



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

„Insektenvielfalt, Insektensterben und dadurch resultierende Auswirkungen auf die Ernährung“

verfasst von / submitted by
Matthias Steinkellner

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the
degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat)

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 353 477

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium Unterrichtsfach
Spanisch, Unterrichtsfach
Haushaltsökonomie
und Ernährung

Betreut von / Supervisor:

Doz. Dr. Alexander Haslberger

Danksagung

Die Erstellung meiner Diplomarbeit war Dank der Hilfe und Unterstützung meines sozialen Umfeldes eher unkompliziert, trotz der anspruchsvollen Thematik. Auf Grund der Brisanz und Aktualität des Themas verfügte ich glücklicherweise über ausreichend viele Quellen, um den komplexen Inhalt aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und darstellen zu können. Da sich die Arbeit vor allem auf Studien und Papers stützt, konnte ich den Großteil des Schreibens und Recherchierens von zu Hause erledigen, was für den Fortschritt des Schreibprozesses sehr förderlich war.

Zugegeben ist es mir einerseits durch meine Berufstätigkeit und andererseits durch meine vielen Freizeitinteressen nicht immer leichtgefallen, die nötige Motivation, Geduld und Konsequenz für das Verfassen der Arbeit zu finden. Da das Verfassen von Texten allgemein nicht zu meinen Stärken zählt, war es von großer Bedeutung und Hilfe, dass ich mir für die Vollendung der Arbeit einen genauen Zeitpunkt gesetzt habe. Somit konnte ich längere Schreibpausen vermeiden und musste immer am Ball bleiben, ohne das Ziel aus den Augen zu verlieren.

Ohne die Unterstützung und dem guten Zureden meiner engsten Familie hätte ich es nicht geschafft, diese wissenschaftliche Arbeit und zugleich meine Diplomarbeit zu verfassen. Deshalb darf ich an dieser Stelle einen besonderen Dank an meine Schwester Petra, meinen Vater Martin, meine Mutter Christine und meine Tante Maria aussprechen, die viel Mühe, Geduld und Zeit für die Fertigstellung meiner Diplomarbeit aufgebracht haben.

Außerdem darf ich mich noch bei meinen Studienkollegen, welche bei Fragen zu Inhalten immer ein offenes Ohr hatten, und bei allen die an der Umfrage teilgenommen haben, herzlichst bedanken.

Zu guter letzte möchte ich noch Herrn Dr. Haselberger danken, der sich so schnell bereit erklärt hat mich zu betreuen und mir während des Erstellens der Arbeit viel Freiheit gelassen hat. Nur dadurch konnte ich mein Ziel so schnell erreichen.

Abstract

More than 1.4 million different living organisms have already been named and researched, about two-thirds of these creatures are insects, spiders and crustaceans. They make up a large part of all animal life and, thus, play an important role in driving our ecosystems. The extinction of many organisms has been known to us for many years. By destroying natural habitats and, as a consequence, by depleting food reserves due to toxic pesticides and technological innovations introduced by humans, the cycle of habitats is increasingly being destroyed. Back in the 1970s, the American scientist Rachel Carson already committed herself to this issue and dubbed this scenario as "dumb spring". This term indicates the extinction of ordinary sounds, such as the buzzing of bees or the singing of birds. Insect killing, which has an impact on other individuals, as these creatures are the staple food for birds, has been a term for decades. Furthermore, the pollination of many flowering plants, which is carried out by insects, is endangered. Possible solutions to counteract the extinction of insects, birds and bees do already exist, but they still need to be carried out more seriously and sustainably (see The World Foundation for Natural Science 2017: 1).

The aim of this thesis is to present the drastic global insect exodus by means of relevant studies and figures, to identify its main causes, to investigate its effects on both the environment and on human nutrition and, finally, to propose solutions to this problem. The practical part of the survey below is to show that the majority of private households, whether deliberately or not, supports the insect diversity by cultivating plants.

Inhaltverzeichnis

1	Abbildungsverzeichnis	11
2	Tabellenverzeichnis	11
3	Einleitung und Fragestellung.....	12
	I Theoretischer Teil	13
4	Begriffserklärungen	13
4.1	Generalisten und generalistische Insekten.....	13
4.2	Spezialisten und spezialistische Insekten.....	13
4.3	Herbivore-Insekten	13
4.4	Detritivore-Insekten.....	13
5	Definition Insekten	14
5.1	Hautflügler (<i>Hymenoptera</i>).....	15
6.	Ökologische Funktionen und wirtschaftliche Bedeutung von Insekten.....	15
6.1	Bestäuber und Samenverbreiter bei Blütenpflanzen	16
6.2	Umsatz von Pflanzenmasse.....	17
6.2	Erhalten der Bodenfruchtbarkeit.....	17
6.3	Nahrung für andere Organismen.....	18
6.4	Natürliche Feinde von potenziellen Schadorganismen	19
6.5	„Ökosystem-Ingenieure“ und ihre Funktion in der Landschaftsgestaltung.....	20
7.	Gründe für das Insektensterben.....	21
7.1	Einleitung	21
7.2	Habitat-Veränderungen	24
7.3	Umweltbelastung bzw. Umweltgifte	25
7.4	Biologische Faktoren.....	28
7.5	Klimawandel.....	29
8.	Manifestierung des Verlustes an Insektenbiomasse anhand ausgewählter Insektenklassen	29
8.1	Schmetterlinge (<i>Lepidoptera</i>)	29
8.2	Hautflügler (<i>Hymenoptera</i>).....	30
8.2.1	Hummeln (<i>Bombus</i>)	31
8.2.2	Wildbienen (<i>Apoidea</i>)	31
8.2.3	Honigbiene (<i>Apis mellifera</i>).....	33
8.3.1	Ameisen (<i>Formicidae</i>)	33

8.4	Käfer (<i>Coleoptera</i>).....	34
8.4.1	Laufkäfer (<i>Carabidae</i>)	34
8.4.2	Mistkäfer (<i>Geotrupidae</i>)	34
8.4.3	Holzbewohnende Käfer (<i>Xylobionten</i>)	35
8.5	Schnabelkerfe (<i>Hemiptera</i>)	35
8.6	Heuschrecken (<i>Orthoptera</i>)	36
8.7	Libellen (<i>Odonata</i>) und Wasserjungfern (<i>Zygoptera</i>).....	36
9.	Lösungen zur Verhinderung bzw. Entschleunigung des Insektensterbens durch Revitalisierung der Insekten-Diversität.....	37
10.	Auswirkungen auf die Ernährung durch den Verlust von Insektenbiomasse... 	38
10.1	Einführung.....	38
10.2	Tierische Bestäuber und ihr Einfluss auf die Lebensmittelproduktion	40
10.3	Rückgang von Biodiversität und Nährstoffmangel	42
10.4	Rückgang der Biodiversität und Mikronährstoffe.....	44
10.5	Klimawandel, Biodiversitätsverlust und Nährstoffversorgung	45
10.6	Ideen zur Verhinderung des Nährstoffmangels.....	46
II	Praktischer Teil	47
11	Studiendesign.....	47
12	Einschränkungen	48
13	Fragestellungen.....	48
14	Fragebogen	48
15	Auswertung:.....	51
15.1	Teilnehmeranzahl:	51
15.2	Geografische Verteilung.....	51
15.3	Aufteilung auf Landeshauptstädte & Nicht-Landeshauptstädte	52
15.4	Relevante Befragungsteilnehmer	53
15.4.1	Ausschlusskriterien	53
15.5	Hauptwohnsitztypus	54
15.6	Freiflächentypus.....	55
15.7	Pflanzenarten	56
15.8	Einsatz chemischer Mittel.....	57
15.9	Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen: 58	
15.10	Aufteilung auf Grund des Wohnsitztypus:.....	59

15.10.1	Wohnung.....	59
15.10.2	Freiflächentypus.....	60
15.10.3	Pflanzenarten.....	61
15.10.4	Einsatz chemischer Mittel.....	62
15.10.5	Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen:.....	63
15.11	Einfamilienhäuser.....	64
15.11.1	Freiflächentypus:.....	65
15.11.2	Pflanzenarten:.....	66
15.11.3	Einsatz chemischer Mittel:.....	67
15.11.4	Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen:.....	68
15.12	Reihenhäuser:	69
15.12.1	Freiflächentypus:.....	70
15.12.2	Pflanzenarten:.....	71
15.12.3	Einsatz chemischer Mittel:.....	72
15.12.4	Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen.....	73
15.13	Pflanzenzusammensetzung relevanter Teilnehmer ohne den Einsatz von chemischen Mitteln	74
15.14	Pflanzenzusammensetzung relevanter Teilnehmer nur mit Einsatz von Pestiziden	75
15.15	Pflanzenzusammensetzung relevanter Teilnehmer nur mit Einsatz von Herbiziden ...	76
15.16	Pflanzenzusammensetzung relevanter Teilnehmer nur mit Einsatz von Fungiziden 78	
15.17	Pflanzenzusammensetzung relevanter Teilnehmer nur mit Einsatz von Insektiziden 79	
16	Zusammenfassung:.....	80
17	Reflexion der Umfrage.....	81
18	Schlussfolgerungen der Diplomarbeit	82
19	Persönliche Stellungnahme zur Diplomarbeit.....	83
20	Quellenverzeichnis	85

1 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Mehlkäfer.....	10
Abbildung 2 Insekten-Taxa.....	10
Abbildung 3 Wildbiene.....	12
Abbildung 4 Gartenlaufkäfer.....	13
Abbildung 5 Rossameise.....	13
Abbildung 6 Star.....	14
Abbildung 7 Rodolia Cardinalis	15
Abbildung 8 Buchdrucker.....	16
Abbildung 9 Temporäre Verteilung der Insektenbiomasse.....	19
Abbildung 10 Vitamin-A, Eisen, Folat & Bestäubungsabhängigkeit.....	34
Abbildung 11 Fettlösliche Vitamine & Bestäubungsabhängigkeit.....	37
Abbildung 12 Handbestäubung von Apfelkulturen in China.....	42

2 **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 <i>Megachilidae</i> -Arten.....	28
---	----

3 Einleitung und Fragestellung

Über 1,4 Millionen verschiedene Lebewesen wurden bereits benannt und erforscht, etwa zwei Drittel dieser Lebewesen sind Insekten, Spinnen- und Krebstiere. Sie machen also einen Großteil aller tierischen Lebewesen aus und spielen somit auch für den Antrieb in unseren Ökosystemen eine wichtige Rolle. Das Aussterben vieler Organismen ist uns schon seit vielen Jahren bekannt. Durch die Vernichtung von natürlichen Lebensräumen und folglich erschöpften Nahrungsreserven aufgrund von toxischen Schutzmitteln und vom Menschen eingeführten technischen Neuerungen wird der Kreislauf der Lebensräume immer mehr zerstört. Bereits in den 70er Jahren widmete sich die amerikanische Wissenschaftlerin Rachel Carson diesem Vorgang und betitelte dieses Szenario als „Stummen Frühling“. Mit diesem Begriff weist sie auf das Aussterben gewöhnlicher Geräusche hin, wie z.B. das Summen der Bienen oder das Singen der Vögel. Das Insektensterben im Allgemeinen ist schon seit Jahrzehnten ein Begriff und wirkt sich auch auf andere Individuen aus: Insekten dienen beispielsweise als Hauptnahrungsmittel für Vögel. Weiters ist die Blütenbestäubung vieler Blütenpflanzen, die von Insekten durchgeführt wird, gefährdet. Lösungsvorschläge, um dem Aussterben von Insekten, Vögeln und Bienen entgegenzuwirken, existieren bereits, müssen jedoch noch ernsthaft und nachhaltig durchgeführt werden (vgl. The World Foundation for Natural Science 2017: 1).

Diese Arbeit hat das Ziel den drastischen globalen Insektenschwund durch einschlägige Studien und Zahlen darzustellen, die Hauptursachen zu eruieren, die Auswirkungen auf die Umwelt und Ernährung des Menschen zu ergründen und soll schlussendlich auch Lösungsvorschläge bieten. Mit dem durchgeführten praktischen Teil in Form einer Umfrage, soll gezeigt werden, dass der Großteil der privaten Haushalte, ob nun gewollt oder ungewollt, durch die Kultivierung von Pflanzen, die Insektenvielfalt unterstützen.

I Theoretischer Teil

4 Begriffserklärungen

4.1 Generalisten und generalistische Insekten

Hierbei handelt es sich um die allgemeine Bezeichnung für Organismen, die sowohl bezüglich ihrer Ansprüche an die Umwelt als auch ihres Verhaltens keine oder nur eine geringe Spezialisierung aufweisen. Generalisten haben eine große Nischenbreite und reagieren weniger sensibel auf Umwelteinflüsse als Spezialisten. (Spektrum Generalisten 2019)

Insekten, die sich von einer Reihe von Pflanzen ernähren, insbesondere von Pflanzen aus mehr als einer Pflanzenfamilie, gelten als Generalisten (vgl. Capinera 2010:75).

4.2 Spezialisten und spezialistische Insekten

Spezialisten ist die Bezeichnung für Organismen, die im Gegensatz zu den Generalisten an eng umgrenzte Lebensbedingungen angepasst sind oder nur ein beschränktes Nahrungsspektrum nutzen. Sie reagieren deshalb auch meist sehr empfindlich auf Umweltänderungen. (Spektrum Spezialisten 2019)

Insekten, die sich nur von einer einzigen Pflanzenart ernähren, gelten als Spezialisten (vgl. Capinera 2010:76).

4.3 Herbivore-Insekten

„Herbivoren“, „Herbivora“, ist die Bezeichnung für Organismen, die sich bevorzugt oder ausschließlich von Pflanzen ernähren. (Spektrum Herbivoren 2019)

4.4 Detritivore-Insekten

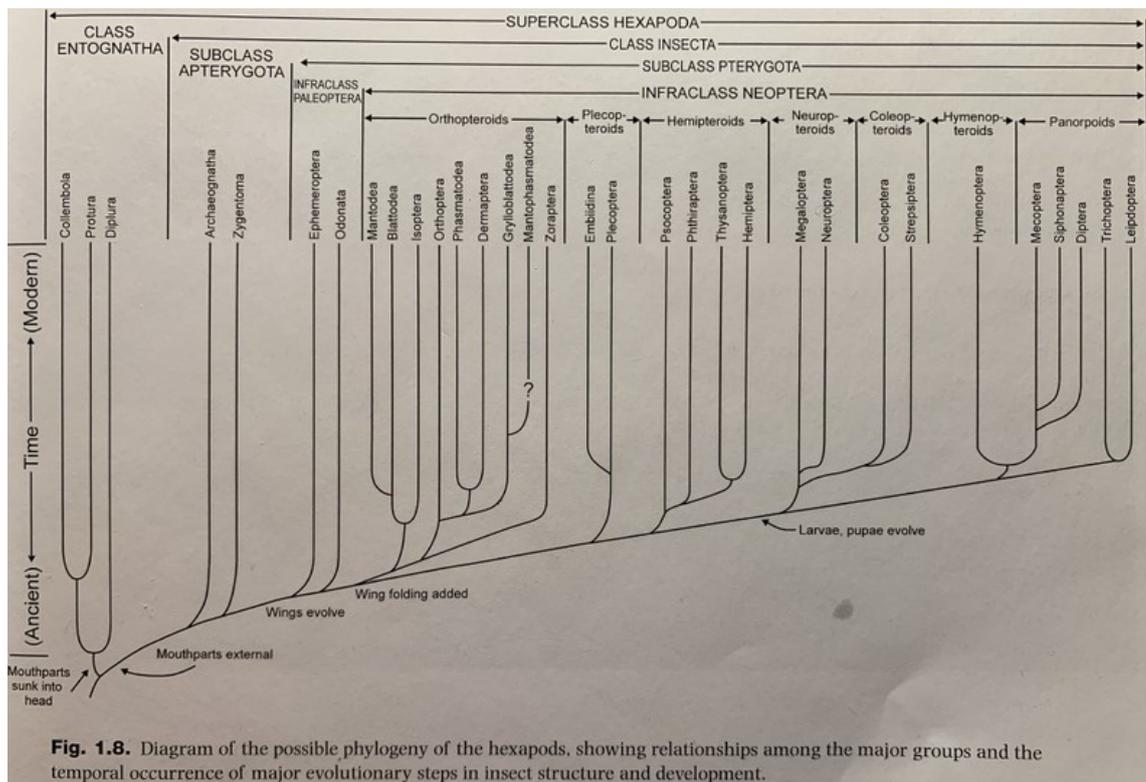
Als Detritus (lat. detritus „Abrieb“) wird in der Bodenkunde und der Ökologie die noch nicht humifizierte tote organische Substanz, insbesondere die pflanzliche Streu im Boden und auf der Bodenoberfläche bezeichnet. Organismen, die sich vom Detritus ernähren, heißen Detritivoren. (Wikipedia Detritus 2019)

5 Definition Insekten



Insekten sind dadurch gekennzeichnet, dass sie drei Körperregionen (Kopf, Thorax, Abdomen), drei mit dem Thorax verbundene Beinpaare, ein Antennenpaar und externe Mundpartien mit Mandiblen besitzen. Die meisten Insektenarten sind terrestrische Bewohner und besitzen Flügel. Aufgrund der großen Artenvielfalt (über 1 Million Spezies), liegt eine enorme Variabilität hinsichtlich Struktur, Physiologie, Entwicklung und Ökologie vor. Die größten Insektengruppen unterscheiden sich in

einer Hand voll fundamentaler Eigenschaften und Merkmalen. Diese Unterschiede und die Zugehörigkeit zu den definierten Taxen sind im nachfolgenden Diagramm dargestellt (Capinera 2010: 14) (Abbildung 1: <https://www.hausgarten.net/gartenpflege/schaedlinge-krankheiten/mehlkaefer.html>)



(Abbildung 2: Capinera 2010:15)

5.1 Hautflügler (*Hymenoptera*)

Die Insektenpezies, welche für diese Diplomarbeit von wesentlicher Bedeutung sind, zählen zur Infra- bzw. Teilklasse der Hymenoptera. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionen hinsichtlich ihres Nutzens für den Menschen und die Wildtiere zählen Arten dieser Ordnung, wie Bienen, Wespen, Hummeln und Ameisen zu den wichtigsten Insekten überhaupt. Außerdem zählt die Infraklasse der Hymenoptera einerseits zur größten Klasse, welche mehr als 120000 Spezies umfasst, und andererseits zu einer der fortschrittlichsten Gruppen, da sie den höchsten Grad an Sozialität aufweist (vgl. Capinera 2010: 132ff.). Vor allem Bienen und Hummeln sind bedeutende Bestäuber von Kulturpflanzen. Eine einzelne Biene kann binnen eines Tages bis zu 1000 Blüten bestäuben (vgl. Wermelinger 2017: 30).

6. Ökologische Funktionen und wirtschaftliche Bedeutung von Insekten

Der Nährstoffkreislauf wird von Insekten sowohl direkt als auch indirekt beeinflusst. Zu den wichtigsten direkten Einflüssen zählen einerseits die Zersetzung von Abfallprodukten durch Insekten-Detritivoren und andererseits die Reduktion von Biomasse durch Herbivore-Insekten. Die Rolle der Insekten als Ökosystemingenieure nimmt eine ganz zentrale, direkte Funktion im Nährstoffkreislauf ein. Die wichtigste Aufgabe hinsichtlich indirekter Einflüsse auf den Nährstoffkreislauf ist die Änderung des Stoff- und Energieflusses in Zusammenhang mit der geänderten Zusammensetzung der Pflanzenspezies. Sowohl die Interaktion zwischen Insekten und Pflanzen als auch die Interaktion zwischen Insekten mit anderen Organismen nimmt großen Einfluss auf die Leistungen der verschiedenen Ökosysteme (vgl. Weisser & Siemann 2004: 8ff.). Aufgrund Ihres Vorkommens in fast allen Ökosystemen üben Insekten verschiedenste bedeutsame ökologische sowie wirtschaftliche Funktionen aus, welche man in folgende Bereiche eingrenzen kann:

- Bestäuber und Samenverbreiter bei Blütenpflanzen
- Umsatz von Pflanzenmasse
- Abbau von Holz

- Abbau von tierischen Abfällen
- Bodenbildung und Bodenfruchtbarkeit
- Nahrung und Energiequelle für andere Organismen
- Natürliche Feinde von potenziellen Schadorganismen
- Transportmittel für andere Organismen
- „Ökosystem-Ingenieure“ beim Gestalten von Landschaften
- Hersteller von nützlichen Produkten

(vgl. Wermelinger 2017: 25ff.)

6.1 Bestäuber und Samenverbreiter bei Blütenpflanzen



Da in Europa fast 84 % aller Kulturpflanzen zumindest teilweise von Insekten bestäubt werden und letztere dadurch eine wichtige Rolle in der Landwirtschaft spielen, zählt die Bestäubung von Blütenpflanzen zu einer der bedeutendsten Ökosystemleistungen. Vor allem die Bestäubung durch Bienen und Hummeln in Gemüse- und Obstkulturen sind von allergrößter Bedeutung. Die Bestäubungsleistung von Bienen und Hummeln wird auf kommerziellem Weg auch in Gewächshäusern genützt. Bienen zählen innerhalb der Insekten zu der wichtigsten Gruppe von Bestäubern, obwohl nur etwa die Hälfte des Bestäubungseinsatzes durch Bienen passiert, die restliche Bestäubungsleistung wird von anderen bestäubungsfähigen Insekten vollbracht. Diese einmalig symbiotische Beziehung zwischen Pflanze und Insekt, welche durch den Austausch von Nektar, Blütenstaub und Pollen definiert wird, spielt eine wesentliche Rolle in der Lebensmittelversorgung sowohl für Makro- als auch Mikronährstoffe für die menschliche Gesellschaft (vgl. Wermelinger 2017: 30ff.) (Abbildung 3: <https://gruene-oder-spreede/termine/vortrag-zu-wildbienen/>).

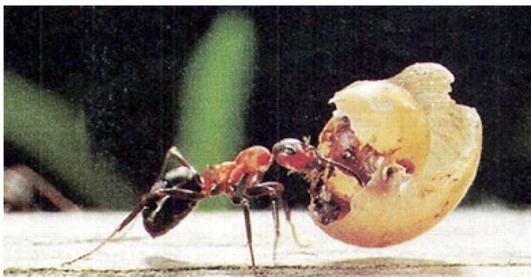
6.2 Umsatz von Pflanzenmasse

In Bezug auf den Umsatz von Pflanzenmasse ist die wichtigste Aufgabe von herbivoren Insekten die Regulation von Energie- und Nährstoffflüssen zwischen Produzenten (grünen Pflanzen) und weiteren Nahrungsnetzen (vgl. Weisser & Siemann 2004:12). Effizienz, Beschleunigung des Nährstoffumsatzes und Nährstoffversorgung von Pflanzen kann durch den Abbau der Pflanzenmasse durch Insekten erhöht werden. Da pflanzliche Blätter und Nadeln viele Tannine, andere Gerbstoffe und schützende Harze enthalten, sind diese Pflanzenbestandteile für Mikroorganismen nur schwer verdaulich. Durch die Verstoffwechslung dieser Pflanzenkompartimente durch Insekten und die darauffolgende Abgabe des Kotes an die Umwelt kann der Abbau durch Bakterien einfacher und schneller erfolgen. Sowohl im toten Insekt als auch im Kot des Insektes ist der Gehalt an Stickstoff, Phosphor und Kalium um ein Vielfaches höher als im Pflanzengewebe. Durch den Umsatz von Pflanzenmasse gelangen im Pflanzengewebe enthaltene Energieträger schneller in den Boden und stehen wieder rascher für das Pflanzenwachstum zur Verfügung (vgl. Wermelinger 2017: 49ff.) (Abbildung 4: <https://www.natur-in-nrw.de/HTML/Tiere/Insekten/Kaefer/Scarabaeoidae/TK-3609.html>).



6.2 Erhalten der Bodenfruchtbarkeit

Da rund 90 % der von Pflanzen produzierten Biomasse wieder als tote organische Substanz in den Boden gelangen und dort von einer spezialisierten Mikro-, Meso- und Makrofauna verarbeitet werden, sind vor allem Bodenlebewesen wie Insekten, Regenwürmer, Schnecken, Asseln etc. von großer Bedeutung. Zu den Ökosystemleistungen für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zählen:



- Transport organischer Abfälle
- Räumliche Umlagerung organischer Substanz
- Zerkleinerung von pflanzlicher und tierischer Materie

- Oberflächenvergrößerung der pflanzlichen und tierischen Materie für Bakterien und Pilze
- Verbesserung der strukturellen Eigenschaften des Bodens durch Kotausscheidung
- Verbesserung der Porosität und Dichte des Bodens durch Fraß-, Grab-, und Bohrtätigkeiten
- Verbesserung der Sauerstoffversorgung und Infiltration mit Regenwasser durch Umschichtung der Erde
- Verbesserung der physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens durch Nestbau
- Erhöhung des pH-Wertes des Bodens
- Verbesserung des Wasserhaushalts durch Steigerung der Wasserrückhaltekapazität

(vgl. Wermelinger 2017: 117ff.) (vgl. Weisser & Siemann 2004: 14ff.) (Abbildung 5: <https://wald.lauftext.de/heimat-der-tiere/ameisen/>)

6.3 Nahrung für andere Organismen

Aufgrund ihres hohen Gehaltes an Proteinen, Lipiden, Glykogen und Vitaminen sind Insekten eine wichtige Nahrungsgrundlage für Vögel, Fische, Amphibien, Reptilien und Säugetiere. Nicht nur lebende Insekten, sondern auch tote Insekten sind eine wertvolle Nahrungsquelle. Viele Fischarten, welche dem Menschen als wichtige Nahrungsquelle dienen, ernähren sich von im Wasser lebenden oder von auf die Wasseroberfläche gefallen Insekten.



So hat eine Studie in Alaska die Nahrungsgrundlage von jungen Lachsen untersucht und kam zum Ergebnis, dass deren Nahrung annähernd zu 50 % aus Wasserinsekten besteht (vgl. Allan et al. 2003: 309ff.). Im Zuge dessen muss auch angeführt werden, dass viele Insektenarten ihresgleichen verzehren und dadurch bei der Regulation potenzieller Schadorganismen eine wichtige Rolle spielen (vgl. Wermelinger 2017: 127ff.) (Abbildung 6: <https://www.libellen.tv/infos/predator-vogel.html>).

Auch der Beitrag von Insekten als Nahrungsquelle für den Menschen spielt in vielen Kulturen eine wesentliche Rolle. Neben den positiven ernährungsphysiologischen

Eigenschaften von Insekten als Genussmittel findet man vor allem hinsichtlich ökologischer Dimension wie Ressourcenschonung, Nachhaltigkeit und Umweltschonung viele Vorteile. Besonders in den Bereichen Wasserverbrauch, Acker- und Landverbrauch zur Futtermittelbereitstellung und dem Anteil an der gesamten Treibhausgasbelastung hat der Fleischkonsum erheblich negativere Auswirkungen auf die Umwelt als der Verzehr von Insekten. Aufgrund der kulturellen und kulinarischen Vergangenheit Europas ist der Konsum bzw. Nutzen von Insekten als Nahrungsmittel noch ein Tabuthema, da diese nach wie vor als Schädlinge wahrgenommen werden (vgl. Meixner & Mörl 2018: 11ff.).

6.4 Natürliche Feinde von potenziellen Schadorganismen

Die Mehrheit der Insekten (etwa 54 %) sind zoophag, also räuberisch oder parasitisch. Die häufigsten und vor allem bedeutendsten Raubinsekten sind Marienkäfer, Laufkäfer und Kurzflügler. Rund 70 mitteleuropäische Marienkäferarten ernähren sich fast ausschließlich von Pflanzenläusen und zählen somit zu den wichtigsten Pflanzenlausfeinden (vgl. Wermelinger 2017: 145ff.). Marienkäfer werden oft zur biologischen Bekämpfung landwirtschaftlicher Schädlinge eingesetzt wie beispielsweise



der Einsatz der australischen Marienkäferart „*Rodolia Cardinalis*“ zur Bekämpfung von Schildläusen in kalifornischen Zitrusplantagen (vgl. Klausnitzer 2019: 160ff.). Der Puppenräuber ist ein Käfer aus der Familie der Laufkäfer, welcher vor allem zur biologischen Bekämpfung von Schwammspinnern und Goldafern in der Landwirtschaft eingesetzt wird.

Kurzflügler zählen zu den natürlichen Feinden von Rapsschädlingen und können somit zur natürlichen Schädlingsregulierung auf Rapsfeldern beitragen. Räuberische Laufkäfer-, Kurzflügler- und Spinnenarten können zwischen 45 und 80 % der Larven des Rapsglanzkäfers, Kohlschottenrüsslers und der Kohlschotenmücken vertilgen (Ulber 2018: 18ff.) (Abbildung 7: <https://bugguide.net/node/view/1471222>).

In Deutschland wird der Einsatz der Erzwespe *Trichogramma brassicae* zur biologischen Bekämpfung des Maiszünslers genützt. In der Studie von Albert, Maier & Dannemann, konnten positive Ergebnisse erzielt werden. Der Wirkungsgrad des Trichogramma-

Verfahrens lag regelmäßig über 70 % und zeigte eine sehr starke Wirkung bei niedrigem bis mittleren Maiszünslerbefall (Albert, Maier & Dannemann, 2008).

