimiert werden kann.

7.2.2 Bildungsangebot und Schulung von Ehrenamtlichen

Durch das Angebot unterschiedlicher (niedrigschwelliger) Beteiligungsmöglichkeiten und begleitender Schulungen soll nicht nur eine langfristige Umsetzung des Monitorings sichergestellt, sondern auch taxonomische Kenntnisse in der Gesellschaft gefördert werden.

Im Rahmen des Hummel-Monitorings wird Ehrenamtlichen in drei Ausbildungsstufen ein Einstieg in die Bestimmung heimischer Hummelarten vermittelt. Ehrenamtliche mit keinen oder geringen taxonomischen Kenntnissen erlernen in einem ersten Kurs, Hummeln von anderen Insekten zu unterscheiden, und werden über die Biologie sowie ökologische und ökonomische Bedeutung der Wildbienen aufgeklärt. Im nächsten Schritt werden die neun häufigsten bzw. markantesten Hummelarten(-komplexe) mit ihren Feldbestimmungsmerkmalen vermittelt, bevor schließlich alle sicher im Feld ansprechbaren Hummelarten in Deutschland thematisiert werden. Das Modell ist geeignet, sowohl Interessierten mit wenig Vorkenntnissen den Einstieg als auch Personen mit Vorerfahrungen die Spezialisierung in der Artbestimmung zu ermöglichen. Die Teilnahme an den Schulungen dient als Grundlage für die Teilnahme am Hummel-Monitoring, da Ehrenamtliche hier im Feld selbst als Bestimmer*innen aktiv werden.

Beim Nisthilfe-Monitoring ist die Datenerhebung für Ehrenamtliche auf das Fotografieren der Nisthilfe-Brettchen vor Ort beschränkt. Dennoch ist das Interesse an den hohlraumnistenden Wildbienen und Wespen hoch und das Anbieten von Schulungen ein entscheidendes Element, um zur Teilnahme am Monitoring und zur Beschäftigung mit der Artgruppe zu motivieren. Hohlraumnistende Arten bieten einen niedrigschwelligen Einstieg in die Gruppe der Wildbienen, da sie aufgrund einer verringerten Anzahl an Arten und Entwicklungsstufen (Larven und Kokons statt zusätzlich adulter Tiere) vergleichsweise leicht zu identifizieren sind. In einem ersten Kurs werden die häufigen hohlraumnistenden Wildbienen vorgestellt, in einem zweiten Kurs wird Wissen zu hohlraumnistenden Wespen und Gegenspielern, welche ebenso die Nisthilfen besiedeln, behandelt. Für die Beprobung zur eDNA-Analyse werden weitere Online-Seminare abgehalten.

Zusätzlich werden Materialien bereitgestellt, wie beispielsweise bebilderte Bestimmungshilfen für hohlraumnistende Wildbienen (Lindermann und Grabener et al., 2023) und Hummeln⁶, sowie Videos zur eDNA-Probenahme⁷. Alle Materialien sind kostenfrei auf wildbienen.thuenen.de verfügbar.

Alle Kurse werden interaktiv gestaltet, sodass Teilnehmende beispielsweise selbst erste Bestimmungsversuche unternehmen können. Diese Bildungsmöglichkeiten werden kontinuierlich weiter ausgebaut, um beispielsweise auch eigenständiges Weiterbilden zu ermöglichen.

Sofern gewünscht erhalten die Ehrenamtlichen innerhalb ihres Moduls Vernetzungsangebote, indem lokal agierende Personen gezielt zusammengebracht werden und regelmäßig Austauschtreffen zu verschiedenen Themen stattfinden. Die Angebote finden vor allem online statt, um den Ehrenamtlichen bundesweit Zugangsmöglichkeiten zu bieten. Ergänzend lädt das Forschungsteam zu Austausch auf Messen und Tagungen ein und bietet nach Absprache Vorträge und Schulungen an. Wichtig sind außerdem verschiedenartige Gesten der Wertschätzung der ehrenamtlichen Arbeit, ohne die die Datenerhebung nicht möglich wäre: von persönlicher Betreuung und individuellen Rückmeldungen zu Bestimmungsergebnissen und Auswertungen, von Videoformaten bis zu Dankeschön-Geschenken zum Jahresende.

⁶ https://wildbienen.thuenen.de/fileadmin/nisthilfen/PDFs_zum_Download/Kurze_Feld-Bestimmungshilfe_Die_haeufigsten_Hummelarten_in_der_Agrarlandschaft.pdf

⁷ <https://wildbienen.thuenen.de/mitmachen/nisthilfe-patenschaft/anleitung/edna-entnahme>

7.2.3 Netzwerkarbeit und Datenschutz

Neben der Weiterbildung Ehrenamtlicher zu Artenkenner*innen ist der Aufbau eines deutschlandweiten Netzwerkes ein weiteres Ziel des Monitoring-Programms. Für eine langfristig erfolgreiche Umsetzung des Wildbienen-Monitorings ist es von Bedeutung, Erfasser*innen variierender Erfahrungsstufen und Expert*innen zu vernetzen. Erfahrungen bei der Erfassung und Wildbienen-Expertise sollen ausgetauscht und weitergegeben werden können. Auch soll das Netzwerk weiteren interessierten Kreisen zugänglich sein. Perspektivisch ist geplant, das Netzwerk so weiterzuentwickeln, dass Teile der Organisation und Betreuung von Transekten dezentral und damit ressourcenschonend durch erfahrene Regionalkoordinator*innen übernommen werden. Als Vorbild können Koordinationsstrukturen bereits existierender Monitoringprogramme zu Vögeln und Tagfaltern dienen (Musche et al., 2020; Busch et al., 2022). Dadurch kann Expertise direkt weitergegeben und auf regionale Besonderheiten (regionaltypische Landschaften und Habitate, Wildbienenbestände, etc.) eingegangen werden.

Zur Netzwerkarbeit gehört auch die Etablierung und Organisation dauerhafter Kooperationen. So können Akteur*innen zum Beispiel die Monitoring-Nisthilfen unabhängig von einer Nisthilfe-Patenschaft im Wildbienen-Monitoring nutzen und in ihre lokalen Projekte einbinden. Um im gegenseitigen Austausch von erhobenen Daten und Datenauswertung zu profitieren und um die Art der Zusammenarbeit festzulegen, bieten sich Kooperationsvereinbarungen an. Darin kann etwa vereinbart werden, dass dem Wildbienen-Monitoring erhobene Daten zur Verfügung gestellt werden und die kooperierende Partei dafür an den Auswertungsergebnissen beteiligt wird. Die Bedingungen der Zusammenarbeit werden im Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften vertraglich festgehalten, um eine dauerhafte Datennutzung und Publikation zu sichern.

Im Rahmen des Wildbienen-Monitorings werden zahlreiche Daten erhoben, für deren Speicherung und Verarbeitung die Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) zu beachten ist. Aufgrund des Citizen-Science-Charakters der zwei Monitoring-Module Nisthilfe-Patenschaft und Hummel-Monitoring werden notwendigerweise personenbezogene Daten erfasst und gespeichert. Deshalb muss von Beginn an mitgedacht werden, in welcher Form und für welchen Zweck welche Art von Daten gespeichert und genutzt werden. Für alle Teilnehmenden muss von Beginn an der Zweck der Datenspeicherung und die Art der verwendeten Daten ersichtlich sein und die Zustimmung durch Datenschutzvereinbarungen gegeben werden. Das gilt etwa für die gesamte Teilnahme am Monitoring-Programm, für das Verwenden von Bildrechten oder für das Abonnement des Newsletters. Nachträgliche Änderungen der Datenschutzvereinbarungen sind schwer zu integrieren und bedürfen der erneuten Zustimmung. Eine vorausschauende Planung ist hier wichtig, um Mehraufwand oder Lücken in der Datennutzung zu vermeiden. Ebenso gilt es, ein übersichtliches, DSGVO-konformes und umfassendes Kontaktdatenmanagement zu etablieren, um neben den persönlichen Daten wichtige Informationen rund um den Teilnahmestatus im Monitoring zu dokumentieren und langfristig zugänglich machen zu können.

7.3 Strategische Kommunikation

Das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften agiert im Hinblick auf die Biodiversitäts- und Klimakrise mit aktueller gesellschaftlicher und politischer Relevanz und hat als bundesweit aktives Citizen-Science-Programm eine besondere öffentliche Wirksamkeit. Aus diesen Bedingungen ergeben sich verschiedene Zielgruppen innerhalb und außerhalb wissenschaftlicher Einrichtungen, die einer angepassten Kommunikation bedürfen. Deshalb hat das Wildbienen-Monitoring intern und extern eine strategische Wissenschaftskommunikation etabliert, das heißt zielgerichtete Kommunikationsprozesse der Organisation in ihrer Gesamtheit, um Information, Transparenz und Partizipation gleichermaßen gerecht zu werden (Raupp, 2017).

Diese Form der Wissenschaftskommunikation benötigt Ressourcen, um Aufgabengebiete wie die Entwicklung von Bildungsangeboten und Strategie, Ansprechbarkeit intern und extern, redaktioneller Arbeit und

regelmäßiger Content-Erstellung umsetzen zu können. Aspekte der Kommunikation werden in der Entwicklung und Koordination des Projektes mitgedacht und Entscheidungen auf ihre Wirkung in der öffentlichen Kommunikation hin untersucht. Kommunikationsmaßnahmen sind geplant, zielgerichtet und zielgruppenorientiert, wobei auf den Faktoren Erkenntniskommunikation und Dialog (Wefer, 2012) im Wildbienen-Monitoring besonderes Augenmerk liegt. Der Fokus liegt dabei auf der Online-Kommunikation, die durch praxisorientierte Printprodukte (z. B. Anleitungen, Bestimmungshilfe für die Anwendung im Feld) ergänzt wird.

7.3.1 Ziele und Zielgruppen

Das Wildbienen-Monitoring agiert im Bereich wissenschaftlicher Politikberatung ebenso wie auf dem Gebiet verantwortungsbewusster und partizipativer Umweltbildung als Citizen-Science-Programm. Neben Aufmerksamkeit für das Wildbienen-Monitoring soll die Kommunikation Bewusstsein für das Thema Biodiversitätsverlust schaffen, wissenschaftliche Arbeit und Methoden transparent machen, niedrigschwellig Zugänge zu den Themen ermöglichen und Interaktionsmöglichkeiten bieten.

Für das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften konnten verschiedene Zielgruppen in den Bereichen fachinterner Kommunikation (Science-to-Science) und in einer an der wissenschaftlichen Praxis interessierten Öffentlichkeit (Science-to-Public) identifiziert werden, deren Ansprache verschiedener Kommunikationsmethoden bedarf (Frick und Seltsmann, 2023). Darunter sind Gruppen wie Medienvertreter*innen, Wissenschaftler*innen, Naturschutzorganisationen ebenso wie Naturschutzbehörden und Kommunen, in denen vor Ort Monitoring-Aktivitäten stattfinden. Als wichtigste Zielgruppen wurden Expert*innen aus dem eigenen Fachgebiet, politische Entscheidungsträger*innen, Landwirt*innen und an Umweltthemen interessierte Menschen als potenzielle Ehrenamtliche sowie aktive Ehrenamtliche identifiziert. Politische Akteur*innen sollen über Newsletter und eine Kombination aus ausführlichen Status- und Ergebnisberichten, etwa den Indikatorenbericht des MonViA-Projektes (MonViA, 2024), und kurzen, informativen Policy Briefs erreicht werden. Für die Landwirt*innen, die wegen des räumlichen Bezuges des Monitorings in Agrarlandschaften sowohl als Zielgruppe der Forschungsergebnisse als auch in der Datenerfassung zum Beispiel als Flächeneigentümer*innen relevant sind, bietet sich unter anderem die Kommunikation über lokale Zeitungen und Magazine, regionale und überregionale Verbände und Online-Plattformen für den Agrarbereich an. Mit fachinternen Expert*innen finden beispielsweise themenspezifische Austausch- und Feedbacktreffen online statt. Die potenziellen und aktiven Ehrenamtlichen als wichtige Zielgruppe der Kommunikation des Citizen-Science-Programms werden im Folgenden näher betrachtet.

