

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	AgriWeedClim
Langtitel:	Emerging Agricultural Weeds under Climate and land-use changes in Central Europe: identifying high-risk species, modelling their distributions, assessing impacts and management need.
Zitiervorschlag:	AgriWeedClim – Emerging Agricultural Weeds under Climate Change
Programm inkl. Jahr:	Forschung 2021
Dauer:	01.11.2021 bis 31.10.2024
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Universität Wien
Kontaktperson Name:	Franz Essl
Kontaktperson Adresse:	Department für Botanik und Biodiversitätsforschung Rennweg 14 1030 Wien
Kontaktperson Telefon:	+43127754378
Kontaktperson E-Mail:	franz.essl@univie.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	1. Universität Wien – Department für Botanik und Biodiversitätsforschung, Division Biodiversity Dynamics and Conservation (Wien) 2. AGES – Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (Wien) 3. Masaryk University, Faculty of Science, Department of Botany and Zoology (Brno, Tschechische Republik)
Schlagwörter:	Biodiversität, Kulturlandschaft, biologische Invasionen, Ackerunkräuter, Klimawandel, Landnutzungswandel

Allgemeines zum Projekt	
Projektgesamtkosten:	244.453 €
Fördersumme:	244.453 €
Klimafonds-Nr:	C163517
Erstellt am:	25.01.2025

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Landwirtschaftliche Habitate (Äcker, Wein- bzw. Obstgärten sowie deren Brachen) sind ein fester Bestandteil vieler Landschaften in Mitteleuropa. Sie sind für die landwirtschaftliche Produktion essenziell und tragen wesentlich zum Einkommen ländlicher Regionen bei. Gleichzeitig sind sie ein wichtiges Habitat für spezialisierte Tier- und Pflanzenarten. Im Laufe des letzten Jahrhunderts sind diese Habitate starken Veränderungen unterzogen worden, ausgelöst durch Veränderungen in der Landnutzung, der Intensivierung der Landwirtschaft durch Mechanisierung, großflächige Ausbringung von Düngemitteln und Pestiziden, sowie zunehmender Spezialisierung landwirtschaftlicher Betriebe auf einige oder wenige Produkte (Poschlod, 2015). Diese Veränderungen zogen gravierende Auswirkungen auf landwirtschaftliche Produktionsweisen sowie das Einkommen von Landwirt*innen mit sich und haben bis heute Auswirkungen auf Naturschutz und Unkrautmanagement zugleich.

Umfangreiche empirische Belege deuten darauf hin, dass Pflanzen- und Tierarten ihre Verbreitungsgebiete bereits in Reaktion auf die klimatischen Trends der letzten Jahrzehnte verschieben (Chen et al., 2011; Dawson, 2011; Parmesan & Yohe, 2003). Die für dieses Jahrhundert vorhergesagten Klimaveränderungen (IPCC, 2022; Moss et al., 2010) werden diese Verschiebungen noch weiter beschleunigen. Solche Veränderungen in Verbreitungsgebieten und Populationsgrößen treten besonders in vom Menschen geschaffenen Lebensräumen wie landwirtschaftlichen Flächen auf (Lososová et al., 2004; Peters et al., 2014; Storkey et al., 2012). Da sich gebietsfremde Arten bevorzugt in stark veränderten Ökosystemen ansiedeln, überrascht es nicht, dass in mitteleuropäischen Agrarlandschaften zahlreiche gebietsfremde Unkrautarten vorkommen (Chytrý et al., 2008; Lososová & Simonová, 2008). Tatsächlich gehören mehrere der wirtschaftlich bedeutendsten landwirtschaftlichen Unkräuter zu den gebietsfremden Arten (Oerke, 2006), und eine beträchtliche Zahl neophytischer Unkräuter breitet sich in mitteleuropäischen Ackerhabitaten rapide aus (Weber & Gut, 2005).

Das AgriWeedClim-Projekt verfolgte das Ziel, wissenschaftliche Erkenntnisse über vergangene und potenziell zukünftige Veränderungen in der Unkrautflora und deren Bedeutung für die landwirtschaftliche Produktion zu gewinnen. Hierfür wurde eine Datenbank mit Vegetationsaufnahmen (n=32.888) für Mitteleuropa erstellt, um die Verbreitungsänderungen der 359 häufigsten Unkrautarten zu analysieren. Die Ergebnisse weisen auf eine Verschiebung in der landwirtschaftlichen Biodiversität hin: von typischen, heimischen und archäophytischen Arten hin zu stickstoffliebenden (nitrophilen) sowie neophytischen Arten. Neophyten haben zwischen 1930 und 2019 fast eine Verdoppelung sowohl in ihrer Häufigkeit und in ihrer Abundanz erfahren, was einen hohen Bedarf an Management und Monitoring nahelegt.

Die Einbindung von Interessengruppen in AgriWeeClim umfasste eine Befragung österreichischer Landwirt*innen, ergänzt durch Literaturrecherchen und Hinweise von Expert*innen, um die „Top 20“ neuer und aufkommender Unkrautarten sowie praktikable Managementmaßnahmen zu ihrer Bekämpfung zu identifizieren. Stakeholder berichteten über Herausforderungen im Unkrautmanagement, setzten dabei zumeist nur wenige Kontrollmethoden ein und äußerten den Wunsch nach mehr Informationen über die Bekämpfung neuer Unkrautarten.

Für ausgewählte aufkommende Unkrautarten wurden künftige Verbreitungen mithilfe von vier Klimaszenarien und über vier Zeitschritte (bis 2100) modelliert, um ihre potenzielle Ausbreitung und Auswirkungen aufzuzeigen. Die Prognosen verdeutlichten, dass die modellierten Arten ein erhebliches Verbreitungspotenzial in Mitteleuropa aufweisen und je nach Art zu unterschiedlichen Zeitpunkten an geeigneten Flächen zunehmen. Dies erschwert sowohl das Monitoring als auch das Management.

Das AgriWeedClim-Projekt nutzte seine Website, stakeholderrelevante Medien und Vorträge, um die Ergebnisse zu vermitteln. Die Resultate, einschließlich Poster mit Informationen zur Verbreitung und Bekämpfung ausgewählter aufkommender Unkrautarten, werden in leicht zugänglichen Formaten bereitgestellt.

2 Executive Summary

Agricultural habitats such as fields, vineyards and orchards, form the backbone of many Central European landscapes. They are essential for agricultural production, and for generating income in rural areas, while at the same time providing habitats for specialized plant and animal species. In the last 100

years, these habitats have been heavily transformed by various processes triggered by land use change and agricultural intensification in the form of mechanization, wide-spread application of fertilizers and agrochemicals, as well as the specialization of farmers on one or few agricultural products (Poschlod, 2015), 2. Along with effects on agricultural production and rural livelihoods, these changes have had large implications for biodiversity conservation and weed management alike.

Ample empirical evidence suggests that plant and animal species are already moving their ranges in response to the last decades' climatic trends (Chen et al., 2011; Dawson, 2011; Parmesan & Yohe, 2003). The pronounced climate change predicted for the current century (IPCC, 2022; Moss et al., 2010) will accelerate these range changes. These shifts in species ranges and abundances also occur in man-made habitats such as agricultural fields (Lososová et al., 2004; Peters et al., 2014; Storkey et al., 2012). As alien species preferentially establish in heavily modified ecosystems, it is not surprising that agricultural habitats in Central Europe contain large numbers of alien weed species (Chytrý et al., 2008; Lososová & Simonová, 2008). Indeed, several of the economically most important agricultural weeds are alien species (Oerke, 2006), and a substantial number of alien weed species are rapidly spreading in Central European arable habitats (Weber & Gut, 2005).

The AgriWeedClim project aimed to provide scientific insights about the changes in weed flora (past and future) and their significance for agricultural production. A database of vegetation plots (n=32,888) covering Central Europe was created to analyse occupancy changes of the 359 most common weed species. The results indicate a shift in agricultural biodiversity from typical native and archaeophyte species to nitrophilic and neophyte species. Neophytes nearly doubled in occurrence and abundance, highlighting the need for priority management and monitoring. Stakeholder involvement included a survey among Austrian farmers, combined with literature reviews and expert opinions, to identify the Top 20 of new and emerging weed species and (practical) management options for their control. Stakeholders reported challenges in weed management, relying on limited control methods, and expressed a need for more information on managing emerging weed species. Future distributions of selected emerging weed species were modelled under four climate scenarios and projected across four time steps (up to 2100), illustrating their potential spread and impacts. The projections showed that the modelled species have significant potential distribution in Central Europe, with gains in suitable area occurring at different times, complicating monitoring and management efforts. To address these challenges, the project utilized its website, stakeholder-relevant media, and presentations to share findings. The results, including posters with information on the distribution and control of selected emerging weeds, are distributed in accessible formats.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Landwirtschaftliche Habitate (Äcker, Wein- bzw. Obstgärten so wie deren Brachen) sind ein dominantes Merkmal vieler mitteleuropäischer Landschaften. Sie erbringen eine Vielzahl von Ökosystemleistungen, von der Produktion von Nahrungsmitteln, Fasern und Energie über Biodiversität (da sie Lebensräume für spezialisierte Pflanzen- und Tierarten bieten) und ökologischer Regulierung bis hin zur kulturellen Identität und schaffen Arbeitsplätze und Einkommen im ländlichen Raum. Im vergangenen Jahrhundert haben Agrarlandschaften jedoch tiefgreifende, großräumige Veränderungen erfahren. Veränderungen in der Landnutzung haben das Ausmaß, die Lage und die Art der genutzten landwirtschaftlichen Fläche verändert (z. B. durch die Einführung neuer Kulturen und Anbaumethoden). Wichtiger ist jedoch, dass die Intensität der Landnutzung durch Mechanisierung, großflächige Anwendung von synthetischem Dünger und Pestizide zugenommen hat. Gleichzeitig hat sich die von einem Betrieb bewirtschaftete Fläche vergrößert, während die Anzahl der angebauten Kulturen abgenommen hat, was zu einer Homogenisierung von Agrarlebensräumen und Landschaften führte.

Diese Veränderungen haben bereits zu Verschiebungen in der Bedeutung landwirtschaftlicher Unkrautarten (d. h. Gefäßpflanzen, die die Ernteproduktion beeinträchtigen) geführt, wobei einige frühere Unkrautarten (z. B. *Agrostemma githago*) inzwischen äußerst selten geworden sind und andere (z. B. *Datura stramonium*) vermehrt auftreten. Während die oben skizzierten Veränderungen einige der Veränderungen in der Biodiversität landwirtschaftlicher Lebensräume erklären, dokumentiert eine wachsende Zahl empirischer Belege, dass sich auch die Verbreitung von Pflanzen infolge von Klimaveränderungen verschiebt. Angesichts der Tatsache, dass sich dieser Klimatrend im 21. Jahrhundert wahrscheinlich beschleunigen wird, werden sich diese Verschiebungen voraussichtlich verstärken und für einige Arten besser geeignete Lebensräume schaffen. Dies könnte die Auswirkungen von Unkrautarten weiter verändern und dazu führen, dass einige Arten, die zuvor als leicht beherrschbar galten, als neue Unkrautarten auftreten. Desweiteren hat die zunehmende globale Vernetzung (z. B.

durch Handel und Reisen) viele Arten in neue Gebiete eingeführt, die sie auf natürliche Weise nicht hätten erreichen können (z. B. auf andere Kontinente). Diese Entwicklung zeigt Anzeichen einer Beschleunigung, sodass in Zukunft mit der Einfuhr weiterer gebietsfremder Arten zu rechnen ist (Seebens et al., 2015).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Landwirtschaft in Mitteleuropa sehr wahrscheinlich unter zusätzlichem Druck durch neue Unkrautarten geraten wird. Es ist daher notwendig, potenzielle neue Unkrautarten zu identifizieren und Managementpläne sowie Strategien zur frühzeitigen Erkennung und schnellen Reaktion zu entwickeln. Die erforderlichen Maßnahmen sollten unter Einbeziehung relevanter Interessengruppen – von Landwirt*innen über landwirtschaftlichen Interessenvertretungen bis hin zu politischen Entscheidungsträger*innen – entwickelt werden. Ihre Bedürfnisse sollten berücksichtigt und sie zur Mitgestaltung eingeladen werden, insbesondere dort, wo der Input von Praktiker:innen erforderlich ist.

