

# Cost of Inaction bei Ökosystemleistungen in der Schweiz

## Schätzung für einzelne Aspekte des «Insektensterbens»

Zürich, 18. Juli 2023

Martin Peter, Sabine Fries, Laura Kessler, Rolf Iten (Infras)  
Karin Loeffel (faunatur)

## **Impressum**

### **Schätzung für einzelne Aspekte des «Insektensterbens»**

Der Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) sowie mit Eigenleistungen von INFRAS und faunatur erstellt. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zürich, 18. Juli 2023

### **Autorinnen und Autoren**

Martin Peter, Sabine Fries, Laura Kessler, Rolf Iten  
INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich  
Tel. +41 44 205 95 95  
zuerich@infras.ch

Karin Loeffel (Fachleitung Szenario Insektensterben)  
faunatur, Trottenstrasse 28a, 8180 Bülach  
Tel. +41 44 860 04 94  
info@faunatur.ch

## Inhalt

<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung «Cost of Inaction für ausgewählte Szenarien zum Insektensterben»</b>	<b>6</b>
<b>1. Einleitung und Ziel der Studie</b>	<b>14</b>
<b>2. Vertiefung Insektensterben</b>	<b>15</b>
2.1. Szenario A «Ersatz der Bestäuberleistung von Insekten»	17
2.1.1. Einleitung	17
2.1.2. Denkmodell Ursache-Wirkung und Grenzen der Szenarienansätze	22
2.1.3. Modellierung COI alternative Bestäubung	25
2.1.4. Sensitivitäten	26
2.1.5. Datenquellen und Annahmen der Berechnungsindikatoren	27
2.1.6. Ergebnisse	30
2.1.7. Diskussion und Einbettung	33
2.2. Szenario B «Ersatz der Insekten als Nahrungsgrundlage für Vögel»	37
2.2.1. Einleitung	37
2.2.2. Denkmodell Ursache-Wirkung und Grenzen des Szenarioansatzes	38
2.2.3. Datenquellen und Annahmen der Berechnungsindikatoren	40
2.2.4. Modellierung COI «Ersatz der natürlichen Insektennahrung für Brutvögel»	42
2.2.5. Sensitivitäten	43
2.2.6. Ergebnisse	43
2.2.7. Diskussion und Einbettung	45
2.3. Gesamtbetrachtung und Fazit COI Insektensterben	48
<b>3. Fazit und Ausblick</b>	<b>51</b>
<b>Literatur</b>	<b>53</b>
<b>Verdankung</b>	<b>57</b>

## Abstract

Der vorliegende Bericht beziffert erstmals für die Schweiz für zwei Szenarien im Bereich «Insektensterben» die Kosten des Nicht-Handelns (Cost of Inaction «COI»). Er beleuchtet zum einen die mit der COI-Methodik verbundenen Herausforderungen und Unsicherheiten einer Monetarisierung der Ökosystemleistungen, die dazu führen können, dass oft nur Teilaspekte monetarisiert werden können und die bei weiteren Anwendungen beachtet werden sollten. Er verdeutlicht zum anderen, dass die COI eine wichtige Informationsgrösse für die Umweltpolitik darstellen können. Ziel des Berichts ist es, einerseits eine konkrete ökonomische Grösse zu den Kosten des Nicht-Handelns (COI) für die Schweiz für erste Teilaspekte von Ökosystemleistungen (ÖSL) im Bereich Insektensterben aufzuzeigen. Andererseits zeigen die Ergebnisse, die sich auf einen sehr kleinen Ausschnitt der ÖSL beziehen, dass die Schäden des Nicht-Handelns beim Hochskalieren auf die gesamten ÖSL der Insekten volkswirtschaftlich sehr bedeutend sein müssen. Dies ist volkswirtschaftlich und politisch relevant, weil Ökosystemleistungen keine Marktpreise aufweisen, aber für die Volkswirtschaft und Gesellschaft bedeutend sind. Die vorliegenden Ergebnisse schaffen eine Diskussionsgrundlage für Politik und Gesellschaft.

## Vorwort

Die Kosten des Nicht-Handelns (COI) bieten eine konzeptionelle Brücke zwischen Ökologie und Ökonomie. Wie zentral diese Ebene ist und von wie hoher gesellschaftlicher, ökologischer sowie wirtschaftlicher Relevanz, zeigte das breite Echo zum im Januar 2021 publizierten Dasgupta Review, das den Wert der Natur zu beschreiben versucht. Der Bericht zeigt, dass Wirtschaftswachstum und Wohlstand nur auf Grundlage einer gesunden Natur möglich sind. Unser COI-Bericht passt mitten in diesen Kreis dringlicher Themen.

In Wissenschaft, Politik und Gesellschaft wird oft vom immensen Wert der ÖSL insgesamt und der einzelnen Umweltbereiche gesprochen. In der ökonomischen und politischen Diskussion gehen solche qualitativen Argumente – ohne «Finanzzahlen» – oft unter. Wenn die qualitativen Argumente mit quantitativen Werten ergänzt werden können, dann steigen die Chancen, dass der Schutz der Umweltressourcen gesellschaftlich als dringlicher und somit höher gewichtet wird.

Der vorliegende Bericht beziffert erstmals für die Schweiz für zwei Teilaspekte der vielseitigen ÖSL im Bereich «Insekten» die Kosten des Nicht-Handelns (COI). Basis des vorliegenden Berichts war ein 2019 vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) veröffentlichter Bericht über die Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten von Cost of Inaction (COI) (Ecoplan 2019).

INFRAS prüfte 2020 im Rahmen eines interdisziplinären Forschungs- und Weiterbildungsprojektes für acht Umweltthemenbereiche (Boden, Insektensterben, Nitrat, Klima, Pestizide, Invasive Arten, Lärm und Abfall), ob vertiefende COI-Szenarien möglich wären. Aufgrund der möglichen methodischen Fragestellungen, der politischen Bedeutung, der Relevanz der Ökosystems Schäden und Synergien mit anderen Politik- und Umweltbereichen wurde der Themenbereich Insektensterben als besonders spannend eingeschätzt. Der vorliegende Bericht zur Vertiefung dieses Themenbereichs konnte mit finanzieller Unterstützung des BAFU und Eigenleistungen der beteiligten AutorInnen/Unternehmen realisiert werden. Die entsprechenden Modellierungen und Berechnungen fanden 2021 statt.

Wir verstehen den vorliegenden Bericht methodenbezogen als Diskussionsbeitrag für die wissenschaftlich-methodische Weiterentwicklung von Inwert-Setzungen im entsprechenden Themenbereich und ergebnisbezogen als eine mögliche Diskussionsgrundlage für Politik und Gesellschaft.

## **Zusammenfassung «Cost of Inaction für ausgewählte Szenarien zum Insektensterben»**

### **Einbettung in den Kontext**

Viele Insekten erlitten in den vergangenen Jahrzehnten teilweise dramatische Bestandsrückgänge sowie eine Abnahme der Artenvielfalt. Der Anteil gefährdeter Insekten in der Schweiz und die Langfristentwicklungen sind äusserst beunruhigend. Mit ihrer unvergleichlichen Vielfalt an Lebensweisen sind Insekten an verschiedenste Lebensräume angepasst. Sie erbringen für den Menschen zentrale Ökosystemleistungen (ÖSL): z.B. bestäuben sie einen Grossteil der Pflanzen (u.a. in der Landwirtschaft) und tragen zu deren Verbreitung und Vermehrung bei. Sie bilden eine direkte Nahrungsgrundlage für viele andere Tiere und spielen eine Schlüsselrolle für die Stabilität von Nahrungsnetzen (ökologisches Gleichgewicht). Sie sind an Regulationsprozessen beteiligt, bauen als Zersetzer organisches Material ab (gesunde Böden) und unterstützen die Nährstoffkreisläufe (ökologische Kreisläufe). In der nachfolgenden Darstellung sind wesentliche ÖSL von Insekten schematisch abgebildet:

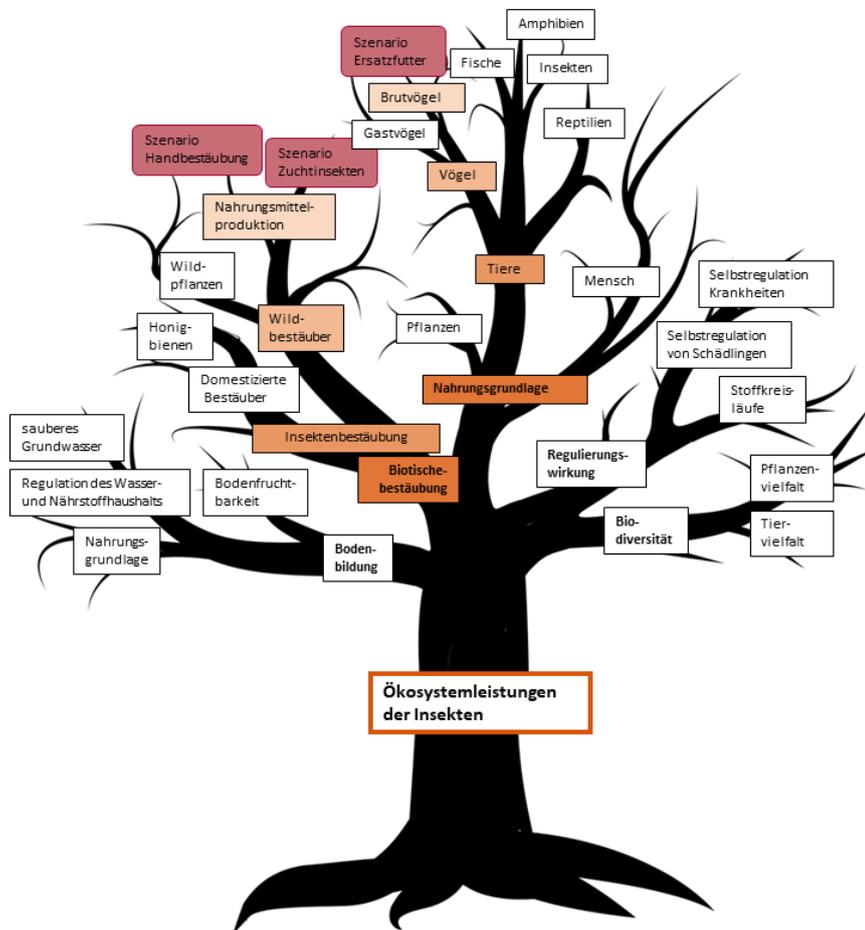


Abb. Z-1 Von den insektenabhängigen ÖSL (Darstellung ohne Anspruch auf Vollständigkeit) wird im vorliegenden COI-Bericht nur ein kleiner Ausschnitt (farblich hervorgehobene Elemente) untersucht.

Der Wert dieser vielseitigen, durch Insekten erbrachten ÖSL ist schwer zu beziffern. Es wurden im vorliegenden Bericht ausgewählte Aspekte der breiten Palette an ÖSL von Insekten grob monetarisiert, um aufzuzeigen, welchen Wert diese Einzelaspekte in der Summe aufweisen. Es stellt sich die Frage, ob und in welchem Ausmass sich das festgestellte Insektensterben auf ausgewählte ÖSL auswirkt und welche Kosten mit dem Nicht-Handeln verbunden sind. Gelingt es, mit dem methodischen Ansatz der sogenannten Costs of Inaction (COI) eine ökonomische Inwertsetzung ausgewählter ÖSL vorzunehmen und daraus eine Vorstellung der Bedeutung der ÖSL der Insekten insgesamt zu entwickeln? Wenn die Kosten des Nicht-Handelns für einen kleinen, ausgewählten Teil aus der Fülle aller ÖSL von Insekten ermittelt werden können, gibt das einen Hinweis auf den sehr hohen Wert der gesamten Palette von ÖSL der Insekten und hilft im politischen und gesellschaftlichen Diskurs, die Bedeutung des Insektensterbens verständlicher

zu machen. Gleichzeitig ist bei der Kommunikation der Zahlen einzelner ÖSL-Ausschnitte darauf zu achten, dass die COI nicht unterschätzt werden.

### **Methodik der Berechnungen, ausgewählte Szenarien und Annahmen**

Im vorliegenden Bericht wurden zwei Szenarien vertieft:

#### ▪ **Szenario A - Bestäubungsleistung der Insekten:**

Wie mindert sich die Bestäubungsleistung bei einem Rückgang der Wildbestäuber? Die Honigbiene ist als domestiziertes Insekt von der Betrachtung der Wildbestäuber ausgenommen: ein Teil der Bestäubungsleistung unserer Kulturen übernimmt die Honigbiene, ein mindestens gleich grosser Teil entfällt auf die Wildbestäuber (Wildbienen, Fliegen, Käfer usw.). Es ist bekannt, welche Pflanzen der Nahrungsmittelproduktion in der Schweiz insektenbestäubt und wie gross die entsprechenden Anbauflächen sind. Damit lässt sich ermitteln, wieviel es kosten würde, wenn der Anteil der Wildbestäubung theoretisch ersetzt werden müsste. Diese Ersatzkosten bilden eine erste Schätzgrösse des monetären Wertes der Bestäubungsleistung durch Wildbestäuber. Wir betrachten zwei Varianten:

**Variante A-1:** Einerseits könnten die Pflanzen **von Hand bestäubt** werden. Die COI, welche sich aus dem nicht verhinderten Insektensterben ergeben, umfassen die Lohnkosten für die von Hand bestäubenden Personen. Aus Literaturangaben ist bekannt, in welchem Ausmass der Ertrag bestimmter Nutzpflanzen von der Insektenbestäubung abhängt. Der Anteil der Wildbestäuber kann für die Berechnung von wahrscheinlichen Bandbreiten variiert werden, ebenso der durch das Insektensterben bedingte Rückgang der Bestäubungsleistung. Wir haben begründete Annahmen dazu getroffen, wie viele Stunden pro Anbaukultur für die Bestäubung von Hand eingesetzt werden müssten, wie oft pro Anbausaison bestäubt werden müsste und wie hoch die Lohnkosten dafür wären. Aus den vorangehenden Faktoren haben wir die Ersatzkosten ermittelt, welche anfallen würden, wenn das Insektensterben nicht verhindert bzw. vermindert würde.

**Variante A-2:** Andererseits könnte die Bestäubungsleistung durch **züchtbare Insekten** (Mauerbienen oder Hummeln) ersetzt werden. Hierzu haben wir begründete Annahmen getroffen, wie viele Zuchtinsekten pro Anbaukultur benötigt würden und wie hoch die Mietkosten für die Zuchtvölker für den Eigentümer der Kulturen wären. Daraus ergibt sich ein zusätzlicher Baustein zur Ermittlung der COI zum Insektensterben.

Zur ökonomischen Inwertsetzung der Bestäubungsleistung wurde bereits intensiv geforscht und publiziert. Anders sieht es aus, wenn es um die Bewertung von Basisdienstleistungen der Natur geht. Die Wirkmechanismen sind äusserst komplex und schwierig in Modelle zu

fassen, weshalb Studien zur monetären Bewertung weniger zahlreich und oft auf übergeordnetem Niveau verortet sind. Aus diesem Grund haben wir in der vorliegenden Studie auch ein Szenario untersucht, welche monetarisierbaren Einbussen das Insektensterben hat, indem insektenfressenden Tieren ein Teil der Nahrung fehlt. Die benötigten Datengrundlagen und Wirkungsbeziehungen sind in diesem Szenario weniger belastbar als beim Szenario Ersatzbestäubung. Ausserdem kann der geschilderte Ansatz nicht in die Realität umgesetzt werden, weshalb wir dieses COI-Szenario als **hypothetisch mit experimentellem Charakter** ansehen. Es hilft aber, über den monetären Wert eines kleinen Aspekts der wichtigen Basisdienstleistungen der Insekten eine Vorstellung zum immensen Gesamtwert zu erhalten.

▪ **Szenario B - Insekten als Nahrungsgrundlage:**

Insekten sind eine Hauptnahrungsquelle vieler anderer Tierarten und der festgestellte Rückgang der Insektenbiomasse wirkt sich entsprechend im Nahrungsnetz aus. So ernähren sich rund die Hälfte der Brutvögel der Schweiz fast ausschliesslich von Insekten und vertilgen gewaltige Mengen an Biomasse. Wir ermitteln, wie gross die gesamt benötigte Menge an Insektennahrung für die Jungenaufzucht und das Überleben der Jungvögel und adulten Brutvögel für eine Brutsaison ist. Es ist bekannt, welche Vogelarten in welchem Ausmass von Insektennahrung abhängig sind und wie viele Brutpaare in der Schweiz vorkommen. Wir leiten fundierte Annahmen her zur Menge der benötigten Insekten für die Jungenaufzucht und für die Ernährung der adulten Vögel, zur Überlebenswahrscheinlichkeit der Jungvögel und zur Dauer einer Brutsaison. Die wegen des Insektensterbens effektiv fehlende Nahrungsmenge für insektenfressende Brutvögel kann für die COI-Berechnung als Bandbreite variiert werden. Die fehlende Insektenbiomasse wird in diesem hypothetischen Szenario mit einem industriell hergestellten Proteinprodukt ersetzt. Aus den Preisangaben für das Ersatzprodukt und den benötigten Mengen werden die COI für den Nahrungsersatz für Brutvögel ermittelt. Zu diesen Materialkosten müssten auch Ausbringungskosten (Verfütterung bzw. Bereitstellen der Ersatznahrung durch Personen) hinzugerechnet werden: der Nahrungsersatz muss zu den Brutvögeln bzw. die Brutvögel zum Nahrungsersatz gelangen. Die verfügbaren Datengrundlagen reichen nicht aus, um eine belastbare Kostenschätzung für die Ausbringung herzuleiten. Wir konnten aber exemplarisch eine grobe Schätzung aufgrund von Angaben einer Vogelaufzuchtstation ableiten und somit eine Richtgrösse für diese Ausbringungskosten angeben.

**Ergebnisse «COI Szenarien Insektensterben»**

Die Costs of Inaction, welche entstehen, wenn das Insektensterben nicht verhindert wird, schätzen wir für die Handbestäubung unserer wichtigsten Nahrungspflanzen auf jährlich zwi-

schen 40 Mio. CHF (20% Rückgang der Wildbestäuber, Anteil der Wildbestäuber an der Bestäubungsleistung von lediglich 20%) und 790 Mio. CHF (100% Rückgang der Wildbestäuber, 80% Anteil an der Bestäubungsleistung). Bei dem **wahrscheinlichsten Szenario**, dass die Wildbestäubungsleistung als Folge des fortschreitenden Insektensterbens um 50% gegenüber heute vermindert ist und die Wildbestäuber die Hälfte der Bestäubungsleistung übernehmen (die andere Hälfte entfällt auf die Honigbiene), fallen für die **Handbestäubung jährlich Kosten von 230 Mio. CHF** allein für diesen wegfallenden Teil der ÖSL von Insekten an. Der Grossteil der Kosten entfällt mit fast 100 Mio. CHF auf die Ackerfrüchte (v.a. Raps, Sonnenblumen), welche grosse Anbauflächen in der Schweiz aufweisen. Weiter schlagen Gemüsekulturen mit rund 70 Mio. CHF und Obstkulturen mit rund 55 Mio. CHF zu Buche. Für die manuelle Bestäubung unserer wichtigsten Anbaukulturen für menschliche Nahrungsmittel müssten jährlich rund 13 Mio. Arbeitsstunden eingesetzt werden, bei einer unterstellten Arbeitsentschädigung von CHF 17.50 pro Stunde<sup>1</sup>.

Beim Einsatz von **Zuchtinsekten** in unseren wichtigsten insektenbestäubten Kulturen liegen die COI jährlich zwischen rund 1 Mio. CHF (20% Rückgang der Wildbestäuber, 20% Anteil der Wildbestäuber an der Bestäubungsleistung) und gut 17 Mio. CHF (100% Rückgang der Wildbestäuber, 80% Anteil an der Bestäubungsleistung). Beim wiederum **wahrscheinlichsten Szenario** belaufen sich die **jährlichen COI auf gut 5 Mio. CHF**. Fast die Hälfte der Bestäubungskosten durch Zuchtinsekten entfällt mit 2.7 Mio. CHF auf das Baumobst. Es müssten jährlich fast 30'000 Zuchteinheiten (Mauerbienen bzw. Hummeln) eingesetzt werden.

