



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Pollinators in complex landscapes: modelling and mapping the distribution of wild bees and hoverflies in the Netherlands

Moens, M.

Citation

Moens, M. (2025, December 10). *Pollinators in complex landscapes: modelling and mapping the distribution of wild bees and hoverflies in the Netherlands*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4284738>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4284738>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

I. Summary

Not all species occur in the same places. As a result, each location supports a unique community of species, shaping the character of our landscapes from grasslands and forests to farmland and cities. In this thesis, I investigate how bees and hoverflies are distributed within the Dutch landscape. Understanding the factors that determine the distribution of different species of bees and hoverflies across landscapes is scientifically important, as it deepens our knowledge of their ecology. It is also of great societal relevance because these insects play a crucial role in pollinating most wild plants and many of our crops. Consequently, both the green vegetation that forms the foundation of our landscapes and the food we rely on depend on a solid understanding of the ecology of pollinating insects. When it comes to protecting biodiversity, knowing where species live helps us focus conservation efforts where they are needed most. Niche theory provides a framework for understanding the distribution of species within a landscape and it forms the basis for numeric tools for studying species' spatial patterns. In this thesis, I addressed several challenges related to the use of such a tool for mapping the spatial distribution of a species: species distribution models (SDMs). Challenges consist of including the complexity of a landscape with landscape features, such as hedges or ditches, and integrating different plant species. The overall research aim of this thesis was to address these modelling challenges and to improve our understanding of how bees and hoverflies are distributed across the landscape. Specifically, this thesis sought to answer the general question: How do pollinators live and thrive in the complex landscapes of the Netherlands? This question was subdivided into four different research questions that are addressed in different chapters.

Understanding differences in the distribution of threatened and non-threatened bees is important for directing conservation efforts. In **Chapter 2**, I studied the differences between threatened and non-threatened bee species using a quantitative approach, employing models, and a holistic perspective by comparing a wide range of variables across most bee species in the Netherlands. I found that threatened and non-threatened species have different responses to climate, land use and soil compared to non-threatened species. Threatened bees had a smaller area of extent, occupied areas with more extreme climatic conditions and benefitted less from urban green than non-threatened species. Additionally, the threatened species were distributed among a smaller variety of natural land use types, having a stronger preference for single natural habitats. These results highlight the vulnerability of threatened bees under expected global changes.

Besides abiotic factors, correctly integrating and evaluating biotic factors in SDMs remains a challenge. Bees have strong interactions with other organisms. Some species of bee visit many plant species for pollen resources while others specialise on a narrow selection of plants. Additionally, some bees parasitize the nests of other bees, often with high host specificity. Integrating this ecologically relevant information into the models, led to a statistically significant improvement for specialist, generalist and parasitic bees in **Chapter 3**. Furthermore, several factors influenced the importance of this biotic factor. These included the distribution of the biotic interaction, e.g. is it widespread or not, the degree of specialization, the resolution of the data and the taxonomic resolution, i.e. species or genus.

Complex landscapes also consist of small-scale landscape features that are rarely included within SDMs. In agricultural fields, landscape elements such as hedges and the banks of ditches, can provide refuges for pollinators. In **Chapter 4** I included landscape elements within SDMs and found an improvement in the mapping of bee and hoverfly species richness within and around agricultural fields. Additionally, I collected data on bees and hoverflies in the field and in landscape elements in agricultural regions to use as an independently collected evaluation dataset. I found an improvement in model performance that was statistically significant for the models with herbaceous landscape elements. The resulting maps showed an average lower species richness within the field with hotspots of biodiversity on the contours of the fields, where the landscape elements were located.

To further understand the diversity of bees and hoverflies within the landscape elements, I compared the diversity and species composition of bees and hoverflies across three agricultural regions. Those regions consisted of Alblasserwaard, a region with mainly dairy farming, the Ooijpolder, a region with mixed farming systems, and the tulip fields near the city of Lisse. In **Chapter 5**, I found that the agricultural regions had a core group of bees and hoverflies with high abundance, but biodiversity differed depending on characteristics of the landscape elements. The floral composition, diversity of flowers, diversity of shrubs, the width of the herb layer within landscape elements as well as the season and the region all influenced the species composition and/or diversity of bee and hoverfly species. Both abundance and species richness were higher in landscape elements than in the field reinforcing the results from chapter 3.

The joined findings of the chapters improve our understanding of the ecology of bees and hoverflies and how they are distributed across the Dutch landscape. Species distribution modelling is a powerful tool for mapping distributions, that can be improved by addressing the complexity of a landscape, integrating both ecologically relevant biotic and abiotic variables across different scales. By understanding what makes a bee or hoverfly occur at a location, we can infer how to protect them. By understanding where the bees and hoverflies occur, we can assign areas for their protection. The findings of this thesis have the potential to facilitate maps that are relevant for the conservation of threatened bee and hoverfly species. Given the growing attention towards increasing natural elements within agricultural landscapes, both at a European and national level, my findings of bee and hoverfly biodiversity in landscape elements within agricultural regions may be especially relevant in the near future.