6.5 „Ökosystem-Ingenieure“ und ihre Funktion in der Landschaftsgestaltung

Insekten verfügen über das Potenzial Habitate zu verändern, zu erhalten oder zu erschaffen. Sowohl Kleinhabitate als auch große Lebensräume werden von Insekten beeinflusst. Im Allgemeinen wirkt sich diese Modifizierung positiv auf die Artenvielfalt einer Region aus. So leben zum Beispiel zahlreiche Inquilinen in Ameisennestern und profitieren von den dort vorherrschenden sicheren und konstanten Umweltbedingungen. Von holzbewohnenden Insekten erschaffene Larvengänge dienen dem Brutgeschäft zahlreicher Waldbienenarten und bieten ihnen das erforderliche Kleinhabitat. Die Massenvermehrung von laubfressenden Insekten ermöglicht, dass durch die vollständige Entlaubung mehr Licht und Wärme auf den Boden gelangen. Von diesem vermehrten Lichteinfall profitiert vor allem die Bodenvegetation. Weiters wird die Struktur und Baumartenzusammensetzung durch die Wachstumsreduktion der befallenen Bäume



verändert. Dies resultiert sowohl in einer Erhöhung des Blütenangebots für Insekten als auch in einem vermehrten Äsungsangebot für das Wild. Außerdem steigt der Wassergehalt des Bodens, gleichzeitig wird jedoch die Auswaschung von Nährstoffen verstärkt. Der Borkenkäfer, welcher einerseits bei Massenvermehrungen durch großflächigen Befall und Abtötung gesunder Bäume für den Menschen als Schädling zählt, ist andererseits ein wichtiger Ökosystem-Ingenieur indem er geschwächte oder frisch abgestorbene Einzelbäume zersetzt. Borkenkäfer bauen Holz ab, recyceln dieses und schaffen Habitate für holzbewohnende Insekten. Die Schaffung von Totholz ist ein wichtiges Strukturelement und eine bedeutende Lebensgrundlage von vielen Insekten-, Pilz- und Vogelarten. Meisen, Kleiber, Käuze, Tauben, Stare, Fledermäuse, Siebenschläfer und weitere Säugetiere nützen die Spechthöhlen von toten Bäumen (vgl. Wermelinger 2017: 247ff.). Eine Studie von Müller et al. zeigt, dass im Nationalpark „Bayrischer Wald“ aus einem intensiven Borkenkäferbefall ein Hotspot für

Insekten-Biodiversität, vor allem Wildbienen und Wespen, entstanden ist (Müller et al. 2008) (Abbildung 8: https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/insekten/wuh_borkenkaefer/index_DE).

7. Gründe für das Insektensterben

7.1 Einleitung

Viele wissenschaftliche Studien zeigen, dass die Artenvielfalt von Insekten weltweit bedroht ist und dass die Abnahme der Insektenvielfalt in den nächsten Jahrzehnten weiterhin zunehmen wird. In terrestrischen Ökosystemen sind vor allem die Klassen *Lepidoptera* (Schmetterlinge), *Hymenoptera* (Hautflügler) und *Coleoptera* (Käfer) am stärksten betroffen. In den aquatischen Ökosystemen hat die Population von *Odonata* (Libellen), *Plecoptera* (Steinfliegen), *Trichoptera* (Köcherfliegen) und *Ephemeroptera* (Eintagsfliegen) bereits einen beträchtlichen Anteil an Arten verloren.

Hervorzuheben ist, dass unter den betroffenen Insektengruppen nicht nur ökologische Spezialisten zu finden sind, sondern dass auch bereits viele, weit verbreitete Generalisten eine Abnahme zu verzeichnen haben. Jedoch kam es durch die starke Abnahme von Insekten-Spezialisten, welche bestimmte ökologische Nischen besetzten, auch zu einem Anstieg von generalistischen Insektenpopulationen, die anpassungs- und widerstandsfähiger sind und nun diese ökologischen Lücken besetzen.

In den aquatischen Ökosystemen ersetzen generalistische Wasserinsekten, welche vor allem Habitat- und Ernährungsgeneralisten sowie schadstofftolerante Arten sind, die großen Verluste an biologischer Vielfalt in landwirtschaftlichen und städtischen Gebieten.

Die Hauptgründe für den Rückgang der Arten scheinen in der Reihenfolge ihrer Bedeutung zu liegen:

1. Verlust von Lebensräumen und Umstellung auf intensive Landwirtschaft und Urbanisierung

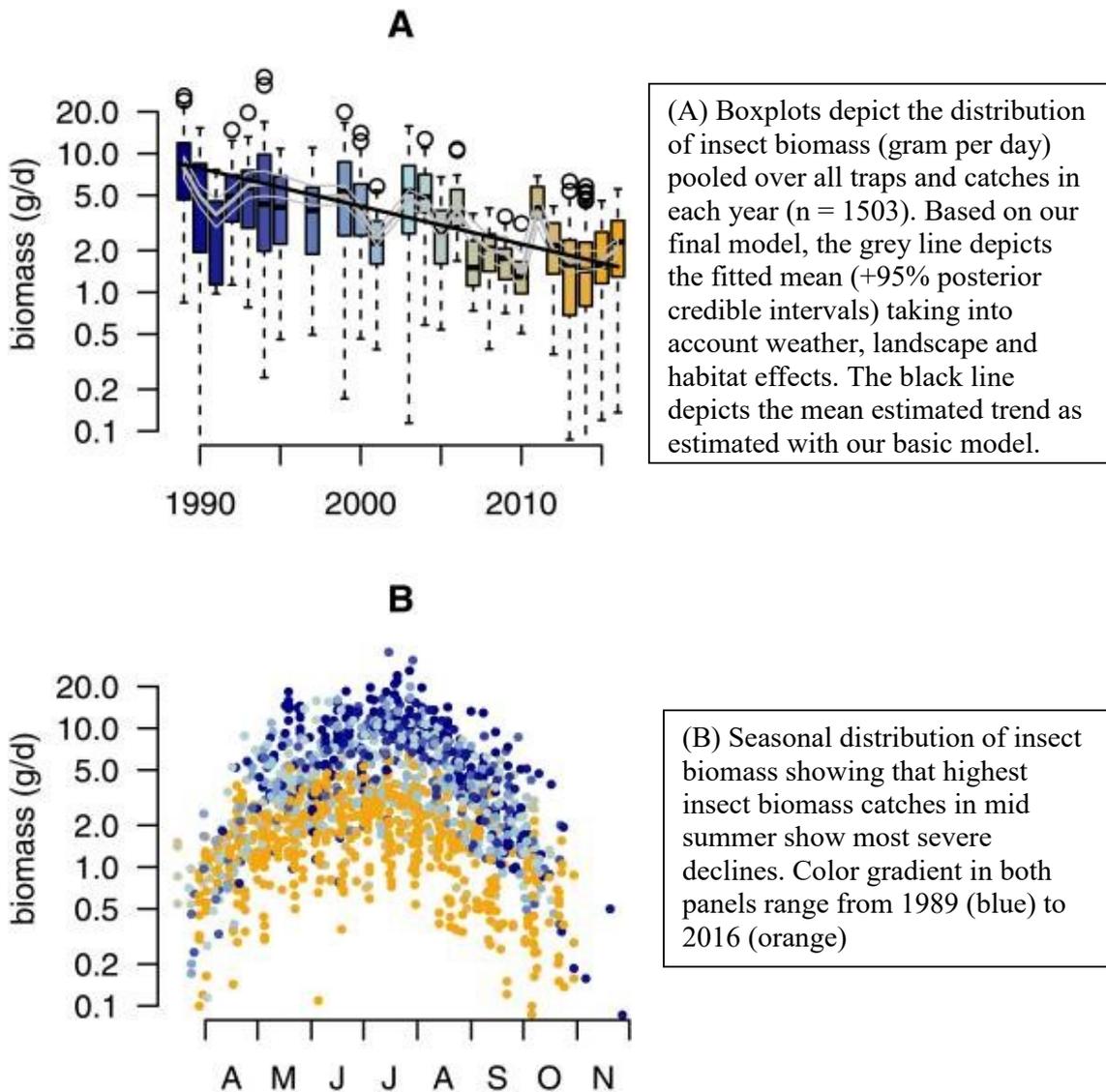
2. Umweltbelastung bzw. Umweltgifte, hauptsächlich durch synthetische Pestizide und Düngemittel
3. Biologische Faktoren, einschließlich Krankheitserreger und eingeführte Arten
4. Klimawandel

Ein Großteil der Schuld für den Verlust der biologischen Vielfalt entfällt auf menschliche Aktivitäten wie die Zerstörung von Jagd- und Lebensräumen durch Abholzung, die Ausweitung und Intensivierung der Landwirtschaft, die Industrialisierung und Urbanisierung (Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019).

Die Hauptursache für die Verringerung der Insektenvielfalt ist die Veränderung der Lebensräume. Dieser Umstand geht folglich mit dem weltweiten Rückgang der Vögel und Säugetiere einher. Weitere prägende und kausale Einflusskriterien lassen sich auf die Umweltverschmutzung, biologische Faktoren und den Klimawandel zurückführen. Der Klimawandel betrifft besonders die tropischen Regionen. In kälteren Klimazonen und gemäßigten Zonen richtet der Klimawandel glücklicherweise noch keinen so großen Schaden an und beschränkt sich meist nur auf eine Insekten-Minderheit (Chamberlain & Fuller 2000).

Ein Populationsbeobachtungsstudie 2017 von Hallmann et al. hat gezeigt, dass sich die Insektenbiomasse in mehreren deutschen Schutzgebieten um 76% reduziert hat. Obwohl es sich um einen geschützten Lebensraum handelt, welcher relativ geringen menschlichen Störungen ausgesetzt ist, entspricht der durchschnittliche Verlust an Insektenbiomasse 2,8 % pro Jahr. Besorgniserregend ist vor allem, dass die Studie in den letzten 3 Jahrzehnten einen stetigen Rückgang zeigt und somit eine negative Tendenz für die Zukunft vorausdeutet (Hallmann et al. 2017). Die folgende Abbildung soll dies verdeutlichen.

Temporal distribution of insect biomass:



(Abbildung 9: Hallmann et al. 2017)

Eine neuere Studie aus dem Jahr 2018, durchgeführt in den Regenwäldern von Puerto Rico, hat über einen Zeitraum von 36 Jahren Biomasseverluste von 98 % der in der Bodenschicht nach Nahrung suchenden bzw. von 78 % der in der Baumkrone lebenden Gliederfüßler gezeigt, wobei die jährlichen Verluste zwischen 2,7 % (Bodenschicht) und 2,2 % (Baumkrone) lagen (Lister & Garcia 2018).

7.2 Habitat-Veränderungen

Die Veränderung des Lebensraumes kann als unmittelbare Folge menschlicher Aktivitäten gesehen werden. In den letzten Jahrhunderten wurde immer mehr Land (Bauland, Ackerland, landwirtschaftliche Nutzfläche) umgewandelt, um den Tourismus (Verstädterung) zu forcieren, Nahrung (Landwirtschaft) zu kultivieren und Waren (Industrialisierung) auf Kosten verschiedener natürlicher Güter und Lebensräume herzustellen. Bei Käfern, Schmetterlingen und Hautflüglern kann die Änderung und Fragmentierung der Landnutzung als Hauptursache für den Artenrückgang angeführt werden. Vor allem die landwirtschaftliche Umstellung und Intensivierung für die Lebensmittelproduktion bilden einen zentralen Faktor. Urbanisierung und Entwaldung spielen im Vergleich zur Lebensmittelproduktion eine untergeordnete Rolle.

Die Landwirtschaft verursacht den größten Verlust der biologischen Vielfalt. Die Gründe der Auswirkungen auf die Artenvielfalt sind komplex. Folgende Standpunkte können zusammengefasst werden:

1. Umwandlung natürlicher Ökosysteme in landwirtschaftliche Betriebe
2. Intensivierung der Kulturlandschaften
3. Freisetzung von Schadstoffen, einschließlich Treibhausgasen
4. Einfluss auf die Wertschöpfungskette, einschließlich Energie- und Transportnutzung und Lebensmittelverschwendung

Die Lebensmittelproduktion ist ein entscheidender Faktor für den Verlust des Ökosystems, insbesondere von tropischen Wäldern (Bambaradeniya & Amerasinghe 2003).

Mit Beginn der grünen Revolution erfuhren die Insekten den größten Rückgang: einerseits durch die Einführung der intensiven und im industriellen Maß ausgeübten Produktion und andererseits durch die Ablösung der traditionellen landwirtschaftlichen Praktiken mit geringen und schonenden Anbauformen (Ollerton et al. 2014).

Hierzu haben vor allem folgende Faktoren beigetragen: die Kultivierung genetisch-einheitlicher Monokulturen, der häufige Einsatz von synthetischen Düngemitteln und Pestiziden, die Entfernung von Hecken und Bäumen, um die Mechanisierung zu erleichtern und die Änderung der Oberflächenwasser zu Gunsten der Be- und

Entwässerung. Monokulturen fördern bzw. führen zu einer deutlichen Vereinfachung der Biodiversität und begünstigen im selben Zug die Bedingungen für das Gedeihen von Schädlingen. Vor allem Bestäubungsspezialisten reagieren empfindlich auf die Änderung der Landnutzung (Verlust von blütenreichen Flächen und Brut- und Winterschlafplätzen) (Wilcove et al. 1998).

Die Forcierung der Landwirtschaft umfasst weiters die Kanalisierung von Flüssen, die Trockenlegung von Feuchtgebieten, die Modifikation von Aulandschaften und Streuschichten, was in hohen Verlusten von Böden und Nährstoffen resultiert. All diese Faktoren homogenisieren die Mikrohabitate in Gewässern und implizieren dadurch eine Änderung der aquatischen Insektengemeinschaft. Weitere Folgen sind die Eutrophierung, Verschlammung und Sedimentation von Gewässern. Im Allgemeinen führt der Durchflussverlust in Flüssen und Bächen zu einer Abnahme der Artenvielfalt, wohingegen künstlich angelegte Bewässerung in städtischen Gebieten bestimmte Arten begünstigt (Houghton & Holzenthal 2010).

Durch die starke Urbanisierung in den letzten Jahrzehnten kam es zum Verschwinden vieler Habitatspezialisten, welche durch wenige Arten von Generalisten ersetzt wurden und welche sich an die neue, durch Menschen künstlich erschaffene Umgebung angepasst haben. Teilweise kann das Verschwinden der Arten durch die Kultivierung von städtischen Parkanlagen und Gärten, in denen sowohl einheimische Arten als auch neue Arten Lebensraum und Schutz finden können, ausgeglichen werden.

Im Gegensatz zur intensiven, kommerziellen Landwirtschaft fördert der ökologische Landbau die Artenvielfalt. Auch die Aufforstung an Waldrandgebieten, durch die die Lebensraumvielfalt erhöht wird, kann die Artenvielfalt fördern, jedoch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass der durch die Entwaldung entstandene Verlust und der daraus folgende Verlust an struktureller Heterogenität nicht kompensiert werden kann. Nur sehr wenige Arten von Generalisten profitieren von der Aufforstung (Van Swaay, Warren & Loïs 2006).

7.3 Umweltbelastung bzw. Umweltgifte

Der zweite wichtige Einflussfaktor für das Verschwinden bzw. die Abnahme der Biomasse der Insekten ist die Verschmutzung durch Umweltgifte bzw. die

unverantwortliche Umweltbelastung. Zu den Quellen der Umweltgifte zählen Düngemittel, synthetische Pestizide, Abwasser- und Deponiesickerwasser aus urbanen Gebieten sowie Industriechemikalien aus Fabriken und Bergbaustätten. Vor allem die intensive Landwirtschaft forciert den systematischen Einsatz von Pestiziden, Herbiziden und Fungiziden. In Bezug auf die Toxizität stellen Insektizide bei weitem die größte Belastung für alle Insekten und andere Gliederfüßler dar (Dudley & Alexander 2017).

In der Systematischen-Review Studie von Mulé et al. wird gezeigt, dass die Verwendung von Insektiziden negative Auswirkungen auf die häufigsten Schmetterlingsfamilien hat. Die Auswirkungen spiegeln sich in verringerten Überlebensraten und in einem veränderten Eiablageverhalten wider (Mulé et al. 2017).

Pyrethroid-, Neonicotinoid- und Fipronil-Insektizide haben aufgrund ihrer hohen akuten und chronischen Toxizität eine verheerende Wirkung auf Wasserinsekten und Krebstiere. In der Studie von Van Dyck, Van Staalduinen & Van der Sluijs wird belegt, dass die vorkommende Belastung mit Neonicotinoid-Insektiziden im niederländischen Oberflächenwasser einen starken negativen Einfluss auf das Leben von wirbellosen Wassertieren hat, auch mit möglicherweise weitreichenden Folgen für die Nahrungskette und die Ökosystemfunktionen. Außerdem zeigen die Ergebnisse der Studie, dass wirbellose Wassertiere in niederländischen Oberflächengewässern an Orten mit höheren Imidacloprid-Konzentrationen weniger häufig vorkommen (Van Dijk, Van Staalduinen & Van der Sluijs 2013). Die toxische Wirkung von Neonicotinoid-Insektiziden wird auch in weiteren Studien untermauert. Beketov und Liess kamen zum Schluss, dass Thiacloprid bereits in relativ geringen Konzentrationen verzögerte letale und subletale Wirkungen bei Süßwassergliederfüßern verursachen kann (Beketov & Liess 2009).

Eine weitere internationale Studie von Van Der Sluijs et al. in der man den Einsatz von Fipronil und Neonicotinoid untersuchte, zeigt, dass sich bereits geringe Konzentrationen dieser Mittel nachteilig auswirken und daher wahrscheinlich eine breite Palette von negativen biologischen und ökologischen Effekten nach sich ziehen. Die Kombination aus prophylaktischem Gebrauch, Persistenz, Mobilität, systemischen Eigenschaften und chronischer Toxizität werden voraussichtlich erhebliche Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und die Funktionsweise der Ökosysteme haben (Van Der Sluijs et al. 2015).

Die Studie von Sánchez-Bayo zeigt, dass die Auswirkungen von Insektiziden, Pestiziden und Herbiziden auf Landwirbeltiere eindeutig negativ sind. Die Sterberate, die bestimmte Insektizide jährlich bei „Nichtzielvögeln“ und kleinen Landwirbeltieren verzeichnen, kann nicht übersehen werden. Schwerwiegender sind die indirekten Auswirkungen, welche eine sinkende Populationsdichte und Artenvielfalt von Vögeln und möglicherweise Amphibien verursachen. Ebenso ist die sekundäre Vergiftung von Konsumenten- und Raubvögeln, Reptilien und Säugetieren durch die Aufnahme von mit Pestiziden kontaminierten Nahrungsmitteln von großer Bedeutung (Sánchez-Bayo 2011).

Die Ergebnisse der Studie von Beketov et al. verdeutlichen, dass der Einsatz von Pestiziden die regionale Artenvielfalt von Insekten stark beeinträchtigen kann. Aus der Analyse geht hervor, dass die Pestizide, welche in Europa derzeit am häufigsten verwendet werden, einen Rückgang von bis zu 42 % des Artenpools der Insekten verursachen können (Beketov et al. 2008).

Hallmann et al. haben gezeigt, dass 80 % der Biomasseverluste von Fluginsekten in Deutschland nicht auf Flächenwachstum, Abholzung, Verstädterung oder Klimawandel zurückzuführen sind, sondern auf einen bisher unbekanntem Faktor, hinter dem die Autoren jedoch den Einsatz von Pestiziden vermuten (Hallmann et al. 2017).

Insgesamt wurde durch den systematischen, weit verbreiteten und oft überflüssigen Einsatz von Pestiziden in der Landwirtschaft und auf Weideland in den vergangenen 60 Jahren viele Populationen von Insekten bis zu Vögeln und Fledermäusen in Mitleidenschaft gezogen (Mineau und Callaghan 2018).

Abgesehen vom Einsatz von Pestiziden gilt die Einführung von Kunstdüngern zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Großbritannien und Europa als Hauptursache für den drastischen Rückgang von Bestäubern, insbesondere bei Hummel-Spezialisten. In Landökosystemen korreliert die Diversität der Pflanzen und der damit verbundenen Anzahl der Insektenpopulationen negativ mit dem Eintrag von Stickstoff. Ebenso sind aquatische Populationsgruppen wie beispielsweise Libellen von der Eutrophierung von Oberflächengewässern, welche durch übermäßigen Düngemittelverbrauch in ländlichen Gebieten verursacht wird, betroffen (Ollerton et al. 2014).

7.4 Biologische Faktoren

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass nur sehr wenige Indizien vorliegen, dass die biologische Kontrolle von Insektenpopulationen für den drastischen Rückgang der Insektenbiomasse verantwortlich ist. Der biologische Einfluss kann als verstärkender, multipler Faktor angesehen werden, wie es die Studie von Goulson et al. widerspiegelt. Durch die Schwächung des Immunsystems der Honigbienen, primär aufgrund von Pestiziden und fehlender Pflanzenvielfalt, wird der Rückgang der Spezies auch noch durch verschiedene Parasiten verstärkt. Durch das geschwächte Immunsystem ist die Honigbienenpopulation nicht mehr so widerstandsfähig gegen Virusinfektionen, welche von Parasiten bzw. Erregern übertragen werden (Goulson et al. 2015).

In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass einerseits der gezielte Einsatz von Arten zur biologischen Kontrolle hinsichtlich der Verdrängung durch Wettbewerb, Parasitismus oder Räuber positive Folgen für das Ökosystem haben kann. Laut Heimpel und Cock hat die klassische biologische Bekämpfung in den letzten 130 Jahren die Gesellschaft und Umwelt vor vielen invasiven Insekten- und invasiven Unkrautarten geschützt (Heimpel & Cock 2018).

Gezielt gesteuerte biologische Kontrolle kann dazu beitragen invasive Artenprobleme dauerhaft zu lösen und die biologische Vielfalt in ausgedehnten geografischen Gebieten zu schützen. Wie bereits oben angeführt, muss diese Praxis der biologischen Kontrolle nicht als Hauptbedrohung für den Rückgang der Artenvielfalt von Insekten angesehen werden, sondern sollte als Alternative zum Einsatz von Pestiziden und Insektiziden zur invasiven Artenkontrolle, zum Pflanzenschutz oder zur Wiederherstellung von Lebensräumen gesehen werden. Die biologische Kontrolle kann als Kernkomponente der ökologischen Intensivierung dazu beitragen, die Insektizid- und Pestizidbelastung in landwirtschaftlichen Umgebungen zu verringern, dem Rückgang der Artenvielfalt von Insekten entgegenzuwirken und das Nahrungsangebot von insektenfressenden Wirbeltieren zu schützen (Wyckhuys et al. 2013) (Wyckhuys et al. 2019).

Andererseits kann die Einschleppung von Arten auch ein spürbares ökologisches Risiko darstellen. Invasive Arten können erhebliche Auswirkungen auf die Beschaffenheit und Funktionsweise von Ökosystemen haben. Für mehrere invasive Pflanzen- und Tierarten wurden ökosystemweite Kaskadeneffekte mit weitreichenden Auswirkungen auf

einheimische Insektengemeinschaften berichtet. Beispielsweise ergab eine globale Metaanalyse, dass invasive Pflanzen in 56 % der Fälle negative Auswirkungen haben, welche zu einer Verringerung der Gesamthäufigkeit, Diversität und Fitness verschiedener Organismen, einschließlich Insekten, führten (Schirmel et al. 2015).

7.5 Klimawandel

Die globale Erwärmung hat auf diverse Insektengruppen, welche eine geringe thermische Toleranz aufweisen, vor allem in tropischen Regionen, einen negativen Einfluss. Die Studie von Lister und Garcia zeigt, dass in den letzten vier Jahrzehnten in den Regenwäldern von Puerto Rico ein langfristiger Rückgang von Arthropoden, Eidechsen, Fröschen und Vögeln stattgefunden hat. Als ausschlaggebender Faktor für die Verringerung der Diversität der Gliederfüßler und den simultanen Rückgang von Insektenfressern wird die Klimaerwärmung angeführt. Für viele Ökosysteme sind die Auswirkungen des Klimawandels von entscheidender Bedeutung, da diese Folgen auf die Dynamik der Ökosysteme, die Artenvielfalt und die Nahrungskette haben (Lister & Garcia 2018). Auch die Studie von Jacobson et al. zeigt, dass der Klimawandel (Temperaturerhöhung, Änderung der Niederschlagsmuster etc.) negative Auswirkung auf die Häufigkeit der Hummeln im Nordosten von Nordamerika haben kann (Jacobson et al. 2018).

8. Manifestierung des Verlustes an Insektenbiomasse anhand ausgewählter Insektenklassen

8.1 Schmetterlinge (*Lepidoptera*)

Schmetterlinge sind wertvolle Indikatoren für die Umweltqualität, da sie stark auf Wirtspflanzen spezialisiert und daher anfällig gegenüber einer Verschlechterung des Lebensraums sind. In Anbetracht deren Präsenz in einer Vielzahl von Lebensräumen kann der Verlust von Schmetterlingen einen direkten Einfluss auf die Bereitstellung wichtiger Ökosystemleistungen wie Bestäubung und natürliche Schädlingsbekämpfung haben. Die Studie von Melero et al. weist auf einen gravierenden Rückgang der Schmetterlingsfauna im westlichen Mittelmeer hin, welche 70 % der untersuchten Arten betrifft. Die höchste

Anfälligkeit und Rückgangsrage in Bezug auf die Populationsentwicklung verzeichnen spezialisierte Arten. Auch bei generalistischen Arten konnte ein Rückgang erfasst werden. Angesichts der Tatsache, dass Schmetterlinge auch als gute Indikatoren für andere Landinsekten gelten, kann der Rückgang der Schmetterlingsvielfalt auf eine globale biologische Verarmung hinweisen. Der starke Rückgang der Schmetterlingspopulationen lässt sich auf den globalen Wandel hinsichtlich Intensivierung der Landnutzung und Klimawandel zurückführen (Melero et al. 2016).

Eine weitere Studie von van Dyck et al. zeigt, dass in den Niederlanden seit 1992 die Gesamthäufigkeit aller 20 Schmetterlingsarten kontinuierlich zurückgegangen ist. Zwei Arten werden als bedroht, zwei Arten als gefährdet und drei Arten als vom Aussterben bedroht eingestuft. Allgemein verzeichneten die meisten untersuchten Schmetterlingsarten einen Rückgang, nur einige Arten zeigten eine entgegengesetzte Entwicklung. Manche Arten nahmen in verschiedenen Vegetationstypen, die sich in Naturschutzgebieten befinden zu, jedoch nicht im Waldland, Stadtgebiet oder Ackerland (Van Dyck et al. 2009).

Ein Vergleich der historischen Aufzeichnungen von 74 Schmetterlingsarten in Finnland zeigt, dass 60% der Grünlandarten in den letzten 50 Jahren zurückgingen, während 86% der generalistischen Arten und 56% der an Waldrändern lebenden Vegetationen häufiger auftraten. Gemeinsame Merkmale der 23 rückläufigen Arten sind die verminderte Mobilität, die Präferenz für oligotrophe Lebensräume und das saisonale Migrationsverhalten (Kuussaari et al. 2007).

8.2 Hautflügler (*Hymenoptera*)

Bienen sind essenzielle Bestäuber von Blütenpflanzen und machen ein Drittel aller Bestäuber aus. Honigbienen werden seit Jahrtausenden als Quelle für Honig und Bienenwachs eingesetzt. Das Wissen über ihren Bevölkerungsstatus ist daher wichtig für die Ökosystemleistungen, die sie erbringen (Ollerton, Winfree & Tarrant 2011). Blumenbesuchende Insekten leisten für viele Kulturen und Wildpflanzen einen lebenswichtigen Bestäubungsdienst. Der jüngste Rückgang bestäubender Insekten aufgrund anthropogener Veränderungen der Lebensräume und des Klimas, insbesondere

ab den 1950er Jahren, ist ein großes und weit verbreitetes Problem (Dupont, Damgaard & Simonsen 2011).

8.2.1 Hummeln (*Bombus*)

Eine Studie in Dänemark, welche die Häufigkeit von Hummeln und deren Artenzusammensetzung in Rotkleeefeldern untersuchte, zeigt, dass langrüsselige Hummeln seit den 1930er Jahren während der Rotkleeblütenzeit an Reichtum und Fülle verloren haben. Allgemein weisen Hummelgemeinschaften gegenwärtig eine viel geringere Häufigkeit von langrüsseligen Arten auf. Fünf Arten sind sogar ganz verschwunden (Dupont, Damgaard & Simonsen 2011).

Eine noch größere Studie mit 60 Arten und Unterarten von Hummeln in Mitteleuropa ergab, dass seit den letzten 136 Jahren 48 Arten weniger vorkommen, von denen 30 % als bedroht gelten und vier ausgestorben sind. Die meisten Ausrottungen des Landes erfolgten in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zeitgleich mit der Ausweitung der Intensivierung der Landwirtschaft, infolge der Grünen Revolution (Kosior et al. 2007).

8.2.2 Wildbienen (*Apoidea*)

Wildbienen erbringen mindestens 20 % der Bestäubungsleistungen in der landwirtschaftlichen Produktion. Ihre Populationen sind weitgehend abhängig von Nahrungsspezialisierung innerhalb eines begrenzten Nahrungsbereiches und Lebensraumes für die Brutstätte.