Beim Szenario des **Nahrungersatzes für Brutvögel** betragen die COI allein bezogen auf die Materialkosten jährlich zwischen 40 Mio. CHF (20% Rückgang der Insektenbiomasse, Ersatzprodukt kostet 20 CHF / kg) und 260 Mio. CHF (100% Rückgang der Insektenbiomasse, Ersatzprodukt kostet 30 CHF / kg). Bei einem Rückgang der Insektenbiomasse um 50% und einem veranschlagten Preis von 30.– CHF pro kg Ersatzfutter belaufen sich die **jährlichen COI auf 130 Mio. CHF**. Fast die Hälfte der COI entfallen dabei auf die zehn häufigsten insektenfressenden Brutvögel. Die gesamthaft benötigte Menge an Insektennahrung beträgt für unsere insektenfressenden Brutvögel pro Brutsaison rund 8'700 t.

Die Kosten für die Verteilung der Ersatznahrung würden sich auf ein Vielfaches der Kosten der Ersatznahrung belaufen, weil eine praktisch flächendeckende Infrastruktur bereitgestellt werden müsste oder bei eher zentralisierter Ausbringung hohe Arbeitskosten entstehen würden. Dabei ist unterstellt, dass die Fütterung von Jung- und Adultvögeln in unzähligen (neu zu erstellenden), regional verteilten Vogel-Aufzuchtstationen für die Dauer einer Brutsaison er-

---

<sup>1</sup> Quelle: agrimpuls 2020. Details zu Quelle siehe Kapitel 2.1.5.

folgt. Gemäss dieser exemplarisch grob ermittelten Schätzgrösse beliefen sich die **Verfütterungskosten für die vollständig insektenabhängigen Brutvögel** bei einem Rückgang der Insektenbiomasse um 50% auf mindestens **1.5 bis 3 Milliarden CHF pro Jahr**.

#### **Diskussion der Ergebnisse «COI Teilaspekte Insektensterben»**

Wildbestäuber erbringen eine unverzichtbare Leistung in der Nahrungsmittelproduktion: sowohl die Erntemenge von Früchten und Samen als auch deren Qualität werden verbessert. Dies ist insbesondere im Obst- und Gemüsebau, aber auch in der Saatguterzeugung von Bedeutung. Die manuelle Bestäubung kann für bestimmte Nutzpflanzen die Bestäubungsleistung zwar vermutlich hinreichend ersetzen, ist jedoch sehr zeit- und mit geschätzten jährlichen Kosten von 230 Mio. CHF auch kostenintensiv. Darüber hinaus sind kulturabhängig gewisse Qualitätseinbussen wahrscheinlich: bei Insektenbestäubung bspw. von Äpfeln wurde ein höheres Fruchtgewicht, eine höhere Fruchtgrösse und ein höherer Zucker- und Säuregehalt gegenüber der manuellen Bestäubung festgestellt. Wichtig ist auch eine vollständige Bestäubung, damit die Früchte gleichmässig und gross sind, wie dies bei der Insektenbestäubung am besten gewährleistet ist.

Bei der Bestäubung mittels Zuchtinsekten fallen die COI vergleichsweise gering aus. Das ist nicht erstaunlich, da züchtbare Insekten (Honigbienen, Mauerbienen und Hummeln) weitaus effizienter bestäuben als dies der Mensch zu tun vermag. Aus diesen vermeintlich tiefen COI-Kosten für den Einsatz von Zuchtinsekten darf keinesfalls gefolgert werden, dass dies ein praktikabler «Lösungsansatz» bei fortgesetztem Insektensterben sei. Die Mechanismen der Bestäubung, die ökologischen Zusammenhänge und damit die Leistungen der Insekten sind weitaus komplexer, als im Rahmen einer solchen Monetarisierung abgebildet werden können. Ein Ersatz wegfallender Wildbestäuberarten kann nicht gleichwertig durch eine andere Art oder durch züchtbare Insekten erfolgen; vielfach ist der genaue Beitrag einzelner Arten zur gelingenden Bestäubung nicht erforscht. Jedoch ist bekannt, dass eine diverse Bestäubergemeinschaft, also das Zusammenspiel verschiedener Insektenarten und -gruppen für die Erntequalität und -quantität wichtig ist. Dennoch vermögen Zuchtinsekten in ausgewählten Kulturen einen gewissen Bestäubungsrückgang von Wildbestäubern bis zu einem gewissen Grad zu kompensieren. Die starke kommerzielle Nutzung von domestizierten Bestäubern birgt ausserdem Risiken: Das Einbringen domestizierter Bestäuber erhöht den Konkurrenzdruck um Ressourcen auf Wildbestäuber (u.a. Nahrung, Nistplätze). Durch den überregionalen und internationalen Handel von Bienen- und Hummelvölker besteht ausserdem die Gefahr von Hybridisierung mit heimischen Arten und dass Parasiten und Pathogene verschleppt werden (Fartmann et al., 2021).

Bei der Betrachtung eines Aspekts einer Basisdienstleistung der Insekten zeigt sich, dass allein für die Ernährung unserer insektenfressenden Brutvögel jährliche Kosten von mindestens

130 Mio. CHF entstehen. Die Ausbringungskosten würden in einer anderen Grössendimension zu liegen kommen und beliefen sich auf einen einstelligen Milliardenbetrag. Es ist unmöglich, insektenfressende Tiere anderweitig mit Nahrung zu versorgen. Dies verdeutlicht den auch aus ökonomischer Sicht immensen Wert von Insekten allein im Nahrungsnetz unserer heimischen Tierarten.

Aus methodischer Sicht besteht die Herausforderung bei der Inwertsetzung von Biodiversitätsleistungen darin, dass die komplexen Zusammenhänge verschiedener Stufen auf ein quantifizierbares Modell übertragen werden müssen. Es müssen funktionale Beziehungen von Ökosystemen abgeleitet und messbare Grössen operationalisiert werden, wobei oftmals die Wirkmechanismen oder die Dosis-Wirkungsbeziehungen nicht ausreichend bekannt sind. Die Datengrundlagen müssen genügend belastbar sein, um begründete Annahmen herleiten und damit die ÖSL (und die Biodiversität) schliesslich mit einem monetären Wert versehen zu können. Wie der Grundlagenbericht von Econcept (2020) oder auch das Working Paper von Rey et al. (2022) ausführen, sind die methodischen Schwierigkeiten in Bezug auf die Verlinkung von Biodiversität und Ökosystemleistungen herausfordernd: Oft sind Datenlücken vorhanden, die Modellierung ist vielfältig möglich und mit Schwierigkeiten behaftet, die Beziehungen zwischen Biodiversität und Ökosystemleistungen sind skalenabhängig und Komplexitätsgrad sowie Interpretationsspielraum hoch.

Im vorliegenden Bericht wurden zum Insektensterben Szenarien ausgewählt, welche die Schätzung eines Werts für die COI erlauben. Die getroffenen Annahmen beruhen auf dem aktuellen Wissensstand und die Kostenschätzungen sind als eher konservativ zu interpretieren. Aufgrund des methodischen Vorgehens ist die Gesamtsicht über die Wichtigkeit der Insekten und die Folgen des Insektensterbens eingeschränkt, da die COI-Berechnungen lediglich für zwei ausgewählte ÖSL-Aspekte vorgenommen wurden. Gleichwohl zeigt der vorliegende Bericht, dass die COI-Methode als ökonomisches Inwertsetzungs-Instrument in diesem Themenfeld eingesetzt werden und die Diskussion um den Wert von Biodiversitätsleistungen bereichern kann.

### **Schlussfolgerungen «COI beim Insektensterben»**

Die hier vorgestellten COI-Szenarien zum Insektensterben betreffen zwei ausgewählte ÖSL (Bestäubung von Nutzpflanzen sowie Nahrung für Brutvögel) unter einer viel grösseren Anzahl an aus menschlicher Sicht wichtigen ÖSL von Insekten. Die beiden COI-Szenarien helfen jedoch – unter den erwähnten Annahmen und Grenzen – illustrative Kostenelemente zu den Folgen aufzuzeigen, welche das Insektensterben in der Schweiz einerseits für unsere direkte Ernährung, andererseits als Basisdienstleistung für andere Tierarten hätte, wenn man nicht handelt. Es geht bei den ausgewählten Szenarien weder um direkt umsetzbare noch um wünschenswerte

Lösungsansätze für die Problematik des Insektenrückgangs. Ziel ist es, von den unzähligen Ästen der für das Leben zentralen ÖSL der Insekten einzelne Zweige monetär indikativ abzubilden, um erkennbar zu machen, welche grosse und nicht umfassend monetarisierbare Gesamtbedeutung die Insekten aufweisen. Die in diesem Bericht ermittelten COI stellen eine nicht zu vernachlässigende Grössenordnung dar: bei der Analyse von nur zwei bis drei Nebenästen der breitgefächerten ÖSL der Insekten und der Kosten für deren theoretische Substitution, ergeben sich erhebliche Beträge für die entsprechenden COI. Diese geben einen Hinweis darauf, welchen (bisher nicht exakt bezifferbaren) Gesamtwert die ÖSL der Insekten aufweisen.

Abgesehen von den möglichen monetären Folgen des Insektensterbens sind gewisse ÖSL kaum ersetzbar. So sind die biologischen Wirkmechanismen bei der Bestäubungsthematik zu komplex und spezifisch – sie entziehen sich daher einer umfassenden Bewertung in Franken. Auch beim Szenario des Nahrungersatzes für Brutvögel ist es kaum realistisch, dass eine angemessene Ersatznahrung beschafft und darüber hinaus adäquat verteilt und schliesslich durch die Vögel angenommen werden würde. Aber auch aus wirtschaftlicher Sicht ist es sinnvoller, bestehende Ökosysteme zu schützen und aufzuwerten sowie die Artenvielfalt und Populationen von Insekten zu erhalten und zu fördern, anstatt unbefriedigende Ersatzmassnahmen vorzunehmen.

## 1. Einleitung und Ziel der Studie

Kosten-Nutzen-Analysen von umweltpolitischen Massnahmen sind eine wichtige Grundlage für die Begründung und Optimierung von umweltpolitischen Massnahmen und Strategien. Aber nicht nur Massnahmen, welche sich aktuell auf der politischen Agenda befinden, sind aus ökonomischer Sicht von Interesse. Gerade auch die volkswirtschaftlichen Kosten von nicht ergriffenen Massnahmen, sog. «Cost of Inaction» (COI), können im Umweltbereich sehr relevant sein und sind als Informationsgrösse für die Begründung und Weiterentwicklung umweltpolitischer Strategien und Massnahmen ebenfalls von hoher Relevanz. Für die Abschätzung der COI – der Kosten des Nicht-Handelns – sind Schadens- oder Ersatzkosten das adäquate Mass. Sie zeigen die drohenden Umweltkosten der politischen Inaktivität bei einem gegebenen Umweltproblem und damit den potenziellen Nutzen von Massnahmen zur Vermeidung der Umweltbelastung. Die Kosten des Nicht-Handelns in einem spezifischen Umweltproblem aufzuzeigen, sensibilisiert Gesellschaft und Politik für die Relevanz einer umweltpolitischen Fragestellung und für vor- anstatt nachsorgende Massnahmen.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) veröffentlichte 2019 einen Bericht über die Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten von Cost of Inaction (Ecoplan, 2019). Der vorliegende Bericht ist als Fortsetzung dieser Arbeiten zu sehen. Er richtet sich nach den Empfehlungen des Grundlagenberichts von Ecoplan (2019) und wendet diese auf ein spezifisches Umweltthema an. Die Kostenschätzungen im vorliegenden Bericht sind für den Themenbereich Insektensterben exemplarisch vertieft worden.

## 2. Vertiefung Insektensterben

Insekten bilden die grösste und artenreichste Klasse im Tierreich, zeigen eine unvergleichliche Vielfalt an Lebensweisen und Überlebensstrategien und sind an verschiedenste Lebensräume angepasst. Sie sind für einen fundamentalen Teil verschiedener, aus menschlicher Sicht wichtiger Ökosystemdienstleistungen verantwortlich: Insekten bestäuben einen Grossteil der Pflanzen und tragen zu deren Verbreitung und Vermehrung bei. Sie bilden eine direkte Nahrungsgrundlage für viele andere Tiere und spielen eine Schlüsselrolle für die Stabilität von Nahrungsnetzen. Sie sind an mannigfaltigen Regulationsprozessen als Prädatoren (Räuber) und Parasiten beteiligt. Als Zersetzer helfen sie beim Abbau von organischem Material mit, unterstützen die Nährstoffkreisläufe und tragen somit zur Bodenfruchtbarkeit bei.

In den letzten Jahrzehnten gingen die Bestände vieler Insektengruppen teilweise dramatisch zurück und die Artenvielfalt nahm ab. Der Gefährdungsstatus und die Langfristentwicklungen vieler Insektenarten und -populationen sind äusserst beunruhigend. Am meisten vom Rückgang betroffen sind in terrestrischen Lebensräumen die Tagfalter, Hautflügler und verschiedene Käfergruppen. Bezogen auf die Ökosysteme weisen Wirbellose des Grünlandes den stärksten Rückgang auf; und zwar sowohl bezüglich Biomasse als auch bezüglich Artenzahlen. Besonders stark erfolgte dies in intensiv landwirtschaftlich genutzten Landschaften (Seibold 2019). Es ist zu befürchten, dass die Insekten gewisse Ökosystemdienstleistungen zukünftig nicht mehr im bisherigen Ausmass erbringen können. Dies kann erhebliche Folgen für den Menschen haben.

Ausgehend von den oben grob beschriebenen Ökosystemleistungen haben wir für verschiedene (Teil-)Bereiche Szenarien abgeleitet, welche mit einem substanziellen Rückgang von Insekten verbunden sind. Die Szenarien wurden bewertet und aufgrund der politischen Relevanz, der Machbarkeit hinsichtlich Kostenschätzung und verfügbarer Datengrundlagen geeignete Szenarien zur Vertiefung priorisiert.

Zur Untersuchung der Kosten des Nichthandelns in Hinblick auf das Insektensterben wurden zwei Szenarien ausgewählt und vertieft:

- Bestäubungsleistung (Regulationsleistung) von Wildbestäubern: Hierzu bestehen gute Datengrundlagen für die COI und es ist ein direkter Bezug zwischen Auswirkungen des Insektensterbens und einer für den Menschen zentralen Ökosystemleistung, nämlich der Nahrungsmittelproduktion, erkennbar.
- Insekten als Nahrungsgrundlage für andere Lebewesen (Basisleistung): Dieses Szenario erweitert die Anwendung der COI-Methode um die wichtige Dimension der weniger gut fassbaren, aber gleichwohl vorhandenen und nicht minder besorgniserregenden Auswirkungen

des Insektensterbens auf eine Ökosystemleistung, welche die In-Wert-Setzung des reinen Vorhanden-Seins von Insekten thematisiert. Da die Datengrundlagen und Wirkungsbeziehungen weniger belastbar sind und das zugrunde gelegte Szenario hypothetisch ist, hat dieses Szenario experimentellen Charakter.

Die in den Szenarien getroffenen Abschätzungen zur Berechnung der Cost of Inaction (COI) sind mit diversen Annahmen hinterlegt. Teilweise bestehen fakten- und/oder datenseitig für diese Annahmen gewisse Unsicherheiten, weshalb der Einfluss zentraler Annahmen mittels Sensitivitätsanalysen sichtbar gemacht wird. Entsprechend werden für die ausgewählten Szenarien quantitative Bandbreiten der COI angegeben.

#### **Szenario A: Bestäubungsleistung wird mit alternativen Mitteln ersetzt**

Insekten spielen eine wichtige Rolle bei der Bestäubung eines Grossteils von Nutzpflanzen. Damit die inländische Produktion von Insektenbestäubung abhängiger Nahrungsmittel erhalten bleibt, muss die Bestäubungsleistung bei einem Wegfall von Wildbestäubern mit alternativen Methoden ersetzt werden. Es gilt zu beachten, dass die Honigbiene aus diesem COI-Szenario ausgeklammert wird; weil sie erstens als domestizierte Bestäuberin nicht zu den hier betrachteten Wildbestäubern zählt und zweitens als züchtbares Insekt bis zu einem gewissen Grad ersetzbar und nicht im selben Ausmass vom Insektensterben betroffen ist. Der Fokus liegt auf den wichtigsten insektenbestäubten Kulturen in der Schweiz.

- Für die betrachteten, von Hand bestäubbaren Nutzpflanzen wird eine geschätzte Anzahl Personentage pro bestäubter Pflanzenmenge mit durchschnittlichen Lohnkosten multipliziert, um die COI zu schätzen (Variante A-1).
- Für die betrachteten, mit züchtbaren Insekten (ausser Honigbiene) bestäubbaren Nutzpflanzen wird eine geschätzte Anzahl Zuchtvölker pro bestäubter Pflanzenmenge mit durchschnittlichen jährlichen Mietkosten für die Zuchtinsekten multipliziert, um die COI zu schätzen (Variante A-2).

#### **Hypothetisches Szenario B: Ersatz der Insekten als direkte Nahrungsgrundlage für Brutvögel**

Ein Grossteil unserer Brutvögel ist in der Ernährung zumindest teilweise (bei Jungenaufzucht) oder vollständig von Insekten abhängig. Bei einem Rückgang der Insektenbiomasse muss diese Nahrungsmenge anderweitig bereitgestellt werden, um die Brutvogel-Populationen zu erhalten. In diesem Szenario gilt zu beachten, dass sich eine Ersatzfütterung der Brutvögel kaum in die Praxis umsetzen lassen würde. Insekten bilden für viele weitere Tiere die ausschliessliche oder zumindest eine wichtige Nahrungsgrundlage. Wir betrachten demnach auch in diesem Szenario mit Fokus auf Brutvögel lediglich einen Ausschnitt dieser Basisdienstleistung.

- Die geschätzte Menge des Nahrungsbedarfs von mindestens teilweise insektenabhängigen Brutvögeln wird mit den Kosten eines Ersatznahrungsproduktes multipliziert, um die COI zu schätzen. Damit sind lediglich die Materialkosten für die Ersatznahrung abgedeckt – die Nahrung müsste für die Brutvögel in einem zweiten Schritt bereitgestellt bzw. Jungvögel damit gefüttert werden – für die Erweiterung der COI mit diesen Ausbringungskosten kann ein grober Richtwert ermittelt werden.

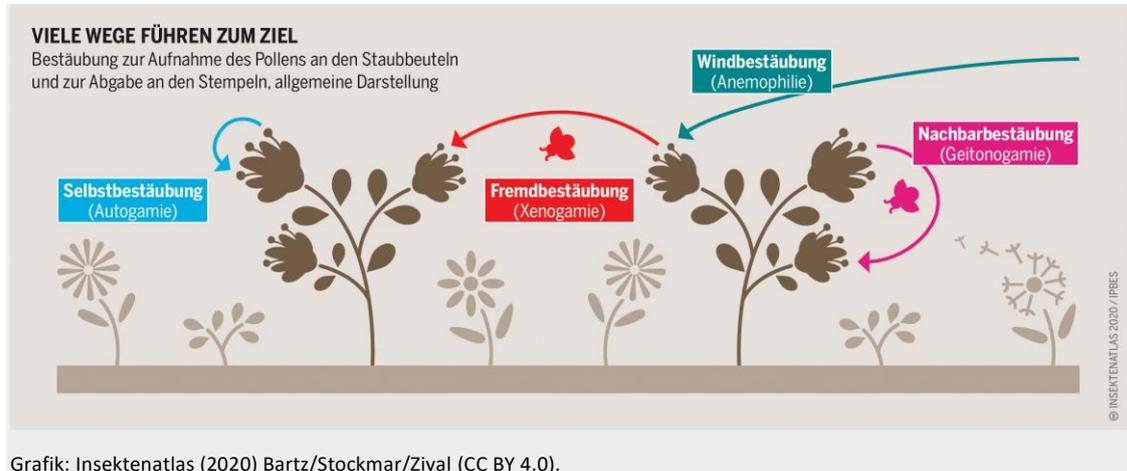
## 2.1. Szenario A «Ersatz der Bestäuberleistung von Insekten»

### 2.1.1. Einleitung

Eine gute Übersicht zum aktuellen Forschungsstand bezüglich Insekten und Ökosystemleistungen (ÖSL) findet sich bei Noriega et al. (2018) und Hansjürgens et al. (2019). Erste Grundlagen zur ökonomischen Inwertsetzung von ÖSL publizierten Losey & Vaughan (2006). Der IPBES-Bericht zur Bestäubung (2016) beleuchtet verschiedene Methoden der ökonomischen Inwertsetzung von Bestäubungsleistungen detaillierter. Die sogenannten «replacement costs» messen künstliche (z.B. Bestäubung per Hand) oder ergänzende Bestäubungsleistungen, wie sie im vorliegenden Bericht als COI-Szenarien berechnet werden. Vorausgesetzt wird bei dieser Methode, dass die Ersatzleistungen gleichwertig bzw. mindestens gleich effektiv sind wie die Wildbestäubung und dass die Produzenten bei den heutigen Anbaukulturen verbleiben.

