



Bestäubung von Kulturpflanzen durch Wild- und Honigbienen in der Schweiz

Bedeutung, Potential für Ertragssteigerungen und Fördermassnahmen

Autoren

Louis Sutter, Dominik Ganser, Felix Herzog und Matthias Albrecht

Partner

Jean-Daniel Charrière, Vincent Dietemann, Simon Schweizer, Stefan Kuske, André Ançay, Thomas Steinger



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	matthias.albrecht@agroscope.admin.ch
Redaktion	Louis Sutter, Dominik Ganser, Felix Herzog und Matthias Albrecht
Titelbild	© Martin Entling, Universität Koblenz-Landau: Wildbiene (Sandbiene, <i>Andrena</i> sp.) fliegt Kirschblüte an
Download	Agroscope Science
Copyright	© Agroscope 2021
ISSN	2296-729X
DOI	10.34776/as127g

Haftungsausschluss: Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	7
Summary	10
1 Bestäuber, Bestäubung und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft	12
1.1 Globale Bedeutung der Bestäubung	12
1.2 Nachfrage nach Bestäubungsleistungen	13
1.2.1 Obstanbau	13
1.2.2 Beerenanbau	14
1.2.3 Ackerkulturen	14
2 Der Wert der Insektenbestäubung für die Schweizer Landwirtschaft	15
2.1 Geschätzte jährliche Produktionswerte	15
3 Vorkommen und Verteilung von Wild- und Honigbienen in der Schweiz	16
3.1 Honigbienenbestände	16
3.2 Wildbienen in der Schweiz	17
3.3 Modellansätze zur Vorhersage von Wild- und Honigbienen in Kulturen	18
3.3.1 Modellansatz zur räumlichen Vorhersage von Wildbienenhäufigkeiten	18
3.3.2 Bewertung des Modellansatzes für Wildbienen	21
3.3.3 Bewertung des Modellansatzes zur Vorhersage von Honigbienenendichten	22
4 Schätzung der Ertragslimitierung aufgrund sub-optimaler Bestäubung (Felduntersuchungen)	23
4.1 Nicht ausgeschöpfte Ertragspotentiale verschiedener Insekten-bestäubter Kulturen	23
4.1.1 Apfelproduktion	25
4.1.2 Kirschenproduktion	27
4.1.3 Rapsproduktion	28
4.1.4 Himbeerproduktion	28
4.1.5 Ackerbohnenproduktion	28
4.2 Landschaft und Bewirtschaftung als beeinflussende Faktoren der Ertragslimitierung	29
4.2.1 Einfluss von Naturwiesen und Wald auf die bestäubungsabhängige Ertragslimitierung	30
4.2.2 Einfluss kommerzieller Bestäuber auf die bestäubungsabhängige Ertragslimitierung	31
4.2.3 Interaktive Effekte von Landschaft und Bewirtschaftung auf die Ertragslimitierung	32
5 Förderung von Bestäubungsleistungen durch Blühstreifen	34
5.1 Effekte von Blühstreifen für Bestäuber auf Blütenbesuche und Bestäubung in angrenzenden Erdbeerkulturen	34
5.2 Effekte von mehrjährigen Blühstreifen (Buntbrachen) auf Bestäubung im Raps	36
5.3 Meta-Analyse zu Faktoren der Effektivität von Blühstreifen zur Bestäubungsförderung	37
6 Synthese	38
6.1 Bedeutung der Insektenbestäubung und nicht ausgeschöpfte Ertragspotentiale	38
6.2 Bedeutung verschiedener Bestäuber für die untersuchten Kulturen	38
6.3 Modellbasierte Vorhersagen von Bestäubern in Kulturen und von Bestäubungsleistungen	39
6.4 Förderung von Bienen und deren Bestäubungsleistungen	39
6.5 Forschungsbedarf	40
7 Literaturverzeichnis	42
8 Anhänge	47
8.1 Anhang 1	47

Zusammenfassung

Bestäubung von Kulturpflanzen durch Wild- und Honigbienen in der Schweiz: Bedeutung, Potential für Ertragssteigerungen und Fördermassnahmen

Bestäubende Insekten, wie die domestizierte Honigbiene, sowie zahlreiche Wildbienenarten und weitere Wildbestäuber, spielen eine essentielle Rolle in der Erbringung von Bestäubungsleistungen für landwirtschaftliche Kulturen und Wildpflanzen in Agrarökosystemen. Bestäuber sind jedoch unter Druck durch den Verlust und die Fragmentierung ihrer Lebensräume, Nahrungsknappheit, intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung, Pflanzenschutzmittel, Klimawandel und einheimische und eingeschleppte Krankheitserreger und Pathogene, sowie durch das Zusammenspiel all dieser Faktoren.

Daten für die Schweizer Landwirtschaft bzgl. der ökonomischen Bedeutung von Bestäubungsleistungen, der Rolle von Wildbestäubern und der Honigbiene bei der Erbringung dieser Leistungen sowie der Auswirkungen auf mögliche Bestäubungsdefizite landwirtschaftlicher Kulturen waren bis vor Kurzem kaum vorhanden. Im Jahr 2014 beschloss der Bundesrat den Nationalen Massnahmenplan für die Gesundheit der Bienen in der Schweiz. Dieser Bericht fasst die u. a. vom Bundesamt für Landwirtschaft in Auftrag gegebenen Arbeiten von Agroscope und ihren Forschungspartnern zur Verbesserung der Datenlage, zu neuen Kenntnisse zu diesem Fragenkomplex und zu möglichen Massnahmen zur Förderung von Bienen und Bestäubungsleistungen zusammen.

Die Arbeiten zeigen den grossen ökonomische Wert der hauptsächlich Honig- und Wildbienen erbrachten Bestäubungsleistungen für die Schweizer Landwirtschaft. Alleine der direkte jährliche Produktionswert wurde im Referenzjahr 2014 auf 341 Millionen Schweizer Franken geschätzt. Im Durchschnitt scheint die Bestäubung durch Insekten in den meisten untersuchten Kulturen (Apfel, Kirsche, Raps, Ackerbohne, Himbeere) relativ gut zu sein. In einzelnen Kulturen sind jedoch teils signifikante Produktionssteigerungen durch verbesserte Insektenbestäubung möglich. Dazu gehört z. B. eine Erhöhung des mittleren Ertrags von Kirschen um 10% oder die Erhöhung der Qualität des Ernteguts (z. B. 10% grössere Äpfel der Sorte Gala; weniger deformierte Himbeeren), was wirtschaftlich für die Produzenten sehr relevant ist. Diese Resultate wurden unter optimalen Bestäubungsbedingungen im Jahr 2018 erzielt. In Jahren mit weniger idealen Bedingungen ist möglicherweise mit erheblich grösseren bestäubungsbedingten Ertragslimitierungen zu rechnen. Auffällig war die erhebliche Streuung der bestäubungsbedingten Ertragslimitierung (bis zu 30%) zwischen einzelnen Standorten. In Kirsche und Apfel konnte die Variation gut über Unterschiede in der Anzahl von Honigbienen und bei Kirschen hauptsächlich über die Anzahl und Diversität von Wildbienen erklärt werden. Diese wurden wiederum durch den Anteil an halbnatürlichen Lebensräumen, insbesondere von Biodiversitätsförderflächen (BFF) in der Umgebung der Obstanlagen beeinflusst. In strukturarmen Landschaften konnten die durch den Mangel an Wildbienen verursachten Ertragslimitierungen durch den Einsatz von domestizierten Bestäubern teilweise ausgeglichen werden.

Die Honigbiene war in einigen Kulturen die häufigste Bestäuberart und sie war im Durchschnitt für ca. 50% der Blütenbesuche verantwortlich. Insbesondere Kulturen wie Apfel oder auch Raps sind für eine optimale Bestäubung auf in genügend hoher Zahl vorhandene Honigbienen angewiesen. Daneben konnten in der relativ geringen Anzahl an untersuchten Kulturen und Standorten insgesamt über 80 verschiedene Wildbienenarten festgestellt werden. Die Zusammensetzung der Bestäuber-Gemeinschaften war je nach Kultur sehr unterschiedlich. Während in Apfelanlagen die Honigbiene meist klar dominierte, spielten für Kirsche und Himbeere, unabhängig von Honigbienenabundanzen, verschiedene Wildbienen-Gruppen (z. B. Sandbienen-Arten *Andrena* sp. oder Hummelarten *Bombus* sp.) eine zentrale Rolle. Hummeln waren auch mit Abstand die wichtigsten Bestäuber von Ackerbohnen und generell wichtige Bestäuber vieler Kulturen, dank ihrer meist hohen Bestäubungseffizienz und der Erbringung von Bestäubungsleistungen auch bei tiefen Temperaturen und schlechter Witterung.

Für die genauer untersuchten Kulturen Apfel und Kirsche zeigen die Untersuchungen, dass eine optimale Bestäubung hinsichtlich Ertrag und Qualität durch die Komplementarität von Honigbienen mit Arten- und individuenreichen Wildbienengemeinschaften erreicht wird. In der Kirschenproduktion wurden bei einer hohen

Anzahl von verschiedenen Wildbienengruppen und hoher Wildbienendiversität höhere Erträge erzielt, weil die Bestäubergemeinschaften dadurch Temperaturnischen optimal abdecken.

Robuste Vorhersagen von Bestäubern, Bestäubungsleistungen oder dem bestäubungsabhängigen Ertragssteigerungspotential in landwirtschaftlichen Kulturen mit Hilfe von räumlichen Modellen sind mit den zur Verfügung stehenden Inputdaten und aufgrund der Komplexität an Einflussfaktoren nicht verlässlich möglich. Für Honigbienen lassen sich gewisse Aussagen über die Anzahl und Verteilung der Völker und der zu bestäubenden Kulturen machen, aber präzise Vorhersagen sind auch hier nur sehr begrenzt möglich, mitunter aufgrund der grossen Flugradien und dem komplexen Sammelverhalten von Honigbienenvölkern. Für Wildbienen haben die Modelle aufgrund der mangelhaften Input-Daten (beispielsweise bzgl. Lebensraumansprüchen, Flugradien, Sammelverhalten) meist gar keine Vorhersagen erlaubt. Auch die geringe räumliche und zeitliche Auflösung von vorhandenen Daten bzgl. kleiner und kleinster potentiell wichtiger Nahrungs- und Nisthabitate und Kleinstrukturen erschwert eine verlässliche Vorhersage von Wildbienen und deren Bestäubungsleistung. Der Ansatz der räumlichen Modellierung für ein Monitoring von Bestäubern oder indirekt von Bestäubungsleistungen wird deshalb nicht empfohlen; für ein Monitoring scheinen demnach direkte Datenerhebungen in Feld unerlässlich.

Um die Bestäubung von landwirtschaftlichen Kulturen in der Schweiz langfristig zu gewährleisten wird empfohlen, die bestehenden Massnahmen zur Förderung von Wildbestäubern und Honigbienen weiterzuführen und weiter zu optimieren. Die im Zuge des Nationalen Massnahmenplans für die Gesundheit der Bienen (2014, 2016) eingeführten Blühstreifen für Bestäuber werden hauptsächlich von polylektischen (generalisierten) Wildbienen und Honigbienen als Nahrungsquelle genutzt. Sie können nachweislich den Reproduktionserfolg solcher Wildbienenarten fördern. Gefährdete Wildbienenarten wurden jedoch nur in relativ geringer Zahl in den Blühstreifen gefunden. Darüber hinaus haben die Blühstreifen einen räumlich begrenzten, positiven Effekt auf die Erdbeerbestäubung, wenn sie neben Erdbeerefeldern angesät werden. Für die meisten Wildbienenarten ist hierbei ein frühes Blühangebot im Jahr wichtig, was jedoch durch einjährige, im Frühjahr angesäte, Blühstreifen kaum erreicht werden kann. Solche Blühstreifen sind vielmehr zur Reduktion der Trachtlücke im Sommer geeignet. Davon profitieren koloniebildende Hummeln und Honigbienen, aber auch eine Reihe von Wildbienenarten mit eher späten Aktivitätsperioden. Mehrjährige Blühstreifen und allenfalls im Herbst des Vorjahres angesäte Blühstreifen sind grundsätzlich besser geeignet, um ein frühes Blühangebot zu erreichen. Mehrjährige Blühstreifen können auch Nistmöglichkeiten bieten, und dadurch dazu beitragen, Wildbestäuberpopulationen über mehrere Jahre aufzubauen und so Bestäubungsleistungen in Kulturen zu fördern. Die aktuelle Zusammensetzung an eher spät blühenden Pflanzenarten in mehrjährigen Buntbrachen ist nicht geeignet, um ein frühes Blühangebot zu erreichen.

Des Weiteren zeigen verschiedene Studien die Wichtigkeit vielfältiger Agrarlandschaften mit einem hohen Anteil an verschiedenen gehölzreichen, halb-natürlichen Habitaten wie artenreiche Waldränder und Hecken zusammen mit krautigen, blütenreichen Lebensräumen wie extensiv genutzte Wiesen, Buntbrachen oder Blühstreifen für Bestäuber. Diese können ein kontinuierliches Blütenangebot sowie Nist- und Überwinterungsmöglichkeiten schaffen, welche insbesondere für Wildbienen entscheidend sind. Explizit konnte gezeigt werden, dass die Extensivierung von Wiesen die Häufigkeit und Diversität von Wildbienen stark erhöhen kann, verglichen mit intensiv genutzten Wiesen, was auf ein verbessertes Blütennahrungsangebot sowie bessere Nistmöglichkeiten zurückgeführt werden konnte. Dies kann sich positiv auf die Bestäubungsleistungen in umliegenden Kulturen auswirken.

Weiterer Forschungsbedarf besteht, um besser zu verstehen, wie bestehende Massnahmen weiter optimiert werden können, und welche weiteren Massnahmen zur Förderung von Bestäubern und Bestäubungsleistungen beitragen können. Beispielsweise wäre es sinnvoll, permanente Blühflächen mit Nistmöglichkeiten für Wildbienen im Obst-, Beeren- und Ackerbau weiter zu entwickeln. Es wären Massnahmen zu evaluieren, welche Bestäuber auch auf der Produktionsfläche im Ackerbau fördern könnten, beispielsweise mittels blütenreichen Untersaaten (z. B. Leguminosen in Mais, Getreide, Sonnenblumen). Zurzeit wird die Wirksamkeit der Verschiebung des Schnitttermins von blühenden Kunst- und Naturwiesen mit hohem Klee-Anteil auf die Zeit nach der Trachtlücke im (Früh-)Sommer evaluiert. Schliesslich haben Massnahmen zur Schaffung von wichtigen Nisthabitaten für Wildbienen, beispielsweise durch die Anlage von Sandhaufen für bodennistende Wildbienen oder die gezielte Förderung von Nistkleinstrukturen das Potential, mit wenig Flächenbedarf Wildbienen und ihre Bestäubungsleistungen zu fördern. Diese und weitere

Massnahmen werden im Rahmen der beiden Ressourcenprojekte «Agriculture et Pollinisateurs» und «Bienenfreundliche Landwirtschaft im Kanton Aargau» auf ihren Einfluss auf Bestäuberpopulationen und auf ihre Akzeptanz bei Landwirtinnen und Landwirten untersucht. Das Ziel ist es, gemeinsam mit weiteren Stakeholdern wirksame, praxistaugliche und breit akzeptierte Massnahmen weiter zu entwickeln, um Bestäuber und Bestäubungsleistungen in Schweizer Agrarökosystemen möglichst effektiv schützen, fördern und nutzen zu können.

Résumé

Pollinisation des cultures par les abeilles sauvages et domestiques en Suisse: importance, potentiel d'augmentation du rendement et mesures de promotion

Les insectes pollinisateurs, parmi lesquels les abeilles domestiques, mais également de nombreuses espèces d'abeilles sauvages ou d'autres pollinisateurs, jouent un rôle essentiel dans la pollinisation des plantes cultivées ou sauvages dans les écosystèmes agricoles. Ces pollinisateurs sont cependant soumis à des pressions diverses dues à la perte et à la fragmentation de leurs habitats, à la pénurie de nourriture, à l'exploitation agricole intensive, aux produits phytosanitaires, au changement climatique, aux agents pathogènes – qu'ils soient indigènes ou introduits – de même qu'à l'interaction de tous ces facteurs.

Jusqu'à récemment, on ne disposait que de rares données pour l'agriculture suisse sur l'importance économique des services de pollinisation, sur le rôle à cet égard des pollinisateurs sauvages et des abeilles domestiques ainsi que sur les déficits potentiels de pollinisation des cultures. En 2014, le Conseil fédéral a adopté un plan d'action national pour la santé des abeilles en Suisse. Le présent rapport donne un aperçu des travaux réalisés par Agroscope et ses partenaires de recherche, sur mandat de l'Office fédéral de l'agriculture, afin d'améliorer les données, d'acquérir de nouvelles connaissances sur cette problématique complexe et de définir des mesures possibles de promotion des abeilles et des pollinisations.

Ces travaux montrent l'importante valeur économique des services de pollinisation, dont l'agriculture suisse est principalement redevable aux abeilles domestiques et sauvages. Pour la seule année de référence de 2014, la valeur de production annuelle directe a été estimée à 341 millions de francs suisses. Dans la plupart des cultures étudiées (pommes, cerises, colza, féveroles, framboises), la pollinisation par les insectes semble être relativement bonne. Cependant, des augmentations significatives du rendement sont possibles dans certaines cultures, en améliorant la pollinisation par les insectes. Le rendement moyen des cerises pourrait ainsi augmenter de 10% et la qualité d'autres fruits pourrait également en bénéficier (par exemple 10% de pommes plus grosses pour la variété Gala ou moins de framboises déformées), ce qui d'un point de vue économique est loin d'être négligeable pour les producteurs. Ces résultats ont été obtenus en 2018, dans des conditions de pollinisation optimales. Les années où les conditions sont moins idéales, on peut s'attendre à des limitations du rendement liées à la pollinisation beaucoup plus importantes. Des écarts importants de limitation du rendement (jusqu'à 30%), en lien avec la pollinisation, ont été constatés entre les différents sites. Dans le cas des cerises et des pommes, des différences dans le nombre d'abeilles domestiques expliquaient bien la variation. En ce qui concerne les cerises, le nombre et la diversité des abeilles sauvages ont également joué un rôle prépondérant, l'un et l'autre étant influencés par la part d'habitats semi-naturels – notamment des surfaces de promotion de la biodiversité (SPB) – à proximité des vergers. Dans les paysages banalisés, les limitations du rendement dues au manque d'abeilles sauvages ont pu être partiellement compensées par le recours à des pollinisateurs domestiques.

Dans certaines cultures, l'abeille domestique a été l'espèce pollinisatrice la plus fréquente et était responsable en moyenne de près de 50% des visites de fleurs. Les cultures de pommes ou de colza, en particulier, dépendent pour une pollinisation optimale d'un nombre suffisamment élevé d'abeilles domestiques. En outre, malgré le nombre relativement faible de cultures et de sites étudiés, plus de 80 espèces d'abeilles sauvages y ont été recensées. La composition des communautés de pollinisateurs a considérablement varié selon les cultures. Alors que l'abeille domestique était clairement dominante dans les vergers de pommes, différents groupes d'abeilles sauvages (parmi lesquels les abeilles des sables *Andrena* sp. ou les bourdons *Bombus* sp.) ont joué un rôle central pour les cerises et les framboises, et cela indépendamment de l'abondance des abeilles domestiques. Les bourdons ont également été – et de loin – les principaux pollinisateurs des féveroles. Ils ont aussi joué un rôle important dans la pollinisation de nombreuses autres cultures, grâce à une efficacité de pollinisation généralement élevée et des activités déployées même à basse température ou par mauvais temps.

Dans le cas des pommes et des cerises, les cultures les plus étudiées, les recherches ont montré qu'une pollinisation optimale, aussi bien en termes de rendement que de qualité, dépendait de la complémentarité des abeilles domestiques et de communautés d'abeilles sauvages riches en espèces et en individus. En ce qui concerne les cerises, des rendements plus élevés ont été obtenus avec un grand nombre de groupes d'abeilles sauvages ainsi qu'une grande diversité d'espèces, les communautés de pollinisateurs couvrant ainsi de manière optimale les différentes niches de température.

Sur la base des données disponibles et en raison de la complexité des facteurs d'influence, il n'est guère possible de fournir de prévisions fiables au moyen de modèles spatiaux sur les pollinisateurs, les services qu'ils fournissent ou encore le potentiel d'augmentation du rendement dépendant de la pollinisation dans les cultures. Concernant les abeilles domestiques, on peut certes dégager certaines observations en fonction du nombre et de la répartition des colonies ainsi que des cultures à polliniser, mais ici aussi des prévisions précises ne sont possibles que dans une mesure limitée, en raison des grands rayons de vol et du comportement de collecte complexe des colonies d'abeilles domestiques. Pour les abeilles sauvages, les modèles n'ont généralement pas permis de faire de prévisions, les données d'entrée étant lacunaires (notamment sur les exigences en matière d'habitat, les rayons de vol, le comportement de collecte). Il est également difficile de fournir des prévisions fiables sur les abeilles sauvages et leurs services de pollinisation, en raison de la faible résolution spatiale et temporelle des données disponibles sur les petites structures et les micro-habitats de collecte et de nidification potentiellement importants. L'approche de la modélisation spatiale pour un monitoring des pollinisateurs ou – indirectement – des services qu'ils fournissent n'est donc pas judicieuse; des relevés de terrain semblent par contre indispensables à cet effet.

Afin de garantir à long terme la pollinisation des cultures en Suisse, il est recommandé de poursuivre et d'optimiser les mesures existantes de promotion des pollinisateurs sauvages et des abeilles domestiques. Les bandes fleuries pour les pollinisateurs, introduites dans le cadre du plan d'action national pour la santé des abeilles (2014, 2016), sont utilisées comme source de nourriture principalement par les abeilles domestiques et les abeilles sauvages polylectiques (généralistes). Il est établi que les bandes fleuries favorisent le succès de reproduction de ces dernières. Toutefois, des espèces d'abeilles sauvages menacées n'ont été recensées qu'en nombre relativement faible dans les bandes fleuries. Par ailleurs, lorsque ces bandes fleuries ont été semées à proximité d'un champ de fraises, l'effet positif sur la pollinisation des fraises s'est avéré limité dans l'espace. Pour la plupart des espèces d'abeilles sauvages, une floraison précoce est importante, ce que des bandes annuelles semées au printemps ne permettent guère de viser. De telles bandes fleuries permettent davantage de surmonter les périodes estivales sans miellée. Elles profitent aux colonies de bourdons et d'abeilles domestiques, mais également à toute une série d'abeilles sauvages dont la période d'activité est plus tardive. Les bandes fleuries pérennes, ou tout au moins celles qui sont semées en automne de l'année précédente, se prêtent généralement mieux à l'obtention d'une floraison précoce. Les bandes fleuries pérennes offrent également davantage de possibilités de nidification. Elles contribuent donc à la constitution de populations de pollinisateurs sauvages sur plusieurs années, favorisant ainsi les services de pollinisation dans les cultures. La composition actuelle d'espèces à floraison plutôt tardive dans les jachères florales pluriannuelles ne permet pas d'améliorer l'offre printanière en fleurs.

En outre, plusieurs études montrent l'importance de paysages agricoles diversifiés comportant une grande part d'habitats semi-naturels richement boisés, tels que lisières et haies riches en espèces, en combinaison avec des herbages richement fleuris, tels que prairies extensives, jachères et bandes fleuries pour les pollinisateurs. Ces paysages diversifiés offrent un approvisionnement continu en fleurs ainsi que des sites de nidification et d'hivernage particulièrement précieux pour les abeilles sauvages. Il est clairement établi que l'extensification des prairies augmente de manière importante la fréquence et la diversité des abeilles sauvages. Par rapport aux prairies intensives, les surfaces extensives offrent davantage de ressources en nectar et en pollen ainsi que de meilleures possibilités de nidification. Cela peut se répercuter positivement sur les services de pollinisation dans les cultures alentour.