Eine umfassende Analyse über blütenbesuchende Hautflügler in Großbritannien seit Mitte des 19. Jahrhunderts führte 4 Hauptzeiträume des Wildbienensterbens an:

1. Zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts: Einführung von Guano-Düngemittel und Umwandlung von Naturpflanzgebieten in Dauergrünland, wodurch es zu einer Schwächung der blütenreichen Lebensräume gekommen ist.
2. Nach dem Ersten Weltkrieg: Ersatz der Fruchtfolgen durch chemische Düngemittel.
3. Grüne Revolution: Änderung der Agrarpolitik und Intensivierung der Landwirtschaft.

4. 1987 bis 1994: Verringerung der Abnahmeraten, da die empfindlichsten Arten bereits verloren gegangen waren oder erheblich dezimiert wurden.

Da die Landwirtschaft in Großbritannien 70 % der Landnutzung einnimmt, entsteht ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Artenrückgang und der Intensivierung der Landwirtschaft. Die hauptverantwortlichen Einflussfaktoren sind die Änderung der Habitate und der Einsatz von chemischen Düngemitteln und Pestiziden. Das Ergebnis ist das Verschwinden von 23 blütenbesuchenden Hautflüglern (Ollerton et al. 2014).

Eine weitere umfassende Langzeitstudie befasste sich mit Bienen der Art *Megachilidae* in Minnesota, wo 293 Arten in acht Lebensräumen identifiziert werden konnten. Ein Vergleich 2014 der Häufigkeit einer Untergruppe von 30 Arten mit historischen Aufzeichnungen aus dem Jahr 1937 ergab, dass 11 Arten zahlenmäßig zurückgegangen sind, weitere 11 fehlen, während vier neue Arten gefunden wurden (Gardner & Spivak 2014). Die Abbildung unter anderem die Häufigkeit von *Megachilidae*-Arten von Sammlungen aus dem Zeitraum von 1937–1938 (A) und dem Zeitraum von 2011–2013 (B):

Species	A	B
<i>Ashmeadiella buconis</i> Say	1	0
<i>Coelioxys alternata</i> Say	1	1
<i>Coelioxys funevaria</i> Smith	1	0
<i>Coelioxys modesta</i> Smith	0	1
<i>Coelioxys moesta</i> Cresson	1	1
<i>Coelioxys rufitarsis</i> Smith	2	0
<i>Heriades carinata</i> Cresson	2	23
<i>Heriades variolosa</i> Cresson	1	11
<i>Hoplitis albifrons</i> Kirby	3	4
<i>Hoplitis pilosifrons</i> Cresson	5	1
<i>Hoplitis producta</i> Cresson	3	3
<i>Hoplitis spoliata</i> Provancher	4	2
<i>Hoplitis truncata</i> Cresson	0	2
<i>Megachile campanulae</i> Robertson	2	4
<i>Megachile frigida</i> Smith	10	0
<i>Megachile gemula</i> Cresson	2	3
<i>Megachile inermis</i> Provancher	11	18
<i>Megachile latimanus</i> Say	16	0
<i>Megachile melanophaea</i> Smith	2	5
<i>Megachile montivaga</i> Cresson	2	0
<i>Megachile pugnata</i> Say	3	13
<i>Megachile relatica</i> Cresson	26	52
<i>Osmia albiventris</i> Cresson	0	2
<i>Osmia atriventris</i> Cresson	24	14
<i>Osmia bucephala</i> Cresson	3	3
<i>Osmia collinsiae</i> Robertson	5	0
<i>Osmia conjuncta</i> Cresson	2	0
<i>Osmia distincta</i> Cresson	7	0
<i>Osmia lignaria</i> Say	0	12
<i>Osmia proxima</i> Cresson	18	1
<i>Osmia simillima</i> Smith	8	7
<i>Osmia tersula</i> Cockerell	3	6
<i>Osmia virga</i> Sandhouse	4	0
<i>Stelis lateralis</i> Cresson	2	0
Total species	30	23
Total individuals	174	189

Eleven species are unique to 1937–1938, and four are unique to 2011–2013 (but see Results).

(Tabelle 1: Gardner & Spivak 2014)

In Europa wurden 1965 wildlebende und gezüchtete Bienenarten untersucht, bei denen 77 Arten als bedroht und 7 Arten als vom Aussterben bedroht galten. Da jedoch die

Populationsentwicklung für 57 % der Arten unbekannt ist, werden 9,2 % der europäischen Bienenarten als rückläufig eingeschätzt (Nieto et al. 2014).

8.2.3 Honigbiene (*Apis mellifera*)

In Nordamerika, Europa und Australien leiden angelegte Honigbienenkolonien weltweit an denselben Krankheiten und gehen mit ähnlichen Raten (etwa 1 % pro Jahr) zurück (Potts et al. 2010). Zwei Drittel der amerikanischen Imker verlieren derzeit jedes Jahr etwa 40 % ihrer Kolonien, während jährlich 30 % Verlust für Europa gemeldet werden (Kulhanek et al. 2017).

Vor allem Krankheiten und Parasiten sind für das Honigbienensterben verantwortlich. Einen entscheidenden Faktor spielen hier synthetisch hergestellte Pestizide und Insektizide, wie Neonicotinoide und Fipronil, welche das Immunsystem der Honigbienenkolonien schwächen und diese somit anfälliger für Krankheiten machen. Neonicotinoide und Fipronil reduzieren die Futtersuchfähigkeit der Arbeiterbienen und beeinträchtigen die Fortpflanzungsfähigkeit von Königinnen und Drohnen (Brandt et al. 2017). Zu den weiteren auslösenden Faktoren für den Rückgang der Honigbienen zählen das Fehlen von genetischer Variabilität, der Stress durch saisonale Transferierung der Bienenstöcke für die Bestäubung der Obst- und Gemüsepflanzen, der schlechtere Nahrungszugang aufgrund von Monokulturen und schließlich die sich ändernden klimatischen Bedingungen in den letzten Jahrzehnten (Smart et al. 2016).

8.3.1 Ameisen (*Formicidae*)

Als Hauptursache für den weltweiten Verlust der biologischen Diversität von Ameisen, insbesondere von waldbewohnenden Arten, wird die Abholzung des Regenwaldes angeführt. Dieselben Folgen wie bei der Regenwaldabholzung lassen sich auch bei der Abholzung in den nordischen Wäldern finden. Durch die Abholzung werden die Futter- und Nistressourcen gemindert und die Lebensbedingungen, die für die Koloniebildung von Bedeutung sind, stark beeinflusst (Sorvari & Hakkarainen 2016).

8.4 Käfer (*Coleoptera*)

Dies ist die größte Insektengruppe und sie umfasst wichtige räuberische und saprophytische Arten, welche essenzielle Leistungen im Ökosystem erbringen, unter anderem Schädlingsbekämpfung und Recycling von organischem Material (vgl. Wermelinger 2017:25ff.).

8.4.1 Laufkäfer (*Carabidae*)

Laufkäfer werden regelmäßig als Indikator für die Artenvielfalt verwendet. Diese Insektengruppe kommt in Lebensräumen vor, in denen sich eine Vielzahl einheimischer Schmetterlinge und Vögel befindet. Die wesentlichen Faktoren für den Rückgang der Laufkäferpopulationen lassen sich auf die Zerstörung der Lebensräume, die zunehmende Eutrophierung aufgrund der Intensivierung der Landwirtschaft und die zunehmende Verstädterung zurückführen (Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019).

In Großbritannien führten dramatische Rückgänge von 49 der 68 untersuchten Laufkäferarten an 11 Standorten innerhalb von 15 Jahren dazu, dass 26 Arten als gefährdet und acht als vom Aussterben bedroht eingestuft werden. Insgesamt wurde innerhalb des 15-jährigen Untersuchungszeitraumes ein 16%iger Verlust an Biomasse der Laufkäfer verzeichnet. Die Änderung der biologischen Diversität verlief nicht linear, sondern korrelierte mit Änderungen des Lebensraumes und der geografischen Lage. Die Minderung der Laufkäferpopulationen war in den Bergregionen des Westens und Nordens (64 %) am ausgeprägtesten, gefolgt von Moorlandschaften (31 %) und Weidlandschaften (28 %). Im Gegensatz dazu kam es bei den Populationen in südlichen offenen Landschaften zu Zunahmen. Die Populationsdichte in den Wäldern und Hecken blieb während des Untersuchungszeitraumes konstant (Brooks et al. 2012).

8.4.2 Mistkäfer (*Geotrupidae*)

Mistkäfer sind für die Viehhaltung und die Bodenfruchtbarkeit von Grünland von entscheidender Bedeutung (Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019).

Eine Studie von Carpaneto, Mazziotta & Valerio, welche die Häufigkeit und Verbreitung von 6870 Exemplaren an Mistkäfern aus 11 Arten im gesamten 20. Jahrhundert untersucht, zeigt sowohl Rückgänge (31 %) in der Häufigkeit als auch in der Verbreitung der Mistkäfer bei 9 Arten. Die ersten Rückgänge begannen in den 1960er Jahren (2 Arten), nahmen in den 1970er Jahren zu (3 Arten) und erhöhten sich in den 1980er Jahren (6 Arten) abermals. Die Abnahmen korrelieren mit der lokalen Verringerung der Graslandschaften: Seit 1960 wurden 43 % der Weidlandschaften in Wälder oder Landwirtschaftsflächen umstrukturiert. Zusätzlich verringerte sich das Nahrungsangebot für Mistkäfer durch die Umlagerung von Freilandhaltung zu Stallhaltung (Carpaneto, Mazziotta & Valerio 2007).

8.4.3 Holzbewohnende Käfer (*Xylobionten*)

Für das Ökosystem spielen xylobionte Käfer hinsichtlich der Zersetzung und dem Recycling von Holz eine entscheidende Rolle. Diverse Arten sind auch an der Bestäubung beteiligt (Stefanescu et al. 2018).

In einer Langzeitstudie von Lindhe et al. wurden 118 Arten aus historischen Sammlungen mit aktuellen Beständen verglichen. Seit dem frühen 19. Jahrhundert weisen nur 50 % der Langhornkäfer (*Monochamus sartor*) dieselbe Häufigkeit und Ausbreitung auf. 26 % der Arten sind stark rückläufig, 32 % der Arten sind häufiger anzutreffen und 5 – 10 % der Arten gelten als ausgestorben. Als Grund für den Rückgang der Artenvielfalt wird die Ausdehnung der industriell ausgerichteten forstwirtschaftlichen Großbetriebe angeführt. Allgemein muss noch hinzugefügt werden, dass die Forstwirtschaft und deren Ausdehnung die Dezimierung alter, einheimischer Wälder zur Folge hat und somit zum Rückgang der xylobionten Käfer beigetragen hat (Lindhe et al. 2011).

8.5 Schnabelkerfe (*Hemiptera*)

In einer Vergleichsstudie von Schuch, Wesche & Schaefer in Deutschland wurden Fangnetz-Proben von Zikaden-Populationen (*Auchenorrhyncha*) in staatlich geschützten Trockengraslandschaften im Zeitraum von 1963 bis 1967 mit Sammlungen von 2008 bis 2010 an den gleichen Standorten verglichen. In dieser historischen Erhebung wurden die Artenvielfalt, die Artenzusammensetzung und die Häufigkeit der Arten einander

gegenübergestellt. Insgesamt änderte sich der Artenreichtum kaum, jedoch hat sich die Artenzusammensetzung beträchtlich geändert. 14 Arten - hauptsächlich spezialisierte Arten - nahmen ab, wobei neun weitere Arten - hauptsächlich generalistische Arten - zunahmen. Vor allem eine für saures Grasland typische Spezies breitete sich sehr stark aus und liegt seitdem dominant vor. Im Durchschnitt wurden für die Jahre 2008 bis 2010 nur 27 % der von 1964 bis 1966 gefangenen Zikaden-Populationen erfasst. Daraus lässt sich schließen, dass, obwohl es sich um ein staatlich geschütztes Gebiet handelt, die Stickstoffansammlungen in der Luft, die Einführung intensiver Landwirtschaftspraktiken und die Veränderung der Pflanzengemeinschaft das Vorkommen der Zikaden-Populationen in großem Maße beeinflusst (Schuch, Wesche & Schaefer 2012).

8.6 Heuschrecken (*Orthoptera*)

Schuch et al. führten eine weitere Vergleichsstudie an denselben deutschen Standorten durch. Weder die Artenvielfalt noch die Artenzusammensetzung zeigten wesentliche Veränderungen (Schuch et al. 2011).

8.7 Libellen (*Odonata*) und Wasserjungfern (*Zygoptera*)

Libellen und Wasserjungfern bilden eine kleine Gruppe innerhalb der Insekten. Die Larvenentwicklung hängt von Gewässern ab. Sowohl Libellen als auch Wasserjungfern spielen eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung von Mücken und Schädlingen.

In Europa gelten 15 % der 138 Libellenarten als gefährdet, wobei am Balkan zwei Wasserjungfernarten und eine Libellenart stark gefährdet sind. Ein Viertel aller Arten nimmt in Bezug auf die Populationszahl und die Verbreitung ab, etwa die Hälfte bleibt stabil und nur 10 % davon nehmen zu. Haupteinflussfaktoren für den starken Rückgang der Libellen und Wasserjungfern sind die Intensivierung der Landbearbeitung, die Kanalisierung von Flüssen, die Wasserverschmutzung und der Einsatz von Pestiziden und künstlichen Düngemitteln (Kalkman et al. 2010).

9. Lösungen zur Verhinderung bzw. Entschleunigung des Insektensterbens durch Revitalisierung der Insekten-Diversität

Wie bereits erwähnt sind meist die menschlichen Eingriffe für die Disharmonie in der Natur verantwortlich. Somit müssen vor allem die in der Industrie und Landwirtschaft vorherrschenden und ökologischen negativen Bewirtschaftungspraktiken durch nachhaltige und ökologisch wertvolle Techniken wie beispielsweise die Anlegung von kleinen Ackerflächen mit abwechselnder Fruchtfolge ersetzt werden. Vor allem können durch die ökologische Bewirtschaftung von Ackerflächen die Artenvielfalt und die Populationshäufigkeit wieder erhöht werden. Wie eine Studie von Bengtsson et al. zeigt, kann sowohl die Artenvielfalt als auch die Populationshäufigkeit von Schmetterlingen, Spinnen, Wanzen, Ameisen und Käfern durch ökologische Landwirtschaft im Gegensatz zur industriell geführten Landwirtschaft um 30 % gesteigert werden. Darüber hinaus konnte auch noch eine Abnahme der Schädlingspopulationen erreicht werden. Selbstverständlich müssen für die Insekten zu deren Vermehrung und zur Ansiedlung auch die notwendigen Habitate geschaffen werden, indem durch Hecken, kleinere Felder, breite Feldränder, Blumen- und Grünlandstreifen ein Struktureichtum etabliert wird. Außerdem trägt eine höhere Dichte und Vielfalt von Wildkräutern wesentlich zur Beständigkeit des Ökosystems und zur Aufrechterhaltung der Artenvielfalt bei, da eine Vielzahl von Organismen (Tier-, Insekten- und Mikroorganismenarten) von Wildkräutern abhängig ist. Ebenso verringert das natürliche Auftreten von Unkräutern die Wasser- und Winderosion sowie die Auswaschung von Nährstoffen ins Grundwasser.

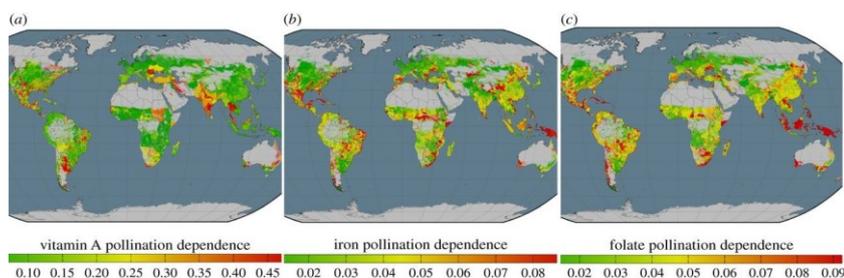
Ein wesentlicher Faktor ist, dass die biologische Schädlingsbekämpfung den Einsatz von Herbiziden, Insektiziden und Pestiziden ersetzt. Dies kann durch die gezielte Förderung von Nützlingen und durch vielfältige Anbaumethoden erreicht werden. Auch sind beim Einsatz von biologischen Antagonisten ausreichende Kenntnisse über ökologische Zusammenhänge (Populationsentwicklung, etc.) unabdingbar. Der ökologische Landbau begünstigt nicht nur Bestäuber, sondern schützt auch natürliche Feinde von Insekten, die für die Abwehr der pflanzenfressenden Schädlingsarten vieler Kulturpflanzen unerlässlich sind.

Für Wasserinsekten und deren Wiederherstellung ihrer biologischen Vielfalt sind die Rehabilitation von Marschland und eine verbesserte Wasserqualität von höchster Priorität. Dies erfordert jedoch auch die Einführung wirksamer Sanierungstechnologien zur Reinigung des bereits verschmutzten Wassers. Vorrangig muss darauf geachtet werden, dass das Abfließen und Versickern von Giftstoffen, insbesondere von Pestiziden, verhindert wird, um wesentliche aquatische Ökosystemleistungen aufrecht zu erhalten. Zusammenfassend bedeutet dies, wenn an der Produktionsweise der Nahrungsmittel nichts geändert wird, wird sowohl die Insektenbiomasse und infolgedessen auch die Artenvielfalt und Populationshäufigkeit anderer Tiere weiterhin rückläufig sein. Dieser Rückgang von Insektenvielfalt und Häufigkeit wird hinsichtlich ihrer wichtigen strukturellen und funktionellen Leistungen für viele Ökosysteme katastrophale Folgen haben. Man darf nicht außer Acht lassen, dass viele Insekten die Basis diverser Ökosysteme bilden (vgl. The World Foundation for Natural Science 2017:1ff.).

10. Auswirkungen auf die Ernährung durch den Verlust von Insektenbiomasse

10.1 Einführung

In den letzten Jahrzehnten kam es weltweit zu einer prägnanten Reduzierung der Artenvielfalt, des Verbreitungsgrades und der Populationsanzahl von bestäubenden Tieren. Lebensräume, in denen die Bevölkerung am stärksten von Krankheiten und Mikronährstoffmangel betroffen ist, sind auch am häufigsten die Regionen, welche am stärksten von bestäubenden Organismen (hinsichtlich Nahrungsmittelproduktion- und Versorgung) abhängig sind. Dies soll in der folgenden Abbildung verdeutlicht werden:



(Abbildung 10: Chaplin-Kramer et al. 2014)

Die Unterversorgung mit Lebensmittelgruppen wie Obst, Gemüse, Nüsse und Samen, deren Entwicklung zumindest teilweise von Tieren abhängig ist, stellen einen Risikofaktor für nicht übertragbare Krankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes, Speiseröhrenkrebs und Lungenkrebs dar.

Die daraus resultierende Unterversorgung mit lebenswichtigen Mikronährstoffen, wie Vitamin A, Folsäure und Eisen, führt zu einer erhöhten Sterblichkeitsrate bei Frauen und Kindern und zu einer erhöhten Inzidenz von Blindheit und Neuralrohrdefekten.

Der Rückgang der Diversität und Anzahl der bestäubungsfähigen Organismen kann zu erheblichen, neuen Krankheitsbelastungen in unserer Gesellschaft führen.

Die Bestäubung durch Organismen ist ein Schlüsselfaktor für die Fortpflanzung von vielen Kulturpflanzen und Wildpflanzen, die eine zentrale Rolle für die Versorgung mit Kalorien und Mikronährstoffen in der menschlichen Ernährung einnimmt. Hauptsächlich Honigbienen sind nach wie vor weltweit die wertvollsten Bestäuber. Für Landwirte hat der Rückgang der Bienenpopulation drastische Folgen, da es dadurch zu einem verringerten Aufsuchen der landwirtschaftlichen Felder kommt und somit die Bestäubung oft nur durch angelegte Honigbienenstöcke sichergestellt werden kann. Die Produktionssteigerung des Saatgutes durch tierische Bestäubung ermöglicht sowohl Fortschritte in der Züchtung als auch die Hybridisierung für die Entwicklung neuer Sorten (Klein et al. 2007).

Bis dato gibt es nur wenige Studien, die sich mit dem Einfluss von Bestäubern auf die Nährstoffproduktion und mit der Versorgung und deren möglichen Einfluss auf die Gesundheit der Bevölkerung beschäftigt haben.

Der größte Anstieg von übertragbaren und von Unterernährung verursachten Krankheiten, welcher durch den Verlust der Häufigkeit und Biodiversität von bestäubungsfähigen Tieren bedingt ist, ist in einkommensschwachen Ländern Afrikas, Osteuropas, in Südasien und in Teilen Südamerikas zu verzeichnen. Diese Länder haben tendenziell eine hohe Prävalenz für chronische Erkrankungen und Stoffwechselkrankheiten und sind stark von bestäubungsabhängigen Früchten, Gemüse, Nüssen und Samen abhängig. Aufgrund dessen beziehen sich die nachfolgenden

Untermauerungen zum größten Teil auf die Kontinente der Südhalbkugel (Smith et al. 2015).

10.2 Tierische Bestäuber und ihr Einfluss auf die Lebensmittelproduktion

Die Produktion von Grundnahrungsmitteln (z. B. Maniok, Mais, Kartoffeln, Reis, Weizen, Yamswurzel) hat sich in den letzten 50 Jahren aufgrund von landwirtschaftlichen Techniken und Verfahren, dem Einsatz von Chemikalien und effizienterer Bewässerung verdoppelt.

Es handelt sich hierbei jedoch meist um Getreide und stärkehaltige Gemüsesorten. Diese Körner und stärkehaltigen Gemüsesorten werden fast ausschließlich windbestäubt, selbstbestäubt oder vermehren sich vegetativ. Sie liefern zwar den größten kalorischen Anteil, sind allerdings meist durch die starke Verarbeitung und Behandlung (Auswaschung, Vermahlung, Raffinierung etc.) arm an essenziellen Mikronährstoffen. Dies wiederum unterstreicht die Bedeutung von tierbestäubten pflanzlichen Vitaminquellen.

Der Großteil der für die menschliche Gesundheit erforderlichen Lipide und viele Mikronährstoffe sind in von tierbestäubten Pflanzen enthalten.

Schätzungen zu Folge werden rund 74 % der weltweit produzierten Lipide, welche aus pflanzlichen Ölen stammen, durch die Bestäubung von Tieren gefördert. Des Weiteren dienen diese Pflanzen auch als primäre Quelle für fettlösliche Vitamine.

Hinsichtlich wasserlöslicher Vitamine stammen 98 % des Vitamin C von tierbestäubten Pflanzenarten, vor allem aus Zitrusfrüchten und anderen Obst- und Gemüsesorten. Die antioxidative Wirkung von Vitamin C, zusammen mit Vitamin E und β -Carotin ist allgemein bekannt, das Auftreten von Skorbut ist heutzutage eine Seltenheit.

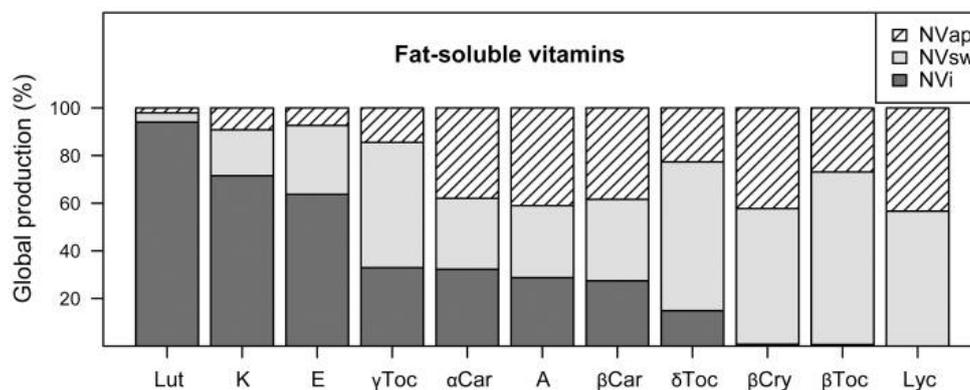
Die restlichen wasserlöslichen B-Vitamine finden sich Großteils in stärkehaltigen Grundnahrungsmitteln, die nicht auf Tierbestäubung angewiesen sind. Vor allem Folsäure, dessen Bedarf insbesondere während der Schwangerschaft erhöht ist, befindet sich zu 55 % in tierbestäubten Kulturpflanzen (Eilers et al. 2011). In Bezug auf Folsäure ist die Kokosnuss die am weitesten verbreitete Versorgungsquelle, die in fast allen Entwicklungsländern angesiedelt ist. In Malaysia und Indonesien ist die Muskatnuss der primäre Vertreter von tierisch bestäubten Kulturpflanzen. Avocados und Sojabohnen

liefern in Indonesien, tropische Früchte in Papua Neu Guinea einen wichtigen Beitrag zur Folsäureproduktion. Wichtige in diesen Regionen vorkommende Kulturpflanzen, welche Folsäure enthalten und nicht bestäubt werden müssen, sind Erdnüsse und Bananen (Chaplin-Kramer et al. 2014).

Mehr als 70 % Vitamin A und jeweils 98 % der Carotinoide Cryptoxanthin und Lycopin stammen aus tierbestäubten Kulturpflanzen (Eilers et al. 2011). Kürbis, Melone und Mango zählen in vielen Regionen zu den häufigsten Pflanzenkulturen, welche für die Produktion von Vitamin A entscheidend sind. Weitere wichtige Pflanzenkulturen für die Versorgung mit Vitamin A sind Okra in Indien, tropische Früchte (z. B. Cherimoya, Guave, Jackfrucht, Passionsfrucht usw.) in Indien und Thailand, Aprikose und Sauerkirsche im Iran, Aprikose und Pflaume in Rumänien und Pfirsich in Mexiko.

Karotte und Süßkartoffel sind zwei weit verbreitete, jedoch von Bestäubern unabhängige Pflanzen, die in allen Regionen einen hohen Beitrag zur Vitamin-A-Versorgung leisten (Chaplin-Kramer et al. 2014).

Das bedeutende Antioxidans Vitamin E, welches bei höheren Zufuhren auch eine protektive Wirkung gegenüber kardiovaskulären Erkrankungen zeigt, ist in Form von α -Tocopherol zu 35 % und in Form von γ -Tocopherol zu 66 % in tierbestäubten Pflanzen vorhanden. Tierbestäubte Kulturpflanzen sind auch wertvolle Quellen für Mineralstoffe. Die folgende Abbildung zeigt den Anteil der fettlöslichen Vitamine an der globalen Pflanzenproduktion (%), die ohne Bestäubung produziert wurden (NV_i, dunkelgrau), mit Bestäuber produziert werden, aber Selbst- oder Windbestäubung zugeschrieben werden (NV_{sw}, hellgrau), die durch Bestäubung produziert werden und direkt der Bestäubung von Tieren zugeschrieben werden (NV_{ap}, quer-schraffiert).



(Abbildung 11: Chaplin-Kramer et al. 2014)

Die beiden Mengenelemente Calcium und Fluorid, welche eine bedeutende Rolle in der Entwicklung der Zähne und Knochen spielen und zur Erhaltung der Knochendichte und zur Vorbeugung von Osteoporose beitragen, werden zu 58 % und zu 62 % aus tierbestäubten Pflanzen gewonnen. Jedoch darf nicht unerwähnt bleiben, dass Calciumquellen aus tierischen Produkten eine bessere Bioverfügbarkeit haben.

Eisenmangel ist weltweit der am häufigsten auftretende Mikronährstoffmangel. Trotz der schlechteren biologischen Verfügbarkeit pflanzlich gebundenen Eisens sind pflanzliche Eisenquellen von entscheidender Bedeutung. 29 % der Eisenversorgung stammt aus pflanzlichen Ressourcen, die von tierischer Bestäubung abhängen (Eilers et al. 2011). Der größte Teil der von Bestäubern abhängigen Eisenproduktion entfällt auf Kürbis, Sesam und Avocado. Außerdem bilden Anis in Brasilien und China, Buchweizen und Wassermelone in China und Lupine in Südafrika weitere wertvolle Quellen. Weizen, Erdnüsse, Reis und Mais produzieren in diesen Regionen den größten Teil des pflanzlichen Eisens, ohne dass eine Bestäubung erforderlich ist (Chaplin-Kramer et al. 2014).

Daraus schließt man, dass ein Großteil der weltweiten Kulturpflanzen durch den Rückgang der tierischen Bestäuber starke Einbußen erleiden können und dadurch essenzielle Makro- und Mikronährstoffe, die für die menschliche Gesundheit und für eine gesunde Ernährung notwendig sind, verloren gehen.

Zusammenfassend geht aus dieser Studie hervor, dass tierbestäubte Pflanzen den größten Teil der verfügbaren Nahrungsfette, Vitamin A, C und E und einen großen Teil der Mineralstoffe Calcium, Fluorid und Eisen weltweit enthalten. Diese Ergebnisse spiegeln die Bedeutung pflanzlich bestäubter Kulturpflanzen hinsichtlich Nährstoffversorgung wider und implizieren, dass ein Rückgang der pflanzenbestäubenden Biomasse drastische Auswirkungen auf die Versorgung der Menschen im Bezug auf Mikronährstoffe haben kann (Eilers et al. 2011).

