

Voodoo-Schlußbericht

Teil I

Zahlungsnehmer: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ	Kennzeichen: 16LC1905A
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Landschaftscharakterisierung, Arteninteraktionen und Sozioökonomie zu viralen ökoevolutionären Dynamiken von wildlebenden und domestizierten Bestäubern im globalen Wandel (VOODOO)	
Laufzeit des Auftrags: 01.04.2020 - 30.09.2023 (verlängert; ursprünglich 31.03.2023)	
Berichtszeitraum: 01.04.2020 - 30.09.2023	

Teilprojektleitung:
Prof. Dr. Josef Settele

Inhalt

I. Voodoo-Kurzbericht	2
1. Ursprüngliche Aufgabenstellung inkl. wissenschaftlicher und technischer Anknüpfung .	2
2. Ablauf des Vorhabens	2
3. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen	3

I. Voodoo-Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung inkl. wissenschaftlicher und technischer Anknüpfung

Bestäuber und Bestäubung sind die Grundlage für die Gesundheit der Ökosysteme und des Menschen, aber sie sind durch den globalen Wandel mehrfach bedroht. Die anthropogene Veränderung der floralen Ressourcen in der Landschaft durch Landnutzung und gebietsfremde Arten kann Bestäuber unter Nährstoffstress setzen und ihre Häufigkeit sowie die Interaktionen zwischen den Arten verändern. Dies kann das Krankheitsrisiko erhöhen, insbesondere durch RNA-Viren, die sich aufgrund hoher Mutations- und Rekombinationsraten schnell an Umweltveränderungen und neue Wirte anpassen, was häufig zu neuen Infektionskrankheiten führt. Es bestehen jedoch noch große Wissenslücken in Bezug auf das Potenzial des globalen Wandels, Wirtswechsel von Viren und das Auftreten pandemischer Viren zu fördern, die zu Verlusten bei bewirtschafteten und wildlebenden Bestäubern führen könnten. Jüngste Erkenntnisse deuten auf eine virale Koinfektion bei einem breiten Spektrum von Bestäubern hin. Wie jedoch der Druck des globalen Wandels das Krankheitsrisiko von Bestäubern beeinflusst, indem er die Ernährung der Wirte, die Anpassung der Viren an alternative Wirte, die abpuffernde Wirkung der Artenvielfalt und die Rolle bestimmter Arten oder Lebensräume als Übertragungszentren verändert, ist nach wie vor kaum verstanden.

VOODOO wollte herausfinden, wie die öko-epidemiologische Dynamik der Wechselwirkungen zwischen Pflanzen, Bestäubern und Viren vom Individuum bis hin zur Gemeinschaft durch Veränderungen in der Verfügbarkeit und Qualität von (floralen) Nahrungsressourcen beeinflusst wird, die durch intensive Landwirtschaft, gebietsfremde Pflanzenarten und Urbanisierung hervorgerufen werden. Mithilfe ökologischer Stichproben und hochauflösender molekularer Analysen (quantitative und strangspezifische PCR) war geplant dreigliedrige Netzwerke (Pflanze-Bestäuber-Virus) in verschiedenen Landschaften zu quantifizieren und mithilfe von Netzwerk- und ökoepidemiologischen Modellen Krankheitsherde und -dynamik über Organismen und Lebensräume hinweg aufzudecken. Voodoo plante dies mit Semi-Feld-Experimenten zur Untersuchung von Übertragungswegen und Selektionsexperimenten im Labor (unter Einbeziehung von NGS) verbinden, um die Eignung/Anpassung von Viren bei bekannten und alternativen Wirtsarten zu testen, die im Feld realistischen Ernährungsstressbehandlungen ausgesetzt werden. Ebenso war geplant mit verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren zusammenarbeiten, um komplementäres Wissen in die Entscheidungsfindung für das Risikomanagement und die Umsetzung zu integrieren, um nachhaltige gesellschaftliche Ergebnisse zu gewährleisten.

2. Ablauf des Vorhabens

Aufgrund der Corona Pandemie kam es in vielen Teilen des Projekts zu 6 bis 12-monatigen Verzögerungen. So wurde die Feldforschung in Arbeitspaket 1 (Field Sampling) durch Lockdowns und pandemiebedingte Restriktionen (z.B. geschlossene Labore) im Jahr 2020 stark eingeschränkt. Nur in einem von insgesamt vier Partnerländern (Agroscope-CH) konnten die empirischen Erhebungen wie geplant durchgeführt werden. In Deutschland, Frankreich und Polen musste der Beginn der Feldforschung auf Mitte April 2021 verschoben werden.

Die Verzögerungen in der Feldforschung in $\frac{3}{4}$ der Länder haben sich auch auf die Arbeitsabläufe der anderen Arbeitspakete ausgewirkt, z.B. auf das molekulare Screening (WP1b – 12 Monate Verspätung), die Netzwerkmodellierung (WP2 – min. 12 Monate Verspätung), Experimente (WP3 - 90% Reduktion), epidemiologische Modellierung (WP4 - 50% Reduktion), Sozialwissenschaften (25% Reduzierung bzw. 6 Monate Verspätung), Stakeholder Engagement (12 Monate Verspätung) und Kommunikation (8 Monate Verspätung).

Die sozialwissenschaftliche Forschung (inkl. Budget) wurde über einen längeren Zeitraum gestreckt, um auch die verlängerte Projektlaufzeit abdecken zu können. So wurde u.a. der ursprünglich für Monat 12 geplante Stakeholder Workshop um ein Jahr verschoben, um die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung integrieren zu können.

Aufgrund dieser Entwicklung wurde auch eine kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens um 6 Monate beantragt und genehmigt, so dass die geplanten Ergebnisse erreicht werden konnten.

3. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Forschung des Projekts haben wir einen Horizon Scan des politischen Umfelds der EU durchgeführt, um zu bewerten, ob die Risiken von Bestäuberkrankheiten in den bestehenden Rechtsvorschriften, Politikmaßnahmen und Strategien umfassend erfasst sind. Dies wurde 2021 abgeschlossen und veröffentlicht (siehe Übersichtstabelle in Proesmans et al. 2021¹). Besonderes Augenmerk galt auch dem Überarbeitungsprozess der EU Pollinators Initiative.

Im Rahmen der naturwissenschaftlichen Forschung wurden Pflanzen-Bestäuber Netzwerke in 12 Agrarlandschaften erfasst. Zusätzlich zu den 12 Voodoo-Flächen wurden 4 weitere Flächen hinzugezogen, um die statistische Auswertung zu stärken. Die insgesamt 16 Untersuchungsflächen deckten Gradienten im Urbanisierungsgrad und der menschlichen Populationsdichte (0 bis >5000 Einwohner pro km²), der Habitatdiversität und der strukturellen Konfiguration ab. Es wurden Habitatkarten in einem Radius von 1 km digitalisiert und zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen verwendet. In 2021 wurden auf eingerichteten Transekten in drei Durchgängen (Mai-Juni, Juni-Juli, August) Pflanze-Bestäuber-Netzwerke und Blütendichten erfasst. Des Weiteren wurden Blüten ausgewählter Pflanzenarten gesammelt, deren biologische Merkmale wie Blütenmorphologie, Zuckerzusammensetzung im Nektar, Pollenanzahl, chemische Zusammensetzung des Pollens und Maße der Pollenmorphologie im Labor ermittelt wurden.

Besonderes Augenmerk der naturwissenschaftlichen Forschung lag auf evolutionären und ökologischen Zusammenhängen zwischen Blütenmerkmalen und Bestäubermerkmalen, um Pflanze-Bestäuber Interaktionen besser zu verstehen und vorallem besser vorhersagen zu können. Im Weiteren interessierte uns der Einfluss raumzeitlicher Veränderungen in der Agrarlandschaft, wie zum Beispiel ein jahreszeitlicher Wechsel im Blütenangebot, inklusive Massentrachten, oder wechselnde Konkurrenzbedingungen durch unterschiedliche Dichten an Honigbienen.

Im Rahmen von Voodoo arbeitete das UFZ mit allen beteiligten Partnerorganisationen zusammen:

Koordinator:

Frankreich: INRAE - National Research Institute for Agriculture, Nutrition and Environment

Weitere Partner:

Deutschland: UFZ - Helmholtz Centre for Environmental Research; MLU - Martin Luther University of Halle-Wittenberg

Schweiz: University of Bern; Agroscope

Polen: Warsaw University of Life Sciences; Jagiellonian University Krakow

¹ Proesmans et al 2021 Pathways for Novel Epidemiology: Plant–Pollinator–Pathogen Networks and Global Change, Trends in Ecology & Evolution, 36, 7 <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.03.006> (OPEN ACCESS)

Voodoo-Schlußbericht

Teil II

Zahlungsnehmer: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ	Kennzeichen: 16LC1905A
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Landschaftscharakterisierung, Arteninteraktionen und Sozioökonomie zu viralen ökoevolutionären Dynamiken von wildlebenden und domestizierten Bestäubern im globalen Wandel (VOODOO)	
Laufzeit des Auftrags: 01.04.2020 - 30.09.2023 (verlängert; ursprünglich 31.03.2023)	
Berichtszeitraum: 01.04.2020 - 30.09.2023	

Teilprojektleitung:
Prof. Dr. Josef Settele

Inhalt

I. Eingehende Darstellung der in Voodoo durchgeführten Arbeiten	2
1. Inhalte	2
2. Ergänzende Informationen	9

I. Eingehende Darstellung der in Voodoo durchgeführten Arbeiten

1. Inhalte

Landschaftseinheiten, Bestäuberaufnahmen und Blütenressourcen (WP1)

Im Rahmen der naturwissenschaftlichen Forschung (v.a. WP1) wurden Pflanzen-Bestäuber Netzwerke in 12 Agrarlandschaften erfasst. Zusätzlich zu den 12 Voodoo-Flächen wurden 4 weitere Flächen hinzugezogen, um die statistische Auswertung zu stärken. Die insgesamt 16 Untersuchungsflächen deckten Gradienten im Urbanisierungsgrad und der menschlichen Populationsdichte (0 bis >5000 Einwohner pro km²), der Habitatdiversität und der strukturellen Konfiguration ab. Es wurden Habitatkarten in einem Radius von 1 km digitalisiert und zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen verwendet. In 2021 wurden auf eingerichteten Transekten in drei Durchgängen (Mai-Juni, Juni-Juli, August) Pflanze-Bestäuber-Netzwerke und Blütendichten erfasst. Des Weiteren wurden Blüten ausgewählter Pflanzenarten gesammelt, deren biologische Merkmale wie Blütenmorphologie, Zuckerzusammensetzung im Nektar, Pollenanzahl, chemische Zusammensetzung des Pollens und Maße der Pollenmorphologie im Labor ermittelt wurden.

Besonderes Augenmerk der naturwissenschaftlichen Forschung lag auf evolutionären und ökologischen Zusammenhängen zwischen Blütenmerkmalen und Bestäubermerkmalen, um Pflanze-Bestäuber Interaktionen besser zu verstehen und vorallem besser vorhersagen zu können. Im Weiteren interessierte uns der Einfluss raumzeitlicher Veränderungen in der Agrarlandschaft, wie zum Beispiel ein jahreszeitlicher Wechsel im Blütenangebot, inklusive Massentrachten, oder wechselnde Konkurrenzbedingungen durch unterschiedliche Dichten an Honigbienen.