Personen, die sich ehrenamtlich im Wildbienen-Monitoring engagieren, haben einen besonderen Anspruch an Kommunikation. Das Ziel der Kommunikation ist es, die Ehrenamtlichen von der Kontaktaufnahme (Lead-Generierung) bis zum Community-Building zu begleiten, den Informationsfluss sicherzustellen, die Ehrenamtlichen durch Transparenz am laufenden Forschungsprozess zu beteiligen und die Motivation für das ehrenamtliche Engagement zu würdigen und aufrecht zu erhalten. Als erfolgreich hat sich dabei die Kombination aus einer gruppenfokussierten, das Teilhabegefühl fördernden Kommunikation und individueller Ansprechbarkeit der Modulbetreuenden bewiesen. Die als „Wildbienen-Freund*innen“ angesprochenen Gruppen erhalten regelmäßig Informationen aus dem Wildbienen-Monitoring per Mail. Die Tonalität der Ansprache ist offen, nahbar und auf Augenhöhe. Darunter fallen allgemeinere Informationen in Form eines Newsletters zu aktuellen Veranstaltungen, Wissenswertem zu Wildbienen, Veröffentlichungen und multimedialen Einblicken in die Forschung am Thünen-Institut ebenso wie Mails, die die Ehrenamtlichen über ihre Aufgaben und die nächsten Schritte im Monitoring informieren. Hier sind das Management und die Aufbereitung der Informationen besonders wichtig: Wenn ein diverses Team aus Ehrenamtlichen und Forschenden zusammenarbeitet, treffen verschiedene Level an Vorbildung und Beteiligung aufeinander, sodass

die Kommunikation als Schnittstelle auf allgemeine Verständlichkeit ausgerichtet sein muss und mögliche Wissenslücken abdeckt. So können Ehrenamtliche auch ohne Vorkenntnisse teilnehmen.

7.3.2 Kommunikationskanäle und Evaluation

Auf Grundlage der Zielgruppenanalyse wurden im Wildbienen-Monitoring Kommunikationskanäle und Formate etabliert und evaluiert. Der Fokus liegt dabei auf möglichst niedrigschwelligen Zugängen und Transparenz, der Vermittlung zwischen verschiedenen Leveln der Vorbildung sowie Dialog und Interaktion. Die Transparenz soll dadurch gegeben werden, dass über Social Media und das Blog-Format *Einblicke in die Forschung* auf der Monitoring-Webseite der Forschungsprozess laufend begleitet wird. Auf der Webseite und per Newsletter werden außerdem aktuelle Meldungen wie Veröffentlichungen und Veranstaltungen sowie Anleitungen und Auswertungen bereitgestellt. Authentizität und Nahbarkeit der Forschung sollen dadurch hergestellt werden, dass Forschende als Personen sichtbar werden und ihre Arbeit vorstellen. So soll im Wildbienen-Monitoring die Ansprechbarkeit sichergestellt und Hemmschwellen in der Interaktion mit wissenschaftlichen Akteur*innen und Institutionen verringert werden.

Neben der Pflege der eigenen Kommunikationskanäle ist die proaktive Medienarbeit eine wichtige Säule. Durch Pressemitteilungen des Thünen-Instituts werden Ergebnisse, Meilensteine, Methodentests, Aufrufe zur Teilnahme und Aktionen der medialen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus stehen die Forschenden des Wildbienen-Monitorings für Expert*innen-Interviews für verschiedene Medienformate von Print über TV bis zu Podcasts zur Verfügung, engagieren sich bei Podiumsdiskussionen und unterstützen die Social-Media- und Netzwerkarbeit durch persönliches Engagement. Zukünftig sollen die Kooperationen mit Medienschaffenden ausgeweitet werden, um etwa mit Influencer-Kampagnen potenzielle Ehrenamtliche zielgruppengenau zu erreichen. Ein interaktives Format ist die Hummel-Challenge (Kapitel 5.4), die in Zusammenarbeit mit der Bestimmungs-App ObsIdentify (Observation International, 2024) über die Plattform www.observation.org jährlich durchgeführt wird. Bundesweit werden Naturinteressierte dazu aufgefordert, in einem festgelegten Zeitraum möglichst viele Hummeln zu fotografieren. Mit der Verschiebung des Fokus zum Beispiel auf möglichst viele verschiedene Wildpflanzen oder Erfassungen in der Agrarlandschaft kann die Nutzbarkeit der daraus entstehenden Daten zusätzlich gelenkt werden. Die Challenge bietet für Medien einen aktuellen Aufhänger für die Themen Wildbienen und Biodiversitätsmonitoring und schafft für Interessierte einen niedrigschwelligen Zugang, ohne dass damit die Verpflichtungen eines festen ehrenamtlichen Engagements für einen bestimmten Zeitraum einhergehen.

Die Kommunikationsmaßnahmen können gemessen an zuvor festgesetzten Kommunikationszielen ausgewertet werden, etwa durch Zugriffszahlen auf der Webseite des Wildbienen-Monitorings und über Social-Media-Nutzung. Die Ehrenamtlichen im Wildbienen-Monitoring werden jährlich am Ende der Wildbienen-Saison gebeten, an einer Feedback-Umfrage teilzunehmen, in der verschiedene Punkte zur Zufriedenheit in der ehrenamtlichen Arbeit sowie weitere Punkte wie der Lernerfolg oder Verbesserungsvorschläge anonym abgefragt werden. Die Evaluation wird ergänzt durch qualitative Rückkopplung mit dem Team, um etwa häufig gestellte Fragen, Missverständnisse oder Kritikpunkte aufnehmen und für die Qualitätssicherung und -optimierung im Monitoring nutzen zu können.

8 Datenmanagement



Das Datenmanagement umfasst die Infrastruktur für die Umsetzung des EVAP-Modells der Datenverarbeitung (Erfassung, Verwaltung, Analyse, Präsentation) im Wildbienen-Monitoring. Damit langfristig ein effizienter Datenfluss gewährleistet werden kann, bedarf es eines relationalen Datenbankmanagementsystems (DBMS). Dieses befindet sich derzeit gemäß des für die vorgestellten Monitoring-Module relevanten Datenmodells im Aufbau, wie im Entity-Relationship-Diagramm⁸ visualisiert (**Abbildung 11.1**). Um Fragestellungen auf allen inhaltlichen Monitoringebenen bearbeiten zu können, werden die Daten aus dem Monitoring hohlraumnistender Wildbienen bis auf die Ebene von Niströhren und die Daten aus dem Hummel-Monitoring bis auf die Ebene von Individuen verschiedener Morphotypen aufgelöst und mit den möglichen vorkommenden Taxa verbunden. Die Ehrenamtlichen sind jeweils ganzen Nisthilfen bzw. Begehungen auf Hummel-Transekten zugeordnet. Nisthilfe-Standorte und Hummel-Transekte finden sich auf dem durch die LUCAS-Flächen definierten gemeinsamen Flächenset wieder.

Die Erfassung der Daten erfolgt durch die Ehrenamtlichen, überwiegend in Form von Fotos (siehe Kapitel 4.1 und 5.1). Die daraus abgeleiteten Daten werden in das DBMS eingespeist, wobei eine Automatisierung der Datengewinnung mithilfe digitaler Bildverarbeitung angestrebt wird. Um eine direkte Verschneidung mit Geodaten und Variablen zur Analyse der Habitatqualität für Wildbienen zu ermöglichen, soll eine Geodatenbank in das DBMS integriert werden. Über den Export von Produkten der Datenanalyse, z. B. in Form von Karten, Diagrammen, Tabellen oder Webanwendungen, enthält das DBMS außerdem eine Open-Data-Schnittstelle, über die Daten und Informationen aus dem Wildbienen-Monitoring gezielt der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden können.

Belegfotos und alle weiteren erhobenen Daten sollten nach den FAIR-Prinzipien zentral archiviert und nach der wissenschaftlichen Auswertung möglichst zeitnah öffentlich zugänglich und nutzbar gemacht werden.

⁸ Das zum Entity-Relationship-Diagramm zugehörige Relationenschema für die Implementierung des DBMS findet sich hier: https://wildbienen.thuenen.de/fileadmin/nisthilfen/Publikationen/Zusatz_2_Datenbank_Relationsschema.pdf

9 Synergien mit anderen Monitoringaktivitäten



Das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften hält einige Schnittstellen zu anderen Monitoring-Aktivitäten offen, um mögliche Synergien nutzbar zu machen. Beispielsweise können die aus dem beschriebenen Monitoringansatz gewonnenen strukturierten Daten um semistrukturierte oder unstrukturierte Daten (z. B. aus privat installierten Nisthilfen oder aus frei verfügbaren Daten von Beobachtungsplattformen wie Observation.org) ergänzt werden. Methodische Ansätze für die Integration verschiedener Typen von Monitoringdaten finden sich z. B. bei Bowler et al. (2019), Isaac et al. (2020) und Hertzog et al. (2021).

Es ergeben sich des Weiteren vielfältige Schnittstellen zu anderen MonViA-Monitoringmodulen (MonViA, 2024). Hierbei sind vor allem Daten aus den Bereichen Agrarstatistik, Fernerkundung sowie Kleinstrukturen und Landschaftselemente relevant. Zudem bieten sich auch gemeinsame Auswertungen mit anderen organismischen Monitoringmodulen an, wie beispielsweise dem Monitoring von Nützlingen in Refugialhabitaten oder dem Honigbienen-Monitoring an.

Die Stichprobenkulisse des beschriebenen Wildbienen-Monitorings orientiert sich am LUCAS-Grid (Eurostat, o. J.). Dadurch können sich Synergien zu europäischen Monitoring-Aktivitäten ergeben, wie dem Europäischen Monitoring der Biodiversität in Agrarlandschaften (EMBAL; Oppermann et al., 2018, 2021), das vor allem die Vegetation in Agrarlandschaften und damit Bestäuberlebensräume erfasst, sowie dem europäischen Bestäuber-Monitoring (EUPoMS; Potts et al., 2021, 2024), das auf der Gesamtfläche umgesetzt werden soll und sich auf die Normallandschaft bezieht. Diese Schnittstellen hinsichtlich der Stichprobenkulisse könnten es einerseits ermöglichen, die erfassten Zustände und Trends hinsichtlich hohlraumnistender Wildbienen und Hummeln mit dem Zustand der Vegetation in Agrarlandschaften (Schnittstelle zu EMBAL) ins Verhältnis zu setzen. Andererseits könnten die Ergebnisse aus der Normallandschaft (EUPoMS) um Ergebnisse mit spezifisch landwirtschaftlichem Bezug erweitert werden.

