



**Diversität und Reproduktion von Solitärbiene auf ökologischen und konventionell betriebenen landwirtschaftlichen Höfen in Deutschland
Entwicklung einer Methode für die Risikobewertung von Pestiziden**

Berlin, 14. Mai 2024

Abschlussbericht für unsere Förderpartner in deutscher Sprache

Im Folgenden finden Sie den deutschsprachigen Bericht für das insbesondere von der Software AG Stiftung geförderte Forschungsprojekt. Es wurde von Dr. Boff konzipiert und mit einem wirklich außergewöhnlichen Einsatz umgesetzt!

Auf den letzten Seiten dieses Berichtes finden sie die Liste seiner hochrangig publizierten Ergebnisse. Wobei sich eine wissenschaftliche Publikation derzeit noch im „Peer Review“ Verfahren vor Veröffentlichung befindet.

Wir bedanken auch im Namen von Herr Dr. Boff sehr herzlich bei der Software AG Stiftung SAGST für die finanzielle und ideelle Projektförderung und für die privaten Spenden, die das Projekt ermöglicht haben!

Mit besten Grüßen

Thomas Radetzki, Vorstand Aurelia Stiftung

Zusammenfassung erstes Projektjahr 2021

Das erste Projektjahr teilte sich in vorbereitende Maßnahmen für die Feldarbeit (Experiment 1) und in Laborarbeit am Lehrstuhl von Prof. Ayasse im Institut „Evolutionary Ecology and Conservation Genomics“ der [Universität Ulm](#) (Experiment 2) ein. Herr Dr. Boff installierte im Frühjahr 2021 wie geplant 160 Nestfallen mit 32.000 Schilfröhrchen verteilt auf 19 verschiedenen Studiengengebieten. Die Untersuchungsstandorte befanden sich im Norden von Ulm sowie in der Region um Biberach und Überlingen. Sie waren gleichmäßig verteilt auf Feldern, die nach Demeter-Richtlinien zertifiziert bewirtschafteten wurden mit konventionellen Anbaumethoden.