Unsere Analysen haben gezeigt, die Nektarzuckerzusammensetzung ein starkes phylogenetisches Signal zeigt, wobei im Besonderen der Anteil Saccharose im Nektar (im Vergleich zu Fruktose und Glukose) seit der Entstehung der Blütenpflanzen (Angiospermen) drastisch zurück ging, was vor allem auf den Rückgang der globalen Temperaturen zurückzuführen ist (Abb. 1). Dies spiegelt einen Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt der Pflanzen wider, da der Wasserverlust bei einem höheren Gehalt an Saccharose geringer ist als bei einer Dominanz von Fruktose oder Glukose.

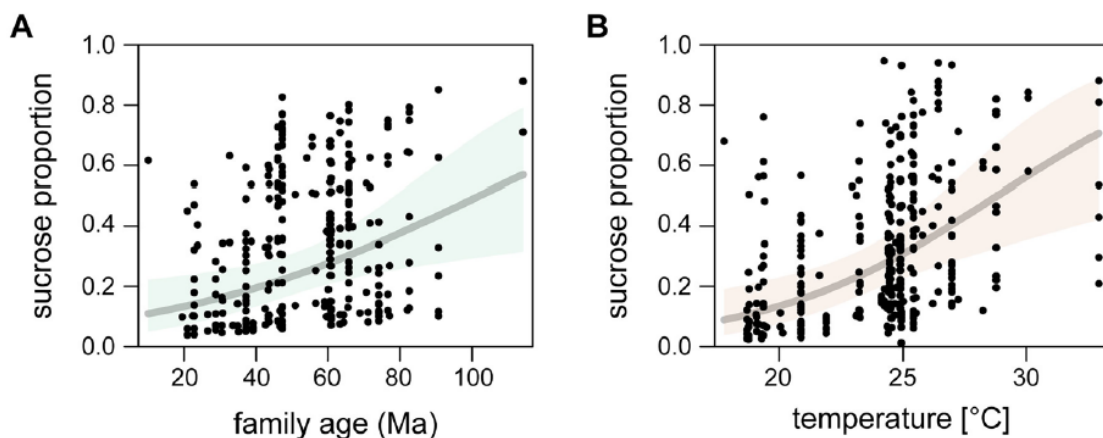


Abb. 1 Zusammenhang zwischen Anteil an Saccharose im Nektar und dem evolutiven Alter der entsprechenden Pflanzenfamilie (A) und der globalen Jahresmitteltemperaturen (B).

Der Saccharoseanteil im Nektar beeinflusst wiederum die Art der Blütenbesucher. Analysen der Pflanzen-Bestäuber Netzwerke haben gezeigt, dass Pflanzen mit hohem Saccharoseanteil bevorzugt von Generalisten unter den Bestäubern besucht werden, wohingegen Spezialisten Nektar mit geringerem Saccharosegehalt wählen (Abb. 2A). Außerdem sind Pflanzen mit hohem Saccharosegehalt eher Generalisten, d.h. sie werden von vielen Bestäuberarten besucht, während Pflanzen mit geringem Saccharosegehalt von wenigen Arten besucht werden (Abb. 2B).

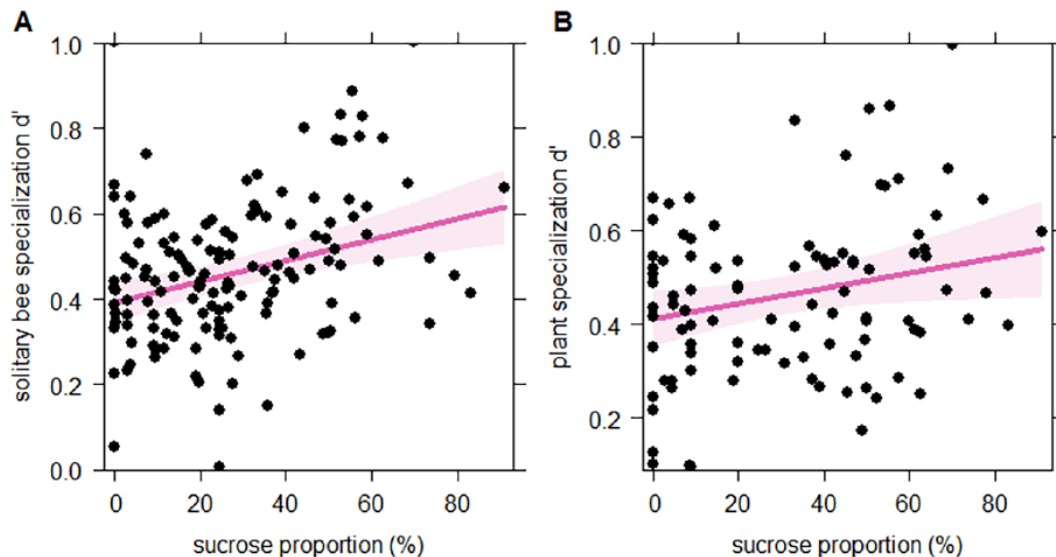


Abb. 2 Einfluss des Anteils und Saccharose im Nektar auf die Spezialisierung von Blütenbesuchern (A) und die Spezialisierung der Pflanzen selbst (B).

Diese Ergebnisse zeigen einen nachhaltigen Einfluss evolutiver Prozesse der Nektarzusammensetzung auf die Art und Weise wie heutige Pflanzen und Bestäuber miteinander interagieren. Da die Nektarzusammensetzung einerseits phylogenetisch konserviert ist, andererseits aber schnelle physiologische Anpassungen nötig sind, um auf den momentanen und zukünftigen Klimawandel entsprechend reagieren zu können, kann sich dieser Konflikt auch auf die Struktur und Nachhaltigkeit heutiger Pflanze-Bestäubernetzwerke auswirken. Die Ergebnisse dieser Analysen wurden in einer Fachzeitschrift publiziert (Liu Y, Dunker S, Durka W, Dominik C, Heuschele JM, Honchar H, Hoffmann P, Musche M, Paxton RJ, Settele J, Schweiger O (2024) Eco-evolutionary processes shaping floral nectar sugar composition. *Scientific Reports* 14: 13856.).