Aufgrund seines Designs ist das beschriebene Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften potentiell anschlussfähig an aktuelle Programme im Bereich des Biodiversitätsmonitorings (insbesondere im Bereich der Bestäuberinsekten) und kann perspektivisch zur Erfüllung von EU-Berichtspflichten beitragen oder diese sinnvoll ergänzen. Dies ist beispielsweise relevant für die Umsetzung der europäischen Wiederherstellungsverordnung (European Commission 2024). Auch im nationalen Bereich können die Daten des Wildbienen-Monitorings andere Programme ergänzen. So plant beispielsweise das BfN-Insektenmonitoring (Bundesamt für Naturschutz, 2023) unter anderem die Erfassung von Wildbienen in Siedlungen sowie der Gesamtheit der flugaktiven Insekten im Offenland. Das Wildbienen-Monitoring könnte diese Erfassungen um Daten in den Agrarlandschaften erweitern.

Bei der Entwicklung des Moduls Hummel-Monitoring wurde speziell auf eine Vereinbarkeit mit existierenden und geplanten nationalen und internationalen Programmen zum Biodiversitäts-Monitoring geachtet. Hierzu zählen beispielsweise das Tagfalter-Monitoring in Deutschland (Musche et al., 2020), Programme zum Hummel-Monitoring in Österreich (Naturschutzbund Österreich, 2024), Irland (National Biodiversity Data Centre, o. J.), England (Whitehorn et al., 2022) und Norwegen (Norsk institutt for naturforskning, 2024) sowie das bereits erwähnte europäische Monitoring von Bestäubern (EUPoMS; Potts et al., 2021, 2024). Durch die methodischen Überschneidungen sollen Synergien nutzbar gemacht werden, mit denen sich die erfassten Trends aus der bundesweiten Erhebung in Agrarlandschaften mit denen aus anderen europäischen Ländern vergleichen und zusammenfassen lassen, wodurch perspektivisch die Berechnung eines europäischen Indikators zum Bestand der Hummeln ermöglicht werden kann.

10 Fazit

Dieses Dokument präsentiert die theoretischen und methodischen Grundlagen für ein bundesweites Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften, welches anschlussfähig an nationale und europäische Monitoringprogramme ist. Die präsentierten Inhalte befinden sich auf unterschiedlichen Entwicklungsstadien (von der Idee bis zur Evaluation) und werden kontinuierlich evaluiert und weiterentwickelt (entsprechend Reynolds et al., 2016). Die Inhalte erheben somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Insbesondere die Gesamtarten-Erfassung (Kapitel 6) muss grundsätzlich weiterentwickelt werden, um von der Grundidee in die testweise Umsetzung zu gelangen und somit ein Gesamtbild zum Zustand und zur Entwicklung von Wildbienen-Beständen zu ermöglichen.

Nichtsdestotrotz ermöglicht das Wildbienen-Monitoring bereits zum aktuellen Entwicklungsstand, essentielle Lücken zur Datenlage bzgl. Bestäuber-Populationen in Agrarlandschaften zu schließen. Dies ist im Rahmen aktueller Entwicklungen, insbesondere durch die europäische Wiederherstellungsverordnung (European Commission, 2024), von zentraler Bedeutung.

Das grundsätzliche Potential des Wildbienen-Monitorings in Agrarlandschaften besteht nicht nur in der Anwendung bestandsschonender und innovativer Erfassungsmethoden (Erfassung über Fotos und eDNA-Analyse), sondern auch in der zentralen Beteiligung von interessierten Bürger*innen mit und ohne Vorkenntnissen. Unterschiedliche Beteiligungsmöglichkeiten und Weiterbildungsangebote erlauben es einer Vielfalt von Personen, am Monitoring teilzunehmen und sich entsprechend ihrer eigenen Interessen ggf. bis zu Artenkenner*innen weiterzuentwickeln. Die Erfassung phylogenetischer Vielfalt, pflanzlicher Ressourcen und weiterer Arthropoden (Kapitel 4.1.3, 4.1.4 und 5.1.4) geht über die einfache Erfassung von Wildbienen-Artenlisten hinaus und erlaubt eine gesamtheitliche Betrachtung des Ökosystems Wildbienen – Kultur- und Wildpflanzen – Antagonisten in der Agrarlandschaft. Dabei wird die Agrarlandschaft als Wildbienen-Habitat betrachtet und eingeordnet.

Dieses Dokument präsentiert den Entwicklungsstand zum Zeitpunkt nach der MonViA-Pilotphase (2019-2023) und enthält bereits einige Erkenntnisse aus der aktuellen MonViA-Umsetzungsphase (2024-2029) und wird bei Bedarf aktualisiert.

Weitere aktuelle Informationen zum Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften werden auf <https://wildbienen.thuenen.de/> bereitgestellt.

Das Wildbienen-Monitoring ist auch auf Instagram vertreten: [@wildbienen_thuenen](https://www.instagram.com/wildbienen_thuenen).

Literaturverzeichnis

- Abrol, D.P., 2012. Pollination Biology. Biodiversity Conservation and Agricultural Production. Springer, Dordrecht.
- Ackermann, W., Fuchs, D., Tschiche, J., 2020. Ökosystem-Monitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen (ÖSM-I): Abschlussbericht des gleichnamigen F+E-Vorhabens (FKZ: 3516 82 1100). Bundesamt für Naturschutz (= BfN-Skripten 586), Bonn.
- AdV, 2008. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) - Erläuterungen zum ATKIS® Basis-DLM, Version 6.0. ATKIS-Katalogwerke. ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland.
- Anderson, C.B., 2018. Biodiversity monitoring, earth observations and the ecology of scale. Ecology Letters 21(10), 1572-1585.
- Arbetman, M.P., Gleiser, G., Morales, C.L., Williams, P., Aizen, M.A., 2017. Global decline of bumblebees is phylogenetically structured and inversely related to species range size and pathogen incidence. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 284(1859), 20170204.
- Aslan, M.M., C. Yavuksuz, 2010. Effect of honey bee (*Apis mellifera* L.) and bumblebee (*Bombus terrestris* L.) pollinators on yield and yield factors in sunflower (*Helianthus annuus* L.) production areas. Journal of Animal and Veterinary Advances 9(2), 332-335.
- Austen, G., Bindemann, M., Griffiths, R., Roberts, D., 2016. Species identification by experts and non-experts: comparing images from field guides. Scientific Reports 6, 33634
- Balfour, N.J., Ollerton, J., Castellanos, M.C., Ratnieks, F.L.W., 2018. British phenological records indicate high diversity and extinction rates among late-summer-flying pollinators. Biological Conservation 222, 278-283.
- Beng, K.C., Corlett, R.T., 2020. Applications of environmental DNA (eDNA) in ecology and conservation: opportunities, challenges and prospects. Biodiversity and Conservation 29, 2089-2121.
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., Kunin, W.E., 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. Science 313(5785), 351-354.
- BKG, 2022. Digitales Basis-Landschaftsmodell 2022. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie.
- Blickensdörfer, L., Schwieder, M., Pflugmacher, D., Nendel, C., Erasmi, S., Hostert, P., 2022. Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany. Remote Sensing of Environment 269, 112831.
- Bloom, E.H., Crowder, D.W., 2020. Promoting Data Collection in Pollinator Citizen Science Projects. Citizen Science: Theory and Practice 5(1), 3.
- BMU, 2021. Aktiv für die biologische Vielfalt. Rechenschaftsbericht 2021 der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/rechenschaftsbericht_2021_bf.pdf (02.02.2024).
- BMUV, 2023. Indikatorenbericht 2023 der Bundesregierung zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nbs_indikatorenbericht_2023_bf.pdf (02.02.2024).
- Bonn, A., Richter, A., Vohland, K., Pettibone, L., Brandt, M., Feldmann, R., Goebel, C., Greife, C., Hecker, S., Hennen, L., Hofer, H., Kiefer, S., Klotz, S., Kluttig, T., Krause, J., Küsel, K., Liedtke, C., Mahla, A., Neumeier,

- V., Premke-Kraus, M., Rillig, M.C., Röller, O., Schäffler, L., Schmalzbauer, B., Schneidewind, U., Schumann, A., Settele, J., Tochtermann, K., Tockner, K., Vogel, J., Volkmann, W., von Unger, H., Walter, D., Weisskopf, M., Wirth, C., Witt, T., Wolst, D., Ziegler, D., 2016. Grünbuch Citizen Science Strategie 2020 für Deutschland. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Leipzig, Museum für Naturkunde Berlin, Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung (MfN), Berlin-Brandenburgisches Institut für Biodiversitätsforschung (BBIB), Berlin.
- Bowler, D.E., Nilsen, E.B., Bischof, R., O'Hara, R.B., Yu, T.T., Oo, T., Aung, M., Linnell, J.D.C., 2019. Integrating data from different survey types for population monitoring of an endangered species: the case of the Eld's deer. *Scientific Reports* 9, 7766.
- Brus, D.J., 2021. Statistical approaches for spatial sample survey: Persistent misconceptions and new developments. *European Journal of Soil Science* 72(2), 686-703.
- Buchgraber, K., Bohner, A., Häusler, J., Ringdorfer, F., Pöllinger, A., Resch, R., Schaumberger, A., Rathbauer, J., 2010. Bewirtschaftungsmaßnahmen des Grünlandes zur Erhaltung einer vielfältigen Kulturlandschaft mit hoher Biodiversität. 16. alpenländisches Expertforum 2010. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 49-56.
- Bundesamt für Naturschutz, 2023. Einheitlicher Methodenleitfaden „Insektenmonitoring“. https://www.bfn.de/sites/default/files/2023-02/Methodenleitfaden_Insektenmonitoring_barrierefrei_2023.pdf (02.02.2024).
- Bundesamt für Naturschutz, 2024. Biogeografische Regionen und naturräumliche Haupteinheiten Deutschlands. <https://www.bfn.de/daten-und-fakten/biogeografische-regionen-und-naturraeumliche-haupteinheiten-deutschlands> (02.02.2024).
- Burkhard, B., Müller, F., 2008. Driver–Pressure–State–Impact–Response. In: Jørgensen, S.E., Fath, B.D. (Hrsg.), *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier B.V., Amsterdam, 967-970.
- Busch, M., Katzenberger, J., Trautmann, S., Gerlach, B., Dröschmeister, R., Sudfeldt, C., 2020. Drivers of population change in common farmland birds in Germany. *Bird Conservation International* 30(3), 335-354.
- Busch, M., Frank, C., Dröschmeister, R., Gerlach, B., Kamp, J., Sudfeldt, C., 2022. Erfassung von Brutvögeln in den Europäischen Vogelschutzgebieten Deutschlands – Analysen, Stand und Perspektiven. *Die Vogelwelt* 140, 165-182.
- Callahan, B.J., McMurdie, P.J., Holmes, S.P., 2017. Exact sequence variants should replace operational taxonomic units in marker-gene data analysis. *The ISME Journal* 11, 2639-2643.
- Cameron, S.A., Sadd, B.M., 2020. Global Trends in Bumble Bee Health. *Annual Review of Entomology* 65, 209-232.
- Cane, J.H., 2001. Habitat Fragmentation and Native Bees: a Premature Verdict? *Conservation Ecology* 5(1), 3.
- CLMS, o.J. High Resolution Layers. European Union, Copernicus Land Monitoring Service, European Environment Agency. <https://land.copernicus.eu/en/products?tab=explore> (02.02.2024).
- Conrad, C.C., Hilchey, K.G., 2011. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment* 176, 273-291.
- Colgan, A.M., Hatfield, R.G., Dolan, A., Velman, W., Newton, R., Graves, T., 2024. Quantifying effectiveness and best practices for bumblebee identification from photographs. *Scientific Reports* 14, 830.