Des recherches complémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre comment les mesures actuelles peuvent être optimisées et quelles autres mesures pourraient contribuer à la promotion des pollinisateurs et des services qu'ils fournissent. Il serait ainsi judicieux d'instaurer davantage de surfaces fleuries permanentes offrant des

possibilités de nidification dans les vergers, les cultures de baies et les grandes cultures. Il conviendrait aussi d'évaluer les mesures qui pourraient favoriser les pollinisateurs également sur la surface productive des grandes cultures, par exemple au moyen de sous-semis riches en fleurs (tels que légumineuses dans le maïs, les céréales ou les tournesols). On évalue actuellement l'utilité de reporter la date de fauche des prairies fleuries artificielles et naturelles à haute teneur en trèfle après le trou de miellée, en début d'été. Enfin, les mesures visant à créer des habitats de nidification pour les abeilles sauvages – par exemple par l'aménagement de tas de sable pour les espèces nichant au sol ou la promotion ciblée de petites structures de nidification – permettent de favoriser les abeilles sauvages et les services qu'elles fournissent sans nécessiter de vastes surfaces. Deux projets de ressources, «Agriculture et pollinisateurs» et «Bienenfreundliche Landwirtschaft im Kanton Aargau», étudient ces mesures – parmi d'autres – afin de déterminer leur influence sur les populations de pollinisateurs et leur acceptation par les agriculteurs et agricultrices. L'objectif est de collaborer avec d'autres parties prenantes afin de développer des mesures efficaces, pratiques et largement acceptées pour protéger, promouvoir et utiliser au mieux les pollinisateurs et les services qu'ils fournissent dans les écosystèmes agricoles suisses.

Summary

Crop Pollination by Wild and Honey Bees in Switzerland: Importance, Potential for Yield Increases and Support Measures

Pollinating insects such as the domestic honey bee as well as numerous wild-bee species and other wild pollinators play an essential role in the provision of pollination services for crop production and wild plants in agroecosystems. However, pollinators are under pressure owing to the loss and fragmentation of their habitats, food scarcity, intensive agricultural management, plant-protection products, climate change, and native and introduced pathogens and infectious agents, as well as the interaction of all these factors.

Until recently, little data was available to the Swiss agricultural sector on the economic importance of pollination services and the role of wild pollinators and honey bees in providing these services, as well as the implications for possible pollination deficits in crops. In 2014, the Federal Council passed the Swiss Federal Action Plan for Bee Health. This report summarises the work – commissioned *inter alia* by the Federal Office for Agriculture – of Agroscope and its research partners aimed at improving the data situation, acquiring new knowledge on this complex of issues and determining possible measures for promoting bees and pollination services.

The work shows the great economic value of the pollination services – provided mainly by honey bees and wild bees – for the Swiss agricultural sector. In 2014, the reference year, the annual direct production value alone was estimated at 341 million Swiss francs. On average, the level of pollination by insects in most of the crops studied (apples, cherries, oilseed rape, broad beans and raspberries) seems to be relatively good. Nevertheless, improved insect pollination would make in-some-cases significant production increases possible in a number of crops. This would include e.g. a 10% average increase in cherry yield, or an increase in the quality of the harvested crop (e.g. 10% larger Gala apples, fewer deformed raspberries), which is highly relevant for the producers. These results were achieved under optimal pollination conditions in 2018. In years with less-ideal conditions, considerably larger pollination-related yield limitations might be expected. The considerable variation in pollination-related yield limitation (up to 30%) between individual locations was striking. In cherry and apple crops, the variation could be explained by differences in the number of honey bees, and with cherries, mainly by the number and variety of wild bees. Wild-bee abundance was in turn influenced by the percentage of semi-natural habitats, especially of biodiversity priority areas (BPAs), in the surroundings of the orchards. In structurally poor landscapes, the yield limitations caused by the lack of wild bees were partially offset by the use of domestic pollinators.

In some crops the honey bee was the most abundant pollinator species, and it was responsible on average for approx. 50% of flower visits. Crops such as apples and oilseed rape are particularly dependent on the presence of sufficiently large numbers of honey bees for optimal pollination. In addition to these, a total of more than 80 different wild bee species were identified in the relatively small number of crops and locations studied. Depending on the crop, the composition of the pollinator communities differed greatly. Whereas the honey bee usually clearly dominated in apple orchards, various groups of wild bees (e.g. *Andrena* sp. mining bee species, or *Bombus* sp. bumblebee species) played a key role for cherries and raspberries, regardless of honey bee abundance. Bumblebees were also by far the most important broad-bean pollinators, and were generally important pollinators for many crops, thanks to their usually high pollinating efficiency and their provision of pollination services even at low temperatures and during bad weather.

For apple and cherry crops, which are examined in greater detail, the studies show that optimal pollination in terms of yield and quality is achieved through the complementarity of honey bees and species-and-individual-rich wild-bee communities. In cherry production, higher yields were achieved with a higher number of different wild-bee groups and greater wild-bee diversity, since this allows optimal cover of temperature niches by the pollinator communities.

Robust forecasts for pollinators, pollination services or the pollination-dependent yield-increase potential of crops using spatial models are not reliably possible with the input data available and owing to the complexity of influencing

factors. For honey bees, certain statements can be made on the number and distribution of the colonies and on the crops to be pollinated, but here too accurate forecasts are possible only to a very limited extent, owing to the large flight radii and the complex gathering behaviour of honey-bee colonies. For wild bees, the models have not permitted any forecasts at all, owing to the inadequate input data (e.g. regarding habitat requirements, flight radii and gathering behaviour). The low temporal and spatial resolution of available data in terms of small but potentially important food and nesting habitats and small structures also makes reliable forecasting of wild bees and their pollination performance difficult. A spatial modelling approach for monitoring pollinators, or, indirectly, pollination services, is therefore not recommended, whilst direct data surveys in the field appear to be essential for monitoring activity.

The continuation and further optimisation of existing measures for the support of wild pollinators and honey bees is therefore recommended to ensure the pollination of agricultural crops in Switzerland over the long term. The flower strips for pollinators introduced over the course of the Swiss Federal Action Plan for Bee Health (2014, 2016) are used as a food source primarily by polylectic (i.e. generalist) wild bees and honey bees, and can demonstrably support the reproductive success of such wild-bee species. Endangered wild-bee species were only found in the flower strips in relatively small numbers, however. In addition, the flower strips have a spatially limited positive effect on strawberry pollination when sown next to strawberry fields. Early supplies of flower resources are important for the majority of wild-bee species, but these are difficult to achieve through annual flower strips sown in the spring. Instead, such flower strips are suitable for reducing the nectar dearth in the summer. Colony-forming bumblebees and honey bees benefit from them, but so do a range of wild-bee species with fairly late activity periods. Perennial flower strips and flower strips sown no later than the autumn of the previous year are in principle better suited to achieving an early supply of flower resources. Perennial flower strips can also offer nesting opportunities, and in doing so can help build up wild-pollinator populations over several years, thereby supporting pollination services to crops. The current composition of relatively-late-blooming plant species in perennial wildflower strips is not suited to achieving an early supply of blossom.

Furthermore, a number of studies show the importance of diverse agricultural landscapes with a high proportion of different tree-and-shrub-rich semi-natural habitats such as species-rich forest margins and hedgerows together with herbaceous, blossom-rich habitats such as extensively managed meadows, wildflower strips or flower strips for pollinators. These can provide a continuous supply of blossom as well as nesting and overwintering opportunities, which are crucial for wild bees in particular. Specifically, it was shown that the extensification of meadows greatly increased the abundance and diversity of wild bees compared to those of intensively managed meadows, which could be attributed to an improved flower resource supply as well as better nesting options. This can have a positive impact on pollination services in the surrounding crops.

There is a need for further research in order to better understand how existing measures can continue to be optimised, and which additional measures can contribute to the promotion of pollinators and pollination services. For example, it would make sense to further develop year-round flowering areas with nesting opportunities for wild bees in fruit, berry and arable crops. We would need to assess measures which could also support pollinators in the production area of arable crops, for instance by means of blossom-rich nurse crops (e.g. legumes in maize, cereals and sunflowers). At present, the effectiveness of shifting the cutting date for flowering temporary leys and permanent meadows with a high percentage of clover to the time after the nectar dearth in (early) summer is being evaluated. Lastly, measures for creating important nesting habitats for wild bees, e.g. by building sand heaps for ground-nesting wild bees or through the targeted support of small nesting structures, have the potential to support wild bees and their pollination services without a large spatial requirement. The two resource projects 'Agriculture et Pollinisateurs' and 'Bienenfreundliche Landwirtschaft im Kanton Aargau' investigate the influence of these and other measures on pollinator populations and their acceptance by farmers. The aim is to work with other stakeholders to further develop effective, practical and widely accepted measures for protecting, promoting and using pollinators and pollination services in Swiss agroecosystems as effectively as possible.

1 Bestäuber, Bestäubung und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft

1.1 Globale Bedeutung der Bestäubung

Insekten tragen einen maßgeblichen Anteil zu vitalen und funktionierenden Landschaften bei. Sie spielen eine unverzichtbare Rolle bei einer Reihe von Ökosystemdienstleistungen durch die Bestäubung von Wild- und Kulturpflanzen, die natürliche Schädlingsregulierung, die Aufrechterhaltung von Nährstoffkreisläufen und der Sicherung der Bodenfruchtbarkeit, und bilden die Grundlage von Nahrungsnetzen (Cardinale et al. 2012). Über 80 % der Wildpflanzen sind zumindest teilweise von der Bestäubung durch Bestäuber abhängig und versorgen dadurch andere Lebewesen mit Nahrung und Schutz (Ollerton et al. 2011). Aber auch ca. 75 % der weltweit bedeutenden Kulturen sowie 35 % des weltweiten Ertrags profitieren von den Bestäubungsleistungen von Bestäubern (Klein et al. 2007). Global wurde vor 10 Jahren ein jährlicher Produktionswert von 153 Milliarden Euro geschätzt (Gallai et al. 2009). Aufgrund der gestiegenen Produktionsfläche von Bestäuber-abhängigen Kulturen, dürfte dieser Wert mittlerweile sogar zugenommen haben. Dabei stehen nicht nur Honigbienen im Vordergrund, vielmehr tragen Wildbienen rund 50 % zur Wertschöpfung von insektenbestäubten Kulturen bei (Kleijn et al. 2015).

In verschiedenen Ländern Europas, darunter den Nachbarländern der Schweiz, wird wiederholt über ein „Bestäubungsdefizit“ berichtet (Breeze et al. 2014; IPBES 2016). In England wurde beispielsweise in der Apfelproduktion ein Bestäubungsdefizit nachgewiesen (Garratt et al. 2014b). In Deutschland wurde gezeigt, dass in Landschaften mit niedrigerem Anteil an Wildbienenhabitat bzw. Wildbienen der Kirschenertrag schlechter war als in Landschaften, in denen diese Anteile höher waren. Dies zeigt, dass das Bestäubungspotential in den Wildbienenhabitats-armen Landschaften nicht ausgeschöpft ist (Holzschuh et al. 2012). Weltweit wurden in mehreren Meta-Studien ähnliche Bestäubungsdefizite bei verarmten Bestäubergemeinschaften (Garibaldi et al. 2013, 2016; Dainese et al. 2019; Woodcock et al. 2019) bzw. Reduktionen der Bestäubungsleistungen in strukturalarmen Landschaften (Garibaldi et al. 2013) bzw. eine Abnahme der Stabilität der Bestäubungsleistung mit zunehmender Distanz von Wildbestäuberhabitaten (Garibaldi et al. 2011) gezeigt, welche auf sub-optimale Bestäubung durch Insekten v.a. in strukturalarmen Landschaften hinweisen. Wissenschaftler sind sich darüber einig, dass mehrere Faktoren wie Habitatverlust und –fragmentierung, Nahrungsknappheit, intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung, Pflanzenschutzmittel, Klimawandel und einheimische und eingeschleppte Krankheitserreger und Pathogene, sowie das Zusammenspiel all dieser Faktoren zur Gefährdung und regionalen Abnahme von Wildbestäubern und domestizierten Bienen verantwortlich sind (IPBES 2016).

Vor diesem Hintergrund wurden in den vergangenen Jahren über ein Dutzend parlamentarische Vorstöße hinsichtlich der Honig- und Wildbienen eingereicht. Der Bundesrat hat am 21.05.2014 insbesondere in Erfüllung der Motion UREK-N (13.3372) im „Nationalen Maßnahmenplan für die Gesundheit der Bienen“ mehrere Sofortmaßnahmen getroffen. Ein wichtiger Teil dieses Maßnahmenplans war die Schaffung wissenschaftlicher Grundlagen zur Rolle und Relevanz der Honig- und Wildbienen für die Bestäubung in der Schweizer Landwirtschaft. Der Bestand an Honigbienen beläuft sich demnach aktuell auf rund 165'000 Bienenvölker, erweist sich aber tendenziell als rückläufig (Bundesrat 2016; Charrière et al. 2018). Neben den Honigbienen sind Wildbienen die wichtigsten Bestäuber von Kultur- und Wildpflanzen (Akademien der Schweiz 2014). Auch für Wildbienen gibt es Anzeichen für einen globalen Rückgang (IPBES 2016). Während für die Honigbiene bereits Maßnahmen zur Stützung der Bestände ergriffen worden sind (z.B. Bienengesundheitsdienst, Institut für Bienengesundheit von VetSuisse-Fakultät), ist der Informationsstand über den Zustand und die Entwicklung von Wildbienen sowie weiterer Bestäuber (abgesehen von der Beurteilung des Gefährdungsstatus im Rahmen der aktuell durchgeführten Überarbeitung der Roten Liste für Wildbienen der Schweiz), sowie der Beurteilung der Bestäubungssicherung für landwirtschaftliche Gebiete, ungenügend.

1.2 Nachfrage nach Bestäubungsleistungen

Der Anteil an bienenbestäubten Kulturen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen stieg in den vergangenen Jahren in der Schweiz und weltweit (BLW 2013; Breeze et al. 2014; Aizen et al. 2008). Entsprechend ist auch die Nachfrage an Bestäubungsleistungen gestiegen. In der Schweiz wird die Fläche, auf der insektenbestäubte Kulturen angebaut werden, auf 40'000 – 50'000 ha geschätzt (Tabelle 1). Dabei handelt es sich z.T. um Kulturen mit einer hohen Wertschöpfung und einem hohen Ernährungswert (z.B. Obst- und Gemüseanbau oder Saatgutproduktion), bei denen die Bestäubung ein ertragslimitierender Faktor sein kann (Garibaldi et al. 2011, 2013, 2016, IPBES 2016; Dainese et al. 2019). Die Bedeutung der Bestäubungsleistung durch Bestäuber variiert stark zwischen Kulturen, aber auch zwischen verschiedenen Sorten der gleichen Kultur (Garratt et al. 2016). Gewisse Kulturen und Sorten sind gänzlich auf Bestäuber angewiesen, damit überhaupt Samen oder Früchte ausgebildet werden, andere sind ausschliesslich windbestäubt, oder können auch durch Selbstbestäubung einen Ertrag erbringen (eine Übersicht zum Grad der Abhängigkeit der weltweit wichtigsten Kulturen von Bestäubern bieten Klein et al. 2007).

Tabelle 1: Die wichtigsten (teilweise) insektenbestäubten Kulturen in der Schweiz (angebaute Fläche 2018)

Kategorie	Kultur	Fläche (ha)
Ackerbau	Raps	22 811
	Sonnenblume	5 386
	Ackerbohne	1 003
	Soja	1 801
Kernobst (intensiv)	Apfel	3 786
	Birne	783
Steinobst (intensiv)	Kirsche	587
	Zwetschge/Pflaume	323
	Aprikose	739
Hochstamm-Feldobst	Apfel, Birne, Kirsche, usw. (1 Are pro Baum)	21 459
Beeren	Erdbeere	512
	Himbeere, Heidelbeere, usw.	90
Gemüse	Kürbis, Zucchini, usw.	12 773
Saatgut	Rotklee, Luzerne, usw.	503

Quelle Ackerbau, Gemüse: Agrarbericht 2019, BLW. Zahlen 2018

Quelle Obst, Beeren: Schweizer Obstverband Jahresbericht 2018

Quelle Saatgutproduktion: Swisssem Tätigkeitsbericht 2017-2018

1.2.1 Obstanbau

Obwohl sie flächenmässig in der Schweiz weniger bedeutend sind als Ackerkulturen, erzielen Obst und Beeren hohe Preise und sind zudem meist stark von der Insektenbestäubung abhängig. Viele der angebauten Obstsorten und -sorten in der Schweiz gehören zu den frühblühenden Arten, wie Apfel, Kirsche, Zwetschge oder Aprikose. Hier können insbesondere Wildbienen von grosser Bedeutung für die Bestäubung sein, da einige Arten bereits früh im Jahr bei kühlen Temperaturen aktiv sind (Vicens & Bosch 2000). Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die Bestäubung durch Insekten einen grossen Einfluss auf die Menge und Qualität der produzierten Früchte haben kann (Holzschuh et al. 2012; Schüepp et al. 2013; Garratt et al. 2014a,b 2016; Mallinger & Gratton 2015; Eeraerts et al. 2017). Dies hat bereits dazu geführt, dass viele Landwirte zusätzlich auf kommerziell erwerbzbare Wildbienen setzen (z.B. gezüchtete Erdhummeln, *Bombus terrestris*, oder Mauerbienen, *Osmia bicornis*, *Osmia cornuta*), um die Bestäubung ihrer Kulturen zu sichern. Zahlen zum Anteil an Obstproduzenten, welche ein gezieltes Bestäubungsmanagement zur Optimierung der Bestäubung ihrer Kulturen betreiben, fehlen derzeit für die Schweiz.

1.2.2 Beerenanbau

Obwohl auch viele Beerenarten wie Erdbeere (*Fragaria ananassa*) oder Himbeere (*Rubus idaeus*) grundsätzlich selbstbestäubend sind, ist eine Bestäubung notwendig, um vermarktbare und qualitativ hochwertige Früchte zu produzieren (z.B. Nye & Anderson 1974; Chagnon et al. 1993; Tuell & Isaacs 2010; Andersson et al. 2012; Blaauw & Isaacs 2014; Klatt et al. 2014, Grab et al. 2017, 2018; Venturini et al. 2017; Hoshide et al. 2018). Bei einer optimalen Bestäubung treten weniger deformierte Früchte auf, was für viele spezialisierte Landwirte entscheidend ist. Bei einigen Beerenarten wie z.B. der Heidelbeere ist auch die Anzahl und das Gewicht der produzierten Beeren stark abhängig von der Bestäubung durch Insekten (z.B. Blaauw & Isaacs 2014; Venturini et al. 2017).

1.2.3 Ackerkulturen

Im Gegensatz zu Obst und Beeren erhielt die Bestäubungsabhängigkeit von Ackerkulturen bis anhin weniger Aufmerksamkeit, obwohl der Ertrag und Qualität durch eine optimale Bestäubung erhöht werden können (Klein et al. 2007). Der Hauptgrund dafür könnte sein, dass die meisten auch von Insekten bestäubten Ackerkulturen, die in der Schweiz angebaut werden (z.B. Raps, Sonnenblume, Ackerbohne usw.), nicht gänzlich von der Insektenbestäubung abhängen, sondern meist auch durch Wind- bzw. Selbstbestäubung Früchte und Samen ausbilden. Ackerfrüchte wie beispielsweise Raps (*Brassica napus*) sind hauptsächlich windbestäubt, wohingegen die Ackerbohne (*Vicia faba*) in hohem Maße von einer Insektenbestäubung abhängig ist. Bei Raps (Mesquida et al. 1988; Bommarco et al. 2012; Sutter & Albrecht 2016; Lindström et al. 2016; Sutter et al. 2018; Garratt et al. 2018), Ackerbohne (Free & Williams 1976; Andersson et al. 2014; Garratt et al. 2014c) und Sonnenblume (Parker 1981; Greenleaf & Kremen 2006; Bartual et al. 2018) trägt die Insektenbestäubung, je nach Sorte, in unterschiedlichem Mass zum Ertrag bei. Eine Anwendung durch kommerziell erwerbbar Bestäuber kommt jedoch seltener zur Anwendung, verglichen mit dem Obst- und Beerenanbau.



Abbildung 1: links: Kirschblütenbestäubung durch Sandbiene (*Andrena* sp.); rechts: Rapsbestäubung durch Mauerbiene (*Osmia* sp.)

2 Der Wert der Insektenbestäubung für die Schweizer Landwirtschaft

2.1 Geschätzte jährliche Produktionswerte

Anhand eines international anerkannten Leitfadens (Gallai & Vaissière 2009), welcher den Produzentenpreis der in der Schweiz produzierten landwirtschaftlichen Güter und die Abhängigkeit einer Kultur von der Insektenbestäubung berücksichtigt, kann man den Wert der Bestäubungsleistung berechnen. Dieser direkte jährliche Produktionswert wurde in der Schweiz anhand dieses Leitfadens für das Referenzjahr 2014 auf 341 Millionen Schweizer Franken geschätzt (Sutter et al. 2017a). Auch wenn es sich hier um eine relativ grobe Schätzung mit vielen Unsicherheitsfaktoren und ungenügend genauen Inputdaten handelt (so fehlen z.B. robuste Daten zur Abhängigkeit von gewissen Kulturen und Sorten von der Insektenbestäubung), zeigen diese Zahlen doch, dass der volkswirtschaftliche Nutzen der Bienenhaltung und der Wildbienen durch ihre Bestäubungsleistung mehr als vier Mal so hoch ist wie der Gesamtwert der Bienenprodukte aus der Imkerei.

Nebst der Bezifferung des Bestäubungswertes für die Landwirtschaft kommen Bestäubern noch zusätzliche Bedeutungen zu. Nicht eingerechnet sind beispielsweise indirekte Werte wie Versicherungswerte oder auch die Bestäubung von Wildpflanzen, welche ebenfalls auf die Übertragung von Pollen angewiesen sind. Diese bilden die Grundlage der Nahrungsnetze und damit für das Funktionieren der meisten terrestrischen Ökosysteme, auch der multifunktionalen Kulturlandschaften in Europa, sowie vieler weiterer Biodiversitäts-basierter Ökosystemdienstleistungen mit unschätzbarem Wert für die (Land)wirtschaft und die Gesellschaft (IPBES 2018).
Beträge von Honigbienen und Wildbienen

Global gesehen wird ungefähr die Hälfte der Wertschöpfung, die durch von Bienen bestäubte landwirtschaftliche Kulturen erwirtschaftet wird, Wildbestäubern zugeschrieben (Kleijn et al. 2015). Die Zusammensetzung der Bestäuber-Gemeinschaften sowie die Bedeutung von Honigbienen und verschiedenen Gruppen von Wildbestäubern kann je nach Kultur jedoch sehr unterschiedlich sein. Beispielsweise haben sich manche Wildbienenarten auf die Bestäubung bestimmter Pflanzengruppen mit besonderen Blütenformen spezialisiert, wodurch die Effektivität der Bestäubung im Vergleich zur Honigbiene, welche zu den Generalisten gehört, bei diesen Pflanzenarten meist höher ist (z.B. Marzinzig et al. 2018). Viele Wildbienenarten, insbesondere Hummeln, aber auch eine Reihe weiterer Wildbienen-Taxa, besuchen Blüten von Kulturpflanzen bei Temperaturen und Witterungsbedingungen, bei denen Honigbienen keine Blütenbesuche mehr machen (z.B. Vicens & Bosch 2000; Tuell & Isaacs 2010). Dadurch können Wildbienen gerade für Kulturen wie z.B. Kirschen, die relativ früh im Frühjahr blühen, wenn die Temperaturen oft unter der Minimaltemperatur für Blütenbesuchsflüge der Honigbienen sind, wichtige Bestäubungsleistungen erbringen (Ganser et al. 2019a; Sutter et al. 2019; Sutter et al., in Vorbereitung). Des Weiteren spielt die Landschaftsausstattung bezüglich der vorkommenden Nahrungs- und Nistlebensräume oder der Gefährdungsursachen (z.B. Belastung durch Pflanzenschutzmittel oder Krankheiten) eine Schlüsselrolle und bestimmt den Anteil an Wildbestäubern, bzw. die Artenzusammensetzung der Wildbestäuber in der Bestäubergemeinschaft in einem jeweiligen Gebiet (z.B. Albrecht et al. 2007; Garibaldi et al. 2013; Sutter et al. 2017b, 2018; Dainese et al. 2019). Aber auch Honigbienen sind natürlich beispielsweise dank der grossen Anzahl Individuen pro Volk, ihrer frühen Aktivität im Frühjahr, ihrer grossen Flugdistanz, der oft erheblichen Blütentreue bei der Bestäubung und flexible Standortwahl beim Platzieren von Völkern äusserst wichtige Bestäuber von landwirtschaftlichen Kulturen.