Weitere Analysen haben gezeigt, dass Blütenmerkmale in Kombination mit der Körpergröße von Wildbienen gut geeignet sind, um Pflanze-Bestäuber Interaktionen vorher zu sagen. Die Analysen beruhen auf der Annahme, dass Bestäuber mit Blütenpflanzen entsprechend zusammenpassender Merkmale bevorzugt interagieren. Dabei wurde zwischen rein morphologischen Mechanismen, zum Beispiel Länge der Kronröhre und Zungenlänge der Bestäuber, Mechanismen im Zusammenhang mit Ernährung, zum Beispiel Nektargehalt, Anzahl und Qualität der Pollen (gemessen als Verhältnis von Protein zu Fett) entsprechend der unterschiedlichen Bedürfnisse unterschiedlich großer Bienen, und Signalmechanismen über die Morphologie und Farbeigenschaften von Pollen unterschieden. Statistische Modelle wurden anhand der erhobenen Interaktionen in den untersuchten Standorten trainiert und deren Vorhersagekraft von bis dahin unbekanntem Interaktionen bestimmt. Dabei zeigte sich, dass, im Vergleich zu rein abundanzbasierten Modellen, oder Modellen mit Abundanz und reinen morphologischen Merkmalen, eine Berücksichtigung von Pollenmerkmalen die Vorhersagekraft beträchtlich steigern kann (Abb. 3).

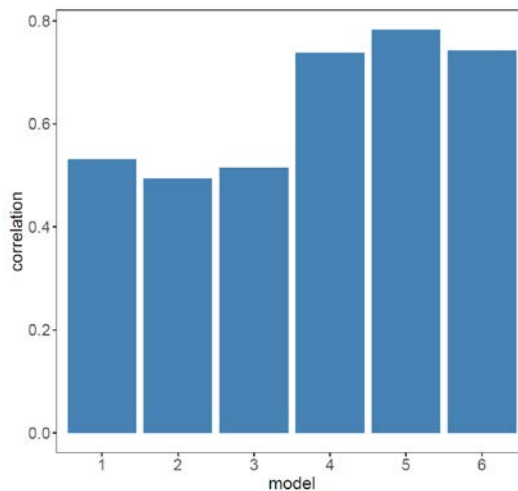


Abb. 3 Vorhersagekraft von Merkmalskombinationsmodellen für unbekannte Pflanze-Bestäuber Interaktionen.

Die Vorhersagekraft wird als Korrelation (Pearson) zwischen der beobachteten und der vorhergesagten Frequenz an entsprechenden Interaktionen gemessen. Model 1: nur Abundanzen; Model 2: Model 1 + morphologische Merkmale und Biengröße; Model 3: Model 2 + Nektarmerkmale; Model 4: Model 3 + Pollenzahl und Qualität; Model 5: Model 4 + Pollensignale; Model 6: Model 5 – Nektarmerkmale.

Dies beruht zum Beispiel auf einer Präferenz von großen Bienenarten für Pollen mit vergleichsweise hohem Proteinanteil, wohingegen kleinere Bienenarten Pollen mit höherem Fettanteil bevorzugten (Abb. 4). Ein hoher Proteinanteil ist vor allem wichtig für die Erreichung großer Körpergrößen, vor allem in der Larvalentwicklung.

Unsere Forschung zeigt, dass geeignete Blütenmerkmale in Kombination mit Bestäubergrößen und Annahmen über Abundanzverhältnisse von Blüten und Bestäubern sehr gut genutzt werden können, um bis dahin unbekannte Interaktionen vorher zu sagen. Solche Vorhersagen sind von Bedeutung, wenn die Reaktion von Pflanze-Bestäuber Interaktionen vor allem im Zuge von voranschreitenden Veränderungen der Umweltbedingungen wie zum Beispiel Klimawandel oder zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft eingeschätzt werden sollen. Diese Veränderungen bedingen auch Veränderungen in der Zusammensetzung von lokalen Pflanzen- und Bestäubergemeinschaften, wobei es zu bisher unbekanntem Kombinationen kommen kann. Die Möglichkeit von Interaktionen zwischen Mitgliedern dieser neuen Lebensgemeinschaften lassen sich nun mit unserem Ansatz besser abschätzen. Die Ergebnisse dieser Analysen sind bei Journal of Applied Ecology zur Begutachtung eingereicht.

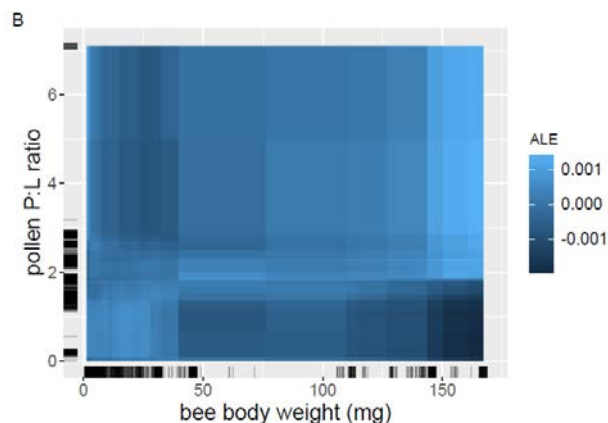


Abb. 4 Interaktionseffekte zwischen Bienenmasse und Pollen Protein: Lipid Verhältnis auf die Häufigkeit der der Blütenbesuche. Helle Blautöne repräsentieren häufigere Blütenbesuche, dunkle Blautöne repräsentieren seltenere Blütenbesuche als im Mittel.