- da Silva, L.P., Mata, V.A., Lopes, P.B., Pereira, P., Jarman, S.N., Lopes, R.J., Beja, P., 2019. Advancing the integration of multi-marker metabarcoding data in dietary analysis of trophic generalists. *Molecular Ecology Resources* 19(6), 1420-1432.
- Dauber, J., Klimek, S., Schmidt, T.G., 2016. Konzept für ein Biodiversitätsmonitoring Landwirtschaft in Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut (= Thünen Working Paper 58), Braunschweig.
- de Gruijter, J., Brus, D., Bierkens, M., Knotters, M., 2006. *Sampling for Natural Resource Monitoring*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- de Kerdrel, G.A., Andersen, J.C., Kennedy, S.R., Gillespie, R., Krehenwinkel, H., 2020. Rapid and cost-effective generation of single specimen multilocus barcoding data from whole arthropod communities by multiple levels of multiplexing. *Scientific Reports* 10, 78.
- Deagle, B.E., Thomas, A.C., McInnes, J.C., Clarke, L.J., Vesterinen, E.J., Clare, E.L., Kartzinel, T.R., Eveson, J.P., 2019. Counting with DNA in metabarcoding studies: How should we convert sequence reads to dietary data? *Molecular Ecology* 28(2), 391-406.
- Diaz-Forero, I., Kuusemets, V., Mänd, M., Luig, J., 2011. Bumblebees as potential indicators for the evaluation of habitat quality. In: Brebbia, C.A., Beriatos, E. (Hrsg.), *Sustainable Development and Planning V*. WIT Press, Southampton, 409-417.
- Dieker, P., Dauber, J., Oerder, B., 2022. MonViA-Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften – Umsetzungskonzept. Interner Bericht, Thünen-Institut, 21 S.
- Dieker, P., Grabener, S., Hellwig, N., Kasiske, T., Krüger, L., Lakemann, L., Lindermann, L., Ogan, S., Sickel, W., Sommerlandt, F., Stahl, S., 2023. Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften – Update-Treffen 2023. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19978.79042>
- Deiner, K., Bik, H.M., Mächler, E., Seymour, M., Lacoursière-Roussel, A., Altermatt, F., Creer, S., Bista, I., Lodge, D.M., de Vere, N., Pfrender, M.E., Bernatchez, L., 2017. Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities. *Molecular Ecology* 26(21), 5872-5895.
- Diekötter, T., Peter, F., Jauker, B., Wolters, V., Jauker, F., 2014. Mass-flowering crops increase richness of cavity-nesting bees and wasps in modern agro-ecosystems. *GCB Bioenergy* 6(3), 219-226.
- Dirzo, R., Raven, P.H., 2003. Global State of Biodiversity and Loss. *Annual Review of Environment and Resources* 28, 137-167.
- Dubaić, J. B., Lanner, J., Rohrbach, C., Meimberg, H., Wyatt, F., Čačija, M., Galešić, M., Ješovnik, A., Samurović, K., Plećaš, M., Raičević, J., Četković, A., 2022. Towards a real-time tracking of an expanding alien bee species in Southeast Europe through citizen science and floral host monitoring. *Environmental Research Communications*, 4(8), 085001.
- Eckerter, T., Braunisch, V., Buse, J., Klein, A.M., 2022. Open forest successional stages and landscape heterogeneity promote wild bee diversity in temperate forests. *Conservation Science and Practice* 4(12), e12843.
- Edgar, R.C., 2016. UNOISE2: Improved error-correction for Illumina 16S and ITS amplicon sequencing. *BioRxiv*, 081257.
- Elbrecht, V., Steinke, D., 2018. Scaling up DNA metabarcoding for freshwater macrozoobenthos monitoring. *Freshwater Biology* 64(2), 380-387.
- Ellenberg, H., Leuschner, C., 2010. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Eugen Ulmer KG, Stuttgart, 6. Auflage.

- European Commission, 2023. Revision of the EU Pollinators Initiative A new deal for pollinators. COM (2023) 35 final, 24 January 2023
- European Commission, 2024. Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869
- Eurostat, o. J. Primäre Daten. <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/lucas/database/primary-data> (02.02.2024).
- Fabian, M.J., 2014. The effects of agricultural practices on native bee community structure and highbush blueberry crop production. Masters thesis at Western Washington University. WWU Graduate School Collection 358. <https://cedar.wvu.edu/wwuet/358> (02.02.2024).
- Fabian, Y., Sandau, N., Bruggisser, O.T., Aebi, A., Kehrli, P., Rohr, R.P., Naisbit, R.E., Bersier, L.-F., 2013. The importance of landscape and spatial structure for hymenopteran-based food webs in an agro-ecosystem. *Journal of Animal Ecology* 82(6), 1203-1214.
- Faith, D.P., 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation* 61(1), 1-10.
- Falk, S., Foster, G., Comont, R., Conroy, J., Bostock, H., Salisbury, A., Kilbey, D., Bennett, J., Smith, B., 2019. Evaluating the ability of citizen scientists to identify bumblebee (*Bombus*) species. *PLoS ONE* 14(6), e0218614.
- Feindt, P.H., Krämer, C., Früh-Müller, A., Heißenhuber, A., Pahl-Wostl, C., Purnhagen, K.P., Thomas, F., van Bers, C., Wolters, V., 2019. Kurzdarstellung der Ausgangssituation: Umwelteffekte der Landwirtschaft. In: Feindt, P.H., Krämer, C., Früh-Müller, A., Heißenhuber, A., Pahl-Wostl, C., Purnhagen, K.P., Thomas, F., van Bers, C., Wolters, V. (Hrsg.), *Ein neuer Gesellschaftsvertrag für eine nachhaltige Landwirtschaft: Wege zu einer integrativen Politik für den Agrarsektor*. Springer, Berlin, Heidelberg, 23-56.
- Felgentreff, E. S., Buchholz, S., & Straka, T. M., 2023. From science to society to practice? Public reactions to the insect crisis in Germany. *People and Nature*, 5(2), 660-667.
- Finke, P., 2014. Citizen Science. Das unterschätzte Wissen der Laien. Oekom-Verlag, München.
- Firbank, L.G., Petit, S., Smart, S., Blain, A., Fuller, R.J., 2008. Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363(1492), 777-787.
- Fraisl, D., Hager, G., Bedessem, B., Gold, M., Hsing, P. Y., Danielsen, F., Hitchcock, C.B., Hulbert, J.B., Piera, J., Spiers, H., Thiel, M., Haklay, M., 2022. Citizen science in environmental and ecological sciences. *Nature Reviews Methods Primers* 2(1), 64.
- Frick, C., Seltmann, M.E.-H., 2023. Referenzrahmen für eigenständige digitale Wissenschaftskommunikation durch Forschende. Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel (= Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften / Working Papers 3), Wolfenbüttel.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., Vaissière, B.E., 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68(3), 810-821.
- Garrant, M., Potts, S., Banks, G., Hawes, C., Breeze, T., O'Connor, R., Carvell, C., 2019. Capacity and willingness of farmers and citizen scientists to monitor crop pollinators and pollination services. *Global Ecology and Conservation* 20, e00781
- Gérard, M., Martinet, B., Maebe, K., Marshall, L., Smagghe, G., Vereecken, N.J., Vray, S., Rasmont, P., Michez, D., 2020. Shift in size of bumblebee queens over the last century. *Global Change Biology* 26(3), 1185.

- Geue, J.C., Thomassen, H.A., 2020. Unraveling the habitat preferences of two closely related bumble bee species in Eastern Europe. *Ecology and Evolution* 10(11), 4773-4790.
- Genung, M. A., Fox, J., & Winfree, R., 2023. The stability of plant-pollinator networks over time: resilience, rewiring, and the role of generalist species. *Ecology*, 104(4), e3899.
- Gezon, Z.J., Wyman, E.S., Ascher, J.S., Inouye, D.W., Irwin, R.E., Vamosi, J., 2015. The effect of repeated, lethal sampling on wild bee abundance and diversity. *Methods in Ecology and Evolution* 6(9), 1044-1054.
- Ghisbain, G., Thiery, W., Massonnet, F., Erazo, D., Rasmont, P., Michez, D., Dellicour, S., 2023. Projected decline in European bumblebee populations in the twenty-first century. *Nature*, 1-5.
- Haas, S.M., Cardinal, S., Beaulieu, F. and Forrest, J.R.K., 2019. Mite-y bees: bumble bees (*Bombus spp.*, Hymenoptera: Apidae) host a relatively homogeneous mite (Acari) community, shaped by bee species identity but not by geographic proximity. *Ecological Entomology*, 44, 333-346.
- Habel, J. C., Trusch, R., Schmitt, T., Ochse, M., & Ulrich, W., 2019. Long-term large-scale decline in relative abundances of butterfly and burnet moth species across south-western Germany. *Scientific Reports*, 9, 14921.
- Habel, J.C., Schmitt, T., Gros, P., Ulrich, W., 2022. Breakpoints in butterfly decline in Central Europe over the last century. *Science of The Total Environment* 851(2), 158315.
- Haber, W., 1996. Bedeutung unterschiedlicher Land- und Forstbewirtschaftung für die Kulturlandschaft — einschließlich Biotop- und Artenvielfalt. In: Linckh, G., Sprich, H., Flaig, H., Mohr, H. (Hrsg.), *Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft: Expertisen*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-26.
- Hahn, M., Brühl, C.A., 2016. The secret pollinators: an overview of moth pollination with a focus on Europe and North America. *Arthropod-Plant Interactions* 10, 21-28.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D., de Kroon, H., 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12(10), e0185809.
- Harmon-Threatt, A., 2020. Influence of Nesting Characteristics on Health of Wild Bee Communities. *Annual Review of Entomology* 65, 39-56.
- Hellwig, N., Schubert, L.F., Kirmer, A., Tischew, S., Dieker, P., 2022. Effects of wildflower strips, landscape structure and agricultural practices on wild bee assemblages – A matter of data resolution and spatial scale? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 326, 107764.
- Hellwig, N., Sommerlandt, F.M.J., Grabener, S., Lindermann, L., Sickel, W., Krüger, L., Dieker, P., 2024. Six Steps towards a Spatial Design for Large-Scale Pollinator Surveillance Monitoring. *Insects* 15, 229. <https://doi.org/10.3390/insects15040229>
- Hertzog, L.R., Frank, C., Klimek, S., Röder, N., Böhner, H.G., Kamp, J., 2021. Model-based integration of citizen science data from disparate sources increases the precision of bird population trends. *Diversity and Distributions* 27(6), 1106-1119.
- Herzog, F., Franklin, J., 2016. State-of-the-art practices in farmland biodiversity monitoring for North America and Europe. *Ambio* 45, 857-871.
- Hochkirch, A., Samways, M.J., Gerlach, J., Böhm, M., Williams, P., Cardoso, P., Cumberlidge, N., Stephenson, P.J., Seddon, M.B., Clausnitzer, V., Borges, P.A.V., Mueller, G.M., Pearce-Kelly, P., Raimondo, D.C., Danielczak, A., Dijkstra, K.-D.B., 2021. A strategy for the next decade to address data deficiency in neglected biodiversity. *Conservation Biology* 35(2), 502-509.