3 Vorkommen und Verteilung von Wild- und Honigbienen in der Schweiz

Sind genug Bienen vorhanden, dort wo sie gebraucht werden? Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten. Um Informationen über die räumliche Abdeckung durch Bestäuber in der Schweiz zu erhalten, wurde die Anzahl der gemeldeten Honigbienenvölker anhand der Angaben zu den Standorten erfasst. Diese Standorte muss jeder Imker dem Bund mitteilen. Darüber hinaus wurde anhand der Agrarstatistik die räumliche Verteilung von bestäubungsabhängigen Kulturen in der Schweiz analysiert. Die Fachliteratur liefert Richtwerte dafür, wie viele Bienenvölker nötig sind, um eine ausreichende Bestäubung in angrenzenden Kulturen zu erreichen und so kann abgeschätzt werden, in welchen Regionen ein Risiko für eine zu geringe Honigbiendichte besteht. Eine ähnliche Abschätzung für Wildbienen ist ungleich schwieriger. Eine Beurteilung der Häufigkeit von Wildbienen in landwirtschaftlichen Kulturen anhand eines Potentials der Landschaftsausstattung erwies sich als zu ungenau. Daher wurden Untersuchungsstandorte über die Schweiz hinweg und in unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kulturen ausgewählt, die kulturbestäubenden Wildbienenarten wurden identifiziert und quantifiziert.

3.1 Honigbienenbestände

Sowohl die Anzahl an Imkern als auch der Bestand an Bienenvölkern nimmt in der Schweiz seit 1946 ab (Abb. 2; Frese 2015, zitiert in Bundesrat 2016). Im Jahr 2014 belief sich der Bestand auf rund 165'000 Bienenvölker (Frese 2015, zitiert in Bundesrat 2016). Hierbei gibt es grosse kantonale Unterschiede in der Biendichte (Sutter et al. 2017a). Die sozioökonomischen Gründe zur Bienenhaltung haben sich ebenfalls geändert. Immer mehr Hobbyimker mit durchschnittlich zehn Bienenvölkern pro Imker sind vorzufinden (Chauzat et al. 2013). Auch sind immer weniger Landwirte gleichzeitig Imker, was früher eine übliche Kombination war. Lässt sich dieser Trend nicht umkehren, so wäre es umso wichtiger abzuschätzen, in welchem Umfang alternativ eingesetzte Bestäuber oder Wildbestäuber mögliche Bestäubungslücken in Raum und Zeit schließen können.

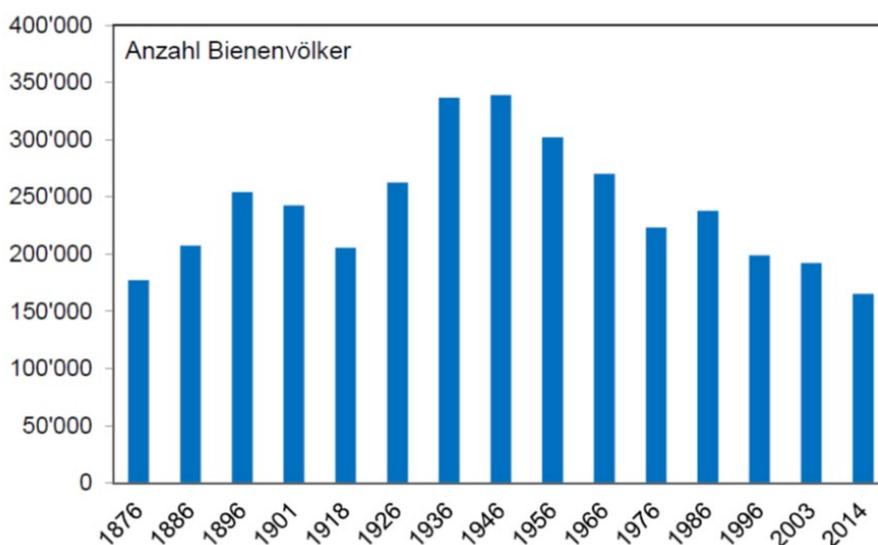


Abbildung 2: Entwicklung der Anzahl an Honigbienenvölker in der Schweiz von 1876 bis 2014.

Die erforderliche Anzahl an Honigbienenvölkern innerhalb der mittleren und maximalen Flugdistanz der Honigbiene für eine minimale oder optimale Bestäubung ist bisher nicht sehr gut untersucht worden. Jedoch scheint das geschätzte Potential für die Bestäubung aufgrund der Anzahl Völker und angenommenen maximalen Flugdistanzen, der Daten zur räumlichen Verteilung von insektenbestäubten Kulturen pro Gemeinde, sowie den Richtwerten aus der Fachliteratur bzgl. benötigten Dichten für eine ausreichende Bestäubung der Kulturen durch Honigbienen in den meisten Regionen und Gemeinden der Schweiz ausreichend zu sein (Sutter et al. 2017a; Abb. 3). In einigen

Gemeinden und Regionen v.a. des Mittellandes wurde jedoch ein relativ tiefes Potential und eine ungenügende Abdeckung geschätzt. Dort könnten möglicherweise nicht alle bestäubungsabhängigen Kulturen ausreichend bestäubt werden (*sensu* Breeze et al. 2014; Sutter et al. 2017a; Abb. 3). Für die Kantone, in welchen insgesamt über 90% der bestäubungsabhängigen Flächen liegen, liegt der mittlere Deckungsgrad bei lediglich 2,74 Honigbienen-Völkern pro Hektar. Mögliche Defizitregionen liegen insbesondere im westlichen Mittelland und in den Kantonen Schaffhausen und Wallis (Sutter et al. 2017a; Abb. 3). Dies sind jedoch nur theoretische, indirekte Schätzungen aufgrund der verfügbaren räumlichen Statistiken, welche einer Validierung mittels empirischer Daten aus Felduntersuchen bedürfen (siehe Kapitel 4).

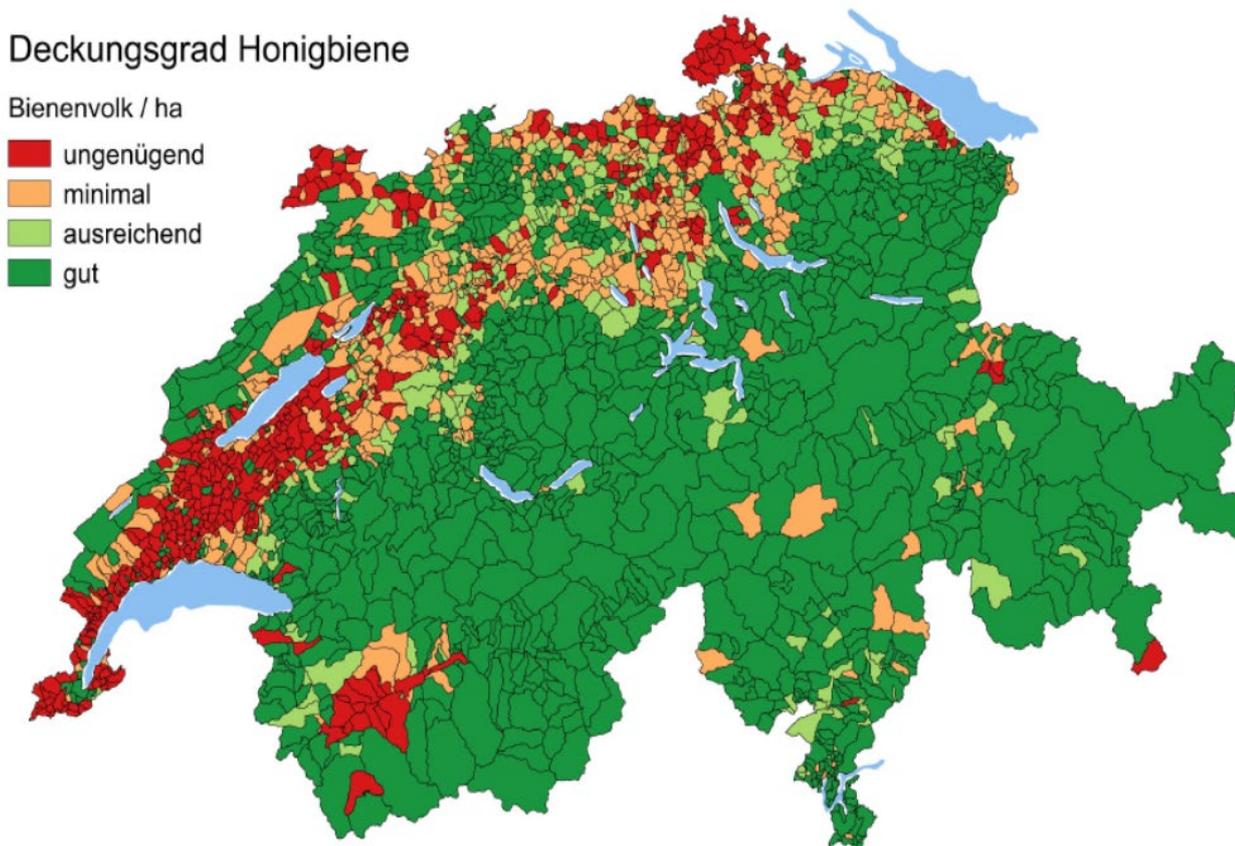


Abbildung 3: Deckungsgrad der Honigbiene (Bienen Volk pro Hektar auf Gemeindeebene) über die Schweiz verteilt (Sutter et al. 2017a).

3.2 Wildbienen in der Schweiz

In der Schweiz kommen etwas mehr als 600 Wildbienenarten vor (Zurbuchen & Müller 2012). Davon sind gemäss der 1994 publizierten Roten Liste der Bienen der Schweiz 45% gefährdet (Amiet 1994). Diese Rote Liste der Bienen der Schweiz wird derzeit aktualisiert. Der hohe Anteil an gefährdeten Arten ist nebst möglichen weiteren, oft in Kombination auftretenden Stressfaktoren, wie Pflanzenschutzmittel, eingetragene Krankheiten und Pathogen v.a. auf den Verlust von geeigneten Lebensräumen zurück zu führen. Sehr viele Wildbienen spezifische Ansprüche an ihren Lebensraum haben bezüglich Nahrung (Pollen wird nur von bestimmten Pflanzenarten, -gattungen oder –familien gesammelt; Oligolektie) oder Nistmöglichkeiten. Oft sind Nahrungs- und Nistlebensräume zudem fragmentiert, was insbesondere für kleinere Wildbienenarten mit sehr limitierter Mobilität ein Problem darstellen kann (Ganser et al. 2021). Viele der in der Schweiz vorkommenden Wildbienenarten sind demnach auf spezifische Lebensräume ausserhalb von Agrarlandschaften spezialisiert, und spielen dadurch keine oder nur eine vernachlässigbare Bedeutung als Bestäuber von landwirtschaftlichen Kulturen. Wie viele und welche Wildbienenarten in der Schweiz auch landwirtschaftliche Kulturen bestäuben, und welche Bedeutung verschiedene Wildbienenarten für verschiedene Kulturen haben, war bisher unklar. In den verschiedenen Studien von Agroscope und Forschungspartnern, welche zu dieser Arbeit beigetragen haben, wurden gesamthaft 83 verschiedene

Wildbienen Arten plus die Honigbiene als Bestäuber erfasst (vollständige Artenliste pro Kultur in Anhang 1). Aus Biodiversitätsstudien ist bekannt, dass die Anzahl festgestellter Arten jedoch stark mit dem Beprobungsaufwand zusammenhängt. Da nicht in allen Studien und Kulturen gleich umfangreich beprobt werden konnte, können die Zahlen für die verschiedenen hier untersuchten Kulturen somit nicht direkt untereinander verglichen werden. Zudem sollte hier ausdrücklich erwähnt werden, dass nur eine kleine Anzahl von Kulturen in wenigen ausgewählten Regionen mit einem relativ geringen Aufwand beprobt werden konnten im Rahmen dieser Studien. Die Anzahl Wildbienenarten welche landwirtschaftliche Kulturen bestäuben würde sicher einiges grösser sein, wenn man sämtliche Region und Kulturen beproben könnte. Man sieht aber auch deutlich, dass nicht in allen Kulturen dieselben Wildbienenarten vorkommen, bzw. besonders wichtig sind. Die Wichtigkeit einer Wildbienenart für eine Kultur hängt von verschiedenen Faktoren ab. Einige Faktoren sind Spezialisierung und Präferenzen von verschiedenen Wildbienenarten für verschiedenen Kulturen, das Übereinstimmen der Morphologie zwischen Blüte und Bestäuber («trait matching»), sowie die Übereinstimmung von Blühperiode und Aktivitätsperiode der Wildbienen und deren räumlichen Verbreitung und regionalen und lokalen Häufigkeit, aber auch deren Bestäubungs-Verhalten, wie zum Beispiel wie der Pollen gesammelt wird, was die Qualität der Bestäubung erheblich beeinflussen kann. Deshalb gibt es nicht jeweils «den besten Bestäuber» für alle Kulturpflanzen, alle Regionen, sondern eine grössere Anzahl von wichtigen Bestäuberarten die sich ergänzen. (Komplementarität; siehe auch detaillierte Beschreibung der Resultate in Kapitel 4 und 6.2).

3.3 Modellansätze zur Vorhersage von Wild- und Honigbienen in Kulturen

3.3.1 Modellansatz zur räumlichen Vorhersage von Wildbienenhäufigkeiten

Auch die lokal vorkommenden Wildbienen sind für die Bestäubung wichtig, da allein mit den Honigbienenvölkern die Bestäubung von 40'000 – 50'000 ha insektenbestäubten Kulturen in der Schweiz nur teilweise gesichert werden kann. Während für die Honigbienen die Imker den Standort flexibel bestimmen und somit direkt Einfluss auf bestäubungsabhängige Kulturen nehmen können, ist für die meisten Wildbienenarten die direkte Umgebung und die Ausstattung der Landschaft mit Nahrungspflanzen und Nistplätzen entscheidend (z.B. Kennedy et al. 2013; Sutter et al. 2017b, 2018; Ganser et al. 2018). Insgesamt konnten im Untersuchungsraum mehr als 80 verschiedene Wildbienenarten als landwirtschaftliche Bestäuber festgestellt werden. Zu den Wildbienenarten gehört auch die sozial lebende Hummelart *Bombus terrestris*, von der gezüchtete Völker seit einigen Jahren gezielt für die Bestäubung eingesetzt werden. Auch zwei Mauerbienenarten, die rostrote Mauerbiene (*Osmia bicornis*) und die gehörnte Mauerbiene (*Osmia cornuta*), sind kommerziell erhältlich und werden von einigen Obstproduzenten für die Bestäubungssteuerung eingesetzt.

Flächendeckende räumliche Daten zur Häufigkeit von verschiedenen Wildbienenarten in der Schweiz und damit des Bestäubungspotentials durch Wildbienen gibt es zur Zeit nicht, weder für die Landesfläche noch für einzelne Regionen, Kantone oder Gemeinden. Zwar ist eine Aktualisierung der 1994 publizierte Rote Liste der Wildbienen im Gange, welche eine grossflächige Erfassung von Wildbienenarten in der Schweiz umfasst. Die dafür erhobenen Daten sind jedoch eher qualitativer Natur (d.h. es wird untersucht, ob eine bestimmte Art in einem Untersuchungsperimeter vorkommt oder nicht). Es werden keine quantitativen Daten zu Individuenzahlen bzw. Abundanzen erhoben, welche zwingend notwendig wären, um das Bestäubungspotential abschätzen zu können. Deshalb wurden nun erstmals für verschiedene insektenbestäubte Kulturen Daten zu Wildbienenabundanzen bzw. Blütenbesuchshäufigkeiten in verschiedenen Regionen der Schweiz und in verschiedenen Kulturen erfasst (Kapitel 4). Die in den nachfolgenden Absätzen beschriebenen Modellierungen beschreiben den Versuch, Wildbienenhäufigkeiten und das davon abgeleitete Potential ihrer Bestäubungsleistungen indirekt über die zur Verfügung stehenden Landschaftsvariablen und darauf basierenden Landschafts-Modelle vorherzusagen und mit den im Feld erhobenen Daten (Kapitel 4) zu validieren.

Zum Modellieren der Wildbienenhäufigkeit und des Potentials an Bestäubungsleistung durch Wildbienen wurde das InVest-Bestäubungsmodell von Lonsdorf et al. (2009) verwendet. Dieses räumlich explizite Modell berechnet das Potential für das Vorkommen von Wildbienen für Kleinregionen (Pixel) in der Landschaft basierend auf Nistmöglichkeiten und Nahrungsangebot in der Umgebung. Nistmöglichkeiten umfassen z.B. Vegetationsstrukturen

für Bienen, die Hohlräume in Totholz, Pflanzenstengeln usw. benötigen, oder spärlich bewachsene und wenig gestörte Bodenflächen für bodennistende Wildbienen. Eine wichtige Nahrungsressource ist insbesondere das Blütenangebot im Frühjahr und Sommer (Tabelle 3). Abhängig von den Sammellradien der jeweiligen Bienenarten bekommen Nahrungsressourcen in der Nähe der Niststandorte mehr Gewicht als weiter entfernte. Des Weiteren werden Nistverhalten und Aktivitätsperiode der Bestäuber berücksichtigt. Diese Werte beruhen grösstenteils auf Expertenwissen (Tabelle 2). Diese Daten wurden mit Felddaten validiert und kalibriert (Abb. 4). Mit Hilfe der Häufigkeit der Wildbienen in der Landschaft, den Landnutzungsdaten von Insekten-bestäubten Kulturen und den jeweiligen Informationen zu jeder Kultur (Bestäubungsabhängigkeitsindex) kann das Potential von Wildbienen für die Bestäubung der jeweiligen Kultur berechnet werden. Für die vorliegenden Modelle der Schweiz wurden das Topographische Landschaftsmodell (TLM) und die Arealstatistik auf eine Auflösung von zwei Metern miteinander verrechnet (2 m Pixel), um die Wildbienenabundanz und deren relative Auftretenswahrscheinlichkeit in der Landschaft zu kalkulieren.

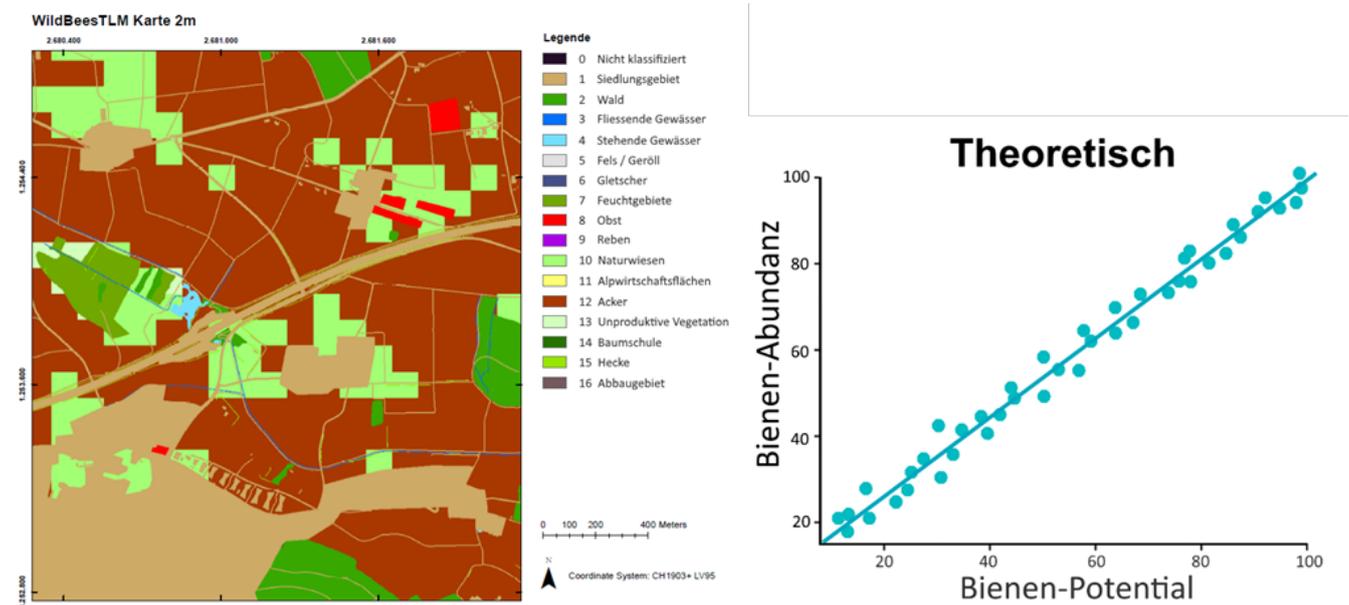


Abbildung 4: Beispiel einer Landnutzungskarte mit den 16 Landnutzungskategorien sowie die theoretische Verteilung des Potentials bzgl. Vorkommen von Wildbienen und der tatsächlich gemessenen Wildbienen-Abundanz bei optimaler Vorhersage des Modells.

Tabelle 2: Auswahl wichtiger Wildbienenarten für die Bestäubung von Kulturen in der Schweiz und deren Charakterisierung: Nistverhalten, Zeitraum Blütensuche, erwartete maximale Blütenbesuchsdistanzen (alpha in Meter) der aufgelisteten Arten hauptsächlich basierend auf Expertenwissen.

Art	Hohlraumnistend	Bodennistend	Aktivität der Blütensuche		alpha
			Frühjahr	Sommer	
<i>Bombus terrestris</i>	0	1	1	1	1500
<i>Bombus lapidarius</i>	0	1	0.4	0.4	1500
<i>Andrena chrysoceles</i>	0	1	0.4	0.4	260
<i>Andrena flavipes</i>	0	1	0.5	0.5	1150
<i>Andrena haemorrhoa</i>	0	1	1	0	373
<i>Andrena carantonica</i>	0	1	1	0	512
<i>Bombus pascuorum</i>	0	1	0.4	0.4	2300
<i>Andrena fulva</i>	0	1	1	0	315
<i>Andrena dorsata</i>	0	1	0.5	0.5	650
<i>Lasioglossum calceatum</i>	0	1	0.5	0.5	1000
<i>Lasioglossum malachurum</i>	0	1	0.5	0.5	600
<i>Bombus hypnorum</i>	1	0	0.5	0.5	288
<i>Osmia bicornis</i>	1	0	1	0	600
<i>Bombus pratorum</i>	0	1	0.5	0.5	674
<i>Andrena nitida</i>	0	1	1	0	288
<i>Andrena minutula</i>	0	1	0.5	0.5	112
<i>Bombus hortorum</i>	0	1	0.4	0.4	604
<i>Lasioglossum politum</i>	0	1	0.5	0.5	14
<i>Lasioglossum morio</i>	0	1	0.4	0.4	69

Tabelle 3: Landnutzungsarten und deren Wildbienen-Potentiale bzgl. Nistmöglichkeiten und Blütenangebot. D.h. wie gut sich ein Habitat für Wildbienen eignet um Nahrung oder einen Nistplatz zu finden, in einer relativen Skala von 0 gar keine Eignung bis 1 optimale Eignung. Basierend auf Expertenwissen.