10.3 Rückgang von Biodiversität und Nährstoffmangel

Schätzungen zufolge ist mehr als einer von vier Menschen weltweit von Mikronährstoffmängeln betroffen. Dieser sogenannte „*hidden hunger*“, der mit Vitamin-

und Mineralstoffmangel einhergeht, betrifft Menschen jeden Alters und Geschlechts. Er kann ein erhöhtes Risiko für Müttersterblichkeit, eine erhöhte Inzidenz vieler chronischer und infektiöser Krankheiten, verringerten IQ, verringerte Arbeitsleistung und ernährungsspezifische Erkrankungen wie Kropfbildung, Nachtblindheit und Eisenmangelanämie verursachen (Ellis et al. 2015). Vitamin A zählt weltweit zu einem der kritischen Mikronährstoffe. Vitamin-A Mangel ist jährlich bis zu 500.000 Mal Ursache irreversibler Erblindung bei Kindern. Hinzuzufügen ist, dass auch bereits in vielen Studien belegt wurde, dass Lebensmittel mit hohem Carotinoid-Gehalt eine protektive Wirkung gegen die Entstehung von Krebs haben. Folsäuremangel führt bei Frauen zu einer erhöhten Sterblichkeitsrate bei Föten und zu einer erhöhten Inzidenz von Neuralrohrdefekten bei Embryonen. Eisenmangel gilt, wie schon oben erwähnt, weltweit als der am häufigsten auftretende Mikronährstoffmangel. Hoher Eisenmangel trägt zu Infektionen und kognitiven Beeinträchtigungen bei (Eilers et al. 2011). In der Studie von Smith et al. wurden die Auswirkungen von bestäubungsfähigen Organismen auf die menschliche Ernährung und die globale Gesundheit untersucht. Ziel der Studie war es, die Größe der gesundheitlichen Auswirkungen abzuschätzen, die direkt auf eine verringerte Bestäubungsleistung zurückzuführen sind und um Ausblicke zu geben, wie sich diese Auswirkungen in verschiedenen Szenarien (Ausmaß der %-Verringerung der Bestäubungsverluste) ändern würden. Bei vollständigem Fehlen von „bestäubungsfähigen Organismen“ könnte das durchschnittliche globale Obstangebot um 22,9 % sinken, das für Gemüse um 16,3 % und das für Nüsse- und Samen um 22,1 %. Ein Großteil nicht übertragbarer Krankheiten ist auf eine geringe Aufnahme von Obst, Gemüse und Nüssen und Samen zurückzuführen (ischämische Herzkrankheit, Schlaganfall, Lungenkrebs, Speiseröhrenkrebs und Diabetes). Der vollständige Verlust von bestäubungsfähigen Tieren würde außerdem zu einer Erhöhung von 1,42 Millionen zusätzlichen Todesfällen aufgrund von nicht übertragbaren Krankheiten (Unterernährung und Mikronährstoffmangel, etc.) führen. Unter der Annahme eines 50-% prozentigen Verlusts der Bestäubungsleistungen von Organismen würden zuordenbare Todesfälle insgesamt auf 0,7 Millionen sinken, also auf die Hälfte der geschätzten Todesfälle bei vollständiger Entfernung der bestäubungsfähigen Tiere. Bei einem Bestäubungsverlust von 75 % stiegen die auf die Bestäubung zurückzuführenden Todesfälle auf 1,05 Millionen, was ungefähr drei Viertel der Todesfälle bei einer Entfernung von 100 % der

tierischen Bestäuber entspricht. Daraus resultiert, dass ein Großteil der weltweiten Kulturpflanzen durch den Rückgang der tierischen Bestäuber starke Einbußen erleidet und dadurch essenzielle Makro- und Mikronährstoffe, welche für die menschliche Gesundheit und für eine gesunde Ernährung notwendig sind, verloren gehen (Smith et al. 2015).

10.4 Rückgang der Biodiversität und Mikronährstoffe

Vor allem Kinder und Frauen in Entwicklungsländern weisen hinsichtlich der Mikronährstoffe Vitamin A, Zink, Eisen, Folsäure und Kalzium einen großen Mangel auf. Dies führt dazu, dass diese Bevölkerungsgruppen noch anfälliger auf die Auswirkungen des Rückganges tierischer Bestäuber reagieren.

Es wird angenommen, dass es bei einem vollständigen Verlust von bestäubungsfähigen Tieren weltweit zu einem zusätzlichen Risiko für das Auftreten eines Vitamin-A-Mangels in der Höhe von 71 Millionen Personen und ein zusätzliches Auftreten eines Folat-Mangels in der Höhe von 173 Millionen betroffener Menschen kommen würde. Basierend auf dieser Hypothese kann davon ausgegangen werden, dass vor allem tierische Bestäuber für die mit Vitamin A verbundene Ernährungsgesundheit wichtig sind (Smith et al. 2015). Eine weitere Studie aus dem Jahr 2015 von Chaplin-Kramer et al. untermauert diese Hypothese. In der Studie wird gezeigt, dass der am stärksten von Bestäubern abhängige Mikronährstoff in den Ländern Thailand, Nord- und Südostindien, West Iran, Rumänien, Ost- und Südwestaustralien und in Teilen von Mexiko, den USA und von Argentinien das Vitamin A (50 %) ist. Eisen und Folat zeigen eine weitaus geringere Abhängigkeit hinsichtlich tierischer Bestäubung und erreichen in Westchina, der Zentralafrikanischen Republik, dem Nordosten Südafrikas, in Nordmexikos und auf Yucatán nur 12 - 15 %. Tatsächlich korrelieren die Länder, welche eine große Abhängigkeit bei der Versorgung mit Mikronährstoffen von tierischer Bestäubung haben, mit der Häufigkeit des Auftretens einer Unterversorgung. In Regionen mit einer hohen (mehr als 30 %) Bestäubungsabhängigkeit des Mikronährstoffs Vitamin A ist ein Vitamin-A-Mangel fast dreimal so häufig wie in Regionen mit einer geringeren Bestäubungsabhängigkeit. In ähnlicher Weise ist das Auftreten einer Eisenmangelanämie bei schwangeren Frauen in Regionen mit einer Bestäubungsabhängigkeit von mindestens 15 % für pflanzliches Eisen mehr als dreimal so hoch wie in Ländern mit hoher

Bestäubungsunabhängigkeit. Viele Regionen mit einer hohen bestäubungsabhängigen Folsäureproduktion weisen bei Neugeborenen auch hohe Raten an Neuralrohrdefekten auf.

Hervorzuheben ist, dass Regionen mit hoher Mikronährstoffabhängigkeit (durch Bestäubung) und hohem Nährstoffmangel noch anfälliger auf den Rückgang von bestäubungsfähigen Organismen reagieren. Vergleicht man die Vitamin-A-Versorgung Mexikos mit der Indiens, so zeigt sich, dass die Produktion dieses Mikronährstoffes und den daraus resultierenden Bedarf in verschiedenen Regionen Mexikos weit übersteigt, jedoch in Indien der Bedarf nur zu 50 % abgedeckt werden kann. Somit kann die Vitamin-A-Bedarfsdeckung in Mexiko Rückgänge der bestäubungsfähigen Tiere leichter abfedern als die Vitamin-A-Versorgung in Indien.

Ein entscheidender Faktor hierbei ist, dass die globalen Produktionszahlen bzw. Versorgungszahlen für Mikronährstoffe regional sehr stark variieren. Damit soll ausgedrückt werden, dass beispielsweise die weltweite Vitamin-A-Produktion durch bestäubungsabhängige Kulturpflanzen das Fünffache des globalen Bedarfs beträgt, jedoch die regionale Streuung sehr hoch ist. So erreichen Regionen in Südostasien nur eine Abdeckung von 48% dieses essenziellen Mikronährstoffes. Für Folat übersteigt die von Bestäubern abhängige Produktion allein die weltweite Nachfrage um das 13-fache, was darauf hindeutet, dass der Zugang zu diesen Mikronährstoffen ein Grund für Mängel ist. Somit wird deutlich, dass es sich bei der Versorgung mit notwendigen Mikronährstoffen allgemein nicht um einen Produktionsmangel handelt, sondern um ein Verteilungsdilemma (Chaplin-Kramer et al. 2014).

10.5 Klimawandel, Biodiversitätsverlust und Nährstoffversorgung

Die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Nahrungsmittelproduktion durch die Verringerung bestäubender Tiere und deren regionaler Verschiebung darf nicht unterschätzt werden. Die durch die Erwärmung veränderte Blütezeit und Migration in Richtung der Pole und die daraus resultierende Veränderung der Interaktionen zwischen tierischen Bestäubern und Pflanzen kann die Funktionstüchtigkeit der Ökosysteme stören. Durch die Veränderung der Blütezeit kommt es während der Pflanzenblütezeit zu einer geringeren Interaktion zwischen der Häufigkeit an Bestäubern und den zu bestäubenden

Pflanzen. Dies impliziert sowohl einen Rückgang der pflanzlichen als auch der tierischen Bestäuber-Vielfalt (Myers et al. 2017). Darüber hinaus hat der zunehmende CO₂-Ausstoß negative Auswirkungen auf die Nährstoffquellen der tierischen Bestäuber. Eine Studie von Ziska et al. zeigte, dass der Proteingehalt von Goldrutenpollen, einer spät blühenden Pflanze, die für überwinterte Bestäuber eine wichtige Nährstoffrolle spielt, seit 1842 um ein Drittel verringert wurde (Ziska et al. 2016).

Obwohl der Nettoeffekt des Klimawandels auf die Bestäuber ungewiss bleibt, weisen einige Studien darauf hin, dass sich durch die Verringerung der bestäubungsfähigen Tiere die Erträge der Kulturpflanzen verringern und somit eine wichtige Komponente in der Nahrungsmittel- und Nährstoffversorgung verloren geht (Myers et al. 2017).

10.6 Ideen zur Verhinderung des Nährstoffmangels

Vor allem in Regionen, welche stark von Bestäubungsleistungen der Tiere abhängig sind und sensibel auf Veränderungen bzw. Rückgänge von Populationsdichten reagieren, muss die Abhängigkeit von Bestäubungsleistungen insgesamt beeinflusst werden. Solche Anpassungen können andere Formen wie „wilde“ Bestäubung, Fruchtwechsel, Nahrungsergänzung, andere Nahrungsquellen und den Zugang zum globalen Markt beinhalten. Abgesehen vom Bienensterben in den letzten Jahrzehnten ist die Kultivierung von künstlich angelegten Bienenstämmen ein gutes Beispiel um die Bestäubungsleistung



eines Ökosystems zu erhöhen. Handbestäubung (Bestäubung durch Menschenhand) kann eine wirksame Ersatzleistung für die Insektenbestäubung erbringen, was anhand der Apfelkulturen in

China gezeigt wird. Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass die Anpassungsvorschläge in Ländern in denen Unterernährung vorherrscht, wegen fehlenden technologischen, strukturellen und monetären Mitteln meistens nur theoretisch umsetzbar sind (Abbildung 12: <https://www.3sat.de/wissen/nano/menschliche-bienen-100.html>)

Naturschutzprojekte müssen häufig ein Gleichgewicht zwischen der Erhaltung der biologischen Vielfalt und der Aufrechterhaltung der Ströme mehrerer Ökosystemleistungen finden. Die Entscheidung, welche Ökosystemleistungen bei der

Abwägung solcher Kompromisse berücksichtigt werden sollen, hängt davon ab, wie wichtig eine bestimmte Leistung für die menschliche Gesundheit und den Wohlstand ist. Während die Kohlenstoffbindung und wasserbezogene Dienstleistungen bei globalen Bewertungen von Ökosystemleistungen häufig große Beachtung finden, verdienen stärker lokalisierte Dienstleistungen wie die Bestäubung keine besondere Berücksichtigung in Bereichen, in denen die Ernährungsgesundheit besonders gefährdet ist. Die in der Studie von Chaplin-Kramer et al. vorgenommene Hervorhebung solcher Bereiche ist ein erster Schritt, um die Abhängigkeit solcher Systeme von der Bestäubung besser zu verstehen. Zukünftige Forschungen, die eine genauere Analyse der in solchen Gebieten tatsächlich erbrachten Bestäubungsleistungen, insbesondere von Wildbestäubern, liefern, werden die lokalen Entscheidungsträger darüber informieren, wann und wo Bestäubungsleistungen Vorrang haben, um die Ernährung und die menschliche Gesundheit zu verbessern (Chaplin-Kramer et al. 2014).

II Praktischer Teil

11 Studiendesign

Der praktische Teil dieser Arbeit wurde in Form einer Befragung mit dem folgenden Titel durchgeführt: „Fördern private Haushalte durch die Kultivierung von Pflanzen die Insektenvielfalt?“.

Bei der Umfrage handelt es sich um eine Onlineumfrage, welche über die Plattform „Facebook“, per E-Mail Versand und per „What’s App“ veröffentlicht worden ist.

An der Umfrage konnte jeder teilnehmen, dessen Hauptwohnsitz in Österreich liegt. Ansonsten gab es vorweg keine Ausschlusskriterien. Erst bei der Auswertung wurden Teilnehmer mit dem Wohntypus „Landwirtschaftliches Anwesen“ und „Sonstige“ ausgeschlossen.

Die Umfrage umfasst sechs Fragen, sie wurde anonym durchgeführt und war für 72 Stunden freigeschalten.

12 Einschränkungen

- Die Umfrage wurde Großteils nur von engen und weiten Bekannten durchgeführt, wodurch die Ergebnisse nicht für ganz Österreich als repräsentativ gewertet werden können. Die meisten Befragten haben ihren Hauptwohnsitz in Wien, Niederösterreich, Graz und Oberösterreich.
- Kurze und oberflächliche Fragestellung.
- Keine genaue Unterscheidung der verschiedenen Pflanzenfamilien.

13 Fragestellungen

- Wieviel % der Studienteilnehmer kultivieren Pflanzen im Außenbereich?
- Wieviel % der Studienteilnehmer verwenden chemische Mittel wie Pestizide, Herbizide, Fungizide und Insektizide?
- Wieviel % der Studienteilnehmer sind sich dessen bewusst, dass sie durch die Kultivierung von Pflanzen die Insektenvielfalt fördern?
- Welche sind die am häufigsten kultivierten Pflanzen?
- Welche chemischen Mittel werden am häufigsten verwendet?
- Liegen Unterschiede hinsichtlich der Kultivierung von Pflanzen und dem Einsatz von chemischen Mitteln zwischen Bewohnern von Einfamilienhäusern, Reihenhäusern und Wohnungen vor?
- Gibt es Unterschiede in der Pflanzenzusammensetzung hinsichtlich des Einsatzes von chemischen Mitteln?

Die Ergebnisse der Umfrage werden einerseits durch Diagramme dargestellt und andererseits in einer schriftlichen Zusammenfassung wiedergegeben.

14 Fragebogen

Vorstellung der Umfrage

In den letzten Jahrzehnten kam es zu einer prägnanten und weltweiten Reduzierung der Insektenarten. Trotz des geringen Einflusses privater Haushalte verglichen mit Industrie

und Landwirtschaft ist es von Interesse, inwieweit private Haushalte (bewusste oder unbewusste) Maßnahmen setzen können, um die Insektenvielfalt zu fördern oder ihr entgegen zu wirken.

Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie: keine.

Umfragedauer: 1 Minute.

Dies ist eine anonyme Umfrage. Es werden keine persönlichen Daten erfragt.

Frage 1

Bitte tragen Sie im freien Feld Ihre PLZ ein. (z.B.: 1200)

Frage 2

Handelt es sich bei Ihrem Hauptwohnsitz um ein/e:

- Einfamilienhaus
- Reihenhaus
- Wohnung
- Landwirtschaftliches Anwesen
- Sonstige

Frage 3

Über welche Freiflächen verfügen Sie? (Mehrfachantworten möglich)

- Garten
- Terrasse
- Balkon
- Externe (nicht im Haus befindliche) Abstellflächen für Pflanzen (z.B.: Fensterbank)
- Keine

Frage 4

Haben Sie eine oder mehrere der folgenden Pflanzen? (Mehrfachantworten möglich)

Obstbaum (z.B.: Apfelbaum)

- Zierbaum (z.B.: Ahorn)
- Strauch (z.B.: Lavendel)
- Gemüsepflanzen (z.B.: Radieschen)
- Obstpflanzen (z.B.: Erdbeere)
- Kräuter- oder Gewürzpflanzen (z.B.: Basilikum)
- Zierpflanzen (z.B.: Rosen)
- Gras
- Keine

Frage 5

Verwenden Sie eines der folgenden chemischen Mittel? (Mehrfachantworten möglich)

- Pestizide (gegen Organismen wie z.B.: Schnecken)
- Herbizide (gegen „Unkräuter“ wie z.B.: Löwenzahn)
- Fungizide (gegen Pilze wie z.B.: Mehltau)
- Insektizide (gegen Insekten wie z.B.: Blattläuse)
- Keine

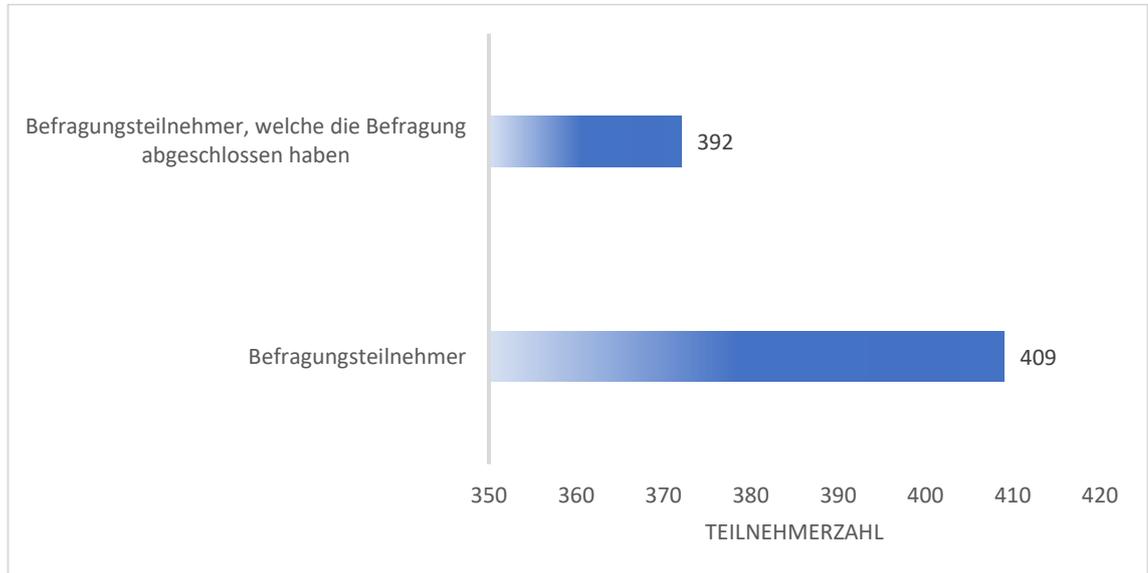
Frage 6

War Ihnen bisher bewusst, dass Sie durch die Kultivierung Ihrer Pflanzen zum Erhalt der Insektenvielfalt beitragen?

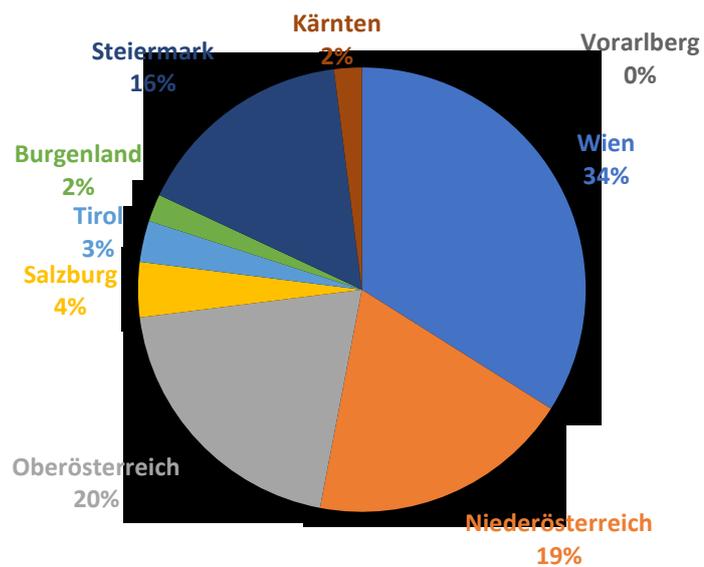
- Ja
- Nein

15 Auswertung:

15.1 Teilnehmeranzahl:

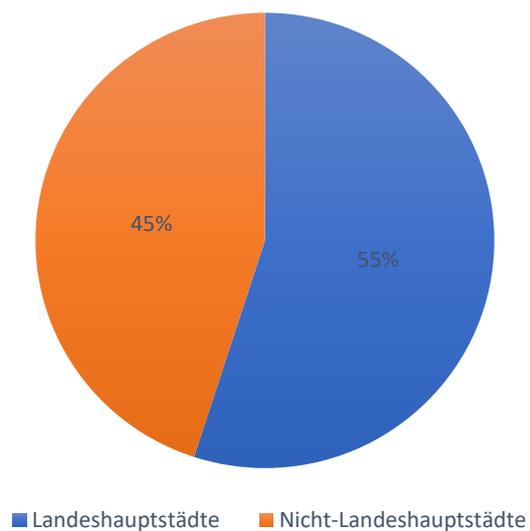


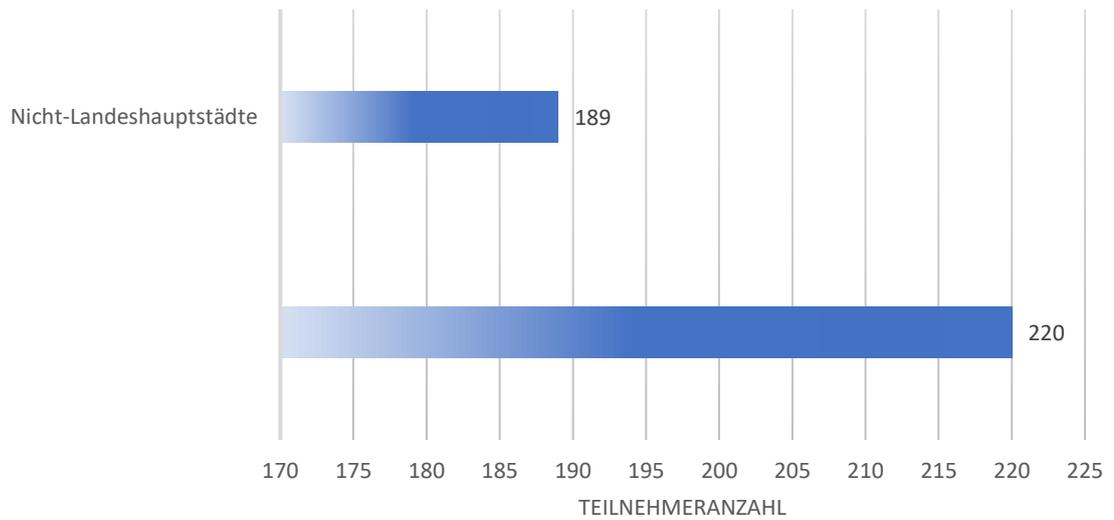
15.2 Geografische Verteilung





15.3 Aufteilung auf Landeshauptstädte & Nicht-Landeshauptstädte

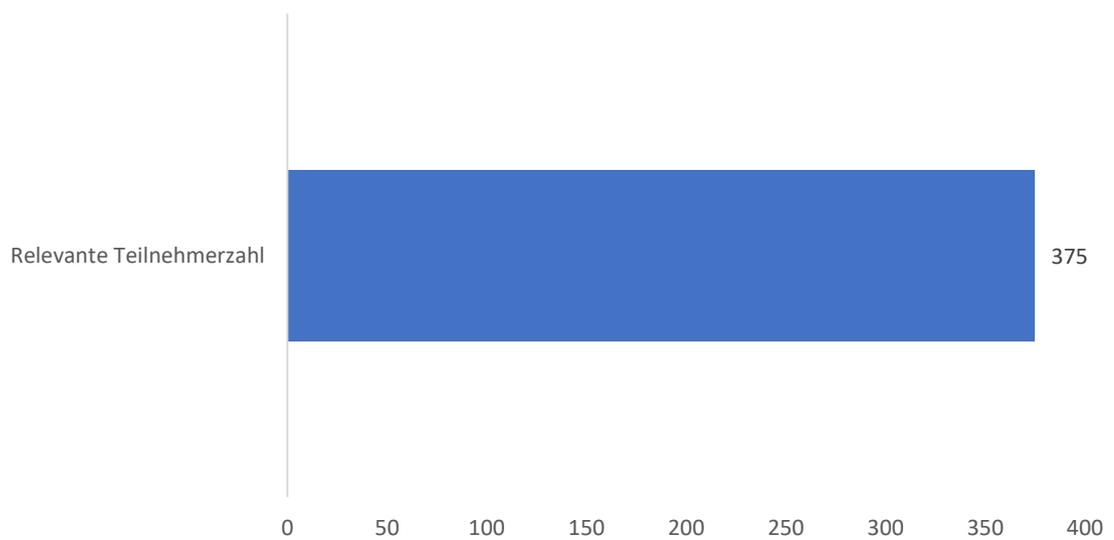




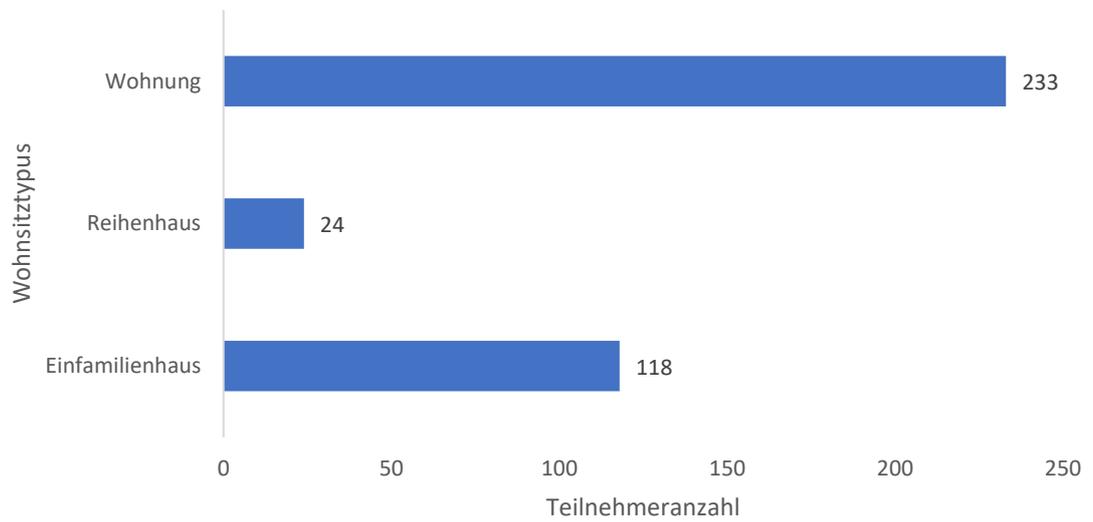
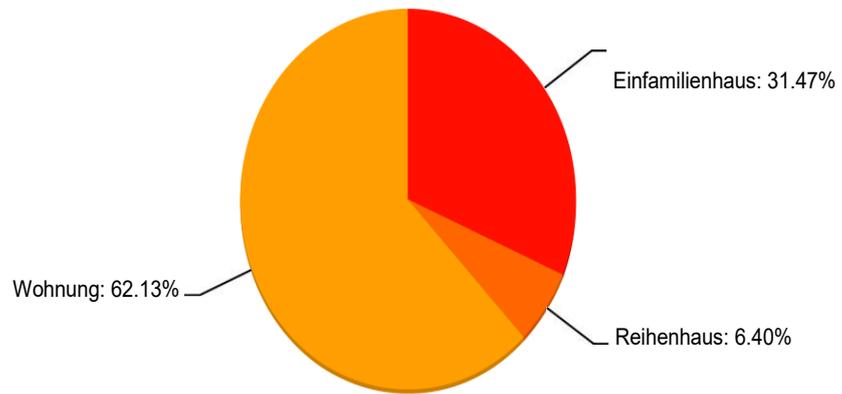
15.4 Relevante Befragungsteilnehmer