#### **Exkurs: Die Bestäubungsmechanismen bei Nutzpflanzen**

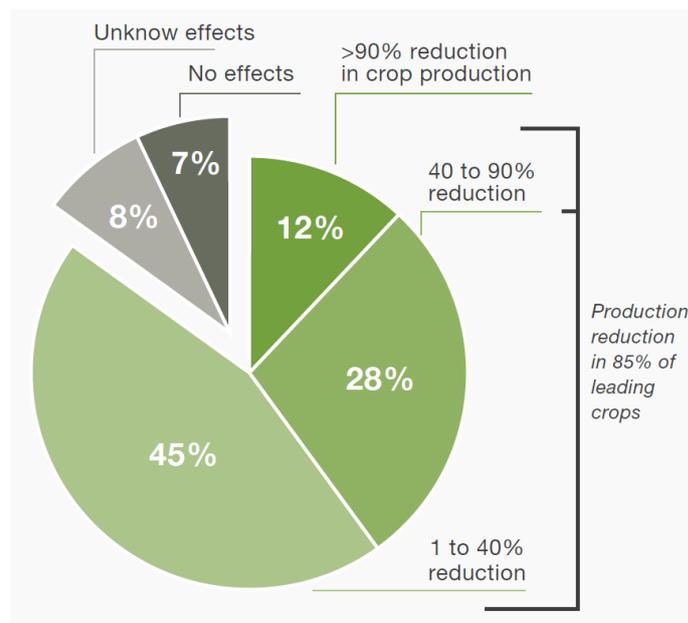
Grundsätzlich wird bei der Pflanzenbestäubung zwischen abiotischer (durch Wind und Wasser, ca. 10% der Pflanzen) und biotischer Bestäubung durch Tiere (90% der Pflanzen) unterschieden. Weltweit sind rund 80% aller Wild- und Kulturpflanzen insektenbestäubt, in den gemäßigten Breiten sind sogar 88% aller Blütenpflanzen insektenbestäubt (Widmer & Mühlethaler et al. 2021). Nur wenige Bestäuberinsekten können domestiziert werden, so die Honigbiene, gewisse Hummelarten und einige weitere Arten solitärer Wildbienen. Sowohl Wildbestäuber als auch Honigbienen und weitere gezüchtete Bienen tragen in verschiedenem Masse zur Bestäubung bei und spielen eine wichtige Rolle. Ertragsmengen und Qualität der Ernteprodukte hängen wesentlich sowohl von der Bestäuberdichte als auch vom Zusammenspiel und der Diversität der Bestäuberinsekten ab. Eine diverse Bestäubergemeinschaft aus unterschiedlichen Arten(gruppen) ist im Allgemeinen effizienter und trägt zu einem stabileren Ertrag bei als eine einzelne Bestäuberart, auch wenn sie (z.B. Honigbienen) in hohen Dichten vorhanden ist.



### Bedeutung der Wildbestäuber für insektenbestäubte Nutzpflanzen

Von den 107 weltweit am häufigsten angebaute Kulturpflanzen werden 91 in unterschiedlichem Ausmass durch Insekten bestäubt. Die untenstehende Grafik zeigt das Risiko einer Einbusse in der Produktion von Nahrungsmitteln für den Menschen bei einem Wegfall dieser Bestäubungsleistung auf. Die potenziellen Produktionseinbußen spielen v.a. für die menschliche Versorgung mit Proteinen, Vitaminen und Eisen eine wichtige Rolle.

**Abbildung 1: Abhängigkeit von tierbestäubten Kulturen für die menschliche Nahrungsmittelproduktion hinsichtlich des Produktionsertrags**



Grafik: IPBES 2016 nach Klein et al. 2007. Lesebeispiel: 12% der Kulturen erleiden bei einem Wegfall der Tierbestäubung eine Produktionseinbusse von mehr als 90%.

In unseren Breitengraden sind die relevantesten Bestäubergruppen die Bienen (Honig- und Wildbienen) sowie als zweitwichtigste Gruppe die Fliegen, gefolgt von Schmetterlingen, Wespen und Käfern. Lange hielt man die Honigbiene für die wichtigsten Bestäuber. Rader et al. (2016) stellten jedoch in einer Metastudie fest, dass ein Viertel bis zur Hälfte aller Blütenbesuche auf andere Bestäuber als die Honigbiene entfallen. Dabei ist die Anzahl Blütenbesuche nicht mit hoher Bestäubungseffektivität gleichzusetzen. Mittlerweile ist bekannt, dass Wildbienen in vielen Fällen effizienter bestäuben. Gemessen an der Pollenablage bestäuben Wildbienen in bestimmten Obstkulturen im Schnitt 1.5- bis 2-mal so effektiv (Pollenablage) wie Honigbienen (Reilly et al. 2020). In der letztgenannten Studie war der Gesamtbeitrag von Wildbienen an der Gesamtbestäubungsleistung in den meisten untersuchten Kulturen gleich oder höher als derjenige der Honigbiene. Sutter et al. (2021) schätzen die Bestäubung durch Insekten der meisten untersuchten Kulturen (Apfel, Kirsch, Raps, Ackerbohne, Himbeeren) in der Schweiz derzeit als relativ gut ein. Wenn bestäubungsbedingte Ertragslimitierungen festgestellt wurden, konnten sie über eine unterschiedliche Anzahl Honigbienen bzw. eine unterschiedliche Anzahl und Diversität von Wildbienen erklärt werden. Auch diese Studie stellt fest, dass die Honigbiene durchschnittlich für rund 50% der Blütenbesuche verantwortlich war.

Die Bestäubung und folglich die Ernte ist am erfolgreichsten, wenn die Kulturen von vielen Bienenarten besucht werden: ein hoher Artenreichtum beeinflusst die Bestäubungsleistung positiv. Dies kommt dadurch zustande, dass sich die verschiedenen Bestäuber ergänzen und verschiedene funktionelle Nischen besetzen: sie fliegen zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten, sind bei verschiedenen Wetterbedingungen aktiv und gehen bei der Nahrungssuche unterschiedlich vor, weisen differenzierte anatomische Eigenheiten auf und dabei haben sich im Laufe der Zeit auch sehr spezifische Beziehungen zwischen Pflanzen und Bestäubern ausgebildet. Jede Art hat ihre Funktion und Aufgabe und kann nicht ohne Weiteres durch eine andere Art ersetzt werden.

Um die Vielfalt von Wildbestäubern zu veranschaulichen, zeigt das folgende Beispiel, wie viele verschiedene Wildbienenarten auf Apfelblüten fliegen: zwei Arten Mauerbienen (die auch kommerziell gezüchtet werden können), sechs Arten Sandbienen, zwei Arten Furchenbienen, die Frühlings-Pelzbiene, vier Arten Schmalbienen sowie acht Hummelarten (Westrich 2018). Blühende Massentrachten wie Raps, Sonnenblume oder Phazalie können während einer begrenzten Zeitperiode gute Pollen- und Nektarquellen für verschiedene Wildbienenarten darstellen; so nutzen beispielsweise Hummeln grossflächige, blühende Rapsfelder über weite Distanzen (Zurbuchen & Müller 2012). Westrich (2018) nennt gar 64 verschiedene Wildbienenarten, welche von der drei- bis fünfwöchigen Rapsblüte profitieren können. Die Zusammensetzung von Bestäubergemeinschaften ist je nach Kultur sehr unterschiedlich (Sutter et al. 2021).

Nebst der Artenvielfalt, welche das Zusammenspiel verschiedener Bestäuberinsekten ermöglicht, spielt auch die Bestäuberdichte (Abundanz) eine Rolle für die Bestäuberleistung. Selbst wenn die Honigbiene häufig ist, kommt blütenbesuchenden Wildbienen und Schwebfliegen eine wichtige Rolle bei der Bestäubung von landwirtschaftlichen Kulturen zu (Garibaldi et al. 2011). Für eine stabile Ertragsproduktion sind Wildbestäuber unentbehrlich, und ihre Bestäubungsleistung kann nur teilweise durch die domestizierte Honigbiene oder weitere züchtbare Insekten abgedeckt werden.

Flächenmässig betrachtet sind in der Schweiz die wichtigsten insektenbestäubten Ackerkulturen Raps, Sonnenblume und Ackerbohne. Hinzu kommen alle Obstsorten im kommerziellen Anbau, sowie ein- und mehrjährige Beeren (Sutter et al. 2017). Die nachfolgende Übersicht zeigt die relevantesten Bestäubergruppen ausgewählter Kulturen:

**Abbildung 2: Übersicht relevante Bestäuberinsekten nach Kulturen**

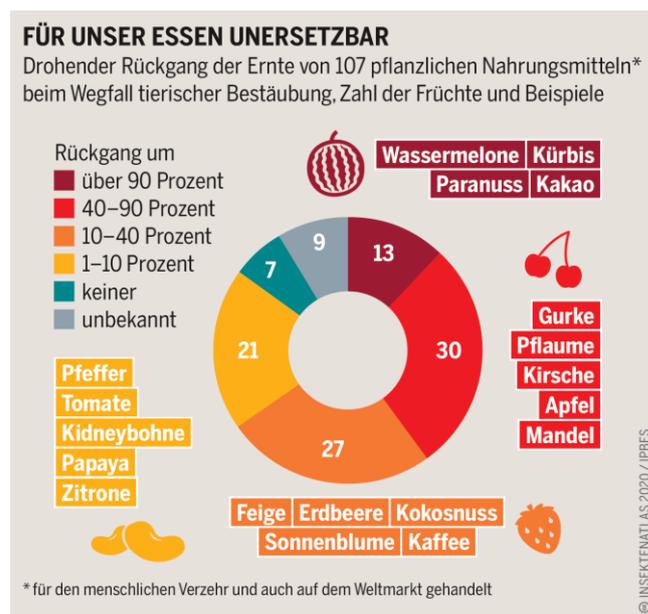
	solitäre					
	Honigbiene	Wildbienen	Hummeln	Fliegen	Schwebfliegen	Fransenflügler
<b>Kernobst</b>						
Äpfel	●	●	●		●	
Birnen	●	●	●	●		
<b>Steinobst</b>						
Süskirschen	●	●	●	●		
Sauerkirschen	●	●	●	●		
Pflaumen / Zwetschgen	●	●	●	●		
<b>Strauchbeeren</b>						
Heidelbeeren	●	●	●			
Johannisbeeren	●	●	●			
Stachelbeeren	●	●	●			
Erdbeeren	●	●	●		●	
Himbeeren	●	●	●		●	
<b>Gemüse</b>						
Gurken	●	●	●			
Kürbisse (inkl. Zucchini)	●	●				
Grüne Bohnen	●		●			●
Tomaten	●	●	●			
Paprika/Peperoni	●	●	●		●	
<b>Ackerfrüchte</b>						
Raps	●	●	●		●	
Sonnenblumen	●	●	●			
Ackerbohne	●	●	●			
Soja	●	●	●			

Grafik: faunatur/Infras (Quelle: Oré Barrios et al. 2017).

Für das COI-Szenario betrachten wir den Bestäubungsbeitrag der Wildbestäuber, da diese Leistung vom Insektensterben bedroht ist. Für die Modellierung wird davon ausgegangen, dass der Bestäubungsanteil der Honigbiene konstant bleibt.

Auch ohne Bestäubungsleistung durch Insekten bilden viele Kulturen ein bestimmtes Erntevolumen aus (Aizen et al. 2009). Weltweit würde die landwirtschaftliche Produktion ohne Insektenbestäubung um etwa 5-8% zurückgehen (IPBES 2016). Beispielsweise benötigen Getreide, Reis, Kartoffeln und Mais keine Insektenbestäubung. Der sogenannte Abhängigkeitsfaktor von insektenbestäubten Kulturen ist unterschiedlich und reicht von «kaum abhängig» wie bspw. bei Tomaten bis zu «in sehr hohem Masse abhängig» bei den Kürbis- und Melonengewächsen (Gallai et al. 2009 und Klein et al. 2007). Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die Bestäubungsabhängigkeit verschiedener Nutzpflanzen.

**Abbildung 3: Bestäubungsabhängigkeit verschiedener Nutzpflanzen**



Grafik: Insektenatlas (2020) Bartz/Stockmar/Ziyal (CC BY 4.0).

### Insektensterben – Rückgang Wildbestäuber

Dass weltweit bereits ein dramatischer Rückgang vieler Insektengruppen stattgefunden hat und weiterhin stattfindet, wurde wissenschaftlich in den vergangenen letzten Jahren immer besser belegt. Dies betrifft in besonderem Ausmass Insektengruppen, welche für die Bestäubung unserer Kulturen zentral sind: der IPBES-Bericht stellte 2016 für Wildbestäuber sowohl hinsichtlich Artenvielfalt (Diversität) als auch hinsichtlich Häufigkeit (Abundanz) einen Rückgang in unseren Breitengraden fest. In Grossbritannien und den Niederlanden wurde in mehr

als der Hälfte der Untersuchungsflächen ein signifikanter Rückgang des Artenreichtums von Wildbienen (meist um mehr als die Hälfte der vorkommenden Arten) beobachtet und eine Verschiebung der Artenzusammensetzungen bei Wildbienen und Schwebfliegen festgestellt (Biesmeijer et al. 2006). In der sogenannten Münchner Studie (Seibold et al. 2019) wurde belegt, dass in den beiden Lebensräumen «Wiese» und «Wald» innert nur zehn Jahren etwa ein Drittel der Insektenarten verschwunden ist. Alarmierend ist auch der Rückgang der Insekten-Biomasse: sie ist in zehn Jahren im Wald um etwa 40 Prozent zurückgegangen, in Wiesen gar um zwei Drittel. Auch diese Studie stellt hinsichtlich Artenzusammensetzung eine Homogenisierung und Trivialisierung fest; Spezialisten nehmen ab und die Artenzusammensetzungen werden gleichförmiger. Eine weitere, kürzlich veröffentlichte Langzeituntersuchung aus Süddeutschland zeigt auch für die wichtige Bestäubergruppe der Schwebfliegen, dass die Biomasse wandernder Schwebfliegen seit 1970 um rund 90% abgenommen hat (Gatter et al. 2020).

Für die Schweiz gibt es zum Insektenschwund allgemein oder spezifisch zum Rückgang von Bestäubergruppen kein spezifisches Monitoring; eine Übersicht zu vorhandenen Datengrundlagen findet sich in Widmer & Mühlethaler et al. (2021). Das Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM-CH) überwacht als einzige Bestäubergruppe die Tagfalter, deren Bedeutung als Bestäuber von Wild- und Kulturpflanzen jedoch gering ist. Verschiedene Grundlagen und Forschungsergebnisse lassen darauf schliessen, dass auch in der Schweiz bereits ein besorgniserregender Rückgang stattgefunden hat und weiterhin stattfindet: so gelten 60% unserer Insektenarten als gefährdet (Faktenblatt scnat 2019, Basis Rote Listen CH 2010). Bei den Wildbienen, welche mit 615 in der Schweiz vorkommenden Arten eine Schlüsselrolle in der Bestäubung einnehmen, wurden 1994 in der Roten Liste 45% als gefährdet eingestuft und Fachleute gehen davon aus, dass sich die Situation seither weiter verschlechtert hat. Derzeit wird die Einschätzung des Gefährdungsgrades der Wildbienen aktualisiert.

### 2.1.2. Denkmodell Ursache-Wirkung und Grenzen der Szenarienansätze

Angesichts des beobachtbaren Insektensterbens ist für die Schweiz die Bestäubungsleistung von Insekten (ohne die Honigbiene) für wichtige, insektenbestäubte Kulturpflanzen von Interesse. Diese verschiedenen Bestäubergruppen fassen wir unter dem Begriff «Wildbestäuber» zusammen. Das Referenzszenario für die Berechnung der Costs of Inaction (COI) bildet der aktuelle Status quo. Die diversen getroffenen Annahmen für die abgeleiteten Szenarien beruhen auf dem aktuellen Wissensstand.

Beim Eintreten eines bestimmten COI-Szenarios würden weitere Faktoren jedoch auch eine Rolle spielen, welche wir bei unserer Betrachtung nicht miteinbeziehen. Ein Produktionsrückgang infolge mangelnder Bestäubungsleistung (die in unseren COI-Szenarien durch Alterna-

tiven mit Zusatzkosten substituiert werden) hat Einbussen der Ertrags Erlöse zur Folge. Vermutlich würden in der Landwirtschaft adaptive Strategien bei der Landnutzung oder bei Anbaukulturen erfolgen.

Die mit dem Insektensterben verminderte Bestäubungsleistung kann man mit verschiedenen Massnahmen aufzufangen versuchen. Die damit verbundenen Kosten einer alternativen Bestäubung sind abhängig von der gewählten Bestäubungsmethode. Die Varianten «Handbestäubung» sowie «Bestäubung durch züchtbare Insekten» sind teilweise bereits heute in Anwendung. Daneben sind andere technische Lösungen denkbar, welche in der Schweiz (noch) nicht eingesetzt werden oder sich erst in der Entwicklungsphase befinden und noch nicht praxisreif sind.

Auch bestehen hinsichtlich Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen dem prognostizierten Rückgang von Wildbestäubern auf die tatsächliche Bestäubungsleistung Wissenslücken. Auf Basis des aktuellen Wissensstands kann nicht genau quantifiziert werden, in welchem Ausmass ein Rückgang der Artenvielfalt und/oder der Individuendichte und/oder Veränderungen in den Artenzusammensetzungen die Bestäubungsleistung beeinflussen. Dazu sind die biologischen Vorgänge der Bestäubung sowie das Zusammenspiel von verschiedenen Bestäuberinsekten zu komplex und bezüglich dieser Fragestellungen noch zu wenig erforscht. **Für die COI-Szenarien gehen wir von der vereinfachten Annahme aus, dass ein Rückgang der Wildbestäuber in der Gesamtheit einen linearen Rückgang ihres Bestäubungsanteils zur Folge hat.**

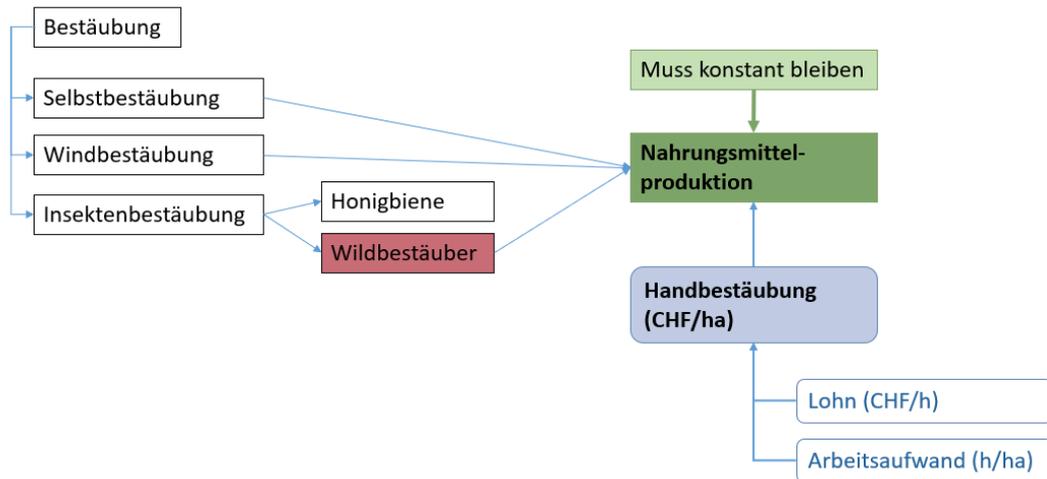
Ebenso bestehen hinsichtlich der tatsächlichen Bestäuberleistung von Wildbestäubern Wissenslücken – nach Oré Barrios et al. (2017) müsste der genaue Bestäubungsanteil ohne Honigbiene regional und zu verschiedenen Jahreszeiten bzw. Blühsaisons ermittelt werden.