Quellen: Greenleaf & Kremen 2007; Koh et al. 2016.

Landnutzung	Hohlraumverfügbarkeit	Bodennistmöglichkeit	Blütenangebot	
			Frühling	Sommer
Siedlungsgebiet	0.1962	0.2397	0.4271	0.5302
Wald	0.5629	0.4357	0.5767	0.4881
fließende Gewässer	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
stehende Gewässer	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Fels/Geröll	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Gletscher	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Feuchtgebiete	0.1999	0.1470	0.4923	0.5385
Obst	0.2494	0.3295	0.5840	0.2940
Reben	0.1871	0.2912	0.2390	0.3037
Naturwiesen	0.4469	0.6162	0.4834	0.5824
Alpwirtschaftsflächen	0.3182	0.4363	0.3753	0.5009
Acker	0.1113	0.1954	0.2389	0.3566
unproduktive Vegetation	0.6286	0.7857	0.6353	0.6058
Baumschule	0.3175	0.2641	0.2621	0.3398
Hecke	0.6737	0.7644	0.6993	0.5783
nicht klassifiziert	0.0000	0.2654	0.0000	0.0000

3.3.2 Bewertung des Modellansatzes für Wildbienen

Die Modellierungsansätze zur Schätzung des Bestäubungspotentials durch Wildbienen waren nicht verlässlich und zeigten keine signifikanten Übereinstimmungen mit den gesammelten Daten für die jeweiligen Kulturen (Abb. 5). Grund hierfür sind wahrscheinlich zum einen die zu «grobe» Auflösung der räumlichen Daten bzgl. Landschaftsausstattung zur Schätzung des Wildbienenpotentials (es ist bekannt, dass oft sehr kleinräumige Faktoren und Landschaftsstrukturen erhebliche Effekte auf das Vorkommen und die Grösse von Wildbienenpopulationen haben können), die vielen Unsicherheiten und Annahmen bei der Bewertung von Landnutzungstypen bzgl. Nist- und Nahrungspotential für unterschiedlichen Wildbienenarten, wie auch die Komplexität und Vielfalt an nicht präzise quantifizierbaren weiteren Einflussfaktoren, die nicht im Invest-Modell berücksichtigt sind (z.B. Krankheitsdruck, Einfluss von Pflanzenschutzmitteln, Witterung, etc.). Versuche, das Invest-Modell zu verfeinern und weiter zu entwickeln gibt es bisher nur für einzelne Wildbienengruppen (Hummeln) für bestimmte Landschaftstypen (Häussler et al. 2017). Generell haben sich Versuche, grossräumige Vorhersagen von Wildbienen vorkommen und dem Bestäubungspotential von Wildbienen zu treffen, als sehr schwierig und oft unzuverlässig erwiesen. Solche Voraussagen sind meist nicht validiert worden und werden oft entsprechend kritisch diskutiert (z.B. Bartual et al. 2019).

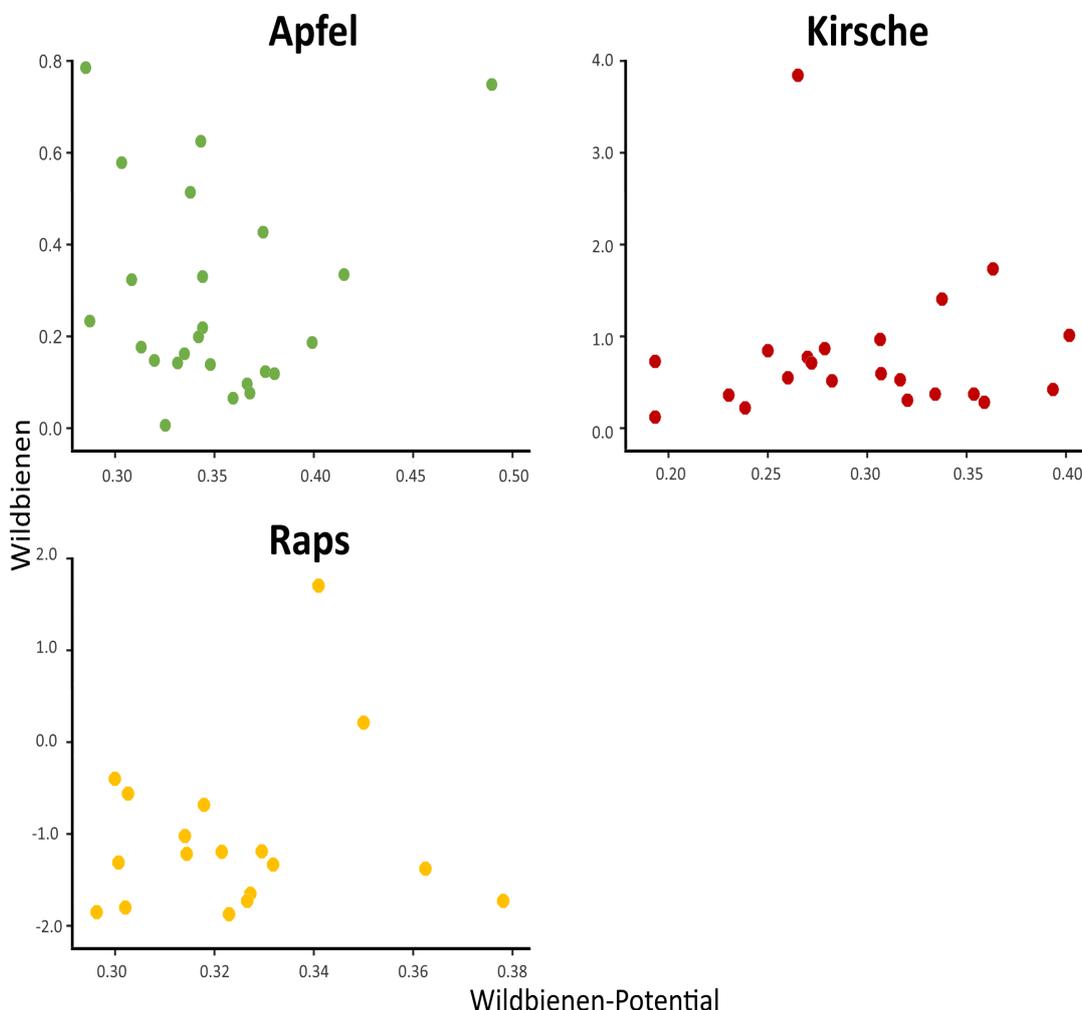


Abbildung 5: Modell-Vorhersagen (X-Achse: Berechnete Auftretenswahrscheinlichkeit) und empirisch erhobene Häufigkeiten (Y-Achse: Standardisierte Blütenbesuche) von Wildbienen in den untersuchten Kulturen. Es wurden entweder keine Zusammenhänge gefunden (Apfel, Kirsche oder Raps), oder die Beziehung entsprach nicht der theoretisch zu erwartenden Beziehung mit einer Streuung, die gering genug wäre für robuste Modell-Vorhersagen; siehe Abbildung 4 für die theoretische Beziehung. Da die Daten für Himbeeren in Tunnel und nur in einer Region aufgenommen wurden, wurden sie auf Grund mangelnder Übertragbarkeit nicht für diese Auswertungen benutzt.

3.3.3 Bewertung des Modellansatzes zur Vorhersage von Honigbiendichten

Auch die Validierung bei den Honigbienen erbrachte nicht die theoretisch erwartete Beziehung zwischen erhobenen und berechneten Daten (Abb. 6). Über die Ursachen der schlechten Modellvorhersagen können nur Vermutungen angestellt werden. So liegen die Zahlen der Honigbienen-Völker zur Schätzung des Honigbienenpotentials zwar für die gesamte Schweiz vor, bei ihrer Beurteilung ist jedoch zu beachten, dass sie auf den Angaben der Imker beruhen. Diese Angaben können ungenau oder lückenhaft sein, da z.B. mögliche Ortswechsel der Völker durch den Imker während des Jahres nicht angegeben werden. Darüber hinaus ist es schwierig abzuschätzen, welche Kulturen die jeweiligen Honigbienenvölker tatsächlich anfliegen, da Honigbienen grosse Nahrungsmengen über sehr grosse Distanzen hinweg sammeln (bis zu mehreren Kilometern; Greenleaf et al. 2007) und dabei die Nutzung einer Kultur bzw. eines bestimmten Feldes stark vom restlichen Angebot und den Blüthenahrungs-Ressourcen in der Landschaft abhängt. Wie genau Honigbienen solche Entscheidungen zum Nahrungsverhalten treffen, in welchem Masse sich solche Entscheidungen zwischen Sammler-Bienen innerhalb und zwischen verschiedenen Völkern unterscheiden und von welchen Faktoren dies abhängt, ist noch wenig verstanden und sehr komplex. Beispielsweise wird das Sammelverhalten der Honigbienen stark von der Nektarmenge und –qualität (v.a. Zuckergehalt) beeinflusst. Diese Kriterien variieren mit der Sorte einer Kultur, Bodenqualität und Klima. Deshalb können mit den zur Verfügung stehenden Modellen momentan und wohl auch in naher Zukunft keine Vorhersagen getroffen werden.

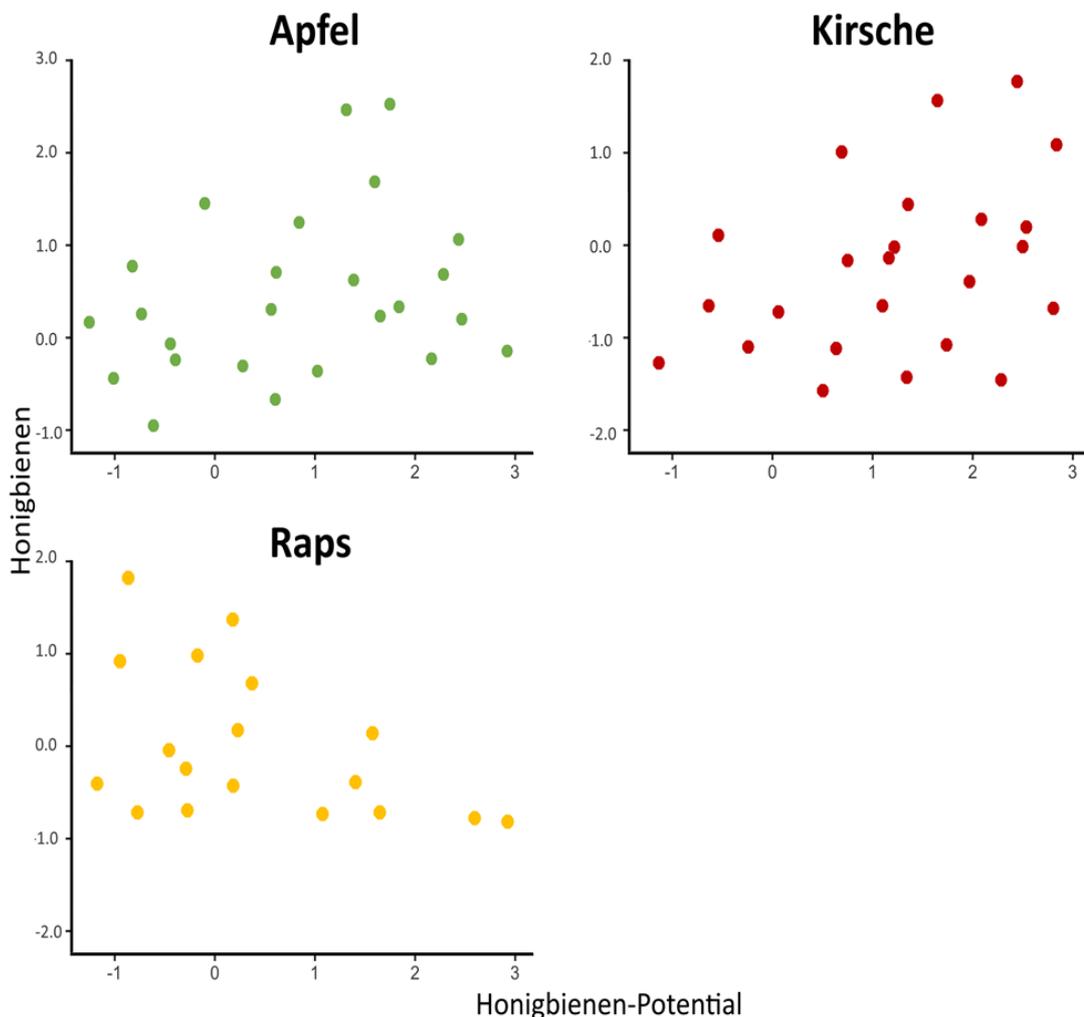


Abbildung 6: Modell-Vorhersagen (X-Achse: Berechnete Auftretenswahrscheinlichkeit) und empirisch erhobene Häufigkeiten (Y-Achse: Standardisierte Blütenbesuche) von Honigbienen in den untersuchten Kulturen. Es wurden entweder keine Zusammenhänge gefunden (Apfel, Kirsche oder Raps), oder die Beziehung entsprach nicht der theoretisch zu erwartenden Beziehung mit einer Streuung, die gering genug wäre für robuste Modell-Vorhersagen (siehe Abbildung 4 für die theoretische Beziehung). Da die Daten für Himbeeren in Tunnel und nur in einer Region aufgenommen wurden, wurden sie auf Grund mangelnder Übertragbarkeit nicht für diese Auswertungen benutzt

4 Schätzung der Ertragslimitierung aufgrund sub-optimaler Bestäubung (Felduntersuchungen)

Nebst der Wichtigkeit verschiedener Bestäuberarten wurden für die untersuchten insektenbestäubten Kulturen der Schweiz (Apfel, Kirsche, Himbeere, Raps und Ackerbohne) auch potentielle bestäubungsbedingte Ertragslimitierungen, bzw. Potentiale für Ertragssteigerungen, mittels Felderhebungen in den Untersuchungsregionen evaluiert. Potentielle Ertragssteigerungen und mögliche Ertragslimitierung durch Bestäubung konnten durch den Vergleich der aktuellen Bestäubungsleistung durch Insekten (Offenbestäubung) mit der supplementierenden Handbestäubung (Offenbestäubung plus Handbestäubung; optimale Bestäubung) ermittelt werden. In einem dritten Verfahren wurden die Insekten von den Blüten mit Gaze ferngehalten, um den Ertrag ohne Insektenbestäubung zu bestimmen (Abb. 7).

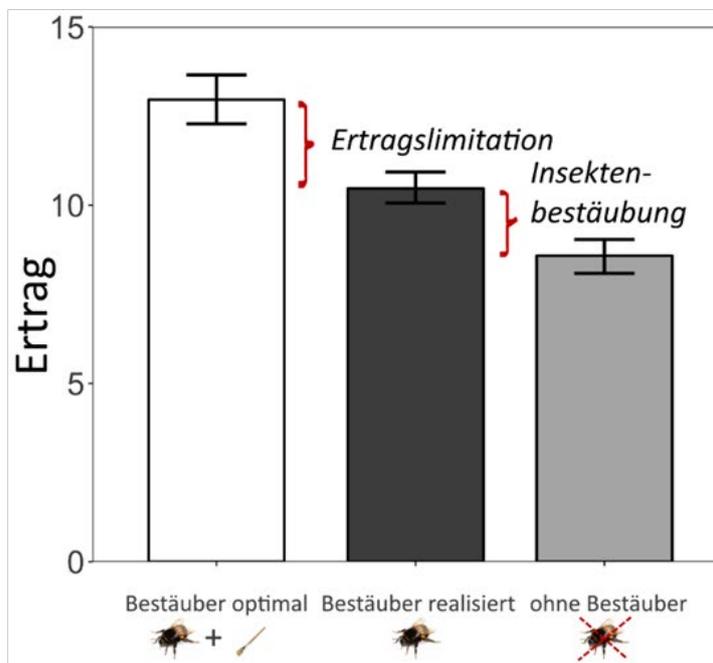


Abbildung 7: Links: Handbestäubung einer Apfelblüte mit Pollen geeigneter Pollenspender-Bäume zusätzlich zur Offenbestäubung durch Insekten zur Schätzung des Ertrags bei optimaler Bestäubung (Quelle: Louis Sutter). Rechts: Schematisches Beispiel der standardisierten Schätzung (i) einer Ertragslimitation Ertrag bei Bestäubung optimal (Hand- plus Insektenbestäubung; weisser Balken) minus Ertrag bei Bestäubung durch Insekten realisiert (Offenbestäubung, schwarzer Balken); (ii) des Beitrags der Insektenbestäubung zum Ertrag (Ertrag bei Bestäubung durch Insekten realisiert (Offenbestäubung; schwarzer Balken) minus Ertrag ohne Bestäubung durch Insekten (grauer Balken).

4.1 Nicht ausgeschöpfte Ertragspotentiale verschiedener Insekten-bestäubter Kulturen

In verschiedenen Regionen der Schweiz wurden in den Jahren 2014 (Raps) und 2018 (alle übrigen Kulturen) an insgesamt 101 Standorten das Potential für Ertragssteigerungen durch optimierte Bestäubungsleistungen, sowie die Bestäubergemeinschaften, welche hauptsächlich zu den geleisteten Bestäubungsleistungen beitragen, quantifiziert (Abb. 8). Es konnte gezeigt werden, dass die Bestäubung in den meisten Regionen und Kulturen im Durchschnitt relativ gut war, dass aber bei Kirsche, Raps und Himbeere signifikante bestäubungsbedingte Ertragslimitierungen bzw. nicht ausgeschöpfte Bestäubungspotentiale vorhanden waren. Diese lagen im Bereich von durchschnittlich 6-10% (Abb. 9). Diese Ertragslimitierungen wurden festgestellt, obwohl es im Untersuchungsjahr 2018 in den Monaten April bis Juli kaum Niederschläge gab, und die Witterungsbedingungen für die Insektenbestäubung somit ideal waren.

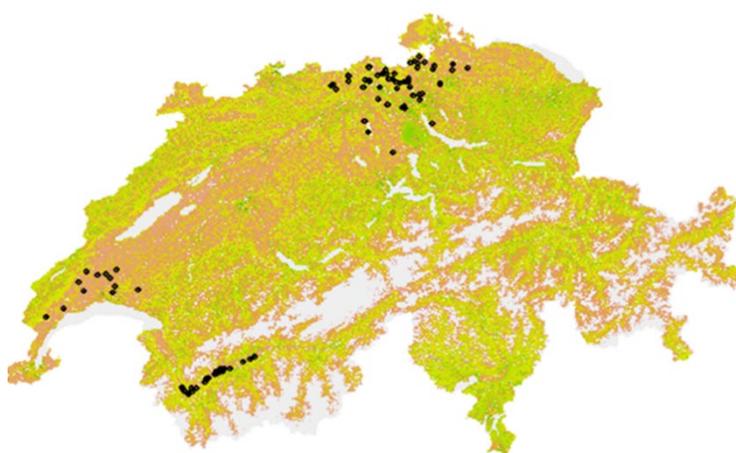


Abbildung 8: Die 101 Erhebungsstandorte verteilt über die Kantone Zürich, Aargau, Waadt und Wallis.

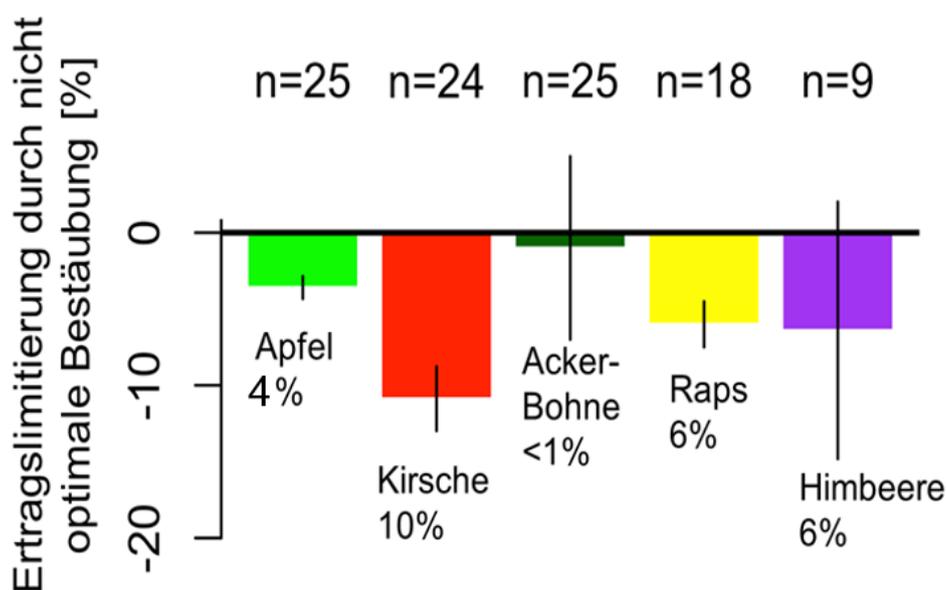


Abbildung 9: Durchschnittliche Ertragslimitierung durch nicht optimale Bestäubung in den untersuchten Insektenbestäubten Kulturen.

Bei allen untersuchten Kulturen wurde eine erhebliche Streuung der Ertragslimitierung zwischen den einzelnen Standorten festgestellt, mit bis zu 30% bestäubungsbedingter Ertragslimitierung an gewissen Produktionsstandorten (Abb. 10). Als mögliche Ursachen kommen lokale Bewirtschaftungsfaktoren wie unterschiedlicher Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, Düngern kommerzieller Bestäuber, Sortenunterschiede, Anordnung von Pollenspenderbäumen in Apfel- bzw. Kirschanlagen, lokale Verfügbarkeit von alternativen Nahrungs- und Nistmöglichkeiten für Wildbienen, etc. in Frage. Auch der Landschaftskontext und die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit von Nahrungs- und Nistressourcen für Wildbienen auf der Landschaftsebene könnten zu dieser erheblichen Streuung beitragen. Diesen Fragen wird im Kapitel 4.2 nachgegangen.