15.4.1 Ausschlusskriterien

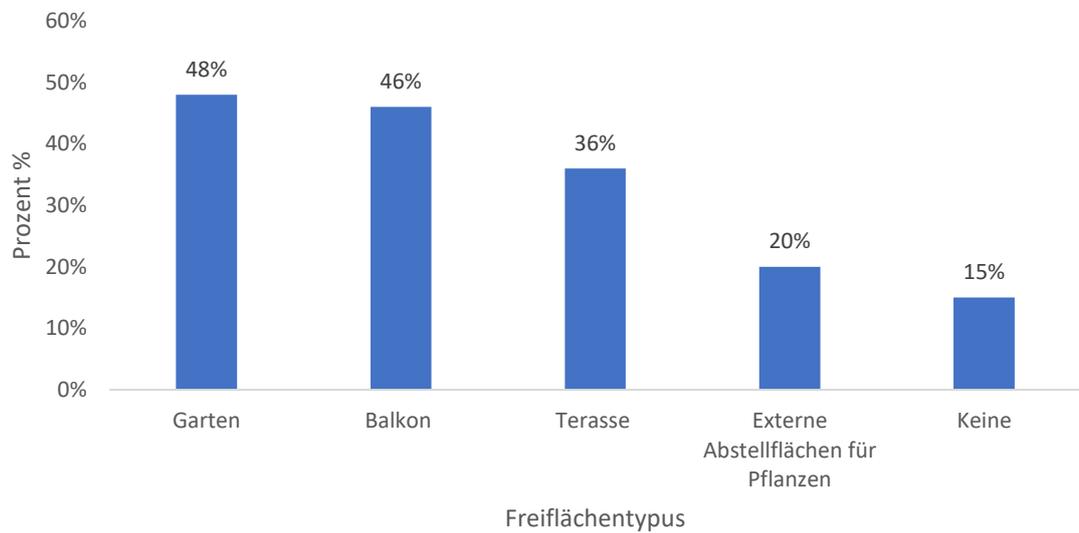
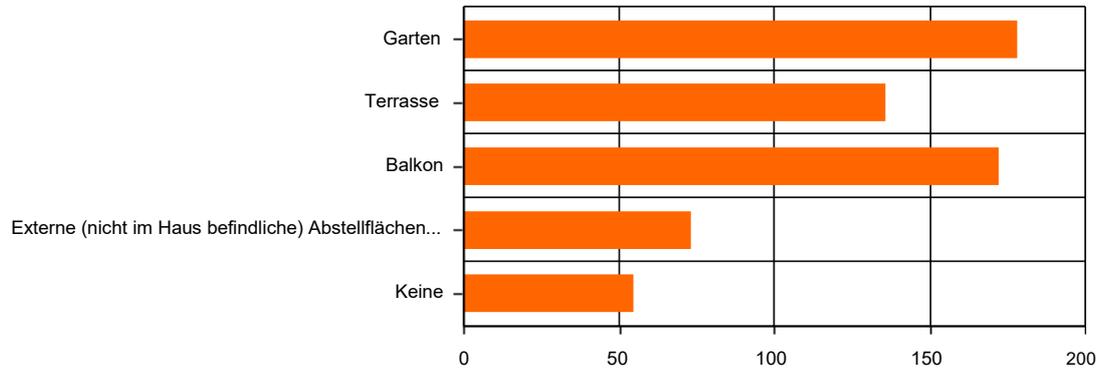
- Befragung vollständig abgeschlossen
- Kein landwirtschaftlicher Wohnsitz
- Sonstige Wohnsitze (nicht zuordenbar)



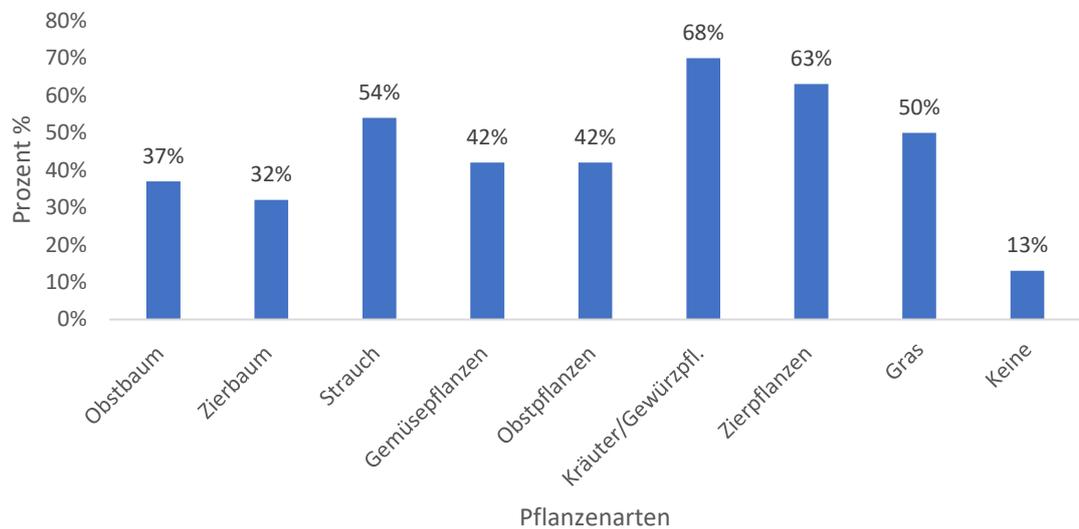
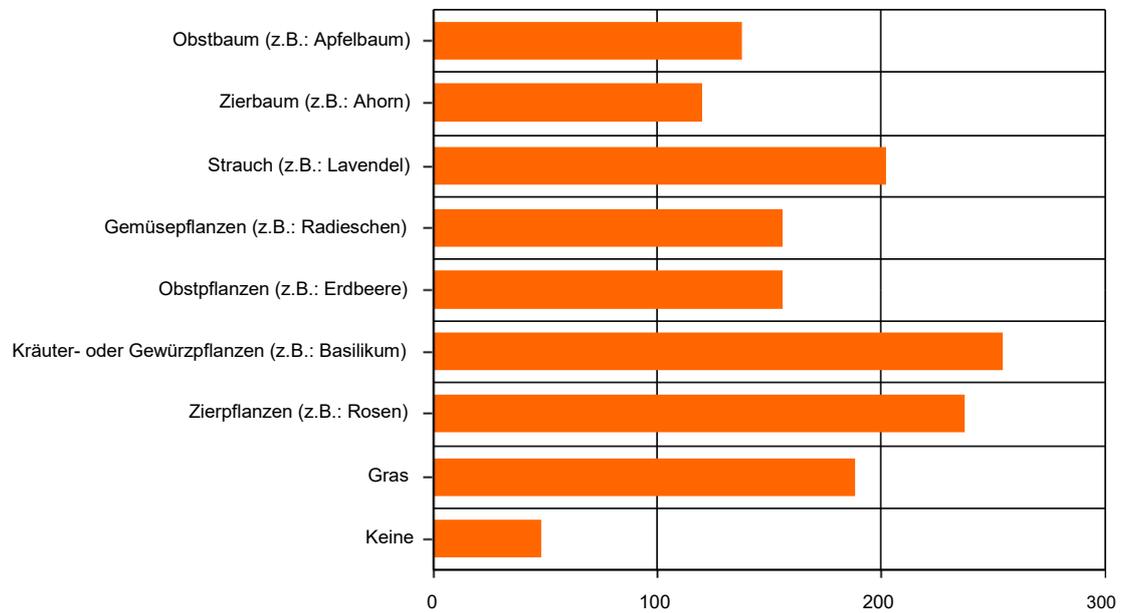
15.5 Hauptwohnsitztypus



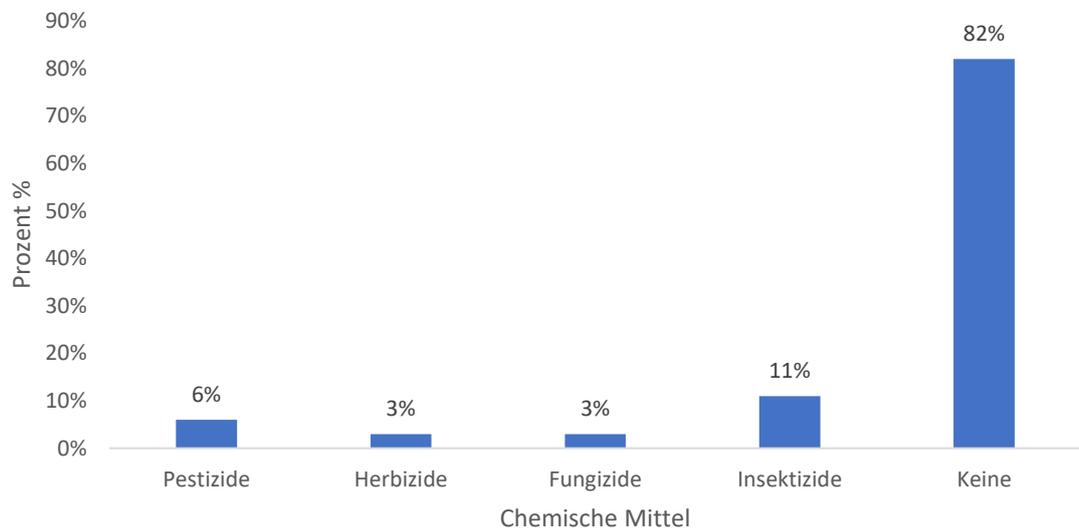
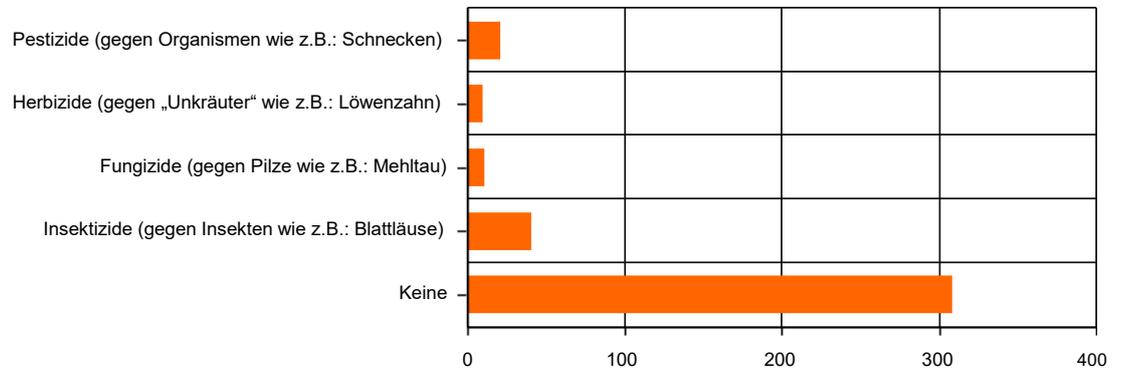
15.6 Freiflächentypus



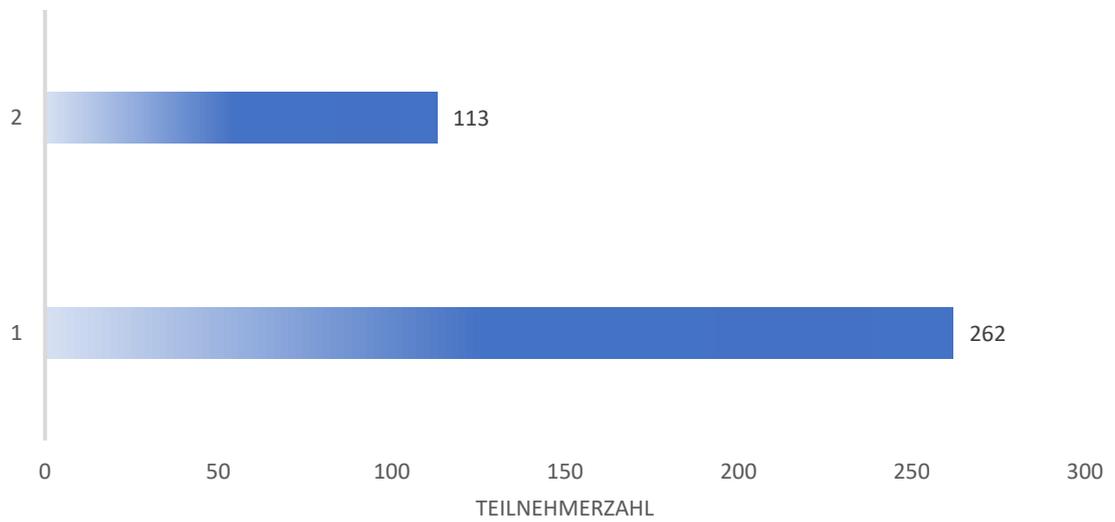
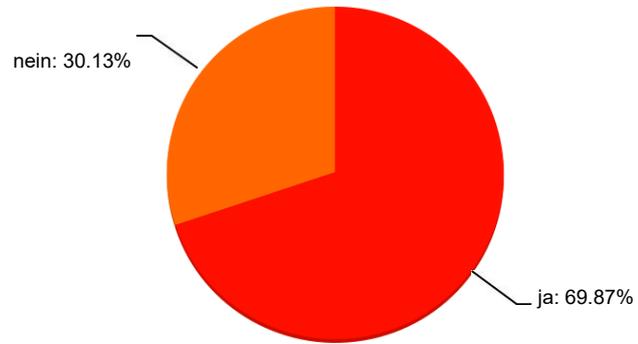
15.7 Pflanzenarten



15.8 Einsatz chemischer Mittel

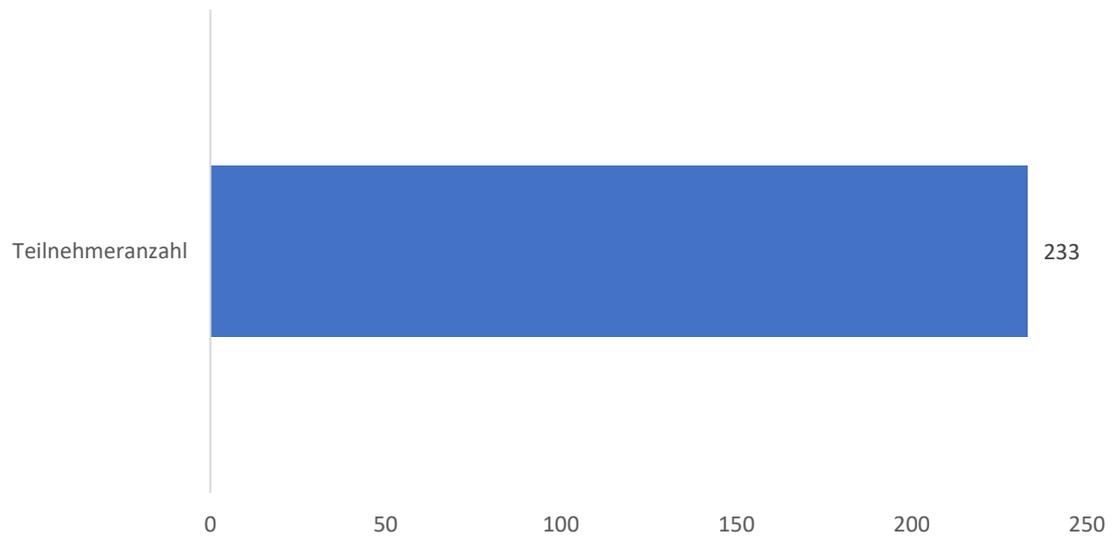
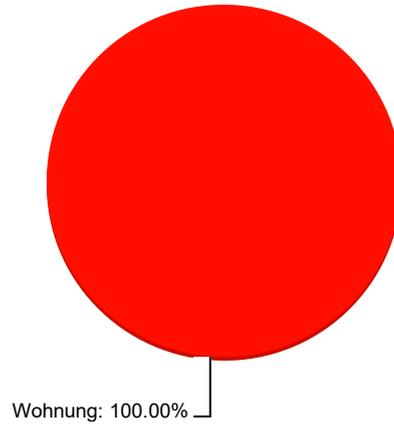


15.9 Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen:

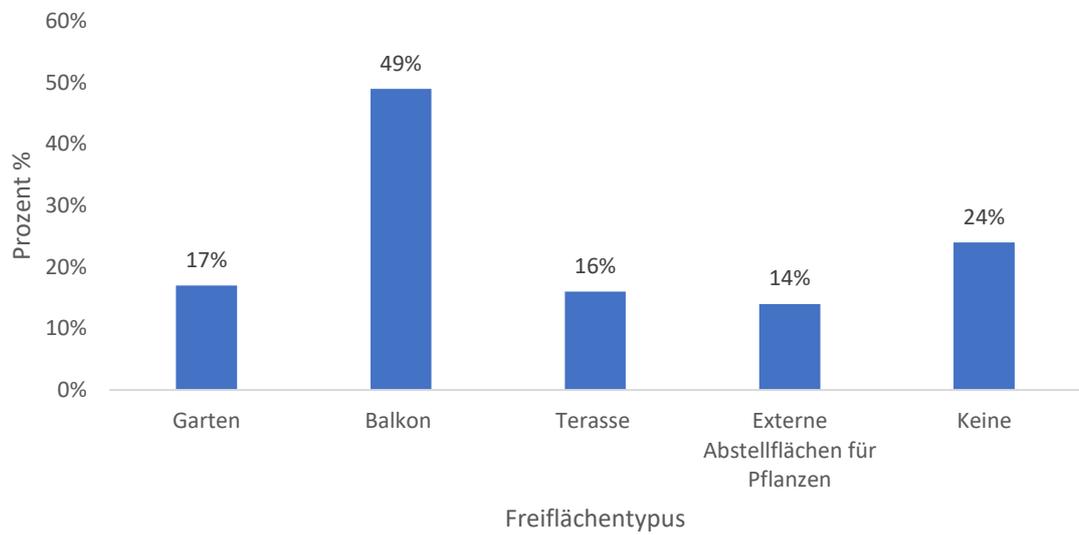
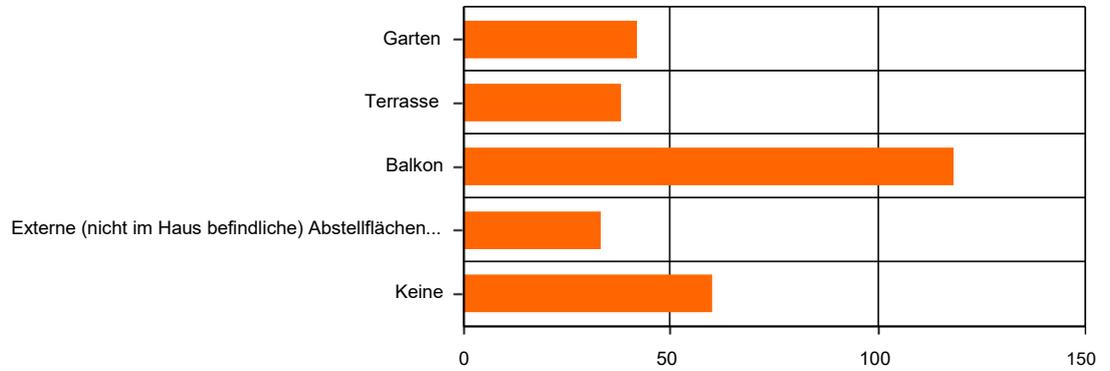


15.10 Aufteilung auf Grund des Wohnsitztypus:

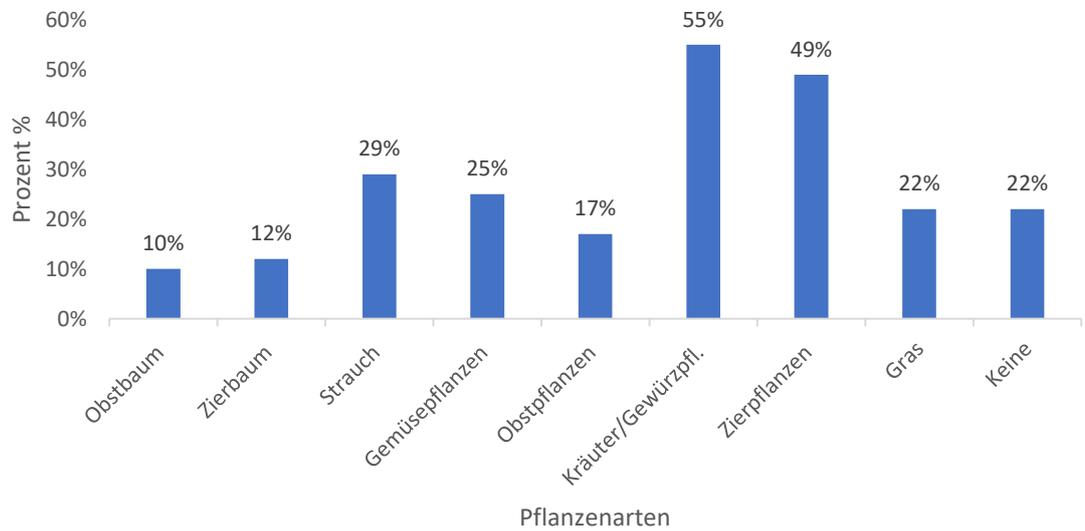
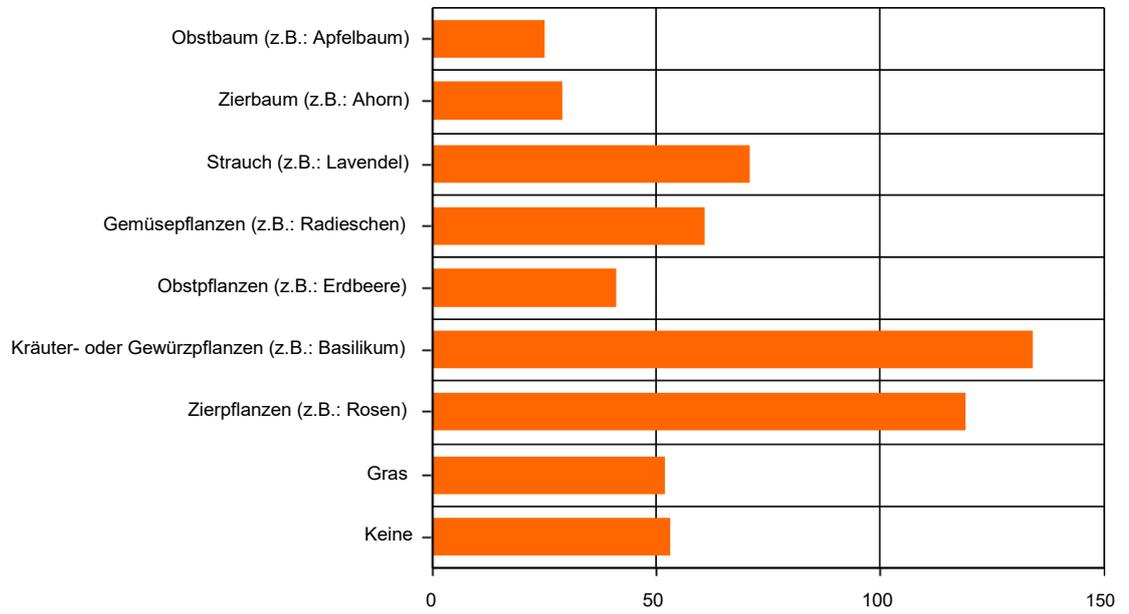
15.10.1 Wohnung



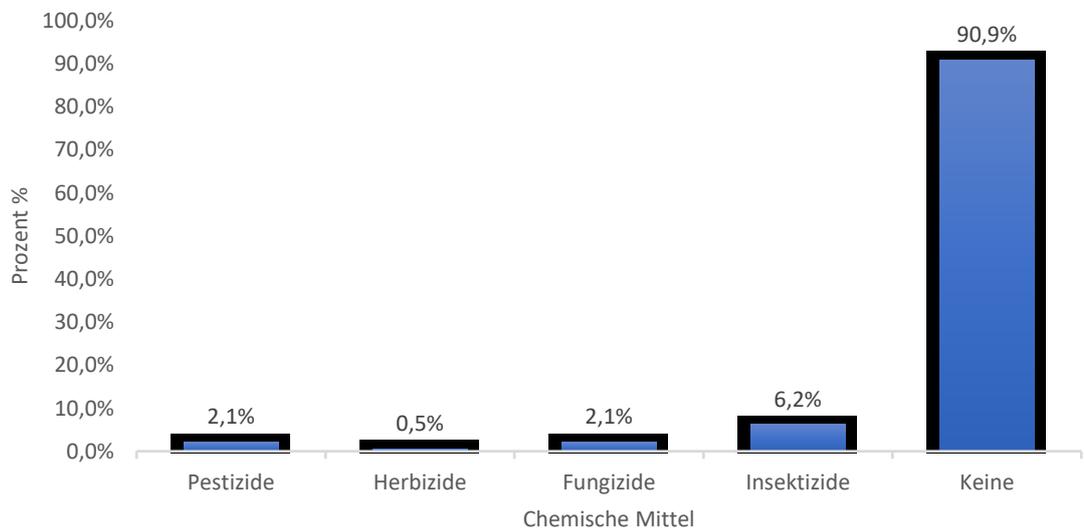
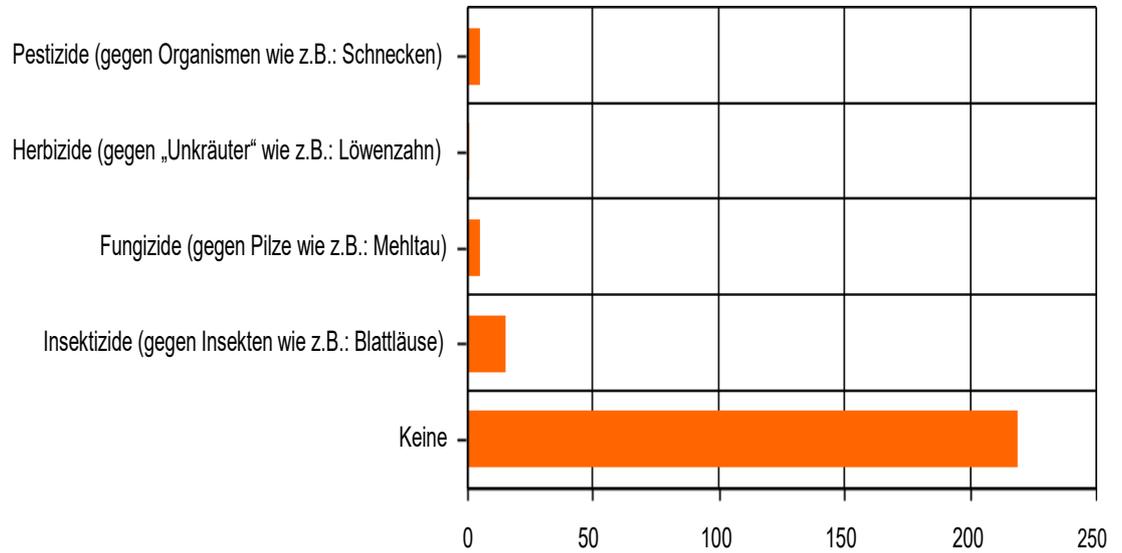
15.10.2 Freiflächentypus



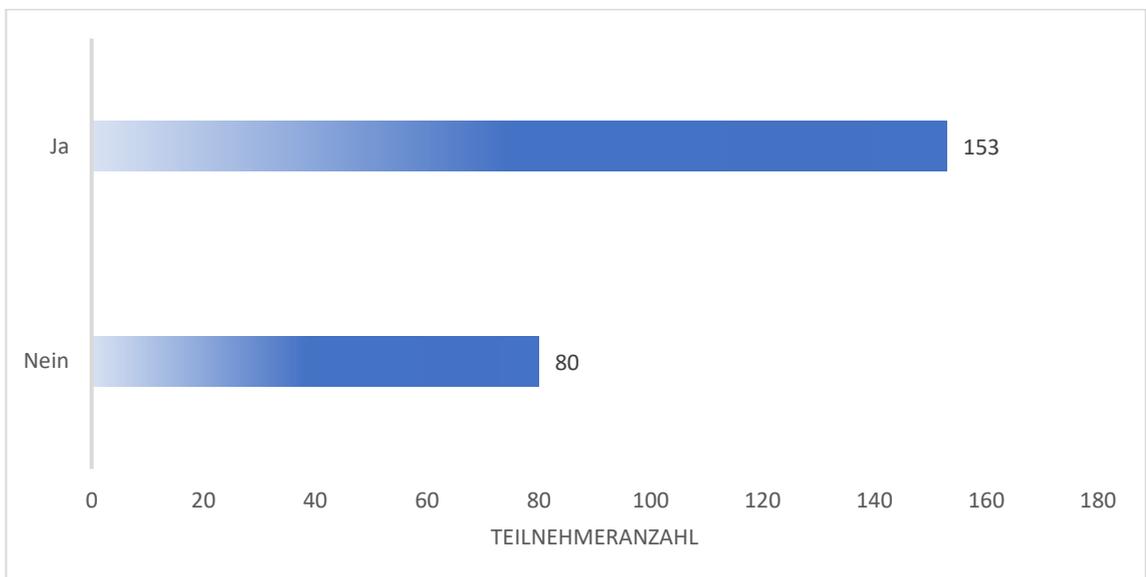
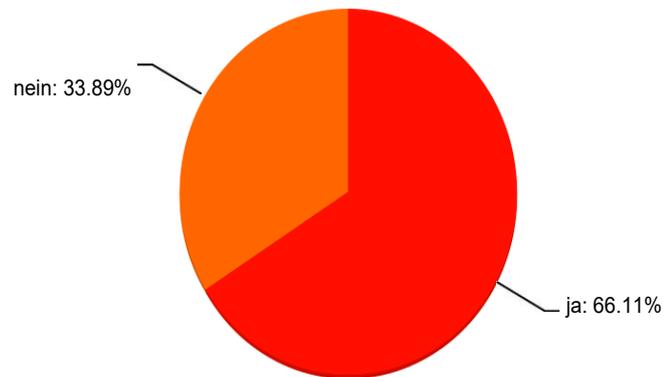
15.10.3 Pflanzenarten