Die ausgewählten COI-Szenarien beziehen sich auf einen künftigen Zeitpunkt, gedanklich in etwa 20-30 Jahren. Für die Berechnungen werden heutige Preisrichtwerte verwendet.

#### **Szenario A-1: Die Bestäubung von wesentlichen Nutzpflanzen erfolgt manuell.**

Weltweit gesehen werden bereits heute Anteile gewisser Kulturen (Apfel, Kürbis, Kirsche und Kiwi) in über 20 Ländern von Hand bestäubt (Insektenatlas, 2020). Wir betrachten für wichtige, insektenbestäubte Kulturen der Schweiz, wie gross die Anbaufläche der jeweiligen Kultur ist, welche alternativ von Hand bestäubt werden müsste. Ausgehend vom prognostizierten Wegfall der Bestäubungsleistung der Wildbestäuber gegenüber heute, dem Aufwand für die Handbestäubung (Personentage) und unter der Annahme durchschnittlicher Lohnkosten können die entstehenden Kosten berechnet werden. Es wird vorausgesetzt, dass die heutige Anbaufläche und die Ertragsproduktion konstant bleiben.

Abbildung 4: Denkmodell Ersatz Wildbestäubungsleistung durch Handbestäubung

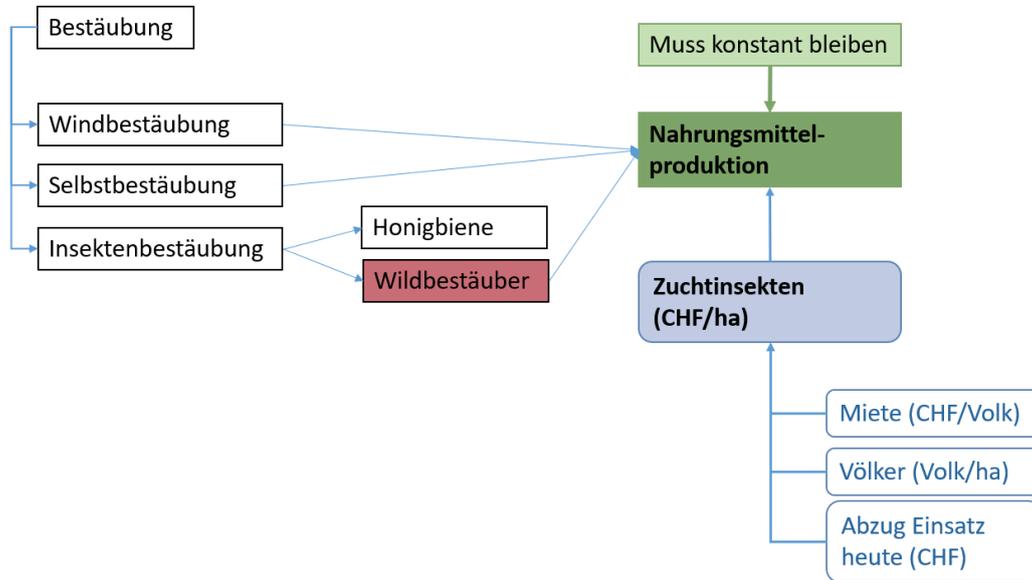


Grafik INFRAS.

### Szenario A-2: Die Bestäubung von wesentlichen Nutzpflanzen wird durch züchtbare Insekten ersetzt.

Bereits seit Jahrzehnten werden Mauerbienen und Hummeln in Plantagen eingesetzt (Westrich 2018). Wie für die Honigbiene (Wanderimkerei) existieren für diese Zuchtbestäuber zunehmend kommerzielle Angebote. Wie beim Szenario A-1 können unter Annahme von Besatzdichten der Zuchtbestäuber und den entsprechenden jährlichen Mietkosten für Zuchtinsekten die Kosten für eine alternative Bestäubung unter denselben Rahmenbedingungen berechnet werden. Bei der Berechnung der COI in diesem Szenario werden die Kosten der bereits heute im Einsatz befindlichen Zuchtinsekten (soweit bekannt) subtrahiert.

Abbildung 5: Denkmodell Ersatz Wildbestäubungsleistung durch Zuchtinsekten



Grafik INFRAS.

### Exkurs: Ersatz der Wildbestäubungsleistung durch technische Hilfsmittel

Neben der Handbestäubung und dem Einsatz züchtbarer Insekten gibt es verschiedene technische Lösungsansätze, an welchen geforscht oder die in der Praxis teilweise schon umgesetzt werden. In einer Welt ohne Insekten könnten möglicherweise Roboterbienen Bestäubungsleistungen übernehmen – an der technischen Umsetzung wird beispielsweise an der Harvard Universität seit Jahren geforscht; ein möglicher Praxiseinsatz ist jedoch noch 20-30 Jahre entfernt. Eine andere technische Bestäubungsalternative ist das «pollen dusting»: dabei werden Pollen mit Leichtflugzeugen (oder auch mittels Drohnen) über die zu bestäubenden Kulturen ausgebracht. Gegenüber der Insektenbestäubung wurden hierbei eine deutlich verminderte Fruchtbildung und ein vermindertes Fruchtgewicht festgestellt. Kürzlich wurde auch über Versuche mit pollenbeladenen Seifenblasen zur Bestäubung von Birnenbäumen berichtet (NZZ, 18.6.2020).

#### 2.1.3. Modellierung COI alternative Bestäubung

Die Fläche, welche in der Schweiz durch Wildbestäuber bestäubt wird ( $F_{WBK}$ ), berechnet sich aus der Anbaufläche der Kultur ( $F_K$ ), welche mit dem Abhängigkeitsfaktor ( $\alpha_i$ ) und dem Anteil der Wildbestäuber an der Gesamtbestäubungsleistung ( $WB_K$ ) multipliziert wird. Der Abhängigkeitsfaktor  $\alpha_i$  zeigt an, wie hoch die Produktionsabhängigkeit der jeweiligen Anbaukultur von

der Insektenbestäubung ist. Der Anteil Wildbestäuber gibt an, wie hoch der Wildbestäuberanteil an der Gesamtbestäubung einer Kultur ist (die restliche Bestäubungsleistung wird der Honigbiene zugeschrieben).

$$F_{WBK} = F_K * \alpha_i * WB_K$$

Der Anteil an Kulturfläche (AF), welcher wildbestäubt und damit vom Insektenrückgang betroffen und alternativ bestäubt werden müsste, berechnet sich aus dem Faktor des Rückgangs der Wildbestäuber ( $R_{WB}$ ) und der wildbestäubten Anbaufläche ( $F_{WBK}$ ).

$$AF = F_{WBK} * R_{WB}$$

#### **Bestäubung von wesentlichen Nutzpflanzen erfolgt manuell:**

Die COI ergeben sich aus der Multiplikation der Bestäuberrate pro Kultur (BRK), der Anzahl Bestäubungsdurchgänge (S) und der veranschlagten Lohnkosten (L). Die Bestäuberrate gibt an, mit wie vielen Stunden für die Handbestäubung pro Kulturfläche gerechnet werden muss.

$$K_{Hand} = BR_K * S * L$$

Die Kulturfläche, welche von Hand bestäubt werden muss, multipliziert mit den Kosten pro Hektare ergeben die Kosten für die einzelnen Kulturen. Um die gesamten Kosten zu berechnen, müssen die Werte aller Kulturen aufsummiert werden.

$$\text{Cost of Inaction} = \sum (\text{Fläche alternative Bestäubung } (F_{WBK}) * \text{Rückgang Wildbestäuber } (R_{WB}) * \text{Kosten pro Hektar } (K_{Hand}))$$

#### **Bestäubung von wesentlichen Nutzpflanzen wird durch züchtbare Insekten ersetzt:**

Die Kulturfläche, welche durch Zuchtinsekten bestäubt werden muss, wird mit der Anzahl benötigter Zuchtinsekten pro Hektar je Kultur ( $Z_k$ ), dem Preis pro Zuchteinheit ( $P_z$ ) und dem Faktor des Einsatzes von Zuchtinsekten heute ( $1-Z_i$ ) multipliziert, um die Kosten pro Kultur ( $K_{Zucht}$ ) zu erhalten.

$$K_{Zucht} = (Z_k * P_z) * (1-Z_i)$$

Die Summe aller Kulturen ergibt die COI.

$$\text{Cost of Inaction} = \sum (\text{Fläche alternative Bestäubung } (F_{WBK}) * \text{Rückgang Wildbestäuber } (R_{WB}) * \text{Kosten pro Hektar } (K_{Zucht}))$$

#### 2.1.4. Sensitivitäten

Der Anteil der Wildbestäuber pro Kultur ( $WB_K$ ) wird mit 50% als realistischem Wert veranschlagt. Gemäss diverser Literaturangaben könnte dieser Anteil jedoch auch etwas höher oder niedriger liegen und damit der Bestäuberanteil  $WB_K$  80% (bei hoher Effizienz und Effektivität

und geringer Honigbienendichte) oder 20% (wenige Wildbestäuber vorhanden, viele Honigbienen) betragen. Zusätzlich zur favorisierten Annahme eines 50%-Anteils der Wildbestäuber wurden entsprechend für die COI-Bandbreiten für  $WB_K$ -Werte von 0.8 und 0.2 berechnet.

Der Rückgang der Wildbestäuber zu einem zukünftigen Zeitpunkt wird bezogen auf den Status quo ( $R_{WB} = 0$ , kein Rückgang) mit 50% ( $R_{WB} = 0.5$ ) als realistisches Szenario veranschlagt. Ein Totalverlust der Bestäuberleistung entspräche  $R_{WB} = 1$ . Zusätzlich zur favorisierten Annahme des 50%igen Rückgangs wurden für die COI-Bandbreiten für  $R_{WB}$ -Werte von 0.2, 0.8 sowie 1.0 berechnet.

Natürlich haben die veranschlagte Bestäuberrate, die hinterlegten Lohnkosten sowie Besatzdichten und Mietkosten von Zuchtinsekten einen hohen Einfluss auf die COI-Berechnung. Wir haben die getroffenen Annahmen plausibel auf dem aktuellen Wissensstand begründet und verzichten auf Variationen bei diesen Indikatoren.

#### 2.1.5. Datenquellen und Annahmen der Berechnungsindikatoren

Als Grundlage für die Berechnungen der COI der genannten Szenarien wurden die aktuellen Anbauflächen einzelner insektenbestäubter Kulturen (Obst, Gemüse, tw. Ackerfrüchte) aus dem Agrarbericht 2019 verwendet (Agrarbericht 2019a, 2019b). Dabei wurde ein Flächenbedarf von 0.01 ha pro Hochstammobstbaum eingesetzt, um von der Anzahl Obstbäumen auf die Anbauflächen zu schliessen.

Der Abhängigkeitsfaktor  $\alpha_i$  der Insektenbestäubung zeigt an, wie stark die Produktion einer jeweiligen Kultur von der Insektenbestäubung abhängt. Für die betrachteten Kulturen wurden die Werte aus Oré Barrios et al. (2017, nach Gallai et al. 2009 und Klein et al. 2007) entnommen und mit Angaben aus Aizen et al. (2009) ergänzt.

Der Indikator des Anteils Wildbestäuber pro Kultur beschreibt den quantitativen Anteil der Wildbestäuber an der gesamten Bestäuberleistung. Ein Wert von 0 bedeutet, dass keine Wildbestäuber, sondern nur Honigbienen, ein Wert von 1, dass 100% Wildbestäuber für die Bestäubung verantwortlich sind. Wir rechnen mit einem Wert von 0.5 (50% Wildbestäuber, 50% Honigbiene) aufgrund von Angaben aus Reilly et al. (2020), dem Massnahmenbericht Bienen-gesundheit (2016) sowie aus Rader et al. (2016).

Der Faktor Rückgang der Wildbestäuber ( $R_{WB}$ ) beschreibt den vermuteten Rückgang der Wildbestäuber zu einem künftigen Zeitpunkt gegenüber heute und wird mit einem linearen Rückgang ihrer Bestäuberleistung gleichgesetzt. Die konkreten Annahmen basieren auf Ergebnissen verschiedener nationaler und internationaler Publikationen zum Insektenrückgang (Verweis auf die Ausführungen im Kapitel 2.1.1). Unter anderem zeigt der IPBES-Bericht zum Zustand der Bestäuberinsekten, dass Wildbestäuber in Nordwesteuropa und Nordamerika sowohl

auf lokaler als auch auf regionaler Ebene an Vorkommen und Vielfalt (und bei bestimmten Arten auch an Häufigkeit) abgenommen haben (IPBES, 2019). Wir gehen auf Basis der verfügbaren Projektionen für die COI-Berechnung von einem künftigen Rückgang der Wildbestäuber um 50% aus (0.5).

#### **Szenario A-1: Die Bestäubung von wesentlichen Nutzpflanzen erfolgt manuell.**

Allsopp et al. (2008) berechneten in ihrer Studie für die Bestäubung einen «replacement value» auf Basis von Handbestäubung. Typischerweise sind pro Kultur im Minimum zwei manuelle Bestäubungsdurchgänge notwendig, um die Bestäubung während der verschiedenen Blühstadien über die Blühdauer hinweg abzudecken. Für die Handbestäubung braucht es bei selbststerilen Pflanzen (fast alle Apfel-, Birnen- und Süsskirschensorten) Pollen von Kreuzbestäubern, welcher zuerst gesammelt werden muss. Danach kann der ausgelöste Pollen auf die zu bestäubenden Blüten mit einem Pinsel aufgebracht werden. Im Normalfall werden die Kreuzblütler in derselben Plantage angepflanzt, damit die räumliche Nähe die Bestäubung ermöglicht. Wir gehen bei den Berechnungen von drei benötigten Bestäubungsdurchgängen aus, damit mit sorgfältiger manueller Bestäubung ein gleichwertiges Resultat wie bei einer Wildbestäubung erzielt werden kann.

Zur Schätzung des Arbeitsaufwandes für die Bestäubung nehmen Allsopp et al. (2008) den Arbeitsaufwand der Ernte als Ausgangslage und kommen so auf eine durchschnittliche Bestäuberrate von 180 Personentagen pro Hektar Apfelkultur oder 60 Minuten pro Apfelbaum. Diese Bestäuberrate gibt an, wie lange eine Person benötigt, um eine Hektare einer ausgewählten Kultur von Hand zu bestäuben. Den Annahmen von Allsopp et al. (2008) folgend, rechnen wir für unsere COI-Berechnungen bei Hochstammobstplantagen (bei einer Dichte von 100 Bäumen pro Hektar und einer Bestäuberrate von 20 Bäumen pro Tag) mit einer Bestäuberrate von 40 h pro Hektar. Beim restlichen Baumobst (Niederstammkulturen mit einer Dichte von 2'500 Bäumen pro Hektar) und den weiteren ausgewählten Kulturen beträgt die Bestäuberrate 960 h pro Hektar.

In die Berechnungen fliessen Lohnkosten für die manuelle Bestäubung mit einem Bruttostundenlohn von CHF 17.50 ein. Dieser Wert berechnet sich aus dem Richtlohn von Agrimpuls für landwirtschaftliche und bäuerlich-hauswirtschaftliche Betriebsangestellte mit Teilprüfung, LAP 1 oder eidgenössischem Berufsattest EBA mit weniger als 5 Jahren Berufserfahrung (agripuls 2020).

### Szenario A-2: Die Bestäubung von wesentlichen Nutzpflanzen wird durch züchtbare Insekten ersetzt.

Schon seit langer Zeit werden neben der domestizierten Honigbiene auch andere züchtbare Bienen als zusätzliche Bestäuber eingesetzt. Dies betrifft im Kern- und Steinobstanbau in der Schweiz v.a. die beiden Mauerbienenarten *Osmia cornuta* und *Osmia rufa*. Aufgrund ihres geringeren Aktionsradius von 50-200 m fliegen sie in derselben Zeit mehr Blüten an als die Honigbiene. Im Beeren- und Gemüseanbau (vorwiegend in Gewächshäusern) wird die Dunkle Erdhummel (*Bombus terrestris*) eingesetzt – einerseits ist sie in Gewächshäusern einfacher zu halten als die Honigbiene, andererseits vermag sie die von manchen Gemüsearten benötigte Vibrationsbestäubung (aufgrund des fehlenden Windes) zu erbringen.

Die nachfolgende Übersicht zeigt die Einsatzmöglichkeiten der beiden Mauerbienenarten sowie der Erdhummel im Obst- und Gemüseanbau:

**Abbildung 6: Einsatzmöglichkeiten der beiden Mauerbienenarten sowie der Erdhummel im Obst- und Gemüseanbau**

	Gehörnte Mauerbiene	Rostrote Mauerbiene	Dunkle Erdhummel
<b>Kernobst</b>			
Äpfel	●	●	
Birnen	●	●	●
<b>Steinobst</b>			
Süsskirschen	●		
Pflaumen / Zwetschgen	●		
Aprikosen	●		
Pfirsiche, Nektarinen			●
<b>Strauchbeeren</b>			
Blaubeeren GH			●
Johannisbeeren GH			●
Stachelbeeren GH			●
Erdbeeren GH			●
<b>Gemüse</b>			
Kürbisse (inkl. Zucchini) GH			●
Tomaten GH			●
Paprika/Peperoni GH			●
Aubergine GH			●

Grafik: faunatur/Infras (Quelle: Hölzer & Hemmer 2019, pollinature.net).

Die Zuchtinsekten können im kommerziellen Handel gemietet werden. Im zeitigen Frühjahr werden in Obstkulturen zu Blühbeginn Kokons von Mauerbienen ausgebracht, aus welchen adulte Mauerbienen schlüpfen. Der Vertrieb erfolgt als Abonnement inklusive Bereitstellen der

Zuchteinheit (Bsp. «OsmiPro»), Rücktransport, Auslese und Überwinterung der Kokons für einen neuen Einsatz im Folgejahr.

Die Menge der empfohlenen Zuchteinheiten pro Kultur entspricht der Besatzdichte pro Flächeneinheit unter der Voraussetzung, dass die Bestäubung ergänzend zu Honigbienen und vorkommenden Wildbestäubern verbessert werden soll. Da in unserem Szenario die anteilmässige Bestäubungsleistung der Wildbestäuber vollständig ersetzt werden soll, werden die Besatzempfehlungen der kommerziellen Anbieter bei Volleinnetzung verwendet. Für Mauerbienen sind dies im Kernobst 3.5 Zuchteinheiten/ha, im Steinobst 6 Zuchteinheiten/ha und in Strauchbeeren 3.5 Zuchteinheiten/ha. Für Erdhummeln verwenden wir beim Gemüse (im Gewächshaus) 4.5 Einheiten/ha. Für die Ackerfrüchte rechnen wir ebenfalls mit dem Einsatz von Mauerbienen mit 4 Einheiten/ha. Die qualitativen und quantitativen Angaben zum Einsatz und den Besatzdichten von Mauerbienen und Erdhummeln stammen von Hölzer & Hemmer (2019) sowie der mündlichen Auskunft von Herrn T. Strobl (Wildbiene + Partner AG, Interview vom 24.9.2020). Die beiden vorgenannten Quellen dienten ebenfalls der Angabe zum Preis der Zuchteinheiten: eine Mauerbienen-Zuchteinheit «OsmiPro» wird mit jährlich 180 CHF (Vollservice) veranschlagt, eine Erdhummel-Zuchteinheit «MultiHive» kostet jährlich 200 CHF.

Der heutige Einsatz von Mauerbienen in der Schweiz liegt gemäss Einschätzung von Experten von Wildbiene + Partner AG bei Kirschen bei rund 20-30% der Anbaufläche, bei Äpfeln und Birnen vermutlich etwa bei 10% und bei den restlichen Kulturen deutlich darunter oder es findet noch kein Einsatz von Mauerbienen statt. Für die COI-Berechnungen wurden folgende Anteile im Referenzszenario gesetzt (zählt nicht zu den COI, da schon heute real): Äpfel und Birnen 0.1 (10%), Süsskirschen 0.25 (25%), Pflaumen, Sauerkirschen und Erdbeeren 0.05 (5%), restliche Kulturen 0. Für die Hummeln waren entsprechende Werte mit vertretbarem Aufwand nicht in Erfahrung zu bringen, weshalb wir ihren Anteil des heutigen Einsatzes in den COI-Berechnungen auf 0 setzen.