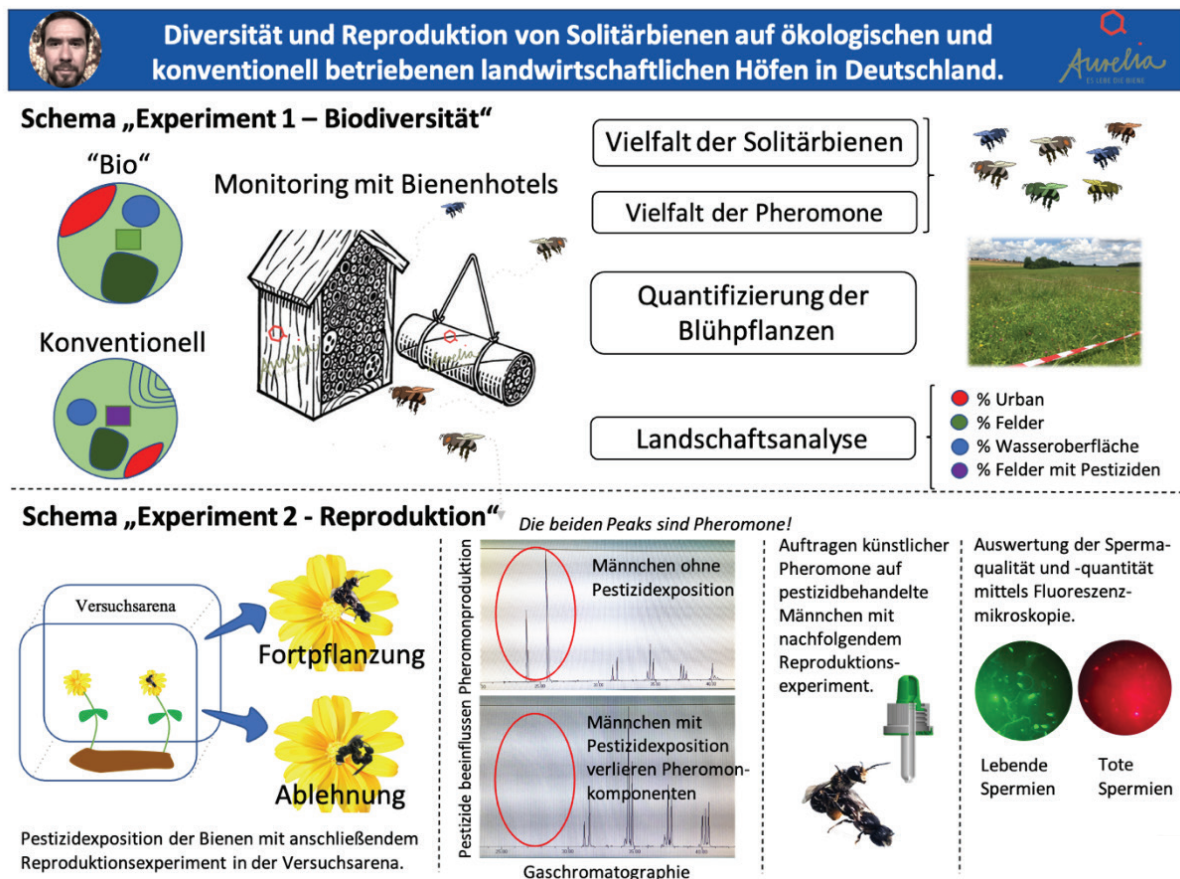


Abbildung 1: Schema der geplanten Experimente, gemäß Projektantrag

Ziel des Feldexperiments war es zu klären, ob die Art der Bewirtschaftung (konventionell oder biologisch-dynamisch) einen Einfluss auf die Vielfalt sowie die Reproduktionsfähigkeit von Wildbienen hat. Herr Dr. Boff erfasste dazu auch das Blühangebot in den einzelnen Untersuchungsstandorten, um einen Parameter für die Futterqualität und -quantität in die

statistische Analyse einfließen zu lassen. Dafür steckte er auf allen Standorten ein 25m² großen Bereich ab, kartierte sämtliche Pflanzenarten und zählte die Anzahl der Blüten. Dieses umfangreiche Vorgehen war nicht nur durch den enormen Arbeitseinsatz von Herrn Dr. Boff zu realisieren. Auch die Kooperation mit den Landwirt*innen vor Ort war nötig, die Boffs Projekt unterstützten und ihm erlaubten, sich frei auf den Flächen zu bewegen. Am Ende des ersten Projektjahres sammelte Herr Dr. Boff alle Wildbienenhotels wieder ein und ließ die Schilfröhrchen auf dem Dach der Universität Ulm überwintern.



Abbildung 2: Einsammeln der Bienenhotels, November 2021

Die Laborarbeit im ersten Jahr bezog sich auf das Paarungsverhalten der Wildbienenart „Gehörnte Mauerbiene“ (*Osmia cornuta*). Herr Dr. Boff applizierte eine nicht-letale Dosis des Mittels Fenbuconazol (Fungizid) auf die Körperoberfläche von Männchen dieser Wildbienenart. Anschließend präsentierte er die mit den Pestiziden behandelten Männchen in einer Testarena nicht mit Pestiziden behandelten *O. cornuta* Weibchen. Normalerweise zeigen die Männchen sogenannte präkopulatorische Verhaltensweisen – vergleichbar einem Balzverhalten. Zu diesen präkopulatorischen Verhaltensweisen gehören das Vibrieren der Brustmuskeln sowie das Reiben der Fühler über die Augen und über die Fühler der Weibchen. Letzteres dient sehr