Das AgriWeedClim-Projekt hatte folgende Zielsetzungen: (a) die Analyse historischer Veränderungen in der Verbreitung von Unkrautarten in Mitteleuropa, (b) die Identifikation der Schlüsselfaktoren, die historische Veränderungen in der Verbreitung von Unkrautarten antreiben, (c) Identifikation der „Top 20“ aufkommenden Unkrautarten, (d) Projektion der zukünftigen Verbreitung und Auswirkungen dieser „Top 20“ Unkrautarten basierend auf Klima- und Landnutzungstrends des 21. Jahrhunderts, (e) Identifikation von Hochrisikoregionen und anfälligen Kulturen, (f) Entwicklung eines Anpassungskonzepts („Emerging Weeds Management Toolkit“) und eines Policy Briefs, das die verfügbaren Optionen zur Begrenzung künftiger Ausbreitung und Auswirkungen zusammenfasst, (g) Aufbau einer umfassenden Projekt-Website, die weiterhin als „One-Stop-Shop“ dient und alle relevanten Informationen in einem leicht zugänglichen Format bereitstellt, (h) Nutzung ergänzender Medienkanäle, um alle relevanten Informationen breit zu verbreiten.

Das Untersuchungsgebiet von AgriWeedClim umfasst Mitteleuropa, definiert als: Deutschland, Tschechien, Slowakei, Schweiz, Liechtenstein, Österreich, Ungarn, Norditalien (Valle d'Aosta, Piemont, Lombardei, Trentino-Südtirol, Venetien, Friaul-Julisch Venetien, Ligurien, Emilia-Romagna), Slowenien und Kroatien. Dieses Gebiet erstreckt sich über rund 900.000 km² und hat eine Bevölkerung von etwa 165 Millionen Menschen. Etwa 20 % des Untersuchungsgebiets werden derzeit als Ackerland genutzt (Goldewijk et al., 2017). Große Gebirgszüge wie die Alpen, die Westkarpaten, die Dinarischen Alpen, die Nordapenninen, das Böhmisches Massiv und das Deutsche Mittelgebirge beschränken Ackerflächen auf die Tiefländer oder die jeweiligen Gebirgstäler.

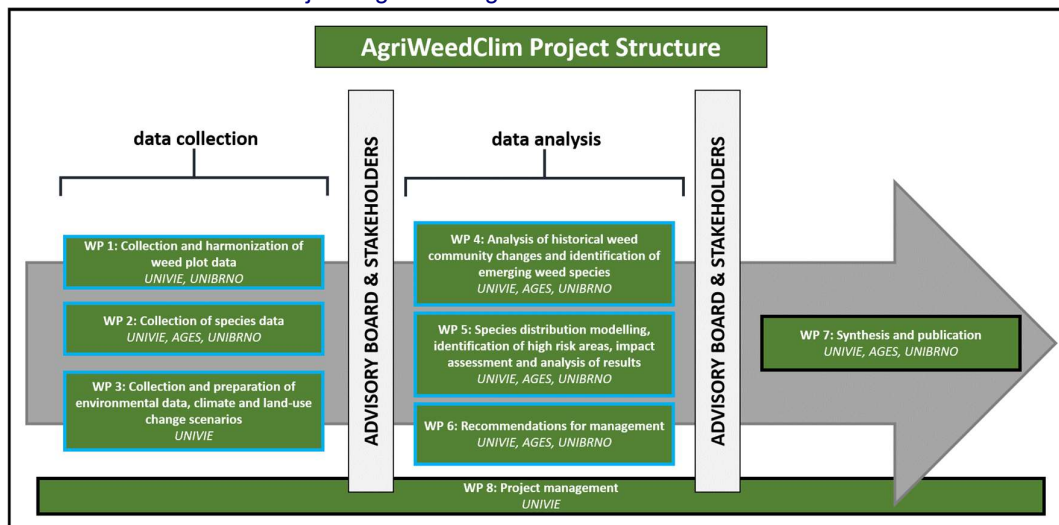


Abbildung 1: Grafische Übersicht der Arbeitspakete des AgriWeedClim-Projekts. Farben zeigen den Status an: blau ... abgeschlossene Arbeitspakete, schwarz ... laufende Aufgaben ohne Abschlussdatum.

Die Struktur des AgriWeedClim-Projekts blieb unverändert, geplante Kernpublikationen und einige weitere Publikationen sind bereits veröffentlicht. Eine Analyse der Biodiversitätsunterschiede zwischen den Regionen des ehemaligen Ost- und Westeuropas ist noch im Gange.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

WP1: Sammlung und Standardisierung von Vegetationsaufnahmen

Vegetationsaufnahmen sind Beschreibungen der Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften in einem geografisch begrenzten Bereich (meist zwischen 4 und 100 m²) und bieten weitere Information über den Lebensraum, die Kultur oder Bewirtschaftungsweise für Analysen. Dadurch sind sie herkömmlichen Artenfundpunkten oder regionalen floristischen Beschreibungen überlegen, da diese in der Regel keine Abundanzdaten oder Kontextinformationen zum Lebensraum der Beobachtungen enthalten. Daher konzentrierte sich AgriWeedClim in den ersten Schritten auf Vegetationsaufnahmen, um sicherzustellen, dass die analysierten Lebensraumtrends aus den für das Projekt relevanten Lebensräumen stammen.

Wir haben die AgriWeedClim-Datenbank erstellt, indem wir Daten aus dem „European Vegetation Archive“ (EVA, Chytrý et al., 2016) sowie kleineren Datenbanken wie der „Arable Weeds and Management in Europe“-Datenbank (Bürger et al., 2020) und der „European Weed Vegetation Database“ (Kůzmič et al., 2020) durch Daten aus Schlüsselstudien sowie die Digitalisierung zuvor nicht verfügbarer ergänzt haben. Die AgriWeedClim-Datenbank umfasst insgesamt 32.888 Vegetationsaufnahmedatensätze, die nun in die EVA-Struktur integriert sind. Sie wurde bereits für über 20 Datenanfragen genutzt, weshalb wir uns entschieden haben, sie regelmäßig zu aktualisieren und als „lebende“ Datenbank zu erhalten.

Nach der Harmonisierung und Integration der Daten wurde deutlich, dass für zwei Ackerlebensraumgruppen, nämlich Obst- bzw. Weingärten, nicht genügend Daten vorhanden waren, um zeitliche Trends sinnvoll zu interpretieren. Daher konzentrierten wir unsere Analysen auf Ackerflächen (Abbildung 2).

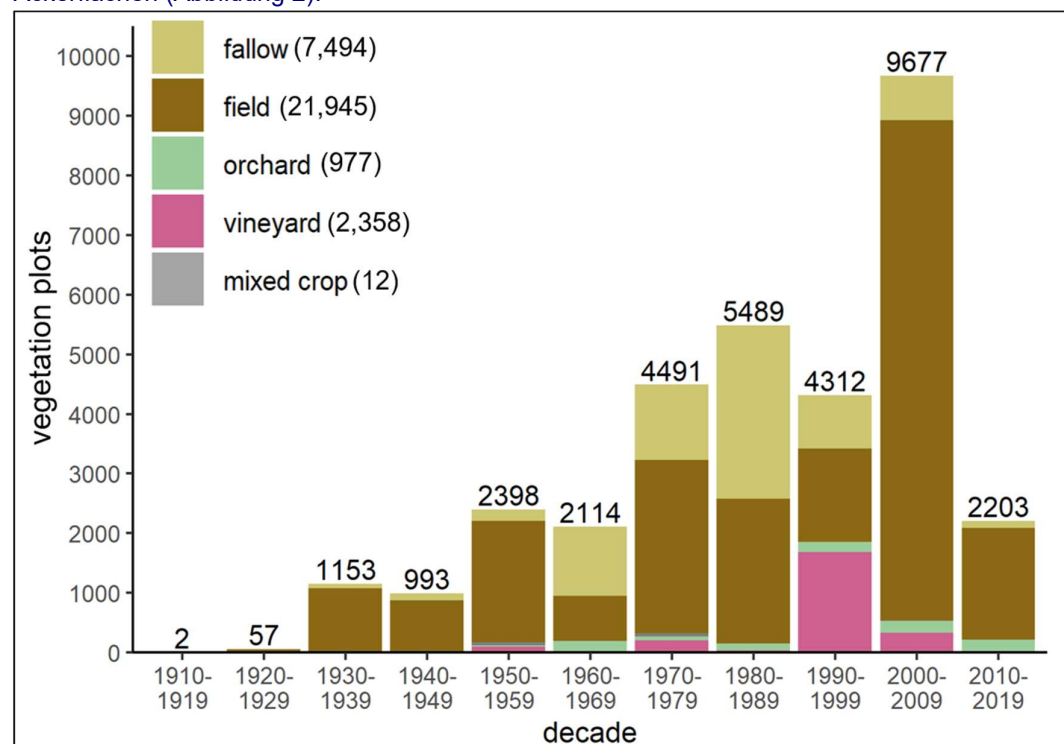


Abbildung 2: Zeitliche Verteilung der von AgriWeedClim gesammelten Vegetationsdaten.

Für jeden Datensatz bietet die AgriWeedClim-Datenbank standardisierte Informationen zum Erhebungsdatum, zur Größe der Vegetationsaufnahme, zu den angebauten Kulturen (von den groben Informationen in Abbildung 2 über relevante Kulturgruppen bis hin zu spezifischen Kulturen) sowie – falls vorhanden – zur Bewirtschaftungsform (d. h. biologisch oder konventionell). Obwohl räumliche Lücken bestehen bleiben (z. B. im Osten Ungarns), stellt die AgriWeedClim-Datenbank eine

bedeutende Quelle für Vegetationsaufnahmedaten von Ackerlebensräumen in Mitteleuropa dar (Abbildung 3).

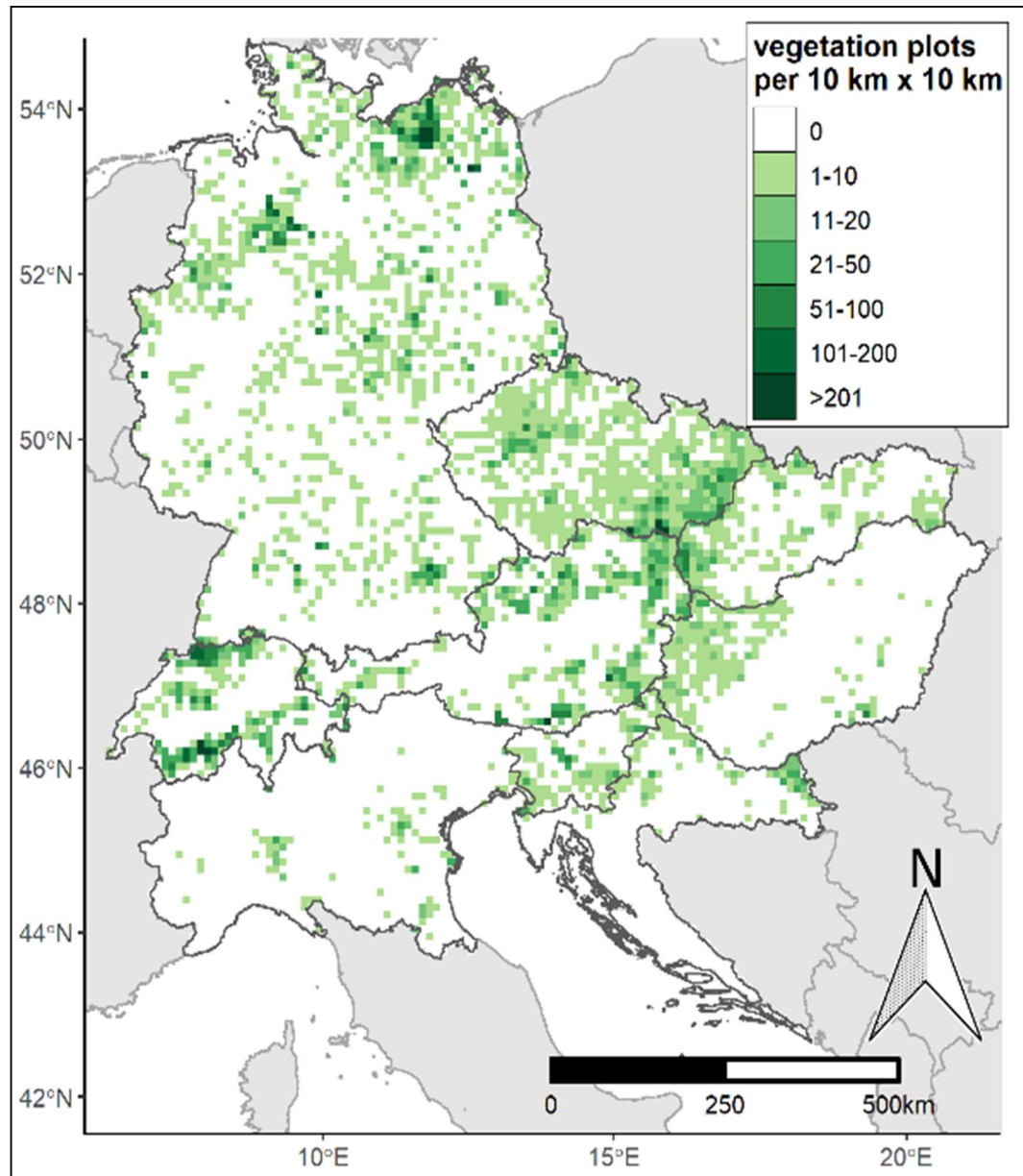


Abbildung 3: Räumliche Verteilung der von AgriWeedClim gesammelten Vegetationsdaten.