### 2.1.6. Ergebnisse

**Tabelle 1: Schätzung der jährlichen Kosten des Nichthandelns mit verschiedenen Sensitivitäten für die manuelle Bestäubung (zu heutigen Preisniveaus, auf Zehner gerundet)**

COI [Mio. CHF]		Rückgang Wildbestäuber			
		$R_{WB}$			
		1	0.8	0.5	0.2
Anteil Wildbestäuber pro Kultur $WB_K$	0.8	730	580	360	150
	0.5	450	360	<b>230</b>	90
	0.2	180	150	90	40

Tabelle INFRAS. Quelle: INFRAS.

Wenn das Insektensterben wie befürchtet weitergeht, dann sinkt die Bestäuberleistung der Insekten stark. Die COI für die manuelle Bestäubung unserer wichtigsten, insektenbestäubten Kulturen betragen zwischen 40 und 730 Mio. CHF pro Jahr. Wir gehen in unserer «mittleren» Schätzung davon aus, dass rund 50% der Bestäuberleistung der Wildbestäuber wegfallen würde, der Anteil der Honigbienen an der Bestäubungsleistung 50% beträgt und die Lohnkosten mit CHF 17.50 veranschlagt werden. Unter diesen Voraussetzungen belaufen sich die COI der wegfallenden Bestäuberleistung wegen des Insektensterbens auf jährlich rund 230 Mio. CHF.

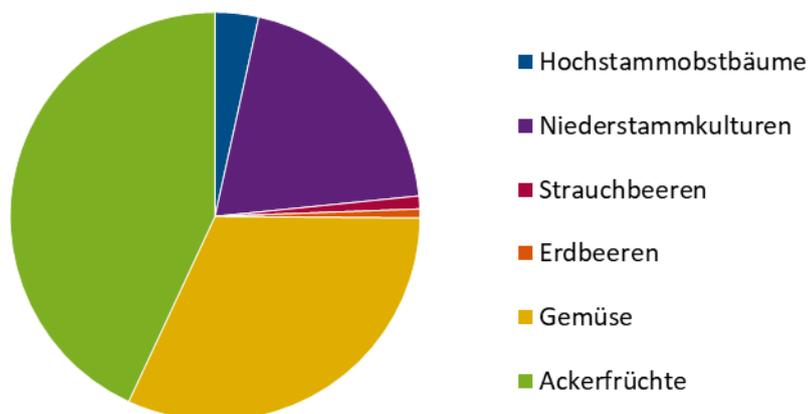
Würden die Wildbestäuberinsekten stärker abnehmen (um 80%) oder gar gänzlich ausfallen, so betragen die COI jährlich rund 360 Mio. CHF (bei 80% Rückgang der Wildbestäuber) bzw. bei einem Totalausfall rund 450 Mio. CHF. Bei einem höheren oder niedrigeren Anteil der Wildbestäuber an der gesamten Bestäubungsleistung variieren die COI-Werte entsprechend.

**Tabelle 2: Schätzung der jährlichen Kosten des Nichthandelns für das Szenario A-1, aufgeschlüsselt nach Überkategorien (WB<sub>K</sub> 0.5, R<sub>WB</sub> 0.5)**

Übergeordnete Kategorie	COI [Mio. CHF]
Hochstammobstbäume	7.8
Niederstammkulturen	45.3
Strauchbeeren	2.3
Gemüse	72.1
Erdbeeren	1.6
Ackerfrüchte	97.7
<b>Total</b>	<b>226.8</b>

Tabelle INFRAS. Quelle: INFRAS.

**Abbildung 7: Aufteilung der jährlichen, geschätzten Kosten des Nichthandelns für Szenario A-1**



Grafik INFRAS. Quelle: INFRAS.

Die manuelle Bestäubung aller Obstbäume würde Kosten in der Höhe von jährlich 53 Mio. CHF verursachen. Davon fällt der Grossteil (45 Mio. CHF) auf die Niederstammkulturen und dort wiederum mit rund 30 Mio. CHF auf den Anteil der Äpfel. Strauchbeeren verursachen zusätzliche Kosten von 2.3 Mio. CHF, mit einem Anteil von 1.4 Mio. CHF der Himbeeren. 1.6 Mio. CHF würde es kosten die Erdbeeren von Hand zu bestäuben. Die manuelle Bestäubung von Gemüse würde 72 Mio. CHF Kosten verursachen, diejenige ausgewählter Ackerfrüchte 98 Mio. CHF. Hierbei umfasst Raps mit 72 Mio. CHF den Grossteil der anfallenden Kosten.

**Tabelle 3: Schätzung der jährlichen Kosten des Nichthandelns mit verschiedenen Sensitivitäten für den Einsatz von Zuchtinsekten (zu heutigen Preisniveaus)**

COI [Mio. CHF]		Rückgang Wildbestäuber			
		$R_{WB}$			
		1	0.8	0.5	0.2
Anteil Wildbestäuber pro Kultur $WB_K$	0.8	17.2	13.8	8.6	3.4
	0.5	10.8	8.6	5.4	2.2
	0.2	4.3	3.4	2.2	0.9

Tabelle INFRAS. Quelle: INFRAS.

Bei fortgesetztem Insektensterben belaufen sich die COI beim Einsatz von Zuchtinsekten (ohne Honigbiene) in unseren wichtigsten, insektenbestäubten Kulturen zwischen 0.9 und 17.2 Mio. CHF pro Jahr. Unter der Annahme, dass rund 50% der Bestäuberleistung der Wildbestäuber wegfallen würde, der Anteil der Honigbienen an der Bestäubungsleistung 50% beträgt und eine Zuchteinheit 180.– CHF (Mauerbienen) bzw. 200.– CHF (Erdhummeln) kostet. Unter diesen Voraussetzungen belaufen sich die COI auf jährlich 5.4 Mio. CHF.

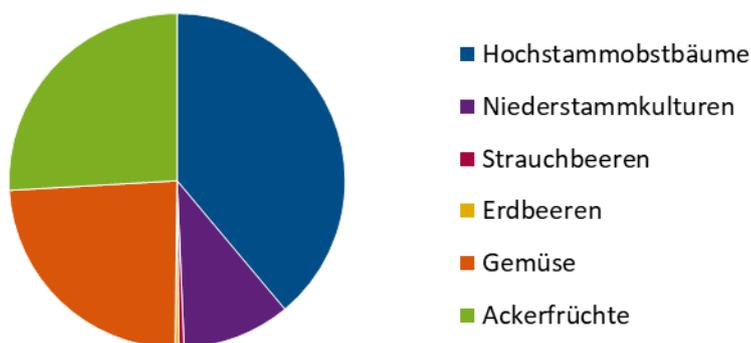
Würden die Wildbestäuberinsekten stärker abnehmen (um 80%) oder gänzlich ausfallen, so betragen die COI jährlich 8.6 Mio. CHF (bei 80% Rückgang der Wildbestäuber) bzw. bei einem Totalausfall rund 10.8 Mio. CHF. Bei einem höheren oder niedrigeren Anteil der Wildbestäuber an der gesamten Bestäubungsleistung variieren die COI-Werte entsprechend.

**Tabelle 4: Schätzung der jährlichen Kosten des Nichthandelns für das Szenario A-2, aufgeschlüsselt nach Überkategorien (WB<sub>K</sub> 0.5, R<sub>WB</sub> 0.5)**

Übergeordnete Kategorie	COI [Mio. CHF]
Hochstammobstbäume	2.10
Niederstammkulturen	0.56
Strauchbeeren	0.03
Gemüse	1.29
Erdbeeren	0.02
Ackerfrüchte	1.40
<b>Total</b>	<b>5.40</b>

Tabelle INFRAS. Quelle: INFRAS.

**Abbildung 8: Aufteilung der jährlichen, geschätzten Kosten des Nichthandelns für Szenario A-2**



Grafik INFRAS. Quelle: INFRAS.

Fast die Hälfte der Bestäubungskosten durch Zuchtinsekten entfällt mit 2.7 Mio. CHF auf das Baumobst. Bei den Strauchbeeren fallen zusätzliche Kosten von 26'000 CHF (ein Grossteil davon bei den Himbeeren) an, bei den Erdbeeren 19'000 CHF. Die Bestäubung von Gemüse mit Zuchtinsekten verursacht Kosten in der Höhe von 1.3 Mio. CHF. Die alternative Bestäubung ausgewählter Ackerkulturen mit Zuchtinsekten hat Kosten von rund 1.4 Mio. CHF zur Folge, wobei wiederum der Grossteil (1 Mio. CHF) auf Raps entfällt.

### 2.1.7. Diskussion und Einbettung

Wildbestäuber erbringen eine unverzichtbare Leistung hinsichtlich der Menge und Qualität unserer Nahrungsmittelproduktion; sowohl die Anzahl der Früchte und Samen als auch deren Qualität und bspw. die Lagerfähigkeit werden verbessert. Dies ist insbesondere im Obst- und Gemüsebau, aber auch in der Saatguterzeugung von Bedeutung. Nicht wenige unserer Nahrungsmittel sind fast vollständig von einer Insektenbestäubung abhängig. Das festgestellte,

fortschreitende Insektensterben der vergangenen Jahr(zehnt)je betrifft in besonderem Ausmass Insekten in der Kulturlandschaft mit teils wissenschaftlich noch unzulänglich erforschten Folgen für deren Ökosystemleistungen. Ganz abgesehen vom intrinsischen Wert der Biodiversität und damit auch der Insekten, lohnt sich auch aus ökonomischer Sicht ein Blick darauf, in welchem Ausmass das Insektensterben in der Schweiz monetarisierbare Folgen hat. Die Wildbestäuber weisen sowohl hinsichtlich Artenvielfalt und Artenzusammensetzung als auch hinsichtlich der Individuendichten besorgniserregende Veränderungen und Rückgänge auf. Das komplexe Zusammenspiel von verschiedenen Artengruppen von Insekten sowie die teilweise hochspezialisierten Beziehungen zwischen Wildbestäubern und Nutzpflanzen verdeutlichen, dass ein Ersatz wegfallender Arten nicht einfach durch eine andere Art oder durch züchtbare Bienen erfolgen kann. Die manuelle Bestäubung kann für bestimmte Nutzpflanzen die Bestäubungsleistung zwar vermutlich hinreichend ersetzen, ist jedoch sehr zeit- und damit kostenintensiv und auf Dauer im grossen Stil angewandt keine Lösung. Darüber hinaus sind kulturabhängig gewisse Qualitätseinbussen aber wahrscheinlich: bei Insektenbestäubung bspw. von Äpfeln wurde ein höheres Fruchtgewicht, eine höhere Fruchtgrösse, ein höherer Zucker- und Säuregehalt festgestellt. Wichtig ist auch eine vollständige Bestäubung, damit die Früchte gleichmässig und gross sind, wie dies bei der Insektenbestäubung am besten gewährleistet ist.

Beide in dieser Studie ausgeführten COI-Szenarien zur alternativen Bestäubung ermöglichen jedoch einen Blick auf monetäre Zusatzkosten, mit welchen bei einem weiteren, leider realistisch erscheinenden Rückgang der Wildbestäuber um die Hälfte gegenüber heute zu rechnen wäre.

So fallen bei einer manuellen Bestäubung unserer wichtigsten insektenbestäubten Kulturen jährliche Kosten im Umfang von knapp 230 Mio. CHF. an. Bei einem Totalausfall sämtlicher Wildbestäuber würden die Kosten mindestens verdoppelt. Umgerechnet auf die Anzahl Arbeitsstunden, bedeutet eine manuelle Bestäubung unserer insektenbestäubten Hauptkulturen einen Aufwand von 13 Mio. Arbeitsstunden; jedeR EinwohnerIn der Schweiz müsste also 1.5 h Bestäubungsleistung erbringen. Pro EinwohnerIn entstünden Lebensmittelzusatzkosten von 27 CHF pro Jahr. Äpfel würden für den Konsumenten knapp 10% und Birnen 8% teurer werden im Vergleich zur natürlichen Bestäubung. Die Zunahme der Preise ist besonders bei Produkten hoch, bei denen ein hoher Anteil der Produkte aus der Schweiz kommt.

Angaben zum ökonomischen Wert der Bestäubung weisen in der Literatur grosse Spannbreiten auf (weltweit summiert 150 und 600 Mia. CHF pro Jahr) und zeigen, dass es keine einheitliche Berechnungsmethode gibt (Asendorpf 2018). In der Regel wird bei der Monetarisierung der Erntewert aller Produkte zugrunde gelegt, welche von Insekten bestäubt werden. Im Rahmen der COI-Logik und der Suche nach Szenarien zur Kompensation gewisser Ökosystemleistungen, ist das Vorgehen wie dargelegt anders.

Zur Einbettung der Grössenordnungen der COI bei manueller Bestäubung sind andere Monetarisierungen aus der Schweiz trotzdem dienlich, auch wenn ihnen eine andere Methodik zugrunde liegt: Ausgehend von der Aussage, dass bei einem Ausfall der Bestäubungsleistung rund 5-8% der landwirtschaftlichen Produktion betroffen wäre, lässt sich für die Schweiz grob ein direkt durch Insektenschwund bedrohter Wert von 210-336 Mio. CHF an Umsatz ableiten. Dies entspricht dem mittleren jährlichen Produktionswert zu laufenden Herstellerpreisen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion im Schnitt der letzten zehn Jahre (Quelle: BFS 2020, landwirtschaftliche Gesamtrechnung). Schmitt (2019) schätzen den direkten Nutzwert der Bestäuberleistung von Honig- und Wildbienen auf jährlich 350 Mio. CHF. Die beiden Schätzungen liegen in ähnlichen Grössenordnungen wie unsere COI-Schätzung, aber mit anderer Methodik, die vom Wert des Ernteverlustes ausgeht. Sutter et al. (2017) haben den direkten ökonomischen Wert der Bestäubungsleistung für die Schweiz anhand des FAO-Leitfadens (nach Gallai & Vaissière 2009) berechnet und beziffern den direkten Nutzwert auf 244 Mio. CHF beim Obst und 39 Mio. CHF bei den Beeren. Dies übersteigt unsere COI-Berechnung für diese beiden Kulturkategorien um ein Vielfaches, weil der Bestäuberwert anhand der potenziellen Verluste an Umsätzen und nicht über die Kosten zur Kompensation der Bestäubungsleistung ermittelt wurde.

Bei einem Handbestäubungsversuch von Obstbäumen in der deutschen Bodenseeregion wurde bei einem Einsatz von 1h pro Baum und der Umrechnung auf den Mindestlohn eines Erntehelfers für das ganze Bodenseegebiet Folgekosten von 382 Mio. € genannt (Würzburger, 2019). Die Handbestäubung hat in diesem Experiment zwar zu extrem vielen Äpfeln geführt, welche jedoch für den Marktabsatz zu klein waren (70% Mehrertrag von schlechterer Qualität). Das beste Resultat lieferte die gemeinsame Bestäubung durch Honig- und Wildbienen.

Bei der Bestäubung mittels Zuchtinsekten fallen die COI mit jährlich 5.4 Mio. CHF in der Grössenordnung vergleichsweise gering aus. Dies ist nicht weiter erstaunlich, weil züchtbare Insekten (Honigbienen und Wildbienen) weitaus effizienter bestäuben als dies der Mensch zu tun vermag. Für die Abdeckung mit Zuchtinsekten müssten in der Schweiz zu einem künftigen Zeitpunkt 29'900 Zuchteinheiten (Wildbienen bzw. Hummeln) im Einsatz sein. Rund die Hälfte der Zuchteinheiten würde für das Baumobst benötigt. Pro Haushalt entstünden jährliche Kosten von 1.40 CHF. Aus diesen vermeintlich tiefen COI-Kosten für den Einsatz von Zuchtinsekten darf keinesfalls gefolgert werden, dass dies ein praktikabler «Lösungsansatz» bei fortgesetztem Insektensterben darstellt. Wie oben und im Kapitel (2.1.1) näher ausgeführt, sind Bestäubemechanismen, ökologische Zusammenhänge und damit die Leistungen der Insekten weitaus komplexer, als im Rahmen einer solchen Monetarisierung abgebildet werden kann.

Durch den internationalen Handel von Zuchthummeln besteht die Gefahr des Einschleppens von Krankheiten und der Verbreitung von Parasiten, ausserdem der Bedrohung unserer

heimischen Hummelarten. Zuchtbienen sind den Treibern und Gefahren, welche einen Rückgang der Wildbestäuber verursachen, ebenso ausgesetzt. Aus den biologischen und bestäubungsökologischen Gründen (Einnischung, additive Bestäubereffizienz, Bestäubermix, Konkurrenzverhältnisse, Kulturen umgebende Lebensraumbedingungen) ist es nicht realistisch, dass die Wildbestäuber ganz oder auch nur zu einem grösseren Teil tatsächlich äquivalent durch züchtbare Insekten ersetzt werden können. Folglich könnte auch die Honigbiene einen Totalverlust der Wildbestäuber nicht auffangen. Auch rein rechnerisch reicht die schweizweite Abdeckung der Honigbiene lokal nicht aus, um alle bestäubungsabhängigen Kulturen ausreichend zu bestäuben (Sutter et al. 2017). Die Honigbienendichte nimmt in den letzten Jahren wieder zu (Asendorpf 2018), nachdem die Imkerei sich in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts deutlich vermindert hatte. Hinzu kamen um 2005 Vergiftungen von Bienenvölkern durch inzwischen verbotene Insektizide sowie die zeitgleiche Ausbreitung der für die Honigbiene tödlichen Varroa-Milbe. Auch sind die Kosten für Honigbienenvölker beträchtlich; so werden für eine Startausrüstung von sechs Honigbienenvölkern inkl. Waben rund 3000.– CHF veranschlagt (Bienen.ch, 2020).

Anstelle des hinterlegten Miet-Szenarios von Zuchteinheiten besteht für die Produzierenden auch die Möglichkeit, eigenständige Zuchtpopulationen von Mauerbienen zu etablieren. Hierbei würden (verhältnismässig geringfügige) Kosten für das Erstellen und die jährliche Pflege von Nisthilfen anfallen.

Wie oben schon ausgeführt, ist für das Erreichen der Quantität und v.a. auch der Qualität der Ernteprodukte nicht nur die Bestäuberdichte entscheidend, sondern auch das Vorhandensein diverser Arten: diverse Bestäubergemeinschaften weisen eine positive Korrelation mit der Bestäubungsleistung auf (globale Metastudie, Dainese et al. 2019). Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass ein 1:1-Ersatz natürlicher Bestäubungsmechanismen selbst bei günstigen Zuchtbedingungen nicht gleichwertig erreicht werden kann.

In der Betrachtung unseres COI-Szenarios zur Bestäubung werden lediglich ausgewählte insektenbestäubte Kulturen des Nahrungsmittelanbaus für den Menschen betrachtet. Ausgeschlossen ist hierbei bspw. die Bestäubung von Futterleguminosen (Luzerne, Rot-Klee), für welche Wildbienen und darunter die Gruppe der Hummeln auch eine wichtige Rolle spielen. Ganz zu schweigen vom nicht monetarisierbaren Wert der Bestäuberleistung von Insekten für unsere Wildpflanzen.

Die COI-Berechnungen weisen aufgrund unterschiedlicher Annahmen eine gewisse Spannweite auf. Die relevantesten Indikatoren, welche bei den Kostenberechnungen stark ins Gewicht fallen, sind im Kapitel 2.1.2 ff. beschrieben. Die COI-Methode weist im Gegensatz zu anderen Inwertsetzungsmethoden den Vorteil auf, dass damit der Einfluss der Wildbestäubung

nicht per se überschätzt wird, da die Kostenschätzung unabhängig vom Produktionsertrag geschieht (IPBES 2016). Zur Schwäche des gewählten methodischen Ansatzes gehört, dass die zugrunde gelegten Szenarien einer Handbestäubung nicht für alle Kulturen gleich praktikabel und der Einsatz von Zuchtinsekten nicht in allen Kulturen gleich effektiv sind. Vielleicht können technische Entwicklungen zukünftig gewisse Alternativen bieten. Schliesslich beleuchten Ersatzkosten nicht einen tatsächlichen ökonomischen Wert der Bestäubungsleistung, sondern schätzen lediglich den Marktpreis einer gewählten theoretischen Ersatzmethode.