Zusätzlich zu paarweisen Pflanze-Bestäuber Interaktionen lassen sich diese merkmalsbasierten Vorhersagemodelle auch zur Abschätzung von Änderungen in der Struktur gesamter Netzwerke nutzen. Unterschiedliche Aspekte von Pflanze-Bestäuber Netzwerken können mit unterschiedlichen Indizes erfasst werden. Wir trainierten merkmalsbasierte Vorhersagemodelle an den erhobenen Netzwerkdaten, wobei wir wiederholt ein gesamtes Netzwerk ausgelassen hatten, um dieses dann mit dem trainierten Modell vorher zu sagen. Ein Vergleich der beobachteten und vorhergesagten Netzwerkindizes zeigte eine erstaunlich hohe Übereinstimmung (Abb. 5).

Unsere Ergebnisse zeigen, dass mit geeigneten Blütenmerkmalen in Kombination mit Bestäubergrößen nicht nur einzelne Pflanze-Bestäuber Interaktionen vorhergesagt werden können sondern auch gesamte Netzwerke, was eine Abschätzung des Einflusses von Umweltveränderungen auf die ökologischen Prozesse und deren funktionale Konsequenzen wie zum Beispiel Auswirkungen auf Bestäubungsleistungen unter Prozessen des globalen Wandels ermöglicht. Ein Manuskript zur Publikation dieser Ergebnisse ist momentan in Vorbereitung

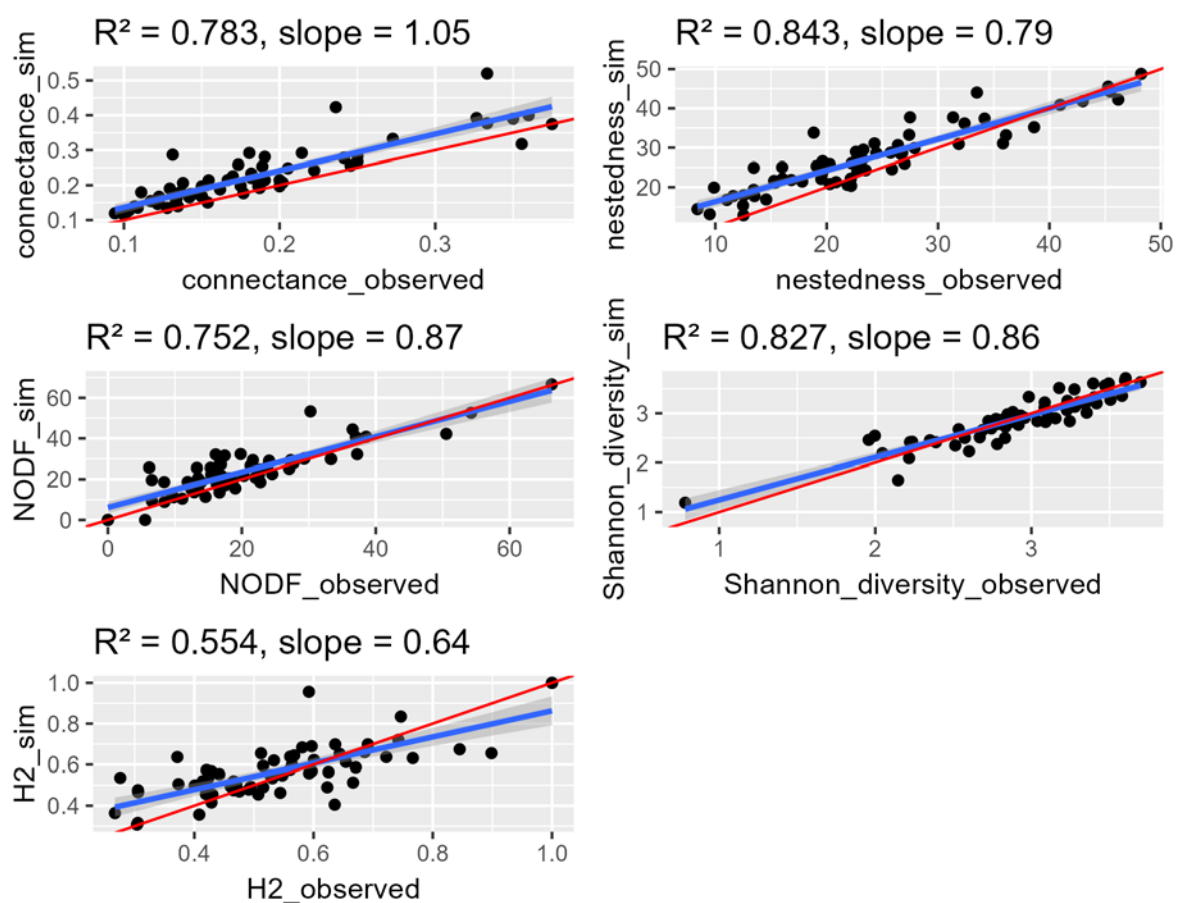


Abb. 5 Vergleich von beobachteten und vorhergesagten Netzwerkstrukturen.

Getestete Netzwerkindizes waren connectance, nestedness, NODF, Shannon diversity und H2. Beobachtete Netzwerke auf der x-Achse (_observed), vorhergesagte Netzwerke auf der y-Achse (_sim). Blau, Regressionsgerade; rot, 1:1 Linie.

Eine weitere Studie beschäftigte sich mit der Frage wie sich raumzeitliche Veränderungen der Landschaft vor allem im Blütenangebot und der Abundanz von Konkurrenten auf die Struktur von Pflanze-Bestäuber Netzwerken auswirkt. Analysen der erhobenen Netzwerke haben gezeigt, dass vor allem zeitliche Veränderungen im Blütenangebot und der Abundanz von Bestäubern eine größere Rolle für die Struktur der Netzwerke spielen als eher statische Landschaftscharakteristika (Abb. 6).