WP2: Zusammenstellung von Artattributen

Um die von der Datenbank bereitgestellten Informationen (d. h. das Vorkommen und die Abundanz von Unkrautarten) zu ergänzen und weitere Analysen durchzuführen, wurden zusätzlich der biogeografische Status der Arten (ob sie einmisch, archäophytisch bzw. neophytisch war, sensu Pyšek et al., 2004) sowie biologische Indikatorwerte der Arten (standardisiert vergleichbare Werte, die die ökologischen Präferenzen der Arten beschreiben, Tichý et al., 2023) für jede Art in der Datenbank ermittelt.

Um Arten als „typisch“ für Ackerlebensräume zu charakterisieren, wurden außerdem die phytosoziologische Zuordnung der Arten (Mucina et al., 2016) sowie ihre EUNIS-Zugehörigkeit (Chytrý et al., 2020) herangezogen. In einem späteren Schritt wurden zusätzlich Merkmale wie der Störungsindikatorwert von Arten (Midolo et al., 2023) und zentrale funktionelle Charakteristika (Kattge et al., 2020) für geplante Analysen abgerufen.

WP3: Zusammenstellung von Klima- und Landnutzungsdaten

Um Umweltdaten für die Modellierung der potenziellen Verbreitung neuer und aufkommender Unkräuter (siehe Kapitel 2.2.3.7) zu erhalten, wurden Daten aus der WorldClim-Datenbank (www.worldclim.org, Fick & Hijmans, 2017) verwendet. Diese Daten wurden in der gewünschten räumlichen Auflösung von 1x1 km² räumlich und zeitlich für das mittlere Klima (1970-2000) sowie für das mittlere Klima in vier Zeitschritten unter vier verschiedenen Klimawandelszenarien verwendet.

WP4: Analyse historischer Veränderungen der Ackerunkrautflora und Identifikation neuer Unkräuter

Ein Hauptgrund für die Erstellung der Datenbank war das Ziel durch die Analyse vergangener Prozesse, potenzielle zukünftige Entwicklungen abzuleiten und Arten zu identifizieren, die ihre Verbreitung im Untersuchungsgebiet bereits ausweiten. Ursprünglich war geplant, diese Analyse anhand von Vorkommens- bzw. Abundanzverhältnissen durchzuführen. Allerdings machten die großen räumlich-zeitlichen Verzerrungen in den verfügbaren Daten (Abbildungen 2 und 3) sowie zusätzliche Verzerrungen, die aus der opportunistischen Datenzusammenstellung resultierten – einschließlich unterschiedlicher Studienziele und -schwerpunkte einzelner Quellen – eine erhebliche Anpassung unserer Methodik erforderlich.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, setzten wir auf eine neu entwickelte Methode zur Ermittlung der Arealbesetzung (Outhwaite et al., 2018). Diese Methode wurde ursprünglich zur Analyse stark verzerrter Citizen-Science-Datensätze entwickelt wurde (Powney et al., 2019) und bot einen innovativen Ansatz zur Überwindung dieser Hürde. Wir waren, soweit uns bekannt ist, die ersten die diese auf einen Datensatz von Vegetationsaufnahmen angewendet haben. Durch die Modellierung des Prozesses in einem hierarchischen Modell, das den Vorkommens- und den Erkennungsprozess separat betrachtet, konnten sowohl die räumlich-zeitlichen Verzerrungen als auch die Verzerrungen durch unterschiedliche Studienschwerpunkte (z. B. Positionierung der Vegetationsaufnahmen relativ zum Ackerrand) in die Modelle integriert und berücksichtigt werden. Diese Analyse konzentrierte sich ausschließlich auf Ackerflächen (n = 21.945), da andere Lebensraumtypen nicht über genügend Datensätze für eine verlässlich interpretierbare Ergebnisse verfügten. Dieser gezielte Ansatz gewährleistete die Robustheit unserer Ergebnisse trotz der inhärenten Datenbegrenzungen.

Die Ergebnisse verdeutlichen die tiefgreifenden Veränderungen der Biodiversität auf mitteleuropäischen Ackerflächen in den letzten 90 Jahren (Abbildung 4a). Eine genauere Betrachtung zeigt mehrere Prozesse, die diese Transformationen angetrieben. Am deutlichsten ist ein Anstieg nitrophiler Arten zu verzeichnen, begleitet von einem Rückgang von Arten, die extreme Boden-pH-Werte bevorzugen (Abbildung 5a und b). Dieser Trend lässt sich wahrscheinlich auf die Intensivierung der Landnutzung zurückführen, insbesondere im Hinblick auf Düngungspraktiken und Bodenverbesserungsmaßnahmen zur Steigerung der Produktivität. Zweitens weisen die Daten auf einen signifikanten Verlust von Arten hin, die typischerweise mit Ackerflächen assoziiert sind, was die dramatischen ökologischen Veränderungen dieser Lebensräume hervorhebt (Abbildung 4b). Drittens zeigen Neophyten die deutlichsten Zunahmen in ihrer Verbreitung, im starken Gegensatz zu den Rückgängen bei einheimischen Arten und Archäophyten (Abbildung 4c). Dies unterstreicht die zunehmende Bedeutung von Neophyten als potenziell neue Unkrautarten, die Aufmerksamkeit im Management erfordern. Schließlich zeigte unsere Analyse keinen direkten Zusammenhang mit dem Klimawandel, wie z. B. einen Anstieg thermophiler Arten oder einen Rückgang wasserbedürftiger Arten (Abbildung 5c und d). Dies deutet darauf hin, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität von Ackerflächen derzeit von den unmittelbaren und wesentlich stärkeren Effekten historischer Landnutzungsänderungen überlagert werden.

Zusammen ergeben diese Ergebnisse ein detailliertes Bild des komplexen Zusammenspiels von Faktoren, die die Biodiversität auf Ackerflächen im Laufe der Zeit formen, und verdeutlichen die Notwendigkeit integrierter Ansätze, um diesen anhaltenden Veränderungen zu begegnen.

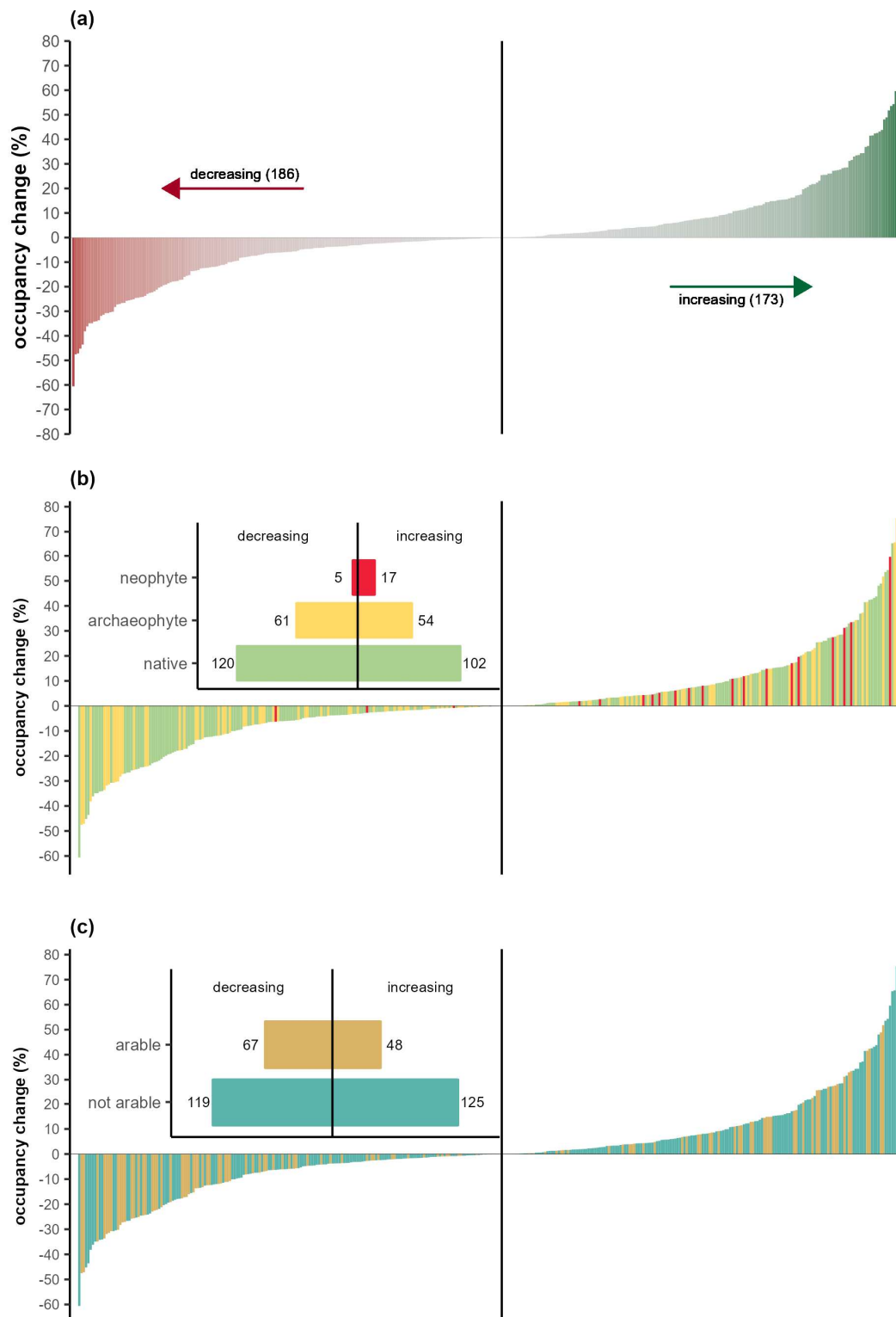


Abbildung 4: Die Ergebnisse aller 359 Arealbesetzungsmodelle (a) werden dargestellt, wobei jede vertikale Leiste eine Art repräsentiert. Die vertikale Linie markiert keine Veränderung in der Besetzung, während dunklere Farben stärkere Zunahmen (grün) und Verluste (rot) anzeigen. Die Arten sind in Kategorien unterteilt nach (b) Herkunft und (c) Charakteristik für Ackerlebensräume. Eingefügte Diagramme zeigen die Gesamtanzahl der zu- und abnehmenden Arten in den jeweiligen Gruppen.