- Holehouse, K.A., Hammond, R.L., Bourke, A.F.G., 2003. Non-lethal sampling of DNA from bumble bees for conservation genetics. *Insectes Sociaux* 50, 277-285.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Tschardt, T., 2009. Grass strip corridors in agricultural landscapes enhance nest-site colonization by solitary wasps. *Ecological Applications* 19(1), 123-132.
- Holzschuh, A., Dormann, C.F., Tschardt, T., Steffan-Dewenter, I., 2013. Mass-flowering crops enhance wild bee abundance. *Oecologia* 172, 477-484.
- Homburg, K., Drees, C., Boutaud, E., Nolte, D., Schuett, W., Zumstein, P., Ruschkowski, E., Assmann, T., Didham, R., Müller, J., 2019. Where have all the beetles gone? Long-term study reveals carabid species decline in a nature reserve in Northern Germany. *Insect Conservation and Diversity* 12(4), 268-277.
- Hopfenmüller, S., Steffan-Dewenter, I., Holzschuh, A., 2014. Trait-specific responses of wild bee communities to landscape composition, configuration and local factors. *PLoS ONE* 9(8), e104439.
- Hutchinson, L.A., Oliver, T.H., Breeze, T.D., Bailes, E.J., Brünjes, L., Campbell, A.J., Erhardt, A., de Groot, G.A., Földesi, R., García, D., Goulson, D., Hainaut, H., Hambäck, P.A., Holzschuh, A., Jauker, F., Klatt, B.K., Klein, A.-M., Kleijn, D., Kovács-Hostyánszki, A., Krimmer, E., Mc Kerchar, M., Miñarro, M., Phillips, B.B., Potts, S.G., Pufal, G., Radzevičiūtė, R., Roberts, S.P.M., Samnegård, U., Schulze, J., Shaw, R.F., Tschardt, T., Vereecken, N.J., Westbury, D.B., Westphal, C., Wietzke, A., Woodcock, B.A. Garratt, M.P.D., 2021. Using ecological and field survey data to establish a national list of the wild bee pollinators of crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 315, 107447.
- Isaac, N.J.B., Jarzyna, M.A., Keil, P., Dambly, L.I., Boersch-Supan, P.H., Browning, E., Freeman, S.N., Golding, N., Guillera-Aroita, G., Henrys, P.A., Jarvis, S., Lahoz-Monfort, J., Pagel, J., Pescott, O.L., Schmucki, R., Simmonds, E.G., O'Hara, R.B., 2020. Data Integration for Large-Scale Models of Species Distributions. *Trends in Ecology & Evolution* 35(1), 56-67.
- Jepsen, M.R., Kuemmerle, T., Müller, D., Erb, K., Verburg, P.H., Haberl, H., Vesterager, J.P., Andrič, M., Antrop, M., Austrheim, G., Björn, I., Bondeau, A., Bürgi, M., Bryson, J., Caspar, G., Cassar, L.F., Conrad, E., Chromý, P., Daugirdas, V., Van Eetvelde, V., Elena-Rosselló, R., Gimmi, U., Izakovicova, Z., Jančák, V., Jansson, U., Kladnik, D., Kozak, J., Konkoly-Gyuró, E., Krausmann, F., Mander, Ü., McDonagh, J., Pärn, J., Niedertscheider, M., Nikodemus, O., Ostapowicz, K., Pérez-Soba, M., Pinto-Correia, T., Ribokas, G., Rounsevell, M., Schistou, D., Schmit, C., Terkenli, T.S., Tretvik, A.M., Trzepacz, P., Vadineanu, A., Walz, A., Zhllima, E., Reenberg, A., 2015. Transitions in European land-management regimes between 1800 and 2010. *Land Use Policy* 49, 53-64.
- Jerrentrup, J.S., Dauber, J., Strohbach, M.W., Mecke, S., Mitschke, A., Ludwig, J., Klimek, S., 2017. Impact of recent changes in agricultural land use on farmland bird trends. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 239, 334-341.
- Johann Heinrich von Thünen-Institut, 2024. Entwicklung von Grundlagen für ein Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften. <https://www.thuenen.de/de/institutsuebergreifende-projekte/entwicklung-von-grundlagen-fuer-ein-monitoring-der-biologischen-vielfalt-in-agrarlandschaften/> (02.02.2024).
- Johnson, P.C.D., Barry, S.J.E., Ferguson, H.M., Müller, P., 2015. Power analysis for generalized linear mixed models in ecology and evolution. *Methods in Ecology and Evolution* 6(2), 133-142.
- Kadota, T., Ishii, H.S., Kikuchi, R., Suda, S., Washitani, I., 2009. Using monitoring data gathered by volunteers to predict the potential distribution of the invasive alien bumblebee *Bombus terrestris*. *Biological Conservation* 142(5), 1011-1017.
- Kain, M.P., Bolker, B.M., McCoy, M.W., 2015. A practical guide and power analysis for GLMMs: detecting among treatment variation in random effects. *PeerJ* 3, e1226.

- Kammerer, M., Goslee, S.C., Douglas, M.R., Tooker, J.F., Grozinger, C.M., 2021. Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology* 27(6), 1250-1265.
- Kamp, J., Frank, C., Trautmann, S., Busch, M., Dröschmeister, R., Flade, M., Gerlach, B., Karthäuser, J., Kunz, F., Mitschke, A., Schwarz, J., Sudfeldt, C., 2021. Population trends of common breeding birds in Germany 1990–2018. *Journal of Ornithology* 162, 1-15.
- Kearns, C.A., Inouye, D.W., Waser, N.M., 1998. Endangered Mutualism: The Conservation of Plant-Pollinator Interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29, 83-112.
- Kennedy, C.M., Lonsdorf, E., Neel, M.C., Williams, N.M., Ricketts, T.H., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A.L., Cariveau, D., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Cunningham, S.A., Danforth, B.N., Dudenhöffer, J.-H., Elle, E., Gaines, H.R., Garibaldi, L.A., Gratton, C., Holzschuh, A., Isaacs, R., Javorek, S.K., Jha, S., Klein, A.M., Kremen, C., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Morandin, L., Neame, L.A., Otieno, M., Park, M., Potts, S.G., Rundlöf, M., Saez, A., Steffan-Dewenter, I., Taki, H., Viana, B.F., Westphal, C., Wilson, J.K., Greenleaf, S.S., Kremen, C., 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters* 16(5), 584-599.
- Khalifa, S.A., Elshafiey, E.H., Shetaia, A.A., El-Wahed, A.A.A., Algethami, A.F., Musharraf, S.G., AlAjmi, M.F., Zhao, C., Masry, S.H.D., Abdel-Daim, M.M., Halabi, M.F., Kai, G., Al Naggar, Y., Bishr, M., Diab, M.A.M., El-Seedi, H.R., 2021. Overview of bee pollination and its economic value for crop production. *Insects* 12(8), 688.
- Klein, A.-M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274(1608), 303-313.
- Koh, I., Lonsdorf, E.V., Williams, N.M., Brittain, C., Isaacs, R., Gibbs, J., Ricketts, T.H., 2016. Modeling the status, trends, and impacts of wild bee abundance in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113(1), 140-145.
- Koppel, O., Kerr, J.T., 2022. Strong phenological shifts among bumblebee species in North America can help predict extinction risk. *Biological Conservation* 272, 109675.
- Kosior, A., Celary, W., Olejniczak, P., Fijał, J., Król, W., Solarz, W., Płonka, P., 2007. The decline of the bumble bees and cuckoo bees (Hymenoptera: Apidae: Bombini) of Western and Central Europe. *Oryx* 41(1), 79-88.
- Kremen, C., Williams, N.M., Thorp, R.W., 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99(26), 16812-16816.
- Kruess, A., Tscharntke, T., 2002. Grazing Intensity and the Diversity of Grasshoppers, Butterflies, and Trap-Nesting Bees and Wasps. *Conservation Biology* 16(6), 1570-1580.
- Kühl, H.S., Bowler, D.E., Bösch, L., Bruelheide, H., Dauber, J., Eichenberg, D., Eisenhauer, N., Fernández, N., Guerra, C.A., Henle, K., Herbing, I., Isaac, N.J.B., Jansen, F., König-Ries, B., Kühn, I., Nilsen, E.B., Pe'er, G., Richter, A., Schulte, R., Settele, J., van Dam, N.M., Voigt, M., Wägele, W.J., Wirth, C., Bonn, A., 2020. Effective Biodiversity Monitoring Needs a Culture of Integration. *One Earth* 3(4), 462-474.
- LAU, 2020. Biotop- und Nutzungstypenkartierung, CIR-Luftbild-Interpretationsdaten, Befliegung 2009. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.
- LeBuhn, G., Vargas Luna, J., 2021. Pollinator decline: what do we know about the drivers of solitary bee declines? *Current Opinion in Insect Science* 46, 106-111.
- Lehmann, D.M., Camp, A.A., 2021. A systematic scoping review of the methodological approaches and effects of pesticide exposure on solitary bees. *PLoS ONE* 16(5), e0251197.

- Leidenfrost, R.M., Bänsch, S., Prudnikow, L., Brenig, B., Westphal, C., Wünschiers, R., 2020. Analyzing the dietary diary of Bumble Bee. *Frontiers in Plant Science* 11, 287.
- Leonhardt, S.D., Gallai, N., Garibaldi, L.A., Kuhlmann, M., Klein, A.-M., 2013. Economic gain, stability of pollination and bee diversity decrease from southern to northern Europe. *Basic and Applied Ecology* 14(6), 461-471.
- Lindermann, L., Grabener, S., Fornoff, F., Hofpenmüller, S., Schiele, S., Stahl, J., Dieker, P., 2023. Wildbienen und Wespen in Nisthilfen bestimmen. Ein Bestimmungsschlüssel für Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- Lindermann, L., Grabener, S., Hellwig, N., Stahl, J., and Dieker, P., 2024. Citizen Science-Based Monitoring of Cavity-Nesting Wild Bees and Wasps – Benefits for Volunteers, Insects, and Ecological Science. *Citizen Science: Theory and Practice* 9(1), 22, 1–12.
- Löbl, I., Klausnitzer, B., Hartmann, M., Krell, F.-T., 2023. The Silent Extinction of Species and Taxonomists - An Appeal to Science Policymakers and Legislators. *Diversity* 15(10):1053.
- Lomba, A., Strohbach, M., Jerrentrup, J.S., Dauber, J., Klimek, S., McCracken, D.I., 2017. Making the best of both worlds: Can high-resolution agricultural administrative data support the assessment of High Nature Value farmlands across Europe? *Ecological Indicators* 72, 118-130.
- Loyola, R.D., Martins, R.P., 2011. Small-scale area effect on species richness and nesting occupancy of cavity-nesting bees and wasps. *Revista Brasileira de Entomologia* 55(1), 69-74.
- Lybrand, R.A., Fedenko, J., Tfaily, M., Rao, S., 2020. Soil properties and biochemical composition of ground-dwelling bee nests in agricultural settings. *Soil Science Society of America Journal* 84(4), 1139-1152.
- MacIvor, J.S., Packer, L., 2015. 'Bee hotels' as tools for native pollinator conservation: a premature verdict? *PLoS One* 10(3), e0122126.
- MacPhail, V.J., Colla, S.R., 2020. Power of the people: A review of citizen science programs for conservation. *Biological Conservation* 249, 108739.
- Marshall, L., Carvalheiro, L.G., Aguirre-Gutierrez, J., Bos, M., de Groot, G.A., Kleijn, D., Potts, S.G., Reemer, M., Roberts, S., Scheper, J., Biesmeijer, J.C., 2015. Testing projected wild bee distributions in agricultural habitats: predictive power depends on species traits and habitat type. *Ecology and Evolution* 5(19), 4426-4436.
- Martin, M., 2011. Cutadapt removes adapter sequences from high-throughput sequencing reads. *EMBnet Journal* 17(1), 10-12.
- Meier, S., Walz, U., Syrbe, R.-U., Grunewald, K., 2021. Das bundesweite Habitatpotenzial für Wildbienen. Ein Indikator für Bestäubungsleistung. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 53(6), 12-19.
- Meyer, S., Wesche, K., Krause, B., Leuschner, C., Rejmanek, M., 2013. Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s – a cross-regional analysis. *Diversity and Distributions* 19(9), 1175-1187.
- MonViA (2024). Herausgeber: MonViA-Konsortium. MonViA Indikatorenbericht 2024 – Bundesweites Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften. Überarbeitete Version Dezember 2024. https://www.agrarmonitoring-monvia.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/MonViA_Indikatorenbericht_2024.pdf
- Murray, T.E., Fitzpatrick, U., Brown, M.J., Paxton, R.J., 2008. Cryptic species diversity in a widespread bumble bee complex revealed using mitochondrial DNA RFLPs. *Conservation Genetics* 9, 653-666.