II. Samenvatting

Titel: Bestuivers in complexe landschappen

Het modelleren en in kaart brengen van de verspreiding van wilde bijen en zweefvliegen in Nederland

Niet alle soorten komen op dezelfde plekken voor. Hierdoor heeft elke locatie een unieke gemeenschap van soorten, die het karakter van onze landschappen vormgeeft: van graslanden en bossen tot landbouwgrond en steden. In dit proefschrift bestudeer ik hoe bijen en zweefvliegen zich verspreiden binnen het Nederlandse landschap. Het begrijpen van de factoren die het voorkomen van verschillende soorten bijen en zweefvliegen in

landschappen bepalen, is wetenschappelijk relevant omdat het onze kennis van hun ecologie vergroot. Het is ook van maatschappelijk belang, omdat deze insecten verantwoordelijk zijn voor de bestuiving van de meeste wilde planten en veel van onze gewassen. Daardoor zijn zowel de vegetatie die de basis vormt van onze landschappen als voedselvoorziening afhankelijk van een goed begrip van de ecologie van bestuivende insecten. Voor de bescherming van biodiversiteit is het van belang te weten waar soorten voorkomen, zodat natuurbeschermingsmaatregelen gericht kunnen worden ingezet waar dat het meest nodig is. Niche theorie biedt een raamwerk om de verspreiding van soorten binnen een landschap te begrijpen en vormt de basis voor numerieke hulpmiddelen om ruimtelijke patronen van soorten te bestuderen. In dit proefschrift heb ik me gericht op verschillende uitdagingen die samenhangen met het gebruik van zo'n hulpmiddel voor het in kaart brengen van de ruimtelijke verspreiding van een soort: soortverspreidingsmodellen (SDM's). Deze uitdagingen bestaan uit het meenemen van de complexiteit van een landschap met landschapselementen, zoals heggen of sloten, en het integreren van verschillende plantensoorten. Het algemene onderzoeksdoel van dit proefschrift was om deze modelleeruitdagingen aan te pakken en ons begrip van de verspreiding van bijen en zweefvliegen in ons landschap te verbeteren. De algemene onderzoeksvraag van dit proefschrift is: Hoe leven en gedijen bestuivers in de complexe landschappen van Nederland? Deze vraag werd opgedeeld in vier verschillende onderzoeksvragen die in afzonderlijke hoofdstukken worden behandeld.

Het begrijpen van de verschillen in verspreiding tussen bedreigde en niet-bedreigde bijen is belangrijk voor het richting geven aan natuurbeschermingsmaatregelen. In **Hoofdstuk 2** heb ik de verschillen tussen bedreigde en niet-bedreigde bijensoorten onderzocht met een kwantitatieve methode, waarbij modellen werden toegepast en een holistisch perspectief werd gehanteerd door een breed scala aan variabelen te vergelijken voor de meeste bijensoorten in Nederland. De bedreigde en niet-bedreigde soorten reageerden verschillend op klimaat, landgebruik en bodem. Bedreigde bijen hadden een kleiner verspreidingsgebied, kwamen voor in gebieden met een extremer klimaat en profiteerden minder van stedelijk groen dan niet-bedreigde soorten. Daarnaast kwamen bedreigde soorten in een kleiner aantal natuurtypes voor en hadden zij een sterkere voorkeur voor één specifieke natuurlijke habitat van niet-bedreigde bijen. Deze resultaten benadrukken de kwetsbaarheid van bedreigde bijen bij de verwachte wereldwijde veranderingen in klimaat en landgebruik.

Naast abiotische factoren blijft het correct integreren en evalueren van biotische factoren in soortenverspreidingsmodellen een uitdaging. Bijen hebben sterke biotische interacties met andere organismen. Sommige bijensoorten bezoeken verschillende plantensoorten voor stuifmeel, terwijl andere zich specialiseren op een beperkt aantal plantensoorten. Daarnaast parasiteren sommige bijen de nesten van andere bijen, vaak met een hoge gastheerspecificiteit. Het integreren van deze ecologisch relevante informatie in de modellen leidde tot een statistisch significante verbetering voor gespecialiseerde, generalistische en parasitaire bijen in **Hoofdstuk 3**. Verschillende factoren beïnvloedden de relevantie van deze biotische interacties, waaronder de verspreiding van de plant of gastheer (bijvoorbeeld wijdverspreid of lokaal), de mate van specialisatie, de resolutie van de data en de taxonomische resolutie (soort- of geslachtsniveau).

De complexiteit van een landschap kan ook worden uitgedrukt in kleinschalige landschapselementen die zelden worden opgenomen in soortenverspreidingsmodellen. In

landbouwgebieden kunnen landschapselementen, zoals hagen en slootkanten, schuilplaatsen en voedsel bieden voor bestuivers. In **Hoofdstuk 4** verwerkte ik landschapselementen in soortenverspreidingsmodellen met als resultaat een verbetering van de soortenverspreidingskaarten van bijen en zweefvliegen binnen en rondom landbouwvelden. Daarnaast verzamelde ik veldgegevens over bijen en zweefvliegen in landbouwregio's en in landschapselementen, die diende als een onafhankelijk verzamelde evaluatiedataset. Ik vond een statistisch significante verbetering in het voorspellingsvermogen voor modellen die kruidachtige landschapselementen bevatten. De resulterende kaarten toonden een gemiddeld lagere soortenrijkdom binnen de akkers en een hogere biodiversiteit in de randen van de velden, waar de landschapselementen zich bevonden.