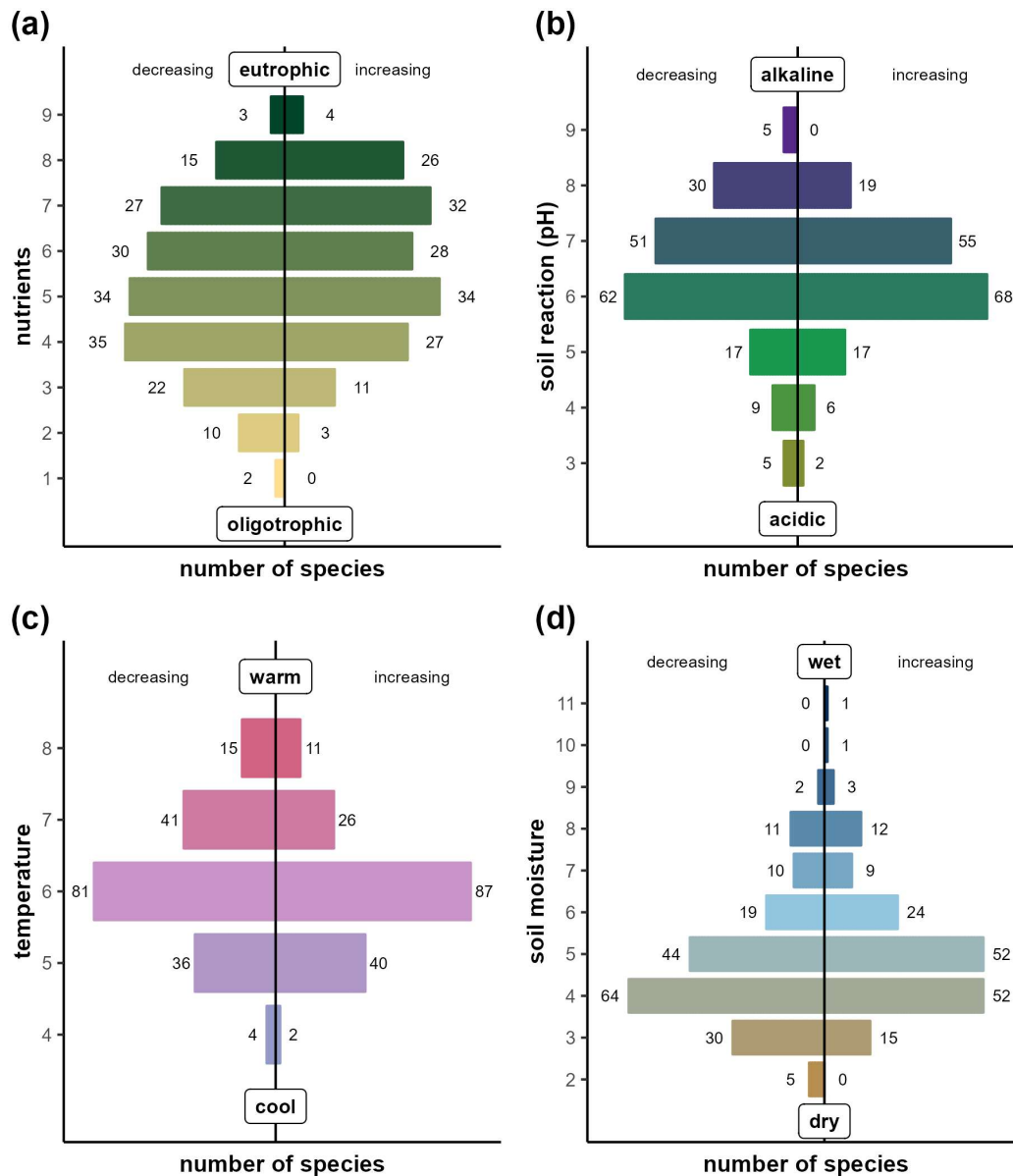


Abbildung 5: Anzahl von Arten mit abnehmender Besetzung (links von der vertikalen Linie) und zunehmender Besetzung (rechts von der vertikalen Linie) sind nach ihren ökologischen Indikatorwerten gruppiert. Diese umfassen (a) Nährstoffverfügbarkeit, (b) Boden-pH-Wert, (c) Temperatur und (d) Bodenfeuchtigkeit.

Eine ergänzende Analyse (Colling et al. 2025) mit dem auf Ackerflächen beschränkten Datensatz der AgriWeedClim-Datenbank ergab ähnliche Ergebnisse in Bezug auf Neophyten. Sie zeigte, dass sich die Anzahl der Vegetationsaufnahmen mit mindestens einem Neophyten seit den 1930er Jahren sowie die Abundanz der Neophyten im selben Zeitraum nahezu verdoppelt haben (Abbildung 5). Ein Vergleich mit Archäophyten verdeutlicht die Bedeutung der rezenteren gebietsfremden Arten, da die Trends für diese Gruppe weitgehend stabil blieben. Dies unterstreicht erneut die Bedeutung invasiver Arten als neue und aufkommende Unkrautarten in der Landwirtschaft.

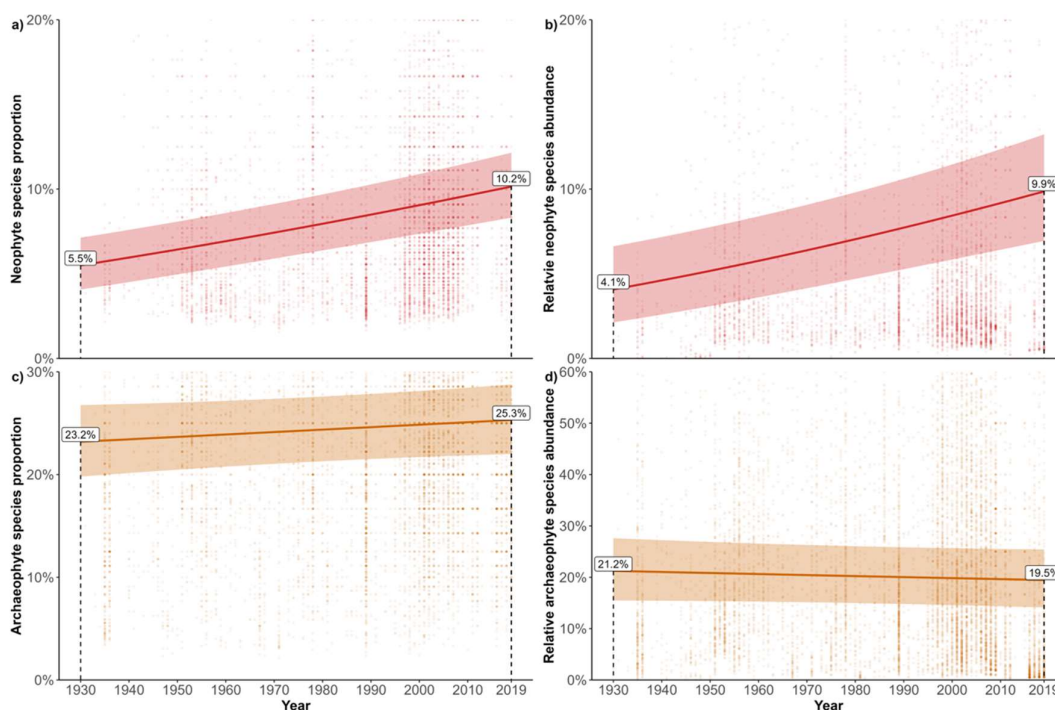


Abbildung 6: Veränderungen von gebietsfremden Arten (Neophyten rot, Archäophyten orange) auf mitteleuropäischen Ackerflächen zwischen 1930 und 2019. Die Diagramme auf der linken Seite zeigen den relativen Anteil (% gebietsfremder Arten in der jeweiligen Gruppe), während die Diagramme auf der rechten Seite die relative Abundanz darstellen (Abundanz der gebietsfremden Artengruppe geteilt durch die Gesamtabundanz pro Aufnahme­fläche).

Stakeholder und Befragung von Landwirt*innen (tlw. WP4 und WP6)

Um Interessengruppen und Landwirt:innen in den Prozess der Identifikation der Top 20 neuen und aufkommenden Unkrautarten einzubeziehen und Informationen zu gängigen landwirtschaftlichen Praktiken zu erhalten, führte das Projektteam 2022 eine Online-Umfrage unter österreichischen Landwirt:innen durch. Die Umfrage verwendete Bilder neuer Unkräuter (12 Arten und drei Gattungen), die unter von regionalen Expert*innen und Fachliteratur vorgeschlagen wurden, und bat die Landwirt*innen, den Managementaufwand für diese Arten zu bewerten (wenn diese auf ihre Flächen vorkamen). Zusätzlich wurden Fragen zur allgemeinen Wahrnehmung der Veränderungen in der Unkrautflora und zu den angewandten Managementmethoden gestellt.

Mit Hilfe von Interessengruppen wie den Landwirtschaftskammern und Bio Austria wurden ca. 30.000 Einladungslinks per E-Mail verteilt. Leider wurden nur 181 Umfragen vollständig ausgefüllt, was nur ein eingeschränktes Bild des Unkrautmanagements und des Managementaufwands für die Arten insgesamt lieferte. Dennoch konnten aus den Ergebnissen mehrere wichtige Schlussfolgerungen gezogen werden.

Landwirt*innen hoben die Herausforderungen durch mehrere neue Unkrauttaxa hervor, wobei *Fallopia* spp. und *Panicum* spp. deutlich höhere Bewertungen als andere Taxa erhielten. Ein hoher Managementaufwand wurde außerdem für *Datura stramonium*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Cyperus esculentus*, *Helianthus tuberosus* und *Sorghum halepense* berichtet. Die allgemeine Frage zu Veränderungen in der Unkrautflora auf Ackerflächen ergab, dass mehr als die Hälfte der Landwirt*innen die Veränderungen in der Unkrautflora wahrnehmen. Fast drei Viertel berichteten, dass sie mit Unkräutern zu kämpfen haben, die zuvor auf ihren Flächen nicht vorkamen, und ein Drittel gab an, bereits Probleme mit Unkräutern zu haben, die sie kaum kontrollieren können (Abbildung 7).

Die am häufigsten angewandten Managementmaßnahmen der Landwirt:innen waren die manuelle Entfernung, der Einsatz von Herbiziden und die Fruchtfolge. Weniger häufig wurden Änderungen in den Produktionsmethoden genutzt, wie etwa erhöhte Aussaatdichten, der Anbau konkurrenzfähiger Sorten oder eine reduzierte Reihenbreite. Dies zeigt den Bedarf für Ansätze aus dem integrierten Unkrautmanagement, welche durch Monitoring und frühzeitige Erkennung problematischer Arten

möglich machen. Integrierte Managementansätze können auch die langfristige Überwachung neuer Unkrautarten erleichtern.

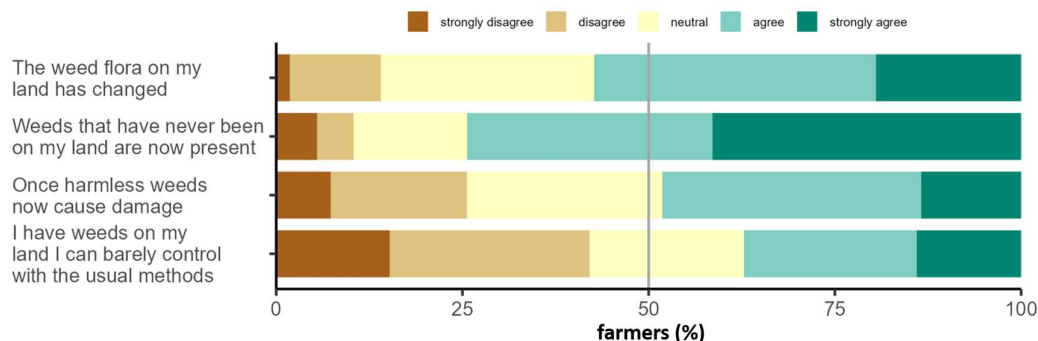


Abbildung 7: Übereinstimmung von Landwirt*innen (x-Achse) mit Aussagen (y-Achse) über die Veränderung der Ackerunkrautflora auf ihren Betrieben.

WP4: Identifikation der Top 20 neuen Unkräuter

Durch die Kombination der Ergebnisse der vorherigen Analysen mit Informationen aus der Literatur, Expertenmeinungen und Listen invasiver gebietsfremder Pflanzen (z.B. Brunel et al., 2010) konnten wir jene Taxa identifizieren, die voraussichtlich in Zukunft ihre Verbreitung und ihre agrarischen Auswirkungen verstärken werden (Tabelle 1). Aufgrund ähnlicher Schadwirkungen durch Arten der Gattungen *Fallopia* und *Panicum* haben wir unser ursprüngliches Ziel von 20 Arten auf 23 erweitert. Die ausgewählten Arten unterscheiden sich in ihrer Herkunft, Lebensform, Lebensdauer und ihrer Residenzzeit. Dennoch zeichnen sie sich alle durch eine hohe Konkurrenzfähigkeit, eine hohe Reproduktionsrate sowie ein schnelles Wachstum aus, was sie besonders geeignet macht, in häufig gestörten Umgebungen wie Ackerflächen zu gedeihen. Der hohe Anteil an Neophyten ist ebenso bemerkenswert.

Tabelle 1: Top23 neue Unkräuter in Mitteleuropa und nennenswerte Arteigenschaften: Lebensform: Persistenzform nach (Raunkiaer, 1907); Lebensdauer: a = einjährig, p = mehrjährig, b = zweijährig; Photosynthesepfad: C₃- bzw. C₄-Photosynthese; Status im UG: nat = einheimisch, neo= neophytisch; Erstes Auftreten im UG: Jahr des dokumentierten Erstfundes; Globale Verbreitung: O = ursprüngliche Verbreitung, X = gegenwärtige Verbreitung nach Kontinenten: NAM = Nordamerika, SAM = Südamerika, EUR = Europa, ASI = Asien, AFR = Afrika, AUS = Australien.