wahrscheinlich der Übertragung von Duftstoffen, die das Weibchen zur Paarung animieren sollen. Dr. Boff's Experiment zeigte, dass mit Fungiziden behandelte Männchen in der Partnerwahl häufiger von den Weibchen zurückgewiesen wurden als nicht behandelte Individuen. Dr. Boff fand zudem heraus, dass die pestizidbelasteten Männchen weniger mit ihrer Brustmuskulatur vibrierten als unbehandelte Männchen. Zusätzlich änderte Fenbuconazol die Zusammensetzung der chemischen Duftstoffe auf der Körperoberfläche der Männchen derart, dass Weibchen diese nach der Behandlung mit dem Fungizid nicht mehr als Paarungspartner in Betracht zogen (Boff et al 2022). Mit dieser Studie erregte Dr. Boff international großes Interesse. Seine Publikation in der renommierten Fachzeitschrift „[Journal of Applied Ecology](#)“ wurde mehrfach zitiert und auch von populärwissenschaftlichen Quellen aufgegriffen (siehe Liste unten). In dieser Studie hat Dr. Boff als Erster bewiesen, dass Fungizide mit geringer letaler Toxizität Auswirkungen auf die Fortpflanzung von (Wild-) Bienen in der Paarungsphase haben. Der Rückgang der Wildbienenpopulationen in Agrarlandschaften könnte daher in einem noch zu klärenden Umfang durch die Wirkung von Pestiziden auf das Paarungsverhalten der Insekten erklärt werden.

Zusammenfassung zweites Projektjahr 2022

Im Frühjahr 2022 wertete Dr. Boff die Daten der ersten Feldsaison aus. Dazu öffnete er jedes der 3.200 Schilfröhrchen von Hand (!), um die darin befindliche Brut zu analysieren. Er zählte jede der Brutzellen, vermaß sie. Anschließend ließ Herr Dr. Boff die Jungbienen in den Brutzellen unter kontrollierten Bedingungen heranreifen und schlüpfen. Gleichzeitig brachte er die nun leeren Bienenhotels erneut auf die Standorte, um die Datenlage für die Feldexperimente weiter zu erhöhen.

Nachdem die geschlüpften Bienen ihre volle Größe erreicht hatten, wurden die Tiere erneut vermessen und bestimmt. Diese Bienen wurden später für Laborversuche genutzt. Herr Dr. Boff konzentrierte sich im weiteren Fortgang seiner Arbeit auf die zwei häufigsten Wildbienenarten – die Gehörnte Mauerbiene (*Osmia bicornis*) und die Gemeine Löcherbiene (*Heriades truncorum*). Die Tiere wurden mit Pentan „gewaschen“, um die auf der Körperoberfläche der Bienen befindlichen Kohlenwasserstoffe zu lösen. Anschließend wurden alle Tiere bei -20°C eingefroren und für evtl. weitere Untersuchungen präserviert.



Abbildung 3: Dr. Boff bei der Auswertung der Schilfröhrchen

Die auf diese Weise erhaltene Pentanextrakte nutzte Herr Dr. Boff für Analysen mit dem Gaschromatographen. Diese Methode erlaubt es, die genaue chemische Zusammensetzung der Kohlenwasserstoffprofile zu entschlüsseln. Die Ergebnisse aus dieser Analyse deckten sich mit den Ergebnissen aus den anderen Laborversuchen: Wo Pestizide vorkommen, findet sich auch eine Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Kohlenwasserstoffe auf der Körperoberfläche der Wildbienen.