- Musche, M., Feldmann, R., Harpke, A., Kühn, E., Settele, J., 2020. Tagfalter-Monitoring Deutschland –Methoden der Auswertung und ausgewählte Ergebnisse. In: Züghart, W., Stenzel, S., Fritsche, B. (Hrsg.), Umfassendes bundesweites Biodiversitätsmonitoring. Bundesamt für Naturschutz, Bonn, 143-150.
- National Biodiversity Data Centre, o. J. Bumblebee Monitoring Scheme. <https://biodiversityireland.ie/surveys/bumblebee-monitoring-scheme/> (02.02.2024).
- Naturschutzbund Österreich, 2024. Willkommen zum Hummemonitoring! <https://www.naturbeobachtung.at/platform/mo/nabeat-t/home.do> (02.02.2024).
- Nayak, R.K., Rana, K., Bairwa, V.K., Singh, P., Bharthi, V.D. (2020): A review on role of bumblebee pollination in fruits and vegetables. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 9(3), 1328-1334.
- Newbold, T., Hudson, L.N., Hill, S.L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R.A., Borger, L., Bennett, D.J., Choimes, A., Collen, B., Day, J., De Palma, A., Diaz, S., Echeverria-Londono, S., Edgar, M.J., Feldman, A., Garon, M., Harrison, M.L., Alhusseini, T., Ingram, D.J., Itescu, Y., Kattge, J., Kemp, V., Kirkpatrick, L., Kleyer, M., Laginha Pinto Correia, D., Martin, C.D., Meiri, S., Novosolov, M., Pan, Y., Phillips, H.R.P., Purves, D.W., Robinson, A., Simpson, J., Tuck, S.L., Weiher, E., White, H.J., Ewers, R.M., Mace, G.M., Scharlemann, J.P.W., Purvis, A., 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature* 520(7545), 45-50.
- Niedertscheider, M., Kuemmerle, T., Müller, D., Erb, K.H., 2014. Exploring the effects of drastic institutional and socio-economic changes on land system dynamics in Germany between 1883 and 2007. *Global Environmental Change* 28, 98-108.
- Norsk institutt for naturforskning, 2024. Overvåking av humler og dagsommerfugler. <https://www.nina.no/V%C3%A5re-fagomr%C3%A5der/Milj%C3%B8overv%C3%A5king-p%C3%A5-land/Humler-og-dagsommerfugler> (02.02.2024).
- Observation International, 2024. ObsIdentify. <https://observation.org/apps/obsidentify/> (02.02.2024).
- Oppermann, R., Schraml, A., Sutcliffe, L., Lüdemann, J., 2018. Final Report - European Monitoring of Biodiversity in Agricultural Landscapes (EMBAL). Institute for Agroecology and Biodiversity (IFAB).
- Oppermann, R., Aguirre, E., Bleil, R., Calabuig, J.D., Šálek, M., Schmotzer, A., Schraml, A., 2021. A Rapid Method for Monitoring Landscape Structure and Ecological Value in European Farmlands: the LISA approach. *Landscape Online* 90, 1-24.
- Osborne, J.L., Martin, A.P., Carreck, N.L., Swain, J.L., Knight, M.E., Goulson, D., Hale, R.J., Sanderson, R.A., 2008. Bumblebee flight distances in relation to the forage landscape. *Journal of Animal Ecology* 77(2), 406-415.
- Pereira-Peixoto, M.H., Pufal, G., Martins, C.F., Klein, A.-M., 2014. Spillover of trap-nesting bees and wasps in an urban–rural interface. *Journal of Insect Conservation* 18, 815-826.
- Pernat, N., Kampen, H., Jeschke, J.M., Werner, D., 2021. Citizen science versus professional data collection: Comparison of approaches to mosquito monitoring in Germany. *Journal of Applied Ecology* 58, 214-223.
- Perrot, T., Gaba, S., Roncoroni, M., Gautier, J.-L., Bretagnolle, V., 2018. Bees increase oilseed rape yield under real field conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 266, 39-48.
- Piko, J., Keller, A., Geppert, C., Batáry, P., Tscharncke, T., Westphal, C., Hass, A.L., 2021. Effects of three flower field types on bumblebees and their pollen diets. *Basic and Applied Ecology* 52, 95-108.
- Pingel, M., Sietz, D., Röder, N., Klimek, S., Golla, B., Preprint. Typology of Agricultural Land Systems to Support Tailored Agri-Environmental Schemes for Farmland Biodiversity: A Case Study from Germany. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5162566> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5162566>

- Porter, T.M., Hajibabaei, M., 2020. Putting COI Metabarcoding in Context: The Utility of Exact Sequence Variants (ESVs) in Biodiversity Analysis. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8, 248.
- Poschlod, P., 2017. Geschichte der Kulturlandschaft. Entstehungsursachen und Steuerungsfaktoren der Entwicklung der Kulturlandschaft, Lebensraum- und Artenvielfalt in Mitteleuropa. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 2. Auflage.
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 25(6), 345-353.
- Potts, S.G., Dauber, J., Hochkirch, A., Oteman, B., Roy, D.B., Ahmé, K., Biesmeijer, K., Breeze, T.D., Carvell, C., Ferreira, C., FitzPatrick, Ú., Isaac, N.J.B., Kuussaari, M., Ljubomirov, T., Maes, J., Ngo, H., Pardo, A., Polce, C., Quaranta, M., Settele, J., Sorg, M., Stefanescu, C., Vujić, A., 2021. Proposal for EU Pollinator Monitoring Scheme. JRC Technical Report. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Potts, S.G., Bartomeus, I., Biesmeijer, K., Breeze, T., Casino, A., Dauber, J., Dieker, P., Hochkirch, A., Høye, T., Isaac, N., Kleijn, D., Laikre, L., Mandelik, Y., Montagna, M., Montero Castaño, A., Öckinger, E., Oteman, B., Pardo Valle, A., Polce, C., Povellato, A., Quaranta, M., Roy, D., Schweiger, O., Settele, J., Ståhls-Mäkelä, G., Tamborra, M., Troost, G., van der Wal, R., Vujić, A., Zhang, J., 2024. Refined proposal for an EU Pollinator Monitoring Scheme, European Commission, Joint Research Centre, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/2005545>, JRC138660.
- Pyke G. H., J. D. Thomson, D. W. Inouye, Miller, T.J., 2016. Effects of climate change on phenologies and distributions of bumble bees and the plants they visit. *Ecosphere* 7(3), e01267.
- Ramos-Jiliberto, R., Moisset de Espanés, P., & Vázquez, D. P., 2020. Pollinator declines and the stability of plant-pollinator networks. *Ecosphere*, 11(4), e03069. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3069>
- Ratnasingham, S., Hebert, P.D.N., 2007. BOLD: The Barcode of Life Data System (www.barcodinglife.org). *Molecular Ecology Notes* 7(3), 355-364.
- Raupp, J., 2017. Strategische Wissenschaftskommunikation. In: Bonfadelli, H., Fährnrich, B., Lüthje, C., Milde, J., Rhomberg, M., Schäfer, M. (Hrsg.), *Forschungsfeld Wissenschaftskommunikation*. Springer VS, Wiesbaden, 143-163.
- Reynolds, J. H., Knutson, M. G., Newman, K. B., Silverman, E. D., Thompson, W. L., 2016. A road map for designing and implementing a biological monitoring program. *Environmental Monitoring and Assessment* 188(7), 399.
- Rognes, T., Flouri, T., Nichols, B., Quince, C., Mahé, F., 2016. VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. *PeerJ* 4, e2584.
- Rollin, O., Pérez-Méndez, N., Bretagnolle, V., Henry, M., 2019. Preserving habitat quality at local and landscape scales increases wild bee diversity in intensive farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 275, 73-80.
- Sardiñas, H.S., Kremen, C., 2014. Evaluating nesting microhabitat for ground-nesting bees using emergence traps. *Basic and Applied Ecology* 15(2), 161-168.
- Sayers, E.W., Cavanaugh, M., Clark, K., Pruitt, K.D., Schoch, C.L., Sherry, S.T., Karsch-Mizrachi, I., 2021. GenBank. *Nucleic Acids Research* 49(D1), D92-D96.
- Scheper, J., Reemer, M., van Kats, R., Ozinga, W.A., van der Linden, G.T., Schaminee, J.H., Siepel, H., Kleijn, D., 2014. Museum specimens reveal loss of pollen host plants as key factor driving wild bee decline in The Netherlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111(49), 17552-17557.