Taxon	Lebensform	Lebensdauer	Photosynthesepfad	Status im UG	Erstes Auftreten im UG	Globale Verbreitung					
						NAM	SAM	EUR	ASI	AFR	AUS
<i>Abutilon theophrasti</i>	the	a	C ₃	nat	1850	X	X	O	O	X	X
<i>Amaranthus palmeri</i>	the	a	C ₄	neo	1908	O	X	X	X	X	
<i>Amaranthus tuberculatus</i>	the	a	C ₄	neo	1945	O		X			
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	the	a	C ₃	neo	1883	O	X	X	X	X	X
<i>Asclepias syriaca</i>	hem, geo	p	C ₃	neo	1786	O		X	X		
<i>Cyperus esculentus</i>	hem, geo	p	C ₄	nat	1930	O	O	X	O	O	X
<i>Datura stramonium</i>	the	a	C ₃	neo	1550	O	X	X	X	X	X
<i>Descurainia sophia</i>	the	a	C ₃	nat	1700	X	X	O	O	X	X
<i>Helianthus tuberosus</i>	geo	p	C ₃	neo	1627		X	X	X	X	X
<i>Lactuca serriola</i>	hem, the	a, b, p	C ₃	nat	1700	X	X	O	O	O	X

<i>Panicum barbipulvinatum</i>	the	a	C ₄	neo	1862	O	X	X	X		X
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	the	a	C ₄	neo	1889	O	O	X	X		X
<i>Panicum miliaceum</i>	the	a	C ₄	neo	1864	X	X	O	X	X	X
<i>Panicum schinzii</i>	the	a	C ₄	neo	1980			X	X	O	
<i>Phytolacca americana</i>	hem, geo	p	C ₃	neo	1700	O	X	X	X	X	
<i>Reynoutria japonica</i>	geo	p	C ₃	neo	1870	X		X	O		X
<i>Reynoutria sachalinensis</i>	geo	p	C ₃	neo	1869	X		X	O		X
<i>Reynoutria x bohemica</i>	geo	p	C ₃	neo	1946	X		X	O		
<i>Solanum carolinense</i>	hem	p	C ₄	neo	1985	O		X	X		
<i>Sorghum halepense</i>	hem, geo	p	C ₄	neo	1853	X	O	X	O	O	X
<i>Xanthium orientale</i> agg.	the	a	C ₃	neo	1850	O	O	X	O	X	
<i>Xanthium sibiricum</i>	the	a	C ₃	neo	1952			O	O	O	X
<i>Xanthium strumarium</i> agg.	the	a	C ₃	nat	1952			O	O	O	O

WP7: Modellierung der Artverbreitung und Identifikation von Hochrisikogebieten

Um die potenziellen zukünftigen Verbreitungen und somit das assoziierte Risiko zu ermitteln, nutzten wir Daten aus der Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org). Wir verwendeten hierfür das globale Verbreitungsgebiet der Arten, um den größtmöglichen Umfang ihrer ökologischen Nischen zu berücksichtigen. Die so gewonnenen Daten wurden bereinigt und räumlich ausgedünnt, um geographische Unterschiede in der Anzahl der Fundpunkte zu minimieren. Für jede Art wurde ein Ensemble-SDM (Species Distribution Model) mit der statistischen Software biomod2 (Thuiller et al., 2009) erstellt, welches die Stärken konventioneller sowie „machine learning“-Methoden kombiniert.

Bioklimatische Variablen wurden aus der WorldClim Global Climate Database mit einer räumlichen Auflösung von 30 Bogensekunden (ca. 1 km²) abgerufen. Von den 19 verfügbaren Variablen wurden vier aufgrund ihrer Relevanz ausgewählt: die mittlere Jahrestemperatur als allgemeines Maß für die Habitategnung unter Klimawandelbedingungen, die mittlere Temperatur des wärmsten Quartals, um kürzere Lebenszyklen zu berücksichtigen, die minimale Temperatur des kältesten Monats, da kalte Temperaturen ein limitierender Faktor für die Habitategnung sein könnten, und letztlich die Niederschlagsmenge des wärmsten Quartals, da Trockenheit während der Vegetationsperiode ein ähnliches Hindernis darstellen könnte. Die Modelle wurden auf Basis des mittleren Klimas der Periode 1970–2000 parametrisiert und auf die mittleren Klimas der Zeiträume 2021–2040, 2041–2060, 2061–2080 und 2081–2100 in vier Klimaszenarien (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5) projiziert.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass fast zwei Drittel (65,2 %) des Untersuchungsgebiets für 18 oder mehr der modellierten Arten geeignet sind, während nur 2,3 % für keine der Arten geeignet sind. Die beste Habitategnung wurde für viele Arten in den Tieflandregionen im Südosten des Untersuchungsgebiets festgestellt. Da diese Regionen intensiv landwirtschaftlich genutzt werden, könnten die Auswirkungen dieser Arten auf die Ernteerträge und damit auf die Einkommen im ländlichen Raum erheblich sein.

Unter potenziellen zukünftigen Klimabedingungen nahmen die geeigneten Flächen in allen Szenarien bis 2050 zu, was zeigt, dass viele Arten durch den Klimawandel geeignete Flächen gewinnen können (Abbildung 8). Dies gilt insbesondere für inneralpine Täler und Regionen nördlich der Alpen, wo die meisten Flächengewinne zu verzeichnen sind. Nach 2050 nimmt die bioklimatische Eignung in den meisten Tieflandregionen ab, vermutlich aufgrund von Hitze- und Trockenheitsstress. Einige stark thermophile Arten (z. B. *Amaranthus tuberculatus*, *Solanum carolinense*) gewinnen jedoch potenziell geeignete Flächen, insbesondere unter den extremeren Szenarien. In höheren Lagen der Alpen werden die Flächen in diesem Zeitraum zunehmend geeigneter, wodurch sich die potenziellen Hochrisikogebiete weiter verschieben. Insgesamt werden die Auswirkungen dieser Arten komplexe Herausforderungen in derzeit landwirtschaftlich genutzten Gebieten schaffen. Welche Arten die größten kombinierten Auswirkungen verursachen, wird jedoch von der Stärke des Klimawandels und der

Umsetzung von Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung (z. B. Überwachung und schnelles Eingreifen) abhängen.

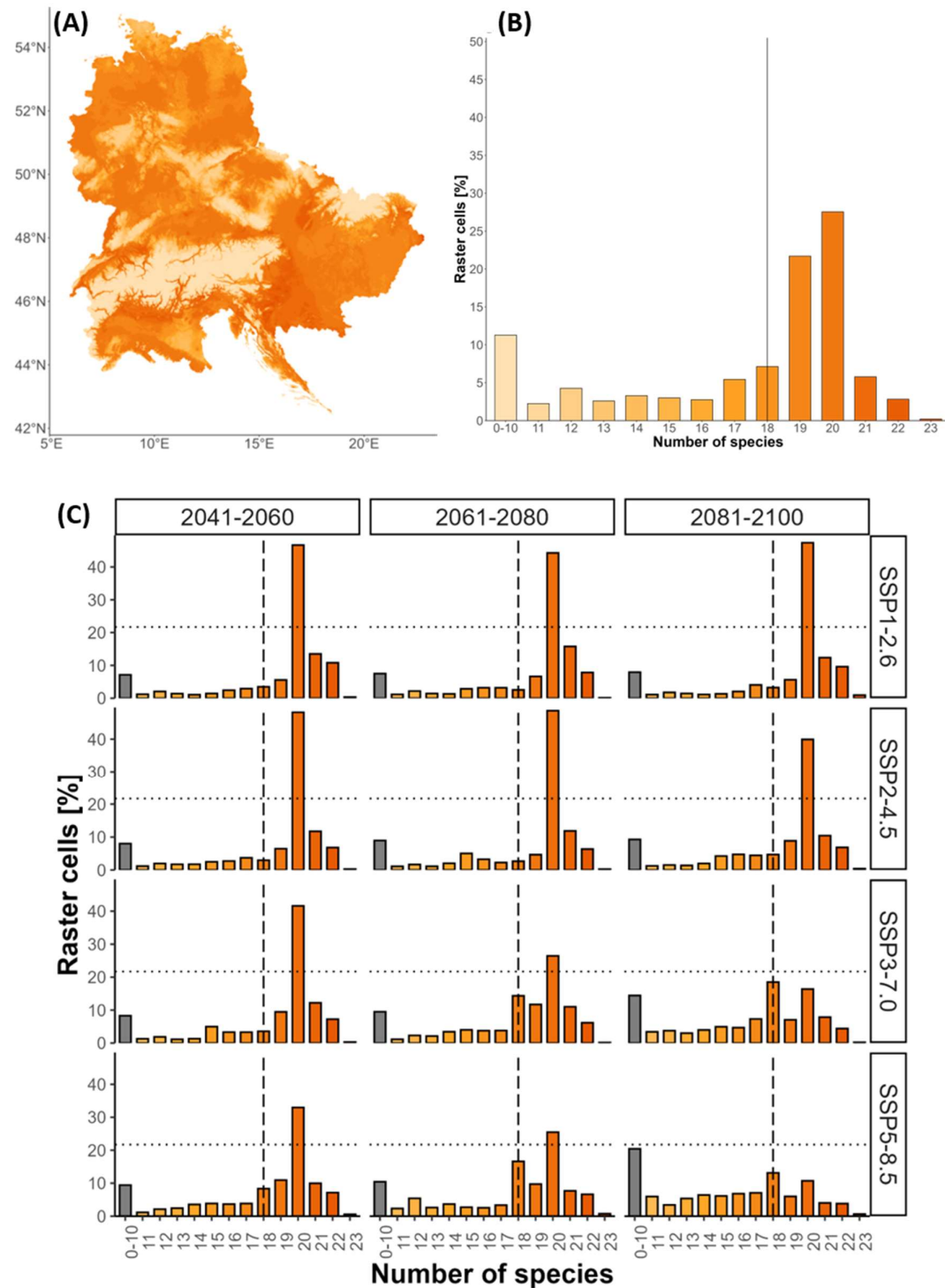


Abbildung 8: Habitateignung für die modellierten Arten unter mittleren Klimabedingungen von 1970 bis 2000 (A und B), sowie verschiedenen Klimaszenarien (C), wobei strichlierte bzw. punktierte Linien die Definition von Hochrisikogebieten angeben.

WP6: Management-Empfehlungen

Während des gesamten AgriWeedClim-Projekts wurden Interessengruppen aktiv in den Prozess einbezogen, beispielsweise durch die Einbindung von Pflanzenschutzexpert*innen bei der Auswahl der Arten für die Stakeholder-Umfrage oder durch die Einholung von Rückmeldungen zu relevanten Themen von landwirtschaftlichen Berater*innen. Alle Projektergebnisse und damit verbundene Empfehlungen wurden über Open-Access-Veröffentlichungen zugänglich gemacht und durch begleitende Publikationen in medienrelevanten Formaten für Stakeholder ergänzt, um zusätzliche (bspw. sprachliche) Zugangshürden zu vermeiden.

Die Empfehlungen zum Management wurden in Postern zu den modellierten Unkrautarten aus WP5 zusammengefasst. Diese Poster enthalten a) Bilder und einen Bestimmungsschlüssel, b) die aktuelle und potenziell zukünftige Verbreitung in Österreich sowie c) Managementinformationen, wie die hauptsächlich betroffenen Kulturarten und Methoden, die zur Minderung der Auswirkungen bekannt sind. Die Poster sind auf der Projektwebsite verfügbar, und wurden an wichtige Interessengruppen (z. B. Landwirtschaftskammern) weitergeleitet.