Der Faktor „Standort“ und somit die Art der Bewirtschaftung der Felder war eine erklärende Variable für die Unterschiede im Kohlenwasserstoffprofil der untersuchten Wildbienen. Das Kohlenwasserstoffprofil der weiblichen Wildbienen von konventionellen Standorten glich eher den Tieren, die Dr. Boff im Labor mit Pestiziden behandelt hatte. Mit Hilfe eines Bioassay im Labor konnte Dr. Boff nachweisen, dass es sich bei den Kohlenwasserstoffen um zwei Pheromone handelte. Pheromone sind chemische Wirkstoffe, die bei der Partnerwahl eine wichtige Rolle spielen. Daraus folgert er, dass die Bienen auf konventionell angebauten Flächen stärker von einem gestörten Paarungsverhalten und somit von einem Populationsrückgang

betroffen sind als ihre Artgenossen auf den ökologisch bewirtschafteten Feldern. In seiner zweiten Laborstudie zur Reproduktion setzte Boff die Männchen und Weibchen der Gemeinen Löcherbiene (*Heriades truncorum*) einer nicht-tödlichen Dosis von Flupyradifuronen aus. Wieder führte er Partnerwahlversuche in einer Testarena durch. Wieder fand er den Zusammenhang, dass die mit Pestiziden behandelten Wildbienen ihr Paarungsverhalten nachteilig veränderten ([Boff & Ayasse 2023](#)). Dr. Boff konnte zeigen, dass die zuvor den Pestiziden ausgesetzten Männchen deutlich länger brauchten, um sich einem Weibchen anzunähern als unbehandelte Männchen. Generell bevorzugten sich Männchen und Weibchen, die nicht mit Pestiziden behandelt wurden. Eine genauere Analyse der Zusammensetzung der Kohlenwasserstoffe auf der Körperoberfläche der Tiere (die Kutikula) mittels Gaschromatographie brachte weitere Bestätigung: Die mit Pestiziden behandelten Weibchen bildeten weniger Kohlenwasserstoffe einer bestimmten Gruppe aus als die unbehandelte Kontrollgruppe. Von diesen Kohlenwasserstoffen ist bekannt, dass sie eine wichtige Rolle als



Abbildung 4: Dr. Boff bei der Durchführung der Partnerwahlversuche mit *Heriades*

Sexualpheromone spielen. Mit dieser hochrangig publizierten Studie konnte Boff erneut nachweisen, dass der Kontakt mit Insektiziden bei Wildbienen zu einer gestörten sexuellen Kommunikation zwischen den Geschlechtern führt und sich dies wiederum negativ auf die Populationsentwicklungen auswirkt.

Zusammenfassung drittes Projektjahr 2023

Im dritten Projektjahr führte Herr Dr. Boff die Auswertung der Felddaten fort und konzentrierte sich maßgeblich auf die Veröffentlichung der Daten. Aktuell befinden sich zwei weitere Publikationen in der fachlichen Begutachtung eines hochrangigen Journals (Peer Review, s. Liste unten). Herr Dr. Boff bat um Diskretion hinsichtlich der detaillierten Ergebnisse, da diese noch nicht abschließend publiziert wurden. Es kann jedoch gesagt werden, dass die Felddaten deutlich zeigen, dass die Art der Bewirtschaftung einen signifikanten Einfluss auf die Reproduktion, Vielfalt und Größe der Wildbienen hat. Die Wildbienen, die in den Bienenhotels auf den biologisch-dynamisch bewirtschafteten Flächen genistet haben, zeigten eine deutlich höhere Reproduktionsfähigkeit. Hier gab es signifikant mehr Brutzellen in den Schilfröhrchen als auf den konventionell bewirtschafteten Feldern.

Hinsichtlich der Laborarbeiten ergab sich im dritten Jahr eine Änderung des ursprünglichen Projektplans. Dr. Boff wollte anfangs die Frage klären, ob sich die Spermienqualität bei den überwinterten Tieren unterscheidet. Dazu hätte er von den Männchen der beiden Arten *Osmia* und *Heriades* Spermaproben genommen und diese unter dem Mikroskop auf ihre Qualität hin untersucht. Die Anzahl der überwinterten Individuen war jedoch nicht ausreichend, um ein statistisch gut abgesichertes Ergebnis zu erzielen. Als Alternative wählte Herr Dr. Boff die Analyse der Pollenzusammensetzung innerhalb der Brutzellen von *Osmia* und *Heriades*. Dafür benutzte Dr. Boff ein neuartiges Verfahren der Pollenerkennung mittels Künstlicher Intelligenz. Vorläufige Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Menge und der Typ an Pflanzenpollen innerhalb der Nester stark vom Standort beeinflusst werden. Je höher der Anteil an ökologischer Bewirtschaftung innerhalb der Standorte, desto höher war auch die Vielfalt der Pollen.