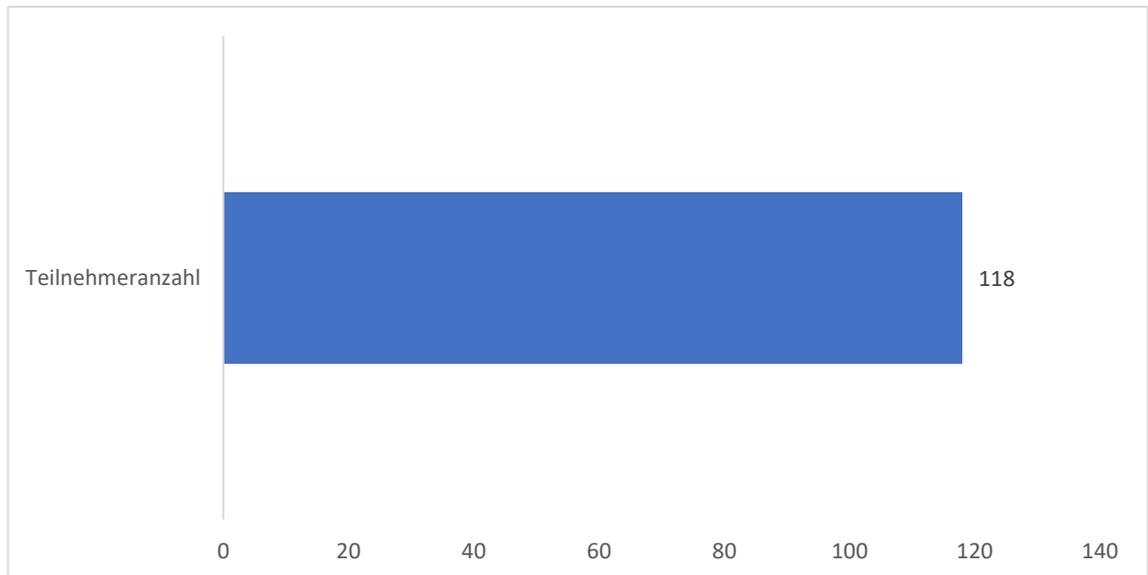
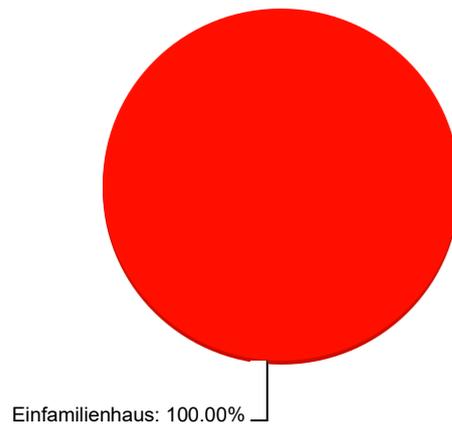
15.10.4 Einsatz chemischer Mittel



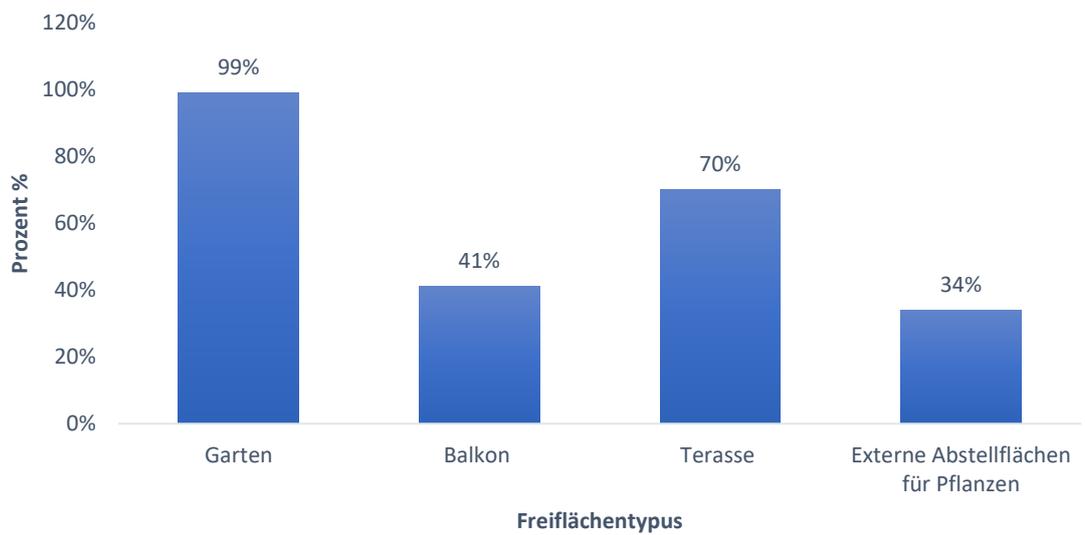
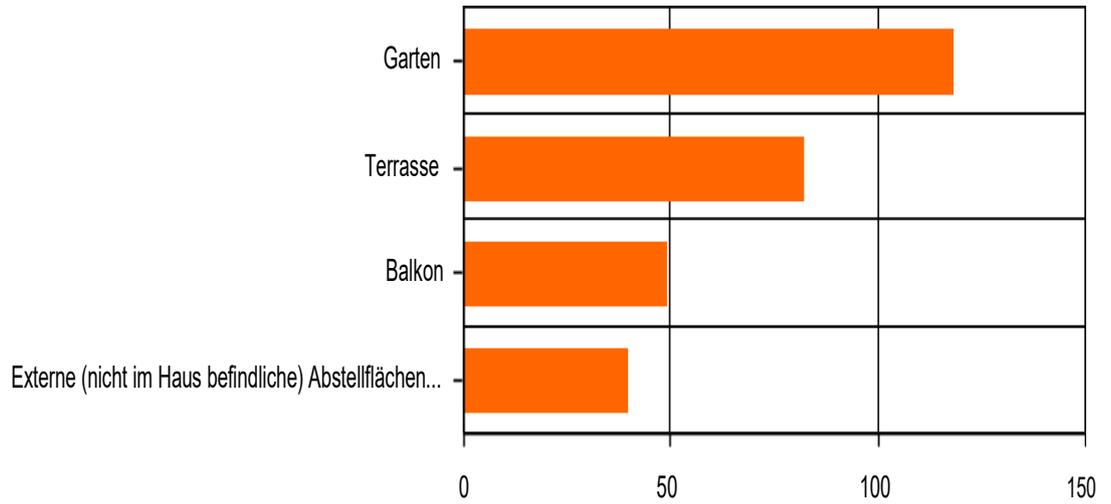
15.10.5 Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen:



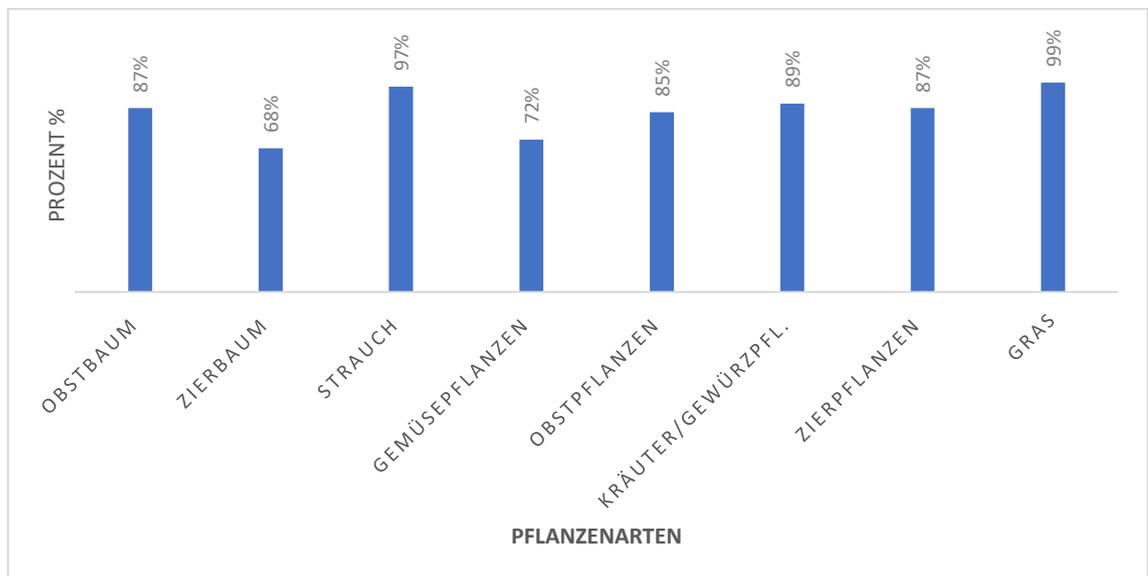
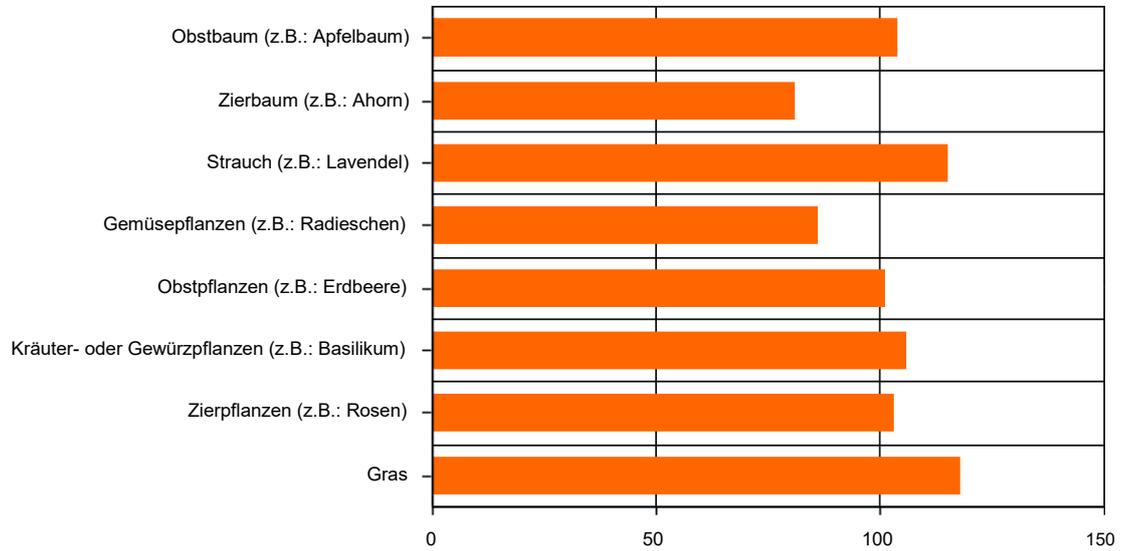
15.11 Einfamilienhäuser



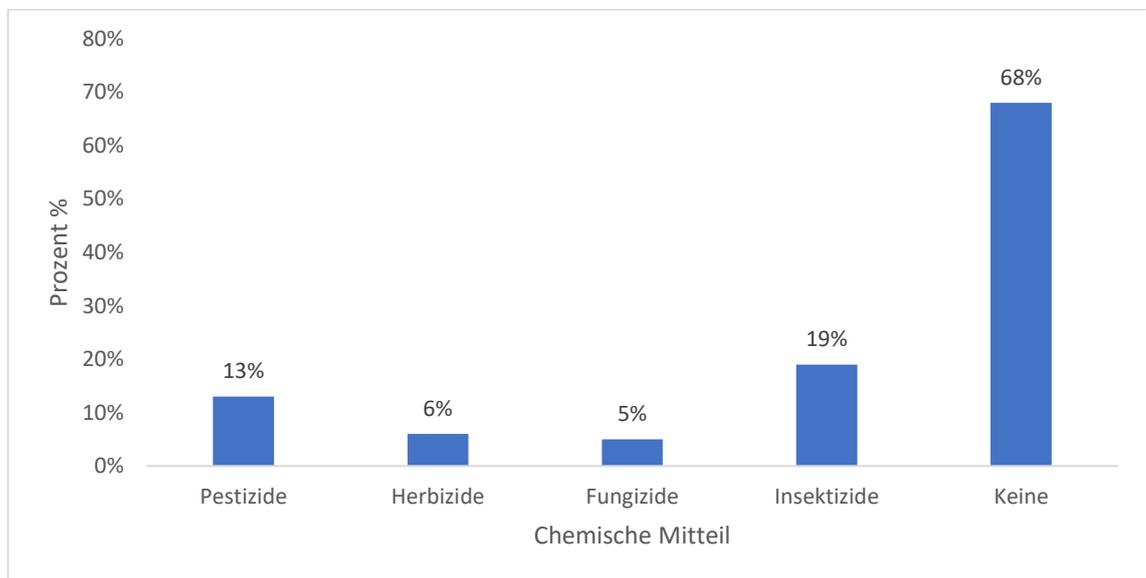
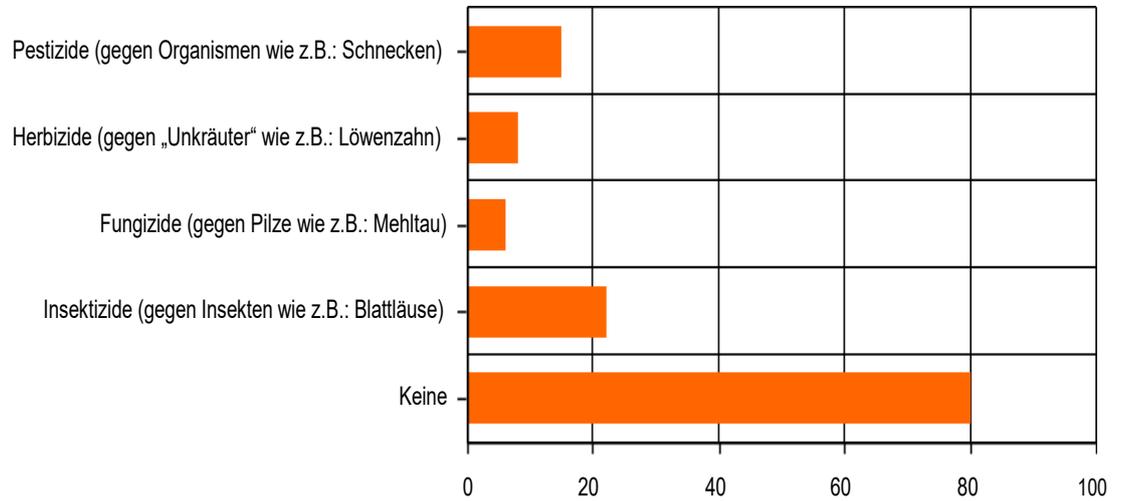
15.11.1 Freiflächentypus:



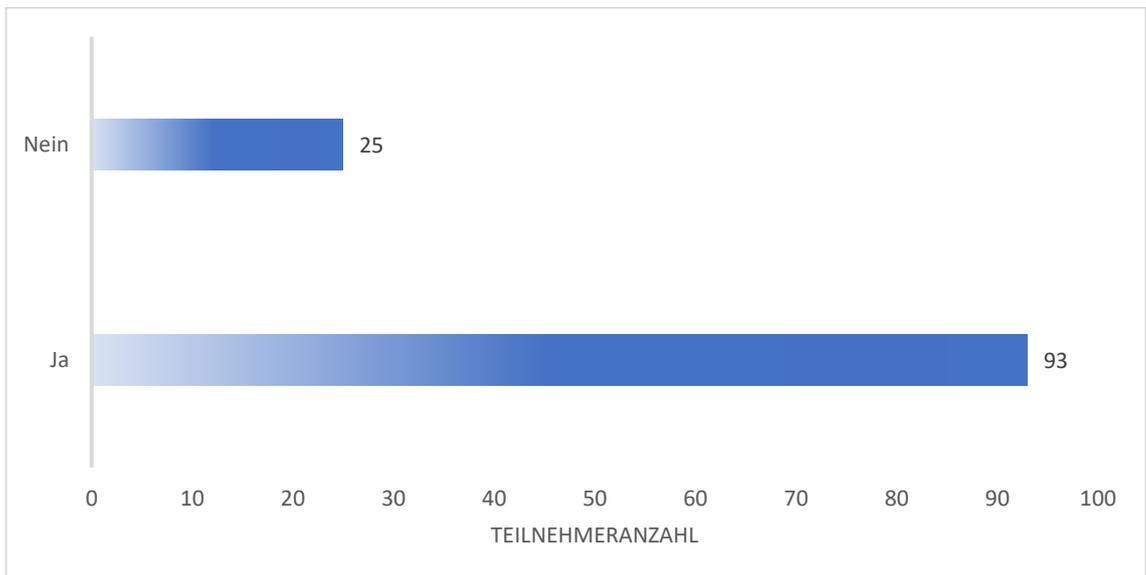
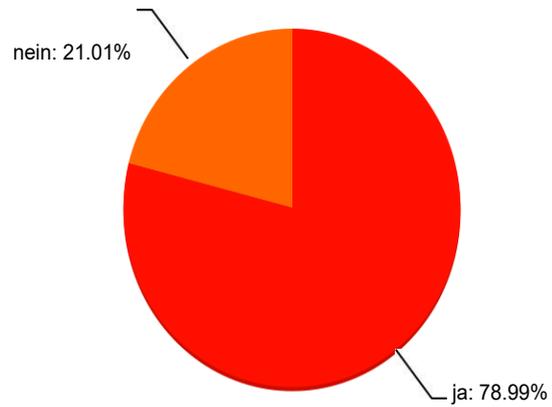
15.11.2 Pflanzenarten:



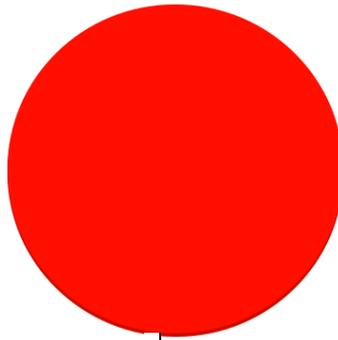
15.11.3 Einsatz chemischer Mittel:



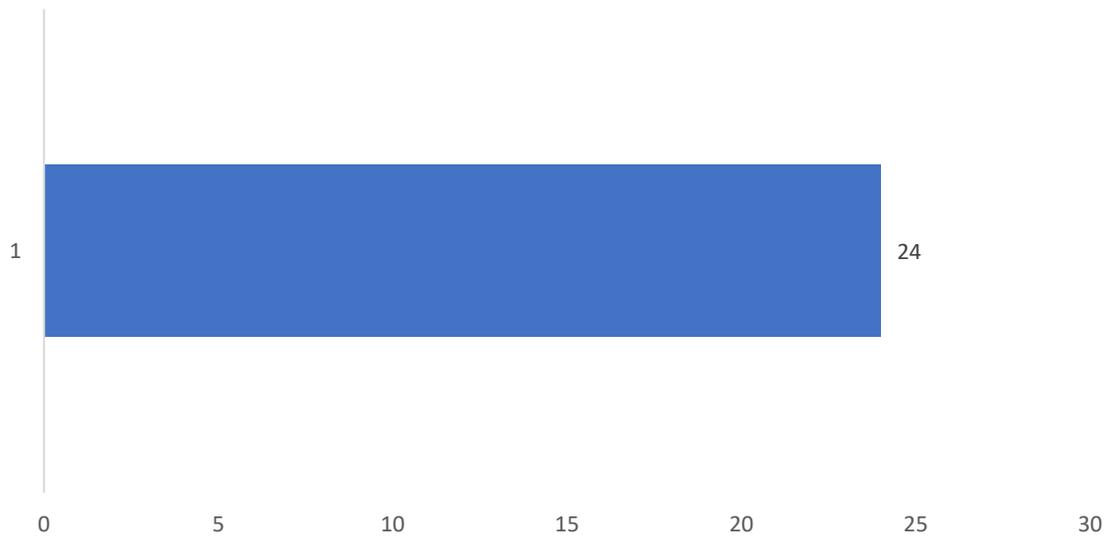
15.11.4 Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen:



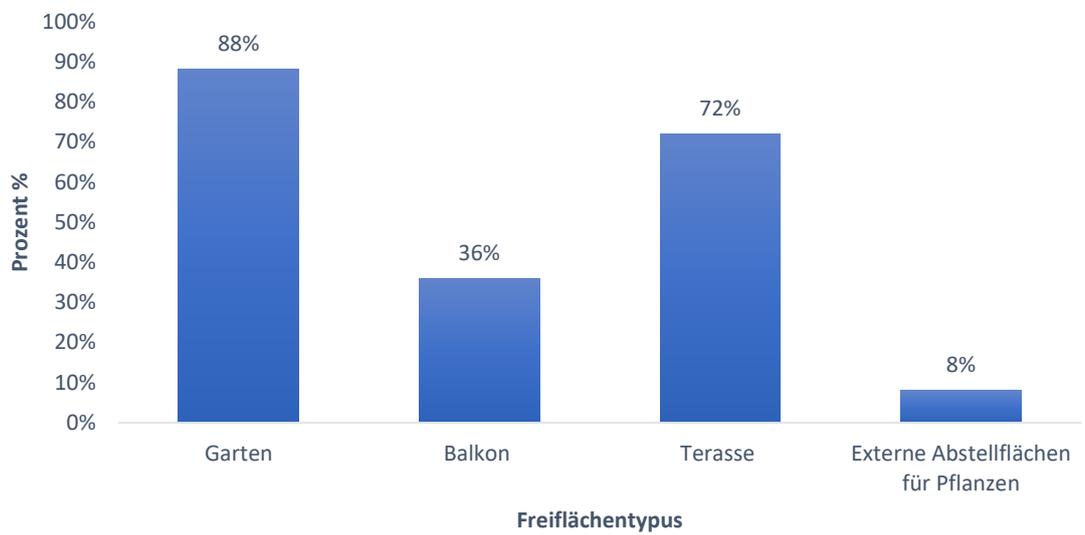
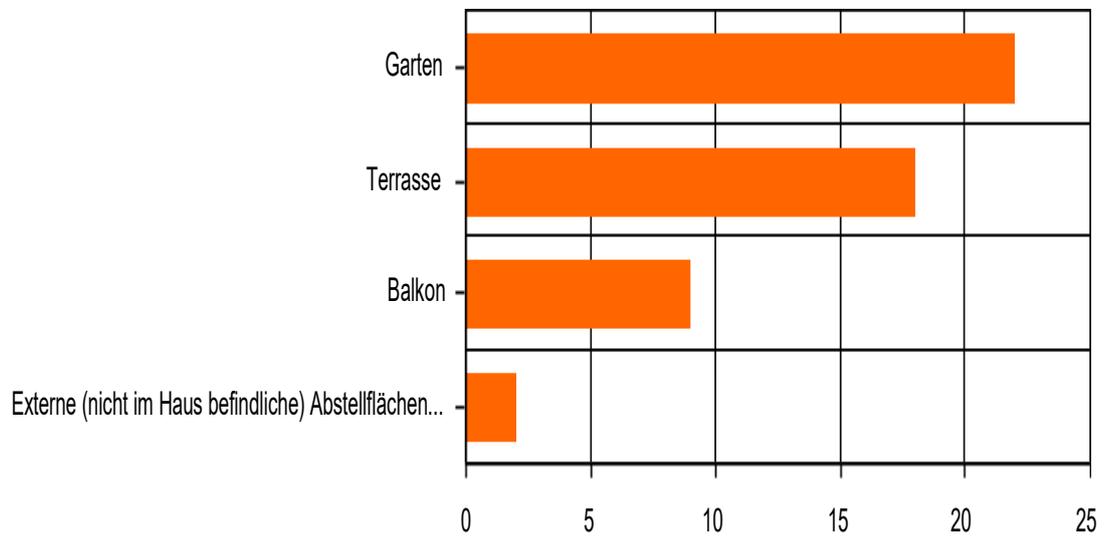
15.12 Reihenhäuser:



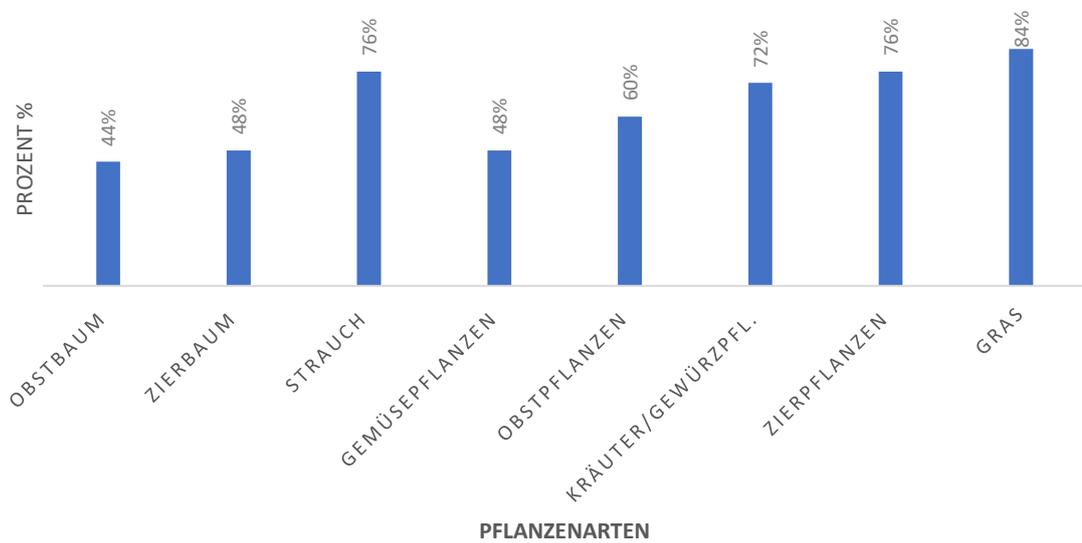
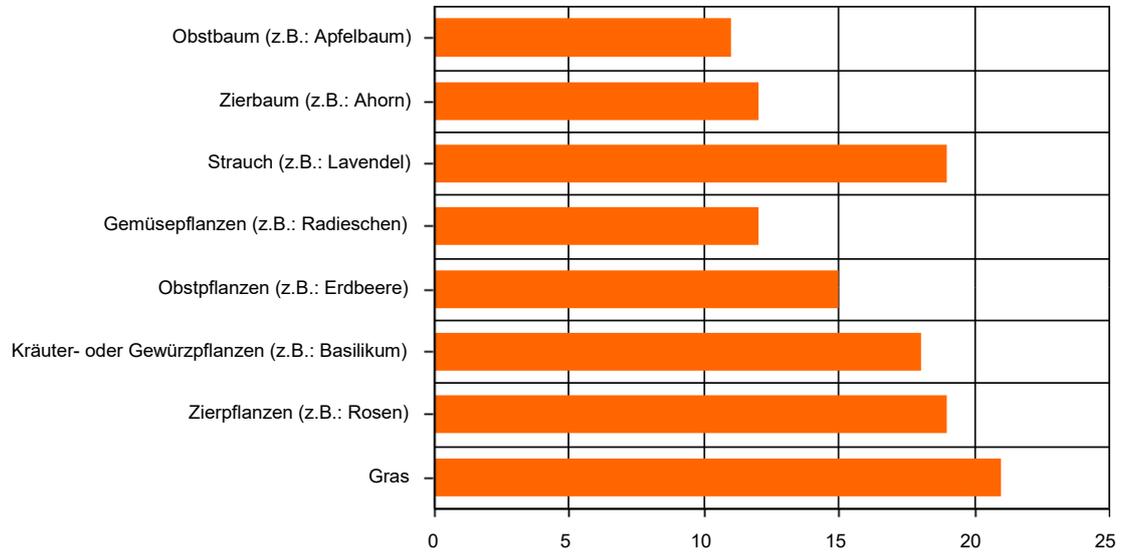
Reihenhaus: 100.00%



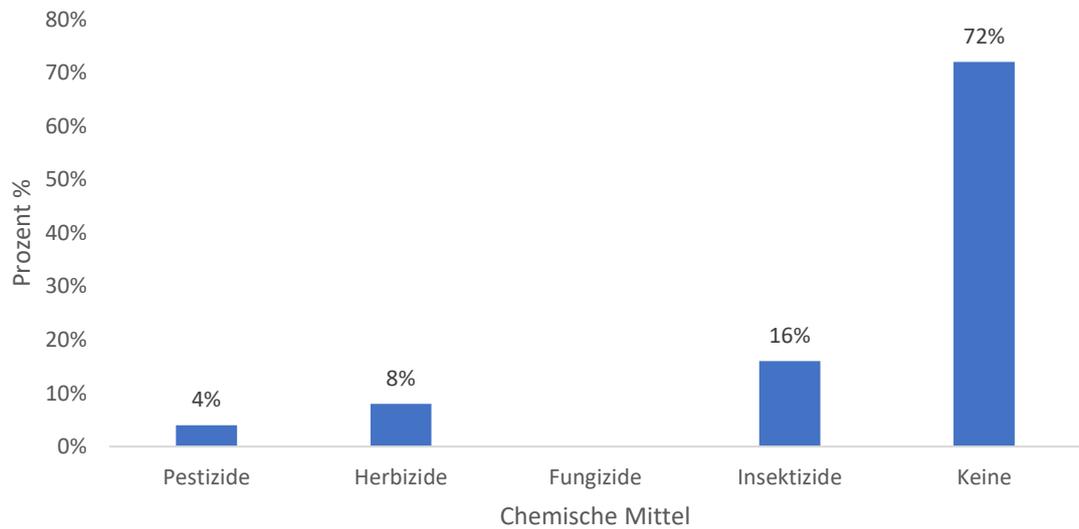
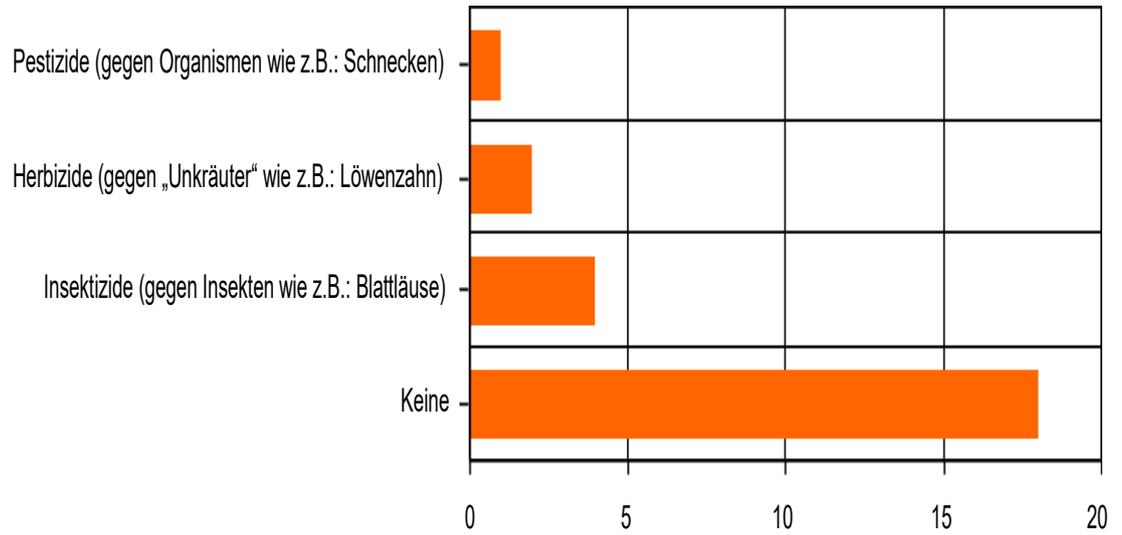
15.12.1 Freiflächentypus:



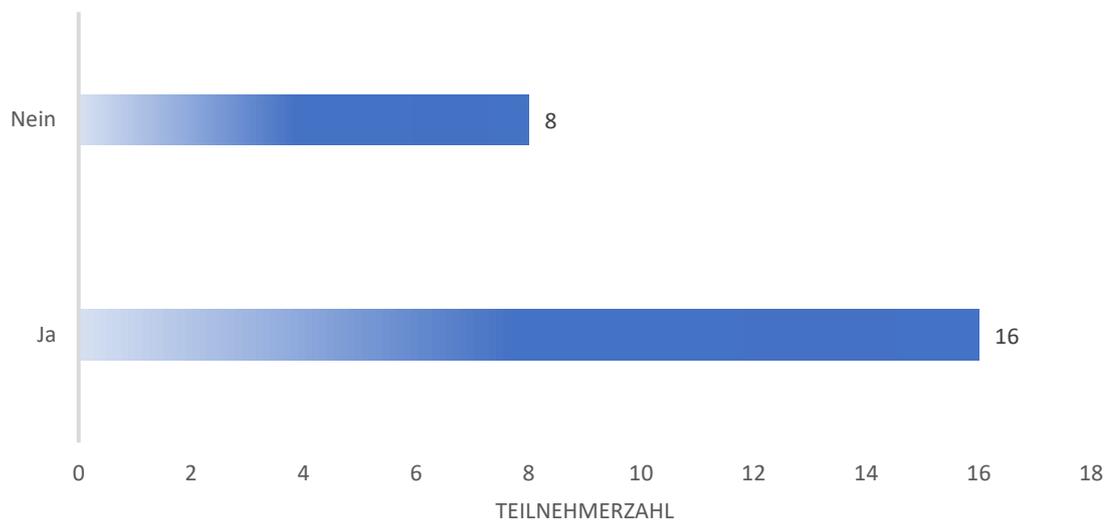
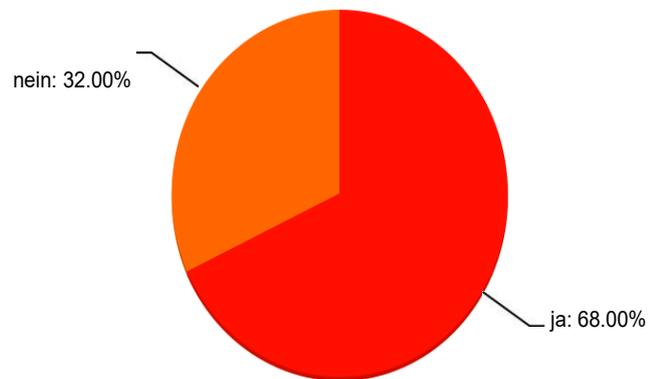
15.12.2 Pflanzenarten:



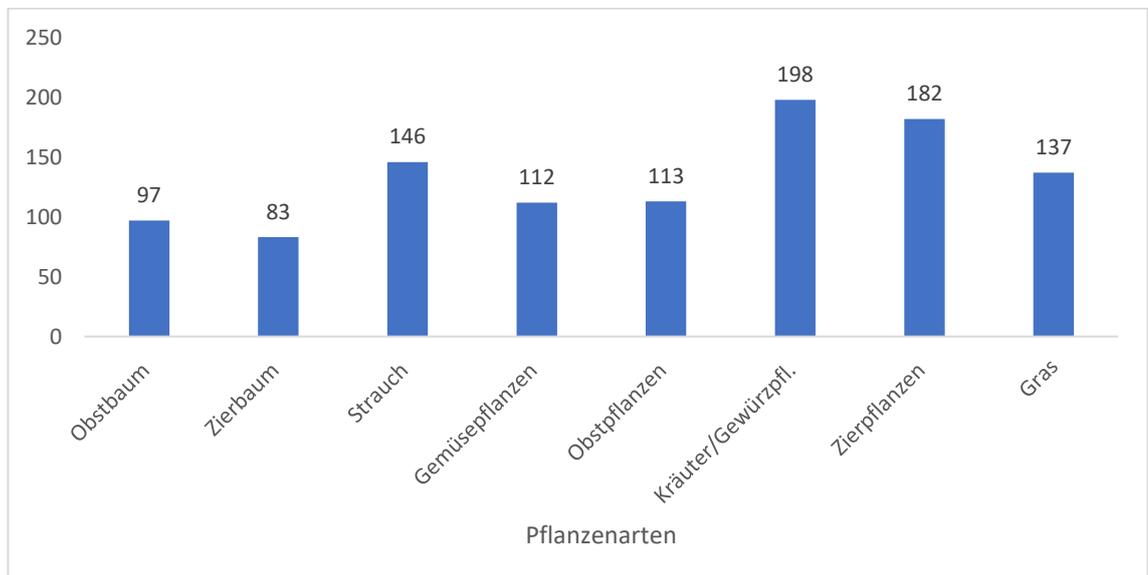
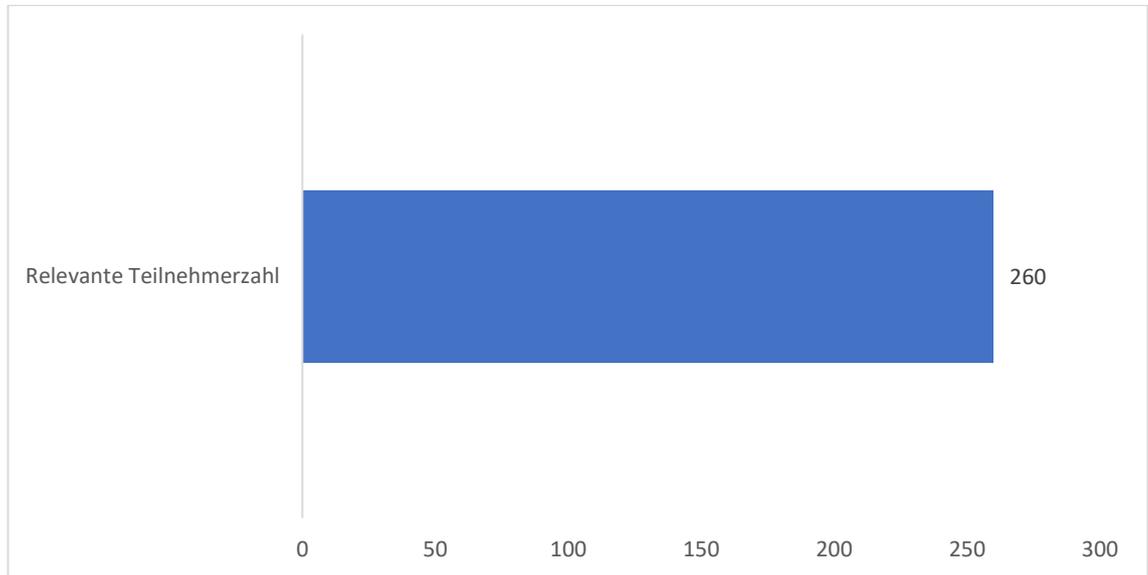
15.12.3 Einsatz chemischer Mittel:



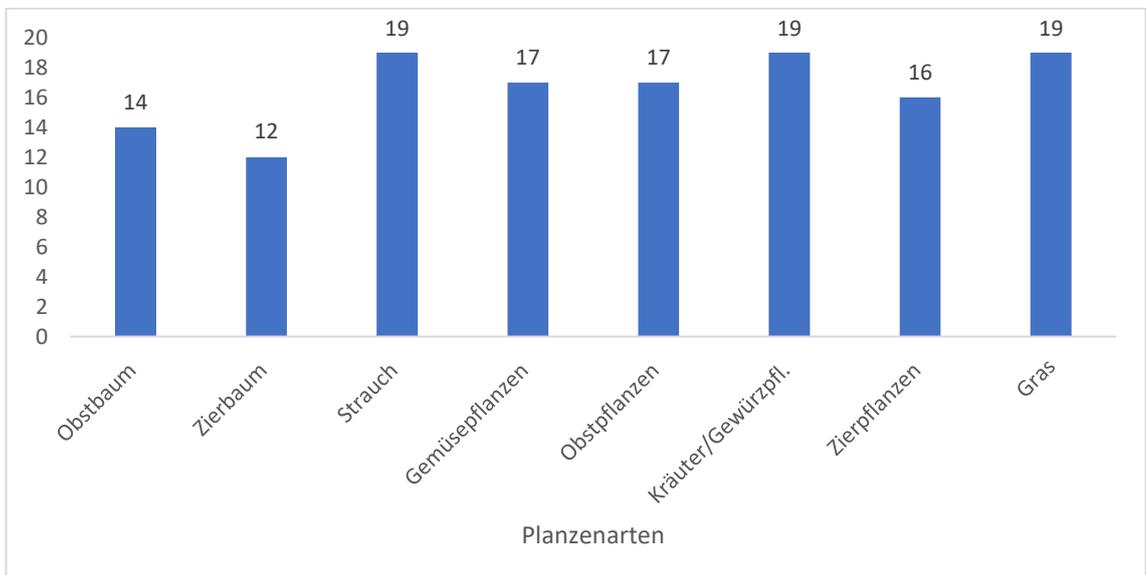
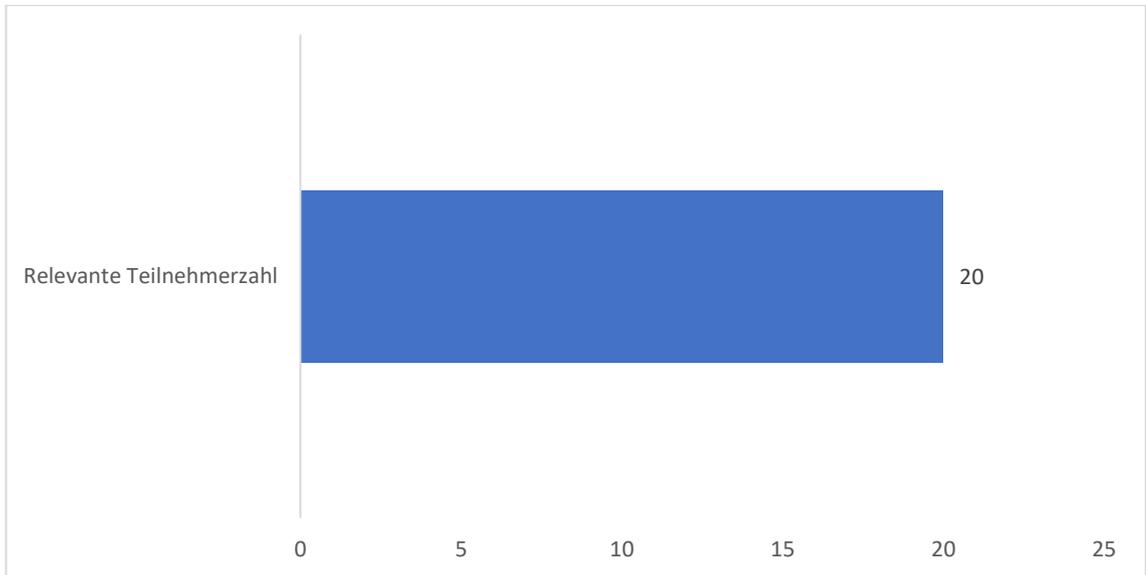
15.12.4 **Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen**

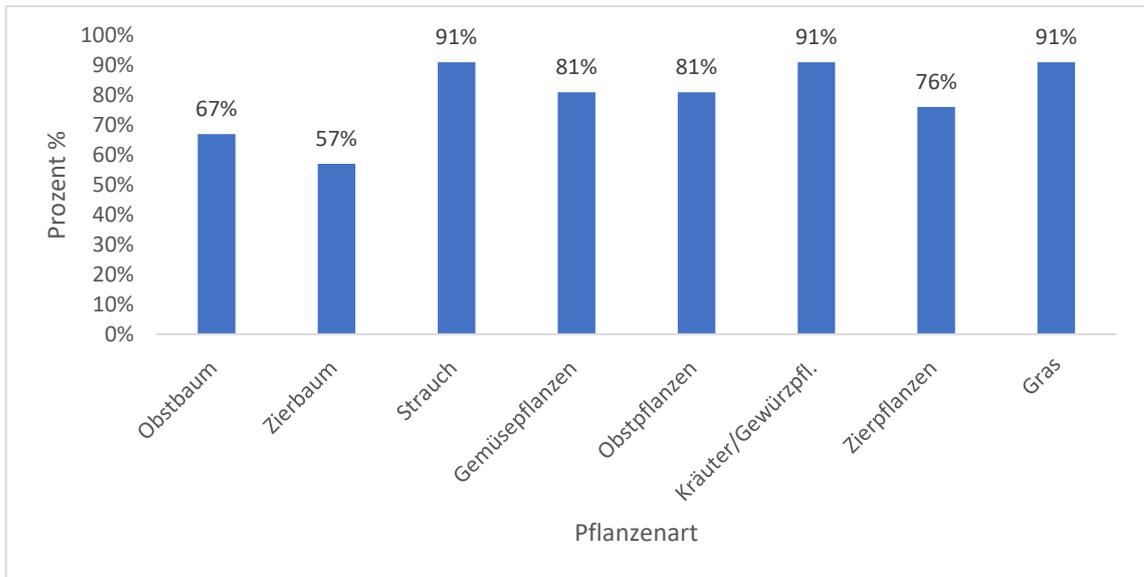


15.13 Pflanzensammensetzung relevanter Teilnehmer ohne den Einsatz von chemischen Mitteln

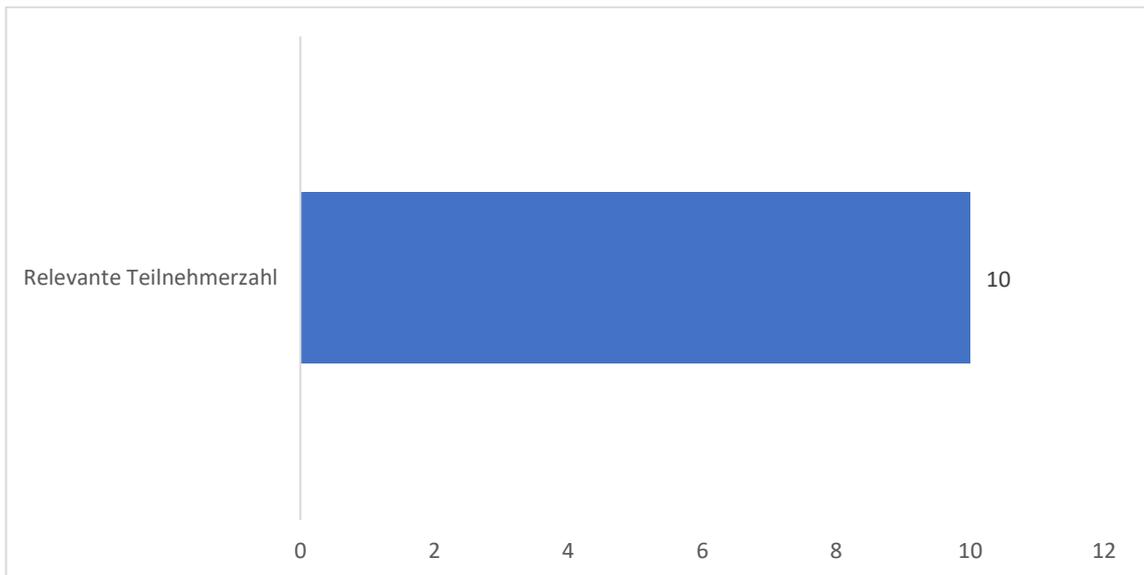


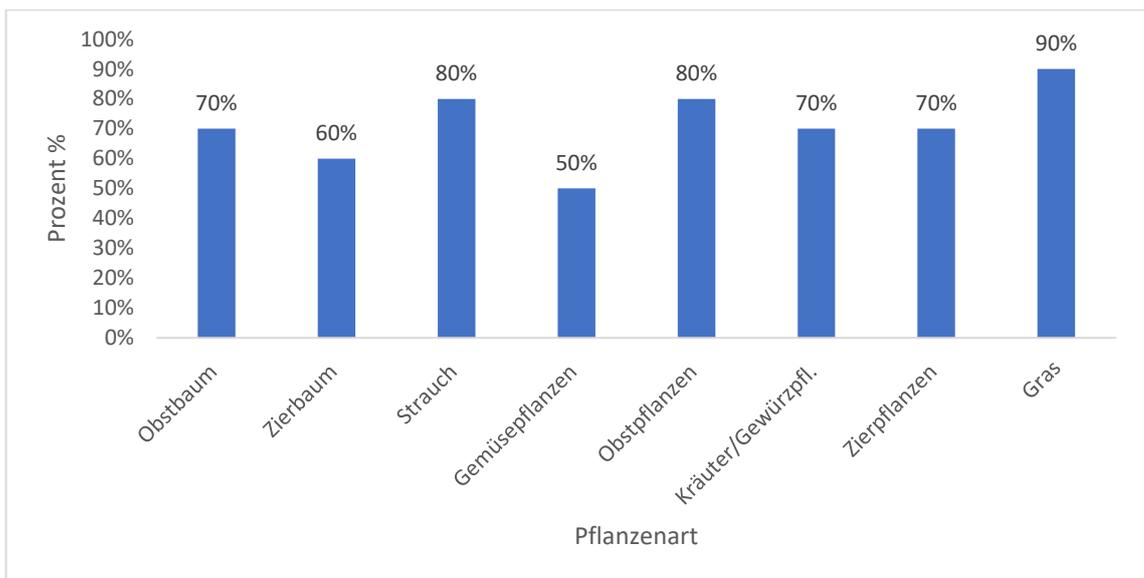
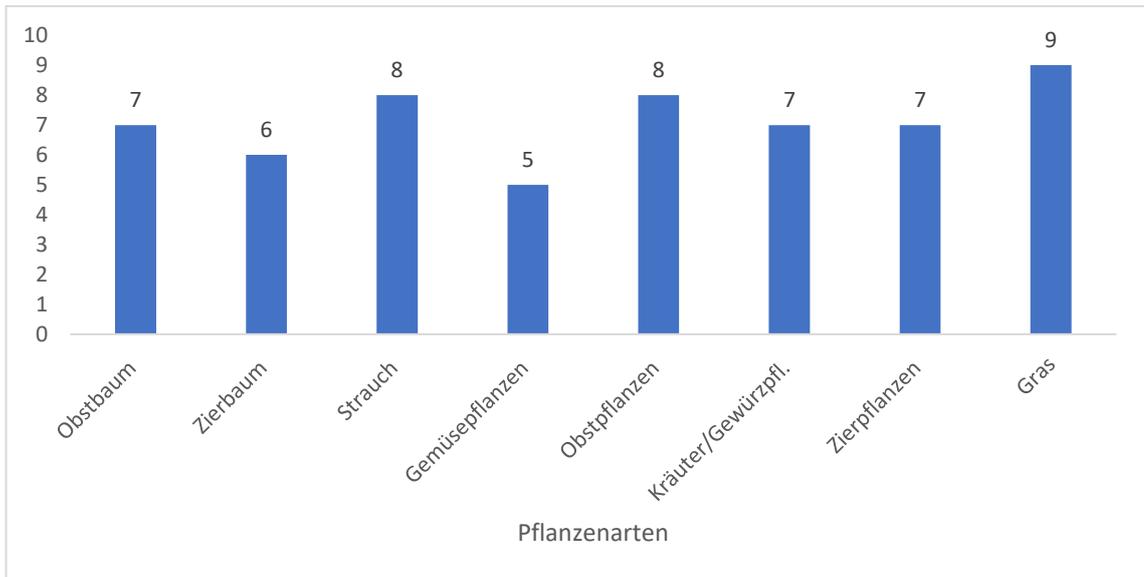
15.14 Pflanzenzusammensetzung relevanter Teilnehmer nur mit Einsatz von Pestiziden



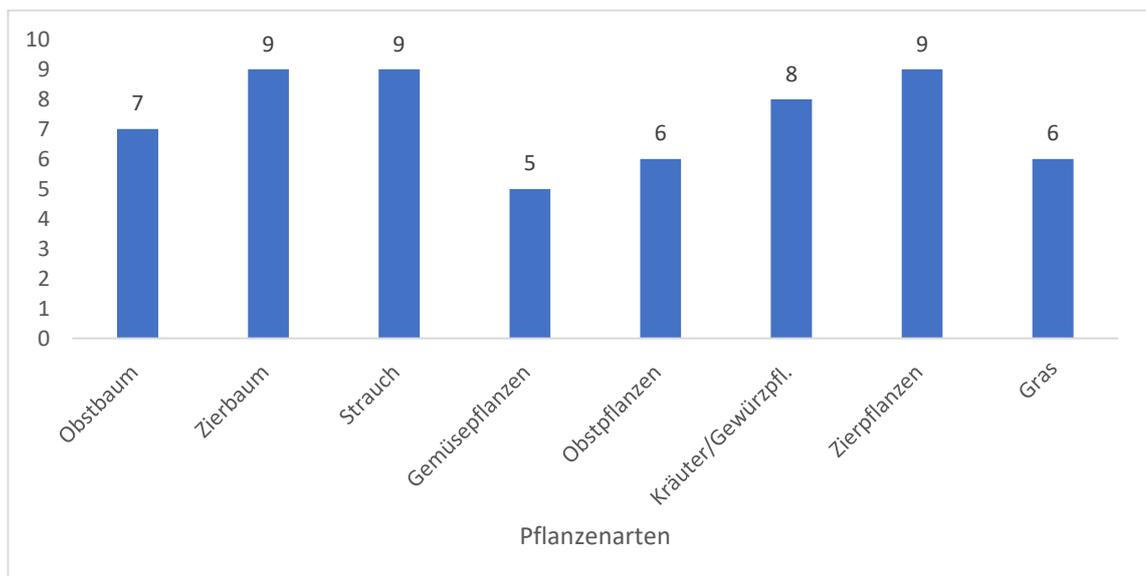
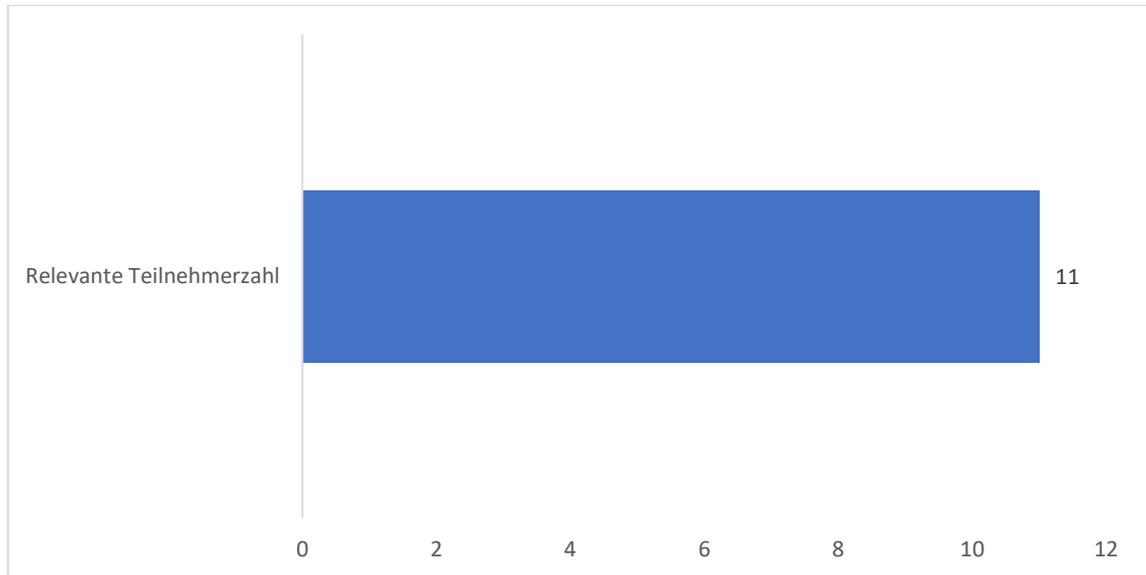


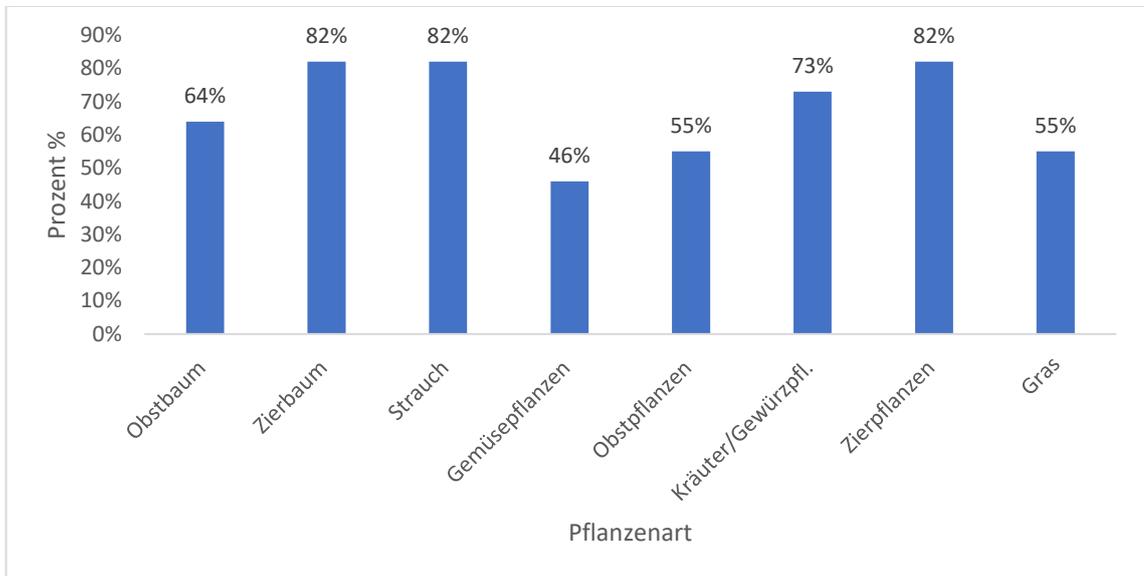
15.15 Pflanzenzusammensetzung relevanter Teilnehmer nur mit Einsatz von Herbiziden



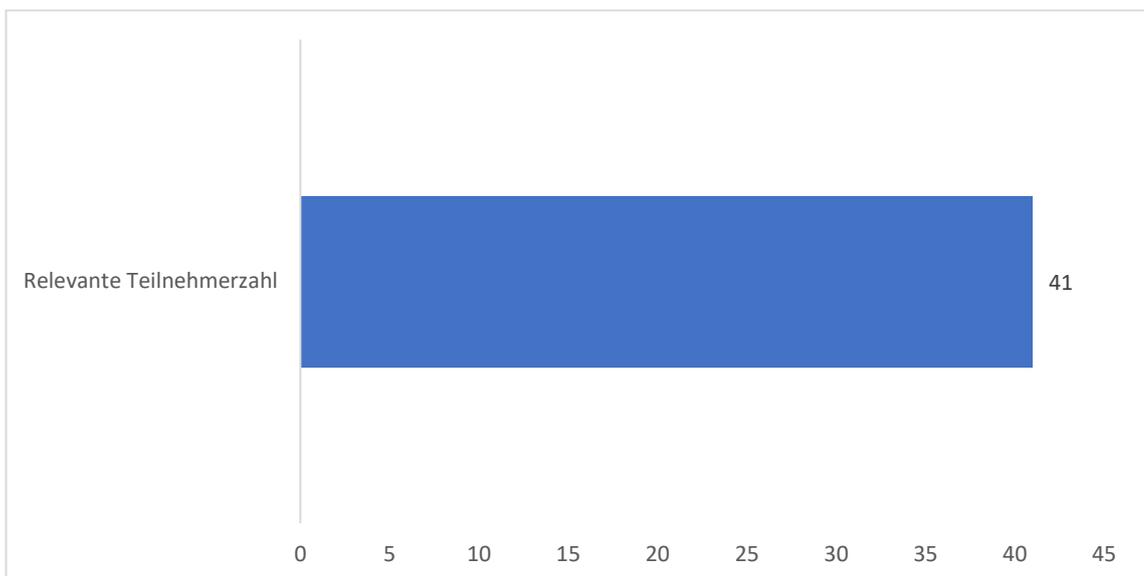


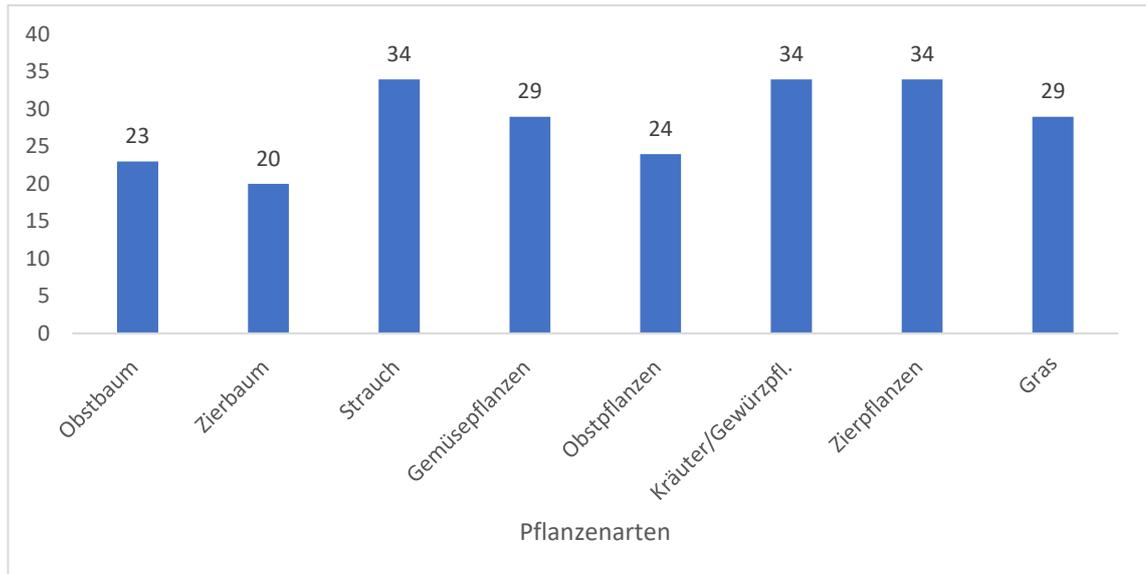
15.16 Pflanzensammensetzung relevanter Teilnehmer nur mit Einsatz von Fungiziden





15.17 Pflanzenszusammensetzung relevanter Teilnehmer nur mit Einsatz von Insektiziden





16 Zusammenfassung:

An der Umfrage haben insgesamt 409 Personen teilgenommen, von denen 17 Personen auf Grund der Nichtbeantwortung aller Fragen, 10 Personen auf Grund eines landwirtschaftlichen Hauptwohnsitzes und 7 Personen auf Grund eines von der Wohnung, dem Einfamilienhaus oder Reihenhaus abweichenden Wohnsitzes ausgeschlossen worden sind. Somit basieren die Ergebnisse dieser Umfrage auf einer tatsächlichen Teilnehmerzahl von 375 Personen. Die Ergebnisse der Studie berücksichtigen sowohl die Landeshauptstädte (55%) als auch die Nichtlandeshauptstädte (45%). Die geografische Verteilung der Studie hinsichtlich der verschiedenen Bundesländer schwankt sehr stark. Der Großteil der Befragten ist in Wien (34%), Oberösterreich (20%), Niederösterreich (19%) und in der Steiermark (16%) ansässig. Die restlichen Bundesländer haben nur einen vergleichsweise marginalen Anteil am Teilnehmerfeld.