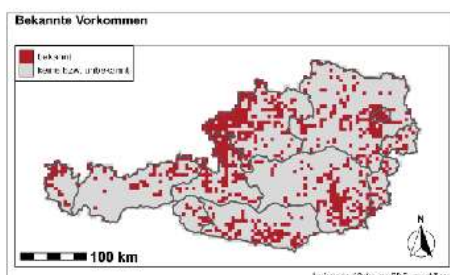
Eine effiziente Strategie für das Management neuer und aufkommender Unkräuter umfasst zwei Komponenten. Erstens die Überwachung von Hochrisikogebieten und die rasche Beseitigung kleiner und neu entstandener Populationen (z. B. manuelles Enternen, punktuell Sprühen mit Herbiziden). Dies erfordert ein erhöhtes Bewusstsein und eine verbesserte Kommunikation mit Stakeholder*innen in der gesamten Region. Solche „rapid response“-Strategien haben sich langfristig als die kosteneffektivste Maßnahme erwiesen (Alvarez & Solis, 2019; Reaser et al., 2020). Zweitens sind in geeigneten Gebieten mit etablierten und größeren Populationen intensive, koordinierte Kontrollmaßnahmen („Aktionspläne“) erforderlich, bei denen der Schwerpunkt auf der Eindämmung und Begrenzung der Ausbreitung der Arten liegt. In diesen Fällen müssen Stakeholder, von Landwirt*innen bis hin zu politischen Entscheidungsträger*innen, ihre Bemühungen zur Minderung potenzieller zukünftiger Schäden bündeln. Dies umfasst mehrere Aspekte der Unkrautkontrolle: Prävention (Feldüberwachung, Verhinderung der Einschleppung von Diasporen), indirekte Maßnahmen (Stärkung der Konkurrenzfähigkeit der Kulturpflanze durch Anbaumaßnahmen) und direkte Maßnahmen (chemische und mechanische Kontrolle).

Staudenknöterich

Reynoutria bohemica, *R. japonica*,
R. sachalinensis (Polygonaceae)



- ▶ schnellwüchsig, ausdauernd, krautig
- ▶ Stängel: verzweigt, 1-4 m hoch, bis 5 cm Durchmesser
- ▶ Blätter: breit, eiförmig, zugespitzt
- ▶ Blütenstand: vielblütig, weiß
- ▶ Vermehrung: produziert lange, unterirdisch kriechende Rhizome
- ▶ Ausbreitung: Verschleppung von Rhizom-Teilstücken durch Fahrzeuge und landwirtschaftliche Maschinen
- ▶ Einwachsen vom Rand

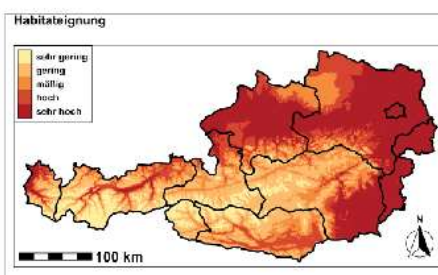


Hotspots

große Vorkommen in ganz Österreich bekannt, mit Ausnahme der Hochlagen überall verbreitet

Landwirtschaftliche Bedeutung

- ▶ sehr konkurrenzkräftig
- ▶ vegetative Ausbreitung und hohe Wachstumsrate
- ▶ vor allem Ackerränder betroffen



Potenzielles Verbreitungsgebiet

- ▶ gegenwärtig 90% der Ackerfläche (je nach Art)
- ▶ bis 2050 weitere Ausdehnung aller Arten

Bekämpfung

- ▶ Feldbeobachtung und Früherkennung
- ▶ Ausreißen von Einzelpflanzen und kleinen Beständen
- ▶ bekämpfte Bestände regelmäßig kontrollieren
- ▶ Einsatz von Herbiziden



Abbildung 9: Beispielposter aus dem Management Toolkit. Link zu allen Postern: <https://agriweedclim.univie.ac.at/>

WP7: Synthese und Veröffentlichung

Die Ergebnisse des Projekts wurden auf verschiedenen Plattformen zusammengefasst und verbreitet. Sie wurden in begutachteten Fachzeitschriften und professionellen Magazinen veröffentlicht sowie auf nationalen und internationalen wissenschaftlichen Konferenzen präsentiert. Das Projekt wurde zudem in anderen Foren wie Seminaren an Universitäten (z. B. BOKU, Universität Graz) und anderen Institutionen (z. B. AGES) vorgestellt und diskutiert. Im Rahmen des Projekts entstanden außerdem

eine Dissertation und eine Masterarbeit. Darüber hinaus wurde eine Projekt-Website eingerichtet (<https://agriweedclim.univie.ac.at/>).

Qualitätskontrolle (alle WPs)

Um die gleichbleibend hohe Qualität der Ergebnisse von AgriWeedClim sicherzustellen, führten wir jährliche Treffen mit allen Projektpartnern (Januar 2022, 2023 und 2024) sowie unserem Beirat durch. In diesem Rahmen wurden zentrale Publikationen, das Design von Informationsmaterialien und andere projektrelevante Aktivitäten besprochen.

Tabelle 2: Fachbeirat von AgriWeedClim, Affiliation und Expertise

Name	Affiliation	Expertise
Prof. Siegrid Steinkellner	University of Applied Sciences (BOKU) Institute for Plant Protection	Unkrautmanagement und Pflanzenschutz
Prof. Jana Bürger	University Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Studies, Department Crop Health	Agroökologie und Unkrautforschung
Dr. Filip Kuzmič	Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, ZRC SAZU, Jovan Hadži Institute of Biology	Unkrautforschung
Dr. Urban Šilc	Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, ZRC SAZU, Jovan Hadži Institute of Biology	Agroökologie und Unkrautforschung
Prof. Christian Berg	Karl Franzens University Graz, Institute for Biology	Unkrautforschung
Dr. Nina Richner	FORNAT, Zurich, Switzerland	Unkrautforschung
Dr. Serge Buholzer	Agroscope, Zurich, Switzerland	Agroökologie und Unkrautforschung
Dr. Felix Herzog	Agroscope, Zurich, Switzerland	Agroökologie und Landschaftsökologie

Zusätzliche Treffen wurden bei Bedarf abgehalten, an denen sowohl Projektpartner als auch Mitglieder des Beirats mit relevanter Expertise teilnahmen. Alle Publikationen wurden im Kernteam sowie unter allen Mitautor*innen diskutiert. Sowohl die Projektpartner als auch die Beiratsmitglieder bezogen bei Bedarf Mitglieder ihrer jeweiligen Teams (z. B. Kolleg*innen mit einschlägiger Expertise) in relevante Aktivitäten ein, wodurch ein breites Spektrum an Fachwissen genutzt wurde, das maßgeblich zur hohen Qualität der Ergebnisse beitrug.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Zentrale Ergebnisse

Zuallererst waren wir sehr erfreut, neue Daten zum European Vegetation Archive (EVA) hinzufügen zu können. Diese Daten können sowohl Studien zur Biodiversität auf Ackerflächen als auch zum Unkrautmanagement unterstützen und, im Zeitalter von „Big Data“, dazu beitragen, ein umfassenderes Bild der Biodiversität auf Ackerflächen zu schaffen, potenziell sogar auf der Ebene ganz Europas. Während die wichtigsten Datenerhebungsmaßnahmen hinter uns liegen, haben wir inzwischen mehrere interessante Angebote für zusätzliche Daten erhalten, insbesondere aus unterrepräsentierten Regionen in Deutschland, sowie unterrepräsentierten Lebensräumen wie Weinbergen sowie noch nicht standardisierte Metadaten zu den Vegetationsaufnahmen unserer ursprünglichen EVA-Datenanfrage. Insgesamt glauben wir, eine äußerst nützliche Datenbank geschaffen zu haben, die wir als „lebende Datenbank“ erhalten wollen, um zukünftige Forschung zu unterstützen.

Ein weiteres Highlight war die Anwendung des Arealbesetzungsmodells auf Vegetationsaufnahmen, welche zeigte, dass diese Methode tatsächlich funktioniert, um Verzerrungen in großen, opportunistisch zusammengestellten Datensätzen von Vegetationsaufnahmen wie der AgriWeedClim-Datenbank zu entfernen. Die flexible Verzerrungskorrektur, die diese Modelle nutzen, kann an viele Datensätze und Analysen angepasst werden und eröffnet somit neue Möglichkeiten für die Analyse ähnlicher Datensätze. Dieser Ansatz wurde bereits für vergleichbare Daten eingesetzt (Klinkovská et al., 2024).

Das Interesse und die Anfragen von Stakeholdern während des Projekts waren ein weiteres Highlight und ein motivierender Faktor. Nicht nur teilten Landwirt:innen Informationen in den offenen Fragen der Umfrage, fast ein Drittel der Teilnehmer:innen meldete sich für weitere Informationen zum Projekt an. Zusätzlich zeigten mehrere landwirtschaftliche Berater:innen großes Interesse an den Projektergebnissen und erhielten Links zu Veröffentlichungen. Aus unserer Sicht unterstreicht dies den erheblichen Bedarf für ein Projekt wie AgriWeedClim, da die Ergebnisse des Projekts mit praxisorientierten Anwendungen kombiniert werden müssen.

Tatsächlich wird eine der neu invasiven Unkrautarten, *Datura stramonium*, nun von unserem Projektpartner AGES genauer untersucht.

Weitere Schritte

Basierend auf unserer Datenbank haben wir bereits mit einer Analyse der Unterschiede in der Biodiversität zwischen dem (ehemaligen) Ost- und Westeuropa begonnen, die auf den unterschiedlichen Wirtschaftssystemen beider Regionen fußt. Ein wichtiger Aspekt dieser Untersuchung ist die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU – ein weiterer potenzieller Untersuchungsschwerpunkt dieser Analyse. Generell kann die AgriWeedClim-Datenbank dafür genutzt werden, die Auswirkungen landwirtschaftlicher Politiken auf die Biodiversität in Ackerflächen und – sofern zusätzliche Daten integriert werden – in anderen in der Projektdatenbank enthaltenen Lebensräumen zu untersuchen. Außerdem planen wir, in AgriWeedClim vermerkte Vegetationsaufnahmen für erneute Erhebungen hervorzuheben, um potenzielle langfristige Monitoring-Standorte zu schaffen. Dadurch sollen detailliertere Vergleiche von Veränderungen in der Biodiversität und das Auftreten neuer Unkräuter ermöglicht werden.

Die Analysen in AgriWeedClim konzentrierten sich darauf, Erkenntnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet zu gewinnen, um sie einer möglichst breiten Gruppe von Stakeholder*innen sowie der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich zu machen. Die im Projekt gewonnenen Ergebnisse könnten jedoch als Basis für weiterführende, detailliertere Untersuchungen auf kleineren räumlichen Skalen dienen. Für die „Top 23“ der neuen und aufkommenden Unkräuter könnte dies beispielsweise mit Hilfe von Citizen-Science-Daten aus Plattformen wie iNaturalist (www.inaturalist.org) bewerkstelligt werden, auf die auch das AgriWeedClim-Disseminationsmaterial verweist. Angesichts der laufenden Zusammenarbeit mit unserem Projektpartner AGES und unserer Expertise im Bereich biologische Invasionen könnten diese Daten zudem für zukünftige Analysen außerhalb von AgriWeedClim eingesetzt werden.

Das bereitgestellte Informationsmaterial ist breit anwendbar, und wir unterstützen seine Nutzung für alle Kommunikationszwecke rund um neue und aufkommende Unkräuter. Mehrere Mitglieder des AgriWeedClim-Teams wurden bereits von Stakeholder-Gruppen angesprochen, um (Teile der) Ergebnisse bei kleineren Veranstaltungen vorzustellen, beispielsweise beim sogenannten

„Stechapfelgespräch“, einer im Rahmen des Projekts StopDatura von AGES organisierten Veranstaltung. Wir hoffen auf anhaltendes Interesse und stehen für sämtliche zukünftigen Interaktionen mit Stakeholdern gerne zur Verfügung.

Relevanz für weitere Zielgruppen

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen von AgriWeedClim sind für eine breite Zielgruppe relevant. Insbesondere sind das Landwirt*innen, die als Entscheidungsträger*innen vor Ort die ersten sind, die von den verstärkten Auswirkungen neuer Unkrautarten betroffen sind. Gleichzeitig stellen sie eine große Gruppe von Praktiker*innen dar, die – mit den richtigen Werkzeugen ausgestattet – in der Lage sind, neue Unkrautarten zu überwachen und zu bekämpfen. Daher ist unser Informationsmaterial stark auf ihre Bedürfnisse ausgerichtet und in einer für sie leicht zugänglichen Form präsentiert.

Neben dieser ersten Gruppe gibt es Stakeholder*innen, die direkt mit Landwirt*innen kommunizieren, wie regionale Pflanzenschutzberater*innen (z. B. innerhalb der Landwirtschaftskammern) und landwirtschaftliche Vereinigungen (z. B. Berater*innen für spezifische Kulturen). Durch ihre Interaktion mit Landwirt*innen können sie integriert Veränderungen auf einer größeren regionalen Ebene oder in Bezug auf spezifische Kulturen erkennen. Gleichzeitig spielen sie eine wichtige Rolle als Vermittler*innen und Verteiler*innen von Informationsmaterialien wie denjenigen, die von AgriWeedClim bereitgestellt wurden.