Bislang hat Herr Dr. Boff über das von der SAGST geförderte Forschungsprojekt an der Universität Ulm fünf wissenschaftliche Artikel publiziert. Fünf weitere Publikationen befinden sich derzeit im „Peer Review“ Verfahren und stehen somit kurz vor der Veröffentlichung.

Herr Dr. Boff hat weiterhin innerhalb seines Projekts acht Bachelorstudent:innen betreut. Er war aktiver PostDoc der Arbeitsgruppe von Herrn Prof. Ayasse und hat regelmäßig an den Gruppenmeetings teilgenommen, um über den Fortgang seiner Arbeit innerhalb der Arbeitsgruppe zu berichten und Feedback zu erhalten.

Zudem hat Dr. Boff seine Arbeit mehrfach auf Konferenzen vorgestellt (s. Liste unten). Seine Labor- und Feldarbeit verlief abgesehen von der Spermienanalyse wie geplant. Besonders hervorheben möchten wir Herrn Dr. Boffs großen Einsatz, um diesen enormen Datensatz zu erheben. Insbesondere die Feldarbeit verlangte ihm in Spitzenzeiten eine überdurchschnittliche Arbeitsbelastung ab, da er keine Helfer im Feld hatte. Und trotz dieser Belastung gelang es Herrn Boff, noch weitere Projektansätze zu verfolgen. Dazu gehörte auch ein zusätzliches Experiment, um den Effekt von Pestizidmischungen(!) auf das Paarungsverhalten von *Osmia* zu untersuchen.

Dr. Boff's Arbeiten zeigen auf vielfältige und eindruckliche Weise, dass sich die „konventionelle“, auf den Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden stützende Landwirtschaft negativ auf die Reproduktionsfähigkeit von Wildbienen auswirkt. Einerseits, weil es weniger diverse Nahrungsquellen gibt und andererseits, weil die eingesetzten Pestizide die Fortpflanzung beeinträchtigen.

Wie wichtig die Ausweitung des Ökolandbaus bzw. einer auf chemisch-synthetische Pestizide verzichteten Landwirtschaft für die Vielfalt der Natur und damit für die Stabilität der Ökosysteme und unsere zukünftige Ernährungssicherheit ist, zeigt auch eine Metastudie des staatlichen Thünen-Instituts (Ressortforschungseinrichtung des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Ernährung, BMEL) aus dem Jahr 2019. Eine Metastudie ist eine wissenschaftliche Untersuchung, die einzelne vorhandene Studien auswertet. In diesem Fall wurden mehrere hundert wissenschaftliche vergleichbare Studien in die Analyse einbezogen.



Das Ergebnis: Ohne chemisch-synthetische Pestizide ökologisch bewirtschaftete Flächen weisen durchschnittlich 95 % mehr Ackerflora, 35 % mehr Feldvögel und bis zu 26 % mehr blütenbesuchende Insekten auf.

Bedenkt man, dass fast 90 Prozent der landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland und der EU weiterhin „konventionell“, also unter maßgeblicher Verwendung von chemisch-synthetischen Pestiziden betrieben werden, machen die Forschungsergebnisse von Herrn Dr. Boff eindringlich deutlich, dass grundsätzlich neue agrarpolitische Weichenstellungen notwendig sind, um die Zukunft unserer Ernährung im Einklang mit der Natur sicherzustellen.