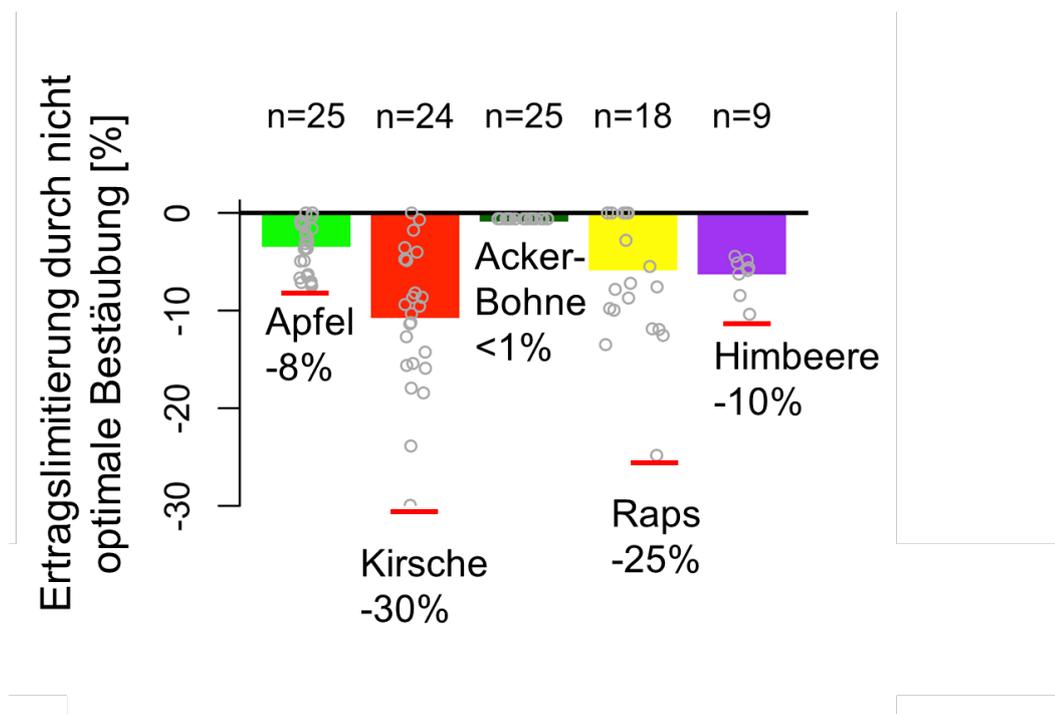


Abbildung 10: Streuung und Maximalwerte der Ertragslimitierung durch nicht optimale Bestäubung von insekten-bestäubten Kulturen an den einzelnen Untersuchungsstandorten.

4.1.1 Apfelproduktion

Durchschnittlich konnte für die 25 untersuchten Apfelanlagen eine relativ geringe Ertragslimitierung im Fruchtansatz bei der Ernte von rund 3.6% ausgemacht werden (Abb. 9). Dies ist zu einem grossen Teil auf die Behangsregulierung (Ausdünnung), wie sie in der Apfelproduktion angewendet wird, zurückzuführen. Wenn man den frühen Fruchtansatz nach der Bestäubung der Blüten vor dem Ausdünnen durch die Produzenten anschaut, dann sind die durchschnittlichen Ertragslimitierungen durch die Bestäubung erheblich grösser (12.2%). Es stellt sich deshalb die Frage, ob sich eine optimierte Bestäubung stärker positiv auf den Ertrag auswirken könnte, wenn so grössere Äpfel von besserer Qualität erzielt werden könnten. Bei einer manuellen Ausdünnung könnten selektiv die weniger gut bestäubten, kleineren Äpfel ausgedünnt werden, aber auch bei chemischer Ausdünnung wären durch durchschnittlich grössere Äpfel höhere Erträge und Einkommen möglich. Entsprechende Untersuchungen der Apfelgrösse zeigen tatsächlich, dass zumindest bei der häufigsten Sorte Gala, für die solche Untersuchungen mit einer genügend grossen Stichproben-Menge durchgeführt werden konnten, die geernteten Äpfel, welche optimal bestäubt wurden, durchschnittlich 10% grösser und schwerer waren als offen (weniger gut) bestäubte Äpfel (Abb. 11).



Abbildung 11: Optimale (oben) und offen (unten) bestäubte Äpfel unterscheiden sich in der Anzahl Kerne, welche sich ausbilden. Ein Apfel kann maximal 10 Kerne bilden. Oben ist das Potential mit 9 Kernen fast total ausgeschöpft. Auf Grund phytohormoneller Einflüsse der befruchteten Eizellen wachsen diese Früchte mehr und sehr symmetrisch. Das Resultat sind runde und grosse Äpfel. Werden nur einzelne Eizellen bestäubt (unten) bilden sich nur diese Teile der Frucht stark aus und die Früchte sind asymmetrisch und tendenziell kleiner, was eine Qualitätsreduktion bedeutet. Mögliche zusätzliche negative Auswirkungen auf die Lagerfähigkeit konnte nicht untersucht werden.

Bezüglich der Zusammensetzung der Apfel-Bestäubergemeinschaften waren Honigbienen meist mit Abstand die häufigsten Bestäuber, sie machten bis zu 90% der Blütenbesuche aus. Tatsächlich konnten wir eine signifikant negative Beziehung zwischen der Häufigkeit von Honigbienen-Besuchen der Apfelblüten und der Ertragslimitierung in der Apfelproduktion finden (Abb. 12). Einige Studien haben jedoch gezeigt, dass die Honigbiene, verglichen mit den wichtigsten Gruppen von Wildbestäubern (Mauerbienen, Sandbienen und Hummeln), trotz meist höherer Blütenbesuchsraten eine geringere individuelle Effizienz bei der Bestäubung von Apfelblüten aufweist. Dies ist unter anderem darauf zurück zu führen, dass Honigbienen-Arbeiterinnen nicht nur Pollensammelflüge auf Apfelblüten machen, sondern auch Nektarsammelflüge. Bei Letzteren werden beim Blütenbesuch die reproduktiven Organe der Blüten meist nicht berührt («side working»), wodurch keine oder nur eine ungenügende Bestäubung stattfindet (z.B. Martins et al. 2015; Russo et al. 2017). Zudem tragen Honigbienen gemäss Studien weniger zur Bestäubung von Blüten von Empfängerbäumen mit kompatibelem Pollen von Pollenspender-Bäumen bei, da sie während eines Sammelflugs weniger oft verschiedene Bäume bzw. verschiedene Baumreihen anfliegen (Sapir et al. 2017). Tatsächlich zeigen die Resultate einer Meta-Studie welche noch in Vorbereitung ist, dass auch Wildbestäuber erheblich zur Bestäubung von Apfel beitragen (Sutter et al. In Vorbereitung).

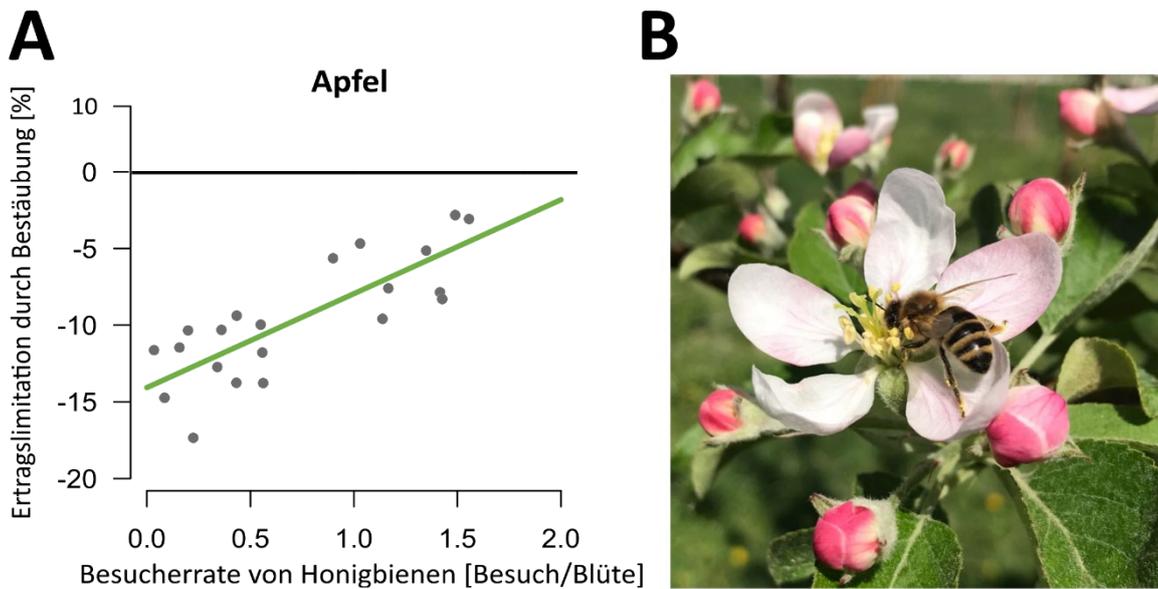


Abbildung 12: Apfelbestäubung. Einfluss der Honigbiene auf die Apfelblütenbestäubung. (B) Honigbiene bei der Bestäubung einer Apfelblüte.

4.1.2 Kirschenproduktion

Das geschätzte Potential für eine Ertragssteigerung in der Anzahl produzierter Kirschen durch eine verbesserte Bestäubung beträgt durchschnittlich 10% (Resultate basierend auf 24 untersuchten Kirschenproduktionsanlagen; Abb. 9). Auch hier war die Streuung zwischen einzelnen Anlagen sehr gross, mit bis zu 30% Ertragslimitierung aufgrund suboptimaler Bestäubung (Abb. 10). Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die Qualität der Bestäubung (optimal vs. offen) einen Einfluss auf den Fruchtfall hat – je besser die Bestäubung, desto mehr Blüten können sich zu Früchten entwickeln. Hier spielt nicht nur die Blütenbesucherrate (Abb. 13a), sondern auch die Diversität der blütenbesuchenden Wildbienen (inklusive Hummeln) eine wichtige Rolle für den Bestäubungserfolg und den Ertrag in der Kirschproduktion.

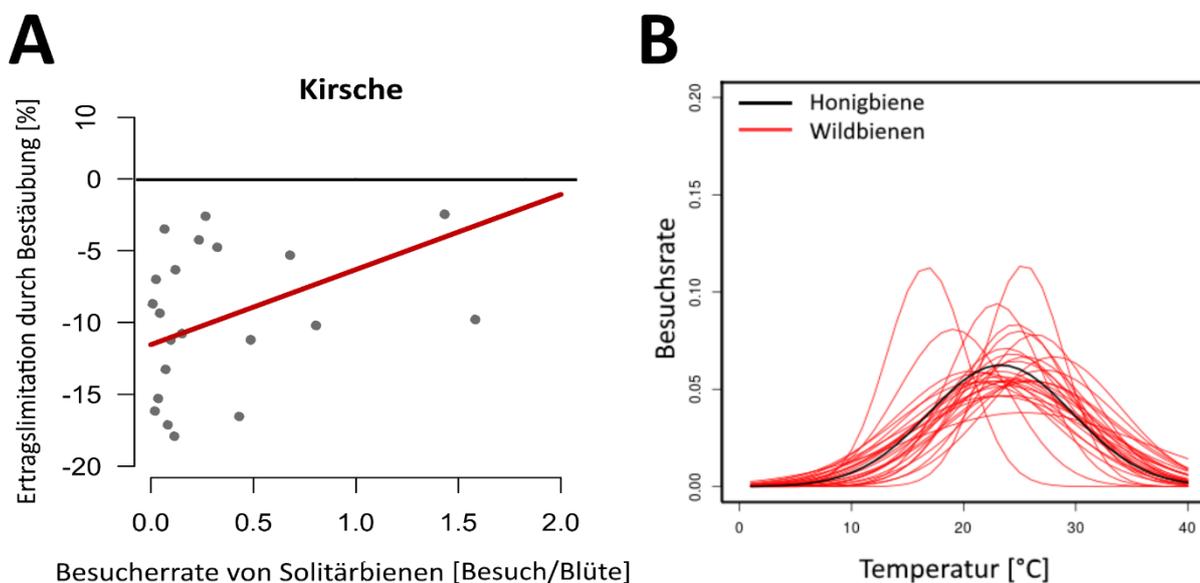


Abbildung 13: (A) Beziehung zwischen Blütenbesucherrate von Wildbienen und Bestäubungsabhängige Ertragslimitierung bei Kirsche. (B) Unterschiedliche Temperaturmischen von unterschiedlichen Bestäubern bei der Kirschblütenbestäubung. Jede rote Linie steht für eine andere Wildbienenart.

Interessanterweise wurden insbesondere an Standorten mit einer hohen Anzahl von Wildbienen besonders viele Kirschen produziert (Sutter et al. 2019). Ein möglicher Grund dafür sind die unterschiedlichen Aktivitätsmuster der verschiedenen Wildbienenarten, vor allem bei tiefen Temperaturen (Abb. 13b). Das Vorhandensein verschiedener funktionell wichtiger Wildbestäuberarten und eine insgesamt hohe Wildbestäuberdiversität sind also wichtige Faktoren für eine optimierte Kirschenproduktion.

4.1.3 Rapsproduktion

Im Raps konnten mit optimaler Bestäubung durchschnittlich 7% mehr Ertrag erreicht werden (Abb. 9). An gewissen Standorten betrug die Ertragslimitierung durch suboptimale Bestäubung jedoch bis zu 25% (Abb. 10). Aufgrund sehr hohen Anzahl an gleichzeitig zu bestäubenden Blüten in Rapsfeldern sind auch entsprechend hohe Dichten an Bestäubern nötig, wie sie oft nur durch die Kombination von den natürlich vorkommenden Wildbestäubern mit zusätzlichen Honigbienenvölkern erreicht werden können (Sutter et al. 2018). Da die Bienenvölker schon früh im Jahr bereitgestellt werden und da die Honigbienen grosse Flugdistanzen bewältigen, spielen sie eine wichtige Rolle bei der Bestäubung von Raps. Wie stark Raps von der Bestäubung durch Insekten abhängig ist, scheint auch stark von der jeweiligen Rapsorte abzuhängen (z.B. Sutter & Albrecht 2016; Garratt et al. 2018).

4.1.4 Himbeerproduktion

Für die Himbeerproduktion im Wallis (Produktionssystem: offene Tunnel) konnte eine signifikante Zunahme an deformierten und nicht verwertbaren Himbeeren bei einer Abnahme der Blütenbesuche durch Wild- und Honigbienen gefunden werden. Aufgrund dieser Analysen kann ein möglicher Ertragsausfall (bzw. eine Reduktion des Marktwerts) aufgrund eines erhöhten Anteils von deformierten Himbeeren bei nicht optimaler Bestäubung von 6.4% geschätzt werden. Diese Resultate beruhen jedoch auf einer relativ geringen Anzahl an untersuchten Produktionsstandorten (9 Standorte insgesamt), die allesamt im Wallis lagen. Um zu überprüfen, ob diese Resultate Allgemeingültigkeit haben und ob sie auf andere Regionen der Schweiz bzw. andere Produktionssysteme und für unterschiedliche Wetterbedingungen übertragbar sind, wären weitere Untersuchungen nötig.

4.1.5 Ackerbohnenproduktion

Für die 25 untersuchten Ackerbohnen-Produktionsstandorte wurde keine Ertragslimitierung durch suboptimale Insektenbestäubung gefunden. Jedoch wurde eine starke Abhängigkeit des Ertrags von der Bestäubung durch Insekten festgestellt, mit durchschnittlich 70% Ertragseinbusse ohne Insektenbestäuber (Abb 14. D). Hierbei spielten Hummeln (insbesondere die Gartenhummel *Bombus hortorum*, siehe Tabelle Anhang 1) eine wichtige Rolle, ähnlich wie in einer kürzlich in Deutschland durchgeführten Studie (Marzinzig et al. 2018). Bei anderen häufigen Blütenbesuchern der Ackerbohne, v.a. Honigbiene und Erdhummel (*Bombus terrestris*), wurde ein hoher Anteil an Nektarraub beobachtet, bei dem ein Loch in den unteren Teil der Blüte gebissen und dort der Nektar entnommen wird, ohne die Blüte zu bestäuben (Abb. 14). Es ist anzumerken, dass aufgrund der komplexen Blütenmorphologie der Ackerbohne der methodische Ansatz, wie er für die anderen Kulturen erfolgreich angewendet werden konnte (Vergleich Offen-Bestäubung vs. supplementierende Handbestäubung) hier nicht praktikabel war. Deshalb wurde das Potential für Ertragssteigerungen untersucht, indem Teile von verschiedenen Ackerbohnenfeldern mittels Flugkäfigen eingezäunt wurden. Jeweils die Hälfte der Flugkäfige wurden mit feldrealistisch hohen bzw. tiefen Hummeldichten behandelt. Möglicherweise müsste dieser methodische Ansatz überprüft und gegebenenfalls optimiert werden. Weshalb trotz starker Bestäuber-Abhängigkeit des Ertrags und der wichtigen Rolle von Wildbestäubern trotzdem keine signifikanten Unterschiede bei unterschiedlichen Dichten von Hummeln unter Freilandbedingungen gefunden werden konnten, bleibt unklar und bedarf zusätzlicher Untersuchungen. Ob eine gezielte Förderung der Gartenhummel mittels agrarökologischer Massnahmen, z.B. durch Blühstreifen oder gezielter Förderung von Nisthabitaten, zu Ertragsteigerungen in der Ackerbohnenproduktion führen kann, wäre ebenfalls in zukünftigen Studien abzuklären.

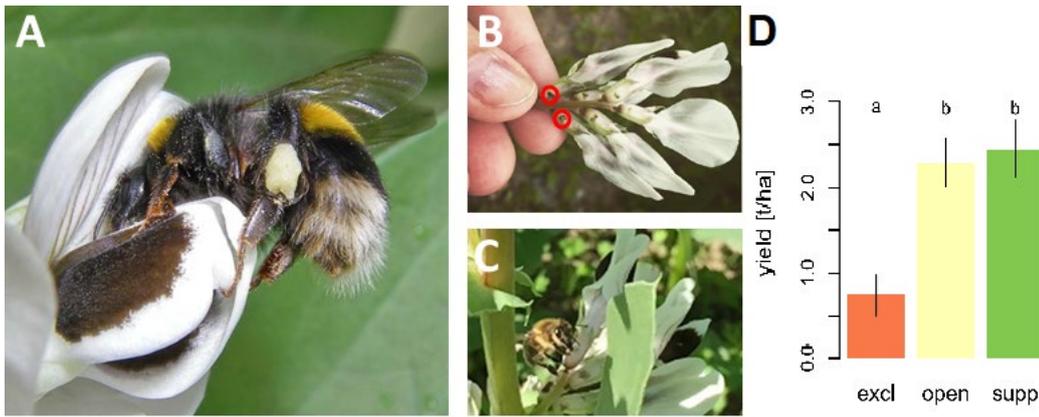


Abbildung 14. (A) Gartenhummele (*Bombus hortorum*) als effektive Bestäuberart bei der Bestäubung einer Ackerbohnenblüte. (B) Nektar-Raub an Ackerbohnenblüten, wie er oft durch Honigbienen und (C) Erdhummeln erfolgt. (D) Ackerbohnenenertrag (Y-Achse in t/ha) in Abhängigkeit von Bestäuberbehandlung (rot = ohne Bestäuber, gelb = Bestäuber realisiert, grün = Bestäuber optimal, siehe auch ABB. 7)).

4.2 Landschaft und Bewirtschaftung als beeinflussende Faktoren der Ertragslimitierung

Aus Kapitel 4.1 geht hervor, dass bei einigen Kulturen im Durchschnitt eine Ertragslimitierung durch suboptimale Bestäubung besteht, und dass insbesondere die Streuung zwischen den verschiedenen untersuchten Standorten sehr gross ist (Abb. 10). Sowohl die Zusammensetzung der umgebenden Landschaft, als auch die lokale Bewirtschaftung, können die Bestäuberfauna und folglich die Bestäubungsleistung beeinflussen. Somit liegt die Vermutung nahe, dass auch die Ertragslimitierung damit in Zusammenhang steht. Um die grosse Streuung zu erklären, wurden zwei weitere Forschungsfragen abgeleitet:

1. Welche Parameter der Landschaftszusammensetzung und der lokalen Bewirtschaftung (Pfleagemassnahmen, aktives Bestäubermanagement) erklären die Varianz der Ertragslimitierung zwischen den untersuchten Standorten?
2. Gibt es interaktive Effekte von Landschafts- und Bewirtschaftungsparametern auf die Ertragslimitierung der untersuchten Standorte?

Die Parameter der Landschaftszusammensetzung wurden für alle 101 Standorte aus einer Kombination des Topografischen Landschaftsmodells und der Arealstatistik mit einer Auflösung von 2m berechnet (Hächler 2018). In Kreisen um die Produktionsstandorte wurden daraus die Anteile in Prozent der folgenden Habitate berechnet: Siedlung, Wald, Obstanlagen, Naturwiese, Ackerland und Hecken. Diese Landschaftsparameter sind nicht sehr stark untereinander korreliert, was eine unabhängige Interpretation möglich macht. Da für das jeweilige Jahr der Feldaufnahmen nur für einen Teil der Standorte Daten zu den umliegenden Biodiversitätsförderflächen (BFF) zu Verfügungen standen, konnten sie nicht direkt in die Analysen einfließen. Für die Standorte mit Angaben zu BFF wurde jedoch getestet, wie stark die erhobenen Landschaftsdaten zu den Naturwiesen mit der Fläche BFF zusammenhängt. Es zeigte sich, dass der Anteil Naturwiese sehr stark ($r = 0.8$) mit dem Anteil extensiv bewirtschafteter Wiesen und stark ($r = 0.7$) mit der Fläche aller BFF korreliert war. Aufgrund dieser starken Korrelation können in der Interpretation die Naturwiesen mit extensiv genutzten Wiesen (BFF) gleichgesetzt werden. Die Bewirtschaftungsdaten stammen aus einem Fragebogen, welcher von den Bewirtschaftern ausgefüllt wurde und stehen nur für die Kulturen Apfel und Kirsche zur Verfügung. Hier wurden Angaben zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Düngern erfasst. Zusätzlich wurde eine Befragung zum Management von Bestäubern durchgeführt. Dabei wurde erfasst, ob und welche kommerziellen Bestäuber (Mauerbienen, Hummeln) eingesetzt wurden und wie weit das nächst gelegene Honigbienenvolk entfernt ist. Daraus wurde der Faktor, ob kommerzielle

Bestäuber zum Einsatz kamen oder nicht, abgeleitet. Alle untersuchten Parameter und deren qualitativen Effekte sind in der folgenden Tabelle abgebildet (Tabelle 4).

Tabelle 4: Übersichtstabelle aller untersuchten Parameter und qualitativen Resultate. Farbencode: Grau = nicht erhobene Parameter, weiss = kein Zusammenhang, grün = positiver Zusammenhang mit tiefer Ertragslimitierung, rot = negativer Zusammenhang.

Kultur	Response	Siedlung	Wald	Obstanlagen	Naturwiesen	Hecken	Ackerland	Bestäuber	Bewässerung	Dünger	Fungizide	Insektizide	Herbizide
Ackerbohne	Bestäubungsdefizit												
Raps	Bestäubungsdefizit												
Himbeere	Bestäubungsdefizit												
Apfel	Bestäubungsdefizit												
Kirsche	Bestäubungsdefizit												

4.2.1 Einfluss von Naturwiesen und Wald auf die bestäubungsabhängige Ertragslimitierung

Vor allem bei Raps und Kirschen korreliert der Anteil Naturwiesen und der Anteil Wald im Umland eines Standortes signifikant mit einer reduzierten Ertragslimitierung durch mangelhafte Insektenbestäubung (Abb. 15 und 16).