Auf der höchsten Integrationsebene stehen landwirtschaftliche Interessenvertretungen und politische Entscheidungsträger*innen. Diese Gruppe ist in der Lage, groß angelegte (z. B. bundesstaatliche oder nationale) Veränderungen zu entwickeln und umzusetzen, um den potenziellen Auswirkungen neuer Unkrautarten zu begegnen. Dazu gehören beispielsweise die Entwicklung neuer Screening-Regelungen zur Eindämmung der Verbreitung und Etablierung neuer Unkrautarten oder, falls dies scheitert, die Einführung von Strategien zur frühzeitigen Erkennung und schnellen Reaktion, um eine langfristige Etablierung zu verhindern. Diese Gruppe wird durch wissenschaftliche Publikationen aus dem AgriWeedClim-Projekt sowie unsere Risikoanalysen mit Informationen unterstützt.

Die letzte Zielgruppe ist die wissenschaftliche Gemeinschaft, für die AgriWeedClim Erkenntnisse über wesentliche Komponenten des globalen Wandels an der Schnittstelle zur Landwirtschaft geliefert hat. Letztlich hoffen wir, dass AgriWeedClim zusätzliches wissenschaftliches Interesse an der Untersuchung der landwirtschaftlichen Biodiversität und von Unkrautarten weckt.

C) Projektdetails

6 Methodik

Der gewählte Forschungsansatz des AgriWeedClim-Projekts basiert auf einer integrativen und interdisziplinären Methodik, die darauf abzielt, die Auswirkungen neuer und aufkommender Unkrautarten auf die Biodiversität und die Landwirtschaft in Mitteleuropa zu verstehen und geeignete Managementstrategien zu entwickeln. Diese Herangehensweise wurde durch eine Reihe wissenschaftlicher, praktischer und gesellschaftlicher Erwägungen begründet.

Neue und aufkommende Unkrautarten stellen eine der großen Herausforderungen für die moderne Landwirtschaft dar. Mitteleuropa, das durch intensive landwirtschaftliche Nutzung und vielfältige Agrarlandschaften geprägt ist, ist besonders anfällig für die Auswirkungen invasiver Arten. Diese können nicht nur Ernteverluste und ökonomische Einbußen verursachen, sondern auch die Biodiversität negativ beeinflussen. Zusätzlich verstärken Klimawandel und globale Handelsbeziehungen die Ausbreitung und Etablierung solcher Arten. Die Wahl eines Forschungsansatzes, der sich mit diesen komplexen Wechselwirkungen auseinandersetzt, ist daher entscheidend, um praxisnahe und zukunftsfähige Lösungen zu entwickeln.

Das Projekt AgriWeedClim kombiniert unterschiedliche Disziplinen, um eine umfassende Perspektive zu bieten. Die Nutzung von Vegetationsaufnahmedaten aus dem European Vegetation Archive (EVA) sowie anderen spezialisierten Datenbanken ermöglichte eine detaillierte Analyse der Veränderungen in der Unkrautflora auf Ackerflächen über die letzten Jahrzehnte. Dieser Ansatz bietet mehrere Vorteile: Vegetationsaufnahmen enthalten nicht nur Informationen über das Vorkommen und die Abundanz von Arten, sondern auch wichtige Metadaten wie Lebensraumtyp, Bewirtschaftungsform und Standortbedingungen. Dadurch können Trends spezifisch für Ackerlebensräume analysiert werden. Durch die Analyse historischer Daten wird es möglich, Veränderungen über Zeit zu verfolgen und die zugrunde liegenden Ursachen wie Landnutzungsänderungen oder Klimawandel zu identifizieren.

Ein zentrales Element des Forschungsansatzes war die Anwendung von Arealbesetzungsmodellen um Verzerrungen in den opportunistisch zusammengestellten Datensätzen zu minimieren. Diese Methode ermöglicht es, die Beobachtungswahrscheinlichkeit von der tatsächlichen Vorkommenswahrscheinlichkeit zu trennen und somit ein realistischeres Bild der Verbreitung von Unkrautarten zu erhalten. Besetzungsmodelle wurden ursprünglich für Citizen-Science-Daten entwickelt und eignen sich besonders für Datensätze mit ungleichmäßiger Abdeckung, wie sie im AgriWeedClim-Projekt verwendet wurden. Die flexiblen Bias-Korrekturen dieser Modelle können an unterschiedliche Datensätze und Analysen angepasst werden, wodurch ein breiterer Nutzen für die wissenschaftliche Gemeinschaft entsteht.

Ein weiteres wesentliches Ziel war die Projektion der potenziellen Verbreitung von Unkrautarten unter zukünftigen Klimaszenarien. Hierzu wurden Species Distribution Models (SDMs) mit der Software biomod2 eingesetzt. Die Wahl dieser Methode begründet sich wie folgt: SDMs ermöglichen es, die Zusammenhänge zwischen Umweltbedingungen und der Verbreitung von Arten zu analysieren. Im Projekt wurden vier zentrale bioklimatische Prädiktoren ausgewählt, die für das Überleben und die Ausbreitung von Unkräutern in einer sich verändernden Umwelt relevant sind. Durch die Projektion auf vier verschiedene Klimaszenarien bis 2100 können potenzielle Ausweitungen der Verbreitung identifiziert und frühzeitig Managementstrategien entwickelt werden.

Ein entscheidender Bestandteil des Forschungsansatzes war die enge Zusammenarbeit mit Stakeholdern, insbesondere Landwirt*innen, Berater*innen und politischen Entscheidungsträger*innen. Dieser Ansatz wurde aus mehreren Gründen gewählt: Landwirt*innen sind die ersten, die mit den Auswirkungen neuer Unkrautarten konfrontiert werden. Ihre Erfahrungen und Bedürfnisse wurden durch Umfragen und Rückmeldungen aktiv in das Projekt eingebunden. Informationsmaterialien wie Poster, Risikokarten und Handlungsempfehlungen wurden speziell für die Zielgruppen entwickelt und auf leicht zugängliche Weise bereitgestellt. Dies trägt dazu bei, wissenschaftliche Erkenntnisse in praktische Anwendungen zu überführen. Die Zusammenarbeit mit Landwirtschaftskammern, Berater*innen und politischen Entscheidungsträger*innen ermöglichte es, regionale und nationale Strategien zur Bekämpfung neuer Unkrautarten zu entwickeln.

Das AgriWeedClim-Projekt lieferte nicht nur praxisrelevante Erkenntnisse, sondern trug auch zur wissenschaftlichen Gemeinschaft bei. Die Erweiterung der EVADatenbank, die Entwicklung innovativer Methodiken und die Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachzeitschriften sind nur einige Beispiele für

den wissenschaftlichen Mehrwert des Projekts. Gleichzeitig weckte das Projekt Interesse an der weiteren Erforschung der Biodiversität in Agrarlandschaften und der Rolle des Klimawandels.

Der gewählte Forschungsansatz im AgriWeedClim-Projekt zeichnet sich durch seine Interdisziplinarität, innovative Methodik und starke Praxisorientierung aus. Durch die Kombination von Biodiversitätsforschung, Klimamodellierung und Stakeholder-Einbindung wurde ein umfassender Ansatz entwickelt, der nicht nur zur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung beiträgt, sondern auch konkrete Lösungen für die Praxis bietet. Dieser Ansatz ist ein Vorbild für die Erforschung ähnlicher Herausforderungen an der Schnittstelle zwischen Landwirtschaft und Umweltveränderungen.

7 Arbeits- und Zeitplan

Wir verzeichnen nur geringe Abweichungen (d. h. im Bereich einiger Wochen) bei einzelnen Aufgaben in den meisten Arbeitspaketen, überwiegend aufgrund unvermeidbarer Umstände rund um die Covid-19-Pandemie. Im Folgenden werden relevante Abweichungen vom ursprünglichen Zeitplan (d. h. im Bereich einiger Monate) beschrieben (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich der geplanten Arbeiten in AgriWeedClim, ihrer geplanten und tatsächlichen Fertigstellung. Wir merken an, dass einzelnen Aufgaben innerhalb von Work Packages deutlich früher fertiggestellt worden sind, als das gesamte Work Package.

Work Package	Abschluss lt. Plan	Tatsächlicher Abschluss
1	August 2022	March 2022
2	September 2022	May 2022
3	January 2023	September 2022
4	May 2023	May 2023
5	March 2024	August 2024
6	August 2024	October 2024
7	October 2024	ongoing, one publication still in submission
8	October 2024	October 2024, ended with project

Die Modellierung der Habitateignung (WP5) begann etwas später, da eine Sekundäranalyse (Colling et al. 2025) vorbereitet wurde, um die Bedeutung biologischer Invasionen in mitteleuropäischen Ackerflächen weiter zu verdeutlichen. Sie wurde jedoch noch innerhalb des Projektzeitraums abgeschlossen, und bereits zur Veröffentlichung angenommen..

Aufgrund von Budgetbeschränkungen (die Verpflegungskosten wurden nicht von der Förderstelle übernommen) konnte der zweitägige Stakeholder*innen-Workshop (WP6) nicht stattfinden. Stattdessen wurde im Oktober 2024 ein eintägiges Abschlusstreffen mit ausgewählten Stakeholder*innen organisiert.

Obwohl unsere Analysen bereits abgeschlossen sind, werden die Ergebnisse von WP5 (siehe oben) derzeit für eine Veröffentlichung vorbereitet, mit einer geplanten Einreichungsfrist am 15. März 2025. Da das Projekt zu Beginn noch keine Ergebnisse für die Öffentlichkeit bereitstellen konnte (WP7), wurde die Projektwebsite erst im Juli 2023 veröffentlicht. Das AgriWeedClim-Team plant jedoch, die Website über die Projektlaufzeit hinaus regelmäßig zu aktualisieren, um diese Lücke zu schließen.

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Veröffentlichte wissenschaftliche Publikationen

- Glaser, M., Berg, C., Buldrini, F., Buholzer, S., Bürger, J., Chiarucci, A., Chytrý, M., Dřevojan, P., Follak, S., Kůzmič, F., Lososová, Z., Meyer, S., Moser, D., Pyšek, P., Richner, N., Šilc, U., Wietzke, A., Dullinger, S., & Essl, F. (2022). AgriWeedClim database: A repository of vegetation plot data from Central European arable habitats over 100 years. *Applied Vegetation Science*, 25(3), e12675. <https://doi.org/10.1111/avsc.12675>

- Follak, S., Chapman, D., Schwarz, M., & Essl, F. (2023). An emerging weed: rapid spread of *Solanum carolinense* in Austria. *BiolInvasions Records*, 12(3), 649–658. <https://doi.org/10.3391/bir.2023.12.3.02>
- Glaser, M., Dullinger, S., Moser, D., Wessely, J., Chytrý, M., Lososová, Z., Axmanová, I., Berg, C., Bürger, J., Buholzer, S., Buldrini, F., Chiarucci, A., Follak, S., Kůzmič, F., Meyer, S., Pyšek, P., Richner, N., Šilc, U., Steinkellner, S., ... Essl, F. (2024). Pronounced turnover of vascular plant species in Central European arable fields over 90 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 361(October 2023), 108798. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108798>
- Glaser, M., Essl, F., & Follak, S. (2024). Austrian farmers perception of new weeds. *Plant-Environment Interactions*, 5(1), 1–11. <https://doi.org/10.1002/pei3.10129>
- Follak, S., Glaser, M., Griesbacher, A., & Essl, F. (2024). Crops gone wild – weedy *Helianthus annuus* L. in Austria. *BiolInvasions Records*, 13(3), 565–576. <https://doi.org/10.3391/bir.2024.13.3.01>
- Essl, F., Follak, S., & Glaser, M. (2025). Changes in weed vegetation across transects in maize fields. *Basic and Applied Ecology*, 82, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2024.11.006>
- Colling, G., Glaser, M., Buholzer, S., Bürger, J., Chytrý, M., Fanfarillo, E., Jansen, F., Kolárová, M., Kůzmič, F., Lososová, Z., Schumacher, M., Šilc, U., Wietzke, A., Dullinger S., Essl, F. (zur Veröffentlichung angenommen im Jänner 2025). Ninety years of alien plant species accumulation across regional and local scales in central European fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

Geplante wissenschaftliche Publikationen

- Follak S., Schwarz M., Essl F. (2025). *Artemisia verlotiorum* as an emerging weed in agricultural fields in Austria. *BiolInvasions Records* (eingereicht am 17.9.2024)
- Hörmann, G. (2025). Projected climatic suitability of emerging agricultural weeds under climate change in Central Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* (Einreichung geplant am 15.3.2025).