- Scherber, C., Beduschi, T., Tschardtke, T., 2019. Novel approaches to sampling pollinators in whole landscapes: a lesson for landscape-wide biodiversity monitoring. *Landscape Ecology* 34, 1057-1067.
- Scheuchl, E., Schwenninger, H.R., Burger, R., Diestelhorst, O., Kuhlmann, M., Saure, C., Schmid-Egger, C., Silló, N., 2023. Die Wildbienenarten Deutschlands – Kritisches Verzeichnis und aktualisierte Checkliste der Wildbienen Deutschlands (Hymenoptera, Anthophila). *Anthophila* 1(1), 25-138.
- Schindler, M., Diestelhorst, O., Haertel, S., Saure, C., Scharnowski, A., Schwenninger, H.R., 2013. Monitoring agricultural ecosystems by using wild bees as environmental indicators. *BioRisk* 8, 53-71.
- Schlegel, J., Breuer, G., Rupf, R., 2015. Local insects as flagship species to promote nature conservation? A survey among primary school children on their attitudes toward invertebrates. *Anthozoös* 28(2), 229-245.
- Schwenninger, H.R., Scheuchl, E., 2016. Rückgang von Wildbienen, mögliche Ursachen und Gegenmaßnahmen (Hymenoptera: Anthophila). *Mitteilungen des Entomologischen Vereins Stuttgart* 51(1), 21-23.
- Schwieder, M., Wesemeyer, M., Frantz, D., Pfoch, K., Erasmi, S., Pickert, J., Nendel, C., Hostert, P., 2022. Mapping grassland mowing events across Germany based on combined Sentinel-2 and Landsat 8 time series. *Remote Sensing of Environment* 269, 112795.
- Sepp, K., Mikk, M., Mänd, M., Truu, J., 2004. Bumblebee communities as an indicator for landscape monitoring in the agri-environmental programme. *Landscape and Urban Planning* 67(1-4), 173-183.
- Shields, W.M., 1982. Philopatry, inbreeding, and the evolution of sex. State University of New York Press, Albany, N.Y.
- Sickel, W., Kulow, J., Krüger, L., Dieker, P., 2023a. BEE-quest of the nest: A novel method for eDNA-based, nonlethal detection of cavity-nesting hymenopterans and other arthropods. *Environmental DNA* 5(6), 1163-1176.
- Sickel, W., Zizka, V., Scherges, A., Bourlat, S., Dieker, P., 2023b. Abundance estimation with DNA metabarcoding – recent advancements for terrestrial arthropods. *Metabarcoding and Metagenomics* 7, e112290.
- Soroye, P., Newbold, T., Kerr, J., 2020. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science* 367(6478), 685-688.
- Spiesman, B.J., Gratton, C., Hatfield, R.G., Hsu, W., Jepsen, S., McCornack, B., Patel, K., Wang, G., 2021. Assessing the potential for deep learning and computer vision to identify bumble bee species from images. *Scientific Reports* 11, 7580.
- Ssymank, A., 1994. Neue Anforderungen im europäischen Naturschutz: Das Schutzgebietssystem Natura 2000 und die FFH-Richtlinie der EU. *Natur und Landschaft* 69(9), 395-406.
- Ssymank, A., Kearns, C. A., Pape, T., & Thompson, F. C., 2008. Pollinating flies (Diptera): a major contribution to plant diversity and agricultural production. *Biodiversity*, 9(1-2), 86-89.
- Ssymank, A., Sorg, M., Doczkal, D., Rulik, B., Merkel-Wallner, G., Vischer-Leopold, M., 2018. Praktische Hinweise und Empfehlungen zur Anwendung von Malaisefallen für Insekten in der Biodiversitätserfassung und im Monitoring. *Entomologischer Verein Krefeld (= Series Naturalis 1)*, Krefeld.
- Staab, M., Pufal, G., Tschardtke, T., Klein, A.-M., Iossa, G., 2018. Trap nests for bees and wasps to analyse trophic interactions in changing environments-A systematic overview and user guide. *Methods in Ecology and Evolution* 9(11), 2226-2239.
- Statistisches Bundesamt, 2023. Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft->

[Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html?jsessionid=95A9779475B71A9892423F4C9B3585DB.internet711](https://www.fischerei-flaechennutzung-tabellen-bodenflaeche-insgesamt.html?jsessionid=95A9779475B71A9892423F4C9B3585DB.internet711) (02.02.2024).

- Steckel, J., Westphal, C., Peters, M.K., Bellach, M., Rothenwoehrer, C., Erasmi, S., Scherber, C., Tschardtke, T., Steffan-Dewenter, I., 2014. Landscape composition and configuration differently affect trap-nesting bees, wasps and their antagonists. *Biological Conservation* 172, 56-64.
- Steffan-Dewenter, I., 2002. Landscape context affects trap-nesting bees, wasps, and their natural enemies. *Ecological Entomology* 27(5), 631-637.
- Taberlet, P., Coissac, E., Hajibabaei, M., Rieseberg, L.H., 2012. Environmental DNA. *Molecular Ecology* 21(8), 1789–1793.
- Tepedino, V.J., Portman, Z.M., 2021. Intensive monitoring for bees in North America: indispensable or improvident? *Insect Conservation and Diversity* 14(5), 535-547.
- Tschardtke, T., Gathmann, A., Steffan-Dewenter, I., 1998. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions. *Journal of Applied Ecology* 35(5), 708-719.
- Tulloch, A.I.T., Possingham, H.P., Joseph, L.N., Szabo, J., Martin, T.G., 2013. Realising the full potential of citizen science monitoring programs. *Biological Conservation* 165, 128-138.
- Turrini, T., Dörler, D., Richter, A., Heigl, F., Bonn, A., 2018. The threefold potential of environmental citizen science - Generating knowledge, creating learning opportunities and enabling civic participation. *Biological Conservation* 225, 176-186.
- Uhler, J., Redlich, S., Zhang, J., Hothorn, T., Tobisch, C., Ewald, J., Thorn, S., Seibold, S., Mitesser, O., Morinière, J., Bozicevic, V., Benjamin, C.S., Englmeier, J., Fricke, U., Ganuza, C., Haensel, M., Riebl, R., Rojas-Botero, S., Rummler, T., Uphus, L., Schmidt, S., Steffan-Dewenter, I., Müller, J., 2021. Relationship of insect biomass and richness with land use along a climate gradient. *Nature Communications* 12, 5946.
- United Nations, 1992. Convention on Biological Diversity. Rio de Janeiro, 5 June 1992.
- Uzman, D., Reineke, A., Entling, M.H., Leyer, I., 2020. Habitat area and connectivity support cavity-nesting bees in vineyards more than organic management. *Biological Conservation* 242, 108419.
- van Klink, R., Bowler, D.E., Gongalsky, K.B., Swengel, A.B., Gentile, A., Chase, J.M., 2020. Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science* 368(6489), 417-420.
- 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), e2023989118.
- Wefer, G., 2012. Vom Dialog über Forschungsergebnisse zum Dialog über Erkenntnisprozesse. In: Dernbach, B., Kleinert, C., Münder, H. (Hrsg.), *Handbuch Wissenschaftskommunikation*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 33-36.
- Wesche, K., Krause, B., Culmsee, H., Leuschner, C., 2012. Fifty years of change in Central European grassland vegetation: Large losses in species richness and animal-pollinated plants. *Biological Conservation* 150, 76-85.
- Westerfelt, P., Widenfalk, O., Lindelöw, Å., Gustafsson, L., Weslien, J., 2015. Nesting of solitary wasps and bees in natural and artificial holes in dead wood in young boreal forest stands. *Insect Conservation and Diversity* 8(6), 493-504.
- Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T., Potts, S.G., Roberts, S.P.M., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Vaissière, B.E., Woyciechowski, M., Biesmeijer, J.C., Kunin, W.E., Settele, J.,

- Steffan-Dewenter, I., 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecological Monographs* 78(4), 653-671.
- Westrich, P., Frommer, U., Mandery, K., Riemann, H., Ruhnke, H., Saure, C., Voith, J., 2011. Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen (Hymenoptera, Apidae) Deutschlands. In: Binot-Hafke, M., Balzer, S., Becker, N., Gruttke, H., Haupt, H., Hofbauer, N., Ludwig, G., Matzke-Hajek, G., Strauch, M. (Hrsg.), Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1). Landwirtschaftsverlag (= Naturschutz und Biologische Vielfalt 70(3)), Münster, 373-416.
- Westrich, P., 2019. Die Wildbienen Deutschlands. Eugen Ulmer KG, Stuttgart, 2. Auflage.
- Whitehorn, P.R., Seo, B., Comont, R.F., Rounsevell, M., Brown, C., 2022. The effects of climate and land use on British bumblebees: Findings from a decade of citizen-science observations. *Journal of Applied Ecology* 59(7), 1837-1851.
- Whitelaw, G., Vaughan, H., Craig, B., Atkinson, D., 2003. Establishing the Canadian community monitoring network. *Environmental Monitoring and Assessment* 88, 409-418.
- Winfree, R., Williams, N.M., Gaines, H.R., Ascher, J.S., Kremen, C., 2007. Wild bee pollinators provide the majority of crop visitation across land-use gradients in New Jersey and Pennsylvania. *Journal of Applied Ecology* 45(3), 793-802.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D.P., LeBuhn, G., Aizen, M.A., 2009. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology* 90(8), 2068-2076.
- Woodard, S.H., Federman, S., James, R.R., Danforth, B.N., Griswold, T.L., Inouye, D., McFrederick, Q.S., Morandin, L., Paul, D.L., Sellers, E., Strange, J.P., Vaughan, M., Williams, N.M., Branstetter, M.G., Burns, C.T., Cane, J., Cariveau, A.B., Cariveau, D.P., Childers, A., Childers, C., Cox-Foster, D.L., Evans, E.C., Graham, K.K., Hackett, K., Huntzinger, K.T., Irwin, R.E., Jha, S., Lawson, S., Liang, C., López-Urbe, M.M., Melathopoulos, A., Moylett, H.M.C., Otto, C.R.V., Ponisio, L.C., Richardson, L.L., Rose, R., Singh, R., Wehling, W., 2020. Towards a U.S. national program for monitoring native bees. *Biological Conservation* 252, 108821.
- Yoccoz, N.G., Nichols, J.D., Boulinier, T., 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* 16(8), 446-453.
- Zurbuchen, A., Landert, L., Klaiber, J., Müller, A., Hein, S., Dorn, S., 2010. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation* 143(3), 669-676.
- Zurbuchen, A., Müller, A., 2012. Wildbienenenschutz – von der Wissenschaft zur Praxis. Haupt Verlag, Bern.

11 Anhang

Tabelle 11.1: Wildbienenarten, die bereits in künstlichen Nisthilfen nachgewiesen wurden (Lindermann et al. 2023) und ihre Gefährdungseinstufung nach der Roten Liste (Westrich et al., 2012) (* = ungefährdet; V = Vorwarnliste; G = Gefährdung unbekannten Ausmaßes; 3 = gefährdet; 2 = stark gefährdet; 1 = vom Aussterben bedroht; . = Nachweis noch nicht in Roter Liste berücksichtigt). Die römischen Zahlen fassen Arten zu taxonomischen Einheiten zusammen, welche anhand morphologischer Merkmale der Brutzellen nicht auf Artniveau aufgelöst werden können.