Pflanzen-Bestäuber Netzwerke werden also großteils durch die zeitliche Dynamik der Ressourcenverfügbarkeit in Agrarlandschaften bestimmt. Ein Anbau von Massentrachtpflanzen wie zum Beispiel Raps können bestimmte Beschränkungen in der Ressourcenverfügbarkeit für blütenbesuchende Insekten gelockert werden. Dies führt aber zu eher vereinfachten Netzwerkstrukturen. Die Schwankungen im landschaftsweiten Ressourcenpool können jedoch den Wettbewerb sowohl für Pflanzen als auch für Bestäuber verstärken. Daher ist die Aufrechterhaltung der Kontinuität und Komplementarität der Blütenressourcen unerlässlich, um die Interaktionen zwischen Pflanze und Bestäuber zu erhalten. Die Ergebnisse dieser Analysen sind bei Journal of Applied Ecology zur Begutachtung eingereicht.

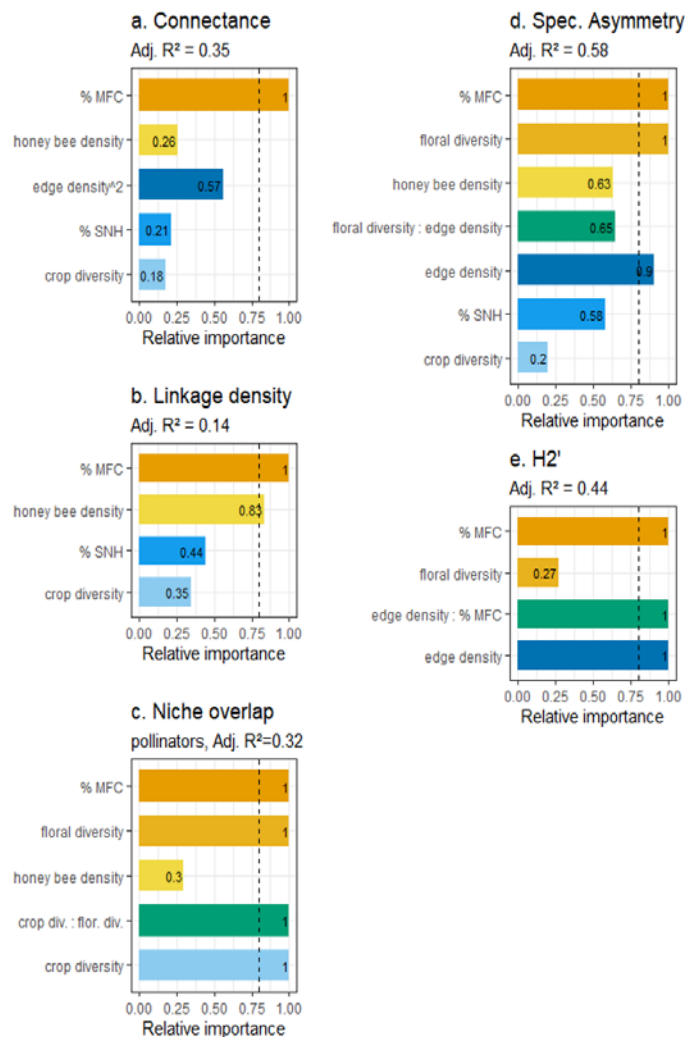


Abb. 6 Relativer Einfluss von zeitlich variierender Blütendichte und Abundanz von Konkurrenten im Vergleich zu räumlich variierenden Landschaftsmerkmalen auf fünf verschiedene Pflanze-Bestäuber Netzwerkindices.

Zeitlich variierende Faktoren in Gelbtönen, räumlich variierende Faktoren in Blautönen. %MFC, Anteil an blühenden Massentrachten (Raps); floral diversity, Shannon Index der Blütenpflanzen; honey bee density, Abundanz an Honigbienen (Konkurrenten); edge density, Kantendichte (Randlänge der Habitatpatches pro Fläche); %SNH, Anteil an naturnahen Habitaten; crop diversity, Shannon Index der Flächenanteile unterschiedlicher Agrarkulturpflanzen.

Öko-epidemiologische Modellierung von art- und community-bezogenen Virus-Dynamiken (WP4)

Es wurde im Rahmen von WP4 ein individuen-basiertes Wildbestäubermodell entwickelt und entsprechend umgesetzt (Abb. 7 und 8). Das Modell erleichtert systematische Experimente zur Planung von Transektarbeiten. Das Modell wurde eingesetzt, um die Implikationen neuester Literatur zu bi- und tripartiten Kontaktnetzwerke zwischen Bestäuberinsekten, Blütenpflanzen und Insektenpathogenen zu untersuchen. Durch die Reproduzierbarkeit theoretischer Erkenntnisse aus der Literatur (Figuroa et al., 2020 und Strona et al., 2018) mit dem VooDoo-Modell "sick-bees" (<https://git.ufz.de/eoepi/sick-bees/>) konnte die konzeptionelle Validität und die technische Korrektheit bestätigt werden. Die modellbasierte Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Artenmerkmalen, Kontaktstruktur und Pathogenprävalenz hat die Bedeutung der Nahrungsnischen in Mehrarten-Bestäuber-Populationen für die im Rahmen von VooDoo durchgeführten Datenerhebung, hervorgehoben.

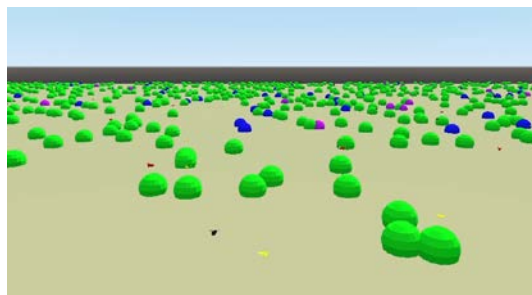


Abb. 7: Schnappschuss der 3-D-Visualisierung eines Modellaufs, der Bestäuberinsekten verschiedener Arten (gelb, rot, schwarz), Blütenensembles (grüne Naben) und Nestseiten (violette und blaue Naben) zeigt.