Die von Dr. Boff im Rahmen seines dreijährigen Forschungsprojekts an der Universität Ulm erzielten wissenschaftlich gesicherten Ergebnisse haben internationalen Rang. Es sind schwerwiegende neue, nicht abweisbare Argumente für den Ökolandbau und für den vollständigen Ausstieg aus der pestizidgestützten Agrarproduktion.

Die Aurelia Stiftung wird alles in ihren Möglichkeiten Stehende tun, um mit den Forschungsergebnissen von Dr. Boff sowohl Einfluss auf die neue Biodiversitätsstrategie 2030 sowie auf agrarpolitische Grundsatzentscheidungen der Bundesregierung zu nehmen.

Herr Boff und die Aurelia Stiftung entwickeln zurzeit verschiedene Szenarien für die Fortsetzung seiner Forschungsarbeit. Sie soll unter anderem darauf ausgerichtet sein, standardisierte Methoden zur Bewertung subletaler Effekte von Pestiziden auf (Wild)Bienen zu schaffen und diese in den EU-weit gültigen Zulassungsvoraussetzungen von Pestizidwirkstoffen zu verankern.

Als nächsten Schritt plant die Aurelia-Stiftung, im Sommer 2024 Herrn Dr. Boffs Studien im Rahmen einer Pressekonferenz einem breiten Publikum bekannt zu machen. Ziel ist es, die Öffentlichkeit über die Wichtigkeit von Boff's Studien aufzuklären und entsprechende wissenschaftsbasierte Forderungen an Politiker*innen und Agrarindustrie zu stellen.

Liste der wissenschaftlichen Publikationen

- 2024 **Boff S**, Olberz S, Gulsoy I, Preuß M, Raizer J, Ayasse M. 'Conventional agriculture interferes with sex communication in wild bees, with negative impacts on population size' (In review: Science of Total Environment)
- Beaurepaire A, Straub L, Neumann P, Charrière JD, Albrecht M, Neuditschko M, **Boff S**, Paxton R, Campbell JW, Williams GR, Sgolostra, Boyle F, Otis G, Tosi S, Brockmann A, Potts S, Nigel R, Klein A, Neal W, Marini L, Pitts-Singer T, Settele J, Le Conte Y, Kleijn D, Pirk C, Hogendoorn K, Antunez K & Dietemann V. 'Inclusive policies for wild and managed bees to integrate food security and conservation needs' (in review: Science)
- 2023 **Boff S** & Ayasse M. 'Pesticide exposure leads to behavioural and chemical changes impacting sexual communication of oligolectic solitary bees' (Insect Science). 0, 1–11 doi:10.1111/1744-7917.13268
- Boff S**, Hecht S, Kreinert S, Ayasse M, Olsson O. 'Farming management influences the establishment of newly forming populations, floral diversity, and pollen diets of wild solitary bees (in preparation)
- Boff S**, Kárpáti Z, Ayasse M, Schmitt T. 'Pheromone impregnation rescues the sexual attraction of solitary bee males previously rejected due to insecticide exposure' (in preparation)
- 2022 **Boff S**, Scheiner R, Raizer J, Lupi D. 'Survival rate and changes in foraging performances of solitary bees exposed to a novel insecticide' (Ecotoxicology and Environmental Safety). doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111869
- Boff S**, Raizer J, Keller A, Lupi D 'Bumble bee workers face decreased efficiency of pollen collection and reduction in size due to Sulfoxaflo exposure in late European summer. (Frontiers in Ecology and Evolution). doi: 10.3389/fevo.2022.842563
- Boff S**, 'Mating behaviour of the large-head resin bee *Heriades truncorum* suggests plastic strategy of females in selection of a mating partner and male quality assessment (Apidologie). doi: 10.1007/s13592-022-00916-2021
- 2021 Ganuza C, Ayasse M, **Boff S** 'Chemical and mechanical signals trigger courtship in the wild large-headed resin bee, *Heriades truncorum*'. (Journal of Insect Behavior). <https://doi.org/10.1007/s10905-022-09808-1>