## 2.2. Szenario B «Ersatz der Insekten als Nahrungsgrundlage für Vögel»

### 2.2.1. Einleitung

Insekten sind ein wichtiges Element im Nährstoffkreislauf bzw. im Nahrungsnetz und beeinflussen die Abundanz und Artenvielfalt anderer Lebewesen massgeblich. Sie sind Hauptnahrungsquelle von sehr vielen weiteren Tierarten und gleichzeitig Prädatoren von anderen Insekten und Mikroorganismen niedrigerer trophischer Ebenen. Die Insektenabhängigkeit der Ernährung beträgt bei Amphibien 100%, bei Fischen bis zu 75% und bei Vögeln rund 50% (Monnerat 2018). Auch Süswasserfische ernähren sich bis zu 90% von Insekten (Berenbaum 2001), des Weiteren sind Reptilien und viele Säugetiere (Igel, Maulwürfe, Spitzmäuse, Fledermäuse) auf Insektennahrung angewiesen. Auch für den Menschen bilden Insekten seit mehr als 2000 Jahren eine direkte Nahrungsgrundlage; so werden v.a. in Südasien, Südamerika und Afrika mehr als 1'900 unterschiedliche Insektenarten verzehrt (Reckhaus 2016).

#### **Teilweise dramatischer Rückgang der Insektenbiomasse**

In unserer vereinfachten Betrachtung der Insekten als Nahrungsgrundlage für andere Lebewesen ist eher die Biomasse und nicht die Artdiversität entscheidend. Die «Krefeld-Studie» (Hallmann et al. 2017) zeigte den dramatischen Verlust an Fluginsekten-Biomasse in Schutzgebieten im Verlauf der letzten 30 Jahren eindrücklich auf: zwischen 1989 und 2016 nahm sie um 75% ab.

Die Resultate der Krefelder-Studie wurden in der Münchner Studie (Seibold et al. 2019) bestätigt. Letztere stellte starke Populationsverluste bei Offenland- und Waldinsekten in Deutschland und in der Schweiz fest. In Grünlandflächen hat sich die Insektenbiomasse zwischen 2008 und 2017 um zwei Drittel verringert und in Wäldern betrug der Biomasseverlust über den gleichen Zeitraum hinweg 40%.

### **Insekten als Nahrungsgrundlage für die Brutvögel der Schweiz**

Rund die Hälfte unserer einheimischen Brutvögel ernähren sich fast ausschliesslich von Insekten. Ein Viertel der Brutvögel weist als Adulte eine gemischte Diät auf, ziehen ihre Jungen jedoch hauptsächlich mit Insekten auf (Schmid et al. 2018). Es werden gewaltige Mengen an Insekten vertilgt; beispielsweise fressen hiesige Dreizehenspechte mit ihrer Bestandesgrösse von 670'000 Individuen jährlich geschätzt rund 1.7 Mia. Borkenkäfer (Bütler & Wermelinger 2014). Ein Rauchschnalbenpaar verfüttert während der Nestlingszeit den Jungen rund 1 kg Insekten (Knaus et al. 2018). Insbesondere während der Jungenaufzucht werden hohe Mengen herbivorer Insekten (v.a. Käfer, Fliegen, Wanzen, Hautflügler, Schmetterlinge und Heuschrecken) gefressen. Viele insektivore Vögel verlassen die gemässigte Zone danach und ziehen in wärmere Gefilde, Standvögel wechseln ausserhalb der Brutsaison auf pflanzliche Nahrung (Nyffeler et al. 2018).

Verschiedene Studien neueren Datums zeigen, dass der Rückgang von Insekten durchaus Folgen für insektenfressende Brutvögel hat. So untersuchte eine von Fay et al. (2020) publizierte Studie unter Mitwirkung der Vogelwarte Sempach die Faktoren, welche den europaweiten Rückgang des Braunkehlchens verantworten. Der Rückgang ist auf einen verringerten Bruterfolg zurückzuführen, welcher massgeblich durch die fortschreitend intensivere landwirtschaftliche Nutzung im Gebiet verursacht wird. Dem Braunkehlchen als reinem Insektenfresser mangelt es an Nahrung, da die einstigen insektenreichen Blumenwiesen zu sterilen Grünflächen umgewandelt werden. Sein Bestand hat sich in der Schweiz in den letzten 20 Jahren halbiert. Auch Knaus et al. (2018) zeigen, dass insektenfressende Vogelarten (z.B. Lerchen, Baumpieper, Neuntöter, Dorngrasmücke, Braunkehlchen) bei uns im Landwirtschaftsgebiet besonders stark zurückgehen. Kulturlandarten, für deren Ernährung Insekten eine Nebenrolle spielen (Weisstorch, Rotmilan, Turmfalke, Wacholderdrossel, Goldammer), sind von diesem Rückgang nicht betroffen.

#### **2.2.2. Denkmodell Ursache-Wirkung und Grenzen des Szenarioansatzes**

Dass Insekten als Nahrungsgrundlage dienen, gehört in die ÖSL-Kategorie der Basisdienstleistungen. Solche Basisdienstleistungen im Rahmen eines COI-Szenarios zu monetarisieren, ist aufgrund der Komplexität und oft nur unsicher quantifizierbarer Ursache-Wirkbeziehungen schwierig. Wir verstehen unser ausgewähltes Szenario – den Ersatz der Insektennahrung für unsere Brutvögel – einerseits als machbar bezüglich einer Inwertsetzung, aber klar als hypothetisches Szenario. Eine tatsächliche Fütterung sämtlicher Brutvögel mit irgendeiner industriell hergestellten Proteinnahrung ist weder aus biologischen noch aus organisatorischen Gründen real umsetzbar. Die Monetarisierung dieses COI-Szenario dient dazu, die Bedeutung der Insek-

ten und die Bedrohung durch das Insektensterben auf eine andere Art und Weise ins Bewusstsein zu rücken und zu verdeutlichen, dass es auch direkte monetäre Schäden verursacht, neben vielen anderen nicht-monetären oder noch schwerer zu beziffernder Folgen.

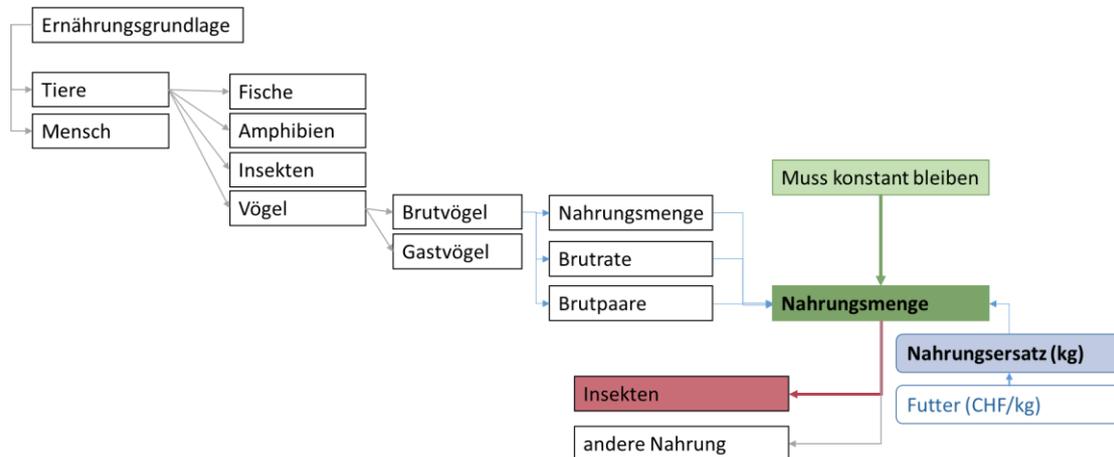
Aus der Fülle der Tierarten, welche sich von Insekten ernähren, haben wir aufgrund der guten Datengrundlage die Brutvögel ausgewählt. Die benötigten jährlichen Futtermengen für die adulten Vögel und die Jungenaufzucht können aufgrund verschiedener Literaturangaben abgeschätzt werden. Zur Abnahme der Insektenbiomasse kann ebenfalls auf Basis des aktuellen Wissenstandes ein Schätzwert definiert werden; allerdings fehlen gesicherte Fakten zum genauen Ausmass (es gibt leider kein Insekten-Biomassemonitoring) für die Schweiz. Der somit wegen des weiteren Insektenschwunds prognostizierte Wegfall von Insektenbiomasse soll durch Zuchtfutter ersetzt werden. Aus dem Schätzwert für den Preis des Ersatzproduktes und der benötigten jährlichen Menge kann ein COI-Wert berechnet werden. Das ausgewählte COI-Szenario bezieht sich auf einen künftigen Zeitpunkt, gedanklich in etwa 20-30 Jahren. Für die Berechnungen werden heutige Preisrichtwerte verwendet.

Der COI-Wert beziffert lediglich Materialkosten. Das Futter müsste über eine lange Zeitspanne hinweg zu den Brutvögeln gelangen; diese Ausbringungskosten müssten dazugerechnet werden. Es wurde versucht, hierzu eine verwendbare Datengrundlage von Vogel-Auffangstationen zu erhalten, um einen groben Schätzwert für diese Ausbringungskosten herzuleiten. Leider waren dazu kaum brauchbare Daten verfügbar und somit ist eine belastbare Schätzung zu möglichen Ausbringungskosten nicht möglich. Exemplarisch konnten wir jedoch auf Basis einer Einzelquelle eine Grössenordnung des Schätzwertes herleiten. Es gilt zu beachten, dass bei diesem Schritt das COI-Szenario und die Monetarisierbarkeit klar an Grenzen stösst und mit vielen Unsicherheiten einhergeht, weil eine Praxisumsetzung undenkbar ist.

Zur Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Rückgang der Insektenbiomasse und direkter Nahrungsverfügbarkeit für Brutvögel bestehen ebenfalls Wissenslücken: Wir gehen davon aus, dass sich der künftige Insektenschwund direkt und linear auf die Verfügbarkeit von Insekten auswirkt. Eine differenzierte Betrachtung für verschiedene Insektengruppen, unterschiedliche Ernährungsgewohnheiten der Brutvögel oder zeitliche und räumliche Verfügbarkeit von Insektennahrung wird nicht vorgenommen, weil hierzu die wissenschaftlichen Grundlagen fehlen. Auch beschränken wir uns auf die reine Quantität (Biomasse) der Nahrung, auch wenn vermutlich auch qualitative Aspekte eine Rolle spielen dürfte.

Die Menge der benötigten Insektennahrung für Brutvögel ist eher konservativ geschätzt. Sie umfasst nicht nur die Ordnung der Insekten, sondern zu einem bedeutend kleineren Teil teilweise auch Spinnen und weitere Arthropoden. Hinsichtlich der Gesamtaussage des COI-Szenarios erachten wir die vereinfachende Annahme als zulässig, es handle sich nur um Insekten.

Abbildung 9: Denkmodell Ursache-Wirkung und Szenarienansätze



Grafik INFRAS.

### 2.2.3. Datenquellen und Annahmen der Berechnungsindikatoren

Als Datengrundlage wurde die Zusammenstellung der Brutvogelarten der Schweiz von der Vogelwarte Sempach, Knaus et al. (2020) verwendet, welche 174 Brutvogelarten erfasst. 66 Arten ernähren sich zu 100% von Insekten, weitere 49 Arten sind in der Ernährung teilweise insektenabhängig und die verbleibenden 59 Arten nicht insektenabhängig (Indikator Insektenabhängigkeit  $I_{BV}$ ). Aus dem Datensatz wurde die mittlere Anzahl Brutpaare der mindestens teilweise insektenabhängigen Brutvögel in der Schweiz als Basis berechnet. Der Datensatz wurde mit Angaben zu Körpergewicht, Nahrungsart, Anzahl Jahresbruten und weiteren Angaben der Schweizerischen Vogelwarte ergänzt.

Verschiedene Vogelarten brüten mehrfach pro Saison, der Indikator Brutsaisons (BS) gibt artbezogen die mittlere Anzahl Jahresbruten an (Datensatz Schweizerische Vogelwarte Sempach). Mit diesem Indikator wird der Nahrungsbedarf multipliziert.

Die Brutrate (BR) entspricht dem geschätzten Anteil erfolgreich aufgezogener Jungvögel und wird mit einem Drittel der jeweiligen mittleren Bestandesgrösse einer Art veranschlagt. Diese Annahme beruht auf folgenden Überlegungen: aus methodischen Gründen entspricht die zu ermittelnde Brutrate im Datensatz (Monitoring Häufige Brutvögel MHB) zu Beginn der Brutsaison der Anzahl gezählter Brutpaare. Ein Teil der Bruten geht vor dem Flügel-Werden der Jungen ein und ein weiterer Teil der flüggen Jungvögel überlebt die Saison nicht. Zur Überlebensrate von Jungvögeln fehlen quantitative Untersuchungen weitgehend und gemäss Aussage von Fachleuten ist die Überlebensrate je nach Art und Gilde sehr unterschiedlich: Der Verlust

wird bei Singvögeln im ersten Lebensjahr mit 50-80% angegeben. Demnach erscheint es plausibel, von einem Drittel der Bestandesgrößen als Mass für die erfolgreiche Jungenaufzucht auszugehen.

Die benötigte Nahrungsmenge der Vögel setzt sich zusammen aus der benötigten Insektenmenge pro Adultvogel, pro Nestlingsaufzucht und pro überlebende, flügge Jungvögel (in kg pro Brutsaison bzw. Jahr). Als Quellen für die Modellierungsannahmen dienen Knaus et al. (2018), Reckhaus (2016), Bütler & Wermelinger (2014) sowie Nyffeler et al. (2018).

Das qualitative Angebot und die Preise von möglichen Nahrungersetzprodukten wurde mittels einer Internetrecherche analysiert. Aus den am wahrscheinlichsten einsetzbaren Ersatzprodukten wurde der Preis pro kg Ersatzfutter ( $P_{EP}$ ) mit 30.– CHF pro kg veranschlagt.

**Tabelle 5: Übersicht Nahrungersetz**

○ <a href="https://futterinsekten-online.ch/">https://futterinsekten-online.ch/</a> (Insekten für Aquarianer und Terrarien): Preisübersicht			
Zuchtinsekten / Angebot	Menge	Preis CHF	
Mehlwürmerlarven ( <i>Tenebrio molitor</i> )	1 kg	22.00	
<i>Drosophila</i> klein	1 l	10.90	
<i>Drosophila</i> gross	1 l	8.90	
Fliegenmaden (Schmeissfliege, Goldfliegen)	1 l	17.00	
Soldatenfliegenmaden ( <i>Hermetia illucens</i> ), «phoenix worms» (USA)	500 Stk.	5.00	
○ <a href="https://www.reptile-food.ch/futterinsekten-fuer-wildvoegel/">https://www.reptile-food.ch/futterinsekten-fuer-wildvoegel/</a> Futterinsekten für Wildvögel:			
Zuchtinsekten / Angebot	Menge	Entspricht	Preis CHF
Mehlwürmer	1 l	420 g	16.90
Pinkies, Goldfliegenlarven	1 l	450 g	15.90
<i>Hermetia</i> , Soldatenfliegenlarven	1 l	500 g	22.90
Buffalowürmer	1 l	425 g	19.90
Heimchen mittel	1 kg	6000 – 7000 Stk.	110.00
Heimchen adult	1 kg	3000 Stk.	89.00

Der befürchtete Rückgang der Insektenbiomasse ( $R_i$ ) zu einem zukünftigen Zeitpunkt wird mit 50% gegenüber dem heutigen Stand veranschlagt und beruht auf den im Kapitel 2.1.1 und 2.2.1 ausgeführten Argumenten (Hallmann et al. 2017, Seibold et al. 2019, scnat 2019 u.a.).

Die Ausbringungskosten, wie die Ersatznahrung zu den Brutvögeln gelangt, konnten aufgrund fehlender Datengrundlagen nur exemplarisch auf Basis einer Einzelangabe als Richtgrösse geschätzt werden.

#### 2.2.4. Modellierung COI «Ersatz der natürlichen Insektennahrung für Brutvögel»

Um die Menge an benötigtem Nahrungsersatz zu berechnen, wurde zuerst die benötigte Nahrungsmenge ( $N_i$ ) der mindestens teilweise insektenabhängigen Brutvögel berechnet. Aus dem postulierten prozentualen Rückgang von Insektenbiomasse wurde die Menge an wegfallender bzw. alternativ bereitzustellender Nahrung berechnet. Für die zu 100% insektenabhängigen Brutvogelarten wird für die Jungenaufzucht eine Nahrungsmenge von 1 kg Insekten pro Brut angenommen, für die Gilde der Luftjäger 1.2 kg pro Brut. Für die teilweise insektenabhängigen Arten (zu 20% abhängig) gehen wir von einer benötigten Nahrungsmenge von 0.7 kg für die Jungenaufzucht aus. Die Nahrungsmenge für die Jungenaufzucht wird mit der Anzahl Bruten pro Saison (BS) multipliziert und so die jährliche Nahrungsmenge für die Jungenaufzucht ermittelt.

$N_i$  der 100% insektenabhängigen Arten für die Jungenaufzucht:  $N_1 = (BR * N_i * BS)$

$N_i$  der teilweise insektenabhängigen Arten für die Jungenaufzucht:  $N_2 = (BR * N_i * BS)$

Für die 100%-Insektenfresser sowie für die teilweisen (20%) Insektenfresser wird ausserdem der Nahrungsbedarf für die adulten Vögel ermittelt: Wir gehen von der vereinfachten Annahme aus, dass die Adulten monatlich 10% der Nahrungsmenge für die Jungenaufzucht (0.1 kg respektive 0.12 kg für Luftjäger) für sich selbst benötigen. Die meisten insektenfressenden Brutvögel gehören zu den Langstreckenziehern und verbringen nur einen Teil des Jahres bei uns. Für die mittlere Dauer einer Brutsaison von fünf Monaten entspricht dies einem Nahrungsbedarf von insgesamt 0.5 kg bzw. 0.6 kg für Luftjäger pro Adultvogel. Für die 100% Insektenfresser entspricht der Nahrungsbedarf damit der Multiplikation mit der doppelten Anzahl Brutpaare (BP) (damit pro Individuum). Für die teilweisen Insektenfresser wird diese Berechnung zusätzlich mit dem Faktor 0.2 (20% Abhängigkeit) multipliziert.

$N_i$  der adulten 100% insektenabhängigen Arten:  $N_3 = (BP * 2 * N_i * 0.5)$

$N_i$  der adulten teilweise insektenabhängigen Arten:  $N_4 = (BP * 2 * N_i * 0.5 * 0.2)$

In einem nächsten Schritt wird zusätzlich der Nahrungsbedarf der überlebenden Jungvögel zwischen Flüge-Werden und Wegzug addiert: Sie entspricht einem Drittel der doppelten Anzahl Brutpaare und wird mit einem Nahrungsbedarf von 0.3 kg (bzw. 0.36 kg für Luftjäger) für die verbleibende mittlere Dauer der Brutsaison von drei Monaten multipliziert. Damit berechnet sich der Nahrungsbedarf ( $N_i$ ) für die zwei unterschiedenen Gruppen der Brutvögel wie folgt:

$N_i$  der flüggen Jungen der zu 100% insektenabhängigen Arten:  $N_5 = (1/3 BP * 2 * N_i * 0.3)$

$N_i$  der flüggen Jungen der zu 20% insektenabhängigen Arten:  $N_6 = (1/3 BP * 2 * N_i * 0.3 * 0.2)$

Aus den obigen Teilmengen ( $N_{1-6}$ ) lässt sich berechnen, wie gross die gesamthaft benötigte Nahrungsmenge ( $N_i$ ) an Insekten für die Brutvögel der Schweiz pro Brutsaison ist.

Wird die Gesamtmenge mit dem Faktor des Insektenrückgangs ( $R_i$ ) multipliziert, erhält man die Menge der zu ersetzenden Nahrung. Für die Berechnung der COI wird diese Menge mit dem veranschlagten Preis pro kg Ersatznahrung ( $P_{EP}$ ) multipliziert.

$$\text{Cost of Inaction} = \text{Nahrungsbedarf } (N_i) * \text{Insektenrückgang } (R_i) * \text{Preis pro kg Ersatznahrung } (P_{EP})$$

### 2.2.5. Sensitivitäten

Der drohende Rückgang der Insektenbiomasse zu einem zukünftigen Zeitpunkt wird im Vergleich zum Status quo ( $R_i = 0$ , kein Rückgang) mit 50% ( $R_i = 0.5$ ) als realistisches Szenario angenommen. Ein Totalverlust der Insektenbiomasse entspräche  $R_i = 1$ . Zusätzlich zur favorisierten Annahme des 50%igen Rückgangs wurden für die COI-Bandbreiten für  $R_i$ -Werte von 0.2, 0.8 sowie 1.0 berechnet.