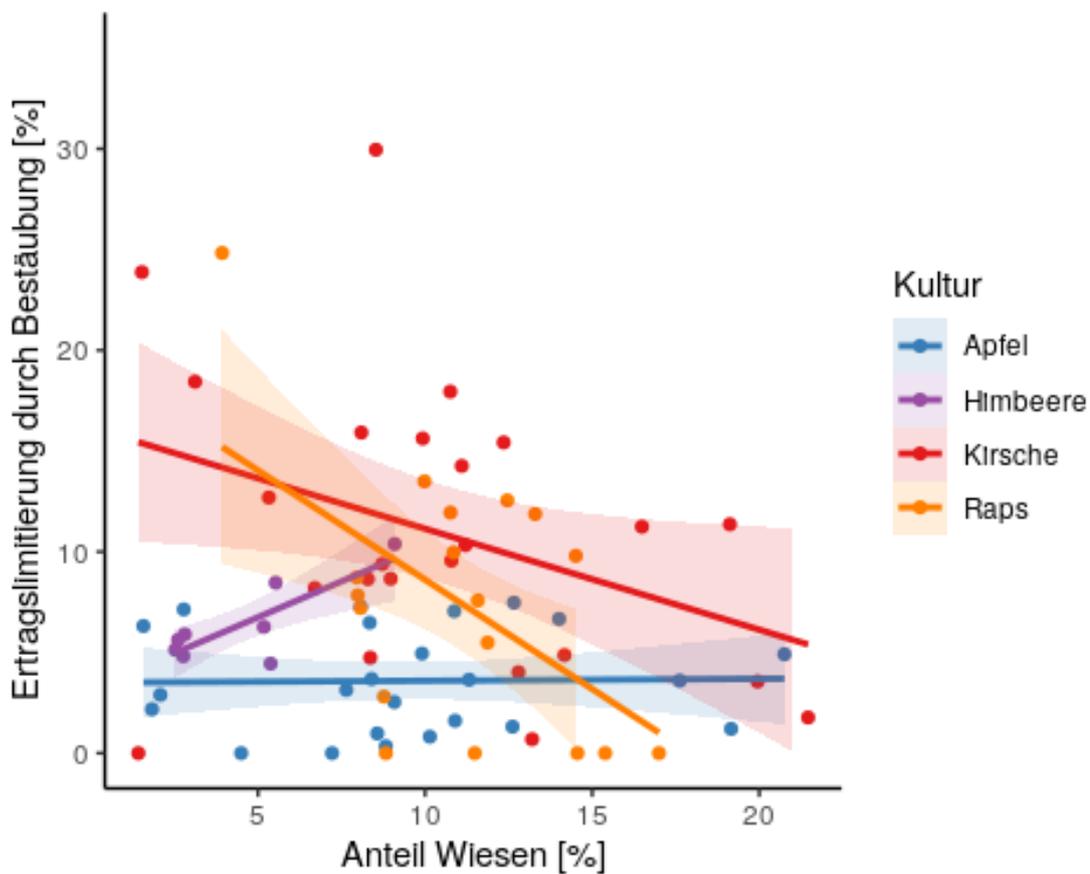


Abbildung 15 Korrelation des Anteils Wiesen im Umland (1000m Radius) eines untersuchten Standortes und der bestäubungsbedingten Ertragslimitierung.

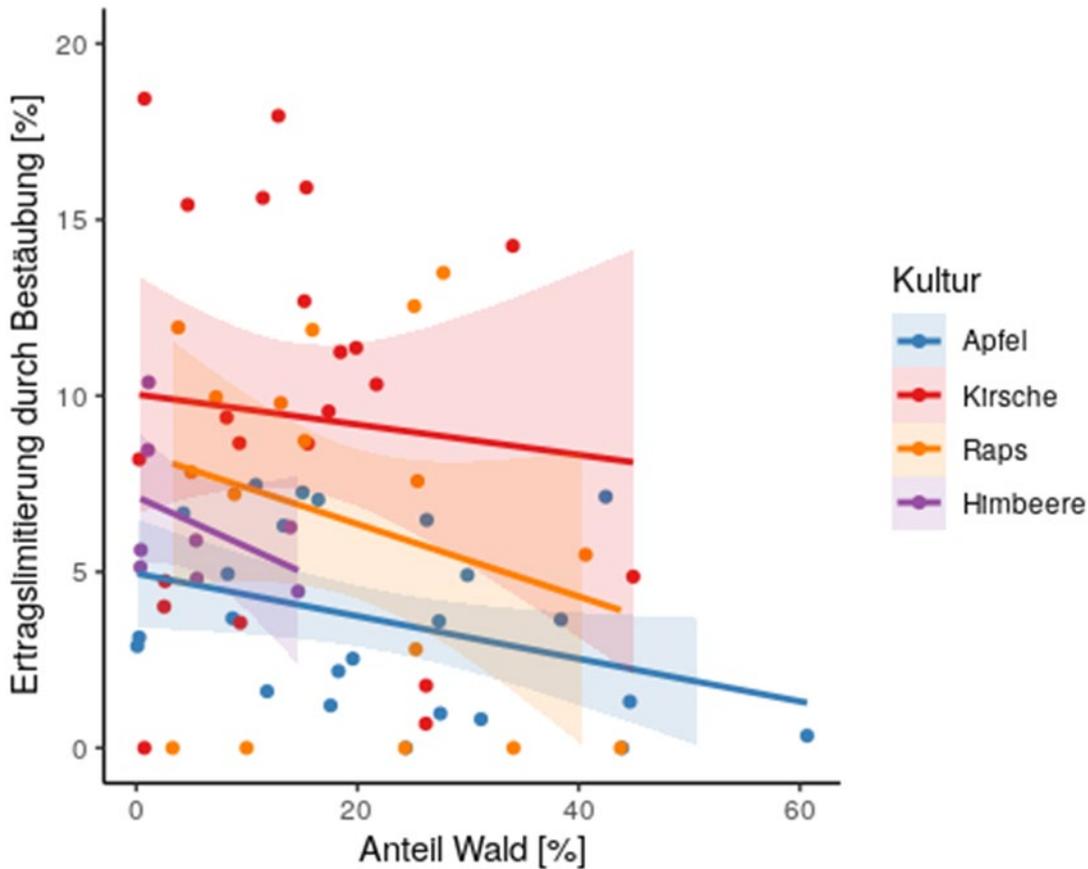


Abbildung 16. Mit zunehmendem Anteil Wald rund um die Produktionsparzelle (1000m Radius) nimmt die bestäubungsbedingte Ertragslimitierung in allen untersuchten Kulturen ab.

Wie weiter oben erwähnt, korrelieren sowohl der Anteil Wald als auch der Anteil Naturwiesen, sehr stark mit dem Anteil an BFF. Deshalb können die beobachteten Zusammenhänge (Abb. 15 und 16) als Resultat der Landschaftszusammensetzung als Ganzes verstanden werden und nicht als monokausale Effekte von einem Habitattyp. Je mehr natürliche oder halbnatürliche und extensiv bewirtschaftete Flächen sich im Umland befinden, desto weniger ist die Produktion durch ungenügende Bestäubung limitiert. Dabei spielen auch BFF eine zentrale Rolle, denn diesen machen einen substantiellen Teil davon aus.

4.2.2 Einfluss kommerzieller Bestäuber auf die bestäubungsabhängige Ertragslimitierung

In denjenigen Apfel- und Kirschenanlagen, in denen kommerzielle Bestäuber (Wildbienen) eingesetzt wurden, war die bestäubungsbedingte Ertragslimitierung leicht reduziert (Abb. 17). Die Streuung war jedoch nach wie vor sehr gross und die Unterschiede waren nicht signifikant. Die Interaktion der Effekte von Landschaftszusammensetzung (4.2.1) und dem Einsatz kommerzieller Bestäuber (4.2.2) werden im nächsten Kapitel (4.2.3) weiter untersucht.

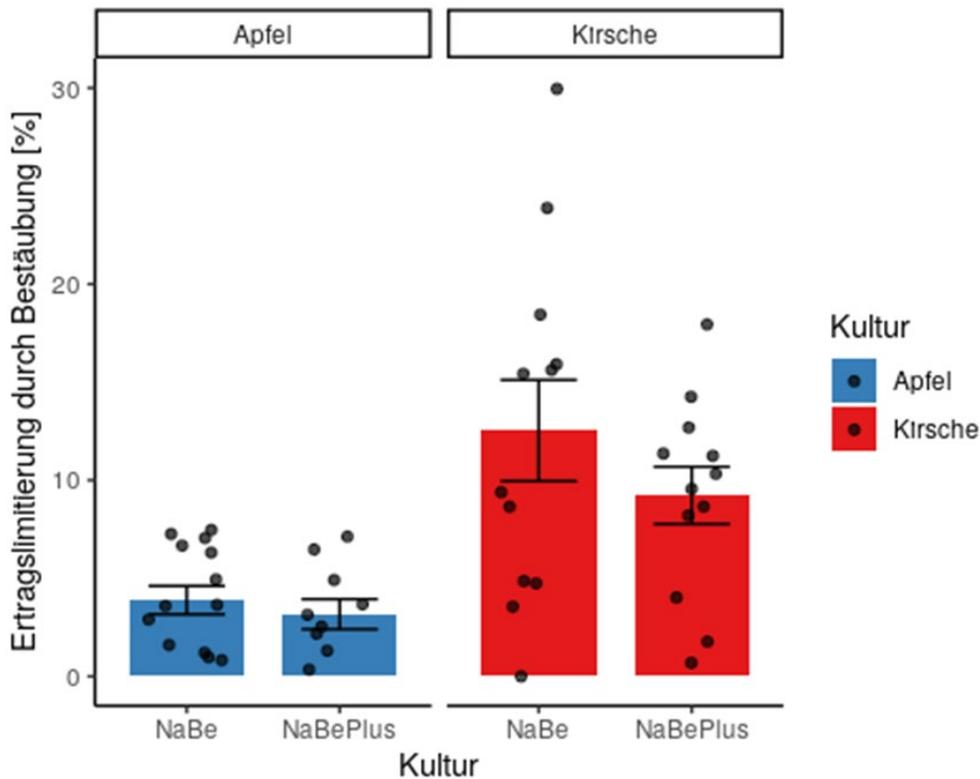


Abbildung 17: Wenn kommerzielle Bestäuber eingesetzt werden, sinkt die Ertragslimitierung bei Kirschen im Durchschnitt um 3% (NaBe = Natürliche Bestäuber, NaBePlus = natürliche Bestäuber + Einsatz von kommerziellen Bestäubern)

4.2.3 Interaktive Effekte von Landschaft und Bewirtschaftung auf die Ertragslimitierung

Wenn bei Apfel und Kirsche kommerzielle Bestäuber eingesetzt werden, resultiert tendenziell eine tiefere bestäubungsbedingte Ertragslimitierung. Diese Beziehung wird aber von der Zusammensetzung der Landschaft beeinflusst. Dies wird in Abb. 18 beispielhaft für den Anteil Wald gezeigt, er steht stellvertretend für den Anteil an halbnatürlichen Lebensräumen.

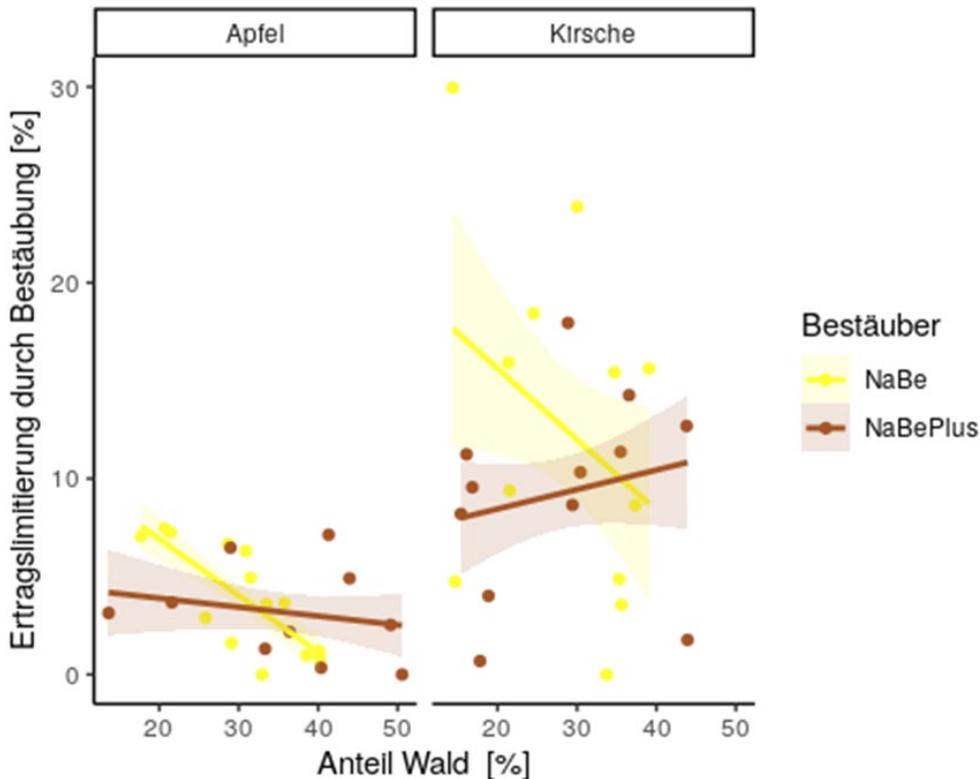


Abbildung 18: Der Anteil Wald in der Umgebung (1000 m Radius) und der Einsatz von kommerziellen Bestäubern reduzieren gemeinsam die Ertragslimitierung in Kirsche und Apfel. (NaBe = Natürliche Bestäuber, NaBePlus = natürliche Bestäuber + Einsatz von kommerziellen Bestäubern).

Wenn nur kleine Anteile halbnatürlicher Lebensräume in der Umgebung vorhanden sind und keine Bestäuber eingesetzt werden, resultiert eine hohe Ertragslimitierung. Umgekehrt müssen, wenn die Landschaft viel Wald, Wiesen und BFF enthält, nicht unbedingt Bestäuber eingesetzt werden, um eine tiefe Ertragslimitierung zu erreichen. Denn es kommen genug Bestäuber in genügender Anzahl und Diversität vor, um die Bestäubung nicht zu einem limitierenden Faktor der Produktion zu machen. Dies beantwortet die Frage, was die Streuung der Ertragslimitierung verursacht: Es ist eine Kombination von Landschaft und Bestäuber-Management. Diese Erkenntnis liefert auch einen Teil der Erklärung, weshalb der Einsatz von Bestäubern alleine die Ertragslimitierung nicht signifikant reduziert (4.4.2, Abb. 17). Denn es gibt Standorte, wo keine Bestäuber eingesetzt wurden, und doch keine Ertragslimitierung resultierte, weil die natürliche Bestäubungsleistung ausreichend war.

Im Weiteren hat sich auch gezeigt, dass die Ertragslimitierung, ausser bei Äpfeln, relativ unabhängig von der Abundanz der Honigbienen ist und vor allem die wilden Bestäuber eine grosse Rolle spielen. Befindet sich eine Apfel- oder Kirschenanlage in einer Landschaft mit wenig Struktur und wird kein Bestäubermanagement gemacht, kann die bestäubungsbedingte Ertragslimitierung hoch ausfallen. Werden aber kommerzielle Bestäuber eingesetzt, kann auch in solchen Landschaften eine substantielle Ertragslimitierung vermieden werden. Mit zunehmenden Anteilen an halbnatürlichen Lebensräumen werden die wilden Bestäuber zahlreicher. Wenn die Landschaft genug komplex und divers ist, reicht dies in den meisten Fällen aus, um grössere Ertragslimitierungen zu vermeiden. Dabei handelt es sich nicht um einen monokausalen Effekt eines einzelnen Habitat-Typs (z.B. der Anteil Wald), vielmehr ist es die Zusammensetzung der Landschaft als solches. Es ist eher als Beitrag einer reichhaltigen und gut strukturierten Landschaft mit vielen BFF zu interpretieren, als ein Effekt von einem einzigen Habitat-Typ. Diverse und gut strukturierte Landschaften mit kleiner Parzellen, durchmischt mit halbnatürlichen Habitaten, bieten den Bestäubern die nötigen Ressourcen, damit sie in grosser Zahl und Diversität die Bestäubung der Kulturen sicherstellen können. Dabei spielen gerade auch BFF eine wichtige Rolle, denn sie erweisen sich als nützliches Instrument, um die Landschaft nachhaltig so zu gestalten, dass widerstandsfähige Populationen verschiedener Bestäuber erhalten werden können, sodass auch ohne Einsatz kommerzieller Bestäuber keine Ertragslimitierung durch die Bestäubung auftritt.

5 Förderung von Bestäubungsleistungen durch Blühstreifen

Der Blühstreifen für Bestäuber und andere Nützlinge zur Förderung der funktionellen Biodiversität insbesondere von Bestäubern und Antagonisten von Kulturschädlingen, sowie die durch sie erbrachten Bestäubungs- und Schädlingskontroll-Leistungen, ist seit 2015 als Biodiversitätsförderfläche (BFF) direktzahlungsberichtig. Blühstreifen für Bestäuber sollen zur Verringerung der Trachtlücke im Frühsommer beitragen und generell das Nahrungsangebot für Bestäuber erhöhen, nicht zuletzt auch von wichtigen Wildbestäubern von landwirtschaftlichen Kulturen. Über die Wirksamkeit der beiden zurzeit beitragsberechtigten Mischungen von Blühstreifen für Bestäuber (einjährige Mischungen «Grundversion» und «Vollversion»), sowie verschiedener mehrjährigen Mischungen, welche zur Zeit der Untersuchung noch in der Entwicklungsphase waren, bzgl. Attraktivität für und Nutzung durch Honig- und Wildbienen wurde bereits im Detail berichtet (Ganser et al. 2018; Ramseier et al. 2018; Ganser 2019). In diesen Studien konnte u.a. gezeigt werden, dass solche Blühstreifen den Reproduktionserfolg und somit Populationen von verschiedenen Wildbienenarten, darunter wichtige Bestäuber von Kulturen, signifikant erhöhen können (Ganser et al. 2018; Ramseier et al. 2018; Ganser et al. 2021). Eine effektive Förderung von Populationen von kulturbestäubenden Wildbienen ist langfristig das wichtigste Ziel zur Sicherung und Förderung der Bestäubung von insektenbestäubten Kulturen.

Doch es können auch kurzfristige Effekte erwartet werden. In Erdbeerkulturen wurde getestet, welche Wirkung Blühstreifen lokal und unmittelbar auf bestäubende Insekten in den Erdbeerefeldern haben. Ein möglicher Mechanismus ist z.B. der «funktionelle Spillover Effekt». Die Bestäuber werden durch die Blühstreifen angelockt, und bestäuben dann auch die angrenzenden Kulturen (Ganser et al. 2018). In einer früheren Studie wurde ebenfalls der Effekt von Buntbrachen (und Hecken) als weitere BFF-Elemente mit potentiell positiven Effekten auf die Bestäubung und den Ertrag in angrenzenden Rapskulturen getestet (Sutter et al. 2018). Zusätzlich hat Agroscope in einer Meta-Studie einige der möglichen Faktoren untersucht, welche für die Effektivität von Blühstreifen zur Förderung von Bestäubungsleistungen in angrenzenden Kulturen relevant sind (Albrecht et al. 2020). Obwohl diese Studien nicht Teil dieses Projekts waren, sollen die wichtigsten Resultate hier kurz zusammengefasst werden.

5.1 Effekte von Blühstreifen für Bestäuber auf Blütenbesuche und Bestäubung in angrenzenden Erdbeerkulturen

Bei der Betrachtung der wichtigsten Bestäuber (Honigbiene, Wildbienen, Hummeln, Schwebfliegen) in den Blühstreifen für Bestäuber und in angrenzenden Erdbeerefeldern hat sich gezeigt, dass viele der kleineren, durch den Blühstreifen geförderten Wildbienenarten auch in den angrenzenden Erdbeerefeldern wiedergefunden wurden, und zu einer höheren Bestäubung beigetragen haben (Abb. 19). Dieser Effekt war jedoch räumlich meist nur auf den Rand der Erdbeerefelder nahe der Blühstreifen begrenzt. Im Gegensatz dazu drangen grössere Arten wie Honigbiene oder Erdhummel in das gesamte angrenzende Erdbeerefeld vor und konnten auch in der Mitte der Felder Bestäubungsleistungen erbringen.

Beim Vergleich von Erdbeerefeldern ohne bzw. mit angrenzenden Blühstreifen wurde keine direkte Bestäubungserhöhung über das gesamte Erdbeerefeld hinweg festgestellt. Am Rand der Erdbeerefelder zu den Blühstreifen jedoch war eine Erhöhung der Bestäubungsleistung (Anteil an erfolgreich bestäubten Samen pro Frucht) auszumachen. Dies ist vermutlich auf den lokalen «Spillover» vieler Wildbienen von den Blühstreifen in die angrenzenden Erdbeerefelder zurückzuführen. Auf den Anteil an deformierten Früchten wurde kein Effekt gefunden. Es kann somit festgehalten werden, dass der Blühstreifen für Bestäuber sicherlich keine direkte Konkurrenz um Bestäuber für die Erdbeerkulturen darstellt (was manchmal als Sorge von Produzenten geäussert wurde), sondern vielmehr, dass er zu einer Erhöhung der Bestäuber und, räumlich begrenzt, auch zur Bestäubung im angrenzenden Erdbeerefeld beiträgt. Wie es sich mit der zeitlichen Entwicklung über mehrere Jahre verhält, d.h. ob die dauernde Präsenz von Blühstreifen in der Landschaft zu einem nachhaltigen Aufbau der Bestäuberpopulationen führt (Blaauw & Isaacs 2014; Albrecht et al. 2020), konnte hier leider nicht untersucht werden.

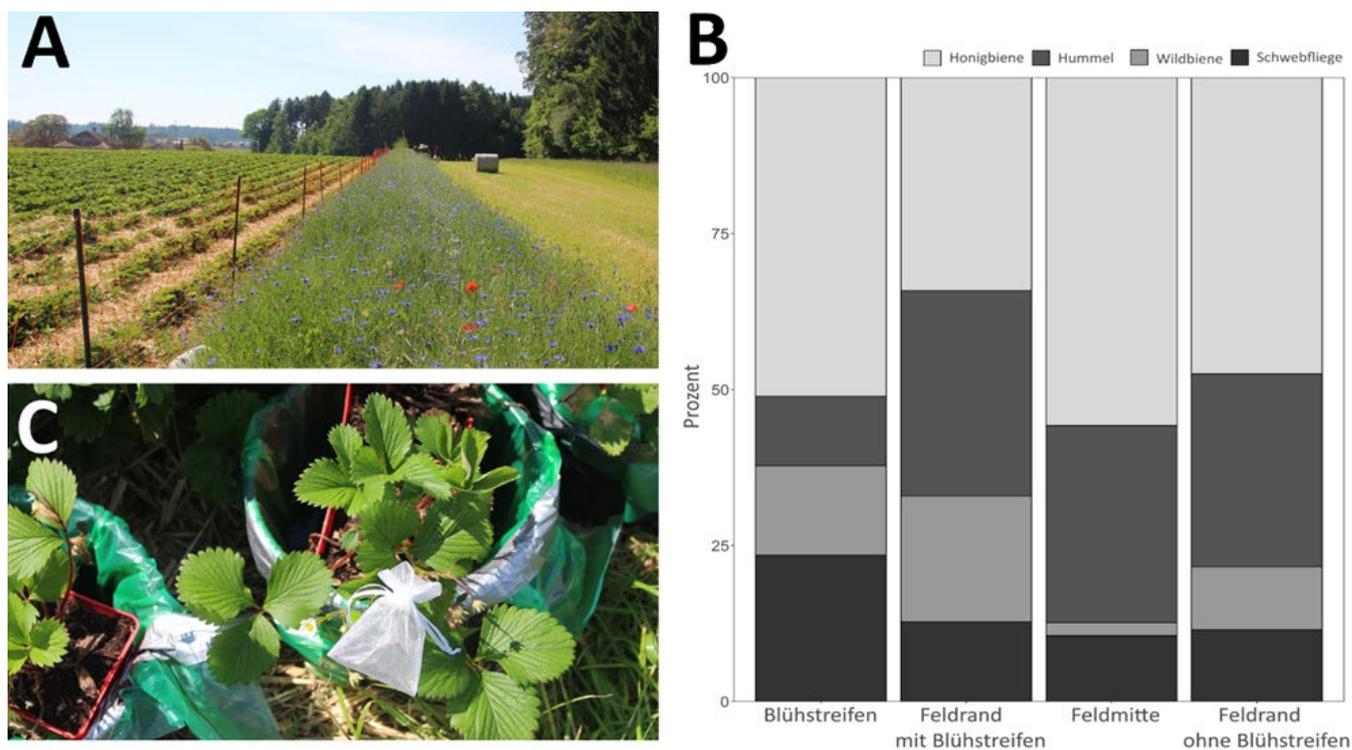
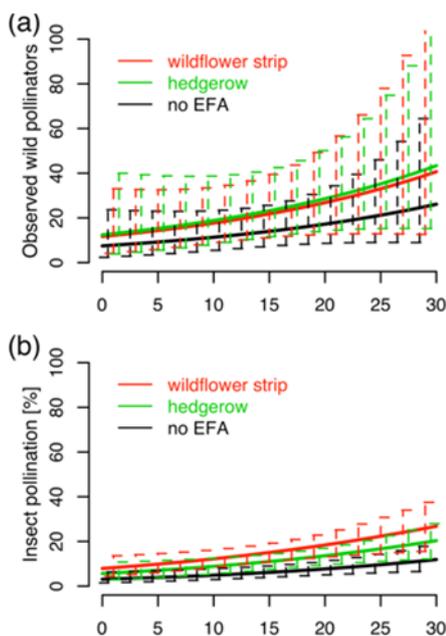


Abbildung 19: (A) Blühstreifen angrenzend an Erdbeerkulturen. (B) Anteil wichtiger Gruppen von Bestäubern an der Bestäubergemeinschaft auf Blühstreifen und in angrenzenden Erdbeerefeldern. (C) Bestäubungsexperimente zur Ermittlung der Bestäubungsleistungen (Samenansatz) und der Qualität von Erdbeerfrüchten.