Lfd.Nr.	Wildbienenart	Rote Liste Status D	Anhand von Fotos der Brutzellen bestimmbare taxonomische Einheit	Bereits in MonViA- Nisthilfen nachgewiesen
1	<i>Osmia bicornis</i> (Linnaeus 1758)	*	I	✓
2	<i>Osmia cornuta</i> (Latreille 1805)	*	II	✓
3	<i>Osmia caerulea</i> (Linnaeus 1758)	*		
4	<i>Osmia gallarum</i> (Spinola 1808)	V		
5	<i>Osmia leaiana</i> (Kirby 1802)	3	III	✓
6	<i>Osmia mustellina</i> (Gerstäcker 1841)	2		
7	<i>Osmia parietina</i> (Curtis 1828)	3		
8	<i>Osmia niveata</i> (Fabricius 1804)	3	IV	✓
9	<i>Osmia submicans</i> (Morawitz 1871)	2	V	
10	<i>Osmia brevicornis</i> (Fabricius 1798)	G	VI	✓
11	<i>Hoplitis adunca</i> (Panzer 1798)	*	VII	✓
12	<i>Hoplitis leucomelana</i> (Kirby 1802)	*	VIII	✓
13	<i>Hoplitis claviventris</i> (Thomson 1872)	*		
14	<i>Colletes daviesanus</i> (Smith 1846)	*	IX	✓
15	<i>Hylaeus angustatus</i> (Schenck 1861)	*		
16	<i>Hylaeus communis</i> (Nylander 1852)	*		
17	<i>Hylaeus confusus</i> (Nylander 1852)	*		
18	<i>Hylaeus difformis</i> (Eversmann 1852)	*		
19	<i>Hylaeus dilatatus</i> (Kirby 1802)	*		
20	<i>Hylaeus gibbus</i> (Saunders 1850)	*	X	✓
21	<i>Hylaeus incongruus</i> (Förster 1871)	.		
22	<i>Hylaeus pictipes</i> (Nylander 1852)	*		
23	<i>Hylaeus punctulatus</i> (Smith 1853)	G		
24	<i>Hylaeus signatus</i> (Panzer 1798)	*		
25	<i>Chelostoma campanularum</i> (Kirby 1802)	*	XI	
26	<i>Chelostoma distinctum</i> (Stoeckert 1929)	*		
27	<i>Chelostoma rapunculi</i> (Lepelletier 1841)	*	XII	✓
28	<i>Chelostoma florissomne</i> (Linnaeus 1758)	*	XIII	✓
29	<i>Heriades crenulata</i> (Nylander 1856)	*		
30	<i>Heriades truncorum</i> (Linnaeus 1758)	*	XIV	✓
31	<i>Megachile alpica</i> (Alfken 1924)	*		
32	<i>Megachile centuncularis</i> (Linnaeus 1758)	V		
33	<i>Megachile lignisea</i> (Kirby 1802)	2	XV	✓
34	<i>Megachile rotundata</i> (Fabricius 1784)	*		
35	<i>Megachile versicolor</i> (Smith 1844)	*		
36	<i>Megachile willughbiella</i> (Kirby 1802)	*		
37	<i>Megachile lapponica</i> (Thomson 1872)	*	XVI	✓
38	<i>Megachile ericetorum</i> (Lepelletier 1841)	*	XVII	✓
39	<i>Megachile sculpturalis</i> (Smith 1853)	.	XVIII	
40	<i>Anthidium manicatum</i> (Linnaeus 1758)	*	XIX	
41	<i>Pseudoanthidium nanum</i> (Mocsáry 1881)	3	XX	✓
42	<i>Anthophora furcata</i> (Panzer 1798)	V	XXI	
Kuckucksbienen				
43	<i>Coelioxys alatus</i> (Förster 1853)	1	-	
44	<i>Coelioxys inermis</i> (Kirby 1802)	*	-	✓
45	<i>Coelioxys mandibularis</i> (Nylander 1848)	*	-	
46	<i>Stelis breviscula</i> (Nylander 1848)	*	-	
47	<i>Stelis minima</i> (Schenk 1861)	*	-	
48	<i>Stelis minuta</i> (Lepelletier & Serville 1825)	*	-	✓
49	<i>Stelis ornatula</i> (Klug 1807)	*	-	
50	<i>Stelis phaeoptera</i> (Kirby 1802)	3	-	
51	<i>Stelis punctulatus</i> (Kirby 1802)	*	-	

Tabelle 11.2: Liste der anhand morphologischer Merkmale unterscheidbaren Arten und Artkomplexe (fett). Bei Aggregaten sind direkt unter der Aggregatbezeichnung die zusammengefassten Arten aufgeführt. Teilweise lassen sich jeweils nur eines der Geschlechter auf Artniveau ansprechen, während das andere Geschlecht in einem Aggregat zusammengefasst wird; agg. = Aggregat, m = Männchen, w = Weibchen.

unterscheidbare Arten bzw. Artkomplexe		
Männchen	Weibchen	Deutscher Name
soziale Hummeln	<i>B. confusus</i>	Samthummel
	<i>B. distinguendus</i>	Deichhummel
	<i>B. gerstaeckeri</i>	Eisenhuthummel
	<i>B. hortorum</i> agg.	
	<i>B. hortorum</i>	Gartenhummel
	<i>B. ruderatus</i>	Feldhummel
	<i>B. pascuorum</i> agg. (m)	
	<i>B. humilis</i>	<i>B. humilis</i> (w) Veränderliche Hummel
	<i>B. pascuorum</i>	<i>B. pascuorum</i> (w) Ackerhummel
	<i>B. hypnorum</i>	Baumhummel
	<i>B. jonellus</i> agg. (m)	
	<i>B. jonellus</i>	<i>B. jonellus</i> (w) Heidehummel
	<i>B. semenoviellus</i>	<i>B. semenoviellus</i> (w) Semenov-Hummel
	<i>B. lapidarius</i>	Steinhummel
	<i>B. lucorum</i> agg. (m)	<i>B. lucorum</i> agg. (w)
	<i>B. lucorum</i>	<i>B. lucorum</i> Helle Erdhummel
	<i>B. magnus</i>	<i>B. magnus</i> Große Erdhummel
	<i>B. terrestris</i> agg. (m)	
	<i>B. terrestris</i>	<i>B. terrestris</i> Dunkle Erdhummel
	<i>B. cryptarum</i>	<i>B. cryptarum</i> Kryptarum-Erdhummel
	<i>B. mendax</i>	Trughummel
	<i>B. monticola</i>	Berglandhummel
	<i>B. mucidus</i>	Grauweiße Hummel
	<i>B. muscorum</i>	Mooshummel
	<i>B. pomorum</i>	Obsthummel
	<i>B. pratorum</i>	Wiesenhummel
	<i>B. pyrenaeus</i> agg.	
	<i>B. pyrenaeus</i>	Pyrenäenhummel
	<i>B. sichelii</i>	Höhenhummel
	<i>B. ruderarius</i>	Grashummel
	<i>B. soroeensis</i>	Glockenblumen-Hummel/Distelhummel
	<i>B. subterraneus</i>	Erdbauhummel/Unterirdische Hummel
	<i>B. sylvarum</i>	Bunthummel/Waldhummel
	<i>B. veteranus</i>	Sandhummel
	<i>B. wurflenii</i>	Bergwaldhummel
Kuckuckshummeln	<i>B. barbutellus</i>	Bärtige Kuckuckshummel
	<i>B. campestris</i>	Feld-Kuckuckshummel
	<i>B. quadricolor</i> agg. (m)	
	<i>B. quadricolor</i>	<i>B. quadricolor</i> (w) Vierfarbige Kuckuckshummel
	<i>B. rupestris</i>	<i>B. rupestris</i> (w) Felsen-/Rotschwarze Kuckuckshummel
	<i>B. sylvestris</i> agg.	
	<i>B. sylvestris</i>	Wald-Kuckuckshummel
	<i>B. norvegicus</i>	Norwegische Kuckuckshummel
	<i>B. flavidus</i>	Gelbliche Kuckuckshummel
	<i>B. vestalis</i> agg.	
	<i>B. vestalis</i>	Keusche Kuckuckshummel
	<i>B. bohemicus</i>	Böhm./Umherschw. Kuckuckshummel

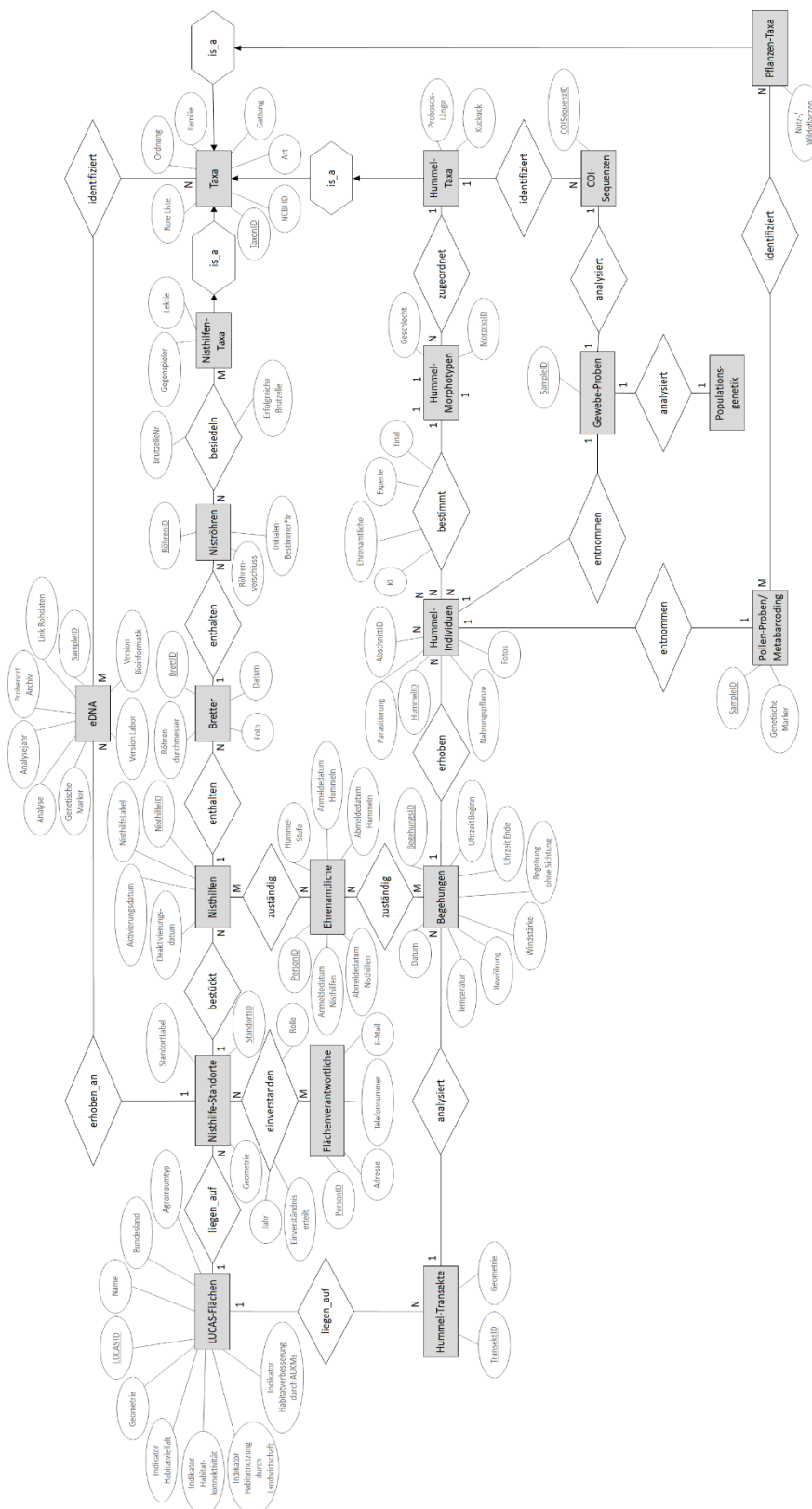


Abbildung 11.1: Entity-Relationship-Diagramm des relationalen Datenbankmanagementsystems für das Wildbienen-Monitoring in Agrarlandschaften (ohne Gesamtartenerfassung), [Abbildung: Niels Hellwig]

Die Verantwortung für die Inhalte
liegt bei den jeweiligen Verfassern
bzw. Verfasserinnen.

*The respective authors are
responsible for the content of
their publications.*

Kontakt: wildbienen@thuenen.de