Bei den Kosten für den Nahrungsersatz wurde mit der favorisierten Annahme von 30.– CHF pro kg gerechnet und als zusätzliche Variante ein Preis von lediglich 20 CHF pro kg verwendet.

### 2.2.6. Ergebnisse

**Tabelle 6: Schätzung der jährlichen Kosten des Nichthandelns mit verschiedenen Sensitivitäten Ersatznahrung für Brutvögel (zu heutigen Preisniveaus, auf Zehner gerundet)**

COI [Mio. CHF]		Rückgang Insektenbiomasse ( $R_i$ )			
		1	0.8	0.5	0.2
Kosten Ersatzprodukt [CHF/kg]	30	260	210	<b>130</b>	50
	20	170	140	90	40

Tabelle INFRAS. Quelle: INFRAS.

Die COI für den Nahrungsersatz unserer insektenfressenden Brutvögel betragen zwischen 40 und 260 Mio. CHF pro Jahr, je nachdem wie teuer das Ersatzfutter ist. Bei einem Rückgang der Insektenbiomasse um 50% und einem veranschlagten Preis von 30.– CHF pro kg Ersatzfutter belaufen sich die jährlichen COI auf 130 Mio. CHF (ohne Kosten zur Ausbringung des Futters!).

Ist der Rückgang der Insektenbiomasse grösser (Rückgang um 80%) oder verschwinden die Insekten gänzlich, so betragen die COI bezüglich Futterkosten jährlich rund 210 Mio. CHF bzw. bei einem Totalausfall 260 Mio. CHF. Wir gehen davon aus, dass selbst bei einer Grossmengen-Herstellung eher mit einem Kostensatz von 30 CHF pro kg Futtermittel auszugehen ist, da die Futterherstellung vermutlich nicht beliebig ausgeweitet werden könnte und die Produktpalette spezifisch ausgerichtet werden müsste.

**Tabelle 7: Übersicht zu benötigten Nahrungsmengen und geschätzten jährlichen Kosten im Szenario 2 für die 10 häufigsten Brutvögel**

Brutvogel	Ersatznahrung Menge [kg]	COI [Mio. CHF pro Jahr]
Zaunkönig	441'750	13.25
Hausrotschwanz	342'825	10.28
Sommergoldhähnchen	302'250	9.07
Wintergoldhähnchen	279'000	8.37
Zilpzalp	233'063	6.99
Amsel	223'650	6.71
Mönchsgrasmücke	192'938	5.79
Haussperling	186'375	5.59
Rotkehlchen	173'250	5.20
Bergpieper	162'750	4.88

Tabelle INFRAS. Quelle: INFRAS.

Fast die Hälfte der COI (60 Mio. CHF) für das Ersatzfutter entfällt auf die zehn häufigsten Brutvögel: Amsel, Haussperling, Mönchsgrasmücke, Rotkehlchen, Tannenmeise, Kohlmeise, Singdrossel, Heckenbraunelle (je 20% insektenabhängig) sowie Zaunkönig und Hausrotschwanz (100% insektenabhängig).

Da die Brutvögel in diesem theoretischen Szenario praktisch flächendeckend Zugang zur Ersatznahrung haben müssten, müssten für eine umfassende Kostenschätzung zusätzlich zu den erwähnten Materialkosten die Ausbringungskosten hinzugerechnet werden. Für eine belastbare Schätzung dieser Ausbringungskosten konnten keine verwendbaren Daten ermittelt werden. Die Kosten für die Ausbringung der Ersatznahrung würden sich vermutlich auf ein Vielfaches der Kosten der Ersatznahrung belaufen, weil eine praktisch flächendeckende Infrastruktur bereitgestellt werden müsste oder bei eher zentralisierter Ausbringung hohe Arbeitskosten entstehen würden. Diese Annahme wird gestützt durch eine grobe Näherung der Schätzkosten, welche wir exemplarisch aufgrund einer Einzelangabe ermittelt haben (siehe nachfolgende Box): Die Größenordnung für die Ausbringung der Ersatznahrung belief sich auf einen einstelligen Betrag im Milliardenbereich.

#### **Exemplarische Grobschätzung der Ausbringungskosten Szenario Brutvögel:**

Nach zahlreichen Anfragen an verschiedenen Stellen erhielten wir Angaben zu den Betriebskosten der Greifvogelstation Berg am Irchel. Diese erlauben nachfolgend eine sehr grobe Schätzung möglicher Ausbringungskosten. Die Schätzung beruht auf folgenden Annahmen:

- Die Betriebskosten der Vogelstation belaufen sich auf 150'000 CHF/Jahr für die Aufzucht von 500 Singvögeln mit einer Verweildauer von einem Monat der adulten Vögel (1x pro Tag gefüttert) und von drei Monaten bei Jungvögeln (6x pro Tag gefüttert). Wir nehmen an, dass von 500 Singvögeln 330 adulte Vögel und 170 Jungvögel sind.
- Mit den erwähnten Betriebskosten können insgesamt 101'700 Fütterungseinheiten abgedeckt werden. Eine Fütterungseinheit kostet demnach rund CHF 1.50.
- In unserem COI-Szenario wird für adulte insektenfressende Brutvögel für die Dauer von 5 Monaten 1x täglich Futter bereitgestellt. Entsprechend fallen für die 6.2 Mio. Adultvögel jährliche Kosten von 1.4 Mia. CHF an.
- Die 2.04 Mio. Nestlinge pro Jahr müssen für eine Zeitdauer von 8 Wochen 6x täglich gefüttert werden. Dies verursacht Kosten von 1.1 Mia. CHF. Den flüggen Jungvögeln wird danach, wie für die Adultvögel für die verbleibende Dauer von 3 Monaten 1x täglich Futter bereitgestellt, was weitere 275 Mio. CHF kostet. Die Fütterung und Aufzucht der 2.04 Mio. Jungvögel kosten entsprechend gesamthaft 1.4 Mia. CHF/Jahr.
- Wir betrachten die Ausbringungskosten nur für die zu 100% insektenabhängige Brutvogelpopulation für die Saisondauer von 5 Monaten.

Die geschätzten, gesamten Ausbringungskosten belaufen sich für die vollständig insektenabhängigen Brutvögel auf jährlich 2.8 Mia. CHF. Die zu Grunde liegenden Kennzahlen einer Aufzuchtstation zu den Betriebskosten basieren auf einem Arbeitseinsatz von 1.35 Vollzeitstellen und 10 Freiwilligen mit unbekanntem Pensum. Unterstellt man, dass die Freiwilligen noch einmal dieselbe Arbeitsleistung erbringen, welche als COI auch bezahlt werden müssen, resultieren als exemplarische Grobschätzung für die Ausbringungskosten 5.5 Mia CHF / Jahr. Unter konservativen Annahmen ergeben sich demnach Ausbringungskosten zwischen 3 und 6 Mia. CHF / Jahr.

### 2.2.7. Diskussion und Einbettung

Unsere insektenabhängigen Brutvögel benötigen pro Brutsaison für sich selbst sowie die Aufzucht ihrer Jungen eine Nahrungsmenge von mindestens 8'700 t. Ein Rauchschnalbenpaar benötigt rund 1 kg an Insektennahrung allein während der Nestlingszeit für seine Jungen. Welchem Volumen diese Menge an Insekten entspricht, zeigt das nachfolgende Bild eindrücklich:

**Abbildung 10: Beispielhaft dargestelltes Volumen von 1 kg Insekten**



Ein Rauchschnalbenpaar verfürtert während der Nestlingszeit der Jungen rund 1 kg Insekten, was dem Inhalt des Plastiksacks entspricht. © Marc Tschudin

Quelle: Marc Tschudin, <https://www.vogelwarte.ch/de/atlas/focus/rueckgang-der-insektenfresser>, verwendet mit freundlicher Genehmigung der Schweizerischen Vogelwarte Sempach.

Würde die Insektenbiomasse wie prognostiziert um die Hälfte zurückgehen, müssten rund 4'300 t Ersatznahrung pro Jahr bereitgestellt werden – die reinen Materialkosten dafür belaufen sich auf jährlich 130 Mio. CHF. Dieser Betrag entspricht eher einer konservativen Berechnungsmethode und könnte gut auch 20-30% höher liegen. Eine exemplarische Grobschätzung der Ausbringungskosten der Ersatznahrung liegt bei einem Vielfachen der reinen Materialkosten und käme vermutlich im einstelligen Milliardenbereich zu liegen.

Um unsere Resultate zu plausibilisieren, berechneten wir die benötigte Nahrungsmenge zusätzlich mit einem alternativen Ansatz. Eine vereinfachende Annahme besagt, dass insektenfressende Brutvögel pro Tag 10% ihres Körpergewichtes an Nahrung benötigen (Reckhaus, 2016). Aufgrund der Gewichtsangaben und der doppelten, mittleren Anzahl Brutpaare aus unserem Grunddatensatz haben wir den Nahrungsbedarf der adulten, mindestens teilweise insektenabhängigen Brutvögel für die mittlere Dauer einer Brutsaison von 5 Monaten (=150 Tage) berechnet: Pro Tag benötigen unsere insektenabhängigen Brutvögel total 59'181 kg Insektennahrung, was einer Gesamtnahrungsmenge pro Brutsaison von 8'877 t entspricht. Diese Zahl ist fast genau gleich hoch wie die im differenziert berechneten Szenario (8'700 t pro Brutsaison) und berücksichtigt erst den Nahrungsbedarf der adulten Brutvögel. Dies zeigt, dass die COI in unserem Szenario eher konservativ berechnet wurden, aber von der Grössenordnung her plausibel sind.

Zum Nahrungsbedarf von insektenfressenden Vögeln schätzt die weltweite Metastudie von Nyffeler et al. (2018) die global konsumierte Beute-Biomasse auf 400-500 Mio. t pro Jahr. Diese

Menge ist vergleichbar mit der Menge bei Spinnen (400-800 Mio. t/a), welche in Nyffeler & Birkhofer (2017) geschätzt wurden.

Verschiedene Studien belegen mindestens teilweise einen Zusammenhang zwischen Biomasserückgang von Insekten und Tieren, welche sich vorwiegend davon ernähren. So wurde kürzlich über eine Studie im Amazonas berichtet (Baier, 2020, Stouffer et al. 2020), welche aufzeigte, dass die Vogelarten im Verlaufe der letzten 35 Jahre deutlich seltener geworden sind, die sich von Insekten auf und im Waldboden ernähren. Die Autoren folgern, es sei ernüchternd, wenn selbst Arten inmitten eines scheinbar unberührten Regenwaldes seltener werden. Für die Schweiz ist die Bestandes-Situation unserer Brutvögel gut bekannt (Atlaskartierung 2013-2016, Knaus & Strebel 2018): Die Bestände reiner Insektenfresser des Kulturlands nahmen in den letzten 20 Jahren deutlich ab (um 60 Prozent). Vogelarten des Kulturlands, welche eine gemischte Ernährungsweise haben, sind von diesem Rückgang nicht betroffen. Nicht nur für Brutvögel, auch für andere Tierarten sind die Folgen des Insektensterbens höchstwahrscheinlich einschneidend: So stellten Nyffeler & Bronte (2020) fest, dass die Grosse Radnetzspinne im Schweizer Mittelland in den letzten 40 Jahren deutlich seltener geworden ist, und sie vermuten den Hauptgrund im sinkenden Nahrungsangebot für diese insektenfressenden Tiere. Die meisten Kreuzspinnenarten ernähren sich beinahe ausschliesslich von Fluginsekten, welche am stärksten vom Insektensterben (sowohl hinsichtlich Artenreichtums als auch hinsichtlich Biomasse) betroffen sind. Auch hinsichtlich des festgestellten Rückgangs stadtbewohnender Igel wird ein Zusammenhang mit ihrer insektivoren Ernährungsweise und dem Insektensterben diskutiert (Taucher et al. 2020).

Das Ergebnis, dass allein für die Brutvögel reine Materialkosten für eine Ersatznahrung im Umfang von jährlich mindestens 130 Mio. CHF entstehen, zeigt, dass die Basisdienstleistung von Insekten im Nahrungsnetz auch ökonomisch betrachtet von immens hohem Wert ist. Jeder Schweizer Haushalt würde mit dem favorisierten Szenario jährlich mit zusätzlich 33.50 CHF belastet, die kostspielige Ausbringung und alle andere Ökosystemleistungen der Insekten noch vollständig ausgeklammert.

Zur ökonomischen Inwertsetzung der Nahrungsgrundlage von Insekten für andere Tiere gibt es kaum Studien. Losey und Vaughan (2006) bezifferten den ökonomischen Wert der Insekten für die Fischerei in den USA mit jährlich mind. 224 Mio. US\$. Dieser Wert entspricht dem Umsatz, welcher mit gefangenen Süsswasserfischen pro Jahr erzielt wird.

Der Umstand, dass es unmöglich ist, sich von Insekten ernährende Tiere anderweitig mit Futter zu versorgen, zeigt die Notwendigkeit, die Insektenvielfalt in Diversität und Populationsdichten zu erhalten.

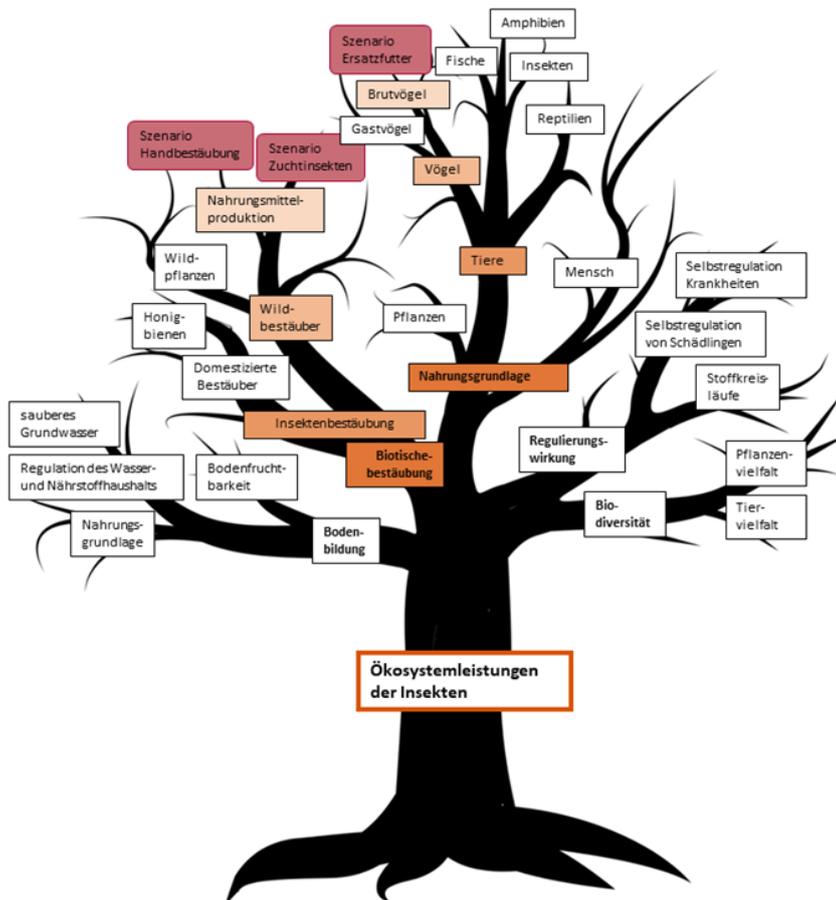
### 2.3. Gesamtbetrachtung und Fazit COI Insektensterben

Die hier vorgestellten COI-Szenarien zum Insektensterben betreffen zwei ausgewählte ÖSL unter einer viel grösseren Anzahl an aus anthropogener Sicht wichtigen ökologischen Dienstleistungen der Insekten. Ausser der Bestäubungsleistung wurden alle anderen wichtigen Beiträge der Insekten wie Schädlingskontrolle und Abbauleistungen (Nährstoffkreisläufe) nicht in die Betrachtung dieser illustrativen COI-Berechnungen einbezogen. Auch für den Erhalt der Biodiversität unersetzliche Leistungen wie die Bestäubung der Wildpflanzen oder die Rolle von Insekten im Nahrungsnetz wurden nicht oder nur als Einzelaspekt (Nahrungsgrundlage für Brutvögel) berücksichtigt. Die beiden COI-Szenarien helfen jedoch – unter den erwähnten Annahmen und Grenzen – **illustrative Kostenelemente** zu den Folgen aufzuzeigen, welche das Insektensterben in der Schweiz einerseits für unsere direkte Ernährung, andererseits als Basisleistung für andere Tierarten hätte, wenn man nicht handelt. Es geht bei den ausgewählten Szenarien weder um direkt umsetzbare noch um wünschenswerte Lösungsansätze für die Problematik des Insektenrückgangs. Ziel ist es, von den unzähligen Ästen der für das Leben zentralen Ökosystemleistungen der Insekten einzelne Zweige monetär indikativ abzubilden, um für eher ökonomisch und weniger biologisch geschulte Personen erkennbar zu machen, welche grosse und nicht umfassend monetarisierbare Gesamtbedeutung die Insekten aufweisen.

Für die ausgewählten Szenarien werden im Rahmen der Modellierung ökologisch komplexe Zusammenhänge vereinfacht und mit möglichst realistischen Annahmen versehen. Hierbei kommt es aufgrund des methodischen Vorgehens zu weiteren Einschränkungen der Gesamtsicht über die Wichtigkeit der Insekten. Die Verlinkung von Biodiversität zu ökonomischer Inwertsetzung ist bei Paul et al. (2020) als Kaskade beschrieben und zeigt die Komplexität, welche sich auf verschiedenen Stufen zeigt: Für die Biodiversität müssen in einem ersten Schritt funktionale Beziehungen zu Ökosystemen abgeleitet werden. Die Beziehungen werden in das Modell der Ökosystemfunktionen und Ökosystemdienstleistungen eingepasst und in einem letzten Schritt werden Ökosystemdienstleistungen (und damit die Biodiversität) mit einem monetären Wert versehen.

Die nachfolgende Grafik veranschaulicht, wie breit die ÖSL tatsächlich sind und zeigt auf, dass unsere ermittelten COI lediglich einen kleinen Teil von zu erwartenden Gesamtkosten repräsentieren, wenn gegen das Insektensterben nichts unternommen würde und unvollständige und langfristig nicht durchhaltbare Alternativen für die ÖSL monetarisiert werden.

Abbildung 11: Übersicht Ökosystemleistungen Insekten und Szenarien



Grafik INFRAS. Quelle: INFRAS.

Dies macht deutlich, dass die in dieser Studie ermittelten COI eine sicherlich nicht zu vernachlässigende Größenordnung darstellen: Selbst, wenn wir nur 2-3 Nebenäste der Ökosystemleistungen betrachten und die Kosten für deren theoretische Substitution ermitteln, sind wir bei Beträgen, welche erheblich sind. Für die manuelle Bestäubung unserer wichtigsten insektenbestäubten Kulturpflanzen entstünden COI in der Höhe von rund 230 Mio. CHF pro Jahr. Zwar wäre ein Einsatz von Zuchtinsekten mit COI in der Höhe von rund 5.5 Mio. CHF pro Jahr aus rein monetärer Sicht viel günstiger – aus ökologischer Sicht stellt dieses Szenario wie in Kapitel 2.1.1 und 2.1.7 ausgeführt kein realisierbares Szenario dar. Allein für die Ersatznahrung unserer insektenabhängigen Brutvögel müssten jährlich mindestens 130 Mio. CHF aufgewendet werden. Ein Totalverlust der Insekten hätte in den beiden Szenarien COI von 460 CHF (manuelle

Bestäubung) bzw. 260 Mio. CHF (Ersatznahrung Brutvögel) pro Jahr zur Folge. Im Umkehrschluss kann daraus gefolgert werden, dass die COI für die Summe der ÖSL der Insekten immens wären.