5.2 Effekte von mehrjährigen Blühstreifen (Buntbrachen) auf Bestäubung im Raps

Im Rahmen des Europäischen FP7 Projekts QUESSA (Quantification of ecological services for sustainable agriculture) wurde in Schweizer Rapsfeldern (konventionelle Produktion, hauptsächlich Kantone Zürich und Aargau) an insgesamt 18 Standorten im Jahr 2014 untersucht, wie sich mehrjährige Blühstreifen (BFF-Typ Buntbrachen) und Hecken (BFF-Typ Hecken mit Krautsaum) auf die Erbringung von Bestäubungsleistungen und natürliche Schädlingskontroll-Leistungen in benachbarten Rapsfeldern auswirken. Zudem wurde untersucht, welche Rolle der Anteil an BFF-Flächen und weiteren halbnatürlichen Habitaten in einem 1 km Radius um die untersuchten Felder spielt und welche interaktiven Effekte von lokalen BFF und Landschaftskontext auf die Erbringung von Bestäubungs- und Schädlingskontroll-Leistungen feststellbar sind. Bezüglich der Blütenbesuchsraten der Bestäuber und der Bestäubungsleistungen konnte gezeigt werden, dass in den Feldern mit angrenzenden BFF sowohl die Anzahl der Rapsblüten-besuchenden Wildbienen als auch der insektenbestäubungsabhängige Samenansatz der Rapspflanzen (Indikator für die Bestäubungsleistung) signifikant höher waren als in Kontroll-Feldern ohne BFF. Insbesondere die mehrjährigen Blühstreifen (Buntbrachen) trugen zu einer Erhöhung der Wildbestäuber und der Bestäubungsleistung bei (Abb. 20). Der positive Effekt der Blühstreifen war umso höher, je mehr BFF und halbnatürliche Habitate in der umgebenden Landschaft (1 km Radius) vorhanden waren (Abb. 20). Dies ist dadurch erklärbar, dass die Wildbestäuber auf solche Habitate in der Landschaft angewiesen sind, um genügend starke «Source populations» zu bilden, damit Blühstreifen effektiv zur Förderung von Ökosystemdienstleistungen wie Bestäubung und Schädlingskontrolle beitragen können.



Anteil an BFF-Flächen und halbnatürlichen Habitaten (%)

Abbildung 20. Beziehung zwischen dem Anteil (%) an BFF-Flächen und halbnatürlichen Habitaten auf der Landschaftsebene (1 km Radius) und (a) Wildbestäubern und (b) der Bestäubungsleistung in Rapsfeldern (Prozent Beitrag an Samenansatz) angrenzend zu mehrjährigen Blühstreifen (Buntbrachen («wildflower strip», rot), Hecken mit Krautsaum («hedgerow», grün) oder ohne angrenzende BFF-Flächen («no EFA», schwarz). Quelle: Sutter et al. 2018, Journal of Applied Ecology:

5.3 Meta-Analyse zu Faktoren der Effektivität von Blühstreifen zur Bestäubungsförderung

In einer Meta-Analyse von insgesamt 35 Studien hauptsächlich aus Europa und Nordamerika wurde die Effektivität von verschiedenen Typen von Blühstreifen (hinsichtlich Zusammensetzung und Artenvielfalt von Blütenpflanzen, Alter bzw. ob die Streifen ein- oder mehrjährig waren) sowie von Hecken auf die Erbringung von Bestäubungs- und Schädlingskontroll-Leistungen untersucht (Albrecht et al. 2020). Ein Hauptziel war es, die Faktoren besser zu verstehen, welche dafür verantwortlich sind, wie effektiv Blühstreifen Bestäubungs- und Schädlingskontroll-Leistungen fördern können. Hinsichtlich der Effektivität von Blühstreifen zur Förderung von Bestäubungsleistungen in angrenzenden insektenbestäubten Kulturen zeigte sich, dass mehrjährige Blühstreifen, die mindestens seit zwei Jahren etabliert waren, Bestäubungsleistungen in angrenzenden Kulturen effektiver zu fördern vermögen als einjährige Blühstreifen bzw. Blühstreifen, die erst seit maximal einem Jahr etabliert worden waren. Des Weiteren zeigen die Resultate, dass artenreichere Blühstreifen mit einem höheren Anteil an blühenden Pflanzenarten Bestäubungsleistungen in angrenzenden Kulturen effektiver fördern als Blühpflanzenarten-ärmere Streifen.

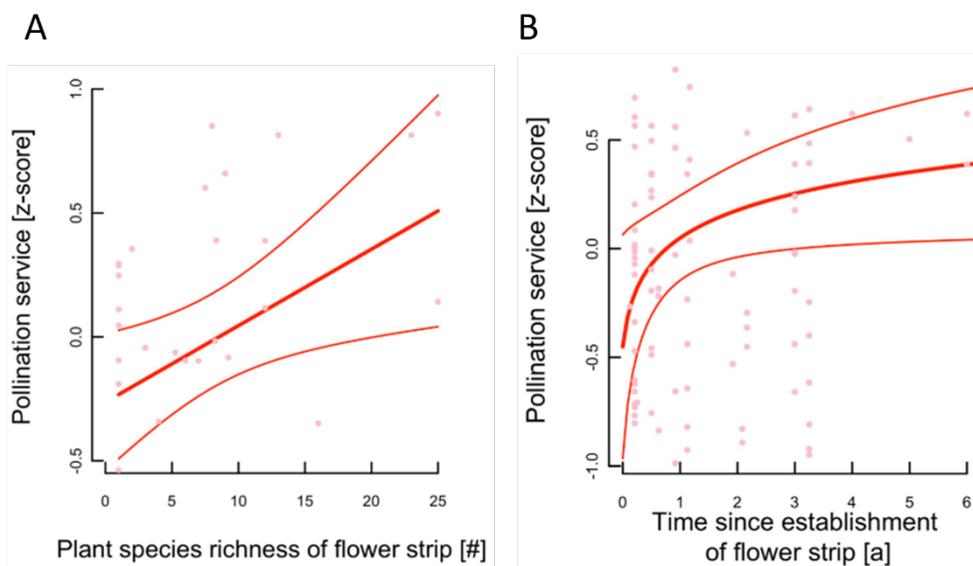


Abbildung 21: Beziehung zwischen (A) Anzahl Blühpflanzenarten in angesäten Blühstreifen und (B) des Alters von Blühstreifen (Anzahl Jahre nach Anlage) und der Bestäubungsleistung von Insekten in angrenzenden Insekten-bestäubten Kulturen. Die Bestäubungsleistung ist höher wenn Blühpflanzenarten-reiche und mehrjährige Blühstreifen angelegt wurden. Die Resultate basieren auf einer Metastudie in der nebst der Rolle von Blühstreifen und Hecken, Daten aus 17 Studien untersucht wurden, 10 davon mit Daten zur Artenzahl von Blühpflanzen, 13 mit Daten zum Alter von angelegten Blühstreifen. Quelle: Albrecht et al. 2020, *Ecology Letters*.

6 Synthese

6.1 Bedeutung der Insektenbestäubung und nicht ausgeschöpfte Ertragspotentiale

Es konnte der grosse ökonomische Wert der durch Insekten – hauptsächlich Honig- und Wildbienen – erbrachten Bestäubungsleistungen für die Schweizer Landwirtschaft ermittelt werden. Er wird auf 341 Millionen Schweizer Franken direkte Produktionswerte jährlich geschätzt (Referenzjahr 2014). Im Durchschnitt scheint die Bestäubung durch Insekten in den meisten untersuchten Kulturen relativ gut zu sein, mit relativ geringen durchschnittlich geschätzten Ertragslimitierungen aufgrund sub-optimaler Insektenbestäubung. In einzelnen Kulturen sind jedoch teils signifikante Produktionssteigerungen durch verbesserte Bestäubung möglich – sowohl im Obst- und Beerenanbau als auch im Ackerbau. Dazu gehört z.B. auch die Erhöhung der Qualität des Ernteguts (z.B. 10% grössere Äpfel der Sorte Gala; weniger deformierte Himbeeren), was wirtschaftlich für die Produzenten sehr relevant sein kann. Dies leiten wir aus den Erhebungen im Untersuchungsjahr 2018 ab, das ein ausserordentliches Jahr mit perfekten Witterungsbedingungen für eine optimale Insektenbestäubung war. In anderen Jahren mit weniger idealen Bedingungen ist möglicherweise mit erheblich grösseren, bestäubungsbedingten Ertragslimitierungen zu rechnen. Auffällig war die erhebliche Streuung der bestäubungsbedingten Ertragslimitierung (bis zu 30%) zwischen einzelnen Produktionsstandorten. Sie war weder durch regionale Gegebenheiten noch durch unterschiedliche Sorten erklärbar. In Kirsche und Apfel konnte die Variation sehr gut über Unterschiede im Vorkommen von Wild- und Honigbienen (Zahl der Blütenbesuche) bzw. durch die Zusammensetzung der Bestäubergemeinschaften zwischen den Standorten erklärt werden. Diese wiederum wurden durch den Anteil an halbnatürlichen Lebensräumen im Umkreis der Obstanlagen erklärt. In strukturarmen Landschaften konnte Ertragslimitierung durch Bestäubung durch kommerziell erhältliche Wildbienen mindestens teilweise ausgeglichen werden. Je strukturreicher die Landschaft war, desto geringer war die Ertragslimitierung durch Bestäubung, da die halbnatürlichen Lebensräume (insbesondere auch die BFF) ausreichende und stabile Wildbienenpopulationen ermöglichten.

6.2 Bedeutung verschiedener Bestäuber für die untersuchten Kulturen

Die Untersuchungen zeigen weiterhin, dass sowohl Honig- als auch Wildbienen unerlässlich für eine optimale Bestäubung von insekten-bestäubten Kulturen in der Schweiz sind. Nebst der Honigbiene, die in einigen Kulturen am meisten Blüten besuchte (im Durchschnitt ca. 50 Prozent der Blüten besuchenden Bestäuber), konnten in der relativ geringen Anzahl an verschiedenen Kulturen insgesamt über 80 verschiedene Wildbienenarten festgestellt werden (Anhang 1). Diese Zahl wäre natürlich höher, wenn in zusätzlichen Regionen der Schweiz und in weiteren Kulturen mit mehr Erhebungsaufwand Beobachtungen hätten durchgeführt werden können. Erwartungsgemäss zeigen die Ergebnisse, dass die Zusammensetzung der Bestäuber-Gemeinschaften je nach Kultur sehr unterschiedlich ist. Während in Apfelanlagen die Honigbiene meist klar dominiert, spielen für Kirsche und Himbeere verschiedene Wildbienen-Gruppen wie beispielsweise eine Reihe von Sandbienen-Arten (*Andrena* sp.) oder auch verschiedene Hummelarten (*Bombus* sp.) eine zentrale Rolle. Manche Wildbienenarten haben sich auf die Bestäubung bestimmter Pflanzengruppen mit besonderen Blütenformen spezialisiert, wodurch die Effektivität der Bestäubung im Vergleich zur Honigbiene, welche zu den Generalisten gehört, bei diesen Pflanzenarten höher ist. Ein Beispiel ist die Gartenhummel (*Bombus hortorum*), die für die Ackerbohnenbestäubung äusserst bedeutsam ist. Auch innerhalb der gleichen Kultur kann die Zusammensetzung der Bestäuber-Gemeinschaften zwischen den Standorten stark variieren. Ausschlaggebend ist hier die Anzahl und Nähe zu Honigbienen-Völkern und die Zusammensetzung der umliegenden Agrarlandschaft. Diese bestimmt, welche Nahrungs- und Nistmöglichkeiten den Wildbestäubern zur Verfügung stehen und dadurch die Vielfalt und Zusammensetzung der Bestäubergemeinschaften.

Für die Gewährleistung einer optimalen Bestäubung hinsichtlich Ertrag und Qualität können in vielen Kulturen Honig- und Wildbienen ergänzend beitragen. Wenn bei Kirschen beispielsweise die tiefen Temperaturen während der Blütezeit so tief sind, dass kaum Honigbienen Blüten besuchen, sind verschiedene Hummelarten, aber auch eine Reihe anderer Wildbienenarten, aktiv und bestäuben Kirschblüten. Interessanterweise wurden insbesondere an Standorten mit einer hohen Anzahl von Wildbienen und somit einem von der Bestäuber-Gemeinschaft gut

abgedeckten Temperaturspektrum viele Kirschen produziert. Jedoch würden ohne den Einsatz der Imker, die eine genügend hohe Dichte an Honigbienenvölkern gewährleisten, viele Kulturen wie Apfel oder auch Raps kaum ausreichend bestäubt. Die grosse Menge an gleichzeitig in kurzer Zeit zu bestäubenden Blüten solcher Kulturen wäre von Wildbestäubern alleine kaum zu schaffen. Demgegenüber sind Wildbienen meist effizientere Bestäuber pro Blütenbesuch. Die Zusammensetzung der Bestäubergemeinschaft bleibt entscheidend, um hohe und stabile Erträge zu gewährleisten.

Untersuchungen mit neben Erdbeerkulturen angelegten Blühstreifen haben gezeigt, wie sich Honig- und verschiedene Wildbienenarten bei der Bestäubung ergänzen: Während die kleineren, durch die Blühstreifen geförderten Wildbienenarten in den angrenzenden Erdbeerfeldern zu einer höheren Bestäubung beigetragen haben, blieb dieser Effekt jedoch meist auf den Rand der Erdbeerfelder begrenzt. Im Gegensatz dazu drangen grössere Arten wie Honigbienen oder Erdhummeln in das gesamte Feld vor und konnten auch in der Mitte der Felder wertvolle Bestäubungsleistungen erbringen.

6.3 Modellbasierte Vorhersagen von Bestäubern in Kulturen und von Bestäubungsleistungen

Robuste Vorhersagen von Bestäubern, Bestäubungsleistung oder Ertragssteigerungspotential aufgrund der Bestäubung in landwirtschaftlichen Kulturen der Schweiz mit Hilfe von räumlichen Modellen sind mit den zur Verfügung stehenden Inputdaten und der Komplexität und Vielfalt an Einflussfaktoren nicht verlässlich möglich. Es lassen sich zwar auf Grund der Datenlage bezüglich der Honigbienen Aussagen über die Anzahl und Verteilung der Völker und der zu bestäubenden Kulturen machen, aber eine räumliche Vorhersage ist auch hier nur sehr begrenzt möglich, da Honigbienen durch ihre grossen Flugradien sehr selektiv Kulturen ansteuern können und das individuelle Verhalten schwierig abzuschätzen ist. Insbesondere die enorme Komplexität der Beeinflussung durch den Landschaftskontext kann bisher nicht verlässlich in Modellen berücksichtigt werden. Des Weiteren scheinen auch die zur Verfügung stehenden Daten zur Anzahl und Verteilung von Honigbienen-Völkern, bzw. deren genauen Standorte nicht immer zuverlässig zu sein, beispielsweise, weil teilweise auch Völker innerhalb des Jahres räumlich verschoben werden.

In Bezug auf Wildbienen erschwert sich das Bild zusätzlich. Hier haben die Modelle meist gar keine Vorhersagen erlaubt. Grund hierfür ist zum einen der Mangel an verlässlichen Input-Daten für die meisten Wildbienenarten, welche eine Rolle als Kulturbestäuber spielen, bzgl. Habitatansprüchen (Blüten- und Nisthabitate) und Flugradien, und zum anderen die zu geringe Auflösung von räumlichen Daten bzgl. potentiell wichtiger Nahrungs- und Nisthabitate. Einzelne Blütenpflanzen (z.B. Einzelbäume, Bäume und Sträucher an Waldrand oder in Hecken), die in der Landschaft verteilt sind, können für Wildbienen von grosser Bedeutung sein (Bertrand et al. 2019), sie sind jedoch in den vorhandenen Daten nicht abgebildet. Ebenfalls sind für die Wildbienenpopulationen Kleinstrukturen (Totholz, offener Boden, usw.) als Nisthabitate wichtig (Zurbuchen & Müller 2021; Verschiedene Arbeiten von Agroscope dazu in Vorbereitung). Auch diese werden von den für die ganze Schweiz verfügbaren räumlichen Daten nicht abgedeckt und können auch nicht sinnvoll angenähert werden. Aufgrund dieser Faktoren ist eine Validierung beider Datentypen (Landnutzung und Bienenvironment) für die Bestäubungsleistung sehr limitiert. Der Ansatz der räumlichen Modellierung für ein indirektes Monitoring von Bestäubern oder Bestäubungsleistungen wird deshalb nicht empfohlen.

6.4 Förderung von Bienen und deren Bestäubungsleistungen

Um die Bestäubung von landwirtschaftlichen Kulturen in der Schweiz langfristig zu gewährleisten, sollten Massnahmen zur Förderung von Wildbestäubern und Honigbienen weitergeführt bzw. intensiviert und ihre Effektivität verbessert werden. Neben gewissen Stressfaktoren, die entweder nur Honigbienen betreffen, wie zum Beispiel die *Varroa*-Problematik oder die Wichtigkeit von geeigneten Nistmöglichkeiten, welche nur für die Wildbienen eine Rolle spielen, sind Honig- und Wildbienen meist ähnlichen Stressfaktoren in Agrarlandschaften ausgesetzt, und profitieren entsprechend auch gemeinsam von Fördermassnahmen. Im Zuge des Nationalen Massnahmenplans für die Gesundheit der Bienen (2014, 2016) wurden hierfür bereits gewisse Massnahmen in die Wege geleitet und deren Wirksamkeit wissenschaftlich getestet, beispielsweise die Massnahme Blühstreifen für Bestäuber (Ganser 2019).

Grundsätzlich braucht es sowohl für gesunde Honigbienenvölker als auch für starke Wildbienenpopulationen ein vielfältiges und möglichst kontinuierliches Angebot an geeigneten Blütenressourcen ohne Trachtlücken (Requier et al. 2017). Studien zeigen die Wichtigkeit vielfältiger Agrarlandschaften mit einem hohen Anteil an verschiedenen gehölzreichen, halb-natürlichen Habitaten wie artenreiche Waldränder und Hecken zusammen mit krautigen blütenreichen Lebensräumen wie extensiv genutzte Wiesen und weitere Biodiversitätsförderflächen wie Buntbrachen oder Blühstreifen für Bestäuber (Albrecht et al. 2007; Sutter et al. 2017, 2018; Bartual et al. 2019; Bertrand et al. 2019; Kremen et al. 2019; Cole et al. 2020; Eckerter et al. 2020). Diese können ein kontinuierliches Blütenangebot sowie Nist- und Überwinterungsmöglichkeiten schaffen, welche insbesondere für Wildbienen entscheidend sind. Explizit konnte gezeigt werden, dass die Extensivierung von Wiesen die Bestäuberanzahl und –diversität, sowie darüber hinaus die Bestäubungsleistung erhöht (Albrecht et al. 2007; Ekroos et al. 2020). Blühstreifen werden ebenfalls von Wildbienen genutzt und können deren Reproduktionserfolg erhöhen (Ganser et al. 2018; Ramseier et al. 2018; Ganser 2019; Ganser et al. 2020). Darüber hinaus haben sie einen räumlich begrenzten, positiven Effekt auf die Erdbeerbestäubung, wenn sie neben Erdbeerfeldern angesät werden (Ganser et al. 2018). In zwei weiteren Studien konnte ausserdem gezeigt werden, dass Blühstreifen die Bestäubungsleistung und Schädlingsreduktion in angrenzenden Feldern erhöhen können (Blühstreifen zur Nützlingsförderung: z.B. Tschumi et al. 2015; Buntbrachen: Sutter et al. 2018), was zu einem positiven Einfluss auf den Ertrag führen kann (Tschumi et al. 2015). Wichtig hierbei ist ein frühes Blühangebot im Jahr, welches v.a. durch mehrjährigen Blühstreifen und durch Blühstreifen, die im Herbst angesät werden, erreicht werden kann. Mehrjährige Blühstreifen, welche ein diverses Angebot an Blütenpflanzen über mehrere Jahre bereitstellen können (Albrecht et al. 2020) und Nistmöglichkeiten bieten (Ganser et al. 2019b), können Wildbestäuberpopulationen über mehrere Jahre aufbauen und so Bestäubungsleistungen in Kulturen effektiv und langfristig fördern (Blaauw & Isaacs 2014; Albrecht et al. 2020). Einjährige Frühjahrmischungen können aber ebenfalls ein hohes und vielfältiges Blütenangebot bieten, v.a. in der Trachtlücke im Frühsommer. Davon profitieren Kolonie-bildende Hummeln und Honigbienen, aber auch eine Reihe hauptsächlich polylektischer (generalisierter) Wildbienen mit eher späten Aktivitätsperioden (Ramseier et al. 2018; Ganser 2019). Für die Förderung von Bestäubungsleistungen in Kulturen, die im frühen bis mittleren Frühjahr blühen, sind einjährige Blühstreifen, die im Frühjahr angesät werden, wohl aber nicht so effektiv wie mehrjährige Blühstreifen (Albrecht et al. 2020) und wie einjährige Blühstreifen, die im Herbst angelegt werden.