In Bezug auf den Wohnungstyp geht aus der Befragung eindeutig hervor, dass die Mehrheit (62%) in Wohnungen lebt. Dies lässt sich zum Teil auf die doch etwas größere Anzahl der in den Landeshauptstädten wohnenden Befragten zurückführen.

87 % der Befragten führen Pflanzen in Freiflächen ihres Hauptwohnsitzes, von welchen nur 18 % zu chemischen Mitteln gegen die Bekämpfung von Pilzen, Pflanzen, Insekten und anderen Organismen greifen. Falls auf chemische Mittel zurückgegriffen wird, werden am häufigsten chemische Bekämpfungsmittel aus der Gruppe der Insektizide (11%) in Anspruch genommen. Dieses Ergebnis korreliert mit den verschiedenen Arten von Hauptwohnsitzen. Nur wenige Studienteilnehmer (5%) nützen mehrere chemische Mittel gleichzeitig. Zu den am weitest verbreiteten kultivierten Pflanzenarten zählen Kräuter- und Gewürzpflanzen (68%), Zierpflanzen (63%), Sträucher (54%) und Gräser (50%). Bei Einfamilienhäusern und Reihenhäusern sind Gräser und Sträucher, bei Wohnungen Kräuter- und Gewürzpflanzen die am meisten kultivierten Pflanzenarten.

Den größten Anteil an Freiflächen bilden Gärten bzw. Balkone, lediglich 15 % der Befragten verfügen über keine Freifläche. Bei Einfamilienhäusern und Reihenhäusern sind Gärten und Terrassen die häufigsten Freiflächen, im Gegensatz dazu nehmen bei Wohnungen Balkone den größten Freiflächenanteil ein.

Das Bewusstsein über die Förderung der Insektenvielfalt durch die Kultivierung von Pflanzen ist zu rund 70% vorhanden.

Zusammenfassend lässt sich aus der Befragung ableiten, dass der Großteil der Teilnehmer bewusst und sorgfältig Pflanzen kultiviert und somit zur Aufrechterhaltung bzw. Förderung der Insektenvielfalt beiträgt.

17 Reflexion der Umfrage

Grundsätzlich hat die Befragung sehr gut funktioniert, die gewonnenen Ergebnisse haben auch meinen Vermutungen bzw. Annahmen entsprochen. Überraschend war lediglich, dass dem Großteil der Befragten bewusst ist, dass sie durch die Kultivierung von Pflanzen positiv auf die Insektenvielfalt einwirken. Außerdem ist noch bemerkenswert, dass fast alle Teilnehmer auf chemische Mittel verzichten. Diesen Befragungspunkt hätte man definitiv noch ausweiten können, wenn man nach alternativen (fakultativ schädlichen) „Pflanzenmitteln“ gefragt hätte. Auch die definitive Art der Pflanzen und die Anzahl der angeführten Pflanzen hätte man tiefgreifender aufgreifen können. Dies war jedoch nicht das Ziel der Studie. Mir war vor allem wichtig, dass die Studie einfach und verständlich und ohne größeren Aufwand zu bewältigen ist, um möglichst viele Teilnehmer zu finden,

welche die Umfrage komplett beantworten. Ich legte auch großen Wert darauf, dass den Studienteilnehmern einerseits bewusst wird, dass sie mit der Kultivierung von Pflanzen etwas Gutes vollbringen. Andererseits sollte die Umfrage auch dazu anregen, diesen ohnehin schon sehr großen Anteil an Kultivierung von Pflanzen noch auszuweiten.

18 Schlussfolgerungen der Diplomarbeit

Viele Studien haben bereits eindeutig gezeigt, dass der drastische Rückgang der Insektenvielfalt nicht nur immense Auswirkungen auf die Ökosysteme der Tiere hat, sondern auch schwerwiegende Folgen für das Ökosystem der Menschen. Da Insekten verschiedenste, auch essenzielle Funktionen in der Nahrungskette einnehmen, entstehen Kaskadeneffekte, welche bis zur letzten Stufe (Verbraucher) reichen. Vor allem der Rückgang von vielen Fisch- und Vogelarten ist auf die starke Abnahme der Insekten und deren Populationen zurückzuführen. Insekten dürfen keinesfalls nur auf die reine Nahrungskette reduziert werden, da sie viele weitere nützliche Funktionen wie die Bestäubung und Samenverteilung von Pflanzenblüten, den Umsatz von Pflanzenmasse oder das Transportmittel für andere Organismen einnehmen. Ohne die Anwesenheit und Funktionstüchtigkeit der Insekten kann die Mehrheit der Ökosysteme nicht funktionieren, weshalb Insekten oft als „Ökosystem-Ingenieure“ bezeichnet werden. Für die Ernährung des Menschen ist vor allem die Bestäubungsleistung diverser Insektenarten von großer Bedeutung. Die Kulturpflanzen, welche von der Bestäubung oder teilweise von der Bestäubung durch Tiere abhängig sind, leisten sowohl in unseren Breitengraden als auch in anderen Kontinenten einen wesentlichen Beitrag zur Versorgung mit Makro- und Mikronährstoffen. Insekten liefern infolgedessen einerseits einen indirekt wesentlichen Beitrag für die Prävention nicht übertragbarer Krankheiten und die Unterernährung und andererseits sind sie für die Aufrechterhaltung der menschlichen Gesundheit unerlässlich. Vor allem die Abdeckung der kritischen Mikronährstoffe wie Vitamin A, Eisen, Folsäure sind in Entwicklungsländern weitgehend von insektenbestäubten Kulturpflanzen abhängig. Da in diesen Ländern bereits grundsätzlich ein Mangel am Nährstoffangebot vorliegt, reagieren Menschen mit bereits geschwächtem System viel sensibler auf Störungen. Im Gegensatz dazu können die wirtschaftlich und technologisch weiter entwickelten Länder die Auswirkungen des Insektensterbens durch diverse Strategien

und Möglichkeiten, wie künstliche Bestäubung, Gentechnik oder Güterhandel, weitgehend kompensieren.

Der Großteil der Ursachen für das Insektensterben, wie der Verlust von Lebensräumen auf Grund von intensiver Landwirtschaft und Urbanisierung oder durch die steigende Umweltbelastung durch Umweltgifte wie synthetische Pestizide und Düngemittel, ist auf „menschliche“ Tätigkeiten zurückzuführen. Hierbei spielen biologische Faktoren und der Klimawandel nur eine untergeordnete Rolle.

Auf Grund dieser Basis habe ich auch meine Umfrage („Fördern private Haushalte durch die Kultivierung von Pflanzen die Insektenvielfalt?“) ausgelegt. Die Umfrage hat das Ziel, Menschen darauf aufmerksam zu machen, wie einfach es ist, durch die Kultivierung einiger Pflanzen einen wertvollen Beitrag zur Aufrechterhaltung der Insektenvielfalt und zum positiven Einfluss unseres Ökosystems und unserer Ernährung beizutragen. Natürlich trägt dieser Aspekt, sprich die private Pflanzenkultivierung (Balkon-, Terrassen-, Gartenbepflanzung etc. im „kleinen Stil“), nur einen geringen Bruchteil zur Rehabilitation des kollabierenden natürlichen Gleichgewichts bei. Hinsichtlich der Wichtigkeit der ökologischen Funktionen der Insekten kann man anhand der Ergebnisse meiner Studie aufzeigen, dass durch die Pflanzenkultivierung auf Balkonen, Terrassen, Kleingärten etc. durchaus Fortschritte bzw. Erhaltungsmaßnahmen getroffen werden können. Die abwechslungsreiche Pflanzen- und Blütensammensetzung spiegelt sich, wie auch in meiner Studie erwähnt, in der hochwertigen Qualität und dem Geschmack des „Stadt-Honigs“ wider.

Abschließend möchte ich festhalten, dass das Insektensterben durchaus weitreichende Folgen haben kann, sowohl in Bezug auf Mikro- wie auch auf Makrohabitate und folglich auf einen Großteil der Lebewesen und die gesamte Menschheit, deren Gesundheit wesentlich beeinträchtigt werden kann.

19 Persönliche Stellungnahme zur Diplomarbeit

Durch die Recherche und Bearbeitung dieser Thematik wurde mir klar, welche gravierenden Folgen das Insektensterben auf die Menschheit und die Tierwelt hat. Ich war mir vor der Ausarbeitung des Inhaltes keinesfalls bewusst, wie vielseitig und weitreichend die Auswirkungen des Insektenrückgangs in Bezug auf unsere Ernährung

sind. Das Thema „Insektenvielfalt“ wird zwar seit ein paar Jahren in den Medien, hauptsächlich auf Grund des Bienensterbens, intensiver aufgegriffen, jedoch darf man das Insektensterben nicht nur auf diese Insektenart reduzieren. Neben dem Insektensterben werden vor allem auch die Einflüsse verschiedenster Umweltgifte öffentlich diskutiert, welche bis hin zum Verbot durch die Europäische Union reichen (z.B. Glyphosat-Verbot). Diese öffentlich behandelten Themen beschränken sich jedoch meist nur auf einzelne Blickpunkte, das große Ganze (Kaskadeneffekte) wird oft bzw. fast immer außer Acht gelassen. Ich denke, dass in der Bevölkerung weitgehend die Aufklärung über die Auswirkungen des allgemeinen Insektensterbens fehlt. Lediglich wenige Gruppen wie Landwirte, Bauern, Imker etc., die in direkter oder indirekter Wechselwirkung stehen, sind sich des akuten Problems bewusst. Meist weisen nur die Preiserhöhung oder der Mangel am Angebot diverser Produkte in den Supermärkten auf ökologische Veränderungen hin und bewirken vielleicht eine individuelle Auseinandersetzung mit diesem Thema.

In leider nur wenigen österreichischen Tageszeitungen konnte ich brauchbare und gut recherchierte Artikel für die von mir abgehandelte Thematik finden. Im Internet wird das Thema „Insektensterben und dessen Folgen“ von einigen Lobbys aufgegriffen, jedoch scheint die Reichweite dieser Problematik meines Erachtens nicht ausreichend diskutiert und ernst genommen. Es gehört definitiv noch viel mehr Aufklärungsarbeit zu diesem Thema in der Öffentlichkeit geleistet.

Es sind vor allem die Industrie und die Landwirtschaft, die ihre Bewirtschaftungstechniken ändern müssen, um für die Insekten lebensfreundlichere Umgebungen zu schaffen. Die biologische Landwirtschaft stellt hier eine gute Alternative dar. Ich sehe vor allem im reduzierten Einsatz von chemischen Mitteln einen Weg, um dem Insektensterben entgegenzuwirken. Großteils kann durch den Einsatz biologischer Schädlingsbekämpfungsmittel dieselbe Wirkung erzielt werden.

Da mir persönlich die Umwelt, in der ich lebe und leben will, sehr am Herzen liegt, und ich ein Verfechter der Methoden der biologischen Landwirtschaft bin, hoffe ich sehr, dass ich mit der Aufarbeitung dieses komplexen Themas die Aufmerksamkeit der Mensch erreichen kann.

20 Quellenverzeichnis

Lehrbücher

Capinera, JL. Insects and Wildlife: Arthropods and their relationships with wild vertebrate animals. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, 2010.

Weisser WW, Siemann E. Insect an Ecosystem Function. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2004.

Wermelinger B. Insekten im Wald: Vielfalt, Funktionen und Bedeutung. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt Verlag, 2017.

Internetquellen

https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/insekten/wuh_borkenkaefer/index_DE [20.07.2019]

<https://www.libellen.tv/infos/predator-vogel.html> [20.07.2019]

<https://bugguide.net/node/view/1471222> [20.07.2019]

<https://wald.lauftext.de/heimat-der-tiere/ameisen/> [20.07.2019]

https://www.swissinfo.ch/ger/buntspecht---vogel-des-jahres-2016_der-zimmermann-des-waldes/42131902 [20.07.2019]

<https://gruene-oder-spree.de/termine/vortrag-zu-wildbienen/> [20.07.2019]

<https://www.hausgarten.net/gartenpflege/schaedlinge-krankheiten/mehlkaefer.html> [20.07.2019]

<https://www.3sat.de/wissen/nano/menschliche-bienen-100.html> [10.07.2019]

<https://www.natur-in-nrw.de/HTML/Tiere/Insekten/Kaefer/Scarabaeoidae/TK-3609.html> [20.07.2019]

Spektrum (2019): Generalisten, [online]

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/generalisten/27228> [17.07.2019]

Spektrum (2019): Herbivoren, [online] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/herbivoren/5401> [17.07.2019]

Spektrum (2019): Spezialisten, [online] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/spezialisten/11023> [17.07.2019]

Wikipedia (2019): Detritus, [online] [https://de.wikipedia.org/wiki/Detritus\(Bodenkunde\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Detritus(Bodenkunde)) [17.07.2019]

Papers:

Albert R, Maier G, Dannemann K. Maiszünslerbekämpfung – Bekämpfung und neue Entwicklungen beim Trichogramma Brassicae-Einsatz. *Gesunde Pflanzen* 2008;60:41-54. DOI 10.1007/s10343-008-0180-8

Allan JD, Wipfli MS, Caouette JP, Prussian A, Rodgers J. Influence of streamside vegetation on inputs of terrestrial invertebrates to salmonid food webs. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 60: 309-320.

Bambaradeniya, CNB, Amerasinghe, FP. Biodiversity Associated with the Rice Field Agroecosystem in Asian Countries: A Brief Review. Sri Lanka: International Water Management Institute, 2003: Paper 63.

Beketov M, Schäfer RB, Marwitz A, Paschke A, Liess M. Long-term streamin vertebrate community alterations induced by the insecticide thiacloprid: effect concentrations and recovery dynamics. *Science of the total Environment* 2008:96–108. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.07.001

Beketov MA, Liess M. Acute and delayed effects of the neonicotinoid insecticide thiacloprid on seven freshwater arthropods. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2009:461–470. <https://doi.org/10.1897/07-322R.1>

Brandt A, Grikscheit K, Siede R, Grosse R, Meixner MD, Böhler R. Immunosuppression in honeybee queens by the neonicotinoids thiacloprid and clothianidin. *Scientific Reports* 2017. DOI:10.1038/s41598-017-04734-1

Brooks DR, Bajer JE, Clark SJ, Monteith DT, Andrews C, Corbett SJ, Beaumont DA, Chapman JW. Large carabid beetle declines in a United Kingdom monitoring network increases evidence for a widespread loss in insect biodiversity. *Journal of Applied Ecology* 2012:1009–1019. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02194.x>

Capinera, JL. *Insects and Wildlife: Arthropods and their relationships with wild vertebrate animals*. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, 2010.

Carpaneto GM, Mazziotta A, Valerio L. Inferring species decline from collection records: roller dung beetles in Italy (*Coleoptera, Scarabaeidae*). *Diversity and Distributions* 2007:903–919. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00397.x>

Chamberlain DE, Fuller RJ. Local extinctions and changes in species richness of lowland farmland birds in England and Wales in relation to recent changes in agricultural land-use. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2000:1–17.

Chaplin-Kramer R, Dombeck E, Gerber J, Knuth AK, Mueller DN, Mueller M, Ziv G, Klein AM. Global malnutrition overlaps with pollinator-dependent micronutrient production. *Proc. R. Soc.* 2014:B281. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.1799>

Dudley N, Alexander S. Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity* 2017:18:45–49. DOI: 10.1080/14888386.2017.1351892

Dupont YL, Damgaard C, Simonsen V. Quantitative historical change in bumblebee (*Bombus* spp.) assemblages of red cloverfields. *PLoS* 2011. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025172>

Eilers EJ, Kremen C, Greenleaf SS, Garber AK, Klein AM. Contribution of Pollinator-Mediated Crops to Nutrients in the Human Food Supply. *PLoS ONE* 2011. doi:10.1371/journal.pone.0021363

Ellis AM, Myers SS, Ricketts HT. Do Pollinators Contribute to Nutritional Health? *PLoS One* 2015:10(1). doi:10.1371/journal.pone.0114805

Gardner JD, Spivak M. A survey and historical comparison of the *Megachilidae* (*Hymenoptera: Apoidea*) of Itasca State Park, Minnesota. *Annals of the Entomological Society of America*. 2014:983–993. <https://doi.org/10.1603/AN14023>

Goulson D, Nicholls E, Botías C, Rotheray EL. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 2015: 1255957/1 – 1255957/7. DOI: 10.1126

- Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H, Stenmans W, Müller A, Sumser H, Hörrén T, Goulson D, De Kroon H. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *Plos One* 2017:1-21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Heimpel GE, Cock MJW. Shifting paradigms in the history of classical biological control. *BioControl* 1018: 27–37.
- Houghton CD, Holzenthal RW. Historical and contemporary biological diversity of Minnesota caddisflies: a case study of landscape-level species loss and trophic composition shift. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 2010;29(2):480–495. DOI: 10.1899/09-029.1
- Jacobson MM, Tucker EM, Mathiasson ME, Rehan SM. Decline of bumblebees in northeastern North America, with special focus on *Bombus terricola*. *Biol. Conservation* 2018:437–445. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.11.026>
- Kalkman VJ, Boudot JP, Bernard R, Conze KJr, Knijf GD, Dyatlova E, Ferreira Sn, Jović M, Ott Jr, Riservato E, Sahlén. Gr. European Red List of Dragonflies. Publications Office of the European Union, Luxembourg 2010.
- Klausnitzer B. *Wunderwelt der Käfer. Deutschland: Springer-Verlag GmbH, Teil von Springer Nature* 2019.
- Klein AM, Vaissiere BE, Cane HJ, Steffan-Dewenter I, Cunningham AS, Kremen C, Tscharrnke T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B* 2007:303–313. doi:10.1098/rspb.2006.3721
- Kosior A, Celary W, Olejniczak P, Fijal J, Król W, Solarz W, Plonka P. The decline of the bumble bees and cuckoo bees (*Hymenoptera: Apidae: Bombini*) of Western and Central Europe. *Oryx* 2007:79–88. <https://doi.org/10.1017/S0030605307001597>
- Kulhanek K, Steinhauer N, Rennich, K, Caron DM, Sagili RR, Pettis JS, Ellis JD, Wilson ME, Wilkes JT, Tarpay DR, Rose R, Lee K, Rangel J, Van Engelsdorp D. A national survey of managed honey bee 2015–2016 annual colony losses in the USA. *Journal of Apicultural Research* 2017:328–340. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1344496>

- Kuussaari M, Heliölä J, Pöyry J, Saarinen K. Contrasting trends of butterfly species preferring semi-natural grasslands, field margins and forest edges in northern Europe. *Journal of Insect Conservation* 2007:351–366. DOI 10.1007/s10841-006-9052-7.
- Lindhe A, Jeppsson T, Ehnstrom B. Longhorn beetles in Sweden - changes in distribution and abundance over the last two hundred years. *Entomologisk Tidskrift* 2011.
- Lister BC, Garcia A. Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *PNAS* 2018.
- Meixner O, Mörl L. Die Akzeptanz von Insekten in der Ernährung: Eine Studie zur Vermarktung von Insekten als Lebensmittel aus Konsumentensicht. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH: Teil von Springer Nature, 2018.
- Melero Y, Stefanescu C, Pino J. General declines in Mediterranean butterflies over the last two decades are modulated by species traits. *Biological Conservation* 2016:336-342. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.029>
- Mineau P, Callaghan C. Neonicotinoid Insecticides and Bats: An Assessment of the Direct and Indirect Risks. *Canadian Wildlife Federation* 2018:87.
- Mulé R, Sabella G, Robba L, Manachini B. Systematic review of the effects of chemical insecticides on four common butterfly families. *Front. Environ. Sci.* 2017.
- Müller J, Bussler H, Gossner M, Rettelbach T, Duelli P. The European spruce bark beetle *Ips typographus* in a national park: from pest to keystone species. *Biodivers. Conserv* 2008:17:2979-3001.
- Myers SS, Smith MR, Guth S, Golden CD, Vaitla B, Mueller ND, Dangour AD, Huybers P. Climate Change and Global Food Systems: Potential Impacts on Food Security and Undernutrition. *Annu Rev Public Health* 2017:259-277. doi: 10.1146/annurev-publhealth-031816-044356.
- Nieto A, Roberts SPM, Kemp J, Rasmont P, Kuhlmann M, Criado MAG, Biesmeijer JC, Bogusch P, Dathe HH, Rúa PD, Meulemeester TD, Dehon M, Dewulf A, Ortiz-Sánchez FJ, Lhomme P, Pauly A, Potts SG, Praz C, Quaranta M, Radchenko VG,

Scheuchl E, Smit J, Straka J, Terzo M, Tomozii B, Window J, Michez D. European Red List of Bees. Publications Office of the European Union, Luxembourg 2014.

Ollerton J, Erenler H, Edwards M, Crockett R. Extinctions of aculeate pollinators in Britain and the role of large-scale agricultural changes. *Science* 2014:1360-1362. DOI: 10.1126

Ollerton J, Winfree R, Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 2011:321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

Potts SG, Roberts SPM, Dean R, Marris G, Brown MA, Jones R, Neumann P, Settele J. Declines of managed honey bees and beekeepers in Europe. *Journal of Apicultural Research* 2010:15–22. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.02>

Sánchez-Bayo F, Wyckhuys KAG. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* 2019:8-27.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>

Sánchez-Bayo F. Impacts of agricultural pesticides on terrestrial ecosystems. In: Sánchez-Bayo F, Van den Brink PJ, Mann R. (Eds.): *Ecological Impacts of Toxic Chemicals*. *Ecological Impacts of Toxic Chemicals* 2011:63-87.

Schirmel J, Bundschuh M, Entling MH, Kowarik I, Buchholz S. Impacts of invasive plants on resident animals across ecosystems, taxa, and feeding types: a global assessment. *Global Change Biology* 2015:594–603. <https://doi-org.uaccess.univie.ac.at/10.1111/gcb.13093>

Schuch S, Bock J, Leuschne C, Schaefer M, Wesche K. Minor changes in *orthopteran* assemblages of Central European protected dry grasslands during the last 40 years. *J. Insect Conserv* 2011: 811–822. DOI 10.1007/s10841-011-9379-6

Schuch S, Wesche K, Schaefer M. Long-term decline in the abundance of leaf-hoppers and planthoppers (*Auchenorrhyncha*) in Central European protected dry grasslands. *Biological Conservation* 2012:75–83. doi:10.1016/j.biocon.2012.02.006

Smart M, Pettis J, Rice N, Browning Z, Spivak M. Linking measures of colony and individual honey bee health to survival among apiaries exposed to varying agricultural land use. *PLoS One* 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152685>

Smith MR, Singh GM, Mozaffarian D, Myers SS. Effects of decreases of animal pollinators on human nutrition and global health: a modelling analysis. *Lancet* 2015;386:1964–72. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)61085-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(15)61085-6)

Sorvari J, Hakkarainen H. Wood ants are wood ants: deforestation causes population declines in the polydomous wood ant *Formica aquilonia*. *Ecological Entomology* 2007;707–711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2007.00921.x>

Stefanescu C, Aguado LO, Asís JD, Baños-Picón L, Cerdá X, García MAM, Micó E, Ricarte A, Tormos J. Diversidad de insectos polinizadores en la península ibérica. *Ecosistemas* 2018;9–22. Doi.:10.7818/ECOS.1391

The World Foundation for Natural Science (2017): Der Frühling verstummt Warum immer mehr Insekten und Vögel verschwinden. <https://www.naturalscience.org/wp-content/uploads/2017/11/2017-11-07-Factsheet-Insects-GER.pdf>

Ulber B. (2018). Natürliche Feinde gegen Rapsschädlinge. *Pflanzenschutz* 2018.

Van der Sluijs JP, Amaral-Rogers V, Belzunces LP, Bijleveld van Lexmond MFIJ, Bonmatin, JM, Chagnon M, Downs CA, Furlan L, Gibbons DW, Giorio C, Girolami, V, Goulson D, Kreuzweiser DP, Krupke C, Liess M, Long E, McField M, Mineau P, Mitchell EAD, Morrissey CA, Noome DA, Pisa L, Settele J, Simon-Delso N, Stark JD, Tapparo A, Dyck HV, Praaghb Jv, Whitehorn PR., Wiemers M. Conclusions of the Worldwide Integrated Assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning. *Environ Sci Pollut Res* 2015;22:148–154. DOI 10.1007/s11356-014-3229-5

Van Dijk TC, Van Staalduinen MA, Van der Sluijs JP. Macro-invertebrate decline in surface water polluted with imidacloprid. *PLoS One* 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062374>

Van Dyck H, Van Strien AJ, Maes D, Van Swaay CAM. Declines in common, widespread butterflies in a landscape under intense human use. *Conservation Biology* 2009;57–65. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01175.x>

Van Swaay C, Warren M, Loïs G. Biotope use and trends of European butterflies. *Journal of Insect Conservation* 2006;10:189–209. DOI 10.1007/s10841-006-6293-4

Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J, Phillips A, Losos E. Quantifying threats to imperiled species in the United States: Assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. *Bio Science* 1998: 607-615.

Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J, Phillips A, Losos E. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *Bioscience* 48, 607–615

Wyckhuys KAG, Hughes AC, Buamas C, Johnson AC, Vasseur L, Reymondin, L, Deguine JP, Sheil D. Biological control of an agricultural pest protects tropical forests. *Communications Biology* 2019:1-8. <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0257-6>

Wyckhuys KAG, Lu Y, Morales H, Vazquez LL, Legaspi, JC, Eliopoulos PA, Hernandez LM. Current status and potential of conservation biological control for agriculture in the developing world. *Biological Control* 2013:152–167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.11.01>

Ziska LH, Pettis JS, Edwards J, Hancock JE, Tomecek MB, Clark A, Dukes JS, Loladze I, Polley HW. Rising atmospheric CO₂ is reducing the protein concentration of a floral pollen source essential for North American bees. *Proc Biol Sci.* 2016. doi: 10.1098/rspb.2016.0414.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Kurzbelege gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.