Liste der Konferenzteilnahmen

2024 **Universität Gießen, Vortrag:** “The influence of farming systems and associated stressors on the reproductive aspects of wild bees”

Universität Würzburg, geplanter Vortrag: “Chemical communication at unsustainable farming areas”

Deutsche Zoologische Gesellschaft, geplanter Vortrag: “The influence of environmental stressors and associated landscapes on the diet diversity, body traits, and reproductive aspects of wild bees

2023 **Scape-Scandinavian Association for Pollination Ecology, Vortrag:** Pollen diet of mason bees in agricultural areas with varying levels of organic farming“, **Poster:** “BRASILICO-Worldwide Bee Monitoring Project: Phases I, II and III“

German Ecology Society, Poster: „Unveiling the secrets of mason bees: Exploring the role of sexual dialect and flower availability in boosting population sizes within organic farming systems“

Proceedings of the 7th International symposium of Entomology (Viçosa, Brazil), Abstract: „Explaining the mechanism of wild bee decline in European agricultural fields: Impact on environment stressors on sex communication“

Hymenopteren-Tagung, Vortrag: „Is there a male preference in a female choice system? A case study with solitary bees and environmental stressors“, **Poster:** “Population dynamics of mason bees on conventional and organic farming systems“

International Society of Chemical Ecology, Vortrag: “The impact of environmental stressors on mating behaviour of wild bees“

AG-Bientagung, Vortrag: “The mating behaviour of *Heriades truncorum*”

2021 **Scape-Scandinavian Association for Pollination Ecology, Vortrag:** “BRASILICO. A country-wide monitoring of bees”

AG-Bientagung, Vortrag: “Chronic exposure to a new class of pesticide may impose severe risks to foragers of wild bees”

Öffentliche Wahrnehmung der Forschungsergebnisse

Herr Dr. Boff setzt sich sehr für die Verbreitung seiner wissenschaftlichen Studien über den akademischen Kreis hinaus ein. Eine Pressemitteilung wurde gemeinsam von der Universität Würzburg und der Universität Ulm mit dem Titel „When male bees don't get lucky“ veröffentlicht, die sich auf den im April 2022 im Journal of Applied Ecology veröffentlichten Artikel bezog. Diese Pressemitteilung fand weltweite Verbreitung und wurde von hunderten Webseiten in Deutsch, Englisch, Italienisch und Französisch aufgegriffen. Radiosender, Tageszeitungen und Magazine wandten sich daraufhin mit Interviewanfragen an Herrn Dr. Boff. Nachfolgend sind einige der Reaktionen auf die genannte Pressemitteilung aufgelistet:

- "Buzzkill" in Scientific American 327, 2, 15 (August 2022)
doi:10.1038/scientificamerican0822-15b (see at [Common Fungicide Kills Bee's Sex Appeal - Scientific American](#), for online version)
- Bienen vergeht die Lust auf Sex (25 April 2022), Südwest Presse (online and printed version), see [Forschung an der Uni Ulm: Wenn Bienen die Lust auf Sex vergeht | Südwest Presse Online \(swp.de\)](#), for online version.
- Aurelia Magazine: Feldforschung für die Bienengesundheit (see online [Aur-Heft4-Doppelseiten-High.pdf \(aurelia-stiftung.de\)](#))
- [Weniger Sexappeal durch Fungizi: Bienen&Natur magazine: \(pag 32-33, printed\)](#)
- [Pestizide stören Paarung: Südwest Presse](#) (online and printed version)
- Pestizid beeinflusst Paarungsverhalten von Wildbienen: U-TOPICS Das Wissensmagazine der Universität Ulm, Forschungspreis gewonnen
- Mehrere Radiointerviews