6.5 Forschungsbedarf

Trotz dem verbesserten Verständnis der Wirksamkeit von Fördermassnahmen, insbesondere von Blühstreifen zur Förderung von Wild- und Honigbienen und der zu Grunde liegenden Faktoren, welche ihre Effektivität bestimmen, besteht weiterhin Forschungsbedarf. Die wichtigsten Fragen sind, wie bestehende Massnahmen optimiert werden können, und welche weiteren Massnahmen effektiv und effizient zur Förderung von Bestäubern und Bestäubungsleistungen beitragen. Mögliche vielversprechende Massnahmen könnten hier permanente Blühflächen mit Nistmöglichkeiten für Wildbienen im Obst-, Beeren- und Ackerbau sein. «Multi-funktionelle» Blühstreifenmischungen, mit denen sowohl Bestäubungs- als auch Schädlingskontroll-Leistungen, und evtl. weitere Ökosystemdienstleistungen synergistisch gefördert werden könnten, wären mit spezifisch auf eine Funktion oder Dienstleistung ausgerichteten Blühstreifenmischungen hinsichtlich Effektivität zu vergleichen. Des Weiteren wären Massnahmen zu evaluieren, welche Bestäuber auch auf der Produktionsfläche zu fördern vermögen, beispielsweise mittels blütenreichen Untersaaten (z.B. Leguminosen in Mais, Getreide, Sonnenblumen), welche nebst der Förderung von Bestäubern und Bestäubungsleistungen auch positive (evt. sogar synergistisch positive) Effekte auf die Förderung von weiteren Ökosystemdienstleistungen mit sich bringen könnten. Eine weitere zu prüfende Massnahme wäre eine Verschiebung des Schnitttermins von blühenden Kunst- und Naturwiesen mit hohem Klee-Anteil auf die Zeit nach der Trachtlücke im (Früh-)Sommer. So würde die kontinuierliche Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen, insbesondere für die wichtigen Kulturbestäuber Hummeln und Honigbienen, aber auch für eine Reihe weiterer Wildbienen, erhöht. Schliesslich haben Massnahmen zur Schaffung von wichtigen Nisthabitaten für Wildbienen, beispielsweise durch die Anlage von Sandhaufen für bodennistende Wildbienen (Albrecht et al., in Vorbereitung) oder die gezielte Förderung von Nistkleinstrukturen, oder auch die Optimierung bereits bestehender Massnahmen wie die Extensivierung von Wiesen (Bossart et al., in Vorbereitung) Wildbestäuber und Bestäubungsleistungen zu fördern. Im Rahmen der Erfolgskontrolle in den beiden Ressourcenprojekten «Agriculture et Pollinisateurs» und «Bienenfreundliche Landwirtschaft im Kanton Aargau» werde diese und weitere konkrete

Massnahmen zur Zeit auf Ihre Wirksamkeit durch Agroscope zusammen mit Forschungspartnern untersucht, und ihre Akzeptanz von Landwirten evaluiert. Das Ziel ist es zusammen mit Landwirten und weiteren Stakeholdern wirksame, praxistaugliche und breit akzeptierte Massnahmen zur Förderung von Bestäubern und Bestäubungsleistern in der Schweiz zu entwickeln.

7 Literaturverzeichnis

- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2008). Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. *Current Biology*, 18(20), 1572-1575.
- Akademien der Wissenschaften Schweiz (2014): Bienen und andere Bestäuber: Bedeutung für Landwirtschaft und Biodiversität. Factsheet der Akademien der Wissenschaften Schweiz, Bern.
- Albrecht, M., Duelli, P., Müller, C., Kleijn, D. & Schmid, B. (2007). The Swiss agri-environment scheme enhances pollinator diversity and plant reproductive success in nearby intensively managed farmland. *Journal of Applied Ecology*, 44, 813–822.
- Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N.M., Tschumi, M., Blaauw, B.R., Bommarco, R., ... & Sutter, L. (2020) The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters* 23, 1488 – 1498.
- Amiet, F. (1994). Rote Liste der gefährdeten Bienen der Schweiz. Rote Listen der gefährdeten Tierarten in der Schweiz, BUWAL, Bern.[online] <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00913/index.html>.
- Andersson, G. K., Rundlöf, M., & Smith, H. G. (2012). Organic farming improves pollination success in strawberries. *PloS One*, 7(2), e31599.
- Andersson, G. K., Ekroos, J., Stjernman, M., Rundlöf, M., & Smith, H. G. (2014). Effects of farming intensity, crop rotation and landscape heterogeneity on field bean pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 184, 145-148.
- Bartual, A. M., Bocci, G., Marini, S., & Moonen, A. C. (2018). Local and landscape factors affect sunflower pollination in a Mediterranean agroecosystem. *PloS One*, 13(9), e0203990.
- Bartual, A. M., Sutter, L., Bocci, G., Moonen, A. C., Cresswell, J., Entling, M., ... & Pfister, S. (2019). The potential of different semi-natural habitats to sustain pollinators and natural enemies in European agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 279, 43-52.
- Bertrand, C., Eckert, P. W., Ammann, L., Entling, M. H., Gobet, E., Herzog, F., ... & Albrecht, M. (2019). Seasonal shifts and complementary use of pollen sources by two bees, a lacewing and a ladybeetle species in European agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 56, 2431-2442.
- Blaauw, B. R., & Isaacs, R. (2014). Flower plantings increase wild bee abundance and the pollination services provided to a pollination-dependent crop. *Journal of Applied Ecology*, 51, 890-898.
- Bommarco, R., Marini, L., & Vaissière, B. E. (2012). Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia*, 169, 1025-1032.
- Breeze, T. D., Vaissière, B. E., Bommarco, R., Petanidou, T., Seraphides, N., Kozák, L., ... & Moretti, M. (2014). Agricultural policies exacerbate honeybee pollination service supply-demand mismatches across Europe. *PloS One*, 9, e82996.
- Bundesamt für Landwirtschaft (2013): Agrarbericht 2013. Bern.
- Bundesrat, 2014. Nationaler Massnahmenplan für die Gesundheit der Bienen. Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern.
- Bundesrat, 2016. Bericht zur Umsetzung des Nationalen Massnahmenplans für die Gesundheit der Bienen. Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern.
- Chagnon, M., Gingras, J., & DeOliveira, D. (1993). Complementary aspects of strawberry pollination by honey and indigenous bees (Hymenoptera). *Journal of Economic Entomology*, 86, 416-420.
- Charrière, J.-D., Frese, S. & Herren, P. (2018). Bienenhaltung in der Schweiz. *Agroscope Transfer*, 250.

- Chauzat, M.P., Cauquil, L., Roy, L., Franco, S., Hendrikx, P. & Ribiere-Chabert, M. (2013). Demographics of the European Apicultural Industry. *PLoS ONE*, 8,11.
- Cole, L. J., Kleijn, D., Dicks, L. V., Stout, J. C., Potts, S. G., Albrecht, M., ... & Scheper, J. (2020). A critical analysis of the potential for EU Common Agricultural Policy measures to support wild pollinators on farmland. *Journal of Applied Ecology*, 57, 681-694.
- Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., et al. (2019). A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5.
- Eeraerts, M., Meeus, I., Van Den Berge, S., & Smaghe, G. (2017). Landscapes with high intensive fruit cultivation reduce wild pollinator services to sweet cherry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 342-348.
- Ekroos, J., Kleijn, D., Batáry, P., Albrecht, M., Báldi, A., Blüthgen, N., ... & Smith, H.G. (2020). High land-use intensity in grasslands constrains wild bee species richness in Europe. *Biological Conservation*, 241, 108255.
- Eckerter P.W., Albus L., Nataranjan S., Albrecht M., Ammann L., Gobet E., Herzog F., Tinner W., Entling M.H. (2020). Using temporally resolved floral resource maps to explain bumblebee colony performance in agricultural landscapes. *Agronomy*, 10, 1993.
- Free, J. B., & Williams, I. H. (1976). Pollination as a factor limiting the yield of field beans (*Vicia faba* L.). *The Journal of Agricultural Science*, 87, 395-399.
- Frese, 2015. Bienenhaltung in der Schweiz – Entwicklung und neue Aspekte. Bachelorarbeit Agronomie, Berner Fachhochschule.
- Gallai N. & Vaissière B. (2009). Guidelines for the economic valuation of pollination services at a national scale. FAO, Rome.
- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, 810-821.
- Ganser, D., Mayr, B., Albrecht, M., & Knop, E. (2018). Wildflower strips enhance pollination in adjacent strawberry crops at the small scale. *Ecology and Evolution*, 8, 11775-11784.
- Ganser, D. (2019) Restoring biodiversity and pollination services in agricultural landscapes. Dissertation, University of Bern, Bern.
- Ganser, D., Sutter, L., Herzog, F. & Albrecht, M. (2019a) Honig- und Wildbienen ergänzen sich bei der Bestäubung landwirtschaftlicher Kulturen. *Bienenzeitung Juni-Ausgabe*.
- Ganser, D., Knop, E., & Albrecht, M. (2019b). Sown wildflower strips as overwintering habitat for arthropods: Effective measure or ecological trap? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 275, 123-131.
- Ganser, D., Albrecht, M., & Knop, E. (2021). Wildflower strips enhance wild bee reproductive success. *Journal of Applied Ecology*, 58, 486-495.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J. M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., ... & Holzschuh, A. (2011). Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters*, 14, 1062-1072.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., ... & Bartomeus, I. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339, 1608-1611.
- Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Vaissière, B. E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., Freitas, B. M., ... & An, J. (2016). Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271), 388-391.
- Garratt, M.P.D., Breeze, T.D., Jenner, N., Polce, C., Biesmeijer, J.C. & Potts, S.G. (2014a) Avoiding a bad apple: insect pollination enhances fruit quality and economic value. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 184, 34-40.

- Garratt, M. P. D., Truslove, C. L., Coston, D. J., Evans, R. L., Moss, E. D., Dodson, C., ... & Potts, S. G. (2014b). Pollination deficits in UK apple orchards. *Journal of Pollination Ecology*, 12, 9-14.
- Garratt, M. P., Coston, D. J., Truslove, C. L., Lappage, M. G., Polce, C., Dean, R., ... & Potts, S. G. (2014c). The identity of crop pollinators helps target conservation for improved ecosystem services. *Biological Conservation*, 169, 128-135.
- Garratt, M. P. D., Breeze, T. D., Boreux, V., Fountain, M. T., Mckerchar, M., Webber, S. M., ... & Biesmeijer, J. C. (2016). Apple pollination: demand depends on variety and supply depends on pollinator identity. *PLoS One*, 11, e0153889.
- Garratt, M. P., Bishop, J., Degani, E., Potts, S. G., Shaw, R. F., Shi, A., & Roy, S. (2018). Insect pollination as an agronomic input: Strategies for oilseed rape production. *Journal of Applied Ecology*, 55, 2834-2842.
- Grab, H., Blitzer, E. J., Danforth, B., Loeb, G., & Poveda, K. (2017). Temporally dependent pollinator competition and facilitation with mass flowering crops affects yield in co-blooming crops. *Scientific Reports*, 7, 45296.
- Grab, H., Poveda, K., Danforth, B., & Loeb, G. (2018). Landscape context shifts the balance of costs and benefits from wildflower borders on multiple ecosystem services. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285, 20181102.
- Greenleaf, S. S., & Kremen, C. (2006). Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 13890-13895.
- Greenleaf, S. S., Williams, N. M., Winfree, R., & Kremen, C. (2007). Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, 153, 589-596.
- Hächler L. (2018). Wildbienen Modellierung und landschaftliche Kontextualisierung auf Basis neuer, hochaufgelöster Landnutzungskarten. Universität Bern 2018.
- Häussler, J., Sahlin, U., Baey, C., Smith, H. G., & Clough, Y. (2017). Pollinator population size and pollination ecosystem service responses to enhancing floral and nesting resources. *Ecology and Evolution*, 7, 1898-1908.
- Hoshida, A., Drummond, F., Stevens, T., Venturini, E., Hanes, S., Sylvia, M., ... & Averill, A. (2018). What is the value of wild bee pollination for wild blueberries and cranberries, and who values it? *Environments*, 5, 98.
- Holzschuh, A., Dudenhöffer, J. H., & Tschardtke, T. (2012). Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. *Biological Conservation*, 153, 101-107.
- IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts V.L. Imperatriz-Fonseca & H.T. Ngo (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 827 pp.
- IPBES (2018): The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia. Rounsevell, M., Fischer, M., Torre-Marín Rando, A. and Mader, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 892 pp.
- Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., Williams, N. M., Ricketts, T. H., Winfree, R., ... & Carvalheiro, L. G. (2013). A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters*, 16, 584-599.
- Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L. G., Henry, M., Isaacs, R., ... & Ricketts, T. H. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature Communications*, 6, 7414.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tschardtke, T. (2006). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: Biological Sciences*, 274, 303-313.

- Koh, I., Lonsdorf, E. V., Williams, N. M., Brittain, C., Isaacs, R., Gibbs, J., & Ricketts, T. H. (2016): Modeling the status, trends, and impacts of wild bee abundance in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, 140-145.
- Lindström, S. A., Herbertsson, L., Rundlöf, M., Smith, H. G., & Bommarco, R. (2016). Large-scale pollination experiment demonstrates the importance of insect pollination in winter oilseed rape. *Oecologia*, 180, 759-769.
- Lonsdorf, E., Kremen, C., Ricketts, T., Winfree, R., Williams, N., & Greenleaf, S. (2009). Modelling pollination services across agricultural landscapes. *Annals of Botany*, 103, 1589-1600.
- Mallinger, R.E., & Gratton, C. (2015). Species richness of wild bees, but not the use of managed honeybees, increases fruit set of a pollinator-dependent crop. *Journal of Applied Ecology*, 52, 323-330.
- Martins, K. T., Gonzalez, A., & Lechowicz, M. J. (2015). Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 12-20.
- Marzinzig, B., Brünjes, L., Biagioni, S., Behling, H., Link, W., & Westphal, C. (2018). Bee pollinators of faba bean (*Vicia faba* L.) differ in their foraging behaviour and pollination efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 264, 24-33.
- Mesquida, J., Renard, M. & Pierre, J. S. (1988) Rapeseed (*Brassica napus* L.) productivity: The effect of honeybees (*Apis mellifera* L.) and different pollination conditions in cage and field tests. *Apidologie* 19, 51-72.
- Nye, W. P., & Anderson, J. L. (1974). Insect pollinators frequenting strawberry blossoms and the effect of honey bees on yield and fruit quality. *Journal of the American Society for Horticulture Science*, 99, 40.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120, 321-326.
- Parker, F. D. (1981). Sunflower pollination: abundance, diversity and seasonality of bees and their effect on seed yields. *Journal of Apicultural Research*, 20, 49-61.
- Ramseier, H., Knop, E., Ganser, D., Albrecht, M. (2018) Schlussbericht Projekt Blühstreifen für Bestäuber. Projekt 14.22, www.aramis.admin.ch
- Requier, F., Odoux, J. F., Henry, M., & Bretagnolle, V. (2017). The carry-over effects of pollen shortage decrease the survival of honeybee colonies in farmlands. *Journal of Applied Ecology*, 54, 1161-1170.
- Russo, L., Park, M.G., Blitzer, E.J. & Danforth, B.N. (2017). Flower handling behavior and abundance determine the relative contribution of pollinators to seed set in apple orchards. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 246, 102-108.
- Sapir, G., Baras, Z., Azmon, G., Goldway, M., Shafir, S., Allouche, A., ... & Stern, R. A. (2017). Synergistic effects between bumblebees and honey bees in apple orchards increase cross pollination, seed number and fruit size. *Scientia Horticulturae*, 219, 107-117.
- Schüepp, C., Herzog, F., & Entling, M. H. (2014). Disentangling multiple drivers of pollination in a landscape-scale experiment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281, 20132667.
- Sutter, L., & Albrecht, M. (2016). Synergistic interactions of ecosystem services: florivorous pest control boosts crop yield increase through insect pollination. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283, 20152529.
- Sutter, L., Herzog, F., Diemann, V., Charrière, J. D., & Albrecht, M. (2017a). Nachfrage, Angebot und Wert der Insektenbestäubung in der Schweizer Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz*, 8, 332-339.
- Sutter, L., Jeanneret, P., Bartual, A. M., Bocci, G., & Albrecht, M. (2017b). Enhancing plant diversity in agricultural landscapes promotes both rare bees and dominant crop-pollinating bees through complementary increase in key floral resources. *Journal of Applied Ecology*, 54, 1856-1864.
- Sutter, L., Albrecht, M., & Jeanneret, P. (2018). Landscape greening and local creation of wildflower strips and hedgerows promote multiple ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 55, 612-620.

- Sutter, L., Ganser, D., Herzog, F. & Albrecht, M. (2019) Wildbienen – unterschätzte Helfer der Kirschenproduktion. Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 11, 12-14.
- Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., & Jacot, K. (2015). High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 282, 20151369.
- Tuell, J. K., & Isaacs, R. (2010). Weather during bloom affects pollination and yield of highbush blueberry. Journal of Economic Entomology, 103, 557-562.
- Venturini, E. M., Drummond, F. A., Hoshida, A. K., Dibble, A. C., & Stack, L. B. (2017). Pollination reservoirs in lowbush blueberry (Ericales: Ericaceae). Journal of Economic Entomology, 110, 333-346.
- Vicens, N., & Bosch, J. (2000). Weather-dependent pollinator activity in an apple orchard, with special reference to *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae and Apidae). Environmental Entomology, 29, 413-420.
- Woodcock, B. A., Garratt, M. P. D., Powney, G. D., Shaw, R. F., Osborne, J. L., Soroka, J., ... & Jauker, F. (2019). Meta-analysis reveals that pollinator functional diversity and abundance enhance crop pollination and yield. Nature Communications, 10, 1-10.
- Zurbuchen, A. & Müller, A. (2012). Wildbienen-schutz-von der Wissenschaft zur Praxis (Vol. 33). Haupt Verlag AG.

8 Anhänge

8.1 Anhang 1

Tabelle aller erfassten Bienenarten (Wildbienen und Honigbiene, *Apis mellifera*) in den untersuchten Kulturen. Die Zahlen sind die Ränge der Auftretenshäufigkeit in den Kulturen. Die Effizienz der Bestäuberarten, welche ebenfalls bedeutend sein kann um die Wichtigkeit von Bestäuberarten für eine Kultur abzuschätzen (z.B. Kapitel 4.1), konnte aufgrund fehlender Daten in dieses Ranking jedoch nicht einbezogen werden. In Grün wurden jeweils die 10 wichtigsten Bestäuber der jeweiligen Kultur hervorgehoben. NA bezeichnet Arten, welche in einer Kultur nicht festgestellt wurden.

Art	Apfel	Kirsche	Ackerbohne	Raps	Himbeere	Erdbeere
<i>Apis mellifera</i>	1	1	2	1	1	1
<i>Bombus terrestris</i>	2	2	4	5	2	2
<i>Halictus simplex-Gr</i>	NA	NA	NA	NA	NA	5
<i>Bombus lapidarius</i>	3	6	3	11	5	3
<i>Osmia cornuta</i>	7	5	NA	NA	NA	NA
<i>Lasioglossum malachurum</i>	NA	20	NA	2	NA	4
<i>Andrena haemorrhoa</i>	4	7	NA	9	NA	17
<i>Halictus tumulorum</i>	NA	NA	NA	8	NA	11
<i>Bombus hortorum</i>	21	NA	1	NA	NA	8
<i>Halictus subauratus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	10
<i>Bombus pratorum</i>	9	10	6	18	3	16
<i>Andrena bicolor</i>	8	8	NA	16	NA	NA
<i>Andrena lapponica</i>	NA	11	NA	NA	NA	NA
<i>Andrena flavipes</i>	10	21	NA	7	NA	7
<i>Lasioglossum laticeps</i>	22	9	NA	3	NA	NA
<i>Lasioglossum calceatum</i>	NA	26	NA	6	NA	6
<i>Bombus humilis</i>	NA	NA	NA	NA	NA	13
<i>Lasioglossum pauxillum</i>	NA	28	NA	4	NA	9
<i>Bombus pascuorum</i>	5	13	5	27	NA	19
<i>Andrena minutula</i>	18	NA	NA	10	NA	NA
<i>Halictus maculatus</i>	NA	NA	NA	14	NA	NA
<i>Halictus scabiosae</i>	NA	NA	NA	NA	NA	14
<i>Andrena cineraria</i>	11	22	NA	12	NA	NA
<i>Andrena nitida</i>	12	18	NA	15	NA	NA
<i>Helophilus trivittatus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	15
<i>Xylocopa sp</i>	17	14	NA	NA	NA	NA
<i>Lasioglossum glabriusculum</i>	NA	NA	NA	17	NA	NA
<i>Eucera nigrescens</i>	20	15	NA	NA	NA	NA
<i>Bombus hypnorum</i>	13	19	NA	35	4	NA
<i>Lasioglossum morio</i>	NA	NA	NA	13	NA	23
<i>Lasioglossum politum</i>	NA	NA	NA	24	NA	12
<i>Osmia bicornis</i>	6	4	NA	46	NA	NA
<i>Bombus lucorum</i>	NA	17	NA	23	NA	18
<i>Andrena humilis</i>	15	12	NA	28	NA	24
<i>Andrena helvola</i>	NA	NA	NA	20	NA	NA
<i>Bombus campestris</i>	NA	NA	NA	NA	NA	21
<i>Colletes cunicularius</i>	NA	NA	NA	21	NA	NA
<i>Lasioglossum marginatum</i>	16	3	NA	45	NA	NA

<i>Colletes similis</i>	NA	NA	NA	22	NA	NA
<i>Melanostoma mellinum</i>	NA	NA	NA	NA	NA	22
<i>Andrena ovatula</i>	14	25	NA	NA	NA	28
<i>Halictus simplex</i>	23	27	NA	19	NA	NA
<i>Andrena strohmeilla</i>	NA	24	NA	NA	NA	NA
<i>Bombus sylvarum</i>	19	NA	NA	48	6	NA
<i>Andrena carantonica</i>	24	16	NA	34	NA	NA
<i>Andrena gravida</i>	NA	NA	NA	25	NA	NA
<i>Halictus rubicundus</i>	25	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Lasioglossum nigripes</i>	NA	NA	NA	26	NA	NA
<i>Lasioglossum zonulum</i>	NA	NA	NA	29	NA	25
<i>Heriades truncorum</i>	NA	NA	NA	37	NA	20
<i>Andrena agilissima</i>	NA	NA	NA	NA	NA	29
<i>Anthophora plumipes</i>	NA	23	NA	36	NA	NA
<i>Andrena chrysoceles</i>	NA	NA	NA	NA	NA	30
<i>Andrena semilaevis</i>	NA	30	NA	NA	NA	NA
<i>Andrena subopaca</i>	NA	NA	NA	30	NA	NA
<i>Andrena vaga</i>	NA	31	NA	NA	NA	NA
<i>Chelostoma rapunculi</i>	NA	NA	NA	NA	NA	31
<i>Hylaeus signatus</i>	NA	NA	NA	31	NA	NA
<i>Andrena dorsata</i>	NA	NA	NA	38	NA	26
<i>Colletes hederæ</i>	NA	NA	NA	NA	NA	32
<i>Lasioglossum interruptum</i>	NA	NA	NA	32	NA	NA
<i>Nomada lathburiana</i>	NA	32	NA	NA	NA	NA
<i>Hylaeus hyalinatus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	33
<i>Lasioglossum villosulum</i>	NA	NA	NA	33	NA	NA
<i>Lasioglossum albipes</i>	NA	NA	NA	NA	NA	34
<i>Melitta leporina</i>	NA	NA	NA	NA	NA	35
<i>Lasioglossum fulvicorne</i>	NA	29	NA	47	NA	NA
<i>Nomada flavoguttata</i>	NA	NA	NA	49	NA	27
<i>Andrena fulvata</i>	NA	NA	NA	39	NA	NA
<i>Chelostoma florisomne</i>	NA	NA	NA	40	NA	NA
<i>Hylaeus cornutus</i>	NA	NA	NA	41	NA	NA
<i>Hylaeus sinuatus</i>	NA	NA	NA	42	NA	NA
<i>Lasioglossum minutissimum</i>	NA	NA	NA	43	NA	NA
<i>Lasioglossum pallens</i>	NA	NA	NA	44	NA	NA
<i>Andrena barbilabris</i>	NA	NA	NA	50	NA	NA
<i>Andrena floricola</i>	NA	NA	NA	51	NA	NA
<i>Andrena lathyri</i>	NA	NA	NA	52	NA	NA
<i>Andrena minutuloides</i>	NA	NA	NA	53	NA	NA
<i>Chelostoma campanularum</i>	NA	NA	NA	54	NA	NA
<i>Colletes daviesanus</i>	NA	NA	NA	55	NA	NA
<i>Macropis europaea</i>	NA	NA	NA	56	NA	NA
<i>Melitta nigricans</i>	NA	NA	NA	57	NA	NA
<i>Osmia caerulea</i>	NA	NA	NA	58	NA	NA
<i>Stelis ornata</i>	NA	NA	NA	59	NA	NA