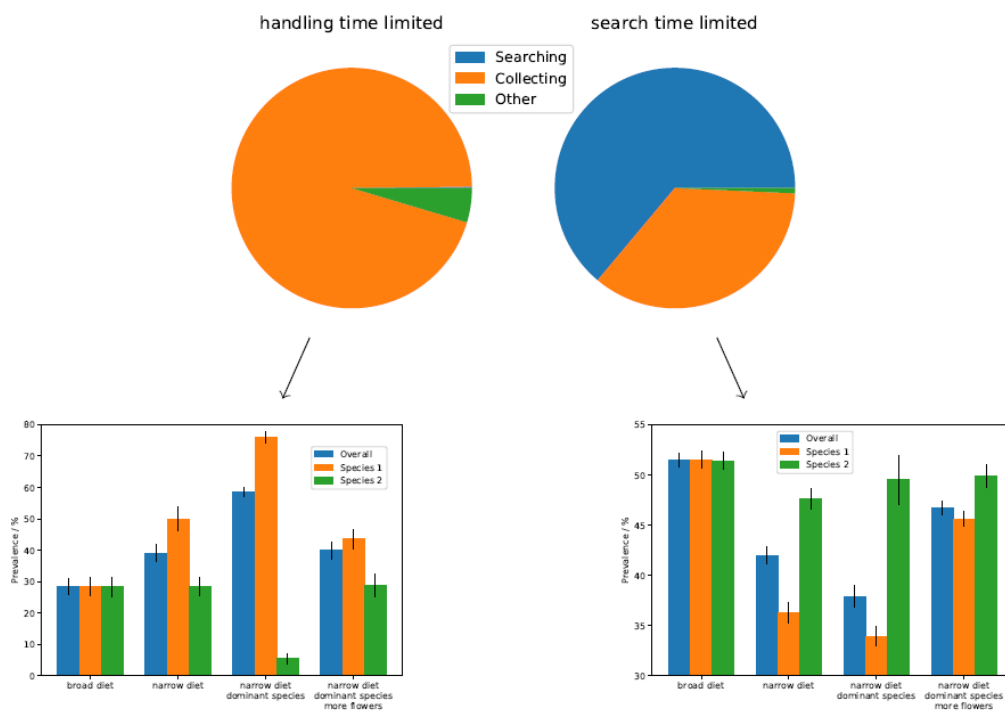


Abb. 8: Vergleich der Gesamtprävalenz (blau) und der Prävalenz einzelner Arten (orange, grün) in Abhängigkeit von der limitierenden Aktivität („handling of flowers“, wenn die Ressourcen reichlich vorhanden sind - links oder „search time“, wenn die Ressourcen knapp sind - rechts) und der Spezialisierung zweier Bestäuberarten (Szenario „broad diet“

große Nische mit zwei äquivalenten Generalistenarten versus Szenario „narrow diet“ mit einem Generalisten, species 2 und einer Spezialistenart, species 1). Das dritte Experiment erhöht die relative Häufigkeit des Spezialisten („narrow diet, dominant species“). Dies wird im vierten Experiment wieder ausgeglichen indem die relative Häufigkeit der Ressourcennische des Spezialisten erhöht wurde („narrow diet, dominant species, more flowers“).

Wir stellen fest, dass unter dem ressourcenreichen Regime (links) der Austausch eines Generalisten gegen einen Nahrungsspezialisten zu einem Anstieg der Gesamtprävalenz des Erregers führt, da die Erregerprävalenz im Spezialisten (species 1) stark ansteigt. Im Gegensatz dazu führt die Einführung eines spezialisierten Futtersammlers im ressourcenarmen Regime (rechts) zu einer Verringerung der Gesamtprävalenz von Krankheitserregern, was hauptsächlich auf einen starken Rückgang der Prävalenz im spezialisierten Futtersammler (species 1) zurückzuführen ist. Eine Erhöhung der relativen Abundanz des Spezialisten (drittes Experiment in beiden Aktivitätsszenarien) verstärkt das Ergebnis erwartungsgemäß. Die quantitative Kompensation des Überangebots des Spezialisten durch eine proportionale Erweiterung der absoluten Größe seiner Nische (viertes Experiment) stellt jedoch weder das Ergebnis des ursprünglichen Spezialisierungsexperiments (zweites Experiment) noch das des unspezialisierten Experiments (erstes Experiment) vollständig wieder her. Dies zeigt die Bedeutung der Interaktion zwischen den Arten auf der gemeinsam genutzten Ressource für die Verbreitung von Krankheitserregern, die im Mittelpunkt von VooDoo stand.

Socio-Ecological Context of Environmental Change and Pollinator-Disease Dynamics (WP5)

Im Rahmen von Task 11 und 12 haben wir im Jahr 2022 fünf weitere leitfadengestützte Experteninterviews mit Interviewpartnern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft durchgeführt und mithilfe einer qualitativen Daten- und Textanalysesoftware (MAXQDA) kodiert. In diesen Interviews kam ein überarbeiteter Interviewleitfaden zum Einsatz, um in den Gesprächen näher auf Kontroversen im Bestäuberschutz und positive Zukunftsvisionen eingehen zu können.