Abgesehen von den möglichen monetären Folgen des Insektensterbens sind gewisse ÖSL kaum ersetzbar. So sind die biologischen Wirkmechanismen bei der Bestäubungsthematik zu komplex und spezifisch – sie entziehen sich daher einer umfassenden Bewertung in Franken. Auch beim Szenario des Nahrungersatzes für Brutvögel ist es kaum realistisch, dass eine angemessene Ersatznahrung beschafft und darüber hinaus adäquat verteilt und schliesslich durch die Vögel angenommen werden würde. Aber auch aus wirtschaftlicher Sicht ist es sinnvoller, bestehende Ökosysteme zu schützen und aufzuwerten sowie die Artenvielfalt und Populationen von Insekten zu erhalten und zu fördern, anstatt unbefriedigende Ersatzmassnahmen vorzunehmen.

### 3. Fazit und Ausblick

#### Fazit

Die Kostenschätzungen im vorliegenden Bericht beziehen sich lediglich auf einen kleinen Teil der effektiv relevanten Ökosystemleistungen von Insekten. Die ermittelten Werte zeigen aber bereits auf, dass die Kosten des Nicht-Handelns (COI) in Bezug auf alle Ökosystemleistungen volkswirtschaftlich sehr bedeutend und sehr hoch sein müssen. Die zentrale Grundaussage der ermittelten Werte verdeutlicht: Der Wert der Ökosystemleistungen für den Menschen muss bei der Entscheidungsfindung und beim Handeln der öffentlichen und privaten Akteure einbezogen werden. Die Ökosystemleistungen sind zentral für das Leben und Wohlergehen auf der Erde und dürfen nicht übernutzt werden, ansonsten steigen die Kosten des Nicht-Handelns, des Zuwenig-Handelns und des Zu-spät-Handelns zum Erhalt der ÖSL massiv an. Die Kernbotschaft aus den COI-Analysen reihen sich somit in der Kernbotschaft an die Monetarisierung der externen Kosten ein, welche sich ergeben, weil die Natur keinen Preis hat (Marktversagen wegen «öffentlichen Guts»-Charakters) und somit die natürlichen Ressourcen übernutzt werden.

Die Kostenschätzungen im vorliegenden Bericht weisen erhebliche Unsicherheiten auf, sind aber meist konservativ ermittelt. Im Themenbereich Klima ist es in der Umweltökonomie und in den politischen Diskussionen bereits stärker verbreitet, mit den COI zu argumentieren. Auch in diesem Bereich sind die Unsicherheiten und Bandbreiten der Schadensschätzungen erheblich. Mittlerweile ist im Klimabereich das Bewusstsein der Stakeholder gewachsen – im Wissen, dass Zahlen dabei nicht präzise, sondern als Grössenordnungen zu verstehen sind, welche im Vorzeichen und der Relevanz bessere Risikobilder der Zukunft zeigen und somit volkswirtschaftlich sinnvolles Handeln ermöglichen.

Wenn die COI-Logik auch in weiteren zentralen Umweltbereichen (Biodiversität, Bodenqualität, Wasser, etc.) verstärkt verwendet wird, dann ergeben sich daraus nicht nur ein stärkerer Fokus der Wissenschaft auf das Thema, sondern auch Erkenntnisgewinne, die eine bessere Grundlage für künftige COI-Schätzungen bilden.

#### Ausblick

Die Monetarisierung der COI in diesem Bericht für einen Vertiefungsbereich führen uns zu folgenden Schlussfolgerungen für zukünftige Arbeiten:

- Grundsätzlich stellt sich für das beleuchtete COI-Szenario ein politisches Dilemma: Es gilt, in einem komplexen Spannungsfeld von Interessen und Akteuren zwischen dem Einhalten bzw. Verschärfen von vorsorglichen Massnahmen und möglichen Sanierungs- bzw. Kompensationsmassnahmen (Cost of Inaction) abzuwägen, wenn die zur Verfügung stehenden Ressourcen überstrapaziert werden.

- COI-Schätzungen können dazu beitragen, die Unterlassungskosten sichtbarer zu machen und somit die Politik und Gesellschaft für Massnahmen zu sensibilisieren. Den COI stehen als wichtige Vergleichsgrösse für eine politische Abwägung die Kosten von vorsorglichen Massnahmen gegenüber. Letztere im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse zu beziffern ist ebenso herausfordernd wie wichtig, um eine transparente politische Diskussion zu führen und die erwähnte politische Abwägung vorzunehmen.
- Die Kosten für den grösstenteils hypothetischen<sup>2</sup> Ersatz verminderter ÖSL von Insekten sind immens. Auch wenn die verfügbaren Datengrundlagen zu den biodiversitätsabhängigen ÖSL oft nicht im erwünschten Umfang oder Detaillierungsgrad vorliegen, so hilft die COI-Methode gerade in diesem thematischen Feld, zusätzlich zu den ökologischen Argumenten auch eine weitere ökonomische Betrachtungsweise anzuregen.
- Die ökonomische Inwertsetzung von Biodiversitätsleistungen im Bereich Insektensterben/Biodiversität ist herausfordernd: einerseits sind diese äusserst komplex, andererseits sind oft die Wirkungsmechanismen zu wenig bekannt. Trotzdem sollten die Anstrengungen für weitere COI-Analysen fortgesetzt werden: Die Thematik ist hochrelevant und das Ermitteln ökonomischer Richtgrössen ist hilfreich. Bei weiteren Studien bietet es sich an, in einem ersten Schritt die Machbarkeit hinsichtlich verfügbarer Datengrundlagen und ökologischer Modellierung zu prüfen.

Darüber hinaus stellt auch die Kommunikation über COI weiterhin eine Herausforderung dar. Denn welches Mass an Schaden noch als akzeptabel gilt, ist gesellschaftlich und politisch höchst umstritten oder noch kaum diskutiert. Für die Kommunikation zu COI sollte deshalb künftig untersucht werden, wie Kernbotschaften über die COI zum Erhalt der ÖSL geeignet an die breite Öffentlichkeit und die Politik vermittelt werden können: Die Herausforderung ist besonders gross, weil in jedem Themenbereich von Schadenskosten in der Regel eine Vielzahl von ÖSL betroffen ist, wie auch der vorliegende Bericht zeigt. Wenn wir einen kleinen Ausschnitt davon in Form von COI monetarisieren, dann lässt sich daraus qualitativ erkennen, dass die Relevanz der Kosten des Nicht-Handelns (COI) in monetären Einheiten erheblich ist. Das Einzelergebnis einer COI zu einem Teilbereich der ÖSL allein sagt wenig aus und kann als einzelner und somit tiefer Wert auch missverständlich wirken, zentral und entscheidend ist die Gesamtbedeutung der Ökosystemleistungen für die Volkswirtschaft und Gesellschaft und deren Erhalt, also das Vermeiden von Kosten des Nichthandelns.

---

<sup>2</sup> «Hypothetisch» weil diese komplexen ÖSL der Bestäubungsleistungen Nutzen auf zahlreichen Ebenen aufweisen und nie komplett ersetzt werden können über alternative Massnahmen. Oft ziehen zudem Ersatzmassnahmen selbst weitere Beeinträchtigungen von anderen ÖSL nach sich.

## Literatur

- Agrarbericht 2019a: Flächennutzung. <https://www.agrarbericht.ch/de/produktion/pflanzliche-produktion/flaechennutzung> (10.08.2020)
- Agrarbericht 2019b: Spezialkulturen Obst, Reben und Gemüse. <https://www.agrarbericht.ch/de/produktion/pflanzliche-produktion/spezialkulturen-obst-reben-und-gemuese> (10.08.2020)
- Agrimpuls 2020: Lohnrichtlinie für familienfremde Arbeitsnehmende in der Schweizer Landwirtschaft inklusive landw. Hauswirtschaft. [https://www.agrimpuls.ch/fileadmin/agrimpulsch/Arbeitsrecht/Lohnrichtlinien/Lohnrichtlinie\\_2020\\_D.pdf](https://www.agrimpuls.ch/fileadmin/agrimpulsch/Arbeitsrecht/Lohnrichtlinien/Lohnrichtlinie_2020_D.pdf) (05.11.2020)
- Aizen, M., Garibaldi, L., Cunningham, S., Klein, A. 2009: How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*. doi: 10.1093/aob/mcp076
- Allsopp, M.H., de Lange, W.J., Veldtman, R. 2008: Valuing Insect Pollination Services with Cost of Replacement. *PLoS ONE* 3(9): e3128. doi:10.1371/journal.pone.0003128
- Asendorpf, D. 2018: Wenn das Summen verstummt. *NZZ Folio* August 2018.
- Baier, T. 2020: Alarm im Paradies - Artensterben im Amazonas. In: *Tagesanzeiger*, 5.11.2020.
- Berenbaum, M. 2001: Unerwarteter Weltuntergang. Ohne Insekten würde die Welt ins Chaos stürzen. *NZZ Folio* Juli 2019.
- Bienen.ch 2020: Selber Bienen halten? <https://www.bienen.ch/bildung-wissen/selber-bienen-halten.html#c4194> (07.11.2020)
- Biesmeijer et al. 2006: Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313 (5785):351–354. doi:10.1126/science.1127863
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW 2020: Agrarpolitik - AP 22+. <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/agrarpolitik/ap22plus.html> (19.10.2020).
- Bundesamt für Umwelt BAFU 2019a: Wild und Wertvoll. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/dossiers/wild-und-wertvoll.html> (16.05.2019)
- Bütler, R. und Wermelinger, B. 2014: Borkenkäfer aufgepasst: Dreizehenspecht. In: *Bündner Wald*, Vol. 3/2014, Landquart.
- Carvalho, L.G. et al. 2013: Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecology Letters*, 16 (7):870–878. doi.org/10.1111/ele.12121
- Dasgupta Review 2021: Final Report - The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. <https://www.gov.uk/government/publications/final-report-the-economics-of-biodiversity-the-dasgupta-review>

- Dainese, M., et al. 2019: A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Sci. Adv.* 5. doi: 10.1126/sciadv.aax0121
- Econcept 2020: Zukunft und Wert von Ökosystemleistungen in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt Bafu. Schlussbericht.
- Ecoplan 2019: Cost of Inaction: Einschätzung zum Forschungsstand und Anwendung in der Umweltpolitik. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. 110 S.
- Fay, R., Schaub, M., Banik, M.V., Border, J.A., Henderson, I.G., Fahl, G. et al. 2020: Whinchat survival estimates across Europe: can excessive adult mortality explain population declines? *Anim Conserv.* doi.org/10.1111/acv.12594
- Fartmann, T., Jedicke, E., Streitberger, M., Stuhldreher, G. 2021: Insektensterben in Mitteleuropa. Ursachen und Gegenmassnahmen. Ulmer, 303 S. ISBN 978-3-8186-3.
- Gallai N., Vaissière, B. 2009: Guidelines for the economic valuation of pollination services at a national scale. Rome, FAO.
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, et al. 2011: Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters*, 14: 1062-1072. doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x
- Gatter, W. et al. 2020: 50-jährige Untersuchung an migrierenden Schwebfliegen, Waffnenfliegen und Schlupfwespen belegen extreme Rückgänge (Diptera: Syrphidae, Stratiomyidae; Hymenoptera: Ichneumonidae). *Entomologische Zeitschrift* 130 (3): 131–142.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., et al. 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12 (10). doi.org/10.1371/journal.pone.0185809
- Hansjürgens, B., Möckel, S., Bartkowski, B. 2019: Boden und Bodenschutz als zentrales Handlungsfeld der Umweltpolitik. doi.org/10.30965/9783657705764\_009
- Hölzer, C., Hemmer, C. 2019: Hummeln und Mauerbienen im Einsatz der Landwirtschaft - Eine kleine Zustandsbeschreibung mit kritischem Ausblick. Herausgeber: Stiftung für Mensch und Umwelt. [https://berlin.deutschland-summt.de/files/media\\_ds/pdfs/2019/Hummeln%20und%20Mauerbienen%20im%20Einsatz%20der%20Landwirtschaft.pdf](https://berlin.deutschland-summt.de/files/media_ds/pdfs/2019/Hummeln%20und%20Mauerbienen%20im%20Einsatz%20der%20Landwirtschaft.pdf)
- Insektenatlas 2020: Insektenatlas 2020. Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland. ISBN 978-3-86928-215-2.
- IPBES 2016: The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Unter Mitarbeit von S. G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca und H. T. Ngo. Bonn. 552 S.
- IPBES, 2019: Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany.

- Losey, J.E.; Vaughan, M. 2006: The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, S. 311 ff. doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2
- Klein, A., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T. 2007: Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Biol. Sci* 274 (1608): 303-313. doi: 10.1098/rspb.2006.3721
- Knaus, P., S. Antoniazza, S. Wechsler, J. Guélat, M. Kéry, N. Strebel & T. Sattler 2018: Schweizer Brutvogelatlas 2013–2016. Verbreitung und Bestandsentwicklung der Vögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Knaus, P., Sattler, T., Schmid, H., Strebel, N., Volet, B. 2020: Zustand der Vogelwelt in der Schweiz. Bericht 2020. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Knaus, P., Strebel, N. 2018: Rückgang der Insektenfresser anhand der Daten des neuen Schweizer Brutvogelatlas 2013-2016. Vortrag 5./6.9.2019, Brandenburgische Akademie Schloss Criewen. In: Knaus et al. 2020, Schweizer Brutvogelatlas, 104-107. [www.vogelwarte.ch/zustand](http://www.vogelwarte.ch/zustand)
- Massnahmenbericht Bienengesundheit 2016: Bericht des Bundesrates, Bericht zur Umsetzung des Nationalen Massnahmenplans für die Gesundheit der Bienen, Dezember 2016, 37 S.
- Monnerat, Ch. 2018: Insekten und Biodiversität. Vortrag 15. November 2018, Aarau.
- Noriega J. et al. 2018: Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic and Applied Ecology* 26: 8-23. doi.org/10.1016/j.baae.2017.09.006.
- Nyffeler, M., Şekercioğlu, C. and Ch. Whelan 2018: Insectivorous Birds Consume an Estimated 400–500 million tons of Prey Annually. *The Science of Nature* 105 (47): 1-13. doi.org/10.1007/s00114-018-1571-z
- Nyffeler, M., and K. Birkhofer 2017: An Estimated 400–800 million Tons of Prey Are Annually Killed by the Global Spider Community. *The Science of Nature* 104 (30): 1-12. doi:10.1007/s00114-017-1440-1
- Nyffeler, M., Bronte, D. 2020: Where have all the spiders gone? Observations of a dramatic population density decline in the once very abundant garden spider, *Araneus diadematus* (Araneae: Araneidae) in the Swiss midland. *Insects* 11 (248). doi:10.3390/insects11040248
- Oré Barrios, C., Mäurer, E., Lippert, Ch. und Dabbert, St. 2017: Eine ökonomische Analyse des Imkereisektors in Deutschland. Universität Hohenheim. [www.uni-hohenheim.de/i410a](http://www.uni-hohenheim.de/i410a)
- Paul, C., Hanley, N., Meyer, S., Fürst, C., Weisser, W., Knoke, T. 2020: On the functional relationship between biodiversity and economic value. *Science advances* 6 (5). doi: 10.1126/sciadv.aax7712
- Reckhaus 2016: Warum jede Fliege zählt – Wert und Bedrohung von Insekten. [https://insect-respect.org/fileadmin/downloads/Wert\\_der\\_Insekten/Reckhaus\\_WarumJedeFliege-Zaehlt\\_web.pdf](https://insect-respect.org/fileadmin/downloads/Wert_der_Insekten/Reckhaus_WarumJedeFliege-Zaehlt_web.pdf)

- Reilly, J.R., Artz, D.R., Biddinger, D., Bobiwash, K., Boyle, N.K., Brittain, C., Brokaw, J., Campbell, J.W., et al. 2020: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5063437.v1> Crop production in the USA is frequently limited by a lack of pollinators. *Proc Biol. Sci.* 287 (1931). doi: 10.1098/rspb.2020.0922
- Schmid, H., Kestenholz, M., Knaus, P., Rey, L., Sattler, T. 2018: Zustand der Vogelwelt in der Schweiz: Sonderausgabe zum Brutvogelatlas 2013–2016.
- Rey, P.-L., Külling, N., Adde, A., Lehmann, A., Guisan, A. 2022: Working Paper «Map-linkages between biodiversity and Nature's Contribution to People: a ValPar.CH perspective». ValPar.CH Working Paper Series 2. ValPar.CH: Values of the Ecological Infrastructure. [www.valpar.ch](http://www.valpar.ch)
- Rader, R. et al. 2016: Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113 (1):146–151. doi.org/10.1073/pnas.1517092112
- Schmitt, T. 2019: Insektenvielfalt und ihre Funktion in Ökosystemen. *Natur und Landschaft* 94 (6/7): 222-229.
- scnat 2019: Insektenschwund in der Schweiz und mögliche Folgen für Gesellschaft und Wirtschaft – Faktenblatt. Herausgeber: Akademien der Wissenschaften Schweiz. [https://scnat.ch/de/uuid/i/286b7c5e-47b5-53d7-a9c9-8873bd24f02b-Insektenschwund\\_in\\_der\\_Schweiz\\_und\\_m%C3%B6gliche\\_Folgen\\_f%C3%BCr\\_Gesellschaft\\_und\\_Wirtschaft](https://scnat.ch/de/uuid/i/286b7c5e-47b5-53d7-a9c9-8873bd24f02b-Insektenschwund_in_der_Schweiz_und_m%C3%B6gliche_Folgen_f%C3%BCr_Gesellschaft_und_Wirtschaft)
- Seibold, S., Gossner, M.M., Simons, N.K. et al. 2019: Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* 574: 671–674. doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3
- Stouffer, P.C. et al. 2020: Long-term change in the avifauna of undisturbed Amazonian rainforest: ground-foraging birds disappear and the baseline shifts. *Ecology letters* 24 (2): 186-195. doi: 10.1111/ele.13628.
- Sutter, L., Herzog, F., Dietemann, V., Charrière, J.-D., Albrecht, M. 2017: Nachfrage, Angebot und Wert der Insektenbestäubung in der Schweizer Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz* 8 (9): 332-339.
- Sutter, L., Ganser, D., Herzog, F., Albrecht, M. 2021: Bestäubung von Kulturpflanzen durch Wild- und Honigbienen in der Schweiz. Bedeutung, Potential für Ertragssteigerungen und Fördermassnahmen. *Agroscope*, 49 S. doi:10.34776/as127g
- Taucher, A.L., Gloor, S., Dietrich, A., Geiger, M., Hegglin, D., Bontadina, F. 2020: Decline in distribution and abundance: urban hedgehogs under pressure. *Animals* 10 (1606). doi:10.3390/ani10091606

- Vogelwarte 2020: Monitoring Häufige Brutvögel. <https://www.vogelwarte.ch/de/projekte/monitoring/monitoring-haeufige-brutvoegel> (20.08.2020)
- Westrich, P. 2018: Die Wildbienen Deutschlands. Eugen Ulmer, Stuttgart, 824 S. ISBN 978-3-8186-0880-4.
- Widmer, I., Mühlethaler, R., et al. 2021: Insektenvielfalt in der Schweiz: Bedeutung, Trends, Handlungsoptionen. Swiss Academies Report 16 (9). [doi.org/10.5281/zenodo.5144739](https://doi.org/10.5281/zenodo.5144739)
- Würzburger, Christoph, 2019: Das Bestäubungsexperiment - Gäbe es ohne Bienen noch Äpfel? <https://www.swr.de/odyso/mensch-gegen-biene-bestaebung-experiment-teil-1/-/id=1046894/did=22348828/nid=1046894/o8mqa/index.html> (7.7.2020)
- Zurbuchen, A. Müller, A. 2012: Wildbienenschutz – von der Wissenschaft zur Praxis. Bristol-Schriftenreihe Bd. 3. Haupt Verlag, Bern. 162 S. ISBN: 978-3-258-07722-2.

## Verdankung

### Verdankung von Auskunftspersonen Szenario Insektensterben:

Die folgenden FachexpertInnen haben mit hilfreichen Auskünften und Inputs für die Datengrundlagen und die Annahmen für die Szenarien des Insektensterbens beigetragen. Ihre Hilfe sei an dieser Stelle herzlich verdankt (in alphabetischer Reihenfolge):

Andi Lischke, Greifvogelstation Berg am Irchel  
 Glenn Litsios, ehem. Bundesamt für Umwelt (BAFU)  
 Dr. Andreas Müller, Natur Umwelt Wissen gmbh  
 Hans Schmid, Schweizerische Vogelwarte  
 Tom Strobl, Wildbiene + Partner AG  
 Diana Zwahlen, Agroscope