Dissertationen

- Glaser, M. (2023). Past, present and future weeds. Doctoral thesis, University of Vienna. <http://http://urn:nbn:at:at-ubw:1-20152.89061.499533-2>
- Hörmann, G. (2025). Projected climatic suitability of emerging agricultural weeds under climate change in Central Europe. Master thesis, University of Vienna. (nach der Defensio am 6. Februar online verfügbar)

Stakeholder-orientierte Publikationen

- Follak S. (2022): Der Kompass-Lattich – ein aufkommendes Unkraut? *Der Pflanzenarzt* 75(9-10), 18–19.
- Danihelka J. (2022): Hlaváček letní, rostlina roku 2022, a jeho příbuzní. *Živa* 119: 1–4.
- Follak S., Essl F., Glaser M. (2023): Neue und aufkommende Unkräuter. *Blick ins Land* 1/2023, 24–25.
- Follak S. (2023): Der Kamtschatka-Beifuß – ein Problemunkraut mehr? *Der Pflanzenarzt* 76(9-10), S. 24–25.

- Follak, S. (2023): Ein neues Unkraut in Gemüsekulturen: der Kamtschatka-Beifuß. *Gemüsebaupraxis* 30, 28–29 (Ausgabe 6/2023).
- Follak S., Essl F., Glaser M. (2023): Unkrautflora im Wandel. *Der Pflanzenarzt* 76(11-12), S. 7–9.
- Glaser M., Follak S., Essl F. (2024): Wie gehen heimische Betriebe mit den „Neuen“ um? *Die Landwirtschaft* Mai/2024, 34–35.

Präsentationen

- Das AgriWeedClim-Projekt wurde an der Masaryk-Universität (Projektpartner) vorgestellt. Eine Aufzeichnung des Vortrags ist hier verfügbar: <https://www.youtube.com/watch?v=2pAT4UEAjfc>
- Die Analyse von Biodiversitätsveränderungen in mitteleuropäischen Ackerflächen (siehe oben) wurde auf zwei wissenschaftlichen Konferenzen präsentiert: dem EWRS-Symposium in Athen, Griechenland (Juni 2022), und der NeoBiota-Konferenz in Tartu, Estland (September 2022).
- Die Auswertung der Online-Befragung österreichischer Landwirtinnen und Landwirte wurde auf den Österreichischen Pflanzenschutztagen (Oktober 2022) vorgestellt (<http://www.oeaip.at/veranstaltungen/oesterreichische-pflanzenschutztage-2022/>).
- Die Analyse von Biodiversitätsveränderungen wurde beim EWRS-Symposium „Biodiversity and Weeds“ (Mai 2023) sowie auf der ALVA-Konferenz (einem Vernetzungssymposium zwischen Wissenschaft und Praxis, ebenfalls Mai 2023) präsentiert.
- Der gesamte Inhalt des AgriWeedClim-Projekts wurde sowohl in Form einer Präsentation als auch eines Posters auf dem 23. Klimatag (April 2023) vorgestellt.
- Michael Glaser präsentierte das AgriWeedClim-Projekt in einem Studierendenseminar an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) im März 2023, in einem Seminar in Graz (Juni 2023) sowie an der Universität Rostock in Deutschland (November 2023).
- Zdeňka Lososová hielt im November 2023 auf der Konferenz der Tschechischen Botanischen Gesellschaft einen Vortrag über Veränderungen der Unkrautflora in der Tschechischen Republik.
- Die „Top 20 neuen und aufkommenden Unkräuter“ wurden im April 2024 in einem Workshop mit Expertinnen und Experten der AGES (Institut für nachhaltige Pflanzenproduktion sowie Abteilung für Bodengesundheit und Pflanzenernährung) in Wien präsentiert und diskutiert.
- Projektresultate sowie weitere Projekte und Arbeiten rund um die Verbreitung und Bekämpfung von Unkräutern wurden bei der Abschlussveranstaltung an der AGES in Wien (Oktober 2024) vorgestellt. Das Programm der Veranstaltung kann unter https://akademie.ages.at/abschlussveranstaltung_agriweedclim/programm.html abgerufen werden. Teilnehmende waren relevante Expert*innender Landwirtschaftskammern, des Umweltbundesamts und landwirtschaftlicher Fachzeitschriften.

9 Quellenangaben

- Alvarez, S., & Solis, D. (2019). Rapid Response Lowers Eradication Costs of Invasive Species: Evidence from Florida. *Choices*, 33(4), 1–9.
- Brunel, S., Branquart, E., Fried, G., Valkenburg, J. Van, Brundu, G., Starfinger, U., Buholzer, S., Uludag, A., Joseffson, M., Baker, R., & Biasi, V. (2010). The EPPO prioritization process for invasive alien plants. *EPPO Bulletin*, 40, 407–422.
- Bürger, J., Metcalfe, H., von Redwitz, C., Cirujeda, A., Fogliatto, S., Fried, G., Fu Dostatny, D., Glemnitz, M., Gerowitt, B., González-Andújar, J. L., Hernández Plaza, E., Izquierdo, J., Kolářová, M., Nečajeva, J., Petit, S., Pinke, G., Schumacher, M., Ulber, L., & Vidotto, F. (2020). Arable Weeds and Management in Europe. *Vegetation Classification and Survey*, 1, 169–170. <https://doi.org/10.3897/vcs/2020/61419>
- Chen, I., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). Rapid Range Shifts of Species. *Science*, 333(6045), 1024–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432>
- Chytrý, M., Hennekens, S. M., Jiménez-Alfaro, B., Knollová, I., Dengler, J., Jansen, F., Landucci, F., Schaminée, J. H. J., Ačić, S., Agrillo, E., Ambarlı, D., Angelini, P., Apostolova, I., Attorre, F., Berg, C., Bergmeier, E., Biurrun, I., Botta-Dukát, Z., Brisse, H., ... Yamalov, S. (2016). European

- Vegetation Archive (EVA): an integrated database of European vegetation plots. *Applied Vegetation Science*, 19(1), 173–180. <https://doi.org/10.1111/avsc.12191>
- Chytrý, M., Jarošík, V., Petřík, P., Hájek, O., Knollová, I., Tichý, L., & Danihelka, J. (2008). Separating Habitat Invasibility by Alien Plants from the Actual Level of Invasion. *Ecology*, 89(6), 1541–1553.
- Chytrý, M., Tichý, L., Hennekens, S. M., Knollová, I., Janssen, J. A. M., Rodwell, J. S., Peterka, T., Marcenò, C., Landucci, F., Danihelka, J., Hájek, M., Dengler, J., Novák, P., Zukal, D., Jiménez-Alfaro, B., Mucina, L., Abdulhak, S., Ačić, S., Agrillo, E., ... Schaminée, J. H. J. (2020). EUNIS Habitat Classification: Expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats. *Applied Vegetation Science*, 23(4), 648–675. <https://doi.org/10.1111/avsc.12519>
- Colling, G., Glaser, M., Buholzer, S., Bürger, J., Chytrý, M., Fanfarillo, E., Jansen, F., Kolárová, M., Kůzmič, F., Lososová, Z., Schumacher, M., Šilc, U., Wietzke, A., Dullinger, S., Essl, F. (zur Veröffentlichung angenommen im Jänner 2025). Ninety years of alien plant species accumulation across regional and local scales in central European fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Dawson, T. P. (2011). *Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing Climate*. 53. <https://doi.org/10.1126/science.1200303>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- IPCC. (2022). Summary for Policymakers. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, & A. Okem (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Kattge, J., Bönsch, G., Díaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., Tautenhahn, S., Werner, G. D. A., Aakala, T., Abedi, M., Acosta, A. T. R., Adamidis, G. C., Adamson, K., Aiba, M., Albert, C. H., Alcántara, J. M., Alcázar, C. C., Aleixo, I., Ali, H., ... Wirth, C. (2020). TRY plant trait database – enhanced coverage and open access. *Global Change Biology*, 26(1), 119–188. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
- Kůzmič, F., Šilc, U., Lososová, Z., Mucina, L., Chytrý, M., Knollová, I., Hennekens, S. M., Berg, C., Bergmeier, E., Biurrun, I., Fanfarillo, E., Font, X., Iakushenko, D., Kovačević, Z., Meyer, S., Nagy, K., Pinke, G., Poranen, E., Tereshenko, S., ... Tereshenko, S. (2020). European weed vegetation database – A gap-focused vegetation-plot database. *Phytocoenologia*, 50(1), 93–100. <https://doi.org/10.1127/phyto/2019/0337>
- Lososová, Z., Chytrý, M., Cimalová, S., Kropáč, Z., Otýpková, Z., Pyšek, P., & Tichý, L. (2004). Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. *Journal of Vegetation Science*, 15, 415–422. <https://doi.org/10.5586/asbp.3637>
- Lososová, Zdeňka, & Simonová, D. (2008). Changes during the 20th century in species composition of synanthropic vegetation in Moravia (Czech Republic). *Preslia*, 80(3), 291–305.
- Midolo, G., Herben, T., Axmanová, I., Marcenò, C., Pätsch, R., Bruehlheide, H., Karger, D. N., Ačić, S., Bergamini, A., Bergmeier, E., Biurrun, I., Bonari, G., Čarni, A., Chiarucci, A., De Sanctis, M., Demina, O., Dengler, J., Dziuba, T., Fanelli, G., ... Chytrý, M. (2023). Disturbance indicator values for European plants. *Global Ecology and Biogeography*, 32(1), 24–34. <https://doi.org/10.1111/geb.13603>
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., Wilbanks, T. J., ... Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Mucina, L., Bültmann, H., Dierßen, K., Theurillat, J.-P., Raus, T., Čarni, A., Šumberová, K., Willner, W., Dengler, J., Gavilán García, R., Chytrý, M., Hájek, M., Di Pietro, R., Iakushenko, D., Pallas, J., Daniëls, F. J. A., Bergmeier, E., Santos Guerra, A., Ermakov, N., ... Tichý, L. (2016). Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen and algal communities. *Applied Vegetation Science*, 19(December), 3–264. <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37–42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>
- Peters, K., Breitsameter, L., & Gerowitt, B. (2014). Impact of climate change on weeds in agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4), 707–721. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0245-2>
- Poschlod, P. (2015). The Origin and Development of the Central European Man-made Landscape, Habitat and Species Diversity as Affected by Climate and its Changes – a Review. *Interdisciplinaria Archaeologica Natural Sciences in Archaeology*, VI(2), 197–221.
- Pyšek, P., Richardson, D. M., Rejmánek, M., Webster, G. L., Williamson, M., & Kirschner, J. (2004). Alien plants in checklists and floras: Towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*, 53(1), 131–143. <https://doi.org/10.2307/4135498>
- Raunkjær, C. (1907). *The life forms of the plant kingdom and their significance for geography (Danish)* (1st ed.). Nordisk.
- Reaser, J. K., Burgiel, S. W., Kirkey, J., Brantley, K. A., Veatch, S. D., & Burgos-Rodríguez, J. (2020). The early detection of and rapid response (EDRR) to invasive species: a conceptual framework and federal capacities assessment. *Biological Invasions*, 22(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02156-w>
- Seebens, H., Essl, F., Dawson, W., Fuentes, N., Weber, E., Winter, M., Moser, D., Pergl, J., Pyšek, P., van Kleunen, M., Weber, E., Winter, M., & Blasius, B. (2015). Global trade will accelerate plant invasions in emerging economies under climate change. *Global Change Biology*, 21(11), 4128–4140. <https://doi.org/10.1111/gcb.13021>
- Storkey, J., Meyer, S., Still, K. S., & Leuschner, C. (2012). The impact of agricultural intensification and land-use change on the European arable flora. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1732), 1421–1429. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1686>
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD - A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369–373. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x>
- Tichý, L., Axmanová, I., Dengler, J., Guarino, R., Jansen, F., Midolo, G., Nobis, M. P., Van Meerbeek, K., Ačić, S., Attorre, F., Bergmeier, E., Biurrun, I., Bonari, G., Bruelheide, H., Campos, J. A., Čarni, A., Chiarucci, A., Čuk, M., Čušterevska, R., ... Chytrý, M. (2023). Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*, 34(1), e13168. <https://doi.org/10.1111/jvs.13168>
- Weber, E., & Gut, D. (2005). A survey of weeds that are increasingly spreading in Europe. *Agron. Sustain. Dev*, 25, 109–121. <https://doi.org/10.1051/agro:2004061>

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

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