Om de diversiteit van bijen en zweefvliegen in landschapselementen beter te begrijpen, vergeleek ik de diversiteit en soortensamenstelling van bijen en zweefvliegen tussen drie landbouwgebieden. Deze gebieden bestonden uit de Alblasserwaard (voornamelijk veehouderij), de Ooijpolder (gemengde landbouw) en de bollenvelden nabij Lisse. In **Hoofdstuk 5** ontdekte ik dat deze landbouwgebieden een groep van veelvoorkomende bijen- en zweefvliegsoorten deelden, maar dat biodiversiteit verschilden afhankelijk van kenmerken van de landschapselementen. De bloemencompositie, de diversiteit aan bloemen en struiken, de breedte van de kruidenlaag binnen landschapselementen, evenals het seizoen en de regio, beïnvloedden allemaal de soortensamenstelling en/of de diversiteit van bijen en zweefvliegen. Zowel aantallen als soorten bestuivers waren hoger in landschapselementen dan in de akkers, wat de resultaten van Hoofdstuk 3 bevestigden.

De gezamenlijke bevindingen van de hoofdstukken verbeteren ons inzicht in de ecologie van bijen en zweefvliegen en hoe zij zich verspreiden in het Nederlandse landschap. Soortenverspreidingsmodellen zijn krachtige hulpmiddelen voor het in kaart brengen van de ruimtelijke verspreiding van soorten en deze modellen kunnen worden verbeterd door rekening te houden met de complexiteit van het landschap, zowel door ecologisch relevante biotische als abiotische variabelen mee te nemen. Door te begrijpen wat bepaalt of een bij of zweefvlieg op een locatie voorkomt, kunnen maatregelen genomen worden om deze bestuivers beter te kunnen beschermen. Door kennis over waar bijen en zweefvliegen voorkomen, is het mogelijk om gebieden met extra waarde voor bestuivers aan te wijzen. De bevindingen van deze scriptie hebben de potentie om bijdragen aan relevante kaarten voor de bescherming van bedreigde bijen- en zweefvliegsoorten. De resultaten over de biodiversiteit van bijen en zweefvliegen in landschapselementen in landbouwregio's zijn nog belangrijker met het oog op de toenemende aandacht voor natuurlijke elementen in agrarische landschappen, zowel op Europees als nationaal niveau.

III. Acknowledgements

These last years have been tumultuous: arriving back in the Netherlands in 2019 after four years abroad and the COVID pandemic in the following years. My dad passed away in 2023 and I would like to dedicate this PhD to him. He had a big interest in nature and an incredible kindness towards all living things from people to the smallest of animals. I would like to thank him for always supporting me and being an inspiration to study biology. By dedicating this PhD to him, he hopefully lives on a little bit more and is here somehow to see the end of it. I

would like to thank my mom and brother for the countless times they helped me out and that they were always there for me, even getting up at 5.00 o'clock delivering newspapers. In those times when the PhD seemed a bit overwhelming, a distraction was very welcome. I would like to thank friends Norah, Inge, Iwe, the music group (Linda, Mitchell, Joelle), Esther, Kaixuan, Valdeir and Isabel for providing just that. Be it a holiday at the other side of Europe or a weekend at the beach in Egmond aan Zee, I could always count on a good time.

Naturalis was my favourite museum as a child, and I could have never imagined working there when I grew up. Koos helped me make this dream come true and even pursue a PhD. I want to thank him for all the opportunities he has provided and for being a great supervisor and promotor. The passion and stories about his own research in Costa Rica were always a pleasure to hear. I want to thank all the amazing people from the NL Biodiversity and Society group in Naturalis. This group with a diverse background had in common that they all were incredibly friendly and great to work with. Maarten, Francisca, Marten, Raymond, Donna, Maaïke, Zina, Fleur, Merel, Ana and many many more, thank you so much! A special thanks to my daily supervisor Leon for his help in R, writing and advice on all aspects of the PhD. I would like to thank my second promotor, Hens, for introducing me to social science—a completely new field for me, with intimidating terms such as *boundary objects* and *science–policy interfaces*. Besides my favourite spot in the office wrestling with R, I was sometimes out on the field. This field work part of the PhD would not have been possible without the help of students and researchers, thank you Marialuce, Gregorio, Roel, Simona, Alexia and Leonardos for the long days driving around the countryside and collecting samples. I would like to thank Laurens Stouthart for his invaluable help with the DNA barcoding during the lab work. For the data analysis I would like to thank Elaine for setting the first steps in the modelling procedures. I would like to thank the fellow PhD students and colleagues at Naturalis for all the workshops, sports and other activities, making the PhD an unforgettable experience.