Im Rahmen einer Literaturstudie haben wir untersucht, welche Aspekte des weltweiten Rückgangs von Bestäuberinsekten, ihrer Vielfalt sowie ihres Schutzes in der sozialwissenschaftlichen Forschung analysiert werden. Sowohl diese Publikationen als auch viele Aussagen unserer Interviewpartner deuteten darauf hin, dass diese Themen diskursiv relativ eng im Rahmen des Biodiversitätsschutzes gerahmt und politisch adressiert werden, eine breitere gesellschaftliche Verankerung jedoch notwendig sei, um effektivere Strategien zur Bekämpfung des Rückgangs zu entwickeln und den transformativen Wandel zu unterstützen, der in der EU Biodiversitätsstrategie (Pillar 3) gefordert wird. Aus diesem Grund haben wir ein mehrdimensionales Analyseschema entwickelt, um besser zu verstehen, welche Dimensionen in der europäischen Politik zum Bestäuberschutz bisher unterbelichtet sind und wie diese möglicherweise adressiert werden könnten. Wir haben die Interviewergebnisse nach diesem Schema analysiert, was anschließend auch zur Analyse der EU Bestäuberinitiative dienen wird.

Zusammengefasst haben wir im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Forschung des Projekts einen Horizon Scan des politischen Umfelds der EU durchgeführt, um zu bewerten, ob die Risiken von Bestäuberkrankheiten in den bestehenden Rechtsvorschriften, Politikmaßnahmen und Strategien umfassend erfasst sind. Dies wurde 2021 abgeschlossen und veröffentlicht (siehe Übersichtstabelle in Proesmans et al. 2021¹). Besonderes Augenmerk galt auch dem Überarbeitungsprozess der EU Pollinators Initiative.

¹ Proesmans et al 2021 Pathways for Novel Epidemiology: Plant–Pollinator–Pathogen Networks and Global Change, Trends in Ecology & Evolution, 36, 7 <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.03.006> (OPEN ACCESS)

2. Ergänzende Informationen

Zahlenmäßiger Nachweis

Wie im zahlenmäßigen Verwendungsnachweis (vom 6.12.2023) dargelegt, ergaben sich praktisch keine Abweichungen zwischen Plan und Ist. Bei den Personalkosten waren wir bei den direkten Kosten voll im Soll. Die Abweichungen kommen zu Stande, da die Gemeinkosten in der Nachkalkulation geringer waren als in der Vorkalkulation. Die Abweichungen insbesondere bei den Reisekosten sind auf Corona zurückzuführen. Bei den Verwaltungskosten waren, ebenso wie bei den Personalgemeinkosten, die Werte der Vorkalkulation höher als dann bei den tatsächlich entstandenen Kosten.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Das Projekt VOODOO war mit seinem Fokus auf Landnutzung und Biodiversität stark mit der Programmorientierten Forschung (POF) am UFZ verzahnt und wies wie erwartet starke Synergien zwischen Ergebnissen dieses Projektes und der POF auf. Allerdings ging der Inhalt des Projektes deutlich über die Grundfinanzierung hinaus, sodass für die Durchführung keine Ressourcen zur Verfügung standen. Daher war für die Projektdurchführung eine 100%ige Förderung durch das BMBF essentiell. Auch haben eigene Recherchen auf nationaler und internationaler europäischer Ebene ergeben, dass es keine alternative Finanzierungsmöglichkeit, auch nur von Teilen des Vorhabens gab. Obwohl das Thema sowohl von nationalem als auch internationalem Interesse ist, gab und gibt es für die Ausgestaltung in der vorliegenden Form keine Förderinitiative, bei der das Projekt entsprechend umgesetzt hätte werden können. Damit lagen nach unseren Recherchen keine alternativen Fördermöglichkeiten vor.

Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses

Der wissenschaftliche Nutzen konnte durch erschienene Publikationen in redigierten wissenschaftlichen Zeitschriften belegt werden.

Fortschritt bei anderen Stellen während Durchführung des Vorhabens

Es sind keine weiteren relevanten Arbeiten - im enger verwandten Themenbereich für die Thematik der Virendynamik bei Bestäubern - bekannt geworden, die nicht in Bezug zu Voodoo standen.

Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Veröffentlicht:

Willem Proesmans, Matthias Albrecht, Anna Gajda, Peter Neumann, Robert J. Paxton, Maryline Pioz, Christine Polzin, Oliver Schweiger, Josef Settele, Hajnalka Szentgyörgyi, Hans-Hermann Thulke, and Adam J. Vanbergen (2021) Pathways for Novel Epidemiology: Plant–Pollinator–Pathogen Networks and Global Change, *Trends in Ecology & Evolution*, 36, 7 <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.03.006> (OPEN ACCESS)

Yicong Liu, Susanne Dunker, Walter Durka, Christophe Dominik, Jonna M. Heuschele, Hanna Honchar, Petra Hoffmann, Martin Musche, Robert J. Paxton, Josef Settele & Oliver Schweiger

(2024): Eco-evolutionary processes shaping floral nectar sugar composition. *Scientific Reports* 14: 13856 <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64755-5>

Eingereicht:

Yicong Liu, Susanne Dunker, Thomas Hornick, Franziska Walther, Walter Durka, Jonna M. Heuschele, Denis Michez, Diego Manuel Cejas Acuna, Alham Sentil, Sara Diana Leonhardt, Fabian A. Ruedenauer, Maria Alejandra Parreño, Susanne Werle, Matthias Albrecht, Hanna Honchar, Robert J. Paxton, Josef Settele, Hajnalka Szentgyörgyi, Adam J. Vanbergen, Oliver Schweiger (subm.) Nutritional trait matching improves the prediction of plant-bee interactions (eingereicht bei "Ecology").

Jonna M. Heuschele, Schweiger, O., Felipe-Lucia, M. R., Honchar, H, Liu, Y., Musche, M., Settele, J., Wubet, T., Dominik, C. (subm.) Temporal landscape heterogeneity is more important than spatial elements in structuring plant-pollinator networks (eingereicht bei "Journal of Applied Ecology")